



Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Διατμηματικό μεταπτυχιακό τμήμα «Έλεγχος Ποιότητας και
Διαχείριση Περιβάλλοντος»

«Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης
βλαβών και συντήρησης ανεμογεννητριών σε
αιολικά πάρκα»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τσαλίκη Ειρήνη

Επιβλέπων Καθηγητής: Τσούτσος Θεοχάρης

Οκτώβριος 2006

© Copyright by Τσαλίκη Ειρήνη, 2006

Στον αδερφό μου

Ευχαριστίες

Με την περάτωση αυτής της εργασίας, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Θεοχάρη Τσούτσο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα θέμα τόσο ενδιαφέρον. Η πολύτιμη καθοδήγηση καθώς και η αναγκαία κατανόηση που επέδειξε, οδήγησαν σε μια άριστη συνεργασία που αποτέλεσε κύριο παράγοντα στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εφαρμογής.

Θέλω να ευχαριστήσω, επίσης, τους γονείς μου για την αγάπη που μου προσφέρουν απλόχερα σε όλη μου τη ζωή, την αδερφή μου που είναι πάντα δίπλα μου, τον αδερφό μου έδωσε δύναμη να συνεχίσω και ας μην είναι πια στη ζωή μου και τους φίλους που ο καθένας με τον τρόπο του, μου συμπαραστάθηκε και με στήριξε στη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα την Αθηνά Τζιμίτση.

Περιεχόμενα

Περίληψη	10
Summary	12
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	13
1.1 Γενικά	13
1.2 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα	14
1.3 Η αποδοχή των αιολικών πάρκων ανά τον κόσμο	14
1.4 Χαρακτηριστικά και λειτουργικά στοιχεία ανεμογεννητριών	23
1.4.1 Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών	23
1.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας	24
1.4.3 Αιολικά πάρκα	26
1.5 Σύνοψη	27
Κεφάλαιο 2: Διεθνής εμπειρία σε συντήρηση και έλεγχο βλαβών σε αιολικά πάρκα	29
2.1 Ανίχνευση και αναγνώριση βλάβης για συστήματα ανεμογεννητριών: Μια ανάλυση σε κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα	29
2.2 Άμεση διάταξη βλάβης μέσω ελέγχου ανεμογεννητριών	29
2.3 Το εγχειρίδιο των βλαβών και της συντήρησης	31
2.4 Κατάσταση υψηλού επιπέδου παρακολούθησης για Α/Γ	33
2.5 Μέθοδοι διάγνωσης βλαβών για τμήμα θερμικού υποσταθμού	34
2.6 Ο Διαχειριστής Συντήρησης	35
2.7 Ανεμογεννήτρια Bently Nevada: Κατάσταση ελέγχου, παρακολούθησης και διάγνωσης βλαβών	37
2.8 Ένα σύστημα για αιολικά πάρκα: CleverFarm [®]	38
2.9 Προσομοίωση της επίδρασης της αιολικής ενέργειας στην αιφνίδια μεταβολή της τάσης λόγω βλάβης στο σκανδιναβικό σύστημα ενέργειας	39
2.10 Εκτίμηση βλάβης μέσω υπολογιστή για ενεργειακά συστήματα με βάση νευρωνικό δίκτυο	40
2.11 Εφαρμογές ANN σε συσκευές που δείχνουν βλάβη	40
2.12 Αποτίμηση ανεμογεννητριών βασισμένη σε μοντέλα και συστήματα συντήρησης	41
2.13 Ανάλυση βλάβης με αρθρωτά νευρωνικά δίκτυα	41
2.14 Σύνοψη	42
Κεφάλαιο 3: Τυπολογία και στατιστική ανάλυση βλαβών σε Α/Γ	43

3.1	Στατιστική ανάλυση βλαβών στον ελλαδικό χώρο.....	43
3.1.1	Σφάλματα λειτουργίας Α/Γ	43
3.1.2	Σφάλματα χωρίς οικονομική επιβάρυνση	45
3.1.3	Σφάλματα με οικονομική επιβάρυνση αποκατάστασης	48
3.2	Στατιστική ανάλυση βλαβών σε τρεις χώρες της Ευρώπης.....	52
3.2.1	Στατιστική ανάλυση βλαβών για την Σουηδία (2000-2004).....	55
3.2.2	Στατιστική ανάλυση βλαβών για την Φινλανδία (1997-2004).....	62
3.2.3	Στατιστική ανάλυση βλαβών για την Γερμανία (2003-2004)	68
3.2.4	Συμπεράσματα από τη στατιστική ανάλυση	72
3.3	Σύνοψη	73
Κεφάλαιο 4: Παραδείγματα βλαβών, ελέγχου και παρακολούθησης σε αιολικά πάρκα		74
4.1	Ανάλυση βλάβης ανεμογεννητριών στην Ινδία	74
4.2	Ιστορικό ατυχημάτων στις ανεμογεννήτριες ανά τον κόσμο	74
4.3	Εικόνες από βλάβες ανεμογεννητριών	79
4.4	Έλεγχος και παρακολούθηση λειτουργίας ανεμογεννητριών με τη χρήση κινητής τηλεφωνίας (μηνύματα SMS, WAP) και internet (web, e-mail)	80
4.5	Σύνοψη	84
Κεφάλαιο 5: Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης ανεμογεννητριών		85
5.1	Γενική παρουσίαση	85
5.1.1	Ανίχνευση βλάβης	86
5.1.2	Ενημέρωση της κεντρικής μονάδας ελέγχου	86
5.1.3	Αναγνώριση /εκτίμηση βλάβης από βάση δεδομένων	86
5.1.4	Επίλυση προβλήματος	87
5.2	Προδιαγραφές συστήματος	87
5.3	Αναλυτική περιγραφή των τυπικών χαρακτηριστικών του συστήματος..	88
5.4	Παράδειγμα φύλλου ελέγχου.....	91
5.5	Σύνοψη	92
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα		94
6.1	Συμπεράσματα.....	94
6.2	Προτάσεις για συνέχιση της εργασίας	96
Συντομογραφίες		97
Βιβλιογραφία		99

Παράρτημα	102
------------------------	------------

Λίστα πινάκων

Πίνακας 1: Αποτελέσματα της αυστραλέζικης σφυγμομέτρησης για την αιολική ενέργεια.....	15
Πίνακας 2: Δημοσκοπήση για τα μεσοθαλάσσια αιολικά πάρκα στο Βέλγιο.....	18
Πίνακας 3: Αποτελέσματα αποδοχής των αιολικών πάρκων στη Navarre της Ισπανίας	20
Πίνακας 4: Αποτελέσματα σφυγμομέτρησης στη Σουηδία.....	21
Πίνακας 5: Αποτελέσματα σφυγμομέτρησης στη Μ.Βρετανία	22
Πίνακας 6: Κατάταξη λειτουργικών σφαλμάτων	44
Πίνακας 7: Στατιστικά πηγών	54
Πίνακας 8: Συνολικός αριθμός εγκατεστημένων Α/Γ στην ανασκόπηση στη Σουηδία	55
Πίνακας 9: Συχνότητες χρόνου ακινησίας και βλαβών για τα σουηδικά αιολικά πάρκα (2000-2004)	59
Πίνακας 10: Αριθμός Α/Γ που χρησιμοποιήθηκαν για την ανασκόπηση στη Φινλανδία (2000-2004).....	62
Πίνακας 11: Συχνότητες χρόνου ακινησίας και βλαβών για τα αιολικά συστήματα Finnish, (2000-2004)	67
Πίνακας 12: Αριθμός Α/Γ που χρησιμοποιήθηκαν για την ανασκόπηση στη Γερμανία.....	70
Πίνακας 13: Αριθμός βλαβών για τα γερμανικά αιολικά πάρκα σύμφωνα με το WMEP	71
Πίνακας 14: Αριθμός βλαβών και χρόνος ακινησίας, συσσωρευμένες τιμές για όλη την περίοδο έρευνας του WMEP	72
Πίνακας 15: Συμπεράσματα στατιστικών των τριών ευρωπαϊκών χωρών.....	72
Πίνακας 16: Καταγραφή ατυχημάτων	78
Πίνακας 17: Βλάβες του κιβώτιου ταχυτήτων για το διάστημα 1997-2004.....	106
Πίνακας 18: Κατανομή βλαβών του κιβώτιου ταχυτήτων για Α/Γ πάνω από 490	107
Πίνακας 19: Βλάβες υπο-εξαρτημάτων του κιβώτιου ταχυτήτων	109
Πίνακας 20: Τάση για την ποσότητα του χρόνου ακινησίας.....	109

Πίνακας 21: Κατανομή βλαβών για τα διάφορα υπό-εξαρτήματα	111
--	-----

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1: Αιολικός Σταθμός Παραγωγής	13
Εικόνα 2: Ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα	24
Εικόνα 3: Ανεμογεννήτρια με κατακόρυφο άξονα	24
Εικόνα 4: Θάλαμος Α/Γ	24
Εικόνα 5: Εξαρτήματα Α/Γ	25
Εικόνα 6: Κατανομή του αριθμού βλαβών για τα σουηδικά αιολικά πάρκα (2000-2004)	56
Εικόνα 7: Ποσοστά χρόνου ακινησίας ανά εξάρτημα στη Σουηδία (2000-2004) .	56
Εικόνα 8: Αριθμός βλαβών σε λειτουργικό χρόνο	60
Εικόνα 9: Ετήσιος ρυθμός βλαβών ανά Α/Γ σε λειτουργικό χρόνο	60
Εικόνα 10: Αριθμός βλαβών στα διάφορα σύνολα ενεργειακής λειτουργίας σε λειτουργικό χρόνο.....	61
Εικόνα 11: Ρυθμός βλαβών στα διάφορα σύνολα ενεργειακής λειτουργίας σε λειτουργικό χρόνο.....	61
Εικόνα 12: Κατανομή χρόνου ακινησίας λόγω βλάβης στη Φιλανδία(1996-2004)	63
Εικόνα 13: Κατανομή χρόνου ακινησίας λόγω βλαβών στη Φιλανδία(2000-2004)	64
Εικόνα 14: Κατανομή συχνότητας βλαβών στη Φιλανδία (2000-2004).....	64
Εικόνα 15: Κατανομή αριθμού βλαβών στη Γερμανία	69
Εικόνα 16: Κατανομή του χρόνου ακινησίας σύμφωνα με το WMEP	69
Εικόνα 17: Φωτιά.....	79
Εικόνα 18: Σπάσιμο πτερυγίων από δυνατό αέρα.....	79
Εικόνα 19: Σπάσιμο πύργου Α/Γ	79
Εικόνα 20: Η ανεμογεννήτρια πήρε φωτιά.....	80
Εικόνα 21: Επιδεικτικό αιολικό πάρκο 3MW του ΚΑΠΕ στη Λαυρεωτική Αττικής	80
Εικόνα 22: Το πρόγραμμα παρακολούθησης και ελέγχου που αναπτύχθηκε	81
Εικόνα 23: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: διαφορετικοί τρόποι ελέγχου:μεταβολή της περιστροφής του δρομέα και της γωνίας βήματος πτερυγίου για ένα 10λεπτο, ΔΕΞΙΑ:Κατανομή της παραγόμενης αιολικής ενέργειας του Α.Π. για κάθε Α/Γ για ένα 10λεπτο	83

Εικόνα 24: Παράδειγμα σύνδεσης μέσω WAP, α)Επιλογή από μενού της ζητούμενης πληροφορίας, β)Απεικόνιση αποτελεσμάτων	84
Εικόνα 25: Φύλλο ελέγχου βλαβών και συντήρησης	93
Εικόνα 26: Κατανομή χρήσης αιολικής ενέργειας ανά τον κόσμο	94

Λίστα σχημάτων

Σχήμα 1: Δημοτικότητα της αιολικής ενέργειας στην Αυστρία	16
Σχήμα 2: Δημοτικότητα αιολικής ενέργειας στη Δανία.....	16
Σχήμα 3: Δημοτικότητα αιολικής ενέργειας στις Η.Π.Α.....	22
Σχήμα 4: Δημοτικότητα αιολικής ενέργειας στη Μ.Βρετανία.....	23
Σχήμα 5: Σφάλματα λειτουργίας Α/Γ ανά κατηγορία	45
Σχήμα 6: Σφάλματα χωρίς οικονομική επιβάρυνση	48
Σχήμα 7: Σφάλματα με οικονομική επιβάρυνση	52
Σχήμα 8: Λογικό διάγραμμα της λειτουργίας συστήματος παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης.....	85

Στις μέρες μας, η τεχνολογία των ανεμογεννητριών είναι αναπτυσσόμενη καθώς αυξάνεται ο αριθμός των αιολικών πάρκων με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού. Κατά την λειτουργία των ανεμογεννητριών, όπως και σε κάθε μηχανή, είναι πιθανή η εμφάνιση κάποιας βλάβης. Για το λόγο αυτό απαιτείται εξειδικευμένος χειρισμός καθώς και χρήση τυποποιημένων μεθόδων με απώτερο σκοπό την αποδοτική λειτουργία τους με τις ελάχιστες έως και καθόλου βλάβες. Ένα μέσο για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης βλαβών και ελέγχου των ανεμογεννητριών στα αιολικά πάρκα. Αυτός είναι και ο στόχος της επικείμενης εργασίας: η ανάπτυξη, δηλαδή, ενός συστήματος παρακολούθησης βλαβών και ελέγχου ώστε να γίνει πιο αποδοτική η λειτουργία αυτών και να έχουμε παραγωγή ηλεκτρισμού χωρίς επιπλέον οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει έξι κεφάλαια:

- I. Εισαγωγή
- II. Διεθνής εμπειρία στον έλεγχο βλαβών και στη συντήρηση των ανεμογεννητριών
- III. Τυπολογία και στατιστική ανάλυση βλαβών Α/Γ
- IV. Παραδείγματα βλαβών, ελέγχου και παρακολούθησης Α/Γ ανά τον κόσμο
- V. Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης σε αιολικά πάρκα
- VI. Συμπεράσματα

Ειδικότερα στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται η κατάσταση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και στον κόσμο καθώς και τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση στη διεθνή βιβλιογραφία όσον αφορά τον έλεγχο βλαβών που καταγράφηκε σε διάφορα αιολικά πάρκα καθώς επίσης και στις μεθόδους έγκαιρης και έγκυρης διάγνωσης βλαβών που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Στο Κεφάλαιο III γίνεται αναφορά στους διάφορους τύπους βλαβών που παρουσιάζονται στις Α/Γ καθώς και στα στατιστικά αυτών σύμφωνα με την μέχρι τώρα εμπειρία. Οι βλάβες αυτές μπορεί να εμφανίζονται είτε στα κύρια μέρη της Α/Γ όπως τα πτερύγια, τη γεννήτρια, τον πολλαπλασιαστή, τα έδρανα και το σύστημα προσανεμισμού, είτε στον ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο IV δίνονται

κάποια παραδείγματα βλαβών που σημειώθηκαν ανά τον κόσμο. Στο πέμπτο κεφάλαιο με βάση την τυπολογία που δίνεται από την βιβλιογραφία προτείνεται και αναπτύσσεται ένα σύστημα παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης αιολικού πάρκου. Τέλος, το Κεφάλαιο VI καταλήγει σε κάποια απορρέοντα συμπεράσματα.

Summary

Nowadays, wind turbine technology is developing since the number of wind farms is increasing in order to produce electricity. During the operation of a wind turbine, like in any other machine, it is possible to occur failures. For this reason, a special handling and a properly usage of methods are needed since we want an effective operation with minimal or no failures at all. To accomplice this purpose we need an integrated fault monitoring system for the wind turbines. This is the main purpose of this master thesis, namely the creation of such system in order the wind turbines to operate effectively and produce electricity without economical and environmental consequences.

This master thesis consists of six chapters:

- I. Introduction
- II. International experience on fault monitoring and maintenance of wind turbines
- III. Typology and statistical analysis of failures
- IV. Fault, monitoring and maintenance examples of wind turbines globally
- V. Creation of a fault monitoring and maintenance system
- VI. Conclusions

In first chapter, particularly, are given the situation of wind energy in Greece and in the world and the characteristics of wind turbines. In the second chapter there is a review among the international literature concerning fault control in different wind farms in the world that happened during the operation of the wind turbine. In Chapter III we discuss the different types of failures that exist in wind turbines and their statistical data that are analyzed until now. These failures can appear weather at the main parts of a wind turbine like blades, generator, gearbox and yaw system or at the electrical and electronic equipment. Next, in Chapter IV are given some failure examples that reported in the world. In fifth chapter, based on the fault topology, that is given from literature, is recommended the fault monitoring system of a wind turbine. Last, in Chapter VI are given the conclusions of this master thesis.

Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών (Εικόνα 1) παρουσίασε μεγάλη εξέλιξη κατά τα τελευταία χρόνια, όπως θα δούμε και σε επόμενη παράγραφο εκτενέστερα, με αντίστοιχη μείωση του κόστους παραγωγής της παραγόμενης ενέργειας. Σήμερα το "εμπορικό μέγεθος" των ανεμογεννητριών, δηλαδή το μέγεθος που παρουσιάζει τη βέλτιστη σχέση κόστους-οφέλους, κυμαίνεται μεταξύ 600 και 1.500 kW. Σήμερα λειτουργούν ανεμογεννήτριες μέχρι 5.000 kW [Τσούτσος, .2005].



Εικόνα 1: Αιολικός Σταθμός Παραγωγής

ΠΗΓΗ: EWEA

Μείωση του κόστους επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών στην ίδια θέση, οπότε σχηματίζονται «αιολικά πάρκα», συνολικής συνήθως ισχύος μέχρι 40 MW.

Η αιολική ενέργεια εξαρτάται από την ταχύτητα και την πυκνότητα του ανέμου. Οι δυνατότητες αξιοποίησης των διαθέσιμων περιοχών εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα ανεμολογικά χαρακτηριστικά εκάστης, στα οποία εκτός από την διεύθυνση, την ταχύτητα και την πυκνότητα ενδιαφέρουν και οι ακραίες τιμές καθώς και οι στροβιλισμοί. Γενικά, περιοχές με μέση ετήσια ταχύτητα μεγαλύτερη από 10 m/s θεωρούνται περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, ενώ με μέση ετήσια ταχύτητα μεγαλύτερη από 5.1 m/s το αιολικό δυναμικό θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα.

1.2 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα το Αιγαίο πέλαγος έχει ένα εξάισιο ανεμολογικό δυναμικό και όπως σε πολλά έθνη, η ετήσια μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m υπερβαίνει τα 10 m/s με βάση τη μελέτη του Kaldelli (2004). Επιπρόσθετα, το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού όλων των Αυτόνομων Σταθμών Παραγωγής (APS) που χρησιμοποιούνται για να εκπληρώσουν τις απαιτήσεις σε ηλεκτρισμό των τοπικών κοινωνιών σε περιοχές του Αιγαίου είναι πολύ υψηλό ενώ παράλληλα το μέσο κόστος παραγωγής των ελληνικών APS φτάνει τα 0.15 €/kWh. Τελικά, η σημαντική εξάρτηση της Ελλάδας από τα εισαγόμενα καύσιμα (πχ το 65-73% της εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας εισάγεται) οδηγεί σε μια σημαντική απώλεια ανταλλαγής, ειδικότερα με χώρες έξω από την Ευρώπη.

Για τους παραπάνω λόγους η ελληνική κοινωνία ξεκίνησε την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στις αρχές του 1980. Πάνω σε αυτό η ελληνική κυβέρνηση ψήφισε πολλούς «αναπτυξιακούς νόμους» από το 1982, καθορίζοντας μια αξιοσημείωτη επιδότηση για τις εφαρμογές της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα. Τον Οκτώβριο του 1994 το ελληνικό κοινοβούλιο ενέκρινε τον Νόμο των ανανεώσιμων πηγών (2244/94) επιτρέποντας σε ιδιώτες-επενδυτές να παράγουν ηλεκτρισμό μέσω των αιολικών πάρκων ενώ παράλληλα η ΔΕΗ είναι υποχρεωμένη να αγοράσει αυτό τον παραγόμενο ηλεκτρισμό με ένα καθορισμένο ποσοστό (90% για τα νησιά) της αντίστοιχης τιμής της αγοράς.

Εκτός όλων αυτών των θετικών κινήτρων η αύξηση της αιολικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου 1994-1999 είναι αποθαρρυντική, ενώ στο μεταξύ ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της συνολικής δυναμικότητας όλης της Ευρώπης σε αιολική ενέργεια είναι 30%. Το 2000 σημειώνεται μια αξιοσημείωτη επίσπευση νέων εγκαταστάσεων αιολικών πάρκων, αν και η αναμενόμενη απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού θα αλλάξει δραστικά την κατάσταση στην τοπική αγορά [Kaldellis et al, 2000].

1.3 Η αποδοχή των αιολικών πάρκων ανά τον κόσμο

Σύμφωνα με μια διεθνή ανασκόπηση όσον αφορά την αποδοχή της αιολικής ενέργειας από την κοινή γνώμη και ειδικότερα την εγκατάσταση και λειτουργία των αιολικών πάρκων μπορούμε να δούμε τα παρακάτω αποτελέσματα [Wind Directions]. Οι ανασκοπήσεις είναι διάφορης ποιότητας και περιεχομένου και είναι δύσκολο να εφαρμοστεί μια αμετάβλητη μεθοδολογική ανάλυση. Παρόλα αυτά

παράγει αξιολογήματα δεδομένα και τάσεις. Η συγκεκριμένη ανασκόπηση αφορά χώρες από όλο τον κόσμο όπως θα δούμε παρακάτω.

1) Αυστραλία

Το Κέντρο Αιολικής Ενέργειας της Αυστραλίας (AWEA) έκανε μια τηλεφωνική ανασκόπηση σε 1.027 ανθρώπους και το 95% υποστήριξαν (27%) ή υποστήριξαν πολύ (68%) να χτιστούν αιολικά πάρκα ώστε να καλύψουν τις ανάγκες της χώρας σε ηλεκτρισμό. Το 91% συμφώνησε ότι ήταν πολύ σημαντικό να χτιστούν αιολικά πάρκα για ηλεκτρισμό από το να αποφευχθούν να χτιστούν στην αστική Αυστραλία.

Results of Australia poll						
Question: Do you think Government support to... sector... should be increased ?						
Sector	Decrease a lot %	Decrease a bit %	Leave at same level %	Increase a bit %	Increase a lot %	Don't know %
Renewables such as solar and wind energy	1	1	6	21	67	5
Agriculture	1	2	19	31	40	8
Tourism	2	2	40	26	24	5
Mining	5	5	40	14	10	27
Fossil fuels	12	11	34	16	10	17

Question: Australia's demand for electricity is increasing. There are a number of ways of meeting this demand, with some of the options being new coal power plants, gas power plants or clean energy facilities such as wind farms. I'd like you to tell me if you would support or oppose... following options?					
Electricity option	Strongly oppose %	Oppose %	Support %	Strongly support %	Don't know %
Building wind farms	1	2	27	68	1
Building gas fired power plants	11	29	43	7	10
Building new coal burning power plants	34	39	17	4	5

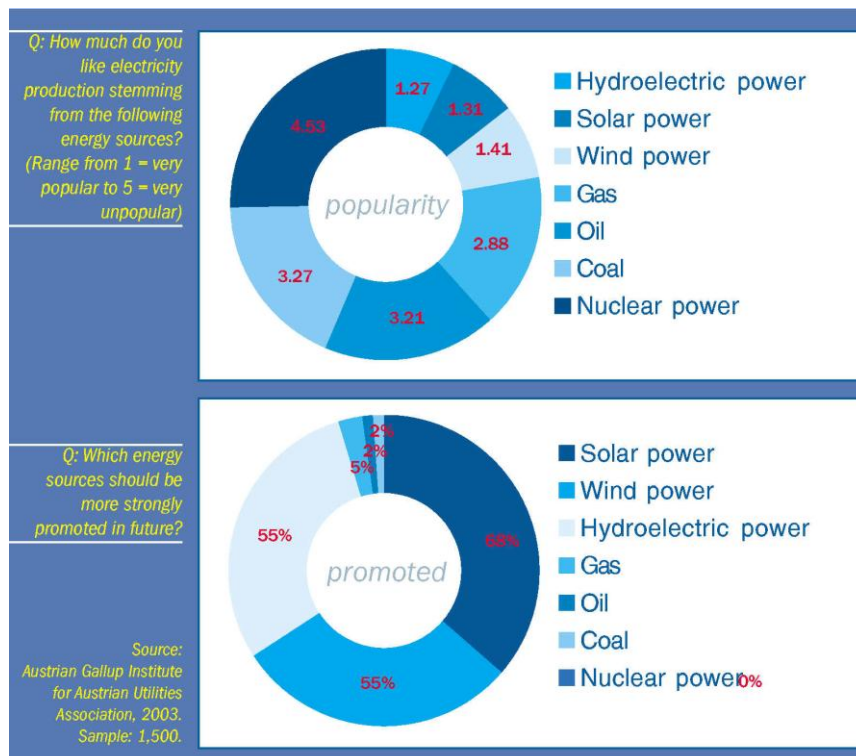
Source: Australian Research Group for AusWEA, August 2003, Sample: 1,027.
Full survey available from www.thewind.info/downloads/auswea.pr_7.9.2003.pdf

Πίνακας 1: Αποτελέσματα της αυστραλέζικης σφυγμομέτρησης για την αιολική ενέργεια

ΠΗΓΗ: Wind Directions

2) Αυστρία

Ο τελευταίος έλεγχος (VEO) για την άποψη της αυστριακής κοινής γνώμης όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε 1.500 άτομα έδειξε ότι με κλίμακα 1-5 για τη πιο σημαντική μορφή ανανεώσιμης πηγής δέχονται την αιολική ενέργεια με 1.41 ενώ ένα 50% πιστεύει ότι η αιολική ενέργεια πρέπει να προωθηθεί περισσότερο στο μέλλον.

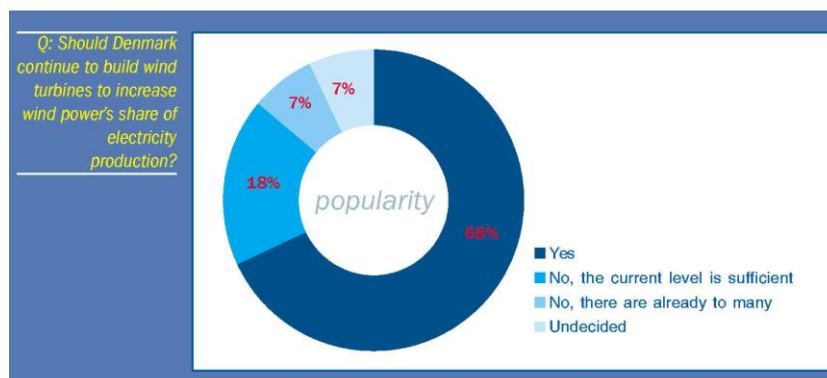


Σχήμα 1: Δημοτικότητα της αιολικής ενέργειας στην Αυστρία

ΠΗΓΗ: Wind Directions

3) Δανία

Στη Δανία έρευνα που έγινε από τη SONAR έδειξε ότι η αιολική ενέργεια είναι ευπρόσδεκτη στη χώρα. Το 68% απάντησε ναι στην ερώτηση αν θα έπρεπε η Δανία να συνεχίσει να χτίζει ανεμογεννήτριες για να αυξήσει τη συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού; Το 18% απάντησε ότι υπάρχει ένα ικανοποιητικό επίπεδο, ένα 7% ότι ήδη υπάρχουν πολλές και άλλο ένα 7% οι οποίοι ήταν αναποφάσιστοι.



Σχήμα 2: Δημοτικότητα αιολικής ενέργειας στη Δανία

ΠΗΓΗ: Wind Directions

4) Γαλλία

Σύμφωνα με έρευνα η οποία περιλάμβανε 2.800 άτομα που έγινε για την ADEME, το αντίστοιχο ΚΑΠΕ της Γαλλίας, το 95% των ερωτηθέντων θεωρεί τον άνεμο μια μη μολυσματική πηγή ενέργειας, το 86% δέχεται ότι δεν επιδεινώνει την αλλαγή κλίματος και το 77% θεωρεί ότι είναι φτηνή για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Σε ειδικά θέματα όπως η τοποθεσία αιολικών πάρκων, το 63% λέει ότι οι ανεμογεννήτριες κάνουν το τοπίο λιγότερο ελκυστικό. Σε ξεχωριστό δείγμα 300 ατόμων που ζουν κοντά σε αιολικά πάρκα στην περιοχή Aude στην νότια Γαλλία η άποψη ήταν πιο θετική. Το 46% συμφωνεί ότι οι ανεμογεννήτριες επηρεάζουν το τοπίο, ενώ το 54% θεωρεί ότι τα αιολικά πάρκα είναι αισθητικά ευχάριστα.

Συνολικά το 86% του Aude θεωρούν την παρουσία αιολικών πάρκων στην περιοχή τους ότι έχει περισσότερες θετικές παρά αρνητικές επιδράσεις.

Σε πιο πρόσφατη σφυγμομέτρηση που διεξήχθη από την Adema-Synovate σε δείγμα 2.090 ατόμων σε αστικές περιοχές με δυο επιπρόσθετα δείγματα 300 ατόμων από τις περιοχές Aude και 230 από τη Finistere αντίστοιχα οι οποίες βρίσκονται κοντά σε αιολικά πάρκα έδειξε ότι το 55% θεωρεί την αιολική ενέργεια καθαρή πηγή ενέργειας (54% που ήταν το 2002) και το 51% πιστεύει πως είναι και πιο οικονομική (43% το 2002).

Σε διεθνή επίπεδο οι άνθρωποι παρατηρούν ότι οι ανεμογεννήτριες είναι ενοχλητικές(28%), θορυβώδεις (21%), ενώ 40% από την Aude και 44% από την Finistere - και στις δυο περιοχές είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν αιολικά πάρκα - δεν βλέπουν αρνητικά τις ανεμογεννήτριες. Επίσης στο επίπεδο αυτό η έρευνα έβγαλε ότι τα αιολικά πάρκα:

- 93% είναι μη μολυσματικά
- 89% δεν έχουν απόβλητα
- 29% συνεισφέρουν στην ενεργειακή ανεξαρτησία της Γαλλίας
- 76% δεν επηρεάζουν την αλλαγή κλίματος

Σε περιοχές με εγκατεστημένα αιολικά πάρκα οι κάτοικοι πιστεύουν ότι οι ανεμογεννήτριες είναι μέρος έλξης για τους τουρίστες(63% στην Finistere και 47% στην Aude).

5) Γερμανία

Έρευνα του κέντρου ερευνών EMNID κατέγραψε ότι το 66% των Γερμανών είναι υπέρ στην περαιτέρω κατασκευή αιολικών πάρκων. Σε προηγούμενα γκάλοπ (2002) το EMNID έδειξε ότι το 88% των ερωτηθέντων υποστηρίζει την κατασκευή

περισσότερων αιολικών πάρκων στη Γερμανία εφόσον βέβαια πληρούνται τα κατάλληλα κριτήρια σχεδιασμού.

Σε ξεχωριστή έρευνα του πανεπιστημίου του Bielefeld που έγινε σε τουρίστες της Γερμανίας έδειξε ότι το 27% πιστεύει πως οι ανεμογεννήτριες «χαλάνε» το φυσικό τοπίο [Wind Directions, 2003].

6) Βέλγιο

Στο Βέλγιο, το οποίο έχει πολύ μικρό μήκος ακτής (65km) και πολλά τουριστικά θέρετρα, έρευνα έδειξε ότι το 78% της κοινής γνώμης ήταν είτε θετικοί είτε ουδέτεροι όσο αφορά την εγκατάσταση μεσοθαλάσσιων αιολικών πάρκων 6 km από την ακτή ενώ μόλις το 30% ήταν πολύ αρνητικοί [Wind Directions, 2003].

Public perception of Belgians near shore wind farms at 6km from the shore		
Group	Very to moderately negative	Neutral to very positive
Residents	31.3%	66.5%
Second residence	10.2%	88.8%
Frequent tourists	18.7%	81.3%
Occasional tourists	19.5%	80.5%
Hotel, restaurant, pub with view of sea	6.8%	89.3%
Other	15.3%	84.7%
Total	20.7%	78.3%

Πίνακας 2: Δημοσκοπήση για τα μεσοθαλάσσια αιολικά πάρκα στο Βέλγιο

ΠΗΓΗ: Wind Directions

7) Πολωνία

Τελευταία έρευνα που διεξήχθη ανάμεσα σε πελάτες της από την Υπηρεσία Ηλεκτρισμού της Πολωνίας ENEA, η οποία ρώτησε αν θα ήταν πρόθυμοι να πληρώσουν υψηλότερες τιμές για τον ηλεκτρισμό αν ήταν να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως οι ανεμογεννήτριες, έδειξε ότι το 41% συμφωνεί να πληρώσει, το 49% δεν συμφωνεί και ένα 10% είναι αναποφάσιστοι [Wind Directions, 2003].

8) Σκοτία

Οι άνθρωποι που ζουν κοντά στα δέκα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα της Σκοτίας υποστηρίζουν πολύ το ότι τις περισσότερες ενεργειακές ανάγκες της χώρας τους τις καλύπτει ο άνεμος σύμφωνα με έρευνα που έκανε η MORI. Το 82% θέλουν μια αύξηση του παραγόμενου ηλεκτρισμού από την αιολική ενέργεια ενώ περισσότεροι από 50% υποστήριξαν την αύξηση του αριθμού των ανεμογεννητριών στο δικό τους τοπικό αιολικό πάρκο.

Η Executive έχει στόχο να παράγει 40% ηλεκτρισμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2020. Η σφυγμομέτρηση της MORI η οποία περιλάμβανε 1.800 άτομα που ζουν μέσα σε τρεις διαφορετικές κυκλικές ζώνες γύρω από τα αιολικά πάρκα (κάτω από 5 km, 5-10 km και 10-20 km) έδειξε ότι:

- το 20% των κατοίκων δε θεωρεί ότι έχει αρνητικά αποτελέσματα, ένα 7% θεωρεί ότι έχει αρνητικό αντίκτυπο ενώ οι περισσότεροι ότι δεν έχει ούτε αρνητικό ούτε θετικό
- άνθρωποι που ζούσαν στις περιοχές πριν την εγκατάσταση αιολικών πάρκων λένε πως στην αρχή νόμιζαν πως θα υπήρχαν προβλήματα από τις συνέπειες στο φυσικό τοπίο (27%), κυκλοφοριακό κατά τη διάρκεια των κατασκευών (19%) και θόρυβος για τον ίδιο λόγο (15%) αλλά η πραγματικότητα μείωσε αυτά τα ποσοστά σε 12%, 6% και 4% αντίστοιχα
- υπάρχει μεγάλη υποστήριξη για επέκταση των αιολικών πάρκων από αυτούς που ήδη μένουν κοντά σε αυτά. Η πλειοψηφία (54%) θα μπορούσε να υποστηρίξει την επέκταση για το μισό αριθμό των ανεμογεννητριών ξανά. Μόνο 9% εναντιώθηκαν.

Δυο ξεχωριστές εργασίες ασχολήθηκαν με την επίδραση των αιολικών πάρκων στον τουρισμό της Σκωτίας.

Η μια σφυγμομέτρηση MORI διαπίστωσε ότι πάνω από 90% των επισκεπτών θα επιστρέψει στη Σκωτία για διακοπές ανεξάρτητα από το αν υπάρχουν αιολικά πάρκα στην περιοχή. Από όσους πάλι είδαν τα αιολικά πάρκα ενώ ήταν διακοπές μόνο ένα 8% είχε αρνητική εικόνα γι' αυτά. Μάλιστα 8 στους 10 είπαν ότι θα επισκεφτούν αιολικά πάρκα ή κάποιο κέντρο ενημέρωσης κατά τη διάρκεια της παραμονής τους.

Μια δεύτερη έρευνα κατέγραψε ότι το 75% των επισκεπτών έχουν είτε θετικό είτε αρνητικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη γενικά των πάρκων ενώ αντίθετα λιγότερο θετική εντύπωση όσον αφορά το οπτικό κομμάτι. Η συμπεριφορά όσων επισκέφτηκαν αιολικά πάρκα έγινε πιο θετική από αυτούς που δεν πήγαν ενώ το 63% είπε ότι δεν υπάρχει διαφορά για την απόφασή τους για διακοπές στη Σκωτία αν αυξηθεί ο αριθμός των ανεμογεννητριών.

9) Ισπανία

Ένας αριθμός ερευνών είδε την κοινωνική αποδοχή της αιολικής ενέργειας σε τρεις περιοχές της Ισπανίας όπου ήδη είναι εγκατεστημένα μεγάλα αιολικά πάρκα.

1. Navarre

Το 85% των κατοίκων είναι υπέρ της υλοποίησης αιολικών πάρκων στη Navarre και 1% εναντίον.

Τα αποτελέσματα έδειξαν αποδοχή της ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας και ταυτόχρονη κατασκευή αιολικών πάρκων. Επίσης, η κοινή γνώμη έγινε ακόμα πιο θετική για τα νεόκτιστα αιολικά πάρκα. Τα τέσσερα διαφορετικά αιολικά πάρκα ήταν:

- El Perdon: το 82% πιστεύει ότι είναι ένα βήμα μπρος ενώ ένα 2% πιστεύει ότι είναι ένα βήμα πίσω (δείγμα 250.000 επισκέπτες από το τέλος του 1994) Συνέπειες στο φυσικό τοπίο: 41% λέει ότι δε βλέπει κάποια διαφορά, το 32% λέει ότι παραμορφώνει το τοπίο και ένα 24% ότι το βελτιώνει
- Leltza - Beruete: 74% ότι είναι ωφέλιμο και 7% πιστεύει ότι είναι επιζήμιο Συνέπειες στο φυσικό τοπίο: 56% λέει ότι δε βλέπει κάποια διαφορά, το 34% λέει ότι έχει κάποια επίδραση
- Guerinda: 76% ότι είναι ωφέλιμο και 4% πιστεύει ότι είναι επιζήμιο. Συνέπειες στο φυσικό τοπίο: 56% λέει ότι δε βλέπει κάποια διαφορά, το 42 % λέει ότι έχει κάποια επίδραση
- Alalz-izco: 81% ότι είναι ωφέλιμο και 6% πιστεύει ότι είναι επιζήμιο. Συνέπειες στο φυσικό τοπίο: 45% λέει ότι δε βλέπει κάποια διαφορά, το 29% λέει ότι παραμορφώνει το τοπίο και ένα 19% ότι το βελτιώνει.

Evolution of public acceptance of EHN wind farms in Navarre

Date	April 1995	Dec. 1996	April 1998	Sept. 2001
Turbines installed by EHN (*)	6	72	187	658
Positive opinion	85%	81%	81%	85%
Negative opinion	1%	2%	3%	1%
Indifferent / Don't know	14%	17%	16%	14

Πίνακας 3: Αποτελέσματα αποδοχής των αιολικών πάρκων στη Navarre της Ισπανίας

ΠΗΓΗ: Wind Directions

II. Tarragona

Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις έρευνες, οι οποίες περιλάμβαναν 2.400 ερωτηθέντες, δηλαδή 600 ανά σφυγμομέτρηση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 4 στους 5 κατοίκους της Καταλονίας είναι υπέρ της αιολικής ενέργειας δείχνοντας το γεγονός ότι τα νότια της Καταλονίας

υπολογίζονται στις καλύτερες ισπανικές τοποθεσίες για εγκατάσταση αιολικών πάρκων.

Οι τέσσερις αυτές σφυγμομετρήσεις που έγιναν από το 2001 και μετά δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλη υποστήριξη για την τεχνολογία της αιολικής ενέργειας και μάλιστα οι ερωτηθέντες είναι άνθρωποι που ζουν κοντά σε αιολικά πάρκα. Μάλιστα, το 62% πιστεύει ότι τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας υπερέχουν των μειονεκτημάτων της.

III. Albacete

Το 79% των ερωτηθέντων θεωρούν την αιολική ενέργεια πλεονέκτημα ενώ το 1% ένα βήμα πίσω. Μεταξύ του 79% και 91% πιστεύουν ότι τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας αντισταθμίζουν κάθε αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον κατά την αξιοποίηση της.

Όλες οι περιοχές όπου κατασκευάστηκαν αιολικά πάρκα στην Albacete εγκρίνουν την παρουσία ανεμογεννητριών. Το 70% θεωρεί ότι είναι ωφέλιμες. Η απόδοση της αιολικής ενέργειας βασίζεται σε τρεις λόγους: περιβαλλοντικούς, ενεργειακούς και κοινωνικοοικονομικούς. Οι άνθρωποι πιστεύουν ότι είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας και αυτοργός ευημερίας και δουλειάς.

Το 69% πιστεύει ότι η αιολική ενέργεια είναι η καλύτερη πηγή ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

10) Σουηδία

Η πλειοψηφία των Σουηδών προτιμά την αιολική ενέργεια σαν ένα μέσο αύξησης του παραγόμενου ηλεκτρισμού σύμφωνα με τις τελευταίες δημοσκοπήσεις της κοινής γνώμης από τη SIFO. Δίνοντας το δικαίωμα επιλογής ανάμεσα στα υδροηλεκτρικά, άνεμο, βιομάζα, κάρβουνο και πυρηνικά σαν καύσιμο για κάθε νέο σταθμό που χτίζεται στη Σουηδία το 64% επέλεξε την αιολική ενέργεια.

Results of Swedish poll:

Question: If we are to increase the domestic production of electricity, by which means do you think we should do this? Should it be done by building more windpower, hydropower, coal fired plants, nuclear plants or plants fired with biomass?

Wind power	64%
Hydropower	39%
Coal	2%
Nuclear	25%
Biomass	36%

Source: SIFO, 2002, Sample: 1,000.

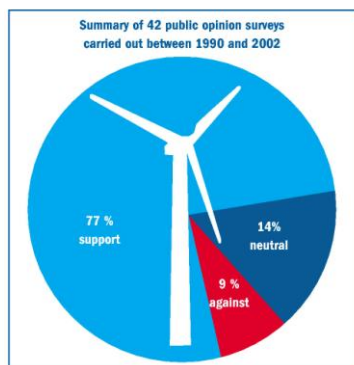
Πίνακας 4: Αποτελέσματα σφυγμομέτρησης στη Σουηδία

ΠΗΓΗ: Wind Directions

11) Η.Π.Α.

Δυο τελευταίες τοπικές έρευνες δίνουν μια ιδέα της κοινής γνώμης στις Η.Π.Α. Στο Vermont, πράσινη πολιτεία στα βορειοανατολικά, το 70% της περιοχής συμφωνεί έντονα ή απλά συμφωνεί με τη δήλωση: «Θα 'θελα να δω περισσότερα αιολικά πάρκα στο Vermont».

Το Τμήμα Ενέργειας του Long Island (LIPA) παρουσίασε μια εργασία για τις δυνατότητες των μεσοθαλάσσιων αιολικών πάρκων.



Σχήμα 3: Δημοτικότητα αιολικής ενέργειας στις Η.Π.Α.

ΠΗΓΗ: Wind Directions

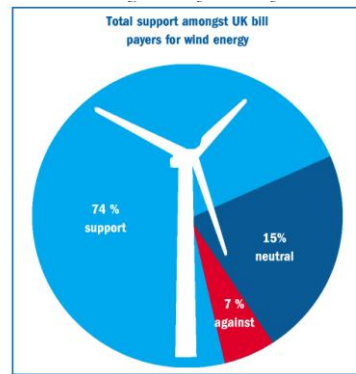
12) Μεγάλη .Βρετανία

Οι περισσότεροι βρετανοί που πληρώνουν λογαριασμούς ρεύματος είναι υπέρ των ανανεώσιμων πηγών και κυρίως της αιολικής ενέργειας. Αυτό ήταν το αποτέλεσμα της έρευνας που έγινε σε 2.600 άτομα που πληρώνουν οικιακούς λογαριασμούς από την Ipsos για λογαριασμό του Βρετανικού Οργανισμού Ενέργειας (BWEA).

Results of Ipsos/BWEA poll:	
Question: To what extent, if at all, do you support the Government's ambition to generate 20% of our electricity needs from renewable power (wind, waves, solar etc) by 2020?	
Strongly support	43%
Tend to support	31%
Neither support nor oppose	16%
Tend to oppose	2%
Strongly oppose	3%
Don't know	5%
Question: To what extent, if at all, do you support increasing the use of wind power in the UK?	
Strongly support	40%
Tend to support	34%
Neither support nor oppose	15%
Tend to oppose	4%
Strongly oppose	3%
Don't know	5%
Sources: Ipsos for British Wind Energy Association, 2003, Sample: 2,600; Summary of surveys, 1990-2002, BWEA.	

Πίνακας 5: Αποτελέσματα σφυγμομέτρησης στη Μ.Βρετανία

ΠΗΓΗ: Wind Directions



Σχήμα 4: Δημοτικότητα αιολικής ενέργειας στη Μ.Βρετανία

ΠΗΓΗ: Wind Directions

1.4 Χαρακτηριστικά και λειτουργικά στοιχεία ανεμογεννητριών

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια σε πρώτη φάση και μέσω της ηλεκτρογεννήτριας που διαθέτουν τη μετατρέπουν στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία τους δεν απαιτεί πρώτες ύλες, εκτός από την αιολική ενέργεια και δεν εκπέμπει καμία μορφή ρύπου ή αποβλήτων. Επίσης, το παραγόμενο προϊόν μεταφέρεται απευθείας στο δίκτυο της ΔΕΗ προς κατανάλωση και επομένως δεν απαιτείται κανένα είδος μετατροπής πρώτης ύλης ή προϊόντος.

1.4.1 Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών

Οι Α/Γ μπορούν να διαχωριστούν με δυο τρόπους: ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων τους και ανάλογα με τον τρόπο περιστροφής του άξονα της Α/Γ.

➤ Ανάλογα τον αριθμό των πτερυγίων τους διαχωρίζονται σε:

- Μονόπτερες
- Δίπτερες
- Τρίπτερες

Ο λόγος που έχουν επικρατήσει οι τρίπτερες είναι γιατί σε σύγκριση με τους άλλους δυο τύπους μπορεί να είναι πιο ακριβές σε κόστος (λόγω περισσότερων πτερυγίων) αλλά δεν χρειάζονται τόσο μεγάλη ταχύτητα ανέμου για να παράγουν το ίδιο ποσό ενέργειας.

➤ Ανάλογα με τον τρόπο περιστροφής του άξονα της Α/Γ διαχωρίζονται σε

- Ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο



Εικόνα 2: Ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα

ΠΗΓΗ: www.fotosearch.com

- Ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα που παραμένει σταθερός

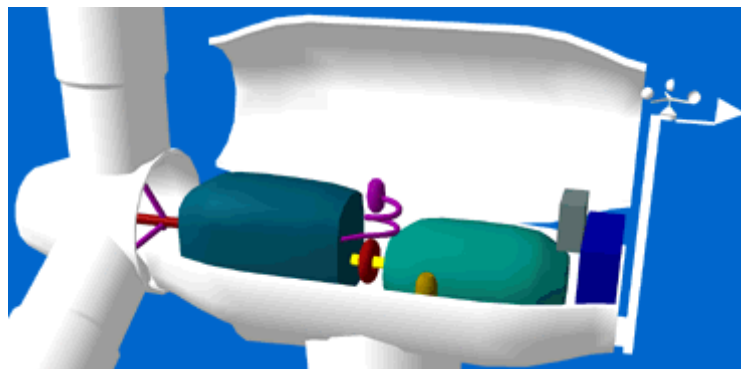


Εικόνα 3: Ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα

ΠΗΓΗ: : www.sierraclub.org

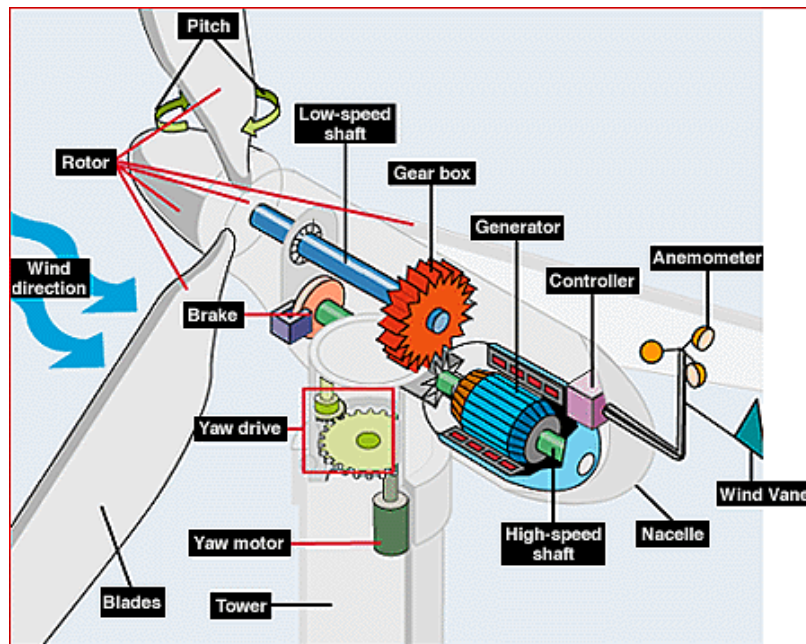
1.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας

Όπως μπορούμε να δούμε στα παρακάτω σχήματα, που χρησιμοποιήθηκαν από ιστοσελίδα του Οργανισμού Αιολικής Ενέργειας της Δανίας, η Α/Γ είναι ένας ενδιαφέρον μηχανισμός και για να μπορέσει κανείς να καταλάβει τη σημαντικότητα των πιθανών βλαβών που μπορεί να παρουσιάσει είναι απαραίτητο να δει αναλυτικά τα εξαρτήματα του βασικού μηχανισμού της.



Εικόνα 4: Θάλαμος Α/Γ

ΠΗΓΗ: Danish Wind Industry Association



Εικόνα 5: Εξαρτήματα Α/Γ
ΠΗΓΗ: Danish Wind Industry Association

Ανεμόμετρο (Anemometer): Μετρά την ταχύτητα του ανέμου και μεταφέρει δεδομένα ταχύτητας του ανέμου στον ελεγκτή.

Πτερύγια (Blades): Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν 2 ή 3 πτερύγια. Η κίνηση του ανέμου προκαλεί την «ανύψωση» και την περιστροφή των πτερυγίων.

Φρένο (Brake): Ένα δισκόφρενο, το οποίο εφαρμόζεται μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά ώστε να σταματήσει τον στροφέα σε περίπτωση ανάγκης.

Ελεγκτής (Controller): Ο ελεγκτής ξεκινά την μηχανή από 8-16 μίλια την ώρα (mph) και την κλείνει στα 65 mph. Οι Α/Γ δεν μπορούν να λειτουργούν σε ταχύτητες πάνω από 65 mph γιατί μπορεί να υπερθερμανθεί η γεννήτριά τους.

Κιβώτιο ταχυτήτων (Gearbox): Το κιβώτιο ταχυτήτων συνδέει τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από 30 με 60 στροφές το λεπτό (rpm) σε 1200 με 1500 rpm, που είναι και η ονομαστική τιμή για την λειτουργία των περισσότερων ανεμογεννητριών. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό (και βαρύ) εξάρτημα της Α/Γ και οι μηχανικοί εξετάζουν την περίπτωση γεννητριών «άμεσης οδήγησης» που να λειτουργούν σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής και να μην χρειάζονται κιβώτιο ταχυτήτων.

Γεννήτρια (Generator): Συνήθως αυτόματη γεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρισμό 60-cycle AC.

Άξονας υψηλής ταχύτητας (High-speed shaft): Δίνει κίνηση στην γεννήτρια.

Άξονας χαμηλής ταχύτητας (Low-speed shaft): Ο στροφέας των πτερυγίων στρέφει τον άξονα χαμηλής ταχύτητας σε περίπου 30-60 rpm.

Θάλαμος (Nacelle): Ο στροφέας είναι συνδεδεμένος στο θάλαμο, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του πύργου και περιέχει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες χαμηλής και υψηλής ταχύτητας, την γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Η επικάλυψη προστατεύει τα εξαρτήματα μέσα στο θάλαμο. Μερικοί θάλαμοι είναι αρκετά μεγάλοι ώστε να μπορούν οι τεχνικοί να βρίσκονται μέσα ενώ δουλεύουν.

Βαθμός κλίσης (Pitch): Τα πτερύγια στρέφονται ή αποκτούν κλίση μακριά από τον άνεμο ώστε να εμποδίσουν τον στροφέα να περιστρέφεται σε ανέμους πολύ μεγάλης ή μικρής ταχύτητας για να παράγουν ηλεκτρισμό.

Στροφέας (Rotor): Τα πτερύγια και το κομβικό σημείο ονομάζονται στροφέας.

Πύργος (Tower): Οι πύργοι είναι κατασκευασμένοι από σωληνοειδές ατσάλι ή ατσάλινο πλέγμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, υψηλότεροι πύργοι βοηθούν ώστε οι Α/Γ να συλλαμβάνουν περισσότερη ενέργεια και να παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.

Ανεμοδείκτης (Wind vane): Μετρά την διεύθυνση του ανέμου και επικοινωνεί με τον δίσκο προσανεμισμού για να προσανατολίζει κατάλληλα την Α/Γ ως προς τον άνεμο.

Δίσκος προσανεμισμού (Yaw drive): Υπάρχουν δυο τρόποι προσανεμισμού των Α/Γ. Οι προς τον άνεμο Α/Γ (upwind) όπου ο δίσκος προσανεμισμού χρησιμοποιείται για να κρατά τον στροφέα σύμφωνο με τον άνεμο καθώς αλλάζει η διεύθυνσή του και οι αντίθετα προς τον άνεμο Α/Γ (downwind) οι οποίες δεν χρειάζεται να έχουν δίσκο προσανεμισμού αφού ο άνεμος γυρνά τον στροφέα αντίθετα.

Μηχανή προσανεμισμού (Yaw motor): Δίνει κίνηση στο δίσκο προσανεμισμού.

1.4.3 Αιολικά πάρκα

Η σημαντικότερη οικονομική εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεση τους στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μια συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μια περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσιο, καθώς και θερμότητας. Όμως, η ισχύς που παράγεται σε εφαρμογές αυτού του είδους είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία.

Παρά το γεγονός ότι πολλά συστήματα τοποθετούνται σε υψώματα, η απαίτηση για μεγάλη έκταση ιδιαίτερα σε χώρες με μικρή γεωγραφική έκταση, μεταφέρει την εγκατάστασή τους σε παράλιες ακτές ή ανοιχτά της θάλασσας.

Τα αιολικά πάρκα στη θάλασσα διακρίνονται σε 4 μεγάλους τύπους ανάλογα με τον τρόπο έδρασης:

Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει τα αιολικά πάρκα τα οποία χρησιμοποιούν οπλισμένο σκυρόδεμα για την θεμελίωση τους στον πυθμένα της θάλασσας. Το κόστος κατασκευής είναι ανάλογο με το βάθος του πυθμένα, όσο αυξάνεται το βάθος εφαρμογής αυξάνεται και το κόστος. Το επιτρεπτό βάθος για κατασκευή έχει οριστεί στα 10 m, μετά το βάθος αυτό το κόστος αυξάνεται ραγδαία ή χρησιμοποιούνται διαφορετικές κατασκευαστικές τεχνικές για την μείωση του.

Ο δεύτερος τύπος κατασκευής υιοθετεί την ίδια διαδικασία κατασκευής με τη διαφορά ότι η θεμελίωση από οπλισμένο σκυρόδεμα αντικαθίσταται από ένα μεταλλικό σωλήνα όπου βιδώνεται και συγκολλείται πάνω σε πλάκα έδρασης η οποία αγκυρώνεται στον πυθμένα.

Ο τρίτος τύπος είναι παρόμοιος με το δεύτερο με τη διαφορά ότι η διάταξη θεμελίωσης επιτυγχάνεται με τη χρήση τριπόδου.

Ο τέταρτος τύπος κατασκευής δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη, αποτελεί τμήμα ερευνητικού προγράμματος στο πανεπιστήμιο UCL στο Λονδίνο, εξομοίωση όμως έχει επιτευχθεί σε εργαστηριακό περιβάλλον. Πρόκειται για πλωτό σύστημα αιολικής ενέργειας το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε χωρίς περιορισμούς σε βάθος πυθμένα [Πισκιτζής, 2003].

1.5 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό δόθηκε εκτενώς η σημασία της αιολικής ενέργειας, η αποδοχή της από τις κοινωνίες ανά τον κόσμο και ο τρόπος εκμετάλλευσής της. Επίσης, αναλύθηκαν τα βασικά εξαρτήματα των ανεμογεννητριών ώστε να γίνουν κατανοητά τα μέρη όπου μπορεί να εμφανίζονται βλάβες κατά την λειτουργία αυτών και να δικαιολογηθεί η επιλογή του συστήματος παρακολούθησης που θα δούμε στο πέμπτο κεφάλαιο αναλυτικότερα. Τέλος, δόθηκαν οι διάφορες τοπολογίες τις οποίες μπορεί κανείς να συναντήσει στις ανεμογεννήτριες, δηλαδή σε αιολικά πάρκα τόσο σε ξηρά όσο και μέσα στη θάλασσα.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα γίνει μια ανασκόπηση στη διεθνή εμπειρία όσον αφορά την παρακολούθηση βλαβών σε Α/Γ και τρόπους παρακολούθησης, ελέγχου και συντήρησης αυτών ανά τον κόσμο.

Κεφάλαιο 2: Διεθνής εμπειρία σε συντήρηση και έλεγχο βλαβών σε αιολικά πάρκα

Παρατηρώντας μια μεμονωμένη ανεμογεννήτρια να σταματά και να ξεκινά φαίνεται λογικό να συμπεραίνει κανείς ότι όσο πιο πολλά τέτοια μηχανήματα κατασκευάζονται το αποτέλεσμα μόνο αναξιόπιστο μπορεί να είναι. Κοιτώντας τις ηλεκτρικές πυλώνες, είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς ότι ο ηλεκτρισμός ρέει μέσα στα καλώδια υπάρχει πάντα εκεί, πάντα αξιόπιστο.

Έτσι, στο κεφάλαιο αυτό έχει γίνει μια διεθνή βιβλιογραφική ανασκόπηση για τη συγκέντρωση όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών πάνω στον έλεγχο βλαβών και στη συντήρηση ανεμογεννητριών σε αιολικά πάρκα ανά τον κόσμο.

2.1 Ανίχνευση και αναγνώριση βλάβης για συστήματα ανεμογεννητριών: Μια ανάλυση σε κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα

Η εργασία των Donders et al (2004) κάνει μια αποτίμηση της χρησιμότητας μεθόδων κύριου-χρόνου Ανίχνευσης και Αναγνώρισης Βλάβης (FDI) για εφαρμογή σε Ανεμογεννήτρια Οριζόντιου Άξονα (HAWT) στην οποία πραγματοποιείται έλεγχος κατά μήκος του άξονα έως το περύγιο. Λαμβάνονται υπόψη δυο σενάρια: η εκτίμηση ενός άγνωστου γρήγορου μηχανισμού κίνησης και ενός άγνωστου μηχανισμού κίνησης με καθυστέρηση. Ο άνεμος δρα σαν ταραχή στο σύστημα, για το οποίο δεν είναι διαθέσιμη καμία μέτρηση. Ένα γραμμικό μοντέλο HAWT έχει σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί σαν προσομοιωμένο περιβάλλον. Έχουν επίσης ερευνηθεί δυο προσεγγίσεις βασισμένες σε παρατηρητή, το φίλτρο διακριτού χρόνου του Kalman και το Αλληλεπιδραστικό Μοντέλο Πολλαπλού εκτιμητή (IMM). Και οι δυο μέθοδοι επέτρεψαν την ταυτόχρονη εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου και την ελαττωματική αύξηση του αξονικού βήματος του μηχανισμού κίνησης (faulty pitch actuator gain). Αν συγκριθεί με το φίλτρο διακριτού χρόνου του Kalman, ο εκτιμητής IMM είναι περισσότερο ασταθής.

2.2 Άμεση διάταξη βλάβης μέσω ελέγχου ανεμογεννητριών

Σύμφωνα με το απόσπασμα της μελέτης αυτής οι κώδικες ενός ηλεκτρικού δικτύου ισχύος απαιτούν από τα αιολικά πάρκα μια επικάλυψη σε προσωρινές πτώσεις

τάσεις του πάρκου (βλάβες) [Mo, 2001]. Η έρευνα του IEC 61400-21 παρουσίασε ένα τυποποιημένο έλεγχο για την επιβολή για τις ικανότητες της άμεσης διάταξης. Σκοπός του IEC 61400-21 είναι η πραγματοποίηση ενός αριθμού πλήρων ελέγχων, χρησιμοποιώντας ένα μικρό προσομοιωτή ώστε να δημιουργήσει πτώση τάσης με συγκεκριμένη ένταση και διάρκεια στα τερματικά των Α/Γ. Απώτερος μεν σκοπός είναι τα αποτελέσματα αυτών των ελέγχων να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να ελέγχουν την συμμόρφωση στις απαιτήσεις του κώδικα ηλεκτρικού δικτύου.

Η εργασία αυτή παρουσιάζει πειραματικά και προσομοιωμένα αποτελέσματα από τον έλεγχο αξιοπιστίας της προτεινόμενης μεθόδου ελέγχου και κύρια συνεισφορά αυτής είναι η αξιολόγηση της καινούριας μεθοδολογίας ελέγχου βλαβών των ανεμογεννητριών. Επίσης γίνεται μια περιγραφή και αξιολόγηση των καθορισμένων τεχνικών ανίχνευσης βλαβών στα αιολικά πάρκα. Η μεθοδολογία είναι βασισμένη σε ένα συνδυασμό μετρήσεων και προσομοιώσεων. Οι μετρήσεις πάρθηκαν ενώ ο προσομοιωτής προκαλεί μια πτώση τάσης στα τερματικά των ανεμογεννητριών. Κύριος στόχος είναι τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογήσουν ένα προσομοιωμένο μοντέλο το οποίο κατ' επέκταση θα καθορίσει την συμμόρφωση με το κώδικα ηλεκτρικού δικτύου. Να σημειωθεί επίσης ότι η μεθοδολογία ελέγχθηκε σε εργαστηριακή εγκατάσταση και οι τυποποιημένοι έλεγχοι μέσω του προσομοιωτή πραγματοποιήθηκαν σε εργαστήριο. Επίσης, καθιερώνεται ένα προσομοιωμένο μοντέλο βασισμένο στα αποτελέσματα των συγκεκριμένων ελέγχων. Στη συνέχεια το προσομοιωμένο μοντέλο χρησιμοποιείται για να ελέγξει την συμμόρφωση με διαφορετικούς κώδικες ηλεκτρικών δικτύων. Τέλος, τα προσομοιωμένα αποτελέσματα συγκρίνονται με μετρήσεις στο εργαστήριο με σκοπό να ελεγχθεί η αξιοπιστία ότι οι προσομοιώσεις μπορούν να προβλέψουν σωστά συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της υποστήριξης βλαβών.

Οι κώδικες ενός ηλεκτρικού δικτύου ισχύος απαιτούν από τα αιολικά πάρκα μια άμεση διάταξη των πτώσεων τάσης του πάρκου. Αυτή είναι μια καθαρά καινούρια εξέλιξη και μέχρι στιγμή δεν υπάρχει αρκετή εμπειρία που να επιβεβαιώνει για το πώς ακριβώς τα αιολικά πάρκα αντιμετωπίζουν επιτυχώς αυτές τις απαιτήσεις.

Δεν είναι φανερό ότι αυτή η προσέγγιση είναι επαρκής αφού ερευνά σε ποιο βαθμό ένας αριθμός συγκεκριμένων ελέγχων με καθορισμένη πτώση τάσης

μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψουν σωστά την δυνατότητα άμεσης διάταξης για διαφορετικά μεγέθη πτώσης τάσης.

Μέσα από την μελέτη συμπεραίνουμε ότι:

-Απαιτείται μια τυποποιημένη μέθοδος για άμεση διάταξη βλαβών ενόψει των απαιτήσεων των κωδικών ηλεκτρικών δικτύων.

-Η επόμενη αναθεώρηση του IEC 61400-21 θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια συγκεκριμένη μεθοδολογία.

2.3 Το εγχειρίδιο των βλαβών και της συντήρησης

Το απόσπασμα της βιβλιογραφικής αυτής μελέτης έχει διεξαχθεί για να καλύψει νομικά το Lagerwey LW50/750 και τις ανεμογεννήτριες Enron 1.5S. Επικυρώνει την επίγνωση της εφαρμογής τεχνικών κατάστασης παρακολούθησης και ελέγχου. Αναγνωρίστηκαν οι πιο ενδιαφέρουσες περιοχές λαμβάνοντας υπόψη την τέχνη μεθόδων παρακολούθησης και ελέγχου [Werbruggen, 2003].

Η ECN, το 1999 απέκτησε το δικαίωμα νομικής δράσης για περαιτέρω έρευνα της εφαρμογής της παρακολούθησης και ελέγχου ανεμογεννητριών. Με την οικονομική στήριξη των NOVEM, η ECN έφερε εις πέρας το πρόγραμμα WT_Ω.

Το πρόγραμμα αυτό είναι μια ανάμειξη των τριών παρακάτω:

- Μιας βιβλιογραφικής μελέτης πάνω στις διαθέσιμες τεχνικές παρακολούθησης και ελέγχου, περιλαμβανόμενης και μιας συλλογής τεχνικών οι οποίες έχουν επιπρόσθετη αξία για τις ανεμογεννήτριες
- της εγκατάστασης ανεμογεννητριών και της επίδειξης κάποιων από των επιλεγμένων τεχνικών παρακολούθησης και ελέγχου
- της αναγνώρισης νέων περιοχών για περαιτέρω ανάπτυξη όπως νέοι αισθητήρες, αλγόριθμοι και ενσωματωμένα συστήματα

Για το δεύτερο μέρος της εργασίας επιλέχτηκε ένα πρωτότυπο της Lagerwey της Windmaster LW 50/750. Μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της Α/Γ είναι ότι η εγκατάσταση οργάνων για μετρήσεις φορτίου ήταν ήδη έτοιμη για πιστοποίηση. Έτσι, για το πρόγραμμα της κατάστασης παρακολούθησης και ελέγχου έπρεπε μόνο να προστεθούν επιπρόσθετες μετρήσεις με σκοπό να επεξεργαστούν οι παράμετροι. Κρίσιμα υποσυστήματα όπου προσθέτουν ιδιαίτερη σημασία στην όλη κατάσταση ελέγχου και παρακολούθησης είναι το σύστημα των γραναζιών και το κύριο έδρανο του άξονα.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της ανεμογεννήτριας είναι η απουσία κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο θεωρείται ως το κύριο εξάρτημα όπου μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση του κόστους όταν ανιχνεύονται βλάβες πολύ νωρίς. Επίσης, το κύριο έδρανο άξονα δεν είναι αντιπροσωπευτικό χαρακτηριστικό για τα συνηθισμένα σχέδια Α/Γ.

Για ένα ανεπτυγμένο ερευνητικό έργο κατάστασης παρακολούθησης και ελέγχου είναι απαραίτητη μια σταθερή κατάσταση λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να μπορεί να αναγνωρίζεται η αλλαγή της κατεύθυνσης σε χαρακτηριστικά σήματα. Το πρωτότυπο της Lagerwey προορίστηκε για την συχνή αντικατάσταση των εξαρτημάτων και τον έλεγχο του λογισμικού. Επειδή όμως δεν μπορούσε να εξασφαλιστεί η σταθερή κατάσταση λειτουργίας, το πρόγραμμα μέτρησης ακυρώθηκε.

Με σκοπό να έρθει σε πέρας το δεύτερο μέρος του ερευνητικού προγράμματος, επιλέχτηκε μια άλλη ανεμογεννήτρια για τις μετρήσεις. Η Α/Γ ENRON 1, η οποία ανήκει στην Siemens και τοποθετήθηκε στην Zoetermeer και φάνηκε να είναι πιο κατάλληλη για το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα γιατί κύριος σκοπός είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού και το σχέδιο μπορεί να θεωρηθεί σαν τυπικό. Τα κινητήρια γρανάζια είναι συμβατικά, περιλαμβανομένου και του κιβωτίου ταχυτήτων, λειτουργεί με ευμετάβλητη ταχύτητα και έχει τρία ανεξάρτητα ηλεκτρικά συστήματα γραναζιών. Εκτός από αυτό η Siemens ενδιαφέρθηκε επίσης και για το πρόγραμμα σε ότι αφορά την συντήρηση για εφαρμογές του ανέμου μεσοθαλάσσια.

Δυστυχώς, ο χρόνος καθυστέρησης στο πρόγραμμα που προκλήθηκε από τη μη διαθεσιμότητα της Α/Γ Lagerwey, ο χρόνος που χρειάστηκε για την εγκατάσταση οργάνων και τη μελέτη για την Α/Γ Lagerwey όπως ακριβώς και για την Α/Γ ENRON κατέληξε να είναι τόσο χρονοβόρα που τελικά η τρίτη φάση δεν μπόρεσε να διεξαχθεί. Το σύστημα μετρήσεων για την Α/Γ ENRON τέθηκε σε εφαρμογή και θα χρησιμοποιηθεί σε ένα επιτυχημένο πρόγραμμα.

Σημαντικό παραπροϊόν του έργου είναι η αξιοποίηση της τεχνολογίας μέτρησης οπτικών ινών. Οι τεχνικές αυτές προσφέρουν μεγάλο δυναμικό όσο αφορά τον έλεγχο και την παρακολούθηση των πτερυγίων της Α/Γ και στη μείωση φορτίου. Ένα πρώτο σύστημα μέτρησης εγκαταστάθηκε στην ανεμογεννήτρια DOWEC για μετρήσεις φορτίου. Περισσότερη αξιοποίηση θα έχει ως αποτέλεσμα άμεσα

παραδοτέους αισθητήρες και εγκατάσταση οργάνων, τα οποία μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στο σύστημα ελέγχου των ανεμογεννητριών.

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε από αυτό το ερευνητικό έργο μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Υπάρχει ένα ραγδαία αυξημένο ενδιαφέρον για έλεγχο και παρακολούθηση των ανεμογεννητριών.
- Συστήματα, τα οποία βασίζονται σε αναλύσεις παλμικών κινήσεων και έχουν αναπτυχθεί για άλλους τομείς της βιομηχανίας, είναι διαθέσιμα.
- Η αποτελεσματικότητα ενός καθορισμένου συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης ανεμογεννητριών δεν έχει ακόμα αποδειχθεί.
- Εκτός από τις καθορισμένες τεχνικές παρακολούθησης και ελέγχου, υπάρχουν επίσης δυνατότητες για πιο ειδικευμένες εφόδια τα οποία μπορούν να μπουν σε εφαρμογή στο σύστημα ελέγχου των ανεμογεννητριών.
- Οι ενέργειες υιοθέτησης και εξακρίβωσης μιας καθορισμένης μεθόδου παρακολούθησης και ελέγχου για τις Α/Γ καθώς επίσης οι απαιτήσεις για ανάπτυξη ειδικευμένων λειτουργιών θα χρειαστεί μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Μια λειτουργία μέτρησης η οποία είναι διαθέσιμη για μεγάλο διάστημα και η οποία είναι εξοπλισμένη με ευέλικτα εφόδια επικοινωνίας είναι πολύ σημαντικό για την ανάπτυξη και την βελτίωση συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου.

2.4 Κατάσταση υψηλού επιπέδου παρακολούθησης για Α/Γ

Η μελέτη αυτή αφορά την δημιουργία ενός πρόγραμμα υψηλού επιπέδου κατάστασης παρακολούθησης υπό το πρόγραμμα KRAFT/JOULE III, σύμβασης JOR3-CT98-7025 [Holst-Jensen, 2001].

Σκοπός ήταν η ανάπτυξη μεθόδων παρακολούθησης βλαβών και λειτουργίας των τουρμπίνων με σκοπό την βελτιστοποίηση της παραγωγή, το να αποφευχθεί ο μειωμένος χρόνος ζωής των κύριων συστατικών και τη μείωση προκαλούμενων ζημιών από ελαττωματικά συστατικά.

Οι μέθοδοι δεν πρέπει να απαιτούν εντατικές μετρήσεις και πρέπει να είναι τόσο φτηνές κατά την εκτέλεσή τους ώστε να μπορούν να δικαιολογηθούν οι μόνιμες εγκαταστάσεις.

Η εργασία χωρίστηκε σε τρεις συστηματικές προσέγγισης: το σύστημα του δρομέα, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και στις αστοχίες μηχανικών εξαρτημάτων.

Η ανίχνευση βλαβών σε σύστημα όπως λάθος εκτροπής και λαθών που προκαλούν ασυμμετρία στη διαμόρφωση του στροφέα όπως άνιση ρύθμιση κλίσης, αστοχία αερόφρενου, αδύναμος δρομέας, αστάθεια κτλ.

Οι βλάβες ανιχνεύονται από ηλεκτρικό σήμα ή και σήματα από επιταχυνσιόμετρο του θαλάμου. Η ανάλυση πραγματοποιείται με τη χρήση μεθόδων φασματικής ανάλυσης. Για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα υπολογίζεται η PSD (φασματική πυκνότητα ενέργειας) για μια χαρακτηριστική συχνότητα. Για το ίδιο χρονικό διάστημα υπολογίζονται επίσης η μέση ταχύτητα του ανέμου και η ανατάραξη της έντασης. Τότε η PSD συγκρίνεται με κάποια δεδομένα αναφοράς χωρίς λάθη. Σημαντικές διαφορές στην PSD σημαίνει ότι υπάρχει λάθος.

Τέλος, στην εργασία αυτή ως σημείο αναφοράς επιλέχθηκε ένα μοντέλο ανεμογεννήτριας (Norwin 46/600 kW). Έχει μοντελοποιηθεί σε ένα αερολαστικό κώδικα και λειτουργική κατάσταση και έχει γίνει προσομοίωση βλαβών. Οι προσομοιώσεις τροφοδοτήθηκαν από μετρήσεις μιας ανεμογεννήτριας όμοια με τη μοντελοποιημένη. Οι μέθοδοι παρακολούθησης αναπτύχθηκαν με μια επαναληπτική διαδικασία χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις καθώς και μετρήσεις. Οι τελικές επιβεβαιώσεις των μεθόδων πραγματοποιήθηκαν με μετρήσεις κατά προσέγγιση πιθανές.

2.5 Μέθοδοι διάγνωσης βλαβών για τμήμα θερμικού υποσταθμού

Το τμήμα θερμικού υποσταθμού είναι μια απαραίτητη διαδικασία για την διάγνωση βλαβών. Η διαδικασία είναι μη γραμμική, τα φορτία ενός τμήματος θερμικού δικτύου αλλάζουν απρόβλεπτα και η τυποποιημένη εγκατάσταση οργάνων είναι σχεδιασμένη μόνο για σκοπούς ελέγχου και παρακολούθησης, όχι για αυτοματοποιημένη διάγνωση. Επιπλέον εγκατάσταση οργάνων σημαίνει επιπρόσθετο κόστος το οποίο συνήθως δεν είναι αποδεκτό από τους καταναλωτές. Για το λόγο αυτό οι συμβατικές μέθοδοι δεν είναι εφαρμόσιμες σε αυτό το περιβάλλον. Εδώ, παρουσιάζονται πέντε προσεγγίσεις διάγνωσης βλαβών [Pakanen, 1996]. Κατά την εξέλιξη αυτών των μεθόδων, διάφορες απόψεις και δυνατότητες έπρεπε να ληφθούν υπόψη ώστε να επιτευχθούν πραγματικές λύσεις. Οι μέθοδοι που παρουσιάζονται είναι: κατηγοριοποίηση βλαβών χρησιμοποιώντας τοποθέτηση δεικτών απόδοσης, στατική και φυσική μοντελοποίηση του εξοπλισμού της διαδικασίας, θερμική ισορροπία της διαδικασίας, λογικό διάγραμμα βλαβών με αλληλεπίδραση και στατιστικοί έλεγχοι. Οι μέθοδοι αυτοί εφαρμόζονται

σε μια βαλβίδα ελέγχου, έναν θερμικό εναλλάκτη, μια συσκευή διαχωρισμού λάσπης και στην όλη διαδικασία. Οι εξελιγμένες μέθοδοι επαληθεύονται στην πράξη χρησιμοποιώντας προσομοίωση, εξομοίωση ή τοπικούς ελέγχους.

2.6 Ο Διαχειριστής Συντήρησης

Με την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, σχεδιαστές, κατασκευαστές, ιδιοκτήτες και οι ερευνητές δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στο να ελαττώσουν τα λειτουργικά κόστη κατά τη διάρκεια ύπαρξής τους έτσι ώστε να βελτιώσουν τα οικονομικά των έργων της αιολικής ενέργειας. Ειδικά τα οικονομικά των θαλάσσιων αιολικών πάρκων εξαρτάται αποκλειστικά από την κατάσταση βλαβών που εμφανίζεται στις Α/Γ [Rademakers, 2001]. Μια ικανοποιητική στρατηγική συντήρησης με σκοπό ένα αξιόπιστο σχεδιασμό είναι πολύ κρίσιμο για τα οικονομικά των μελλοντικών έργων της αιολικής ενέργειας. Για την ανάπτυξη μιας τέτοιας στρατηγικής είναι απαραίτητο να γίνει ξεκάθαρη η συμπεριφορά εμφάνισης βλαβών στις Α/Γ και στον εξοπλισμό των αιολικών πάρκων. Για να διευκολυνθεί μια τέτοια ανάγκη το Κέντρο Ενεργειακής Έρευνας της Ολλανδίας ECN και Σύμβουλοι Συντήρησης Baas & Roost BV ανέπτυξαν μια βάση δεδομένων η οποία είναι γνωστή ως *Διαχειριστής Συντήρησης* η οποία καθιστά ικανή την διαχείριση τακτικής συντήρησης, περιλαμβάνοντας την συλλογή και την ανάλυση δεδομένων βλαβών και συντήρησης. Αυτό το επίτευγμα εκτελέστηκε μέσα στο ερευνητικό έργο «Ανάπτυξη πληροφοριακού συστήματος συντήρησης για Α/Γ». Ο διαχειριστής συντήρησης προγραμματίστηκε βασισμένος σε ιδιαιτερότητες που ανακάλυψε σε συνεργασία με τον Lagerwey το WindMaster BV και άλλους κατασκευαστές ανεμογεννητριών.

Τα πιο κοινά πληροφοριακά συστήματα συντήρησης που χρησιμοποιούνται επιτρέπουν τον καθημερινό σχεδιασμό συντήρησης, δημιουργούν φόρμες εργασίας για τους τεχνικούς και είναι εξοπλισμένα με ημερολόγιο λειτουργίας. Όλα αυτά παρουσιάζονται στο Διαχειριστή συντήρησης αλλά επιπρόσθετα αυτός είναι εξοπλισμένος με μοναδικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στους κατασκευαστές ανεμογεννητριών την δυνατότητα να εξασφαλίσουν ένα ανώτατο υπόβαθρο από τα δεδομένα βλαβών και συντήρησης με την ελάχιστη προσπάθεια

- Ο Διαχειριστής Συντήρησης είναι εξοπλισμένος με υποσύνολα FMECA (Μέθοδοι επίδρασης βλαβών και Ανάλυση Κρισιμότητας) περικλείοντας και

βιβλιοθήκες με τα πιο κοινόχρηστα FMECA που χρησιμοποιούνται στα εξαρτήματα των ανεμογεννητριών και έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Οι μέθοδοι αστοχίας και επιδράσεων που καθορίζονται στα υποσύνολα FMECA παρέχουν τους τεχνικούς με επιπρόσθετες πληροφορίες πάνω στις βλάβες και αυξάνουν την ποιότητα και απλότητα της καταγραφής βλαβών σε ελάχιστο χρόνο
 - Οι FMECA διευκολύνουν τις στρατηγικές συντήρησης που βασίζονται στην αναμενόμενη βλάβη και τα σχετικά οικονομικά ρίσκα.
- Ο Διαχειριστής Συντήρησης επιτρέπει τον έλεγχο του συνόλου των ανεμογεννητριών σε ένα έργο.
- Τα δεδομένα της συντήρησης και των βλαβών σε ένα πάρκο με μεγάλο αριθμό Α/Γ μπορεί να αναλυθεί πολύ εύκολα και από το τεχνικό τμήμα αλλά και από το τμήμα R&D. Αναλύσεις οι οποίες είναι διαθέσιμες στο σύστημα μεταξύ άλλων είναι:

Κατάταξη : σύγκριση ενός αριθμού βλαβών, χρόνου σταματήματος, κόστη, βλάβες που προκαλούνται ανά περιοχή, ανά πάρκο, ανά ανεμογεννήτρια, ανά κεντρικό σύστημα, ανά εξάρτημα

Αναλύσεις γραμμής ανάπτυξης Έρευνα ρυθμού βλαβών για ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και αποτίμηση βελτιώσεων ή αποτελεσματικότητας στρατηγικής συντήρησης

Στατιστικές αναλύσεις Καθορισμός δεδομένων RAM(αξιοπιστία, διαθεσιμότητα, ικανότητα συντήρησης και ασφάλεια) από ένα μεγάλο πλήθος για νέα σχέδια Α/Γ π.χ. δεδομένα MTTF(Μέσος χρόνος για να αστοχήσει) και MTTR(Μέσος χρόνος για να επισκευαστεί)

Έρευνα εξαρτημάτων Σύγκριση ρυθμού βλαβών για διάφορους προμηθευτές

Τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν και στο MS Excel και σε Access αν απαιτούνται επιπρόσθετες αναλύσεις.

Τον Ιανουάριο του 2001 ο Διαχειριστής Συντήρησης έγινε διαθέσιμος σαν μια μεμονωμένη υποδειγματική εκδοχή για επιτόπια χρήση. Σ' αυτή είναι διαθέσιμα όλα τα χαρακτηριστικά οποία έχουν ελεγχθεί και επικυρωθεί. Τους επόμενους μήνες, το σύστημα θα εμπλουτιστεί με αυτόματα δεδομένα μεταφοράς και ρουτίνες

για τον συγχρονισμό των δεδομένων με τα κεντρικά, περιφερειακά και τοπικά συστήματα. Η προκαθορισμένη γλώσσα είναι τα Αγγλικά αλλά υπάρχουν και εναλλακτικές διαφορετικές γλώσσες.

Για να διανεμηθεί ο Διαχειριστής Συντήρησης στην αγορά της αιολικής ενέργειας, οι ECN και B&R έχουν υπογράψει ένα συμφωνητικό διανομής. Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι η ECN παρέχει την συμβουλή στην αιολική ενέργεια ενώ η B&R παρέχει την γνώση για την τεχνολογία της συντήρησης και την ανάπτυξη λογισμικού. Για να εξασφαλιστεί ότι οι καινούριοι πελάτες (κατασκευαστές, ανεξάρτητες εταιρίες, ιδιοκτήτες πάρκων) μπορούν να εργαστούν επιτυχώς με τον Διαχειριστή Συντήρησης, οι ECN και B&R θα πουλήσουν την άδεια μόνο μαζί με την διαδικασία υλοποίησης. Αυτό περιλαμβάνει την εγκατάσταση, την εκπαίδευση προσωπικού και βοήθεια στον προσδιορισμό των A/G και FMEA. Επιπλέον, οι ECN και B&R θα οργανώνουν ελέγχους αποτίμησης σε μόνιμη βάση από την στιγμή που εγκαθίσταται ο Διαχειριστής Συντήρησης.

Ο Διαχειριστής Συντήρησης με λίγα λόγια είναι μια βάση δεδομένων για συλλογή, ανάλυση και ιστορικό δεδομένων αστοχιών και συντήρησης μεγάλων ανεμογεννητριών με τρόπο απλό και δομημένο. Σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις οδηγίες οι οποίες αναλύονται εκτενέστατα στην εργασία.

2.7 Ανεμογεννήτρια Bently Nevada: Κατάσταση ελέγχου, παρακολούθησης και διάγνωσης βλαβών

Το Πακέτο Εφαρμογών για Ανεμογεννήτριες είναι ένα λογισμικό πακέτο διάγνωσης για παρακολούθηση και έλεγχο ανεμογεννητριών μέσω υπολογιστή [GEA, 2004]. Ειδικότερα σχεδιάστηκε για να δουλέψει με το hardware Bently Nevada Trendmaster* Dynamic Scanning Module (DSM) και τη βάση δεδομένων GE's System 1*. Το πακέτο αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την διάγνωση σημαντικών παραμέτρων μηχανικής κατάστασης της ανεμογεννήτριας όπως η δόνηση και η θερμοκρασία. Αυτή η λύση μέσω υπολογιστή επιτρέπει στους χειριστές και στο προσωπικό της συντήρησης να συσχετίζουν πληροφορίες που σχετίζονται με το μηχανικό κομμάτι και άλλες λειτουργικές πληροφορίες όπως ταχύτητα μηχανής, ηλεκτρικό φορτίο και ταχύτητα ανέμου. Από αυτή την πληροφορία η κατάσταση της ανεμογεννήτριας είναι καλύτερα κατανοητή και προληπτικές αποφάσεις μπορούν να παρθούν όσο αφορά την συντήρηση, το πρόγραμμα και την ασφαλή λειτουργία των μονάδων. Για την ανάπτυξη αυτού του

νέου συστήματος παρακολούθησης για την παρακολούθηση και τον έλεγχο A/Γ η ομάδα της Bently Nevada άντλησε μέσα στα 40 χρόνια εμπειρία στο χώρο της μηχανικής παρακολούθησης και αποδεδειγμένη τεχνολογία. Μία σειρά από επιταχυνσιόμετρα, αισθητήρες αριθμού στροφών άξονα και προαιρετικοί αισθητήρες για την μέτρηση της κάθετης δόνησης του πύργου, της θερμοκρασίας του εδράνου του άξονα και την λίπανση (κατάσταση λαδιού) προσθέτονται στα εξαρτήματα του οδηγού κίνησης (drive train). Δεδομένα της κατάστασης της μηχανής συνεχώς ελέγχονται με δειγματοληψία και προαπαιτούνται από την Trendmaster DSM που βρίσκεται στο κάλυμμα του κινητήρα στο πάνω μέρος του πύργου. Συνδέσεις οπτικών νεύρων εξαντλούν τον πύργο από το DSM μέχρι τα υπάρχοντες διακόπτες.

Το System 1 παρέχει το πλεονέκτημα για μια διαχείριση λογισμικού-λύση σε όλο το δίκτυο του αιολικού πάρκου. Αυτό το υψηλά ικανό πακέτο προσφέρει υψηλή ανάλυση των αποκτημένων δεδομένων, γενική κατεύθυνση, καλά εξεζητημένο συναγερμό και ειδοποίηση χρήστη. Καθώς οι A/Γ έμφυτα έχουν υψηλά επίπεδα θορύβου δονήσεων το DSM και το λογισμικό System 1 χρησιμοποιούν μια μέθοδο δυναμικών δεδομένων η οποία καλείται ενσωματωμένη επιτάχυνση (acceleration enveloping) ώστε να επαυξηθούν τα σήματα της επιτάχυνσης επιτρέποντας έτσι γρήγορη ανίχνευση επιπέδου μικρών δομήσεων που αλλάζει την οριστική κυλινδρικό έδρανο του άξονα και τη φθορά γραναζιού. Στενά δεμένο με το System 1 η Υποστήριξη Αποφάσεων με το RuleDesk* ενεργοποιούν ιδιοφυής συναγερμούς και ενημερώσεις και προσαρμογή σε κανόνες βασισμένους σε γνώση. Στην περίπτωση του «τι έγινε, που, τότε, πόσο άσχημα είναι και τι πρέπει να γίνει γι' αυτό» τότε αυτό αυτόματα ενημερώνει το προσωπικό το οποίο θα ενεργήσει έτσι ώστε να επηρεάσει τον σχεδιασμό της λειτουργίας και της συντήρησης.

2.8 Ένα σύστημα για αιολικά πάρκα: CleverFarm[®]

Το πρόγραμμα του Έξυπνου Πάρκου μπήκε σε εφαρμογή για να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου για τα αιολικά πάρκα, όπου όλες οι πληροφορίες θα είναι διαθέσιμες και θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πάρκα για θέματα συντήρησης ή υγιών εξαρτημάτων [Giebel et al, 2004]. Αυτό θα βοηθούσε του χειριστές των αιολικών πάρκων να

βάλουν προτεραιότητες στις προσπάθειές τους μιας και θα μπορούν να έχουν μια καλή ιδέα για την κατάσταση του πάρκου από το σπίτι τους. Μεγάλη έμφαση δόθηκε στην ολοκλήρωση των προσεγγίσεων παρακολούθησης και ελέγχου στο κεντρικό σύστημα, επιτρέποντας έτσι την εκτίμηση για την διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων, κυρίως στο κάλυμμα του κινητήρα.

Κατά την διάρκεια των 3.5 χρόνων αυτού του προγράμματος, λογισμικό και εξοπλισμός αναπτύχθηκαν και εγκαταστάθηκαν σε δυο αιολικά πάρκα στην Δανία και την Γερμανία. Το συνδεδεμένο hardware περιλαμβάνει 2 διαφορετικά συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου βασισμένα σε αισθητήρες δομήσεων των Gram&Juhl και ISET και επιπλέον ένα σύστημα κάμερας το οποίο ανέπτυξε Overspeed. Επιπρόσθετα, βραχυπρόθεσμες προβλέψεις για τα output των αιολικών πάρκων παραδόθηκαν από DMI και το σύστημα Risø's Prediktor καθ' όλη τη διάρκεια του προγράμματος. Όλες οι πηγές πληροφόρησης ολοκληρώνονται μέσω ενός web interface Java Server Pages.

Το λογισμικό υλοποιήθηκε σε Java και έγινε γνωστό ως CleverBeans. Το κύριο μέρος του λογισμικού είναι εύκολα προσιτό. Η αναφορά περιέχει τις εμπειρίες και τα αποτελέσματα μιας πειραματικής μεθόδου ενός χρόνου.

2.9 Προσομοίωση της επίδρασης της αιολικής ενέργειας στην αιφνίδια μεταβολή της τάσης λόγω βλάβης στο σκανδιναβικό σύστημα ενέργειας

Στην μελέτη αυτή ερευνάται η επίδραση της αιολικής ενέργειας λόγω βλάβης [Jauch et al, 2006]. Το σκανδιναβικό σύστημα ενέργειας αποτελείται από το αλληλένδετο σύστημα ενέργειας των χωρών Νορβηγία, Σουηδία, Φινλανδία και Δανία. Για τον σκοπό της έρευνας αυτής οι ανεμογεννήτριες που τοποθετούνται και συνδέονται στην ανατολική Δανία γίνονται το αντικείμενο μελέτης. Η τρέχουσα και η μελλοντική κατάσταση της αιολικής ενέργειας στην ανατολική Δανία μοντελοποιούνται και προσομοιώνονται βλάβες σε μικρό κλειστό κύκλωμα μέσα στο σύστημα. Οι προσομοιώσεις αποδίνουν πληροφορίες για το: 1) πως οι βλάβες επηρεάζουν τις ανεμογεννήτριες και 2) πως η αντίδραση των ανεμογεννητριών επηρεάζει την καταγεγραμμένη βλάβη στο σκανδιναβικό σύστημα ενέργειας.

Συμπεραίνεται ότι αύξηση της εισχώρησης της αιολικής ενέργειας οδηγεί σε πιο δυνατές ταλαντώσεις του συστήματος στην περίπτωση καθορισμένης ταχύτητας στις ανεμογεννήτριες. Έχει αποδειχτεί ότι η καθορισμένη ταχύτητα σε

ανεμογεννήτριες σε κάποιο βαθμό έχει σαν αποτέλεσμα οι προσωρινές βλάβες να έχουν αρνητική επίδραση στη δυναμική αντίδραση του συστήματος. Παρόλα αυτά όμως αυτές οι αρνητικές επιδράσεις μπορούν να μειωθούν αν εφαρμοστεί καλά σχεδιασμένος έλεγχος στις ανεμογεννήτριες.

2.10 Εκτίμηση βλάβης μέσω υπολογιστή για ενεργειακά συστήματα με βάση νευρωνικό δίκτυο

Η εκτίμηση βλάβης έχει πολύ μεγάλη σημασία για την αποκατάσταση των ενεργειακών συστημάτων [Bi et al, 2001]. Χρησιμοποιήθηκαν πολλές τεχνικές για να επιλύσουν αυτό το πρόβλημα. Στην μελέτη αυτή πραγματοποιείται η εφαρμογή νευρωνικών δικτύων (RBF NN) για την ανίχνευση βλάβης. Ο ορθογώνιος αλγόριθμος ελάχιστου τετραγώνου (OLS) έχει επεκταθεί με σκοπό την μεγιστοποίηση τον αριθμό των νευρωνικών που βρίσκονται σε κρυμμένα επίπεδα και τα βάρη σύνδεσης των RBF NN. Ένα κλασικό νευρωνικό δίκτυο διασποράς (BP NN) αναπτύχθηκε για να λύσει το ίδιο πρόβλημα για σύγκριση. Διεξάγονται έλεγχοι μέσω υπολογιστή και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το RBF NN είναι αποτελεσματικό και υπερέρχει του BP NN όσο αφορά την εκτίμηση βλάβης.

2.11 Εφαρμογές ANN σε συσκευές που δείχνουν βλάβη

Τελευταίες εξελίξεις έδειξαν πως τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN) μπορεί να είναι κατάλληλα για τους βοηθητικούς αποστολείς για τη λειτουργία ηλεκτρικών ενεργειακών συστημάτων [Purushothama et al, 2000]. Με το να είναι ο αλγόριθμος εύρεσης τοποθεσίας βλάβης το κλειδί στην ψηφιακή αναμετάδοση για την προστασία μεταφοράς ενέργειας, η μελέτη αυτή ασχολείται με την ουσιαστική εφαρμογή των μεθόδων ANN για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας της βλάβης και την αντίδραση της βλάβης στις γραμμές μεταφοράς EHV με απομονωμένο τέλος για τροφοδότηση. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές χρησιμοποιούν συμβατικά μοντέλα Πολλαπλών Επιπέδων Αντίληψης (MLP) τα οποία βασίζονται στον προηγούμενο αλγόριθμο διασποράς. Ωστόσο, το μοντέλο αυτό υστερεί από τον αργό ρυθμό μάθησης. Εδώ παρουσιάζεται μια τροποποιημένη τεχνική μάθησης ANN για την καθορισμό της τοποθεσίας της βλάβης και της αντοχής αυτής. Ένα λογικό μικρό NN κατασκευάζεται αυτόματα χωρίς εικασίες για το μέγεθος, το βάθος, τον τρόπο σύνδεσης του NN. Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά.

2.12 Αποτίμηση ανεμογεννητριών βασισμένη σε μοντέλα και συστήματα συντήρησης

Στη δημοσιευμένη αυτή μελέτη περιγράφεται η ανάπτυξη και χρήση ενός αρθρωτού μοντέλου συστηματικής δυναμικής για την ανάλυση της δυναμικής και την εκτίμηση της επίδοσης ανεμογεννητριών (Α/Γ) και των συστημάτων συντήρησής τους [Adamides et al, 2004]. Η συντήρηση Α/Γ στη διάρκεια του κύκλου ζωής τους σε ένα αιολικό πάρκο (ΑΠ) θεωρείται ως ένα δυναμικό σύστημα, του οποίου η συμπεριφορά επηρεάζεται από σειρά παραμέτρων συγκεκριμένων ως προς τα χαρακτηριστικά συντήρησης και αξιοπιστίας της ΑΓ, τις επιχειρησιακές απαιτήσεις και την υποδομή συντήρησης. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη αποφάσεων προμήθειας σε ένα ΑΠ, μέσα από την αξιολόγηση του συστήματος συντήρησης των Α/Γ, καθώς επίσης και για την κατανόηση και τον καθορισμό της συμπεριφοράς του συστήματος συντήρησης ώστε οι επιχειρησιακές προσαρμογές της υποδομής συντήρησης να διεξάγονται εμπεριστατωμένα.

2.13 Ανάλυση βλάβης με αρθρωτά νευρωνικά δίκτυα

Η αυτόματη διάγνωση βλάβης στα ενεργειακά συστήματα αποτελεί μια πρόκληση για την τεχνολογία υπολογιστών [Rodriguez, 1996]. Σαν μια εναλλακτική προσέγγιση για τα ειδικά συστήματα, τελευταία έχουν προταθεί πολλά νευρωνικά δίκτυα σαν λύσεις. Στην μελέτη αυτή μια αρθρωτή λύση βασισμένη σε νευρωνικά δίκτυα για τον χειρισμό συναγερμού σε ενεργειακά συστήματα και τη διάγνωση βλάβης περιγράφει ότι ξεπερνά τους περιορισμούς αναγκαστικών συναγερμών σε μικρά και τοπολογικά καθορισμένα ηλεκτρικά δίκτυα. Σε αντίθεση με τα μονοκρυσταλλικά συστήματα διάγνωσης, η προσέγγιση που παρουσιάζεται βασισμένη σε νευρωνικά δίκτυα εκπληρώνει τις απαιτήσεις της βαθμωτής και δυναμικής προσαρμοστικότητας της εφαρμογής. Τοποθετώντας ένα ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος σε αλληλένδετες υπομονάδες, η λειτουργική συμπεριφορά του ηλεκτρικού εξοπλισμού παρέχει την απαιτούμενη από το πρόβλημα ταχύτητα και ευελιξίας.

2.14 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια ανασκόπηση στην διεθνή εμπειρία όσο αφορά τον έλεγχο βλαβών και τη συντήρηση σε συστήματα παρακολούθησης ανά τον κόσμο. Μέσα από τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται βλέπουμε την αναγκαιότητα να υπάρξει μια ειδικευμένη τυπολογία όσον αφορά τις βλάβες με σκοπό την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί δίνονται αναλυτικά στατιστικά στοιχεία βλαβών καθώς και τυπολογία βλαβών με βάση τις καταγεγραμμένες βλάβες ανά τον κόσμο.

Κεφάλαιο 3:Τυπολογία και στατιστική ανάλυση βλαβών σε Α/Γ

3.1 Στατιστική ανάλυση βλαβών στον ελλαδικό χώρο

Η συγκεκριμένη στατιστική ανάλυση είναι τοποθετημένη σε ένα χρόνο λειτουργίας των έξι Α/Γ του Ο.Τ.Ε. οι οποίες είναι εγκατεστημένες στους σταθμούς Α/Γ στη Σύρο, την Πάρο, την Κέα, τη Ρόδο και την Κω [Φιλιππίδης et al, 1993].

Γενικά, οι παρακολουθούμενες και συντηρούμενες μηχανές δεν έχουν παρουσιάσει καμία βλάβη μέχρι σήμερα στα κύρια μέρη τους, όπως στα πτερύγια, την γεννήτρια, τον πολλαπλασιαστή, τα έδρανα και στο σύστημα προσανεμισμού. Τα προβλήματα στην λειτουργία των μηχανών και οι βλάβες εμφανίζονται κυρίως στον ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και οφείλονται βασικά στην κακή κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου των περιοχών που είναι εγκατεστημένες και κατά πολύ μικρό ποσοστό στις ιδιάζουσες καιρικές συνθήκες των περιοχών αυτών (πχ κεραυνοπτώσεις). Οι βλάβες αυτές είναι εύκολα αποκαταστάσιμες, δεν απαιτούν αντικατάσταση κατεστραμμένου εξοπλισμού και δεν έχουν προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στον συνολικό χρόνο λειτουργίας και στη διαθεσιμότητα των ανεμογεννητριών.

3.1.1 Σφάλματα λειτουργίας Α/Γ

Κατάσταση σφάλματος σε μια ανεμογεννήτρια θεωρείται οποιαδήποτε κατάσταση (χρόνος) κατά την οποία η Α/Γ δεν παράγει ενέργεια ανεξάρτητα από το αίτιο του σφάλματος. Τα αίτια που κατά συνέπεια επηρεάζουν την πραγματική διαθεσιμότητα ($TR = \text{Ώρες παραγωγής}/8760$) χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

- ο Σφάλματα κατά τα οποία η Α/Γ δεν είναι σε θέση να παράγει, παρόλο που είναι τεχνικά διαθέσιμη, για λόγους όπως: χαμηλή ένταση ανέμου, μη κανονικές συνθήκες δικτύου, ηθελημένη διακοπή, προγραμματισμένη συντήρηση κλπ, η αποκατάσταση των οποίων δεν επιφέρει απρόβλεπτη οικονομική επιβάρυνση του λειτουργικού κόστους.
- ο Σφάλματα που προκαλούν απρόβλεπτα μια διακοπή της παραγωγής και είναι άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένα με τεχνικά προβλήματα (βλάβες) του εξοπλισμού της ανεμογεννήτριας. Τα σφάλματα αυτά καθορίζουν την τεχνική διαθεσιμότητα της Α/Γ ($TA = 8760 - \text{ώρες βλαβών}/8760$) και η αποκατάστασή τους επιφέρει απρόβλεπτη οικονομική επιβάρυνση του λειτουργικού κόστους.

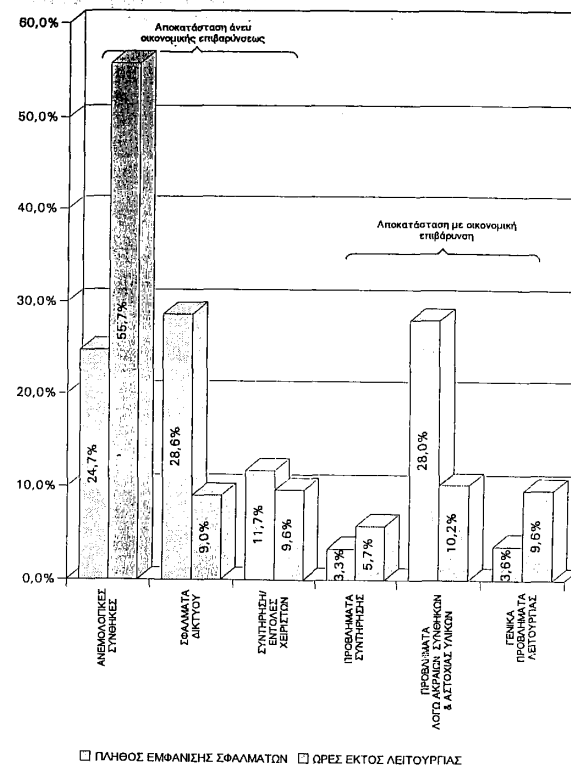
Η προγραμματισμένη συντήρηση περιελήφθη σκοπίμως στη δεύτερη κατηγορία σφαλμάτων, λόγω του σχετικά μικρού χρόνου που απαιτεί, της προέλευσης της κατά το πλείστον παράλληλα με την αποκατάσταση κάποιας τεχνικής βλάβης, της δυνατότητας υλοποίησης της σε περιόδους άπνοιας, καθώς και λόγω του ότι το κόστος αυτής δεν αποτελεί απρόβλεπτη επιβάρυνση.

Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε μια κατάταξη των λειτουργικών σφαλμάτων.

ΧΩΡΙΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	ΜΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ
ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ Χαμηλός άνεμος Υψηλός άνεμος	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ενεργοποίηση αεροδυναμικής πέδησης ▪ Κακή ρύθμιση κύριας πέδησης, φθαρμένα τακάκια ▪ Κακή ρύθμιση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ▪ Υπερθέρμανση από κακή λίπανση
ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΟΥ Υπόταση / Υπέρταση δικτύου Ασυμμετρία φορτίου Ανακολουθία φάσεων Σφάλματα συχνότητας	ΔΙΚΤΥΟ, ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ & ΥΛΙΚΑ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ψευδοσφάλματα οργάνων & αισθητήριων ▪ Καταστροφές Η/Μ υλικών από σκουριά & διάβρωση ▪ Αστοχία υλικών ▪ Προβλήματα Controller ▪ Υγρασία-Πάγος - Υπερθερμάνσεις
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ / ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Τακτική συντήρηση ▪ Εντολές χειριστών 	ΓΕΝΙΚΑ / ΑΝΩΤΕΡΑ ΒΙΑ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Καταστροφές από κεραυνοπτώσεις ▪ Καταστροφές ηλεκτρολογικού υλικού από ανωμαλίες δικτύου ▪ Απρόοπτα & Αταξινόμητα προβλήματα

Πίνακας 6: Κατάταξη λειτουργικών σφαλμάτων

ΠΗΓΗ: Τεχνικά



Σχήμα 5: Σφάλματα λειτουργίας Α/Γ ανά κατηγορία

ΠΗΓΗ: Τεχνικά

3.1.2 Σφάλματα χωρίς οικονομική επιβάρυνση

1. Ανεμολογικές συνθήκες

- **Χαμηλός άνεμος:** αποτελεί περίπου το 50% του συνολικού χρόνου ακινησίας των Α/Γ. Η διαδικασία εκκινήσεως αρχίζει εφ' όσον διαπιστωθεί ταχύτητα ανέμου για χρόνο 10 min πάνω από κάποιο παραμετρικό όριο. Το όριο κυμαίνεται μεταξύ 4,5-5 m/s, παρόλο που η εκκίνηση των Α/Γ είναι δυνατή από ταχύτητες 4 m/s και άνω, ώστε να αποφεύγεται ο άσκοπος και συνεχής προσανατολισμός των Α/Γ στους ασταθής χαμηλούς ανέμους και παράλληλα δεν αποφέρουν παρά ελάχιστη παραγωγή ενέργειας
- **Υψηλός άνεμος:** το όριο διακοπής λειτουργίας από υψηλό άνεμο ρυθμίζεται για ταχύτητες ανέμου μεταξύ 25-30 m/s για χρόνο 10 min. Η διακοπή λειτουργίας ενώ η Α/Γ παράγει είναι σπάνιο φαινόμενο. Το ποσοστό του 3% που εμφανίζεται στα διαγράμματα στη συνέχεια οφείλεται κατά το πλείστον σε μη επανεκκινήσεις των Α/Γ μετά από σφάλμα και ενώ επικρατούν πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμων, το όριο των οποίων είναι κατά 5 m/s μικρότερο του παραπάνω.

2. Σφάλματα δικτύου

- **Υπόταση / υπέρταση / πτώση δικτύου:** τα προβλήματα των νησιωτικών δικτύων αποτελούν μια από τις σοβαρότερες πηγές δυσλειτουργίας αλλά και βλαβών των ανεμογεννητριών.

Το φαινόμενο των καθημερινών διακοπών λειτουργίας από την κατηγορία των σφαλμάτων αυτών είναι σύνηθες και παράλληλα πολύ επικίνδυνο όταν αυτό συμπίπτει με ακραίες ανεμολογικές συνθήκες. Τα σφάλματα αυτά αποκαθίστανται αυτόματα μέσα σε 10 min μετά από την αποκατάσταση και επαναφορά του δικτύου στις προδιαγεγραμμένες συνθήκες και εφόσον δεν παρουσιαστούν άλλα σφάλματα δικτύου όπως αναφέρεται παρακάτω.

- **Ασυμμετρία φάσεων.** το σφάλμα αυτό παρουσιάζεται συνήθως είτε από προβλήματα μετασχηματιστών του δικτύου είτε από κακή λειτουργία (διαρροές) πυκνωτών αντισταθμίσεως άεργου ισχύος της ίδιας της ανεμογεννήτριας.

Η ανώτατη επιτρεπτή ασυμμετρία μεταξύ των φάσεων είναι παραμετρικό μέγεθος και ρυθμίζεται σε 20%. Είναι σφάλμα το οποίο εφ' όσον διαπιστωμένα προέρχεται από τα παραπάνω αίτια δεν επιφέρει ακινησία της Α/Γ μέχρι την αποκατάσταση του εξοπλισμού καθόσον τα μέγιστα όρια ασυμμετρίας μπορούν να αυξηθούν μέσω τηλεχειρισμών.

- **Ανακολουθία φάσεων:** το σφάλμα αυτό παρουσιάζεται συνήθως κατά την επανασύνδεση του δικτύου μετά από πτώση του και οφείλεται στη μη ταυτόχρονη σύνδεση των τριών φάσεων. Δημιουργεί απώλειες παραγωγής, καθόσον απαιτείται χειρισμός για την απαλοιφή του σφάλματος από τον Ελεγκτή, για λόγους ασφαλείας.

- **Σφάλματα συχνότητας:** λόγω της αναγκαιότητας για άμεση αναγνώριση προβλημάτων συχνότητας (ρύθμιση χρόνου υπέρβασης άνω ή κάτω του ορίου για χρονικό διάστημα μεταξύ 100-300 m/s) του Ελεγκτή παρουσιάζονται συχνά σταματήματα Α/Γ.

Παρόλο που η συχνότητα εμφανίζεται αρκετά σταθερή στα καταγεγραμμένα ηλεκτρονικά στοιχεία που παρακολουθούνται (μέσες τιμές των 2 sec) πρέπει να εμφανίζει στιγμιαίες υπερβάσεις των ορίων συχνότητας για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα της τάξεως των 100-200 m/s οι οποίες αναγνωρίζονται ως σφάλματα από τον Ελεγκτή.

Τα προβλήματα αυτά εξαφανίζονται με την αύξηση του επιτρεπόμενου χρόνου υπερβάσεως των ορίων σε 400-600 m/s, επιβεβαιώνοντας τις παραπάνω υποθέσεις μειώνοντας όμως την ασφάλεια λειτουργίας των Α/Γ.

3. Τακτική Συντήρηση / Εντολές Χειριστών

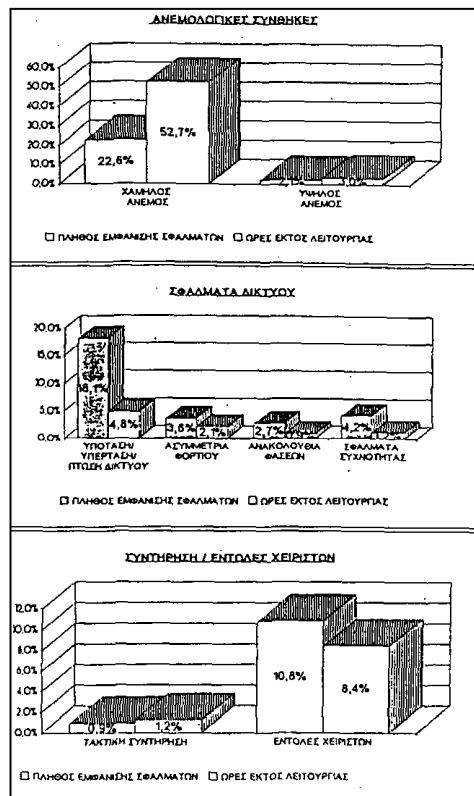
- **Τακτική συντήρηση:** η τακτική συντήρηση γίνεται τρεις φορές το χρόνο παρόλο που το πρόγραμμα του κατασκευαστή προτείνει δύο.

Ως επί το πλείστον η τακτική συντήρηση συνδυάζεται με την αποκατάσταση κάποιας βλάβης. Εκτελείται πάντα από ένα τουλάχιστον εξειδικευμένο άτομο και ένα βοηθό, ο οποίος τις περισσότερες φορές είναι υπάλληλος του ιδιοκτήτη της Α/Γ, ώστε να γίνεται παράλληλα και εκπαίδευση στη λειτουργία και συντήρηση του εξοπλισμού.

Η εκπαίδευση αυτή είναι απαραίτητη ειδικότερα για τις νησιώτικες περιοχές όπου ο τοπικός χειριστής θα κλιθεί να αναγνωρίσει τα αίτια ή και να αποκαταστήσει αρκετές φορές μικροβλάβες του εξοπλισμού.

Η διάρκεια της κάθε τακτικής συντήρησης διεξάγεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες αλλά και τις πρόσθετες εργασίες (έκτακτες αποκαταστάσεις βλαβών) που θα εκτελεστούν παράλληλα σε 5-8 h.

- **Εντολές χειριστών:** λόγω του πλήθους των προβλημάτων που προκαλούνται κατά την διάρκεια ιδιαιτέρως κακών μετεωρολογικών συνθηκών όπως κεραυνοπτώσεις, υπερτάσεις και διακοπές του δικτύου, οι τοπικοί χειριστές διακόπτουν ηθελημένα την λειτουργία των Α/Γ.



Σχήμα 6: Σφάλματα χωρίς οικονομική επιβάρυνση

ΠΗΓΗ: Τεχνικά

3.1.3 Σφάλματα με οικονομική επιβάρυνση αποκατάστασης

1. Προβλήματα συντήρησης

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται προβλήματα που προξένησαν απώλεια παραγωγής ή ακόμα και βλάβες, που οφείλονται σε ανθρώπινη αφέλεια ή αδυναμία ελέγχου των Α/Γ λόγω καιρικών συνθηκών κατά τις τακτικές συντηρήσεις αυτών.

- **Ενεργοποίηση αεροδυναμικής πέδης:** λόγω των μειώσεων της ευαισθησίας διάφορων μεγεθών που παρακολουθούνται από τον Ελεγκτή και για λόγους ασφαλείας, η ρύθμιση ενεργοποίησης της αεροδυναμικής πέδης γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη σύγχρονη ταχύτητα της πτερωτής.

Κατά τις τακτικές συντηρήσεις γίνεται πάντα έλεγχος και λίπανση του μηχανισμού απελευθέρωσης των ακροπτερυγίων. Επειδή όμως δεν είναι πάντα δυνατός ο έλεγχος του σε κανονική λειτουργία (άπνοια ή πολύ ισχυροί άνεμοι) και επειδή η ρύθμιση τους είναι οριακή, παρουσιάζονται περιοδικά ενεργοποιήσεις του συστήματος χωρίς να υπάρχει καταγραφή κάποιας ιδιαίτερης υπερστροφίας.

Παρόλο που η επαναφορά των ακροπτερυγίων σε θέση λειτουργίας είναι σχετικά απλός χειρισμός, δεν εκτείνεται από τους τοπικούς χειριστές γιατί ως επί το πλείστον πρέπει να γίνει και διόρθωση της ρυθμίσεως του μηχανισμού απελευθέρωσης.

- **Σύστημα κύριας πέδης:** το σύστημα πέδησης των Α/Γ μπορεί να είναι ηλεκτρομαγνητικό ή υδραυλικό. Στην περίπτωση που είναι ηλεκτρομαγνητικό πρέπει να γίνεται χειρονακτική ρύθμιση κάθε φορά που το διάκενο μεταξύ δίσκου και τακακίων υπερβεί το 1 mm.

Επειδή το πλήθος των σταματημάτων και ειδικότερα οι ανεμολογικές συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτά γίνονται είναι απρόβλεπτες, έχουν παρατηρηθεί ακινητοποιήσεις των Α/Γ λόγω ένδειξης «φθαρμένα τακάκια».

Το ίδιο πρόβλημα παρουσιάζεται επίσης σε περιπτώσεις κακής ρύθμισης ή και καταστροφής λόγω κακής ρυθμίσεως των αντίστοιχων αισθητηρίων αναγνώρισεως της καταστάσεως του συστήματος κύριας πέδησης.

- **Ρυθμίσεις ηλεκτρολογικού εξοπλισμού:** στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι λανθασμένες ή οριακές ρυθμίσεις θερμικών προστασιών και αισθητήριων από τις οποίες προκαλούνται σταματήματα Α/Γ παρόλο που υπό κανονικές συνθήκες δεν παρατηρείται πρόβλημα.

- **Υπερθερμάνσεις λόγω κακής λίπανσης:** αυτές παρατηρούνται κυρίως στους ηλεκτρομειωτήρες προσανατολισμού, σε περιπτώσεις που η λίπανση του αξονικού εδράνου περιστροφής δεν είναι επαρκής και ειδικότερα σε περιπτώσεις ασταθών ανέμων χαμηλής εντάσεως, όπου το σύστημα προσανατολισμού είναι σε διαρκή λειτουργία.

Έχει παρουσιαστεί επίσης στον πολλαπλασιαστή υπερθέρμανση των εδράνων υψηλής περιστροφής, από κακή ρύθμιση ή χαλάρωμα της συσφίξεως των οδηγών διοχέτευσης λιπαντικού στα αντίστοιχα έδρανα.

2. Δίκτυο, μετεωρολογικές συνθήκες & αστοχία υλικών

- **Ψευδοσφάλματα οργάνων & αισθητήρων:** αποτελούν την πλειονότητα από πλευράς πλήθους ακινητοποιήσεων των Α/Γ και προκαλούνται συνήθως από τις στιγμιαίες διακυμάνσεις του δικτύου από παρεμβολές μεταξύ των διαφόρων σημάτων από λανθασμένη επιλογή παραμέτρων λειτουργίας των διαφόρων μεγεθών του λογισμικού ελέγχου ή συνδυασμό αυτών, αλλά και από ελλείψεις στον σχεδιασμό του υλικού & λογισμικού των Ελεγκτών. Οι ελλείψεις αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι οι κατασκευαστές δεν παρατηρούν παρόμοια

φαινόμενα στις ομαλές συνθήκες λειτουργίας που επικρατούν στις περιοχές τους (Κεντρική Ευρώπη).

Η κατηγορία αυτή των σφαλμάτων είναι εύκολα αποκαταστάσιμη μέσω τηλεχειρισμών, εφ' όσον βέβαια δίνεται η δυνατότητα από το σύστημα τηλεελέγχου αλλά και από τον Ελεγκτή της Α/Γ, να διαπιστωθεί ότι πρόκειται περί ψευδοσφάλματος. Χωρίς τη δυνατότητα τηλεεπιτήρησης η κατηγορία των σφαλμάτων αυτών θα μείωνε σημαντικά την διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεων και κατά συνέπεια την παραγωγή ενέργειας.

Ο αριθμός των σφαλμάτων του είδους αυτού καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τους διαρκώς μειώνεται είτε λόγω των βελτιώσεων του λογισμικού των Ελεγκτών είτε λόγω προσθήκης ηλεκτρολογικών ή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και διατάξεων που προλαμβάνουν τη δημιουργία των σφαλμάτων αυτών (θωρακίσεις καλωδίων, τοποθετήσεις πυκνωτών, διόδων, Varistors κλπ)

- **Καταστροφές Η/Μ υλικών από διάβρωση:** παρόλη την ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό του εξοπλισμού και την αντιδιαβρωτική προστασία του θα υπάρξουν πάντα σημεία ή εξαρτήματα που χρειάζονται ιδιαίτερο έλεγχο και συντήρηση έναντι διαβρώσεων.

Από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν από διάβρωση είναι το μπλοκάρισμα του συστήματος πεδήσεως των ηλεκτρομειωτήρων περιστροφής από σκουριά με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση τους, καθώς και πλήρη καταστροφή του κινητήρα.

- **Αστοχία υλικών:** αστοχία υλικών έχει παρατηρηθεί μόνο σε μικροϋλικά και κυρίως ηλεκτρολογικά (αισθητήρια, μικροδιακόπτες, όργανα μετεωρολογικού ελέγχου κλπ), η οποία βέβαια προκαλεί σημαντική ακινησία της Α/Γ στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα μικροανταλλακτικά στον τόπο εγκατάστασης του εξοπλισμού.

- **Προβλήματα Ελεγκτή:** τα σφάλματα του ελεγκτή περιορίζονται συνήθως στην απώλεια των παραμέτρων λειτουργίας μετά από διακοπές του δικτύου σε περιπτώσεις κακής επαφής ή κατεστραμμένου συσσωρευτού διατηρήσεως της μνήμης του. Έχει παρατηρηθεί επίσης στιγμιαία απώλεια επικοινωνίας με το σύστημα τηλεελέγχου καθώς και μη πλήρης μεταφορά δεδομένων. Τα φαινόμενα αυτά σπανίζουν και ως εκ τούτου είναι αδύνατος ο εντοπισμός τους ακόμη και σε περίπτωση στην οποία οφείλονται στα υλικά και το λογισμικό του Ελεγκτή.

▪ **Υγρασία - Πάγος – Υπερθερμάνσεις:** λόγω του υψομέτρου των εγκαταστάσεων οι Α/Γ περικλείονται συχνά από ομίχλη με αποτέλεσμα να έχουν παρουσιαστεί βραχυκυκλώματα από υγρασία σε διάφορα βοηθητικά ηλεκτρικά συστήματα και αισθητήρια. Σε περιπτώσεις δε πολύ χαμηλών θερμοκρασιών έχει παρατηρηθεί πάγωμα και ακινησία του ανεμουρίου με αποτέλεσμα την ακινησία της Α/Γ λόγω αναγνώρισεως από τον Ελεγκτή του κατεστραμμένου οργάνου.

Για παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η καταστροφή στεγανού φανού αεροπλοΐας αλλά και σωμάτων φωτισμού της ατράκτου που βρέθηκαν γεμάτα νερό με αποτέλεσμα αντί να στεγανοποιείται πλέον, δημιουργούνται ανοίγματα απορροής.

Επίσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο παρουσιάζονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες στον ηλεκτρικό πίνακα και πίνακα του Ελεγκτή με αποτέλεσμα να επιβάλλεται ο συνεχής εξαερισμός τους πράγμα που εν γένει πρέπει να αποφεύγεται λόγω διαβρωτικού περιβάλλοντος.

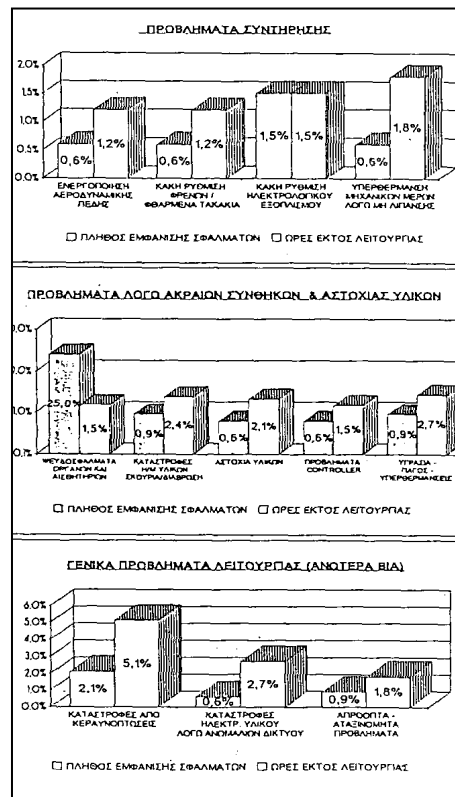
3. Γενικά προβλήματα / Ανωτέρα βία

▪ **Καταστροφές από κεραυνοπτώσεις:** αποτελούν το μεγαλύτερο πρόβλημα και από πλευράς ακινησίας αλλά και κόστους επισκευής των βλαβών.

Οι καταστροφές προέρχονται συνήθως από υπερτάσεις στις καλωδιώσεις ισχυρών αλλά και ασθενών ρευμάτων (τηλεφωνικές γραμμές, καλωδιώσεις διασυνδέσεως της Α/Γ με τον Η/Υ τηλεελέγχου) χωρίς να έχουν παρατηρηθεί καταστροφές από απ' ευθείας προσβολή των Α/Γ από κεραυνούς.

▪ **Καταστροφές ηλεκτρολογικού υλικού από ανωμαλίες δικτύου.** Για την αποφυγή ακινητοποιήσεων Α/Γ από τις διακυμάνσεις του δικτύου, τα όρια ελάχιστης τάσης είχαν αρχικά τοποθετηθεί στα 190 V, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν σοβαρά προβλήματα (καταστροφές) κυρίως σε πηνία του εξοπλισμού όπως πηνία των ρελέ, μετασχηματιστές κλπ από την αντίστοιχη αύξηση των ρευμάτων στα πηνία αυτά σε περιόδους υποτάσεων του δικτύου. Τα όρια αυτά έχουν πλέον αυξηθεί στα 205-210 V καθόσον δεν υπήρχε άλλη λύση έναντι των υποτάσεων, προκαλώντας βέβαια συχνότερα σταματήματα των Α/Γ.

- **Απρόοπτα και Αταξινόμητα προβλήματα:** στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα σταματήματα από λανθασμένους χειρισμούς, καταστροφές καλωδιώσεων από τρίτους ακόμα και ζώα κλπ



Σχήμα 7: Σφάλματα με οικονομική επιβάρυνση
ΠΗΓΗ: Τεχνικά

3.2 Στατιστική ανάλυση βλαβών σε τρεις χώρες της Ευρώπης

Όσον αφορά την Ευρώπη η μελέτη και εδώ των στατιστικών δεδομένων από τις Α/Γ είναι σημαντική μιας και δίνει γνώση για την αξιόπιστη απόδοση αυτών. Τα λειτουργικά δεδομένα θα επικυρώσουν αν η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος είναι σωστή και η εμπειρία που αποκτήθηκε από την ανάλυση των στατιστικών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε ανασχεδιασμό του εξαρτήματος ή ακόμα σε αλλαγή του προγράμματος συντήρησης [Ribrant, 2006].

Δυστυχώς όμως είναι δύσκολη η εύρεση στατιστικών δεδομένων των βλαβών για διάφορους λόγους όπως: δεν ήταν δυνατή η συλλογή δεδομένων, οι κατασκευαστές των Α/Γ αρνούνται να δώσουν λειτουργικά δεδομένα, τα δεδομένα δεν είναι πάντα συγκρίσιμα λόγω των διαφορετικών σχεδίων. Σύμφωνα με αυτή την διατριβή θα πρέπει τα δεδομένα που συλλέγονται να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις:

1. πρέπει να είναι συγκρίσιμα
2. πρέπει να είναι μέσα στην ίδια ή παρόμοια χρονική περίοδο
3. πρέπει να είναι αξιόπιστα

Στα στατιστικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία προέρχονται από 4 διαφορετικές πηγές, οι οποίες πληρούν τις παραπάνω απαιτήσεις και επίσης προέρχονται από την ίδια περιοχή, την βόρεια Ευρώπη.

Πιο συγκεκριμένα οι δυο πρώτες πηγές προέρχονται από την Σουηδία και επικαλύπτουν μερικώς η μια την άλλη. Μια σύγκριση των πηγών φαίνεται στον πίνακα 1.

1. Driftuppföljning av vindkraftverk, årsrapport (Wind power operations, yearly report - Λειτουργίες αιολικής ενέργειας, ετήσια αναφορά), Σουηδία, μια αρχική δημοσιευμένη αναφορά από την Elfforsk, η οποία περιέχει στατιστικά δεδομένα λειτουργίας, βλαβών και χρόνων ακινησίας για σχεδόν όλα τα αιολικά πάρκα που είναι εγκατεστημένα στη Σουηδία.
2. Felanalys (Ανάλυση Βλαβών), Σουηδία. Είναι μια βάση δεδομένων η οποία περιέχει όλες τις καταγεγραμμένες βλάβες που παρουσιάστηκαν από το 1989 στην Σουηδία από την Swedpower AB. Η βάση αυτή δημιουργήθηκε το 1997 αλλά περιέχει και βλάβες οι οποίες συνέβησαν πριν την ημερομηνία έναρξης μέχρι το 1989. Η βάση αυτή είναι επίσης ένα κομμάτι της πηγής Driftuppföljning av vindkraftverk, årsrapport αλλά περιέχει περισσότερες πληροφορίες πάνω στις βλάβες σε σύγκριση με ότι έχει δημοσιευτεί στην ετήσια αναφορά.
3. Tuulivoiman Tuotantotilastot Vuosiraportti (Wind power statistic year report), Φινλανδία. Μια ετήσια δημοσιευμένη αναφορά από την VTT, η οποία αφορά στατιστικά δεδομένα της λειτουργίας, των βλαβών και του χρόνου ακινησίας για αιολικά πάρκα εγκατεστημένα στην Φινλανδία.
4. Windenergie Report Deutschland (Wind energy report), Γερμανία. Μια ετήσια δημοσιευμένη αναφορά από το Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET), η οποία αφορά στατιστικά δεδομένα της λειτουργίας, των βλαβών και του χρόνου ακινησίας για αιολικά πάρκα εγκατεστημένα στην Γερμανία.

Όνομα πηγής	Driftuppföljning av vindkraftverk, årsrapport	Felanalys	Tuulivoiman Tuotantotilastot Vuosiraportti	Windenergie Report Deutschland
Χώρα	Σουηδία	Σουηδία	Φινλανδία	Γερμανία

Περίοδος	1997-2004	1989-Οκτ.2005	2000-2004	2003-2004
Αριθμός Α/Γ (2005)	723	786	92	650
Ποσοστά δεδομένων όλων των Α/Γ της χώρας	>95%	>95%	~100%	4%-7%
Συνολικός αριθμός αναφερόμενων βλαβών	1658	1658	491	4807

*Πίνακας 7: Στατιστικά πηγών**ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006*

Η διαφορά στον αριθμό Α/Γ στη Σουηδία υπάρχει γιατί κατά την περίοδο αυτή 36 Α/Γ αποσυναρμολογήθηκαν ή μεταφέρθηκαν στις στατιστικές της Finnish και κατασκευάστηκαν άλλες 27 κατά τη διάρκεια του 2005.

Είναι δύσκολο να κρίνει κανείς αν τα δεδομένα από τις τέσσερις πηγές είναι συγκρίσιμα μιας και το υπόβαθρο των πηγών δεν είναι διαθέσιμο. Η υπόθεση ότι αυτές οι αναφορές είναι όμοιες βασίζεται σε παρατηρήσεις των εκθέσεων αναφοράς που χρησιμοποιούνται για τις βλάβες και οι οποίες είναι σχεδόν ίδιες καθώς επίσης και η ορολογία που χρησιμοποιείται και στις 4 αυτές είναι συγκρίσιμη.

Επίσης, ένας άλλος λόγος που υποθέτουμε ότι αυτά τα δεδομένα είναι συγκρίσιμα είναι γιατί η βασική κατασκευή των αιολικών πάρκων είναι όμοια ανεξαρτήτως από την επωνυμία.

Τέταρτον, η περιοχή της βόρειας Ευρώπης από όπου οι πηγές πήραν τα στατιστικά δεδομένα είναι παρόμοια και οι υπάρχουσες συνθήκες όπως ο καιρός επηρεάζει τα δεδομένα με τον ίδιο τρόπο σε κάθε χώρα

Τέλος, ο πέμπτος λόγος αντιμετώπισης των δεδομένων σαν συγκρίσιμα είναι ότι όλοι οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές των Α/Γ αντιπροσωπεύονται από όλες τις πηγές.

Τα λειτουργικά στατιστικά των αιολικών πάρκων συλλέγονται τακτικά από την μονάδα ελέγχου που βρίσκεται μέσα στην Α/Γ. Σήμερα οι περισσότερες Α/Γ είναι προσαρμοσμένες με εξοπλισμό ο οποίος κάνει δυνατή τη συλλογή εξ αποστάσεως, μέσω μόντεμ ή internet.

Τα δεδομένα από τις πηγές στα όποια ήταν δυνατή η πρόσβαση προέρχονται από κυβερνητικές αρχές ή ερευνητικές ομάδες. Οι συμμετέχοντες σε ερευνητικά προγράμματα ή εταιρίες οι οποίες παίρνουν επιχορηγήσεις είναι υποχρεωμένοι να κάνουν έναν απολογισμό όχι μόνο της λειτουργίας αλλά και του χρόνου ακινησίας των βλαβών που παρουσιάζουν οι Α/Γ στις αρχές ή στις ερευνητικές ομάδες αντίστοιχα στη χώρα τους.

3.2.1 Στατιστική ανάλυση βλαβών για την Σουηδία (2000-2004)

Τα στατιστικά δεδομένα από τα αιολικά ενεργειακά συστήματα της Σουηδίας συγκεντρώθηκαν από την Swedpower AB η οποία με τη σειρά της παρουσιάζει αυτό το κείμενο εκ μέρους της Elforsk [Ribrant, 2006]. Κάθε χρόνο η Elforsk δημοσιεύει έναν απολογισμό της λειτουργίας των Α/Γ στην Σουηδία περιλαμβάνοντας επίσης και το χρόνο ακινησίας λόγω διάφορων βλαβών [Carlstedt et al., 1997-2004].

Σχεδόν όλες οι Α/Γ στη Σουηδία είναι συνδεδεμένες με ένα αυτόματο σύστημα ανάγνωσης της λειτουργίας των Α/Γ. Οι αναφορές βλαβών δεν είναι αυτοματοποιημένες αλλά παραδίδονται σαν αναφορές και μετά ενσωματώνονται σε μια βάση δεδομένων. Αυτή η βάση δεδομένων τη διαχειρίζεται η Swedpower AB. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει πληροφορίες όσο αφορά την παραγωγή, το χρόνο ακινησίας καθώς και τις αναφορές βλαβών που χρονολογούνται από το 1989.

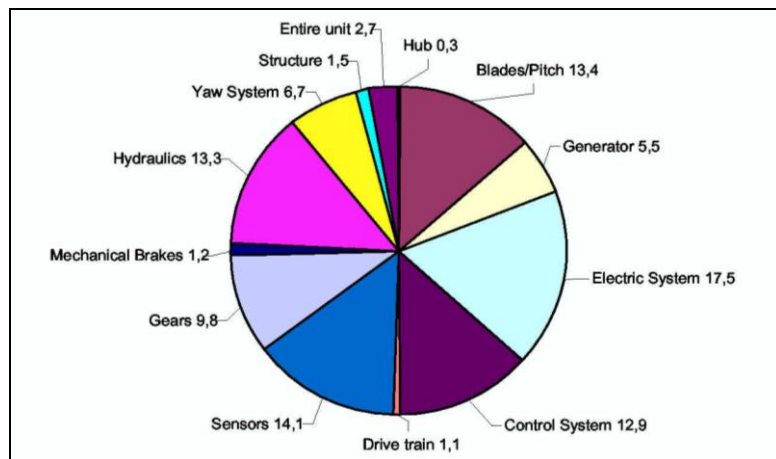
Όπως φαίνεται και στον πίνακα 8 κατά την περίοδο 2000-2004. ο αριθμός των εγκατεστημένων Α/Γ έχει αλλάξει με τα χρόνια καθώς όλο και περισσότερες εγκαθίστανται.

Έτος	2000	2001	2002	2003	2004	Μέσος όρος κατά τη διάρκεια 2000-2004
Αριθμός Α/Γ	527	570	620	682	723	624.5

Πίνακας 8: Συνολικός αριθμός εγκατεστημένων Α/Γ στην ανασκόπηση στη Σουηδία

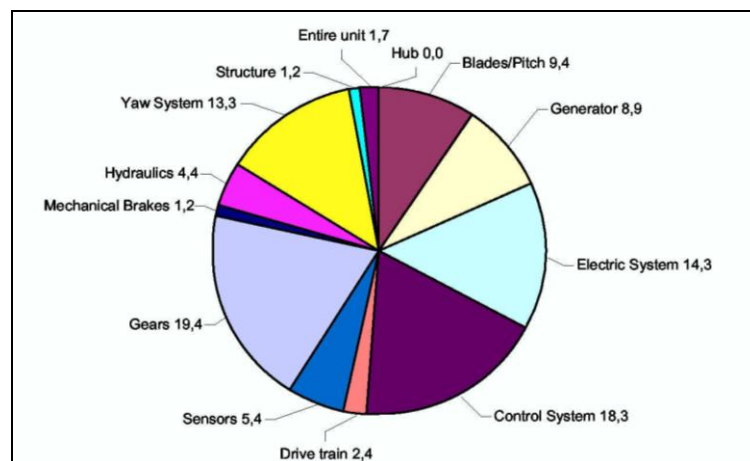
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Η Εικόνα 6 δείχνει τα ποσοστά βλαβών λειτουργίας ως προς τον αριθμό βλαβών που συνέβησαν κατά την περίοδο 2000-2004. Οι περισσότερες βλάβες έχουν να κάνουν με το ηλεκτρικό σύστημα το οποίο περιέχει αισθητήρες και τα εξαρτήματα πτερυγίων και κλίσης. Η ολοκληρωμένη ανασκόπηση των τιμών συχνότητας των βλαβών φαίνεται στον πίνακα 9.



Εικόνα 6: Κατανομή του αριθμού βλαβών για τα σουηδικά αιολικά πάρκα (2000-2004)
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Αντίστοιχα, στην Εικόνα 7 φαίνεται η κατανομή του χρόνου ακινησίας ανά εξάρτημα στη Σουηδία στο χρονικό διάστημα 2000-2004. Τα δεδομένα αυτής της εικόνας λήφθηκαν από τον ετήσιο δημοσιευμένο απολογισμό της Elfors. Όπως μπορεί κανείς να διακρίνει το πιο προβληματικό εξάρτημα είναι το κιβώτιο ταχυτήτων, ακολουθεί το σύστημα ελέγχου καθώς και το ηλεκτρικό σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι το κιβώτιο ταχυτήτων έχει το χρόνο ακινησίας με τη μεγαλύτερη διάρκεια σε σύγκριση με τα άλλα εξαρτήματα. Η ολοκληρωμένη αναφορά φαίνεται στον πίνακα 9.



Εικόνα 7: Ποσοστά χρόνου ακινησίας ανά εξάρτημα στη Σουηδία (2000-2004)
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Ο πίνακας 9 δείχνει επίσης τις ετήσιες συχνότητες βλαβών και το χρόνο ακινησίας μιας Α/Γ. Αυτοί οι υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη ότι μερικές Α/Γ δεν έχουν υδραυλικό σύστημα ή κιβώτιο ταχυτήτων. Μια καλή μέτρηση της σοβαρότητας των βλαβών είναι να αναλογιστούμε πόσο συχνά αστοχούν τα εξαρτήματα και για πόσο διάστημα διαρκεί το πρόβλημα το οποίο είναι ο μέσος όρος του χρόνου ακινησίας ανά βλάβη. Αν για παράδειγμα ένα εξάρτημα παθαίνει βλάβη συχνά

αλλά έχει μικρό διάστημα ακινησίας τότε αυτό δεν ενοχλεί σημαντικά την παραγωγή σε σύγκριση με τις βλάβες που πραγματοποιούνται σπάνια αλλά έχουν μεγάλη διάρκεια ακινησίας.

Αυτό που μπορούμε να συμπεράνουμε από τις τιμές του πίνακα είναι ότι μια τυπική Α/Γ στη Σουηδία παθαίνει βλάβη 0.402 φορές το χρόνο και το μέσο χρόνο ακινησίας για κάθε βλάβη είναι 130 h το χρόνο. Τα εξαρτήματα με τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα είναι ο οδηγός κίνησης, το κιβώτιο ταχυτήτων και το σύστημα προσανεμισμού το οποίο χρειάζεται 250-290 h για να επισκευαστεί.

Εξάρτημα	Συνολικός χρόνος ακινησίας ανά εξάρτημα, 2000-2004[h]	Μέσος χρόνος ακινησίας ανά χρόνο [h/yr]	Μέσος χρόνος ακινησίας ανά χρόνο ανά Α/Γ [h/yr/turbine]	Κατανομή του χρόνου σταματήματος, 2000-2004 [%]	Συνολικός αριθμός βλαβών ανά εξάρτημα, 2000-2004 [n]	Μέσος αριθμός βλαβών ανά χρόνο [n/yr]	Μέσος αριθμός βλαβών ανά χρόνο ανά Α/Γ [n/yr/turbine]	Κατανομή βλαβών, 2000-2004 [%] (ΕΙΚΟΝΑ 1)	Μέσος χρόνος ακινησίας ανά βλάβη, 2000- 2004 [h/failure]
Κόμβος (Hub)	50	10	0.0	0.0	4	0.8	0.001	0.3	12.5
Πτερύγια/ κλίση (Blades/ pitch)	14.743	2.949	4.7	9.4	161	32.2	0.052	13.4	91.6
Γεννήτρια (Generator)	13.906	2.781	4.5	8.9	66	13.2	0.021	5.5	210.7
Ηλεκτρικό σύστημα (Electric system)	22.395	4.479	7.2	14.3	210	42.0	0.067	17.5	106.6
Σύστημα ελέγχου (Control system)	28.620	5.724	9.2	18.3	155	31.0	0.50	12.9	184.6
Οδηγός κίνησης (Drive train)	3.788	758	1.2	2.4	13	2.6	0.004	1.1	291.4
Αισθητήρες (Sensors)	8.357	1.671	2.7	5.4	169	33.8	0.054	14.1	49.4
Γρανάζια (Gears)	30.286	6.057	11.6	19.4	118	23.6	0.045	9.8	256.7

Μηχανικά φρένα (Mechanical brakes)	1.881	376	0.6	1.2	15	3.0	0.005	1.2	125.4
Υδραυλικά (Hydraulics)	6.918	1.384	2.6	4.4	160	32.0	0.061	13.3	43.2
Σύστημα προσανεμισμού (Yaw system)	20.754	4.151	6.6	13.3	80	16.0	0.026	6.7	259.4
Κατασκευή (Structure)	1.874	375	0.6	1.2	18	3.6	0.006	1.5	104.1
Ολόκληρη η μονάδα (Entire unit)	2.631	526	0.8	1.7	33	6.6	0.011	2.7	79.7
Σύνολο	156.202	31.240	52.4	100.0	1.202	240.4	0.402	100.0	130.0

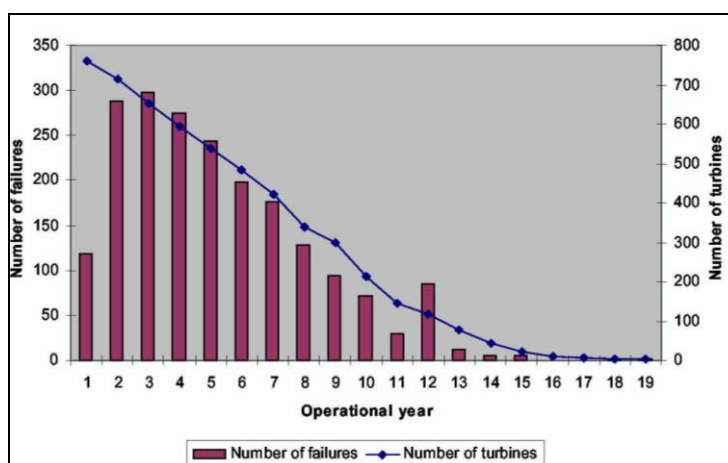
Πίνακας 9: Συχνότητες χρόνου ακινησίας και βλαβών για τα σουηδικά αιολικά πάρκα (2000-2004)

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

ι) Βλάβες κατά τη διάρκεια του λειτουργικού χρόνου των Α/Γ

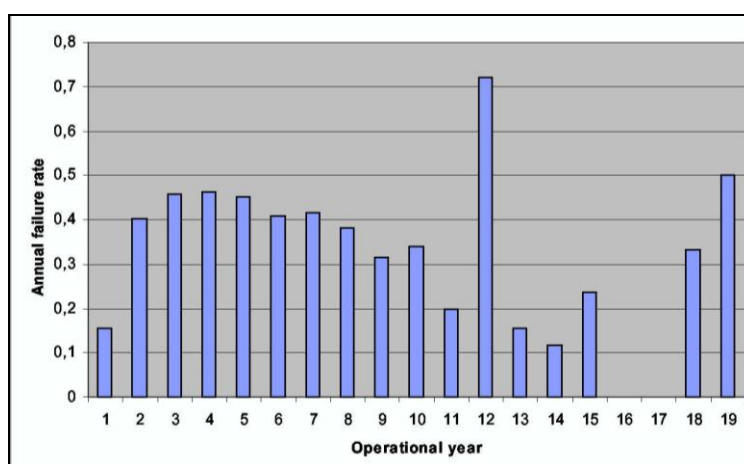
Ένας άλλος τρόπος εξέτασης των δεδομένων είναι η εξέταση της σχέσης ανάμεσα στον αριθμό των βλαβών και της ηλικίας της Α/Γ, π.χ. λειτουργικός χρόνος.

Στην Εικόνα 8 φαίνεται ο συνολικός αριθμός βλαβών ανά λειτουργικό χρόνο μαζί με τον αριθμό Α/Γ που έχουν επιβιώσει σχετικά σε λειτουργικό χρόνο. Όπως είναι φανερό έχουν καταγραφεί βλάβες σε Α/Γ πάνω από 19 έτη λειτουργίας.



Εικόνα 8: Αριθμός βλαβών σε λειτουργικό χρόνο
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

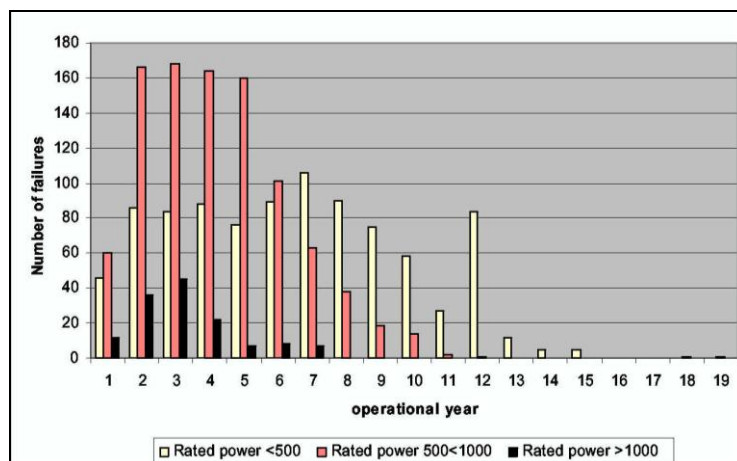
Μέσα στα τελευταία 8 χρόνια έχουν εγκατασταθεί τόσες πολλές Α/Γ ώστε χρειάζεται ένας ανά-υπολογισμός της συχνότητας βλαβών. Στην εικόνα 9 φαίνεται η ετήσια τιμή βλαβών ανά Α/Γ έναντι λειτουργικού χρόνου. Εδώ φαίνεται πιο καθαρά η εξέλιξη των βλαβών μιας και λαμβάνει υπόψη τον πληθυσμό, π.χ. τον αριθμό των Α/Γ μέσα σε κάθε λειτουργικό χρόνο.



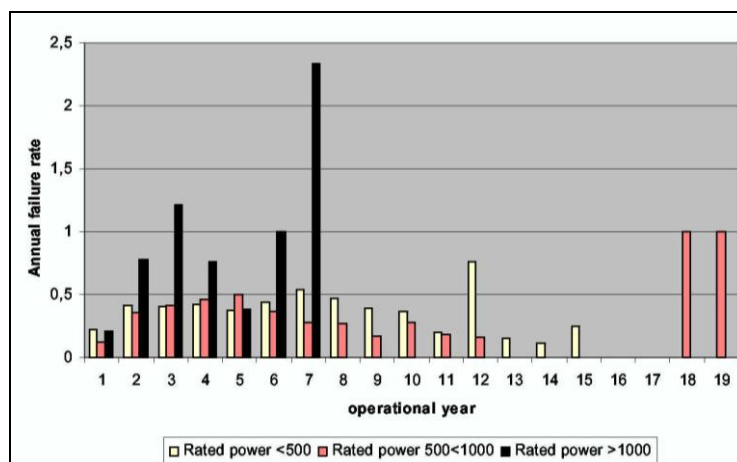
Εικόνα 9: Ετήσιος ρυθμός βλαβών ανά Α/Γ σε λειτουργικό χρόνο
ΠΗΓΗ: : Ribrant, 2006

Ο αριθμός των βλαβών στον πρώτο λειτουργικό χρόνο είναι πολύ χαμηλότερος από τον δεύτερο. Ένας λόγος θα μπορούσε να είναι το ότι δεν αναφέρονται όλες οι βλάβες μιας καινούριας Α/Γ κατά τη διάρκεια της τρέχουσας χρονιάς. Τα επόμενα χρόνια ο ρυθμός βλαβών είναι σταθερός μέχρι τα 5 χρόνια περίπου λειτουργίας όπου ο ρυθμός φαίνεται να πέφτει. Το 12^ο έτος φτάνει στην κορυφή και τα επόμενα χρόνια μέχρι το 19^ο φαίνεται να υπάρχει μια ανερχόμενη τάση, αλλά από αυτές τις τελευταίες θα πρέπει κανείς να αναλογιστεί το μικρό αριθμό δεδομένων και τον μειωμένο αριθμό Α/Γ.

Παρατηρώντας τις Εικόνες 10 και 11 μπορούμε να δούμε μια ταξινόμηση βλαβών και το ρυθμό βλαβών σε σύνολα ενέργειας λειτουργίας των <500 kW, 500-1000 kW και >1000 kW που μπορεί να δώσει μια πιο λεπτομερή ανασκόπηση για το πώς κατανέμονται οι βλάβες ανάμεσα σε ενεργειακά σύνολα.



Εικόνα 10: Αριθμός βλαβών στα διάφορα σύνολα ενεργειακής λειτουργίας σε λειτουργικό χρόνο
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006



Εικόνα 11: Ρυθμός βλαβών στα διάφορα σύνολα ενεργειακής λειτουργίας σε λειτουργικό χρόνο

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Στην Εικόνα 11 οι τάσεις των διαφορετικών ενεργειακών συνόλων δείχνουν ότι οι Α/Γ που λειτουργούν κάτω των 500 kW και μεταξύ 500 kW και 1000 kW ακολουθούν το ίδιο μοτίβο με μια μικρή αύξηση βλαβών κατά τη διάρκεια των 3 πρώτων χρόνων λειτουργίας και μετά από 5 χρόνια ο ετήσιος ρυθμός βλαβών μειώνεται. Τα πιο αξιοσημείωτα συμπεράσματα είναι ότι οι Α/Γ που λειτουργούν πάνω από 1000 kW έχουν έναν υψηλότερο ετήσιο ρυθμό βλαβών σε σύγκριση με μικρότερες Α/Γ. Ένα δεύτερο είναι ότι η τάση μείωσης ή ο σταθερός ρυθμός βλαβών δεν έχει βρεθεί για Α/Γ που λειτουργούν πάνω από 1000 kW. Αντίθετα, φαίνεται ότι ο ρυθμός βλαβών αυξάνεται.

3.2.2 Στατιστική ανάλυση βλαβών για την Φινλανδία (1997-2004)

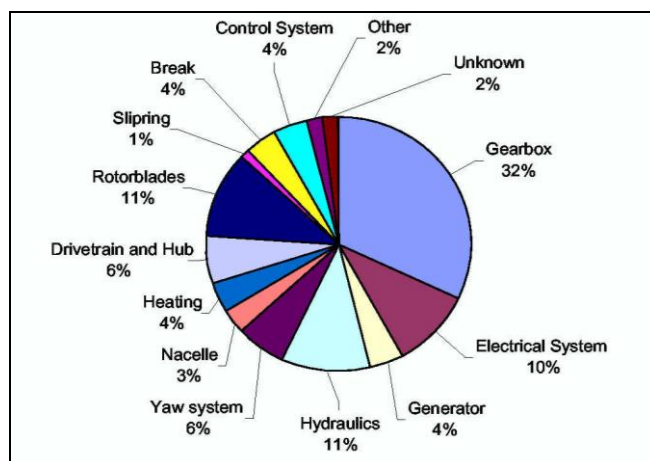
Στη Φινλανδία τα στατιστικά συγκεντρώνονται από το κέντρο ερευνών VTT. Τα δεδομένα δημοσιεύονται ετησίως και δείχνουν την εξέλιξη της αιολικής ενέργειας και την αποδοτικότητα των ήδη εγκαταστημένων αιολικών πάρκων μέσα στη Φινλανδία. Υπάρχουν 92 αιολικά πάρκα και όλα δίνουν την αναφορά της αποδοτικότητάς τους στο VTT.

Έτος	2000	2001	2002	2003	2004	Μέσος όρος κατά τη διάρκεια 2000-2004
Αριθμός Α/Γ	63	63	64	74	92	71.2

Πίνακας 10: Αριθμός Α/Γ που χρησιμοποιήθηκαν για την ανασκόπηση στη Φινλανδία (2000-2004)

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Μια ανασκόπηση που δίνεται στον απολογισμό της VTT δείχνει στατιστικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από το 1996-2004 και δείχνει την κατανομή του χρόνου ακινησίας λόγω βλαβών σε διαφορετικά εξαρτήματα σε ένα αιολικό πάρκο (Εικόνα 12). Τα δεδομένα της κατανομής έχουν ληφθεί κατευθείαν από την αναφορά που δημοσιεύτηκε στη Finnish και κάποια με τη βοήθεια του φύλλου απολογισμού βλαβών το οποίο μεταφράστηκε από το προσωπικό της VTT.

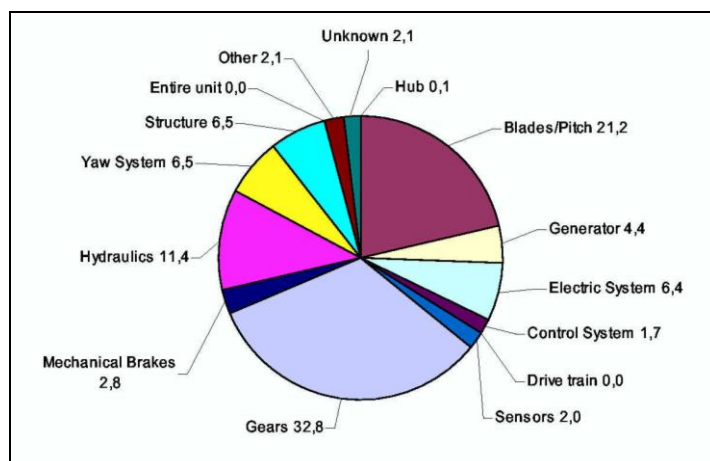


Εικόνα 12: Κατανομή χρόνου ακινησίας λόγω βλάβης στη Φινλανδία(1996-2004)
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Είναι φανερό ότι το κιβώτιο ταχυτήτων ευθύνεται για περίπου το 1/3 του συνολικού χρόνου ακινησίας στις Φινλανδικές Α/Γ. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι γνωστό ότι είναι δύσκολο στην επισκευή και αντικατάσταση και για το λόγο αυτό έχει το μεγαλύτερο μερίδιο του χρόνου σταματήματος.

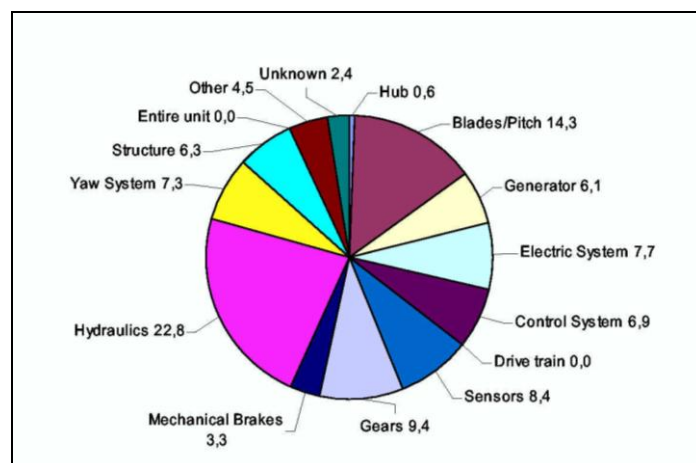
Στην Εικόνα 13 τα δεδομένα βασίστηκαν σε τιμές από δεδομένα διάγραμμα πίτας του ετήσιου απολογισμού των στατιστικών αιολικής ενέργειας μεταξύ των χρόνων 2000-2005. Για παράδειγμα, η συχνότητα βλαβών για διαφορετικά εξαρτήματα μπορεί να βρεθεί και ως ζημιά σε συγκεκριμένα υπό-εξαρτήματα. Με αυτή την πληροφορία μπορούν να υπολογιστούν ο μέσος χρόνος ακινησίας για το κάθε εξάρτημα, η μη διαθεσιμότητα και άλλα.

Η εικόνα δείχνει την κατανομή του χρόνου ακινησίας ανά εξάρτημα για τα χρόνια 2000-2004 και το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με τα αποτελέσματα της Εικόνας 12 για τα χρόνια 1997-2004. Τα γρανάζια είναι υπεύθυνα για το 1/3 του συνολικού χρόνου σταματήματος των Α/Γ. Κατά τη διάρκεια 2000-2004 οι βλάβες που σχετίζονταν με τα πτερύγια / γωνία κλίσης είναι πολλές και ένας από τους λόγους που συμβαίνει αυτό είναι ένας άνεμος υψηλής ταχύτητας 64-72 miles/h ο οποίος κατέστρεψε τα airbrake-tips τριών Α/Γ και είχε σαν συνέπεια 6000 h επιπλέον χρόνο σταματήματος για τον χρόνο 2004.



Εικόνα 13: Κατανομή χρόνου ακινησίας λόγω βλαβών στη Φιλανδία(2000-2004)
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Στην εικόνα 14 φαίνεται η κατανομή του ποσού των αναφερόμενων βλαβών. Ένας συνολικός αριθμός 491 βλαβών αναφέρθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου 2000-2004 και οι περισσότερες από αυτές τις βλάβες σχετίζονταν με τα υδραυλικό σύστημα. Πτερύγια, γωνία κλίσης και γρανάζια παθαίνουν συχνά βλάβες σύμφωνα με στατιστικές. Δεν έχει βρεθεί κάποιος εξαιρετικός λόγος που τις προκάλεσε, εκτός από την προηγούμενο αναφερόμενο άνεμο το 2004.



Εικόνα 14: Κατανομή συχνότητας βλαβών στη Φινλανδία (2000-2004)
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Ο Πίνακα 11 δείχνει το χρόνο ακινησίας και τον αριθμό των βλαβών για κάθε εξάρτημα και στο τέλος του πίνακα φαίνονται οι μέσοι όροι και οι συνολικές τιμές για το ενεργειακό σύστημα. Για τον υπολογισμό των μέσων όρων ανά Α/Γ φαίνεται μια υπολογισμένη τιμή για τον αριθμό των υπαρχόντων κατασκευασμένων Α/Γ όσο αφορά τις Α/Γ χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων ή υδραυλικό σύστημα, όπως για παράδειγμα οι Α/Γ Enercon.

Μια πιο προσεχτική ματιά στον πίνακα δείχνει ότι η μέση Α/Γ στη Φινλανδία έχει 1.38 βλάβες κάθε χρόνο και ο μέσος χρόνος ακινησίας ανά βλάβη είναι 172 h. Ο χρόνος ακινησίας για την συντήρηση του κιβώτιου ταχυτήτων είναι εξαιρετικά υψηλός όταν ο μέσος αριθμός βλαβών σε αυτό φτάνει στις 600 h που είναι περισσότερο από το διπλάσιο χρόνο που χρειάζονται τα πτερύγια/γωνία κλίσης όπου μια βλάβη χρειάζεται 256 h για να επισκευαστεί. Ο μεγάλος χρόνος που χρειάζεται το κιβώτιο ταχυτήτων το κάνει κρίσιμο εξάρτημα για τις Α/Γ Finnish.

Εξάρτημα	Συνολικός χρόνος ακινησίας ανά εξάρτημα 2000-2004[h]	Μέσος χρόνος ακινησίας ανά χρόνο [h/yr]	Μέσος χρόνος ακινησίας ανά χρόνο ανά Α/Γ [h/yr/turbine]	Κατανομή του χρόνου σταματήματος 2000-2004 [%]	Συνολικός αριθμός βλαβών ανά εξάρτημα 2000-2004 [n]	Μέσος αριθμός βλαβών ανά χρόνο [n/yr]	Μέσος αριθμός βλαβών ανά χρόνο ανά Α/Γ [n/yr/turbine]	Κατανομή βλαβών 2000-2004 [%] (ΕΙΚΟΝΑ 1)	Μέσος χρόνος ακινησίας ανά βλάβη 2000- 2004 [h/failure]
Κόμβος (Hub)	60	12	0.2	0.1	3	0.6	0.01	0.6	20
Πτερύγια/ κλίση (Blades/ pitch)	17.916	3.583	50.3	21.2	70	14	0.20	14.3	256
Γεννήτρια (Generator)	3.686	737	10.4	4.4	30	6.0	0.08	6.1	123
Ηλεκτρικό σύστημα (Electric system)	5.427	1.085	15.2	6.4	38	7.6	0.11	7.7	143
Σύστημα ελέγχου (Control system)	1.431	286	4.0	1.7	34	6.8	0.10	6.9	42
Οδηγός κίνησης (Drive train)	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0
Αισθητήρες (Sensors)	1.727	345	4.9	2.0	41	8.2	0.12	8.4	42
Γρανάζια (Gears)	27.706	5.541	88.0	32.8	46	9.2	0.15	9.4	602

Μηχανικά φρένα (Mechanical brakes)	2.330	466	6.5	2.8	16	3.2	0.04	3.3	146
Υδραυλικά (Hydraulics)	9.652	1.930	30.6	11.4	112	22.4	0.36	22.8	86
Σύστημα προσανεμισμού (Yaw system)	5.495	1.099	15.4	6.5	36	7.2	0.10	7.3	153
Κατασκευή (Structure)	5.524	1.105	15.5	6.5	31	6.2	0.09	6.3	178
Ολόκληρη η μονάδα (Entire unit)	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0
Άλλο	1.739	348	4.9	2.1	22	4.4	0.06	4.5	79
Άγνωστο	1.735	347	4.9	2.1	12	2.4	0.03	2.4	145
Σύνολο	84.428	16.886	237.2	100.0	491	98.2	1.38	100.0	172

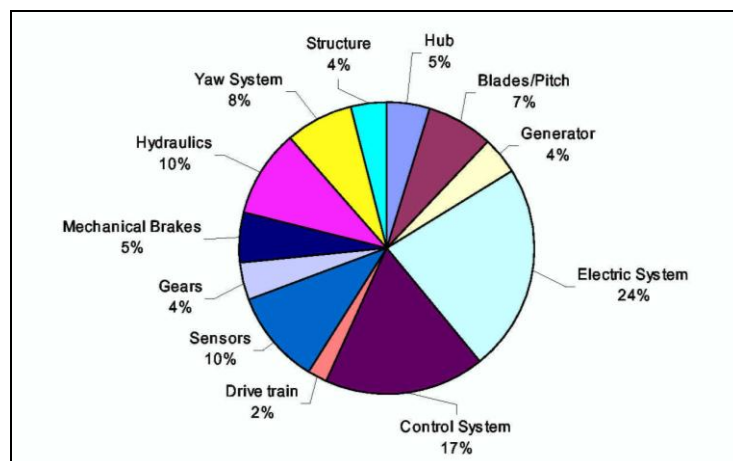
Πίνακας 11: Συχνότητες χρόνου ακινησίας και βλαβών για τα αιολικά συστήματα Finnish, 2000-2004

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

3.2.3 Στατιστική ανάλυση βλαβών για την Γερμανία (2003-2004)

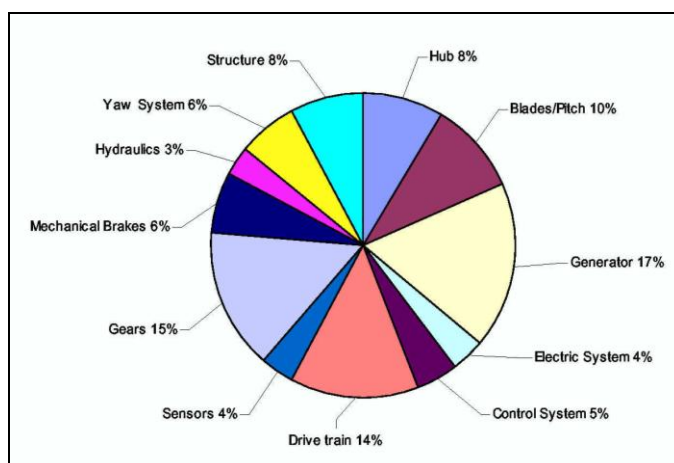
Οι στατιστικές που αναλύθηκαν στην Γερμανία προέρχονται από την WMEP (*Wissenschaftliches Mess- und EvaluierungsProgramm*) που αποτελούν ένα μέρος του Αιολικού προγράμματος 250 MW. Το WMEP είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα κατά το οποίο παρακολουθούνται μερικές Α/Γ για μια περίοδο περισσότερων από 10 χρόνια και μερικές περισσότερο από 15 χρόνια. Αυτή η έρευνα είναι σημαντική μιας και δεν υπάρχουν στατιστικές μεγάλου χρονικού διαστήματος που να δείχνουν τι συμβαίνει σε ένα αιολικό πάρκο μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι κατασκευαστές Α/Γ ισχυρίζονται ότι υπάρχει διάρκεια ζωής για τις Α/Γ περίπου 20 χρόνων αλλά κανένα αιολικό πάρκο δεν έχει φτάσει ακόμα αυτή τη χρονική ηλικία. Το μειονέκτημα αυτής της έρευνας είναι ότι κατά τη διάρκεια που πραγματοποιούνται αυτές οι μετρήσεις, έχουν αναπτυχθεί νέες Α/Γ και νέα σχέδια γίνονται επικρατέστερα. Καλύτερα στατιστικά δεδομένα που αφορούν αυτές δεν είναι ακόμα διαθέσιμα.

Η Εικόνα 15 δείχνει την κατανομή των βλαβών για Α/Γ που βρίσκονται μέσα στο πρόγραμμα WMEP στην Γερμανία. Σε παλιότερα μοντέλα, μερικά από τα πιο συχνά προβλήματα αφορούν το ηλεκτρικό σύστημα της Α/Γ. Συνδέοντας μια Α/Γ σε ηλεκτρικό δίκτυο δεν είναι τόσο εύκολο όσο ακούγεται επειδή όταν συνδέεις ένα ηλεκτρικό δίκτυο υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές ποιότητας που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αν συμβεί κάποια βλάβη η Α/Γ δεν επιτρέπεται απλώς να διαταράξει το ηλεκτρικό δίκτυο και αντίστροφα. Αυτή η περιοχή ερευνάται και εξακολουθεί να βρίσκεται σε σημαντικό στάδιο έρευνας αλλά δεν θα αναλυθεί σε αυτή την εργασία. Το πρόβλημα με τα εξαρτήματα του ηλεκτρικού συστήματος και της σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο τώρα είναι περισσότερο ελεγχόμενο. Επίσης, μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις ηλεκτρικές βλάβες, π.χ. το ηλεκτρικό σύστημα, αισθητήρια όργανα και το σύστημα έλεγχου αντιπροσωπεύουν τις μισές βλάβες ενώ το άλλο μισό είναι μηχανικές βλάβες.



Εικόνα 15: Κατανομή αριθμού βλαβών στη Γερμανία
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται η κατανομή του χρόνου ακινησίας ανά βλάβη εξαρτήματος. Εδώ, το κιβώτιο ταχυτήτων, η ηλεκτρική γεννήτρια και ο οδηγός κίνησης αντιπροσωπεύουν εξαρτήματα με τη μεγάλη διάρκεια ακινησίας των 6-8 ημερών. Πιο συχνές βλάβες όπως προβλήματα με το ηλεκτρικό σύστημα μπορούν εύκολα να διορθωθούν και ο χρόνος ακινησίας γι' αυτό το πρόβλημα είναι λιγότερος από 2 μέρες.



Εικόνα 16: Κατανομή του χρόνου ακινησίας σύμφωνα με το WMEP
ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Στις παραπάνω εικόνες μπορούμε να δούμε το συνολικό αριθμό βλαβών και χρόνο ακινησίας για όλες τις Α/Γ κατά τη διάρκεια ολόκληρης της έρευνας. Μερικές Α/Γ στο πρόγραμμα WMEP είναι ενεργές για περισσότερα από 15 χρόνια.

Στον πίνακα 12 εξετάζονται δεδομένα από τη μελέτη WMEP και υπολογισμοί της κατανομής των βλαβών έχουν γίνει μόνο για τα χρόνια 2004-2005 και σε μερικές περιπτώσεις είναι διαθέσιμες και τιμές από το 2003. Ο αριθμός των Α/Γ που συνεισφέρει στα δεδομένα διαφέρει και στον πίνακα 13 παρουσιάζεται ο αριθμός των Α/Γ που είναι ενεργές για τα χρόνια 2004-2005 όπου έχουν εξετασθεί σε

βάθος. Ο αριθμός των συμμετεχόντων Α/Γ στη βάση δεδομένων είναι περισσότερος από τον αριθμό των Α/Γ που έχουν χρηματοδοτηθεί από το ερευνητικό πρόγραμμα. Αυτό συμβαίνει επειδή μερικοί ιδιοκτήτες Α/Γ εθελοντικά υπέβαλαν δεδομένα.

Έτος	2004	2005	Μέσος όρος κατά τη διάρκεια 2000-2004
Αριθμός Α/Γ που χρηματοδοτήθηκαν από το WMEP	564	403	483.5
Αριθμός Α/Γ στη βάση δεδομένων	1080	650	865

Πίνακας 12: Αριθμός Α/Γ που χρησιμοποιήθηκαν για την ανασκόπηση στη Γερμανία

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Εξάρτημα	Συνολικός αριθμός βλαβών ανά εξάρτημα 2000-2004 [n]	Μέσος αριθμός βλαβών ανά χρόνο [n/yr]	Μέσος αριθμός βλαβών ανά χρόνο ανά Α/Γ [n/yr/turbine]	Κατανομή βλαβών στο WMEP 2004-2005 [%]
Κόμβος (Hub)	10	5	0.01	2.21
Πτερύγια/ κλίση (Blades/ pitch)	374	187	0.22	9.81
Γεννήτρια (Generator)	89	44.5	0.05	2.59
Ηλεκτρικό σύστημα (Electric system)	856	428	0.49	27.14
Σύστημα ελέγχου (Control system)	450	225	0.26	14.63
Οδηγός κίνησης (Drive train)	80	40	0.05	2.33
Αισθητήρες (Sensors)	273	136.5	0.16	8.80
Γρανάζια (Gears)	190	95	0.12	5.72
Μηχανικά φρένα (Mechanical brakes)	169	84.5	0.10	5.22
Υδραυλικά (Hydraulics)	336	168	0.21	10.57
Σύστημα προσανεμισμού (Yaw system)	220	110	0.13	6.87
Κατασκευή	128	64	0.07	4.10

(Structure)				
Σύστημα	3.175	1.587,5	1.86	100.00

Πίνακας 13: Αριθμός βλαβών για τα γερμανικά αιολικά πάρκα σύμφωνα με το WMEP

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Το WMEP παρουσίασε μια περίληψη της ετήσιας συχνότητας βλαβών και του χρόνου ακινησίας και αυτή παρουσιάζεται στον Πίνακα 14. Οι τιμές αυτές δε λάβανε υπόψη ότι δεν έχουν όλες οι Α/Γ κιβώτιο ταχυτήτων.

Εξάρτημα	Αριθμός βλαβών ανά χρόνο [n]	Χρόνος ακινησίας ανά βλάβη [hours]	Χρόνος ακινησίας ανά χρόνο]
Κόμβος (Hub)	0.11	85.5	9.5
Πτερύγια / κλίση (Blades/ pitch)	0.17	99.4	17.1
Γεννήτρια (Generator)	0.10	179.2	17.5
Ηλεκτρικό σύστημα (Electric system)	0.55	36.4	20.1
Σύστημα ελέγχου (Control system)	0.41	45.8	18.9
Οδηγός κίνησης (Drive train)	0.05	137.3	7.4
Αισθητήρες (Sensors)	0.24	35.8	8.7
Γρανάζια (Gears)	0.10	153.3	15.6
Μηχανικά φρένα (Mechanical brakes)	0.13	64.8	8.5
Υδραυλικά (Hydraulics)	0.23	38.4	6.5
Σύστημα προσανεμισμού (Yaw system)	0.18	64.6	11.6
Κατασκευή (Structure)	0.09	79.7	7.5
Σύνολο / Μέσος	ΣΥΝΟΛΟ:	ΜΕΣΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ:

όρος	2.38	ΟΡΟΣ: 62.6	149.0
------	------	------------	-------

Πίνακας 14: Αριθμός βλαβών και χρόνος ακινησίας, συσσωρευμένες τιμές για όλη την περίοδο έρευνας του WMEP

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Το κύριο συμπέρασμα από τις γερμανικές στατιστικές είναι ότι τα γρανάζια, ο οδηγός κίνησης και η γεννήτρια είναι κρίσιμα εξαρτήματα για τις γερμανικές Α/Γ. Τα δεδομένα εξετάζονται για τα χρόνια 2004-2005 και επίσης δείχνουν μια χαμηλότερη συχνότητα βλαβών υποδηλώνοντας ότι η συχνότητα βλαβών ελαττώνεται. Μια τυπική γερμανική Α/Γ έχει 2.38 βλάβες το χρόνο (1.86 σύμφωνα με τους υπολογισμούς για το 2004-2005) και μια βλάβη απαιτεί μέσο όρο ακινησίας 62.6 h.

3.2.4 Συμπεράσματα από τη στατιστική ανάλυση

Μια σύγκριση των 3 χωρών είναι πιθανή μέχρι ενός σημείου. Κάποιος μπορεί να δει τάσεις και ομοιότητες ανάμεσα στις διαφορετικές χώρες. Παρουσιάζεται ένας πίνακας με συγκεντρωμένα συμπεράσματα.

Συμπεράσματα	Σουηδία	Φινλανδία	Γερμανία
Μέσος αριθμός βλαβών	0.402 φορές το χρόνο	1.38 φορές το χρόνο	2.38 φορές το χρόνο (1.86 φορές το χρόνο για το 2004-2005)
Μέσος χρόνος ακινησίας	52 h το χρόνο	273 h το χρόνο	149 h το χρόνο
Μέσος χρόνος ακινησίας ανά βλάβη	170 h ανά βλάβη	172 h ανά βλάβη	62.6 h ανά βλάβη
Μεγαλύτερος αριθμός βλαβών	Ηλεκτρικό σύστημα Αισθητήρες Πτερύγια / κλίση	1. Υδραυλικά 2. Πτερύγια/ κλίση 3. Γρανάζια	1. Ηλεκτρικό σύστημα 2. Σύστημα ελέγχου 3. Υδραυλικά, αισθητήρες
Μεγαλύτερος χρόνος ακινησίας	Γρανάζια Σύστημα ελέγχου Ηλεκτρικό σύστημα	1. Γρανάζια 2. Πτερύγια/ κλίση 3. Υδραυλικά	1. Γεννήτριες 2. Γρανάζια 3. Οδηγός κίνησης
Μεγαλύτερη διάρκεια χρόνου ακινησίας ανά βλάβη	1. Οδηγός κίνησης 2. Σύστημα προσανεμισμού 3. Γρανάζια	Γρανάζια Πτερύγια/ κλίση Κατασκευή	Γεννήτριες Γρανάζια Οδηγός κίνησης

Πίνακας 15: Συμπεράσματα στατιστικών των τριών ευρωπαϊκών χωρών

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Είναι πιθανόν να πούμε ότι ο χρόνος ακινησίας είναι παρόμοιος. Ο μέσος χρόνος ακινησίας είναι μικρότερος στη Γερμανία σε σύγκριση με τη Σουηδία και την Φιλανδία και θα μπορούσε να δικαιολογηθεί από έναν καλύτερο και κοντινότερο οργανισμό εξυπηρέτησης, αλλά γενικά ο χρόνος ακινησίας για μια βλάβη είναι τόσο υψηλός όσο 72-172 h, δηλαδή 2-7 μέρες. Σύμφωνα με όσα έχουν βρεθεί κάθε Α/Γ χρειάζεται να καταφύγει σε επισκευή τουλάχιστον μια φορά το χρόνο, π.χ. 0.4-2.38 φορές το χρόνο. Κάποιος θα πρέπει επίσης να αναλογιστεί ότι τα γεγονότα που αναφέρονται και ο χρόνος ακινησίας για μια προγραμματισμένη συντήρηση παραλείπεται. Αν η αιολική ενέργεια θα πρέπει να ανταγωνιστεί τις ανάγκες του χρόνου ακινησίας ώστε να ελαττωθούν και επισκέψεις στις Α/Γ θα πρέπει να κρατηθούν στο ελάχιστο.

Τα γρανάζια και οι οδηγοί κίνησης είναι εξαρτήματα που απαιτούν το μεγαλύτερο χρόνο ακινησίας ανά βλάβη. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι είναι μεγάλα και δυσκίνητα στην αντικατάσταση καθώς αυτή περιλαμβάνει εξοπλισμό όπως γερανούς κτλ. Μιας και τα γρανάζια και οι οδηγοί κίνησης παθαίνουν βλάβη σπάνια, ένας λόγος για το μεγάλο χρόνο σταματήματος μπορεί να είναι ότι τα διαθέσιμα μέρη θα πρέπει να παραγγελθούν το οποίο παρατείνει το χρόνο επισκευής.

3.3 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύθηκαν στατιστικά στοιχεία βλαβών από την Ελλάδα και τριών χωρών της Ευρώπης (Σουηδίας, Φινλανδίας και Γερμανίας). Η σημασία των στατιστικών είναι καθοριστική αφού μέσα από την ανάλυση αυτών γίνεται πιο εύκολη η επιλογή ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης μιας και θα λάβει υπόψη ποιο είναι το εξάρτημα της Α/Γ που παρουσιάζει τις περισσότερες βλάβες και θα το αντιμετωπίζει ως το πιο κρίσιμο.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί δίνονται κάποια παραδείγματα καταγεγραμμένων βλαβών και η αντιμετώπισή τους ώστε να γίνει πιο κατανοητή.

Κεφάλαιο 4: Παραδείγματα βλαβών, ελέγχου και παρακολούθησης σε αιολικά πάρκα

4.1 Ανάλυση βλάβης ανεμογεννητριών στην Ινδία

Η λειτουργία των ανεμογεννητριών πραγματοποιήθηκε στην Ινδία στις αρχές και στα μέσα του 1980 εγκαταστάθηκε η τεχνική βιωσιμότητα των ανεμογεννητριών στη χώρα. Η συγκεκριμένη μελέτη, περιλαμβάνει την μελέτη λειτουργικών προβλημάτων και τις συνέπειες στην λειτουργία των ανεμογεννητριών [Iniyan et al, 1996].

Πιο αναλυτικά η αιολική ενέργεια έχει γίνει μια ζωτική τεχνοοικονομική πηγή ενέργειας και θεωρείται ως η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που προτιμάται περισσότερο στο χώρο της ενέργειας στην Ινδία. Αν η ανάπτυξη συνεχιστεί με το ίδιο βήμα για τουλάχιστον λίγες δεκαετίες ακόμα η Ινδία θα κατέχει σύντομα την υψηλότερη εγκατάσταση ανεμογεννητριών στον κόσμο και ένα σημαντικό μερίδιο των ενεργειακών αναγκών της χώρας μπορεί να καλυφτεί από την αιολική ενέργεια. Η διαθέσιμη πηγή αιολικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγαλύτερη έκταση με την πιο ευνοϊκή τοποθέτηση των αιολικών πάρκων, από την κατάλληλη επιλογή μηχανισμών και την κατάλληλη συντήρηση.

Η χρήση της αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, όπως είναι η υπάρχουσα κατάσταση μέχρι το 1996 στην Ινδία σίγουρα δεν είναι χωρίς προβλήματα και μειονεκτήματα. Εκτός αυτού μια αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία ενός αιολικού πάρκου έχει παρεμποδιστεί σοβαρά από τις ασυνήθιστες συνθήκες του ηλεκτρικού δικτύου ισχύος και αντίστροφα. Έγινε μια προσπάθεια για την αξιολόγηση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών για το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο (10 MW) στην Ασία. Το αιολικό αυτό πάρκο βρίσκεται στην Lamba, στην πολιτεία Gujarat με 50 ανεμογεννήτριες δυναμικότητας 200 kW. Μέσα σε ένα χρόνο έχουν υπολογιστεί η τεχνική διαθεσιμότητα, η πραγματική διαθεσιμότητα, ο παράγων δυναμικότητα και ο μέγιστος χρόνος κλεισίματος μιας Α/Γ. Πάνω από 30 βλάβες έχουν αναγνωριστεί και αναλυθεί από το διάγραμμα Pareto.

4.2 Ιστορικό ατυχημάτων στις ανεμογεννήτριες ανά τον κόσμο

Στην παράγραφο αυτή δίνεται ένα δείγμα μιας λίστας, μεταγλωττισμένη σε γλώσσα μηχανής από τον David Graig, από ατυχήματα που συνέβησαν σε αιολικά πάρκα

σε όλο τον κόσμο, η οποία μάλιστα έχει ενημερωθεί τον Ιανουάριο του 2006. Όπως μπορεί να δει κανείς στον πίνακα ατυχημάτων περιλαμβάνονται:

- 1) το είδος του ατυχήματος
- 2) πότε συνέβη
- 3) σε ποια περιοχή
- 4) σε ποια χώρα
- 5) τον τύπο της ανεμογεννήτριας
- 6) λεπτομέρειες ατυχήματος
- 7) την πηγή της πληροφόρησης
- 8) την ιστοσελίδα αναφοράς
- 9) επιπρόσθετες ιστοσελίδες

Τρία χαρακτηριστικά ατυχήματα που συνέβησαν τα τελευταία χρόνια φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

	Τύπος ατυχήματος	Ημερομηνία	Τοποθεσία	Χώρα	Τύπος Α/Γ	Λεπτομέρειες	Πηγή πληροφόρησης	Links	Επιπρόσθετα Links
1	Πτώση πάγου	17/12/2005	Lanken bei Dingen, nahe Hamminken, Kreis Wesel, Westfalia	Γερμανία	NORDEX N90 ή N80	Αναφέρθηκε πτώση πάγου από κάθε μια από τις 5 Α/Γ στο Α.Π. του Loikum, στο Lanken. Αυτό συμβαίνει κάθε χρόνο κατά τη λειτουργία	Η Rheinische Post Wesel, η τοπική διοίκηση και δηλώσεις των γειτονικών ιδιοκτητών. Υπάρχουν φωτογραφίες on-line (βλέπε δίπλα). Φωτογραφήθηκε κομμάτι 38cm σε μήκος. Αναφέρθηκαν κομμάτια των 80cm	http://members.aol.com/fsw/emedien/ZZUnfalldatei.htm	http://mitglied.lykos.de/nature2000/Eiswurf.htm
2	Τραυματισμός ανθρώπου (όχι θανάσιμο)	22/12/2005	Αιολικό πάρκο Woolnorth, Τασμανία	Αυστραλία	NORDEX N90 ή N80	Αναφέρθηκε ότι δυο εργάτες βρίσκονται στο νοσοκομείο-ελαφρά τραυματισμένοι-σε ατύχημα που έγινε στο Α.Π. του Woolnorth στην Τασμανία την Πέμπτη 22 Δεκεμβρίου. Αναφέρθηκε	Οι ειδήσεις του ABC σε απευθείας μετάδοση το Δεκέμβριο του 2005	http://www.abc.net.au/news/newsitems/200512/s1537653.htm	

						στις 24 Δεκεμβρίου. Δεν διατίθενται λεπτομέρειες και συνθήκες του ατυχήματος παρά μόνο ότι οι δυο άντρες εργαζόντουσαν σε ένα πύργο παρακολούθησης και ελέγχου την ώρα του ατυχήματος			
3	Φωτιά	23/12/2005	Nissan Car Factory, Sunderland	Tyne and Wear, England, UK	6 x Vestas	Φωτιά Α/Γ στους γειτονικούς δρόμους A19 και A1231. Α/Γ ύψους 55μ. έπιασε φωτιά μετά από εργασία για διερεύνηση διαρροής λαδιών. Και οι δυο δρόμοι είναι κλειστοί. Υπήρχαν φόβοι ότι η Α/Γ θα έπεφτε πάνω σε κάποιον από τους δυο δρόμους, όμως ευτυχώς έπεσε σε διπλανό χωράφι. Οι ντόπιοι δηλώνουν τρομοκρατημένοι(αναφορά την 27/12/05). Και τα τρία πτερύγια κάηκαν και	Διεθνής τηλεόραση ITV και BBC και ραδιοφωνικά νέα. Επίσης Sunderland Echo 25/12/2005 και 27/12/2005	http://news.bbc.co.uk/1/hi/england/wear/4546640.stm	http://sunderlandtoday.co.uk/viewarticle2.spx?SectionID=1107&ArticleID=1295769

						<p>πέρασε. Η φωτιά καλύφτηκε δημοσιογραφικά από τον διεθνή τύπο και δημοσιεύτηκαν φωτογραφίες και βίντεο. Επτά φωτιές μηχανών είναι υπό παρακολούθηση. Οι χειριστές της Nissan ανέφεραν ότι απ' όσο είναι ενημερωμένοι ποτέ δεν έχει ξανασυμβεί κάτι τέτοιο. Η κατασκευή ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2005 χρησιμοποιώντας μεταχειρισμένες Α/Γ Vestas.</p>			
--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

Πίνακας 16: Καταγραφή ατυχημάτων
ΠΗΓΗ: Caithness Windfarms Information Forum

4.3 Εικόνες από βλάβες ανεμογεννητριών

Είναι βέβαιο ότι γενικά μπορούμε να καταλάβουμε τον όρο «βλάβη» βλέποντας τις συνέπειες τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ίδια την Α/Γ και ειδικότερα έχοντας μια οπτική εικόνα του τι περιγράφουμε και εννοούμε.



Εικόνα 17: Φωτιά
ΠΗΓΗ: www.socme.org



Εικόνα 18: Σπάσιμο πτερυγίων από δυνατό αέρα
ΠΗΓΗ: www.socme.org



Εικόνα 19: Σπάσιμο πύργου Α/Γ
ΠΗΓΗ: www.socme.org



Εικόνα 20: Η ανεμογεννήτρια πήρε φωτιά
ΠΗΓΗ: www.socme.org

4.4 Έλεγχος και παρακολούθηση λειτουργίας ανεμογεννητριών με τη χρήση κινητής τηλεφωνίας (μηνύματα SMS, WAP) και internet (web, e-mail)

Το επιδεικτικό Αιολικό Πάρκο των ΚΑΠΕ ισχύος 3,01 MW, το οποίο λειτουργεί από το 2001, βρίσκεται στη Λαυρεωτική στην Αττική που αποτελείται από πέντε ανεμογεννήτριες εκ των οποίων οι τρεις αγοράστηκαν από το εξωτερικό (NEG-Micon 750 kW, Enercon E-40 500 kW και Vestas V47/660 kW) και οι δυο ελληνικής προέλευσης (ΟΑ-500 kW και ΟΑ-600 kW κατασκευής ΠΥΡΚΑΛ) [Φουσέκης, 2001]. Το αιολικό πάρκο χρηματοδοτήθηκε από το 2^ο Κοινοτικό Πλαίσιο στα πλαίσια του ΕΠΕ-3.3. Σε πλήρη λειτουργία αναμένεται να παράγει 7,9 GWh/έτος.



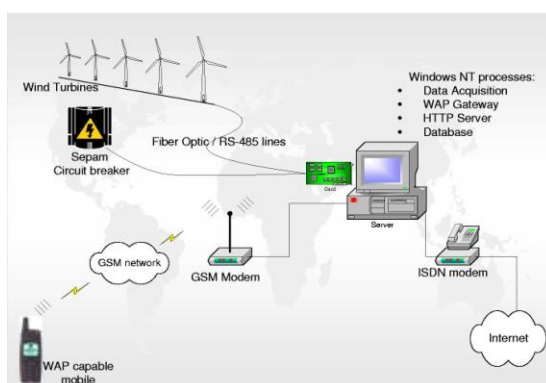
Εικόνα 21: Επιδεικτικό αιολικό πάρκο 3MW του ΚΑΠΕ στη Λαυρεωτική Αττικής
ΠΗΓΗ: www.cres.gr

Βασικός στόχος του αιολικού πάρκου είναι η αξιολόγηση των ανεμογεννητριών με διαφορετικές αρχές λειτουργίας, σε συνθήκες σύνθετης τοπογραφίας που είναι οι κατ' εξοχήν χώροι εγκατάσταση του αιολικού πάρκου στη χώρα μας. Συγκεκριμένα υπάρχουν οι εξής τύποι ανεμογεννητριών: α) με έλεγχο ισχύος λόγω

αεροδυναμικής αποκόλλησης (stall) ή λόγω μεταβλητής γωνίας πτερυγίου (pitch), β) με σταθερές ή μεταβαλλόμενες στροφές δρομέα, γ) με σύγχρονες ή ασύγχρονες ηλεκτρογεννήτριες. Επίσης το γεγονός ότι το αιολικό πάρκο βρίσκεται εντός Αττικής αποτελεί ευκαιρία για την επίδειξη σε ένα μεγάλο μέρος του ελληνικού πληθυσμού της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών, της αιολικής ενέργειας και των ΑΠΕ γενικότερα.

Συνήθως η παρακολούθηση (remote monitoring) και ο εξ αποστάσεως έλεγχος των ανεμογεννητριών (remote control) γίνεται με προγράμματα που παραδίδει ο εκάστοτε κατασκευαστής και τα οποία επικοινωνούν με το αιολικό πάρκο μέσα από γραμμές σταθερής τηλεφωνίας. Δυστυχώς μεταξύ των κατασκευαστών των Α/Γ δεν υπάρχει καμία συμβατότητα στα προγράμματα αυτά με αποτέλεσμα ο έλεγχος και η παρακολούθηση της λειτουργίας πολλών διαφορετικών Α/Γ να καθίσταται περίπλοκος και χρονοβόρα διαδικασία.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης και ελέγχου που αναπτύχθηκε επικοινωνεί με τον ελεγκτή της κάθε Α/Γ, μέσω καλωδίων οπτικών ινών και με ξεχωριστό τρόπο ανάλογα με την Α/Γ (πρωτόκολλα *Jbus/ Modbus, RS-232/485, VMP*). Αν χρειαστεί μπορεί να επικοινωνήσει μέσω ειδικού καλωδίου σημάτων και με ανεξάρτητες μετρητικές συσκευές (transducers, ανεμόμετρα κλπ) που ενδέχεται να εγκατασταθούν σε κάποιο σημείο του αιολικού πάρκου. Παρόμοια συνδέεται και ο κεντρικός διακόπτης της χαμηλής τάσης του πάρκου (Sepam 2000) για την καταγραφή συνολικής ισχύος. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής βρίσκεται στον κεντρικό οικίσκο του πάρκου και διαθέτει δυο modem (ένα GSM και ένα γραμμής-ISDN)



Εικόνα 22: Το πρόγραμμα παρακολούθησης και ελέγχου που αναπτύχθηκε
ΠΗΓΗ: www.cres.gr

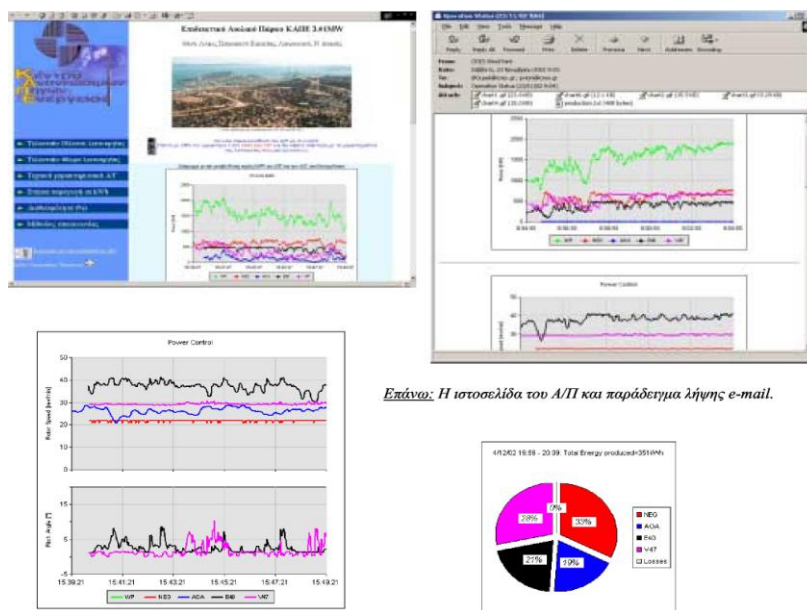
Η εφαρμογή είναι βασισμένη στην πολυδιεργασία (multiprocessing), ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του λειτουργικού συστήματος των Windows NT έτσι ώστε

μια ενδεχόμενη αποτυχία μιας δραστηριότητας (πχ μιας σύνδεσης με Α/Γ ή με το internet ή με το GSM δίκτυο) να μην έχει επίπτωση σε μια άλλη δραστηριότητα που πραγματοποιείται ταυτόχρονα. Τα ταυτόχρονα δεδομένα από κάθε Α/Γ αποθηκεύονται κάθε δέκα λεπτά. Η στατιστική τους επεξεργασία γίνεται επίσης παράλληλα με τη συλλογή των δεδομένων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης καθώς και τα λεπτομερή ,ανά sec, δεδομένα του τελευταίου δεκάλεπτου (on-line data) διατίθενται για την παρακολούθηση και λειτουργία του αιολικού πάρκου μέσω internet και κινητής τηλεφωνίας.

Σημαντικό χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι η δυνατότητα εκκίνησης και σταματήματος Α/Γ ή και του αιολικού πάρκου είτε τοπικά είτε μέσω μηνύματος SMS, είτε WAP φυσικά μετά από μια ασφαλή διαδικασία αναγνώρισης του χρήστη. Το πρόγραμμα σχεδιάστηκε για δυο τύπους χρηστών: τους διαχειριστές (administrators) και τους απλούς χρήστες (guests).

Οι διαχειριστές είναι αυτοί που λαμβάνουν συνεχή και αναλυτική πληροφορία για την λειτουργία του αιολικού πάρκου 2 φορές την ημέρα (μια στις 7πμ και μια στις 4μμ) καθώς και ανά τρίωρο αν ο άνεμος είναι >8 m/sec. Η πληροφορία αποστέλλεται με μήνυμα SMS ή και με e-mail. Επίσης οι χρήστες αυτοί ειδοποιούνται άμεσα για τα ενδεχόμενα σφάλματα λειτουργίας και έχουν τη δυνατότητα, ανάλογα με το σφάλμα, να επανεκκινήσουν εξ' αποστάσεων την Α/Γ (reset) με SMS ή WAP.

Οι απλοί χρήστες έχουν την δυνατότητα της παρακολούθησης της λειτουργίας του αιολικού πάρκου (και κατ' επέκταση των βασικών μετεωρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής) είτε από το internet είτε από το κινητό τους τηλέφωνο. Το τελευταίο πραγματοποιείται αποστέλλοντας ένα μήνυμα SMS με τον χαρακτήρα ? (λατινικό ερωτηματικό) 6944 560 987. Το πρόγραμμα θα στείλει ένα μήνυμα-απάντηση με την ισχύ του αιολικού πάρκου και της κάθε Α/Γ, καθώς και την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου (μέσο όρο του τελευταίου 10λεπτου).



Επάνω: Η ιστοσελίδα του Α/Π και παράδειγμα λήψης e-mail.

Εικόνα 23: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: διαφορετικοί τρόποι ελέγχου:μεταβολή της περιστροφής του δρομέα και της γωνίας βήματος πτερυγίου για ένα 10λεπτο, ΔΕΞΙΑ:Κατανομή της παραγόμενης αιολικής ενέργειας του Α.Π. για κάθε Α/Γ για ένα 10λεπτο
ΠΗΓΗ: www.cres.gr

Για την δεδομένη εφαρμογή της παρακολούθησης και ελέγχου ενός αιολικού πάρκου με κινητή τηλεφωνία το πρωτόκολλο WAP και τα μηνύματα SMS είναι συμπληρωματικές τεχνολογίες. Τα μηνύματα SMS υποστηρίζονται από όλα τα κινητά με χαμηλό κόστος και χωρίς καμιά ιδιαίτερη ρύθμιση. Έτσι, αρκεί ο χρήστης να έχει το τηλέφωνό του ανοιχτό για να δεχτεί μηνύματα (status, errors, warnings) από το αιολικό πάρκο. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με το πρωτόκολλο WAP γιατί ο χρήστης για να το χρησιμοποιήσει κάνει ένα επιπλέον βήμα: να συνδεθεί με τον Παροχέα της κινητής τηλεφωνίας. Η επιπλέον αυτή σύνδεση δεν είναι μόνιμη, κοστίζει, είναι αρκετά αργή και δε δέχεται ταυτόχρονες κλήσεις. Μπορεί όμως να ανακτήσει σε πραγματικά αμφίδρομη επικοινωνία (on-line), μια πιο εξειδικευμένη επικοινωνία μέσω γραφικών διαγραμμάτων και μενού επιλογών. Στο μέλλον η τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας (GPRS, 3G, τεχνολογίες push) θα εξαλείψει το παραπάνω μειονέκτημα και θα αποτελέσει την κύρια μορφή επικοινωνίας (πχ μήνυμα με το γράφημα ταχύτητας του ανέμου, την καμπύλη ισχύος κτλ).

Βασικό χαρακτηριστικό μιας τέτοιας εφαρμογής είναι ότι η διαθέσιμη πληροφορία (πχ το περιεχόμενο μιας σελίδας web) είναι «δυναμική», μεταβάλλεται στο χρόνο. Όμως, η αδυναμία παροχής μισθωμένης τηλεφωνικής γραμμής με φορέα internet αλλά και το υψηλό κόστος της οδήγησε στο να προκριθεί η λύση της ISDN dial-up γραμμής με τον φορέα (provider) για την συνεχή (ανά 10λεπτο) ανανέωση

ιστοσελίδων στο internet καθώς και αποστολή e-mail. Για τους ίδιους λόγους, και για λόγους ασφαλείας, η υλοποίηση της επικοινωνίας μέσω WAP επιλέχτηκε να γίνεται μέσω απευθείας κλήσεων στο αιολικό πάρκο. Ως εκ τούτου, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής εκτελεί, ταυτόχρονα με τη συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων, χρέη πύλης WAP (gateway) και HTTP Server, με δυνατότητα υλοποίησης δυναμικών σελίδων Asp (Active Server Pages). Αυτή τη στιγμή η επικοινωνία μέσω WAP βρίσκεται σε δοκιμαστική λειτουργία.

Συνοπτικά η διαδικασία μιας επικοινωνίας με WAP γίνεται ως εξής:

1. Ο χρήστης καλεί το αιολικό πάρκο μέσω WAP και ζητά μια συγκεκριμένη σελίδα URL
2. Η πύλη (gateway) WAP μετατρέπει την εντολή σε κανονικό περιεχόμενο HTTP
3. Ο HTTP Server επεξεργάζεται το Asp αρχείο, πραγματοποιεί την στατιστική επεξεργασία, ανακτά τα δεδομένα και μορφοποιεί ανάλογα την ιστοσελίδα
4. Η πύλη WAP μετατρέπει και συμπιέζει την πληροφορία αυτή έτσι ώστε να μειώσει τον όγκο της ιστοσελίδας αλλά και να επιταχύνει την απεικόνιση στην οθόνη του κινητού, μιας που διαθέτει μειωμένης δυνατότητας επεξεργαστή
5. Τέλος, ο πλοηγός (browser) WAP εμφανίζει την ιστοσελίδα



Εικόνα 24: Παράδειγμα σύνδεσης μέσω WAP, α)Επιλογή από μενού της ζητούμενης πληροφορίας, β)Απεικόνιση αποτελεσμάτων

ΠΗΓΗ: www.cres.gr

4.5 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό δόθηκαν κάποια παραδείγματα καταγεγραμμένων βλαβών καθώς και ελέγχου και παρακολούθησης αιολικών πάρκων.

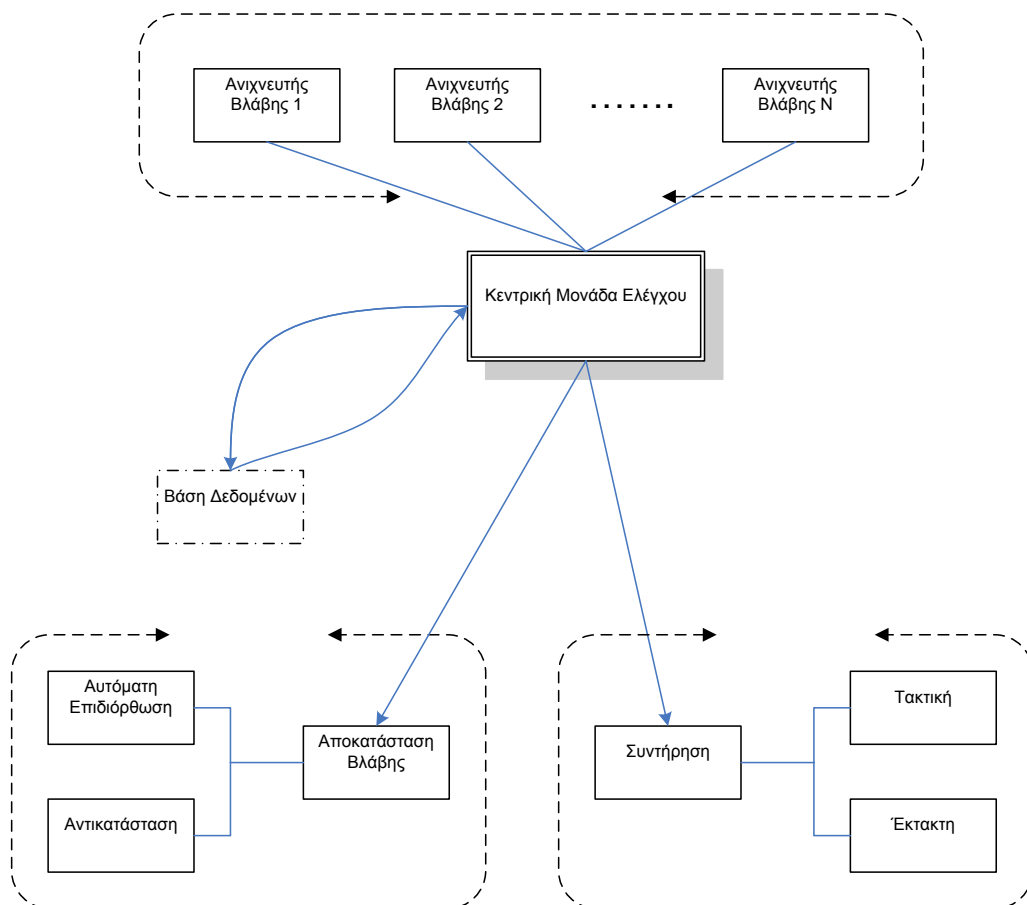
Έχοντας το θεωρητικό υπόβαθρο από τα προηγούμενα κεφάλαιο και τα παραδείγματα του κεφαλαίου αυτού ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο η ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης.

Κεφάλαιο 5: Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης ανεμογεννητριών

5.1 Γενική παρουσίαση

Η ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης σε ένα αιολικό σύστημα έχει ως σκοπό την αυτοματοποίηση όλων των λειτουργιών που αφορούν την ανίχνευση και αναγνώριση βλάβης ή /και τη συντήρηση των ανεμογεννητριών για την άμεση επίλυση τυχόν προβλημάτων που ανακύπτουν. Το σύστημα που αναπτύσσεται στην παρούσα παράγραφο δημιουργήθηκε κατόπιν προσωπικής εργασίας μετά από λεπτομερή μελέτη όλων των στοιχείων που απαρτίζουν τον τομέα της τεχνολογίας της αιολικής ενέργειας και συγκεκριμένα των ανεμογεννητριών. Τα βασικά στάδια ενός τέτοιου συστήματος είναι:

- Ανίχνευση βλάβης
- Ενημέρωση της κεντρικής μονάδας ελέγχου
- Αναγνώριση /Εκτίμηση βλάβης από βάση δεδομένων
- Αποκατάσταση βλάβης ή συντήρηση



Σχήμα 8: Λογικό διάγραμμα της λειτουργίας συστήματος παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης

Το λογικό διάγραμμα που αντιπροσωπεύει την λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 8.

Με μια σύντομη περιγραφή της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα θα μπορούσαμε να πούμε ότι αρχικά γίνεται η ανίχνευση της βλάβης και έπεται η επικοινωνία με μια κεντρική μονάδα ελέγχου. Στο τρίτο πλέον στάδιο η κεντρική μονάδα ελέγχου ανατρέχει σε μια βάση δεδομένων η οποία περιέχει όλο το ιστορικό βλαβών και όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τις τρέχουσες ανάγκες, βάσει του προγράμματος συντήρησης, προκειμένου να δοθεί η σωστή λύση στο πρόβλημα. Αφού βρεθεί η κατάλληλη αντιμετώπιση στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο γίνεται η αποκατάσταση ή η συντήρηση που χρειάζεται ανάλογα με την περίπτωση.

Τα επιμέρους στάδια αναλύονται στις παρακάτω παραγράφους.

5.1.1 Ανίχνευση βλάβης

Η ανίχνευση βλάβης αποτελεί το πρώτο στάδιο του συστήματος παρακολούθησης. Στο σημείο αυτό ανιχνεύεται η βλάβη από κάποια δυσλειτουργία των ανεμογεννητριών μέσω ειδικών συσκευών ανίχνευσης που έχουν τοποθετηθεί κατάλληλα πάνω σε αυτές. Υπάρχει, λοιπόν, ένας αριθμός τέτοιων συσκευών όπου δύνανται να ανιχνεύσουν ένα ή και περισσότερους συγκεκριμένους τύπους βλάβης. Τα όργανα αυτά είναι προγραμματισμένα με τις τυποποιημένες μεταβλητές και παραμέτρους λειτουργίας έτσι ώστε όταν αυτές ξεπερνιούνται ή δεν πληρούνται ενημερώνεται αμέσως η κεντρική μονάδα ελέγχου.

5.1.2 Ενημέρωση της κεντρικής μονάδας ελέγχου

Στο στάδιο αυτό η κεντρική μονάδα ελέγχου που υπάρχει στο αιολικό σύστημα ενημερώνεται ότι υπάρχει κάποια δυσλειτουργία. Η ενημέρωσή της πραγματοποιείται μέσω ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας που αναλύεται διεξοδικότερα παρακάτω.

5.1.3 Αναγνώριση /εκτίμηση βλάβης από βάση δεδομένων

Με σκοπό την λήψη μέτρων, η κεντρική μονάδα ελέγχου ανατρέχει σε μια βάση δεδομένων η οποία είναι πλήρως ενημερωμένη με όλες εκείνες τις απαραίτητες πληροφορίες για να αναγνωριστεί η δυσλειτουργία και να αποκατασταθεί όσο το δυνατό γρηγορότερα. Η βάση δεδομένων είναι ένα από τα τυπικά χαρακτηριστικά του συστήματος και αναλύεται εκτενέστερα σε παρακάτω παραγράφους.

5.1.4 Επίλυση προβλήματος

Αφού στο σημείο αυτό η κεντρική μονάδα ελέγχου έχει πάρει όλες εκείνες τις πληροφορίες που χρειάζεται, προχωράμε στο τέταρτο στάδιο όπου έχει αποφασιστεί η αποκατάσταση της βλάβης ή η συντήρηση. Σε κάθε μία εκ των περιπτώσεων, προκειμένου να αποφασιστεί τι ακριβώς διαδικασία θα πρέπει να ακολουθηθεί και με κατάλληλη ενημέρωση από καθορισμένες φόρμες δίνεται η τελική λύση στο πρόβλημα που ανέκυψε.

5.2 Προδιαγραφές συστήματος

Η επικοινωνία είναι ίσως το βασικότερο κομμάτι όλων των εφαρμογών ενός συστήματος γιατί με σωστή επικοινωνία έχουν τεθεί οι βάσεις και για μια σωστή αντιμετώπιση του εκάστοτε προβλήματος. Ο τρόπος επικοινωνίας όπου χρησιμοποιούν αυτές οι εφαρμογές είναι συνήθως προσαρμοσμένος στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Έτσι λοιπόν, και στο δικό μας σύστημα παρακολούθησης πρέπει να σημειωθεί ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνούν μεταξύ τους τα επιμέρους στάδια αυτού.

Μεταξύ των επιμέρους σταδίων του συστήματος παρακολούθησης υπάρχει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο είναι μοναδικό [Ματσατσίνης et al, 2005]. Η επικοινωνία αυτή είναι απαραίτητη ώστε να μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ τους για να πετύχουν ένα στόχο, ο οποίος είναι η αντιμετώπιση της βλάβης ή η επιλογή της απαραίτητης συντήρησης. Αυτό το πρωτόκολλο μπορεί να είναι και μια κοινή γλώσσα προγραμματισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος.

Για τις προδιαγραφές ενός τέτοιου πρωτοκόλλου επικοινωνίας ο σχεδιαστής θα είναι υπεύθυνος για την διατήρηση της ισορροπίας ανάμεσα στις διάφορες ανάγκες. Οι προδιαγραφές αυτές θα πρέπει να πληρούνται από:

- Φόρμα: μια ικανοποιητική γλώσσα επικοινωνίας πρέπει να είναι συντακτικά απλή και η μεταφορά ενός μηνύματος μέσα στο σύστημα γίνεται - στο μεγαλύτερο πλήθος των περιπτώσεων - με τη μορφή συνεχούς ροής δυαδικών ψηφίων (bit stream).
- Περιεχόμενο: κατά τον σχεδιασμό μιας γλώσσας επικοινωνίας πρέπει να υπάρχει διαχωρισμός ανάμεσα στη γλώσσα επικοινωνίας, η οποία εκφράζει ενέργειες επικοινωνίας, και στο περιεχόμενο, το οποίο εκφράζει το

εννοιολογικό πεδίο της συγκεκριμένης εφαρμογής. Το περιεχόμενο πρέπει να αποτελείται από ένα καλά ορισμένο σύνολο από στοιχειώδεις εντολές επικοινωνίας (primitives).

- Περιβάλλον: πρέπει να είναι δυναμικό και ετερογενές. Θα πρέπει λοιπόν να υποστηρίζει τη συνεργασία με άλλες γλώσσες ή πρωτόκολλα.
- Σημασιολογία: είναι το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιεί και γι' αυτό πρέπει να είναι ξεκάθαρη και να έχει κανονική φόρμα. Πρέπει δηλ. να καθορίζει την έννοια μιας ενέργειας επικοινωνίας και όχι απλώς να δηλώνει το πώς πρέπει αυτή να χρησιμοποιηθεί. Η σημασιολογία μιας γλώσσας πρέπει να εξαρτάται και από το περιεχόμενο του μηνύματος καθώς επίσης και από το περιβάλλον του συστήματος.
- Υλοποίηση: πρέπει να είναι αποτελεσματική όσον αφορά την ταχύτητα της επικοινωνίας.
- Τεχνολογία δικτύων: πρέπει να υποστηρίζει όλες τις βασικές συνδέσεις καθώς και τις σύγχρονες και ασύγχρονες συνδέσεις.
- Αξιοπιστία: μια γλώσσα επικοινωνίας πρέπει να υποστηρίζει την αξιόπιστη και ασφαλή επικοινωνία ανάμεσα στα επιμέρους επίπεδα του συστήματος. Πρέπει να υποστηρίζει ιδιωτικές συνομιλίες ανάμεσα σε δυο επίπεδα και πρέπει να έχει μηχανισμούς για την αναγνώριση και την επισήμανση λαθών που τυχόν συμβαίνουν.

Για να μπορεί να λειτουργήσει ένα τέτοιο σχήμα θα πρέπει να υπάρχει συντονισμός μεταξύ των επιπέδων ώστε να συγχρονίζονται οι πράξεις τους και καλή συνεργασία με σκοπό την σωστή και ολοκληρωτική αντιμετώπιση του προβλήματος.

5.3 Αναλυτική περιγραφή των τυπικών χαρακτηριστικών του συστήματος

Τα πιο χαρακτηριστικά στοιχεία του συστήματος παρακολούθησης που δόθηκε παραπάνω είναι οι συσκευές ανίχνευσης βλαβών που τοποθετούνται στις ανεμογεννήτριες, η βάση δεδομένων και τέλος οι λειτουργίες μέσα από τις οποίες καθορίζεται ο τρόπος αντιμετώπισης της προκύπτουσας βλάβης ή συντήρησης αντίστοιχα.

Αναλυτικότερα, μπορούμε να πούμε ότι οι συσκευές ανίχνευσης που βρίσκονται στις ανεμογεννήτριες είναι προγραμματισμένες ώστε να αναγνωρίζουν τις μεταβλητές των βασικών μηχανικών εξαρτημάτων των ανεμογεννητριών. έτσι

ώστε κάθε φορά που ανιχνεύουν κάποια στοιχεία ή σήματα εκτός των ορίων αυτών να είναι ικανές να στέλνουν σήμα στην κεντρική μονάδα ελέγχου για την γρήγορη αντιμετώπιση του.

Ειδικότερα, ο κάθε ελεγκτής (συσκευή ανίχνευσης βλάβης) πρέπει να πληρεί συγκεκριμένες προϋποθέσεις ώστε η ανίχνευση βλάβης να είναι αποτελεσματική. Για το λόγο αυτό τοποθετούνται σε κάθε Α/Γ ώστε ο έλεγχος να γίνεται σε κάθε μια από αυτές και συγκεκριμένα μπορεί να αναγνωρίζει τρεις καταστάσεις λειτουργίας (όλα λειτουργούν κανονικά, κατάσταση συναγερμού, διαπιστωμένη βλάβη). Έτσι λοιπόν πριν να ενημερωθεί η κεντρική μονάδα ελέγχου η συσκευή ανίχνευσης ελέγχει τα παρακάτω καθοριστικά χαρακτηριστικά για τη λειτουργία των Α/Γ:

- 1. Τις μετρήσεις του ανεμόμετρου:** Αν η ταχύτητα του ανέμου βρίσκεται ανάμεσα στα όρια λειτουργίας 5-25 m/s (10-50 knots) τότε η κεντρική μονάδα ελέγχου ενημερώνεται ότι όλα λειτουργούν κανονικά, διαφορετικά λαμβάνει σήμα ότι είναι εκτός των επιτρεπόμενων ορίων των ονομαστικών τιμών της Α/Γ.
- 2. Διαθεσιμότητα λαδιού:** Ελέγχεται η στάθμη του λαδιού στο κιβώτιο ταχυτήτων και στην ηλεκτρική γεννήτρια και αν αυτή βρίσκεται ανάμεσα στα όρια που δίνει ο κατασκευαστής τότε εκπέμπεται σήμα ότι όλα λειτουργούν κανονικά διαφορετικά η κεντρική μονάδα ελέγχου λαμβάνει σήμα για συντήρηση ή επισκευή του αντίστοιχου εξαρτήματος
- 3. Απαιτούμενη ταχύτητα στροφών:** Ο άξονας χαμηλής ταχύτητας συνδέει το κομβικό σημείο του στροφέα και των πτερυγίων με το κιβώτιο ταχυτήτων και κινείται με 19-30 στροφές/min (RPM). Ο άξονας αυτός αποτελείται από σωλήνες ώστε να ενεργοποιείται το υδραυλικό σύστημα και να μπουν σε εφαρμογή τα αεροδυναμικά φρένα της Α/Γ. Το κιβώτιο ταχυτήτων με τη σειρά του περιστρέφει τον άξονα υψηλής ταχύτητας 50 φορές γρηγορότερα από τον άξονα χαμηλής ταχύτητας. Ο άξονας υψηλής ταχύτητας έτσι κινείται με 1500 RPM και ενεργοποιεί την ηλεκτρική γεννήτρια. Έχει μηχανικό δισκόφρενο το οποίο χρησιμοποιείται όταν παρουσιαστεί βλάβη στα αεροδυναμικά φρένα ή η Α/Γ είναι υπό επισκευή. Με βάση τον απαιτούμενο αυτό αριθμό στροφών όλα λειτουργούν κανονικά ενώ αν ο αριθμός στροφών παρεκκλίνει από το ονομαστικό διάστημα τότε η κεντρική μονάδα ελέγχου ενημερώνεται ότι υπάρχει βλάβη.
- 4. Διεύθυνση ανέμου:** Ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου θα πρέπει να καθορίζεται και η θέση των πτερυγίων της Α/Γ. Εδώ ο ελεγκτής θα πρέπει να

ρυθμίζει την γωνία κλίσης των πτερυγίων σε σχέση με τον άνεμο. Να σημειωθεί ότι η ρύθμιση αυτή γίνεται κατά την στρέψη του κελύφους της Α/Γ μόνο μερικούς βαθμούς κάθε φορά.

5. Ελεγκτής εξόδου τάσης: Οι Α/Γ που κατά κόρον χρησιμοποιούνται έχουν σχεδιαστεί ώστε να αποδίδουν μέγιστη τάση σε ταχύτητες ανέμου 15 m/sec (39 knots ή 33 mph). Να σημειωθεί ότι η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από μια Α/Γ είναι 600-3000 kW. Σε περίπτωση δυνατότερων ανέμων είναι απαραίτητη η σπατάλη μέρους της επιπλέον ενέργειας του ανέμου ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ζημιάς της Α/Γ. Ο ελεγκτής θα πρέπει να ελέγχει την ενέργεια που παράγει η Α/Γ πολλές φορές το δευτερόλεπτο. Όταν είναι πολύ υψηλό το δυναμικό που παράγεται τότε ο μηχανισμός κλίσης των πτερυγίων στρέφει τον στροφέα ελαφρά από την διεύθυνση του ανέμου. Αντιστρόφως, τα πτερύγια επιστρέφουν στην αρχική τους θέση όταν πέσει ο άνεμος στα επιθυμητά επίπεδα. Κατά τη κανονική λειτουργία της Α/Γ τα πτερύγια έχουν κάθε φορά γωνία κλίσης ένα κλάσμα βαθμού και ο στροφέας στρέφεται ταυτόχρονα.

6. Ελεγκτής στροφής καλωδίου. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλεκτρική γεννήτρια της Α/Γ μεταφέρεται με καλώδια εσωτερικά κατά μήκος του πύργου στο δίκτυο. Κάποιες φορές όμως τα καλώδια στρέφονται όλο και περισσότερο όταν λόγω της τυχαιότητας της διεύθυνσης του ανέμου η Α/Γ συνεχίζει και στρέφεται κατά την ίδια διεύθυνση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επομένως η Α/Γ είναι εξοπλισμένη με ένα μετρητή περιστροφής καλωδίου ώστε όταν το μήκος του καλωδίου φτάσει σε ένα ελάχιστο επιτρεπτό όριο ο ελεγκτής ενημερώνει την κεντρική μονάδα ελέγχου και αυτή δίνει εντολή για αντίστροφη περιστροφή της Α/Γ μέχρις ότου να βρει την ίδια θέση και παράλληλα ξεμπλέκει τα καλώδια.

7. Υπερθέρμανση: Ο ελεγκτής ελέγχει για υπερθέρμανση του κιβώτιου ταχυτήτων ή της ηλεκτρικής γεννήτριας ώστε αν υπάρχει αυτή η πιθανότητα η Α/Γ να σταματά αυτόματα και δίνει σήμα στην κεντρική μονάδα ελέγχου.

8. Ελεγκτής υδραυλικού συστήματος λειτουργίας: Το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει τα αεροδυναμικά φρένα. Ο ελεγκτής εδώ υπάρχει απλά για την επικύρωση της σωστής λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος.

Όσον αφορά την βάση δεδομένων μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί καθοριστικό κομμάτι του συστήματος παρακολούθησης. Είναι απαραίτητο ο σχεδιασμός αυτής

να γίνει έτσι ώστε να δίνεται καθολική λύση του προβλήματος. Είναι σαφές, λοιπόν, πως πρέπει να έχουμε μια πλήρως και έγκαιρα ενημερωμένη βάση δεδομένων. Έτσι, είναι σημαντικό να περιλαμβάνει ένα αρχείο ιστορικού βλαβών απ' όπου η κεντρική μονάδα ελέγχου θα μπορεί να συγκρίνει τα δεδομένα βλάβης που έχει με παλιότερες και να μπορεί έτσι να επιλέξει τη σωστή αντιμετώπιση. Σε ένα τέτοιο ιστορικό εξάλλου υπάρχουν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες όπως ο τρόπος αντιμετώπισης της βλάβης, οι επιπλοκές και οι επιπτώσεις και μάλιστα μπορούν να διαβάζονται και από μια απλή φόρμα π.χ. του excel. Επίσης, η ύπαρξη ενός ημερολόγιου συντήρησης είναι καθοριστική αφού έτσι το σύστημα ενημερώνεται για την στιγμή όπου απαιτείται να γίνει συντήρηση, το είδος της συντήρησης καθώς και τον τρόπο που πρέπει αυτή να διεξαχθεί. Τέλος, ένα ιστορικό μηχανών, το οποίο περιλαμβάνει στατιστικά βλαβών που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένες μηχανές που λειτουργούν στο συγκεκριμένο αιολικό πάρκο παγκοσμίως καθώς και τον τρόπο αντιμετώπισής τους, εξασφαλίζει ακόμα περισσότερο ότι το σύστημα παρακολούθησης είναι ικανό να αντιμετωπίσει ολοκληρωτικά το πρόβλημα.

Στο τέταρτο στάδιο του συστήματος παρακολούθησης είδαμε ότι αποφασίζεται πια ότι θα πραγματοποιηθεί αποκατάσταση βλάβης ή συντήρηση. Σε κάθε μία από αυτές τις λειτουργίες προκειμένου να δοθεί η λύση προβαίνουμε σε μία εκ των περιπτώσεων:

- Επιδιόρθωση ή Αντικατάσταση στην περίπτωση της αποκατάστασης βλάβης.
- Τακτική ή Έκτακτη στην περίπτωση της συντήρησης.

Για την πλήρη αποκατάσταση της ανωμαλίας που παρουσιάστηκε θα πρέπει να σημειωθεί ότι προκειμένου να διεκπεραιωθούν μία από τις δυο λύσεις, το σύστημα ανατρέχει σε πίνακες όπου υπάρχουν μητρώα βλαβών ώστε να γίνει η αποκατάσταση βλάβης ή ανατρέχει σε φόρμα συντήρησης αν έχει αποφασιστεί ότι πρέπει να γίνει συντήρηση με σκοπό την επιλογή του είδους αυτής που απαιτείται. Στους πίνακες αυτούς υπάρχουν δεδομένα σε υπολογιστικό φύλλο τύπου excel συνήθως τα οποία έχουν την ικανότητα να διαβάζονται άμεσα και εύκολα ενώ οι φόρμες συντήρησης μπορούν και ενημερώνονται αυτόματα.

5.4 Παράδειγμα φύλλου ελέγχου

Το κάθε αιολικό πάρκο μπορεί κατά βούληση να ακολουθεί οποιαδήποτε μορφή φύλλου ελέγχου. Στην Εικόνα 25, στο τέλος του κεφαλαίου αυτού βλέπουμε

ενδεικτικά ένα αντιπροσωπευτικό φύλο ελέγχου βλαβών και συντήρησης για το σύστημα που προτείνεται.

5.5 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό προτάθηκε ένα σύστημα παρακολούθησης βλαβών και ελέγχου ανεμογεννητριών σε αιολικό πάρκο. Μελετώντας προσεχτικά όλο το θεωρητικό υπόβαθρο της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών, δημιουργήσαμε ένα σύστημα το οποίο μετά από εκτενή έλεγχο μπορεί να ανιχνεύσει μια βλάβη με αυτοματοποιημένες διαδικασίες και να αποφασίσει τις ενέργειες που θα πραγματοποιήσει για να επιλύσει το πρόβλημα. Στο επόμενο και τελευταίο μέρος της εργασίας ανακεφαλαιώνεται η συνολική δουλειά αυτής και επικυρώνεται η σημασία ύπαρξης ενός τέτοιου συστήματος.

Φύλλο ελέγχου βλάβης

Ημ/νία όπου έλαβε
χώρα το γεγονός: _____

Συνολικός χρόνος
διάρκειας του
γεγονότος: _____

Περιγραφή γεγονότος:

Υπογραφή ελεγκτή

1. Αιτία

- A ☐ **Καιρός**
1. ☐ δυνατός άνεμος
2. ☐ πάγος
3. ☐ αστραπές
- B ☐ **Εξοπλισμός και υλικό**
1. ☐ αστοχία εξαρτήματος δικτύου
2. ☐ λασκαρισμένο τμήμα
3. ☐ σύστημα ελέγχου
4. ☐ βραχυκύκλωμα
5. ☐ αστοχία κατασκευής
- C ☐ **Μη αναγνωρίσιμο**
D ☐ **Άλλο** (να περιγραφεί παρακάτω)

3. Ρυθμίσεις

- A ☐ Αλλαγή εξαρτήματος
B ☐ Ρύθμιση / μηδενισμός
C ☐ Άλλο (να περιγραφεί παρακάτω)

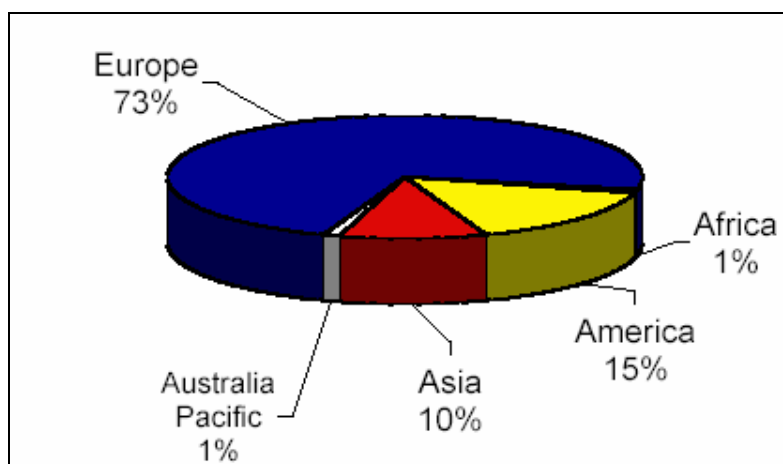
2. Τμήμα με βλάβη

- A ☐ **Κόμβος πτερυγίων**
1. ☐ κέλυφος
- B ☐ **Πτερύγια**
1. ☐ βίδα
2. ☐ σκελετός
3. ☐ αεροδυναμικά φρένα
- C ☐ **Γωνία κλίσης**
1. ☐ μηχανικά
2. ☐ ηλεκτρονικά
3. ☐ υδραυλικά
4. ☐ ρουλεμάν
- D ☐ **Γεννήτρια**
1. ☐ υπερθέρμανση
2. ☐ μηχανή
3. ☐ ρουλεμάν
- E ☐ **Ηλ. Σύστημα**
1. ☐ ασφάλεια
2. ☐ αγωγός
3. ☐ καλώδιο σύνδεσης
4. ☐ διακοπή
5. ☐ ηλεκτρικά στοιχεία
6. ☐ ρυθμίσεις στρόφεα
7. ☐ γείωση
- F ☐ **Σύστημα ελέγχου**
1. ☐ ελεγκτής
2. ☐ ρελέ
3. ☐ καλώδιο σύνδεσης
- G ☐ **Οδηγός κίνησης**
1. ☐ ρουλεμάν
2. ☐ άξονας οδηγού
3. ☐ γρανάζι
- H ☐ **Δείκτες**
1. ☐ άνεμος
2. ☐ δονήσεις
3. ☐ θερμοκρασία
4. ☐ λάδι
5. ☐ τάση εξόδου
6. ☐ αριθμός στροφών
7. ☐ στροφή καλωδίου
- I ☐ **Κιβώτιο ταχυτήτων**
1. ☐ ρουλεμάν
2. ☐ τροχός
3. ☐ άξονας
4. ☐ λίπανση
- J ☐ **Μηχανικά φρένα**
1. ☐ δισκόφρενο
2. ☐ χειρόφρενο
- K ☐ **Υδραυλικό συστ.**
1. ☐ αντλία
2. ☐ μηχανή αντλίας
3. ☐ βαλβίδα
4. ☐ αγωγός / σωλήνας
- L ☐ **Σύστ. Προσ/σμού**
1. ☐ ρουλεμάν
2. ☐ μηχανή
3. ☐ γρανάζια / τροχιά
4. ☐ φρένα προσ/μισμού
- M ☐ **Τμήμα κατασκευής**
1. ☐ έδρανα
2. ☐ πύργος
3. ☐ μηχανισμός
- N ☐ **Άλλο**

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε αρχικά μια προσπάθεια να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης των αιολικών πάρκων και τα προβλήματα βλαβών που παρουσιάζονται σε αυτά. Δεδομένου ότι η αιολική ενέργεια είναι άφθονη μπορεί να συνεισφέρει μελλοντικά, σε μεγαλύτερα ποσοστά σε σχέση με την εικόνα που παρουσιάζεται σήμερα ανά τον κόσμο (Εικόνα 26), στην παραγωγή ηλεκτρισμού απαλλαγμένο από μόλυνση, γεγονός που την καθιστά μια από τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες πηγές ενέργειας. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό να υπάρξει μια εξειδικευμένη διαδικασία εγκατάστασης και λειτουργίας των αιολικών πάρκων ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα πιθανά προβλήματα και οι επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης αυτών. Καθίσταται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης ενός τυποποιημένου συστήματος παρακολούθησης βλαβών και ελέγχου ώστε να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη και αποδοτικότερη η λειτουργία τους.



Εικόνα 26: Κατανομή χρήσης αιολικής ενέργειας ανά τον κόσμο
ΠΗΓΗ: WFEO Energy Committee

Κατά τη δημιουργία του συστήματος παρακολούθησης προκύπτει πως απαιτείται απόλυτη τεχνογνωσία στη λειτουργία και συμπεριφορά του κάθε εξαρτήματος των κύριων μερών της ανεμογεννήτριας. Έτσι είναι καθοριστική η σημασία των στατιστικών δεδομένων των βλαβών, αφού με την ανάλυση αυτών οδηγούμαστε σε ένα δρομολογημένο σύστημα παρακολούθησης μιας και θα λαμβάνει υπόψη από τις στατιστικές πιο είναι το εξάρτημα της Α/Γ που παρουσιάζει τις περισσότερες βλάβες και θα το αντιμετωπίζει ως το πιο κρίσιμο. Με τον τρόπο

αυτό επιτυγχάνεται άμεσα ο εντοπισμός της εκάστοτε βλάβης με αποτέλεσμα πιο έγκυρη και έγκαιρη αντιμετώπισή της.

Ο ρόλος του αυτοματοποιημένου συστήματος διακρίνεται:

- Στη μείωση των απαιτούμενων εργατωρών. Προφανώς πρόκειται για ένα σύστημα εικοσιτετράωρης παρακολούθησης χωρίς την ταυτόχρονη παρουσία περαιτέρω εργατικού δυναμικού.
- Στην ελαχιστοποίηση του χρόνου αντίδρασης. Σε περίπτωση βλάβης αυτομάτως το σύστημα προβαίνει στις κατάλληλες άμεσες ενέργειες ενώ παράλληλα ειδοποιεί τον υπεύθυνο του συστήματος με ένα σήμα συναγερμού. Για παράδειγμα στην περίπτωση μιας βλάβης που πιθανόν μπορεί να προκαλέσει αλυσιδωτά επιπλέον βλάβες, το σύστημα διακόπτει τη λειτουργία της συγκεκριμένης Α/Γ μέχρι να τεθεί και πάλι σε λειτουργία από τον υπεύθυνο.
- Στην αυτονομία στον τρόπο λύσης κάποιων τυποποιημένων τύπων βλαβών. Το σύστημα επικοινωνώντας με τη βάση δεδομένων έχει όλη την απαραίτητη πληροφορία για την αντιμετώπιση κάποιων προβλημάτων. Για παράδειγμα στην περίπτωση αλλαγής της διεύθυνσης του ανέμου το σύστημα αποφασίζει και εκτελεί την εντολή ρύθμισης της Α/Γ στη νέα θέση.
- Στην εύκολη και αμφίδρομη επικοινωνία χρήστη-συστήματος. Η έξοδος του συστήματος δίνεται μέσα από ένα φύλλο ελέγχου - φόρμα επικοινωνίας - που περιέχει όλη την πληροφορία για την κατάσταση των λειτουργικών ενδείξεων τη δεδομένη χρονική στιγμή. Είναι έτσι ευανάγνωστο για το χρήστη, ο οποίος εν συνεχεία μέσα από μια μονάδα Η/Υ μπορεί να επέμβει αν χρειάζεται. Για παράδειγμα στην περίπτωση βλάβης το φύλλο ελέγχου περιέχει όλη την πληροφορία που χρειάζεται ο χρήστης για να καταλάβει τον τύπο της. Ο χρήστης δε κατόπιν της αποκατάστασης της βλάβης συμπληρώνει στη φόρμα επικοινωνίας τις ενέργειες που διεξήχθησαν και η φόρμα, σαν είσοδος πλέον, διοχετεύει τα νέα στοιχεία στο σύστημα για την ανανέωση της βάσης δεδομένων του.
- Στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας του ανθρώπινου λάθους. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας με χρήση έμπειρων συστημάτων υπό την εποπτεία του ανθρώπινου παράγοντα καθιστά μηδαμινή την πιθανότητα λανθασμένης αντιμετώπισης του προβλήματος.

Εν κατακλείδι, το σύστημα παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης που προτείνεται στην παρούσα εργασία αποδεικνύεται ένα ισχυρό εργαλείο στην

πρόληψη αρχικά και αντιμετώπιση τελικά των προβλημάτων που ανακύπτουν στις Α/Γ των αιολικών πάρκων.

6.2 Προτάσεις για συνέχιση της εργασίας

Η περαιτέρω μελέτη και εκμετάλλευση του συστήματος παρακολούθησης αναμένεται προσδοκώντας ακόμα καλύτερα αποτελέσματα στην εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία των αιολικών πάρκων.

- Ένα τέτοιο σύστημα ενδείκνυται να αποτελέσει θεμέλιο λίθο για τη δημιουργία μιας ευέλικτης βάσης δεδομένων σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού από τους ειδικούς του προγραμματισμού, στην οποία θα έχουν πρόσβαση μέσω του διαδικτύου οι ενδιαφερόμενοι παγκόσμια.
- Η δημιουργία ενός ελληνικού συστήματος για το στατιστικό έλεγχο των βλαβών μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για τη συλλογή αξιόπιστων δεδομένων.
- Το σύστημα δύναται να αναβαθμιστεί σε ένα ευφυές σύστημα παρακολούθησης βλαβών και συντήρησης με τη χρήση ευφυών πρακτόρων (intelligent agents) ανταλλαγής πληροφοριών και μάθησης, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να συνεργάζονται και να κάνουν γνώση τους κάθε καινούρια πληροφορία που δέχονται.

Συντομογραφίες

A/Γ:	Ανεμογεννήτρια
APS:	Automatic Power Stations
AWEA:	Australian Wind Energy Association
ADEME:	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της Γαλλίας
APPA :	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της Ισπανίας
EWEA:	European Wind Energy Association
VEÖ:	Association of Austrian Electricity Companies
SONAR:	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της Δανίας
EMNID:	Κέντρο ερευνών της Γερμανίας
Ipsos MORI:	Research Company in UK
CIES:	Κέντρο ερευνών της Γαλλίας
SIFO:	Κέντρο ερευνών της Σουηδίας
VTT:	Κέντρο ερευνών της Φινλανδίας
FDI :	Fault Detection Identification
HAWT:	Horizontal Axis Wind Turbine
IMM:	Interactive Multiple Model
IEC:	International Electrotechnical Commission
ECN :	Netherlands Energy research foundation
NOVEM:	Nederland's Organization for Energy
WT_Ω (WT_OMEGA) :	Wind Turbine Operation and Maintenance based on Condition Monitoring
PSD :	Power Spectral Density
FMECA :	Failure Mode Effects and Criticality Analysis
DMS:	Dynamic Scanning Module
RBF NN:	Νευρωνικά δίκτυο για ανίχνευση βλάβης
OLS:	Ορθογώνιος αλγόριθμος ελάχιστου τετραγώνου
ANN :	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα
MLP:	Μοντέλα πολλαπλών επιπέδων αντίληψης
MTTF:	Mean Time To Failure
MTTR :	Mean Time To Repair
FMEA :	Failure Mode and Effect Analysis
IMM:	Interacting Multiple-Model

OTE :	Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδας
ISET:	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας της Γερμανίας
VVT:	Κέντρο ερευνών της Φινλανδίας
WMER:	Ερευνητικό πρόγραμμα Γερμανίας
ΚΑΠΕ:	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
UCTE:	Union for the co-ordination of Transmission of Electricity
TSO:	Transmission System Operators

Βιβλία

N. Ματσατσίνης, N. Σπανουδάκης, A. Σαμαράς, (2005), *Εισαγωγή στην τεχνητή νοημοσύνη και στα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων*.

Λ.Ι.Πισκιτζής, (2003), *Συστήματα Αιολικής Ενέργειας*

Τσούτσος Θεοχάρης, (2005), *Αειφόρα Ενεργειακά Συστήματα, Σημειώσεις*

Άρθρα

E.D.Adamides, Y.Stamboulis, H.Tsoutsos, A.G.Varelis, H.Malamatenios, A.Kiousis, (2002), *Model-based assessment of wind generators and maintenance systems*.

TEE

Tianshu Bi, Zheng Yan, Fushuan Wen, Yixin Ni, C.M.Shen, Felix.F.Wu, Qixum Yang (2001), *On-line fault section estimation in power systems with radial basis function neural network*, Electrical Power and Energy Systems 24 (2004) 321-328.

David Craig, (2006), *Wind turbine compilation*, Caithness Wind farms Information Forum

N.E. Carlstedt, C. Szadkowski, C. Karlström, *Driftuppföljning av Vindkraftverk, Årsrapport*, 1997-2004, Elforsk/ Elforskrapporter : 98:4, 99:6, 00:11, 02:20, 03:12, 04:19, 05:11.(available from: www.elforsk.se

S.Donders, V.Verdult, M.Verhaegen, (2004), *Fault detection and identification for wind turbines systems: a closed-loop analysis* , www.scopus.com

GEA(General Electric Company) - 13903 Rev A (11/2004), *Bently Nevada Wind Turbine Condition Monitoring and Diagnostics*, www.bently.com

Gregor Giebel, Axel Juhl, Klaus Gram Hansen, JochenGiebhardt, Thomas Pahlke, Hans-Peter Waldl, Matt Rebbeck, Oisin Brady, Rachel Ruffle, Martin Heyman Donovan, ClausBjergeOisin, (2004), *CleverFarm - A SuperSCADA system for wind farms*.

Carrad Hassan and Partners, (1999), *Electrodynamic braking of large wind turbines*. www.scirus.com

S.Iniyan, L.Suganthi, T.R.Jagadeesan, (1996), *Fault analysis of wind turbine generators in India*. College of Engineering, Anna University, Madras 600025, India, www.scopus.com

Ole Holst-Jensen, (2001), *Advanced Condition Monitoring of Wind Farms*, www.scopus.com

Clemens Jauch, Poul Sørensen, Ian Noeheim, Carsten Rasmussen, (2006), *Simulation of the impact of wind power on the transient fault behaviour of the Nordic power system*, Electrical Power Systems Research (2006).

J.K.Kaldellis, (2003), *Investigation of Greek wind energy market time-evolution*, Energy Policy 32 (2004) 865-879.

H.-J. Krokoszinski, (2003), *Efficiency and effectiveness of wind farms-keys to cost optimized operation and maintenance*, Renewable Energy 28 (2003) 2165-2178.

Corin Millais, (2003), *Overview of wind power in Europe*, Wind Directions, 40-44.

Corin Millais, (2005), *Tackling the intermittency myth*, Wind Directions, 4.

Mo Olve, John Olav Tande, Leif Wariand, Kjell Ljøkelsøy (2006), *Fault ride trough testing wind turbines*, Wind Engineering, Volume 30, Number 2.

Jouko Pakanen, (1996), *Fault diagnosis methods for district heating substations*, www.itcon.org

G.K.Purushothama, A.U.Narendranath, P.Thukaram, K.Parthasarathy, (2000), *ANN applications in fault locators*, Electrical Power Systems 23 (2001) 491-506.

L.W.M.M.Rademakers, H. Braam, (2001), *The maintenance manager: Collecting and analysing maintenance data of wind turbines*, www.energie.nl

Johan Ribrant, (2005-2006), *Reliability performance and maintenance-A survey of failures in wind power systems*, KTH School of Electrical Engineering, Μεταπτυχιακή διατριβή

D.Robb, L.Harrison, *The role of bearings in gearbox failure*, Windpower Monthly, 2005, Denmark, ISSN: 109-7318

C.Rodríguez, S.Rementera, J.Martín, A.Lafuente, J.Muguerza, J.Pérez, (1995), *Fault analysis with modular neural networks*, Wind Engineering, Vol.10, No 2, 99-110.

Ahmet Duran Şahin, (2004), *Progress and recent trends in wind energy*, Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 501-543.

UCTE Position Paper, (2004), *Integrating wind power in the European power systems-prerequisites for successful and organic growth*, www.scirus.com

T.W.Verbruggen, (2003), *Wind Turbine Operation & Maintenance based on Condition Monitoring*, www.scirus.com

A summary of opinion surveys on wind power, (2003), Wind Focus, 16-33.

Δ.Φουσέκης, Έλεγχος και παρακολούθηση λειτουργίας Α.Π. με κινητή τηλεφωνία (μηνύματα sms, wap) και internet (web, e-mail), www.cres.gr

.

1. Προτεινόμενη έκθεση από την UCTE: ενσωματώνοντας την αιολική ενέργεια στα ευρωπαϊκά συστήματα ενέργειας

Η αιολική ενέργεια έχει αρχίσει να αναγνωρίζεται σαν μια πολύτιμη εναλλακτική για την παραγωγή ενέργειας. Με συνολικά περισσότερα από 20.000 MW εγκατεστημένου αιολικού δυναμικού, περισσότερο από το μισό της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας από αιολική ενέργεια βρίσκεται στην Ευρώπη. Η τεράστια επιτυχία αυτής της ανανεώσιμης και φιλικής προς το περιβάλλον πηγής ενέργειας και η ενεργειακή παραγωγή πρέπει να χειρίζεται από τους χειριστές των ευρωπαϊκών συστημάτων μετάδοσης της κίνησης στην καθημερινή τους λειτουργία στα αλληλένδετα ευρωπαϊκά συστήματα.

Η UCTE (Ένωση για συνγχειρισμό της Μετάδοσης του Ηλεκτρισμού) είναι ο οργανισμός TSO του οποίου κύριος λόγος είναι η διατήρηση της ασφάλειας του εφοδιασμού και της ποιότητας ενέργειας που διανέμεται. Σε αυτή την αναφορά η UCTE και τα μέλη της TSO μοιράζονται το στόχο για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη μείωση εκπομπών CO₂ σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση και τους διεθνείς στόχους.

Τα TSO και τα συγχρόνως αλληλένδετα ηλεκτρικά δίκτυα ισχύος τους παρέχουν μια αξιόπιστη υποδομή για την παραγωγή αιολικής ενέργειας

Η προέκταση της αιολικής ενέργειας απαιτεί εκτενή ανασχεδιασμό της ενεργειακής υποδομής στην Ευρώπη και από πλευράς παραγωγής μέσω επιπρόσθετης ανάγκης για εξισορρόπηση ενέργειας και από πλευράς ηλεκτρικού δικτύου ισχύος.

Το πλαίσιο της εργασίας θα πρέπει να λάβει υπόψη του συγκεκριμένα τη:

- Δέσμευση στο να ενοποιήσει τους εκτενέστερους στόχους της αιολικής ενέργειας σαν απαραίτητα μέσα για σχεδιασμό της υποδομής και σχεδιασμό των δραστηριοτήτων του TSO και άλλων συμμετεχόντων αγοράς (πχ προμηθευτές ενεργειακής εξισορρόπησης).
- Δημιουργία συνδυασμένων διαδικασιών για αιολικά πάρκα και εκτεταμένα μέτρα ανταποκρινόμενων ηλεκτρικών δικτύων ισχύος.
- Εξασφάλιση αποζημίωσης των κοστών από την ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στα ενεργειακά συστήματα καθώς επίσης παροχή επαρκών οικονομικών πόρων στο TSO για την χρηματοδότηση των επενδύσεων για

την επέκταση των ηλεκτρικών δικτύων και για χρηματοδότηση των επιπρόσθετων λειτουργικών εξόδων για εξισορρόπηση ενέργειας.

- Τον καθορισμό των νομικών απαιτήσεων για τα ηλεκτρικά δίκτυα ώστε να εκπληρώνονται από τα αιολικά ενεργειακά εμφυτεύματα με στόχο την ελαχιστοποίηση της επίδρασής τους στα ηλεκτρικά δίκτυα. Μια ομάδα της UCTE ετοιμάζει πρόταση για το θέμα αυτό.

Αυτό το προτεινόμενο έγγραφο εξετάζει το προφίλ της αιολικής ενέργειας, την επίδραση της στο δίκτυο, την ασφάλεια του εφοδιασμού και την ποιότητα της ενέργειας που διανέμεται. Αυτό επιπλέον απασχολείται και με τις αιτίες για επαλήθευση συγκεκριμένων τεχνικών απαιτήσεων για την σύνδεση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας στο δίκτυο.

2. Ιστορία των ανεμογεννητριών

Σύμφωνα με την ιστορία των Α/Γ [Sahin, 2004] η ενέργεια του ανέμου χρησιμοποιείται τουλάχιστον 3.000 χρόνια. Η αιολική ενέργεια αρχικά χρησιμοποιήθηκε στη ναυσιπλοΐα στο ποταμό Νείλο το 5.000 π.Χ. Την ίδια περίοδο οι Α/Γ αντλούσαν νερό στην Κίνα. Η πρώτη γραπτή πληροφορία για τις Α/Γ βασίζεται σε μια Α/Γ απλής κατασκευής οριζόντιου άξονα την περίοδο της αυτοκρατορίας του Μ. Αλεξάνδρου. Είναι γνωστό ότι οι Πέρσες χρησιμοποίησαν Α/Γ κατακόρυφου άξονα το 700 π.Χ. Οι ανεμογεννήτριες άρχισαν να γίνονται γνωστές στον δυτικό κόσμο στις αρχές του 12^{ου} αιώνα από τον κόσμο του Ισλάμ. Κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα, ο Aboo-I Iz ο οποίος έζησε στο Diyarbakir, στην Τουρκία κατασκεύασε την πρώτη μοντέρνα κατακόρυφη Α/Γ. Μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα η αιολική ενέργεια χρησιμοποιούνταν για την παροχή μηχανικής ενέργειας για την άντληση νερού ή την άλεση σιτηρών.

Οι αρχικές ανεμογεννήτριες είχαν κατακόρυφο άξονα. Ήταν απλές συσκευές αντίστασης αέρα και χρησιμοποιούνταν για την άλεση σιταριού στην ορεινή περιοχή του Αφγανιστάν από τον 7^ο αιώνα π.Χ. Οι πρώτες λεπτομέρειες πάνω στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα βρέθηκαν σε ιστορικά έγγραφα από την Περσία, το Θιβέτ και την Κίνα γύρω στα 1.000 μ.Χ. Αυτός ο τύπος Α/Γς έχει οριζόντιο άξονα με πτερύγια (ή ιστία) τα οποία περιστρέφονταν σε κατακόρυφο επίπεδο. Από την Περσία και τη Μέση Ανατολή η φήμη των Α/Γ εξαπλώθηκε στην κεντρική Ευρώπη. Η πρώτη Α/Γ οριζόντιου άξονα εμφανίστηκε στην Αγγλία γύρω στο 1150μ.Χ, στη Γαλλία το 1180, στη Γερμανία το 1222 και στη Δανία το 1259μ.Χ.

Η γρήγορη αυτή εξάπλωση πιθανόν επηρεάστηκε από τους Σταυροφόρους οι οποίοι μετέφεραν την γνώση των ανεμογεννητριών από την Περσία στην Ευρώπη. Στην Ευρώπη, η επίδοση των ανεμογεννητριών βελτιώνεται συνεχώς μεταξύ του 12^{ου} και 19^{ου} αιώνα. Μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα, η τυπική ευρωπαϊκή Α/Γ χρησιμοποίησε σύστημα περιστροφής πτερυγίων διαμέτρου 25μ και τα σκαριά έφτασαν σε ύψος 30m. Οι Α/Γ δεν χρησιμοποιούνται μόνο για άλεσμα σιταριού αλλά επίσης και για άντληση νερού για την αποξήρανση λίμνης και βάλτων. Μέχρι το 1800, μόνο στην Γαλλία λειτουργούν 20.000 σύγχρονες Α/Γ. Στην Ολλανδία, το 90% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία βασίζεται στην αιολική ενέργεια. Η βιομηχανοποίηση οδήγησε σε σταδιακή παρακμή των Α/Γ αλλά ακόμα και το 1904 η αιολική ενέργεια παρήγαγε το 11% της Δανέζικης βιομηχανικής ενέργειας και η Γερμανία κατασκεύασε περισσότερες από 18.000 μονάδες.

Τον καιρό που οι ευρωπαϊκές Α/Γ ξεκίνησαν να εξαφανίζονται οι άποικοι τις παρουσιάζουν στην Βόρεια Αμερική. Μικρές Α/Γ που αντλούν νερό για απόθεμα γίνονται γνωστές σαν αμερικάνικες Α/Γ οι οποίες είναι ολοκληρωτικά αυτόματες και γι' αυτό το λόγο μπορούν αφεθούν χωρίς επιτήρηση. Ο αυτόματος μηχανισμός καθορίζει τον προσανατολισμό του στροφέα των πτερυγίων κατά τη διάρκεια ανέμων μεγάλης ταχύτητας. Οι Α/Γ ευρωπαϊκού στυλ συνήθως έπρεπε να κλείνουν εξαιτίας ανέμου ή τα πτερύγια έπρεπε να δένονται κατά τη διάρκεια μεγάλων ταχυτήτων ανέμου ώστε να αποφευχθεί τυχόν ζημιά της Α/Γ. Η δημοτικότητα των Α/Γ στις Η.Π.Α. έφτασε στην ακμή της ανάμεσα στο 1920 και το 1930 όταν περίπου 600.000 μονάδες ήταν σε λειτουργία. Η ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών τεκμηριώνεται σε πολλές δημοσιεύσεις[10-26].

Το 1891 ο Δανός Poul LaCour κατασκεύασε την πρώτη Α/Γ που παρήγαγε ηλεκτρισμό. Οι Δανοί μηχανικοί βελτίωσαν την τεχνολογία κατά τη διάρκεια του πρώτου και δεύτερου παγκοσμίου πολέμου και χρησιμοποίησαν αυτή την τεχνολογία για να ξεπεράσουν την έλλειψη ενέργειας. Οι Α/Γ που κατασκευάστηκαν από την δανέζικη εταιρία F.L. Smith το 1941-1942 μπορούν να θεωρηθούν πρόδρομοι των σύγχρονων Α/Γ. Οι Α/Γ Smith είναι οι πρώτες που χρησιμοποιούν επιφάνειες ανύψωσης με γνώση αεροδυναμικής. Στο μεταξύ ο αμερικανός Palmer Putnam κατασκεύασε μια γιγάντια ανεμογεννήτρια διαμέτρου 53μ για την εταιρία Morgan Smith Co. Τόσο η φιλοσοφία μεγέθους όσο και του σχεδιασμού αυτών των μηχανών είναι σημαντικά διαφορετικές. Το δανέζικο σχέδιο βασίζεται σε ένα στροφέα πτερυγίων σύμφωνο με τον άνεμο με σταθερή ρύθμιση

ώστε να λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Το σχέδιο του Putnam βασίστηκε σε ένα στροφέα πτερυγίων προς τον πνέοντα άνεμο με διάφορη ρύθμιση κλίσης. Ωστόσο η Α/Γ του Putnam ήταν πολύ επιτυχημένη.

Στη Δανία μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, ο Johannes Juul ανέπτυξε επιπλέον τη φιλοσοφία σχεδιασμού. Η Α/Γ του στο Gedser, στη Δανία παρήγαγε περίπου 2.2 εκατομμύρια kWh στο διάστημα 1956 έως 1967. την ίδια περίοδο ο γερμανός Hütter ανέπτυξε μια νέα προσέγγιση η οποία είναι γνωστή ως Α/Γ Hütter και έγινε γνωστή λόγω της μεγάλης του αποδοτικότητας[10,26,27]. Παρόλη την αρχική επιτυχία των ανεμογεννητριών των Juul και Hütter το ενδιαφέρον για μεγάλης κλίμακας παραγωγής αιολικής ενέργειας μειώθηκε μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Μόνο μικρής κλίμακας Α/Γ ενδιέφεραν για τα ενεργειακά συστήματα στις απομονωμένες περιοχές ή για φόρτιση μπαταριών. Με την κρίση του πετρελαίου στις αρχές του 1970 ξανάρχισε το ενδιαφέρον για παραγωγή ενέργειας από την αιολική. Σαν αποτέλεσμα έγινε εφικτή η οικονομική υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Η Γερμανία, η Ισπανία και η Δανία ανέπτυξε πρωτότυπες Α/Γ μεγάλης κλίμακας στο εύρος των MW. Είναι παγκοσμίως γνωστό ότι η χωρητικότητα των σημερινών Α/Γ είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που υπήρχε 15-20 χρόνια πριν. Από τότε έχουν γίνει κάποιες βελτιώσεις στην κατανόηση των περιοχών της αεροδυναμικής και άλλων βασικών τεχνολογιών όπως αερολαστικό σχεδιασμό tower interaction και παραγωγή θορύβου. Ωστόσο η μεγαλύτερη πρόοδος πραγματοποιήθηκε στο χώρο της παραγόμενης ποιότητας, μαζικής παραγωγής και στη βελτίωση της αξιοπιστίας. Επιπρόσθετα σε αυτές, η αποδοτικότητα έχει γίνει ο κύριος σκοπός σχεδιασμού στην διάρκεια αυτής της περιόδου ανάπτυξης. Στο τέλος του 1989 μια Α/Γ 300kW με 30μ διάμετρο αποτέλεσε το ανώτατο επίπεδο τεχνικής. Μόνο μετά από 12 χρόνια κατασκευάστηκαν Α/Γ 2.500 kW σε πολλά αιολικά πάρκα. Τεσσάρων και πέντε MW Α/Γ αναμένεται να είναι διαθέσιμες μέχρι το τέλος του 2002 ή στις αρχές του 2003.

3. Κιβώτια ταχυτήτων σε Σουηδία και Φινλανδία

3.1 Κιβώτιο ταχυτήτων-Μια μελέτη σε βάθος στη Σουηδία

Από τα προαναφερθέντα στο Κεφάλαιο 3 [Ribrant, 2006] έχει γίνει γνωστό ότι το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα προβληματικό εξάρτημα μέσα στην Α/Γ. Για μια τυπική Α/Γ το 20% του χρόνου ακινησίας της είναι λόγω βλάβης του κιβωτίου ταχυτήτων

και για ένα μέσο κιβώτιο ταχυτήτων που παθαίνει βλάβη η επισκευή πραγματοποιείται μέσα σε 256 ώρες. Μιας και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι τόσο σημαντικό για την διαθεσιμότητα της Α/Γ παρουσιάζουμε περισσότερα στατιστικά στη Σουηδία που αφορούν τα κιβώτια ταχυτήτων.

Στον πίνακα 17 φαίνονται οι βλάβες του κιβωτίου ταχυτήτων στο διάστημα 1997 έως 2004. Ο πίνακας αυτός περιέχει όλες τις βλάβες του κιβωτίου ταχυτήτων που έχουν εμφανιστεί από τότε που χρησιμοποιείται η βάση δεδομένων. Σε μερικές περιπτώσεις αναφέρονται τα στατιστικά βλαβών στη βάση δεδομένων πολύ αργότερα από τη στιγμή που τυπώνεται η αναφορά και γι αυτό το λόγο μπορεί να υπάρχει μια απόκλιση ανάμεσα στην επίσημη δημοσίευση της Elforsk και τις εικόνες που βρίσκονται στην βάση δεδομένων της Swedpower AB. Αυτή η μικρή διαφορά μπορεί να βρεθεί ανάμεσα στον αριθμό των ωρών στα αναφερόμενα σταματήματα αλλά αυτό δεν επηρεάζει το συνολικό συμπέρασμα ότι τα κιβώτια ταχυτήτων αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι του συνολικού σταματήματος.

Έτος	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	1997-2004
Αριθμός βλαβών [n]	21	41	52	26	30	42	13	7	232
Συνολικός χρόνος ακινησίας [ώρες]	4.031	2.518	5.061	6.172	5.228	12.589	3.987	2.309	41.895
Μέσος χρόνος ακινησίας ανά βλάβη [ώρες /βλάβη]	192	61	97	237	174	300	307	330	181
Ποσοστό συνολικού χρόνου ακινησίας[%]	9.4	5.3	7.3	15.5	13.6	33.5	14.8	17.4	14.6

Πίνακας 17: Βλάβες του κιβωτίου ταχυτήτων για το διάστημα 1997-2004

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Το πιο σημαντικό εύρημα που μπορούμε να συμπεράνουμε από τον παραπάνω πίνακα είναι ότι ο αριθμός των κιβωτίων με βλάβη τα τελευταία χρόνια έχει την τάση να μειώνεται ενώ ο μέσος χρόνος ακινησίας ανά βλάβη αυξάνεται.

Η κατανομή βλαβών σύμφωνα με το κοινωνικό στίγμα είναι ένας τρόπος για να μάθουμε αν μερικοί τύποι Α/Γ παθαίνουν βλάβη περισσότερο από ότι κάποιους

άλλους. Στον πίνακα 17 φαίνεται η κατανομή βλαβών του κιβώτιου ταχυτήτων για Α/Γ πάνω των 490. Το όριο των 490 έχει επιλεχτεί μιας και αυτό περιλαμβάνει ένα μεγάλο σύνολο παγκόσμιων Α/Γ. Μικρότερες Α/Γ είναι διαθέσιμες αλλά μιας και συνεχίζει η ανάπτυξη των Α/Γ τόσο και η παραγωγή αυτών και οι μικρότερες μειώνονται καθώς εγκαθίστανται καινούριες. Δεν φαίνεται να μοιάζει κανένας τύπος Α/Γ ότι είναι χειρότερος από τον άλλο αν αναλογιστούμε ότι το ποσό των δεδομένων είναι μικρό. Δυο τύποι Α/Γ ξεχωρίζουν και είναι γνωστό ότι η μία από αυτές, η Neg-Micon, είχε διάφορα προβλήματα ιδιαίτερα με το κιβώτιο ταχυτήτων [Robb et al, 2005]. Ο μέσος αριθμός βλαβών του κιβώτιου ταχυτήτων ανά Α/Γ για τουρμπίνες πάνω των 490 είναι 0.18.

Τύπος Α/Γ	Ενέργεια [kW]	Αριθμός βλαβών [n]	Συνολικός χρόνος ακινησίας [h]	Μέσος όρος ακινησίας [h]	Συνολικός αριθμός εγκατεστημένων Α/Γ(2005) [n]	Μέσος αριθμός βλαβών του κιβώτιου ταχυτήτων ανά Α/Γ [n]
Bonus	600	6	654	109	22	0.17
Enercon	500	1	31	31	31	0.03
GE Wind Energy/ EnronWind	1.425	16	4.519	283	7	2.29
Neg-Micon	600	5	1.247	283	7	2.29
Neg-Micon	750	9	1.329	148	20	0.45
Nordic	1000	1	224	224	4	0.25
Vestas	500	5	570	114	23	0.22
Vestas	600	19	7.887	415	56	0.34
Vestas	660	19	7.151	376	79	0.24
Vestas	850	3	370	124	93	0.03
Vestas	1500	6	5.138	857	16	0.37
WindWorld	490	11	3.517	320	16	0.37
WindWorld	500	6	1.174	196	27	0.22
WindWorld	600	2	940	470	43	0.05
All turbines	-	109	34.751	319	593	0.18

Πίνακας 18:Κατανομή βλαβών του κιβώτιου ταχυτήτων για Α/Γ πάνω από 490

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Στον πίνακα 18 παρουσιάζεται η Α/Γ Enercon E40. Αυτός ο τύπος Α/Γ δεν έχει κιβώτιο ταχυτήτων και έχει διαφορετικό σχέδιο από τις άλλες Α/Γ. Αντί για το στάδιο του κιβώτιου ταχυτήτων χρησιμοποιεί μια γεννήτρια *direct driven synchronous ring*. Ο άμεσος οδηγός δεν έχει πλεονέκτημα όσο αφορά το κόστος ή το βάρος σε σχέση με τα συστήματα συμβατικών γραναζιών αλλά στον τύπο σχεδιασμού ειδικά στο PMG (Permanent Magnet Generator). Αποτελείται από ένα πιο απλό *power train* από τον συνδυασμό κιβώτιο ταχυτήτων/ γεννήτρια υψηλής ταχύτητας και μπορεί να είναι πιο αξιόπιστο [Duwind, 2001]. Είναι άγνωστο για ποιο λόγο αυτό το πρόβλημα αναφέρεται σαν πρόβλημα κιβώτιου ταχυτήτων.

Τελικά τα κιβώτια ταχυτήτων δεν διαφέρουν και πολύ μεταξύ τους. Μπορεί να υπάρχουν διαφορές στο σχεδιασμό αλλά όσο αφορά τα βασικά τους μέρη είναι ίδια. Ένα γρανάζι είναι μια οδοντωτή ρόδα η οποία δουλεύει με μια άλλη οδοντωτή ρόδα ώστε να μεταβάλλει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας του στροφέα και της ταχύτητας των μέρων των οδηγών, όπως η γεννήτρια. Ένα κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα σύνολο από αλληλοσυνδεόμενα γρανάζια μέσα σε κάποιο είδος θήκης, συνήθως από χυτό σίδηρο. Όλα περιέχουν μια θήκη, σύστημα λίπανσης και ρόδες τα οποία συγκρατούνται με πίεση.

Ο πίνακας 19 δείχνει το υπο-εξάρτημα που αστόχησε μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων μιας Α/Γ η οποία λειτουργούσε με 490. κάθε τύπος βλάβης έχει συγκεκριμένο κώδικα προσδιορισμένο στη φόρμα αναφοράς. Το γράμμα I αντιπροσωπεύει το κιβώτιο ταχυτήτων και ο επόμενος αριθμός είναι ο κωδικός για το πιο μέρος του κιβώτιου ταχυτήτων έχει πάθει βλάβη, π.χ. I-1 είναι μια γενική βλάβη του κιβώτιου ταχυτήτων.

Τύπος του αναφερόμενου κωδικού βλάβης	Εξάρτημα	Αριθμός βλαβών [n]	Μέσος χρόνος ακινησίας [h] (min-max)	Αριθμός βλαβών, Αιτία: B1 [n]	Μέσος χρόνος ακινησίας, Αιτία: B1 [h]
I-1	Ρουλεμάν	41	562(15-2067)	36	601
I-2	Τροχοί γραναζιών	3	272(57-383)	2	379
I-3	Άξονας	0	0	0	0
I-4	Αεροστεγές σφράγισμα	8	52(2-218)	4	30
I-5	Σύστημα	13	26(1-63)	5	36

	λαδιού				
I-άλλο	Ακαθόριστο	44	230(9-1248)	19	299

Πίνακας 19: Βλάβες υπο-εξαρτημάτων του κιβώτιου ταχυτήτων

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Στον πίνακα 19 η τελευταία γραμμή έχει συμπληρωθεί από μη καθορισμένες βλάβες. Αυτό σημαίνει ότι έχουν σημειωθεί ως βλάβες κιβώτιου ταχυτήτων αλλά δεν έχει καθοριστεί σε πιο υπό εξάρτημα. Είναι πιθανό η εξέταση επιπρόσθετου κειμένου στην αναφορά και μια γρήγορη ματιά σε αυτό να αποκαλύψει ότι περίπου οι μισές από τις ακαθόριστες βλάβες του κιβώτιου ταχυτήτων αντιστοιχούν σε σοβαρές βλάβες οι οποίες οδήγησαν σε αντικατάσταση ολόκληρου του κιβώτιου ταχυτήτων. Όσο αφορά την βλάβη I-1, βλάβες στα bearings, τα περισσότερα από αυτά απαιτούν ολόκληρη αντικατάσταση του κιβωτίου ή απλά των ρουλεμάν (bearings) στο κιβώτιο. Στον πίνακα 19 οι τελευταίες 2 στήλες δείχνουν τις βλάβες B1. Όταν αναφέρεται το εξάρτημα που έχει πάθει βλάβη στην αναφορά ατυχημάτων είναι πιθανό να καταγραφεί τι προκάλεσε τη βλάβη. Μια βλάβη B1 προκλήθηκε από φθορά. Η πλειοψηφία των βλαβών στο κιβώτιο ταχυτήτων προκαλούνται από το wear και εδώ φαίνονται σαφώς.

3.2 Κιβώτιο ταχυτήτων-Μια μελέτη σε βάθος στη Φινλανδία

Μιας και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι τόσο σημαντικό εξάρτημα για τις Α/Γ όχι μόνο για τη λειτουργία του αλλά επίσης και για τη διαθεσιμότητα του, ο Ribrant, (2006) εξετάζει κάποιες επιπλέον στατιστικές που αφορούν το κιβώτιο ταχυτήτων.

Ο πίνακας 20 δείχνει την τάση για την ποσότητα του χρόνου ακινησίας για βλάβες του κιβώτιου ταχυτήτων για τα χρόνια 2000-2004 και επίσης φαίνεται το συνολικό ποσοστό ακινησίας για την περίοδο 1996-2004.

Έτος	2000	2001	2002	2003	2004	1996-2004
Ποσοστό συνολικού χρόνου ακινησίας	42%	62%	28%	0%	0%	32%

Πίνακας 20: Τάση για την ποσότητα του χρόνου ακινησίας

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Ο πίνακας με τις βλάβες του κιβώτιου ταχυτήτων δείχνει μια πτωτική τάση για τα ποσοστά των βλαβών. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις χρονιές 2000-2002 σε σύγκριση με τις χρονιές 2003-2004. Σε συνέντευξη με το προσωπικό της VTT, λένε ότι ο υψηλότερος χρόνος ακινησίας για τα χρόνια 2000-2002 ήταν εξαιτίας μιας μικρότερης Α/Γ γύρω στα 300 η οποία χρειάστηκε περισσότερο χρόνο για να επισκευαστεί. Επίσης υποστηρίζουν ότι τα χρόνια

2003-2004 ήταν περισσότερο «κανονικά». Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου επίσης σημειώθηκε φωτιά σε Α/Γ. Το συμπέρασμα από όλα αυτά είναι ότι με τον μικρό αριθμό των ενεργών Α/Γ και με τις εξαιρετικές βλάβες που έχουν σημειωθεί μπορεί κανείς να είναι προσεχτικός όταν θελήσει να βγάλει συμπεράσματα από αυτά τα δεδομένα.

Το «κιβώτιο ταχυτήτων» χρησιμοποιείται σαν γενικός όρος για ένα εξάρτημα που αποτελείται από διαφορετικά μέρη. Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται μια εξέταση των υπό-εξαρτημάτων του κιβώτιου ταχυτήτων και οι σχετικές στατιστικές βλαβών. Στον πίνακα 26 μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως φαίνεται η κατανομή των βλαβών για διαφορετικά υπό-εξαρτήματα για τα τελευταία 5 χρόνια. Στο τελευταία γραμμή του πίνακα φαίνονται τα δεδομένα για όλα τα εξαρτήματα της Α/Γ για σύγκριση.

Εξάρτημα	Υπό-εξάρτημα	Συνολικός χρόνος ακινησίας ανά εξάρτημα 2000-2004 [hours]	Συνολικός αριθμός βλαβών ανά εξάρτημα 2000-2004 [n]	Ποσοστό του συνολικού αριθμού βλαβών 2000-2004 [%]	Ποσοστό του συνολικού χρόνου ακινησίας 2000-2004 [%]	Μέσος χρόνος ακινησίας ανά εξάρτημα 2000-2004 [hours/failure]
Κιβώτιο ταχυτήτων	Κιβώτιο ταχυτήτων γενικά	23.935	35	7,1	28,3	684
	Τροχός	2.232	4	0,8	2,6	558
	Άξονας	1.423	2	0,4	1,7	712
	Αεροστεγές σφράγισμα	116	5	1	0,1	23
	Ρουλεμάν	0	0	0,0	0,0	0
	Σύστημα λίπανσης	0	0	0,0	0,0	0
Κιβώτιο ταχυτήτων συνολικά	-	Σύνολο:27.706	Σύνολο:46	Σύνολο:9,4	Σύνολο:32,8	Μέσος όρος:602

Όλα τα εξαρτήματα	-	Σύνολο:84.428	Σύνολο:491	Σύνολο:100	Σύνολο:100	Μέσος όρος: 172
-------------------	---	---------------	------------	------------	------------	-----------------

Πίνακας 21: Κατανομή βλαβών για τα διάφορα υπό-εξαρτήματα

ΠΗΓΗ: Ribrant, 2006

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να βγάλουμε σημαντικά συμπεράσματα. Το πρώτο είναι ότι 35 από τις 46 βλάβες του κιβώτιου ταχυτήτων αναφέρονται σαν γενικές βλάβες αυτού και τα εξαρτήματα που έχουν επηρεαστεί σπάνια αναφέρονται. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι όλο το κιβώτιο ταχυτήτων χρειάζεται να επισκευαστεί ή ότι όλα τα μέρη του έχουν επηρεαστεί. Όταν χαλάει ένα κιβώτιο ταχυτήτων συνήθως επηρεάζονται όλα τα μέρη του και χρειάζεται άμεσα κάποιο είδος συντήρησης. Ένα δεύτερο συμπέρασμα είναι ότι δεν αναφέρεται καμιά βλάβη λόγω αντοχής. Εδώ δεν ερευνάται ο λόγος που συμβαίνει αυτό απλά σημειώνεται ως παράξενο αφού σε κάθε άλλη στατιστική και έρευνα τα bearings φαίνεται να είναι το πρόβλημα 1 όσο αφορά τις βλάβες του κιβώτιου ταχυτήτων. Το τρίτο συμπέρασμα είναι ότι η ποσότητα του χρόνου που χρειάζεται για την επισκευή ενός χαλασμένου κιβώτιου ταχυτήτων είναι μεγάλος αφού κατά μέσο όρο χρειάζεται 602 ώρες για να επισκευαστεί.

Έχει αποδειχτεί ότι το κιβώτιο ταχυτήτων είναι κρίσιμο για την διαθεσιμότητα της Α/Γ. Παρουσιάζονται πολλές βλάβες και οι περισσότερες από αυτές προκαλούνται από την φθορά στα μηχανικά μέρη. Τα στατιστικά δεδομένα που βρέθηκαν όσο αφορά τις βλάβες στο κιβώτιο ταχυτήτων συγκεντρώθηκαν από τις συνεντεύξεις και όλα τα άρθρα που υποστηρίζουν αυτό το συμπέρασμα. Το γεγονός ότι υπάρχουν προβλήματα μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων επιβεβαιώνεται επίσης από τους αντιπροσώπους των ασφαλιστικών εταιριών όπως την Allianz στη Γερμανία το οποίο έγινε εξαντλητικά μέσα από μελέτη των Α/Γ. Ζημιές στο κιβώτιο ταχυτήτων δεν είναι απλά ένα πρόβλημα που εύκολα μπορεί να λυθεί με το πάτημα ενός κουμπιού. Οι περισσότερες βλάβες στο κιβώτιο ταχυτήτων οδηγούν στην αλλαγή μερών και ακόμα στην αντικατάσταση ολόκληρου του κιβώτιου ταχυτήτων. Ένας βασικός λόγος της εκτεταμένης φθοράς χρειάζεται να εξετασθεί περισσότερο.

Η φθορά είναι κάτι σταθερό αλλά είναι επίσης δύσκολο να ανακαλύψουμε πότε είναι καιρός να αλλαχτεί το κιβώτιο ταχυτήτων μιας και συμβαίνουν τόσες πολλές

βλάβες. Αν υπήρχε κάποιος τρόπος μέτρησης της φθοράς η αντικατάσταση του κιβώτιου ταχυτήτων πριν την βλάβη θα μπορούσε να μειώσει το χρόνο ακινησίας για επισκευή. Αυτό που χρειάζεται είναι ένας τρόπος μέτρησης της κατάστασης του κιβώτιου ταχυτήτων.