

**Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο**

**Σχολή Μηχανικών**

**Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών**

**Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**



---

Διπλωματική Εργασία

**Σύγχρονες μέθοδοι συντήρησης, κριτήρια βέλτιστης  
επιλογής και εφαρμογή σε ανεμογεννήτριες**

Σπουδαστής

**Δεβεράκης Σταύρος (ΑΜ:127)**

Επιβλέπων καθηγητής

**Σιδεράκης Κυριάκος**

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον καθηγητή του ΕΛΜΕΠΑ κ. Σιδεράκη Κυριάκο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα διπλωματική εργασία στο πλαίσιο των μεταπτυχιακών σπουδών μου στα «Ενεργειακά Συστήματα», καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγή του κατά τη συνεργασία μας.

Επίσης, ευχαριστώ την γυναίκα μου για την κατανόηση που έδειξε κατά την περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος αφιερώνω την παρούσα διπλωματική εργασία στα παιδιά μου, με την ελπίδα να εμπνευστούν, να αγαπήσουν τη μάθηση και να κυνηγήσουν στο μέλλον τα όνειρά τους.

## Περίληψη

---

Η συντήρηση αποτελεί ένα βασικό επιχειρηματικό στοιχείο για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των βιομηχανιών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες συντήρησης εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και στον τομέα της ενέργειας. Γίνεται περιγραφή των μεθόδων και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Επιπλέον παρουσιάζεται το σύστημα παρακολούθησης κατάστασης, ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τον έλεγχο του εξοπλισμού.

Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή της ανεμογεννήτριας και του βασικού εξοπλισμού της. Παρουσιάζεται η συντήρηση που εφαρμόζεται στην ανεμογεννήτρια καθώς επίσης και οι διαδικασίες που ακολουθούνται για τη διαχείριση των υλικών, το εντολών εργασίας, των απαραίτητων οδηγιών καθώς και του ανθρώπινου δυναμικού μέσω του λογισμικού ERP.

Στο τελευταίο μέρος γίνεται αναφορά στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της συντήρησης και σε τρόπους που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της κατάστασης του εξοπλισμού.

## Abstract

Maintenance is a key business element to improve competitiveness and optimize the operation of industries.

This thesis presents the equipment maintenance methodologies used in industry and in energy systems. The methods are described, and their advantages and disadvantages are mentioned. In addition, the condition monitoring system, a very important tool for equipment control, is presented.

Next, the wind turbine and its basic equipment are described. The maintenance applied to the wind turbine is presented as well as the procedures followed for the management of materials, work orders, necessary instructions as well as human resources through the ERP software.

In the last part, reference is made to the evaluation of the results of the maintenance and to the ways used to improve the condition of the equipment

# Περιεχόμενα

---

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Περιεχόμενα.....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>8</b>
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Μεθοδολογίες συντήρησης.....	9
1.2.1 Συντήρηση αποκατάστασης βλάβης (Reactive Maintenance).....	9
1.2.1.1 Αξιολόγηση της Συντήρησης Αποκατάστασης Βλάβης.....	9
1.2.2 Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance).....	10
1.2.2.1 Άμεση επιδιόρθωση (Remedial Maintenance).....	11
1.2.2.2 Αναβολή επιδιόρθωσης (Deferral Maintenance).....	11
1.2.2.3 Αξιολόγηση της Διορθωτικής Συντήρησης.....	11
1.2.3 Προληπτική συντήρηση (Preventive Maintenance).....	12
1.2.3.1 Προγραμματισμός Προληπτικής Συντήρησης.....	15
1.2.3.2 Οικονομικά δεδομένα.....	17
1.2.3.3 Προβλήματα στην εφαρμογή της Προληπτικής Συντήρησης.....	19
1.2.3.4 Αξιολόγηση της Προληπτικής Συντήρησης.....	19
1.2.4 Προγνωστική Συντήρηση (Predictive Maintenance).....	20
1.2.4.1 Συντήρηση βάσει χρόνου.....	20
1.2.4.2 Συντήρηση βάσει συνθηκών.....	21
1.2.4.3 Αξιολόγηση Προγνωστικής Συντήρησης.....	22
1.3 Σύγκριση μεθοδολογιών συντήρησης.....	23
1.4 Επίλογος – Συμπεράσματα.....	26

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ</b>	27
2.1 Εισαγωγή	27
2.2 Περιγραφή ανεμογεννήτριας	27
2.2.1 Νασέλα (nacelle)	28
2.2.1.1 Μετασχηματιστής (transformer)	30
2.2.1.2 Αισθητήρες περιβάλλοντος (anemometers)	31
2.2.1.3 Γεννήτρια (Generator)	31
2.2.1.4 Κιβώτιο μετασχηματισμού στροφών (Gearbox)	34
2.2.1.5 Μονάδα υδραυλικής πίεσης (hydraulic unit)	36
2.2.1.6 Σύστημα περιστροφής φτερών (pitch system & pitch cylinders)	37
2.2.1.7 Σύστημα προσανατολισμού νασέλας (yaw system)	39
2.3 Σύστημα επικοινωνίας ανεμογεννήτριας	41
2.4 Επίλογος	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (CONDITION MONITORING SYSTEM – CMS)</b>	43
3.1 Εισαγωγή	43
3.2 Περιγραφή συστήματος CMS	43
3.2.1 Ανάλυση Κραδασμών (Vibration Analysis)	45
3.2.2 Ανάλυση Λαδιού (Oil Analysis)	47
3.2.3 Έλεγχος Θερμοκρασίας (Temperature Monitoring)	48
3.2.4 Έλεγχος Στροφών (Speed/RPM Monitoring)	48
3.2.5 Εξοπλισμός Συστημάτων CMS	49
3.3 Επίλογος	50
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ. ΟΡΓΑΝΩΣΗ - ΟΔΗΓΙΕΣ - ΕΡΓΑΛΕΙΑ</b>	51
4.1 Εισαγωγή	51

4.2 Οργάνωση εργαλείων και οργάνων ελέγχου.....	52
4.2.1 Εργαλεία γενικής χρήσης.....	52
4.2.2 Εργαλεία σχεδιασμένα από τη VESTAS.....	53
4.3 Οδηγίες ασφαλείας.....	64
4.4 Οδηγίες εκτέλεσης εργασιών.....	66
4.5 Οργάνωση υλικών, ανταλλακτικών και εργασιών.....	67
4.5.1 Διαχείριση υλικών και ανταλλακτικών.....	67
4.5.2 Διαχείριση εντολών εργασίας.....	69
4.6 Εκπαίδευση προσωπικού.....	70
4.7 Εργασίες συντήρησης (checklist).....	71
4.7.1 Συντήρηση τριών (3) μηνών.....	72
4.7.2 Συντήρηση δώδεκα (12) μηνών.....	74
4.7.3 Συντήρηση τεσσάρων (4) ετών.....	81
4.8 Επίλογος.....	82
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....</b>	<b>83</b>
5.1 Εισαγωγή.....	83
5.2 Γενικές πληροφορίες μεθοδολογίας DEMAIC.....	83
5.3 Ανάλυση μεθοδολογίας DEMAIC.....	86
5.3.1 Define (Ορισμός).....	86
5.3.2 Measure (Μέτρηση).....	87
5.3.3 Analyze (Ανάλυση).....	87
5.3.4 Improve (Βελτίωση).....	89
5.3.5 Control (Έλεγχος).....	89
5.4 Επίλογος.....	90
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>91</b>

Βιβλιογραφία.....92

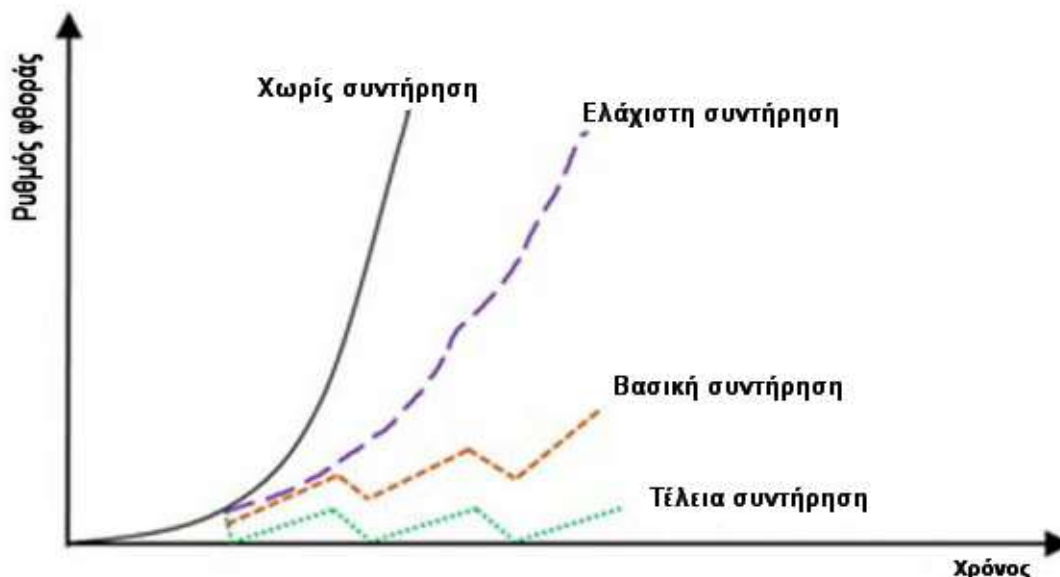
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια, οδήγησε στη δημιουργία μεγάλων και σύνθετων σταθμών παραγωγής. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί την ανάγκη για όλο και μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής. Επιπλέον, για μεγαλύτερη αποδοτικότητα και χαμηλότερο κόστος, κατασκευάζονται υβριδικοί σταθμοί συνδυάζοντας διάφορους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εκμεταλλευόμενοι τα ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και τις ανανεώσιμες πηγές (άνεμο, νερό, βιομάζα). Η εξέλιξη αυτή στις μονάδες παραγωγής, οδήγησε αναπόφευκτα στην αναβάθμιση των γραμμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα νέα σύνθετα και υψηλών απαιτήσεων ενεργειακά συστήματα απαιτούν σωστή και αποδοτική συντήρηση ώστε να λειτουργούν αποδοτικά. Οι απαιτήσεις αυτές εξέλιξαν τις υπάρχουσες μεθόδους συντήρησης του εξοπλισμού. Δημιουργήθηκαν νέες μεθοδολογίες περισσότερο πολύπλοκες και αποδοτικές, αυξάνοντας τον χρόνο ζωής και λειτουργίας ως την βλάβη των επιμέρους συστημάτων, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος των εργασιών συντήρησης. Η επίδραση της συντήρησης στο ποσοστό αποτυχίας/φθοράς φαίνεται στο διάγραμμα 1.





Διάγραμμα 1: Επίδραση συντήρησης στο ποσοστό αποτυχίας εξοπλισμού. (Πηγή: A Review of Sustainable Maintenance Strategies for Single Component and Multicomponent Equipment των Jingyi Zhao, Chunhai Gao και Tao Tang, 2022)

Σήμερα χρησιμοποιούνται τέσσερις κύριες μεθοδολογίες συντήρησης εξοπλισμού:

1. Συντήρηση Αποκατάστασης Βλάβης (Reactive Maintenance)
2. Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance)
3. Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance)
4. Προγνωστική Συντήρηση (Predictive Maintenance)

Οι παραπάνω μεθοδολογίες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ενώ εφαρμόζονται μεμονωμένα ή συνδυαστικά.

## 1.2 Μεθοδολογίες συντήρησης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι κύριες μεθοδολογίες συντήρησης που χρησιμοποιούνται σήμερα καθώς επίσης τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στις δύο πιο εξελιγμένες μεθόδους συντήρησης, την προληπτική και την προγνωστική.

### 1.2.1 Συντήρηση Αποκατάστασης Βλάβης (Reactive Maintenance)

Αυτό το είδος συντήρησης εστιάζει στην αποκατάσταση του προβληματικού εξοπλισμού ο οποίος οδήγησε σε βλάβη. Η αποκατάσταση γίνεται είτε με επιδιόρθωση είτε με αντικατάσταση του εξαρτήματος. Η μεθοδολογία αυτή δεν απαιτεί συχνούς ελέγχους του εξοπλισμού (1). Η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης είναι μία από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν στα ενεργειακά συστήματα αλλά και στη βιομηχανία.

#### 1.2.1.1 Αξιολόγηση της Συντήρησης Αποκατάστασης Βλάβης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της συντήρησης αποκατάστασης βλάβης.

##### Πλεονεκτήματα:

- Μικρό αρχικό κόστος λόγω απουσίας προγραμματισμένων ελέγχων.
- Δεν απαιτείται προγραμματισμός εργασιών.

##### Μειονεκτήματα:

- Απρόβλεπτο κόστος λειτουργίας.
- Απρόβλεπτη φθορά εξοπλισμού.
- Απρόβλεπτη εμφάνιση βλαβών.
- Απαιτείται μεγάλος αριθμός προσωπικού σε επιφυλακή για την επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν.
- Επειδή οι βλάβες δεν μπορούν να προβλεφθούν, απαιτείται η αποθήκευση μεγάλου αριθμού ανταλλακτικών αυξάνοντας τα λειτουργικά έξοδα.
- Δεν υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης, καθώς οι απρόβλεπτες φθορές μειώνουν την αξιοπιστία της εκτίμησης.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η συντήρηση αποκατάστασης βλάβης, παρότι είναι πολύ απλή στην εφαρμογή της, παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα καθιστώντας την μή συμφέρουσα επιλογή ειδικά για μεγάλα και σύνθετα συστήματα. Τα τελευταία χρόνια τείνει να μην χρησιμοποιείται, δίνοντας τη θέση της σε νέες εξελιγμένες μεθόδους.

### **1.2.2 Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance)**

Η διορθωτική συντήρηση παρουσιάζει ομοιότητες με τη συντήρηση αποκατάστασης βλάβης. Και οι δύο αυτές μεθοδολογίες εφαρμόζονται έπειτα από τη φθορά του εξοπλισμού, αποσκοπώντας στην επίλυση της βλάβης με αντικατάσταση του φθαρμένου υλικού. Θεωρείται πιο εξελιγμένη μορφή συντήρησης, καθώς κατά τη βλάβη διερευνάται το αίτιο που προκάλεσε τη φθορά.

Στη διορθωτική συντήρηση η φθορά του εξοπλισμού είναι αποδεκτή, θεωρώντας ότι η αποτροπή της φθοράς είναι είτε αδύνατη είτε ασύμφορη οικονομικά (1). Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελείται από βήματα και ενέργειες τα οποία εφαρμόζονται μετά τη φθορά του εξοπλισμού και κατά συνέπεια την εμφάνιση βλάβης. Η χρήση της διορθωτικής συντήρησης είναι λογική επιλογή, όταν το κόστος συντήρησης υπερβαίνει το κόστος επιδιόρθωσης (2). Η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης είναι απλή και εύκολα εφαρμόσιμη. Μπορεί να επιτύχει αποτελεσματικά υψηλή διαθεσιμότητα του εξοπλισμού, αποφεύγοντας άσκοπες επισκέψεις συντήρησης και επιθεώρησης. Είναι επομένως κατάλληλη για συστήματα με αμελητέες απώλειες λόγω της διακοπής λειτουργίας από τη βλάβη. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης αποδεικνύεται μη πρακτική για μεγάλες μονάδες λόγω του υψηλού ποσοστού αστοχίας και της χαμηλής αξιοπιστίας του συστήματος (3). Επίσης, ο χρόνος που δεν λειτουργεί η μονάδα λόγω βλάβης παραμένει υψηλός (4), δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα.

Η διορθωτική συντήρηση περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια :

- Αναγνώριση σφάλματος.

- Απομόνωση σφάλματος.
- Διόρθωση/αποκατάσταση σφάλματος και επιβεβαίωση αποκατάστασης (5).

Χωρίζεται επίσης σε δύο κατηγορίες, την άμεση επιδιόρθωση Remedial Maintenance) και την αναβολή επιδιόρθωσης (Deferral Maintenance).

### **1.2.2.1 Άμεση επιδιόρθωση (Remedial Maintenance)**

Περιλαμβάνονται δραστηριότητες που εκτελούνται για την εξάλειψη της πηγής (αίτιο) που οδήγησε στη φθορά του εξοπλισμού. Η βλάβη αποκαθίσταται άμεσα, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το χρονικό διάστημα που απαιτείται να μείνει εκτός λειτουργίας το σύστημα.

### **1.2.2.2 Αναβολή επιδιόρθωσης (Deferral Maintenance)**

Περιλαμβάνονται διορθωτικές ενέργειες οι οποίες δεν εκτελούνται άμεσα μετά την εμφάνιση της φθοράς εξοπλισμού, αλλά η εφαρμογή του αναβάλλεται κατά τρόπο ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία του συστήματος. Κατά τη μεθοδολογία αυτή πρωταρχικός σκοπός είναι να τεθεί σε λειτουργία το συντομότερο δυνατόν η μονάδα που σταμάτησε από τη βλάβη. Σε δεύτερη φάση διερευνάται το αίτιο που προκάλεσε τη βλάβη.

### **1.2.2.3 Αξιολόγηση της Διορθωτικής Συντήρησης**

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διορθωτικής συντήρησης.

#### Πλεονεκτήματα:

- Μικρό αρχικό κόστος λόγω απουσίας προγραμματισμένων ελέγχων.
- Δεν απαιτείται προγραμματισμός εργασιών.
- Το όριο φθοράς των υλικών είναι υψηλό. Αυτό συνεπάγεται ότι η προσπάθεια για επιθεώρηση ή αντικατάσταση υλικών είναι σημαντικά μειωμένη σε σύγκριση με την προληπτική ή προγνωστική συντήρηση.
- Η διερεύνηση του αρχικού αίτιου που προκάλεσε τη φθορά στον εξοπλισμό έχει σαν αποτέλεσμα αρκετές φορές να αποφευχθεί μία μελλοντική βλάβη, λειτουργώντας έμμεσα ως μία μορφή προληπτικής συντήρησης.

#### Μειονεκτήματα:

- Απρόβλεπτο κόστος λειτουργίας.
- Απρόβλεπτη φθορά εξοπλισμού.
- Απρόβλεπτη εμφάνιση βλαβών.
- Απαιτείται μεγάλος αριθμός προσωπικού σε επιφυλακή για την επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν.
- Επειδή οι βλάβες δεν μπορούν να προβλεφθούν, απαιτείται η αποθήκευση μεγάλου αριθμού ανταλλακτικών αυξάνοντας τα λειτουργικά έξοδα.
- Δεν υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης, καθώς οι απρόβλεπτες φθορές μειώνουν την αξιοπιστία της εκτίμησης.

### 1.2.3 Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance)

Προληπτική Συντήρηση είναι η συντήρηση που πραγματοποιείται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή σύμφωνα με προκαθορισμένα κριτήρια με σκοπό τη μείωση της πιθανότητας αστοχίας ή την υποβάθμιση λειτουργίας ενός υλικού. Κάθε σημαντικό μηχάνημα ενός συστήματος ή μίας εγκατάστασης σταματά και επιθεωρείται μετά από συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας. Κάθε φθαρμένο εξάρτημα (εάν υπάρχει) αντικαθίσταται και τελικά το σύστημα παραδίδεται σε λειτουργία. Όπως είναι σαφές, η προληπτική συντήρηση αποτελεί μία παρεμβατική μέθοδο συντήρησης. Επομένως η προληπτική συντήρηση αποτελείται από μία σειρά δραστηριοτήτων οι οποίες πραγματοποιούνται και εφαρμόζονται με βάση τις υποδείξεις του κατασκευαστή του εξαρτήματος, τις ώρες λειτουργίας του, την κατάστασή του ή τη συνολική του παραγωγή, με σκοπό:

1. Την παράταση του χρόνου λειτουργίας έως τη φθορά σε ένα εξάρτημα/μηχάνημα (για παράδειγμα η λίπανση ενός ρουλεμάν γεννήτριας παρατείνει τον χρόνο ζωής της).
2. Την εύρεση του εξαρτήματος/μηχανήματος που έχει φθαρεί σημαντικά και πρόκειται να αστοχήσει δημιουργώντας βλάβη στο σύστημα στο άμεσο μέλλον (για παράδειγμα η ανάλυση του δείγματος λαδιού, που ελήφθει από το κιβώτιο ταχυτήτων μίας ανεμογεννήτριας κατά την προγραμματισμένη συντήρηση, δείχνει σημαντική φθορά του κεντρικού ρουλεμάν – το εύρημα αυτό δίνει τη δυνατότητα του προγραμματισμού επισκευής/επιδιόρθωσης του φθαρμένου υλικού πριν την εμφάνιση βλάβης).

Σύμφωνα λοιπόν με τη συγκεκριμένη μέθοδο, η συντήρηση σχεδιάζεται ώστε να προλαμβάνει και να διορθώνει καταστάσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε βλάβη, με αποτέλεσμα την απώλεια διαθεσιμότητας του εξοπλισμού/συστήματος για απροσδιόριστο χρονικό διάστημα. Επίσης είναι πιο οικονομικό να συντηρηθεί και να

επιδιορθωθεί κάτι προληπτικά πριν την πρόκληση βλάβης ακόμα και αν μερικές φορές κάποια υλικά αντικαθίστανται πριν το προσδόκιμο χρόνο ζωής τους.

Η λογική της επισκευής πριν πραγματοποιηθεί η βλάβη αποτελεί τη βασική διαφοροποίηση της προληπτικής μεθόδου σε σχέση με τις μεθόδους λειτουργίας ως τη βλάβη (συντήρηση αποκατάστασης βλάβης – διορθωτική συντήρηση). Για να υλοποιηθεί σωστά η προληπτική μέθοδος συντήρησης απαιτείται η διενέργεια ελέγχων, όπου :

- Εξετάζεται αν ο σχεδιασμός ή οι προδιαγραφές ενός εξαρτήματος είναι τα απαιτούμενα.
- Γίνεται εκτίμηση όλων των παραγόντων που μπορούν να δημιουργήσουν πιθανά προβλήματα στο σύστημα.
- Αναγνωρίζονται όλοι οι πιθανοί παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε βλάβη και γίνεται εκτίμηση του χρονικού διαστήματος που μπορεί αυτό να συμβεί.

Οι έλεγχοι προγραμματίζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία των μηχανημάτων, οι δε επεμβάσεις, επισκευές και αντικαταστάσεις δεν θα πρέπει να έρχονται σε αντίθεση με πρόγραμμα παραγωγής. Όπως γίνεται αντιληπτό, ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης είναι η σωστή χρονική επιλογή διεξαγωγής των ελέγχων. Ο σχεδιασμός καθώς επίσης και η συχνότητα ελέγχων καθορίζεται από το τμήμα συντήρησης. Ο προγραμματισμός ορίζει την χρονική στιγμή παύσης του συστήματος για τον έλεγχο του εξοπλισμού. Επίσης ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος καθώς επίσης και το απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό για την εκτέλεση της εργασίας. Ο σχεδιασμός αποτελεί επίσης έναν πολύ σημαντικό παράγοντα στην εφαρμογή της συντήρησης. Κατά τον σχεδιασμό επιλέγονται τα κατάλληλα εργαλεία που απαιτούνται για τους ελέγχους ή τις αντικαταστάσεις και γίνεται η οργάνωση των απαιτούμενων ανταλλακτικών. Επίσης υπάρχει μέριμνα για την εκπαίδευση του προσωπικού, το οποίο αποτελεί μία πολύ σημαντική παράμετρο του σχεδιασμού. Σωστα καταρτισμένο προσωπικό συντήρησης μπορεί να πραγματοποιήσει τους ελέγχους με ακρίβεια, μέσα στο προβλεπόμενο χρονικό διάστημα, παρέχοντας δεδομένα υψηλής ποιότητας. Τέλος εξίσου σημαντικό μέρος του σχεδιασμού αποτελεί η δημιουργία των απαραίτητων οδηγιών συντήρησης καθώς επίσης και η έγκαιρη επικαιροποίησή τους.

Όπως είναι σαφές από τα προηγούμενα ο προγραμματισμός και ο σχεδιασμός της συντήρησης δεν πρέπει ποτέ να παραλείπονται. Όταν ο προγραμματισμός δεν γίνεται σωστά, υπάρχει ο κίνδυνος να γίνουν πολλοί έλεγχοι, αλλά όχι επισκευές. Επιπλέον, ακόμα και όταν ο προγραμματισμός των ελέγχων είναι σωστός και οδηγεί σε επισκευές (άρα αποτροπή βλάβης), αλλά ο απαραίτητος σχεδιασμός είναι ελλιπής, τότε οι

επισκευές δεν είναι αποτελεσματικές ή δεν πραγματοποιούνται τη σωστή χρονική στιγμή.

Η προληπτική συντήρηση λοιπόν είναι μία προγραμματισμένη συντήρηση η οποία στοχεύει στην παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού και στην αποφυγή απρογραμμάτιστων εργασιών. Περιλαμβάνει λιπάνσεις, καθαριότητες, μετρήσεις, ρυθμίσεις και αντικαταστάσεις όποτε απαιτείται. Ένα σωστό πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Περιοδικές επιθεωρήσεις
- Μή καταστροφικούς ελέγχους
- Προγραμματισμένες δραστηριότητες συντήρησης
- Διορθωτικές ενέργειες και αντικαταστάσεις ανταλλακτικών που εντοπίστηκαν με προβληματική λειτουργία κατά τον έλεγχο.

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που συνηγορούν στη χρήση ενός προγράμματος προληπτικής συντήρησης. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους λόγους οι οποίοι όταν συντρέχουν, τότε η εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης είναι απολύτως απαραίτητη.

- ❖ Συστήματα που λειτουργούν με αυξημένη αυτοματοποίηση
- ❖ Απώλειες λόγω καθυστερήσεων στην παραγωγή
- ❖ Η επιθυμία παραγωγής προϊόντων υψηλής ποιότητας
- ❖ Η ανάγκη για οργανωμένο εργασιακό περιβάλλον

Ο πιο σημαντικός λόγος όμως για την υιοθέτηση ενός προγράμματος προληπτικής συντήρησης είναι το μειωμένο κόστος που προκύπτει από:

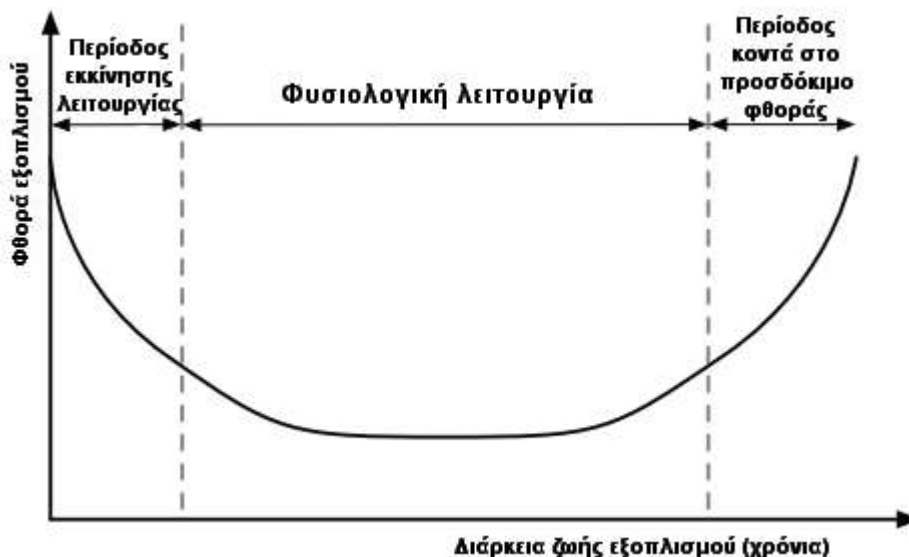
- ❖ Μείωση των σταματημάτων στην παραγωγή λόγω της μείωσης των εμφανιζόμενων βλαβών στον εξοπλισμό
- ❖ Αύξηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού, άρα μείωση των αντικαταστάσεων
- ❖ Μείωση του κόστους λόγω υπερωριών των εργαζομένων, καθώς οι τεχνικοί συντήρησης δουλεύουν βάση προγράμματος και όχι εκτάκτως για την αποκατάσταση αιφνίδιων βλαβών
- ❖ Έγκαιρων επισκευών που μειώνουν την ανάγκη εκτεταμένων επισκευών υψηλού κόστους
- ❖ Μείωση του κόστους των επισκευών λόγω της μείωσης των δευτερευουσών αστοχιών (όταν ο εξοπλισμός αστοχεί κατά την λειτουργία, πολύ συχνά καταστρέφει και άλλα στοιχεία)
- ❖ Αυξημένη ποιότητα προϊόντων και μείωση των απορριπτόμενων προϊόντων λόγω της καλής κατάστασης του εξοπλισμού.

Η προληπτική συντήρηση από την άλλη πλευρά ενέχει κάποιους κινδύνους με την έννοια της πρόκλησης κάποιων βλαβών λόγω του ανθρώπινου λάθους. Με άλλα λόγια τα ανθρώπινα λάθη κατά τη διενέργεια των δραστηριοτήτων συντήρησης μπορούν να οδηγήσουν σε επιπρόσθετες αστοχίες του εξοπλισμού που έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα της προληπτικής συντήρησης. Συνήθως οι αστοχίες αυτές εμφανίζονται πολύ σύντομα μετά τη διενέργεια της προληπτικής συντήρησης. Τυπικά τα ακόλουθα λάθη ή καταστροφές συμβαίνουν κατά την προληπτική συντήρηση:

- Ζημιά σε παρακείμενο εξοπλισμό κατά τη δραστηριότητα συντήρησης
- Ζημιά στον εξοπλισμό που συντηρείται που μπορεί να είναι :
  - Ζημιά κατά τη διενέργεια επιθεώρησης, επισκευής, ρύθμισης ή αντικατάστασης ανταλλακτικών
  - Τοποθέτηση ελαττωματικού εξοπλισμού ή λανθασμένη τοποθέτηση
- Ζημιά κατά την επανατοποθέτηση του εξοπλισμού

### 1.2.3.1 Προγραμματισμός Προληπτικής Συντήρησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο προγραμματισμός των δραστηριοτήτων είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της προληπτικής συντήρησης. Επιλέγοντας σωστά διαστήματα ανάμεσα στις συντηρήσεις μειώνουμε δραστικά την πιθανότητα εμφάνισης απρόβλεπτης βλάβης. Σύμφωνα με την καμπύλη «μπανιέρα» (bathtub curve), ένας νέος εξοπλισμός έχει πολύ υψηλό ποσοστό αστοχίας (λόγω των προβλημάτων κατά την εγκατάσταση) τις πρώτες βδομάδες λειτουργίας. Στη συνέχεια ο ρυθμός αστοχίας του εξοπλισμού γίνεται σχετικά χαμηλός. Τέλος, μετά την κανονική περίοδο ζωής του εξοπλισμού, η πιθανότητα αστοχίας αυξάνεται δραματικά (διάγραμμα 2) (6).



## Διάγραμμα 2. Καμπύλη εξοπλισμού τύπου «μπανιέρα» (bathtub curve)

Η διαδικασία του προγραμματισμού της προληπτικής συντήρησης ολοκληρώνεται σε 3 βήματα.

Στο πρώτο βήμα καταγράφονται όλα όσα απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί η προληπτική συντήρηση. Το πακέτο των δεδομένων αυτό περιλαμβάνει:

- Καταγραφή όλων των απαιτούμενων ανταλλακτικών
- Οργάνωση αποθήκης και προμήθεια αναλώσιμων και ανταλλακτικών
- Καταγραφή όλων των απαραίτητων εργαλείων. Τα εργαλεία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες
  1. Απλά εργαλεία για τα οποία δεν απαιτείται έλεγχος και πιστοποίηση
  2. Εξειδικευμένα εργαλεία ελέγχων για τα οποία απαιτείται περιοδικός έλεγχος και πιστοποίηση
- Συγκέντρωση των απαιτούμενων οδηγιών για την εκτέλεση των εργασιών
- Συγκέντρωση των εγγράφων ασφαλείας που απαιτούνται για την ασφαλή διεκπεραίωση των εργασιών
- Δημιουργία αναλυτικής λίστας εργασιών (Task List) με τις απαιτούμενες ενέργειες κάθε δραστηριότητας
- Έκδοση των εντολών εργασίας (Word Order)
- Εκτίμηση απαιτούμενων ωρών εργασίας καθώς και του προσωπικού για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων

Όλα τα παραπάνω δεδομένα είναι απαραίτητο να είναι απολύτως ακριβή. Ελλιπή στοιχεία ή λάθος υπολογισμός σε κάποια από αυτά μπορεί να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα κατά τη διάρκεια της συντήρησης ή ακόμα και στη μη ολοκλήρωσή της σε κάποιες περιπτώσεις.

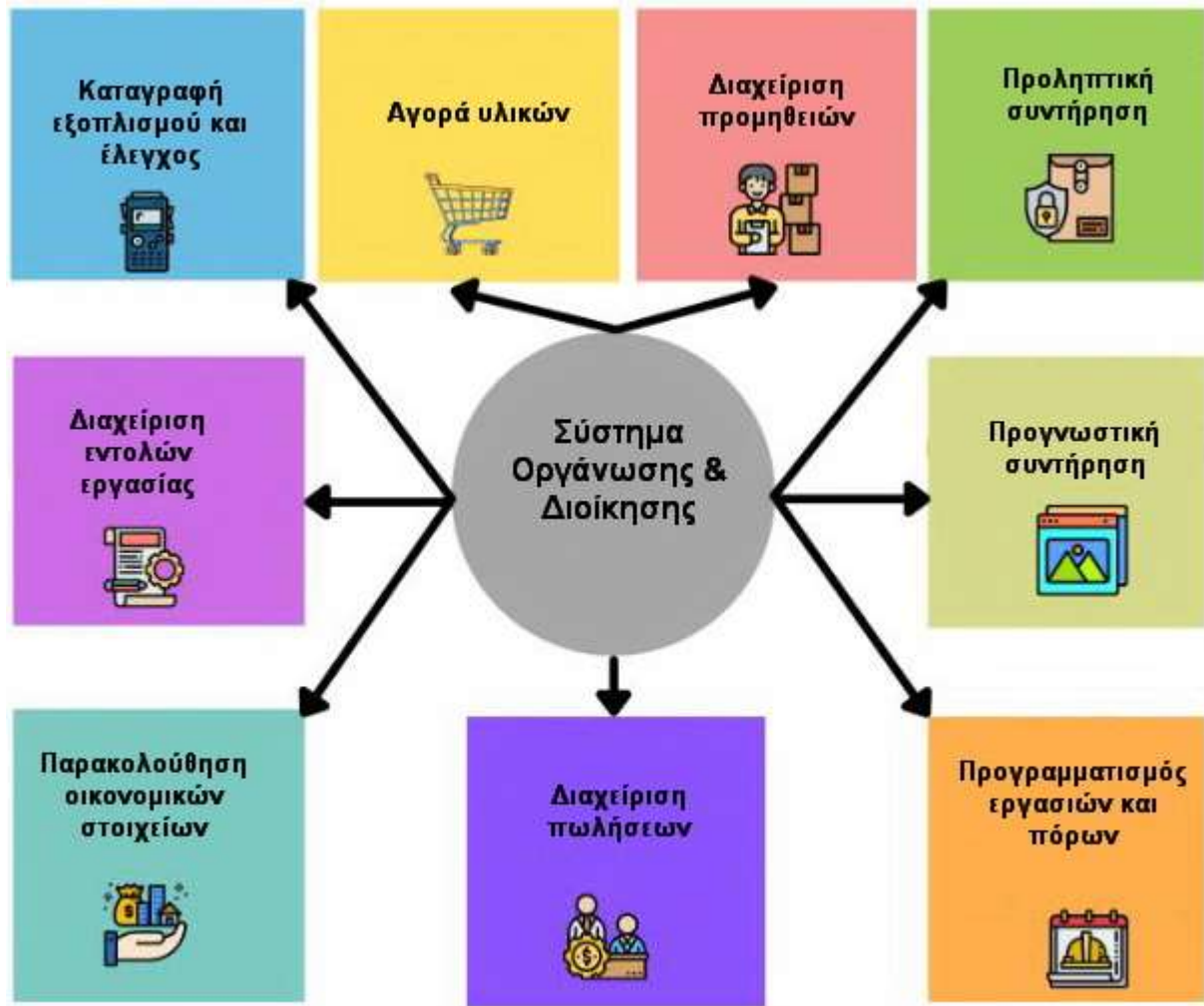
Το δεύτερο βήμα κατά τον προγραμματισμό της προληπτικής συντήρησης αφορά την επίτευξη αρμονικής συνεργασίας μεταξύ συντήρησης και παραγωγής. Σε αυτό το βήμα ουσιαστικά γίνεται προσπάθεια να συνδυαστεί η χρονική περίοδος της συντήρησης σλυμφωνα με τις ανάγκες της παραγωγής. Έτσι θα μπορέσει να εφαρμοστεί το πρόγραμμα συντήρησης με την ελάχιστη δυνατή ζημιά στο κομμάτι της παραγωγής.

Τέλος στο τρίτο βήμα του προγραμματισμού γίνεται η τελική διατύπωση και καταγραφή του προγράμματος συντήρησης, το οποίο είναι έτοιμο να εφαρμοστεί.

Ένα Υπολογιστικό Σύστημα Οργάνωσης και Διοίκησης (Computerized Maintenance Management System – CMMS) διευκολύνει τον προγραμματισμό της συντήρησης. Η ανάγκη χρήσης ενός CMMS αποτελεί μονόδρομο ιδιαίτερα στις μεγάλες μονάδες παραγωγής και στα σύνθετα συστήματα λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων. Η επένδυση σε ένα CMMS όπως το πολύ γνωστό SAP, βοηθάει εκτός από τον



προγραμματισμό της συντήρησης, και σε άλλους πολύ σημαντικούς τομείς, όπως η διαχείριση αποθήκης, καταγραφή και διαχείριση δεδομένων, διαχείριση εντολών εργασίας, διαχείριση οικονομικών στοιχείων, κτλ (σχήμα 1).



Σχήμα 1: Δυνατότητες προγράμματος διαχείρισης CMMS

### 1.2.3.2 Οικονομικά δεδομένα

Τα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης εξετάζονται σε δύο επίπεδα. Τη μακροοικονομική ανάλυση και τη μικροοικονομική ανάλυση.

Η μακροοικονομική ανάλυση εξετάζει κατά πόσο η προσέγγιση της συγκεκριμένης μεθόδου συντήρησης είναι συμφέρουσα, με βάση τις ανάγκες και τις απαιτήσεις της εκάστοτε επιχείρησης. Κατά την ανάλυση συγκρίνεται το κόστος συντήρησης χωρίς τη χρήση της προληπτικής μεθόδου με το εκτιμώμενο κόστος που προκύπτει απ' τις προτεινόμενες αλλαγές που θα επιφέρει η εφαρμογή της μεθόδου. Εάν η επένδυση της

εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης αποδίδει μετά την πάροδο ικανοποιητικού χρονικού διαστήματος, τότε αποφασίζεται η χρήση της νέας μεθόδου.

Όταν η απόφαση αυτή έχει πλέον ληφθεί, σε δεύτερο επίπεδο ανάλυσης, γίνεται η μικροοικονομική ανάλυση, η οποία βοηθάει στην απόφαση για το ποια στρατηγική είναι πιο κατάλληλη για μία συγκεκριμένη μηχανή ή ομάδα μηχανών. Ακόμα και αν έχει ορισθεί η προληπτική συντήρηση ως κυρίαρχη μέθοδος, σε κάθε μηχανήμα ή ομάδα μηχανημάτων υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο θα εφαρμοστεί. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζει την εφαρμογή του προγράμματος συντήρησης σε μία μονάδα είναι το κόστος του προγράμματος σε σύγκριση με το κόστος του εξοπλισμού. Δεν υπάρχει ουσιαστικό νόημα στη συντήρηση ενός εξοπλισμού ο οποίος έχει πολύ χαμηλό κόστος αγοράς. Επίσης σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την εφαρμογή του προγράμματος σε μία μονάδα, όταν δεν συντρέχουν λόγοι ασφαλείας του προσωπικού, είναι το κόστος που προκύπτει από την παραμονή της μονάδας εκτός λειτουργίας (downtime cost). Εάν το κόστος αυτό είναι αρκετά μικρό, τότε η προληπτική συντήρηση μπορεί να μην είναι συμφέρουσα επιλογή για χρήση στη συγκεκριμένη μονάδα.

Γενικά το κόστος που περιλαμβάνει η υιοθέτηση και εφαρμογή ενός συστήματος προληπτικής συντήρησης χωρίζεται σε αρχικό (αφορά το κόστος που εμφανίζεται μία μόνο φορά στην αρχή) και το λειτουργικό (αφορά το κόστος που υπάρχει συνεχώς και εξασφαλίζει την λειτουργία του συστήματος).

Στο αρχικό κόστος περιλαμβάνεται:

- i. Εκσυγχρονισμός του εξοπλισμού σύμφωνα με τα πρότυπα της προληπτικής συντήρησης, ώστε να είναι εφικτή η εφαρμογή της
- ii. Κόστος εκπαίδευσης προσωπικού για την αποτελεσματική εφαρμογή του προγράμματος
- iii. Κόστος εγκατάστασης απαιτούμενων προγραμμάτων (CMMS)
- iv. Εργατώρες για τη συλλογή δεδομένων, την επεξεργασία του και την εισαγωγή στα υπολογιστικά συστήματα
- v. Εργατώρες για τη δημιουργία των οδηγιών
- vi. Έμμεσα κόστη από την πρόσληψη νέου προσωπικού

Το λειτουργικό κόστος περιλαμβάνει:

- i. Κόστος ανταλλακτικών και αναλώσιμων
- ii. Εργατώρες για εφαρμογή του προγράμματος συντήρησης
- iii. Ανάγκες για συνεχή εκπαίδευση προσωπικού
- iv. Περιοδική πιστοποίηση εργαλείων και οργάνων

### 1.2.3.3 Προβλήματα στην εφαρμογή της Προληπτικής Συντήρησης

Κατά την εφαρμογή του προγράμματος προληπτικής συντήρησης πρέπει να ακολουθούνται με ακρίβεια οι διαδικασίες, ώστε τα αποτελέσματα που εξάγονται να αποδίδουν την πραγματική εικόνα του εξοπλισμού που συντηρείται. Παρακάτω αναφέρονται μερικά πιθανά προβλήματα:

- Επιλογή λάθος εξοπλισμού κατά τον σχεδιασμό της συντήρησης
- Έλλειψη ικανοτήτων του προσωπικού για την εκτέλεση της συντήρησης
- Μή τήρηση του προγράμματος συντήρησης
- Πληροφορίες που δεν καταγράφονται ή καταγράφονται με ανακρίβεια
- Μή επικαιροποίηση/ενημέρωση του προγράμματος συντήρησης

Η αναγνώριση και αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων είναι επιτακτική, ώστε η συντήρηση να είναι υψηλού επιπέδου δίνοντας τα επιθυμητά αποτελέσματα.

### 1.2.3.4 Αξιολόγηση της Προληπτικής Συντήρησης

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προληπτικής συντήρησης.

#### Πλεονεκτήματα:

- Σημαντική μείωση εμφάνισης βλαβών και απαιτούμενων επιδιορθώσεων σε σύγκριση με τη Διορθωτική Συντήρηση
- Αύξηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού
- Η συντήρηση σχεδιάζεται και προγραμματίζεται εκ των προτέρων με αποτέλεσμα να γίνεται σωστή και ακριβής πρόβλεψη του απαιτούμενου ανθρώπινου δυναμικού αλλά και των υλικών
- Μειωμένο κόστος λόγω υπερωριών, καθώς το προσωπικό εργάζεται προγραμματισμένα και όχι εκτάκτως για την αποκατάσταση απρόβλεπτων βλαβών
- Μείωση του κόστους των επισκευών λόγω της μείωσης των δευτερευουσών αστοχιών, καθώς όταν ο εξοπλισμός αστοχεί κατά την λειτουργία, συχνά οδηγεί σε καταστροφή και άλλα στοιχεία
- Αυξημένη ποιότητα παροχής υπηρεσιών σε σύγκριση με τη Διορθωτική Συντήρηση, χάρη στην καλύτερη γενική κατάσταση του εξοπλισμού
- Μειωμένες πιθανότητες εκδήλωσης εργατικών ατυχημάτων κυρίως λόγω των προγραμματισμένων επεμβάσεων αλλά και λόγω της καλύτερης γενικής κατάστασης του εξοπλισμού.

### Μειονεκτήματα:

- Αύξηση των δραστηριοτήτων και του κόστους συντήρησης
- Αυξημένο προσωπικό συντήρησης σε σχέση με τη Διορθωτική Συντήρηση
- Αντικατάσταση κάποιων εξαρτημάτων πριν την συμπλήρωση του όριου ζωής τους
- Μεγαλύτερα λειτουργικά έξοδα
- Πιθανότητα πρόκλησης βλάβης λόγω μη σωστής εφαρμογής των διαδικασιών συντήρησης.

## **1.2.4 Προγνωστική Συντήρηση (Predictive Maintenance)**

Η Προβλεπτική Συντήρηση θεωρείται η πιο εξελιγμένη μορφή συντήρησης και εφαρμόζεται συνήθως σε μεγάλα και σύνθετα συστήματα, έχοντας εξαιρετικά αποτελέσματα.

Σύμφωνα με το μοντέλο της Προγνωστικής Συντήρησης, παρακολουθείται η διαδικασία υποβάθμισης της απόδοσης του εξοπλισμού, προβλέπεται η κατάσταση του στο μέλλον και ενημερώνεται συνεχώς το πρόγραμμα συντήρησης σύμφωνα με τα αποτελέσματα πρόβλεψης (7). Ως εκ τούτου το κόστος συντήρησης και ο χρόνος διακοπής λειτουργίας της συσκευής ελαχιστοποιούνται, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού (8).

Η Προγνωστική συντήρηση ουσιαστικά είναι ένας συνδυασμός των θετικών στοιχείων των προηγούμενων μεθόδων. Χρησιμοποιεί την πρόληψη στην εμφάνιση της βλάβης και την επέμβαση της διόρθωσης του υλικού που πρόκειται να αστοχήσει στο εγγύς μέλλον.

Χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες, τη συντήρηση βάσει χρόνου και τη συντήρηση βάσει των συνθηκών.

### **1.2.4.1 Συντήρηση βάσει χρόνου**

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, προγραμματίζονται σε τακτική βάση εργασίες συντήρησης/αντικατάστασης, οι οποίες στηρίζονται στα στατιστικά στοιχεία και δεδομένα που έχουν προέλθει από την εμπειρία χρήσης του εκάστοτε εξοπλισμού.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι όλα τα κομμάτια του εξοπλισμού ελέγχονται κατά διαστήματα. Όμως αφού ο έλεγχος αυτός μπορεί να εκτελεστεί είτε απαιτείται είτε όχι, αφού στηρίζεται όπως προαναφέρθηκε σε στατιστικά στοιχεία,

αποτυγχάνει τελικά να επιτύχει μια ισορροπία μεταξύ κινδύνου και ανταμοιβής. Αν τελικά η επιλογή του χρόνου ελέγχου του εξοπλισμού δεν έχει επιλεγεί σωστά, αυξάνεται η πιθανότητα σφάλματος στο σύστημα.

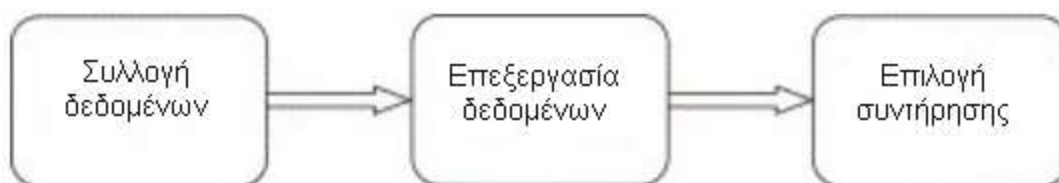
Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης, είναι ότι η πρόσβαση στο ιστορικό των εξαρτημάτων δεν είναι εύκολη υπόθεση. Επίσης, δεδομένου ότι η απόδοση ενός εξαρτήματος εξαρτάται άμεσα από διάφορους παράγοντες, όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες, τελικά η μέθοδος παρουσιάζει υψηλό ποσοστό αστοχίας.

#### 1.2.4.2 Συντήρηση βάσει συνθηκών

Η μεθοδολογία αυτή είναι σαφώς μια εξελιγμένη μορφή σε σύγκριση με τη συντήρηση βάσει χρόνου. Πλέον οι εργασίες συντήρησης/αντικατάστασης δεν πραγματοποιούνται σε αυθαίρετες χρονικές περιόδους. Ο ρυθμός φθοράς ενός εξαρτήματος παρακολουθείται σε καθορισμένα διαστήματα. Τα αποτελέσματα που συλλέγονται, αξιοποιούνται και αν βρίσκονται εκτός των ορίων ασφαλείας που έχουν τεθεί, τότε πραγματοποιείται συντήρηση/επιδιόρθωση του συγκεκριμένου εξοπλισμού. Ως εκ τούτου, δραστηριότητες συντήρησης, επισκευής ή αντικατάστασης πραγματοποιούνται μόνο όταν απαιτείται ή λίγο πριν τη φθορά.

Η συντήρηση βάσει συνθηκών στηρίζεται στην αρχή ότι για το 99% των αστοχιών εξοπλισμού, έχουν προηγηθεί κάποια σημάδια, καταστάσεις ή ενδείξεις (9). Ο κύριος στόχος της μεθόδου είναι η συλλογή δεδομένων και η αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο των συνθηκών ώστε να ληφθεί η κατάλληλη απόφαση συντήρησης, μειώνοντας τις επισκέψεις συντήρησης και κατά συνέπεια το κόστος (10).

Η εφαρμογή της συντήρησης βάσει συνθηκών περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα (11) όπως φαίνονται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Βασικά βήματα της συντήρησης βάσει συνθηκών

**Βήμα 1<sup>ο</sup>.** Συλλογή δεδομένων σχετικά με την υγεία του εξοπλισμού. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από μετρητικά όργανα τα οποία παρακολουθούν τον εξοπλισμό του συστήματος. Οι βασικές κατηγορίες των δεδομένων που συλλέγονται είναι:

- Ακουστικά δεδομένα

- Δεδομένα κραδασμών
- Θερμοκρασίες
- Δείγματα λαδιού και λιπαντικών
- Ηλεκτρικά σήματα

Ο έλεγχος μπορεί να γίνεται online ή offline. Ο online συνεχής έλεγχος πραγματοποιείται όταν ο εξοπλισμός βρίσκεται σε λειτουργία, ενώ αντίθετα ο έλεγχος offline γίνεται με τον εξοπλισμό εκτός λειτουργίας. Επιπλέον ο έλεγχος μπορεί να γίνεται περιοδικά ή συνεχόμενα (5). Ο συνεχόμενος έλεγχος πραγματοποιείται σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του εξοπλισμού με ειδικά όργανα, όπως ακουστικοί αισθητήρες ή αισθητήρες δόνησης, τα οποία βρίσκονται μόνιμα τοποθετημένα σε κατάλληλα σημεία. Το βασικό μειονέκτημα του τρόπου αυτού είναι ότι έχει υψηλό κόστος γιατί απαιτείται μεγάλος αριθμός ειδικών μετρητικών οργάνων τα οποία είναι μόνιμα εγκατεστημένα στο σύστημα. Ο περιοδικός έλεγχος πραγματοποιείται ανά τακτά και προκαθορισμένα διαστήματα, για παράδειγμα κάθε 12 ώρες ή στην αρχή ή στο τέλος της βάρδιας. Χρησιμοποιούνται φορητά όργανα και μετρητικές διατάξεις τα οποία χειρίζεται εξειδικευμένο προσωπικό. Η μεθοδολογία αυτή έχει το πλεονέκτημα της φυσικής παρουσίας του ανθρώπου κατά τον έλεγχο, δίνοντας τη δυνατότητα για επιπλέον συλλογή δεδομένων και στοιχείων που δεν μπορούν να καταγραφούν από τα μετρητικά όργανα, όπως αλλαγή στο χρώμα του εξοπλισμού, επίπεδο καθαριότητας, κτλ. Από την άλλη, το βασικό μειονέκτημα είναι ότι η περίπτωση απώλειας πληροφορίας μεταξύ των διαστημάτων παρακολούθησης.

**Βήμα 2<sup>ο</sup>.** Επεξεργασίας δεδομένων. Στο βήμα αυτό γίνεται η επεξεργασία των σημάτων που έχουν ληφθεί στο βήμα 1 για καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία των δεδομένων.

**Βήμα 3<sup>ο</sup>.** Λήψη απόφασης συντήρησης. Στο βήμα αυτό προτείνονται οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν στο πλαίσιο της συντήρησης βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στην ανάλυση του βήματος 2.

### 1.2.4.3 Αξιολόγηση Προγνωστικής Συντήρησης

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προληπτικής συντήρησης.

#### Πλεονεκτήματα:

- Μειωμένο κόστος συντήρησης λόγω:
  1. Μειωμένης ανάλωσης ανταλλακτικών τα οποία πλέον εξαντλούν το όριο ζωής τους.

2. Μείωση των συντηρήσεων του εξοπλισμού, αφού οι επισκευές/συντηρήσεις γίνονται στοχευμένα μόνο όταν απαιτούνται.
- Λιγότερες απώλειες παραγωγής λόγω των μειωμένων αναμενόμενων διακοπών στη λειτουργία του συστήματος
  - Μείωση του αποθέματος ανταλλακτικών
  - Μείωση των δευτερευουσών ζημιών, καθώς ο εξοπλισμός μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας πριν την εμφάνιση του σφάλματος
  - Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εκδήλωσης εργατικού ατυχήματος, λόγω της μείωσης των επεμβάσεων αλλά και λόγω της αυξημένης αξιοπιστίας του εξοπλισμού
  - Μειωμένο προσωπικό συντήρησης και ελέγχου, αφού οι περισσότεροι έλεγχοι γίνονται αυτοματοποιημένα
  - Μειωμένο κόστος λόγω υπερωριών, καθώς οι τεχνικοί εργάζονται βάση προγράμματος και όχι απρόβλεπτα για την αποκατάσταση ξαφνικών σφαλμάτων

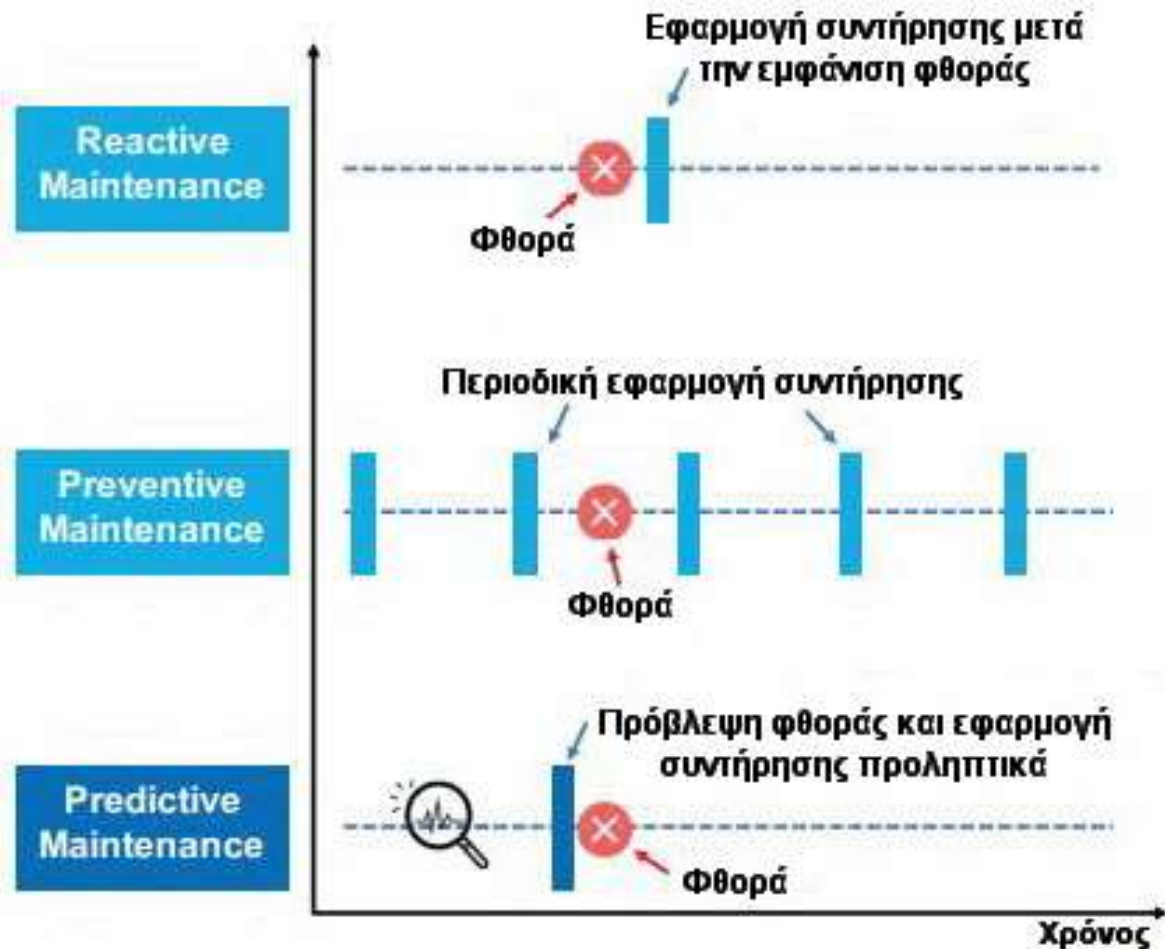
Μειονεκτήματα:

- Απαιτούνται εξειδικευμένες μετρητικές διατάξεις, οι οποίες συχνά έχουν υψηλό κόστος αγοράς
- Υψηλό αρχικό κόστος της επένδυσης
- Απαιτείται προσωπικό με ειδικές γνώσεις για τη διαχείριση των μετρητικών διατάξεων και την αξιολόγηση των δεδομένων
- Είναι εφικτός ο έλεγχος μόνο σε εξοπλισμό που μπορεί να δεχτεί διατάξεις απομακρυσμένου ελέγχου

### 1.3 Σύγκριση μεθοδολογιών συντήρησης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν οι διάφορες στρατηγικές συντήρησης που εφαρμόζονται σήμερα με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μηχανημάτων μέσω της μείωσης των σφαλμάτων. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται έχουν διαφορετική γενική φιλοσοφία (εφαρμόζονται πριν ή μετά την εμφάνιση του σφάλματος), διαφορετικό κόστος διαφορετική συχνότητα εφαρμογής και τελικά διαφορετικά αποτελέσματα.

Στο σχήμα 3 φαίνεται μία γενική απεικόνιση των μεθοδολογιών ανάλογα με το πότε εφαρμόζεται η συντήρηση.



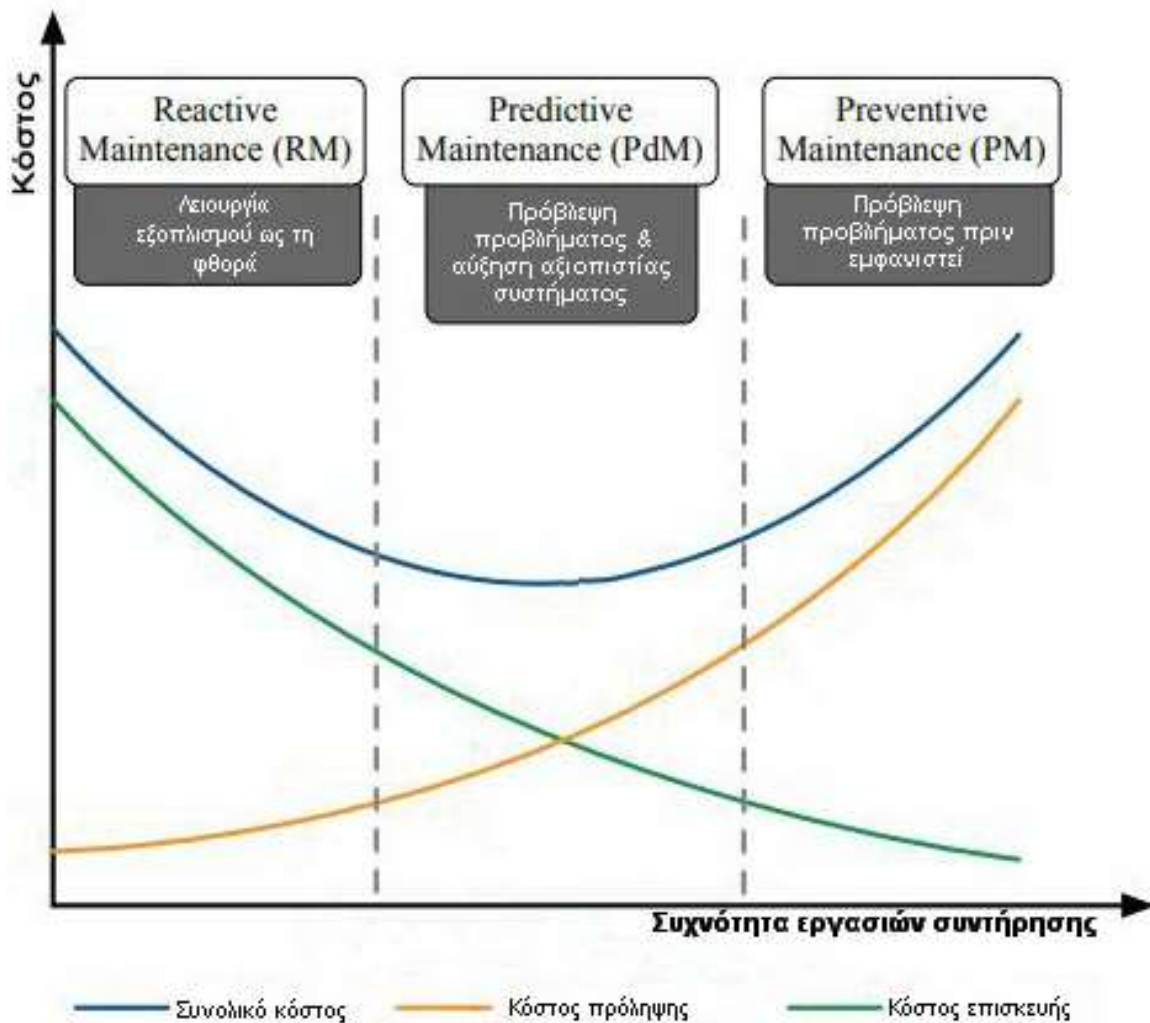
Σχήμα 3. Χρονική περίοδος εφαρμογής συντήρησης σε σχέση με την εμφάνιση της βλάβης (Πηγή: A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches των Yongyi Ran, Xin Zhou, Pengfeng Lin, Yonggang Wen και Ruilong Deng)

Παρατηρούμε ότι η συντήρηση αποκατάστασης βλάβης και η διορθωτική συντήρηση (Reactive Maintenance) δεν εφαρμόζονται σε τακτά διαστήματα αλλά μόνο μετά την εμφάνιση του σφάλματος. Σε αντίθεση η Προληπτική Συντήρηση εφαρμόζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με στόχο να προλάβει την εμφάνιση του σφάλματος. Τέλος η Προγνωστική Συντήρηση αξιοποιώντας τα δεδομένα των μετρήσεων, εφαρμόζεται στοχευμένα λίγο πριν την εμφάνιση του σφάλματος.

Μία άλλη πολύ σημαντική παράμετρος των διαφόρων μεθοδολογιών συντήρησης είναι το κόστος. Συγκρίνοντας τις τέσσερις μεθόδους, η συντήρηση αποκατάστασης βλάβης και η διορθωτική συντήρηση έχουν το μικρότερο κόστος πρόληψης αφού στηρίζονται στη στρατηγική της εφαρμογής μετά την εμφάνιση της βλάβης. Η Προληπτική Συντήρηση έχει το χαμηλότερο κόστος επισκευής λόγω της σωστά προγραμματισμένης παύσης του εξοπλισμού, ενώ η Προγνωστική Συντήρηση επιτυγχάνει την καλύτερη



ισορροπία μεταξύ κόστους επισκευής και κόστους πρόληψης (12). Στο διάγραμμα 3 φαίνεται η σύγκριση του κόστους κάθε στρατηγικής συντήρησης.



Διάγραμμα 3. Συνολικό κόστος, κόστος πρόληψης και κόστος επισκευής των στρατηγικών συντήρησης. (Πηγή: A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches των Yongyi Ran, Xin Zhou, Pengfeng Lin, Yonggang Wen και Ruilong Deng)

Αυτό που τελικά μπορεί να βρεθεί από την επισκόπηση όλων των στρατηγικών συντήρησης, είναι ότι σωστότερη προσέγγιση είναι η χρήση ενός συνδυασμού των υφιστάμενων μεθόδων. Έχει αποδειχτεί στην πράξη, ότι η στρατηγική της συνδυαστικής χρήσης διαφόρων μορφών συντήρησης, ανάλογα με τον εξοπλισμό και τις ανάγκες της επιχείρησης, μπορεί να οδηγήσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα με το μικρότερο δυνατό κόστος (13).

## **1.4 Επίλογος – Συμπεράσματα**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν οι βασικότερες στρατηγικές συντήρησης που χρησιμοποιούνται σήμερα στον τομέα της βιομηχανίας και της ενέργειας, κυρίως σε μεγάλα και σύνθετα συστήματα. Εξετάστηκαν ο τρόπος εφαρμογής καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου.

Η σωστή πολιτική συντήρησης είναι μία κρίσιμη και στρατηγική πτυχή στη λειτουργία των διαφόρων συστημάτων, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των βλαβών, την ελαχιστοποίηση του κόστους και τη βελτίωση της παραγωγικότητας.

Τα τελευταία χρόνια οι εταιρείες έχουν κατανοήσει την σπουδαιότητα του ρόλου της συντήρησης και τα οφέλη της, επενδύοντας στη χρήση αλλά και την εξέλιξη των υφιστάμενων μεθόδων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

#### 2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια οι ανεμογεννήτριες αποτελούν έναν από τους βασικότερους εκπροσώπους των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) συμβάλλοντας αποφασιστικά στη σταδιακή αποδέσμευση από τα ορυκτά καύσιμα.

Η συνεχής εξέλιξη στην τεχνολογία των υλικών οδηγεί σε μοντέλα ανεμογεννητριών όλο και μεγαλύτερα σε μέγεθος αλλά και σε δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εταιρείες κατασκευής ανεμογεννητριών κατασκευάζουν σήμερα μοντέλα ονομαστικής ισχύος 10-15 MW, ύψους 150-180 μέτρων και μήκος φτερών 100-120 μέτρων οι οποίες μπορούν να εγκατασταθούν στη στεριά (onshore) ή στη θάλασσα (offshore). Κάθε μία από αυτές έχει τη δυνατότητα να παράγει ετησίως έως 80 GWh καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας, ποσότητα ικανή για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε αρκετές χιλιάδες νοικοκυριά.

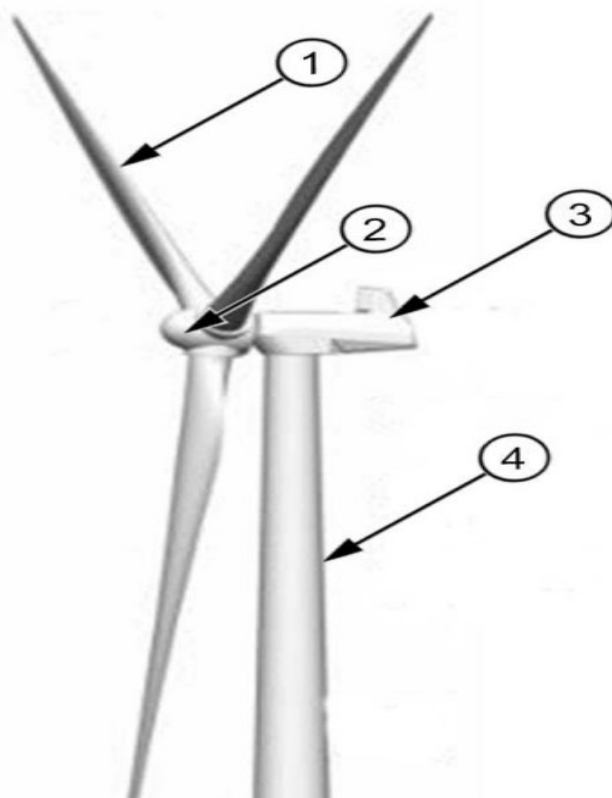
Για την απρόσκοπτη λειτουργία και την υψηλή απόδοση των ανεμογεννητριών, απαιτείται ένα οργανωμένο πλάνο συντήρησης. Όλα τα μέρη της ανεμογεννήτριας ελέγχονται και συντηρούνται ανά 6 μήνες από ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό και αντικαθίσταται ο εξοπλισμός που διαπιστώνεται ότι πρόκειται να αστοχήσει φθαρεί σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον σε σύγχρονα μοντέλα ανεμογεννητριών, υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα συνεχής παρακολούθησης (Condition Monitoring Systems – CMS) συγκεκριμένου εξοπλισμού, δίνοντας σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για την κατάστασή του.

Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου θα γίνει μία περιγραφή της ανεμογεννήτριας παρουσιάζοντας όλα τα βασικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται καθώς και τη λειτουργία την οποία εκτελούν.

#### 2.2 Περιγραφή ανεμογεννήτριας

Η ανεμογεννήτρια αναφοράς που χρησιμοποιείται είναι το μοντέλο V90 της εταιρείας VESTAS με ονομαστική ισχύ εξόδου 3 MW.

Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από 4 βασικά μέρη: Τον πύργο (tower), τη νασέλα (nacelle), τον κώνο (hub) και τα φτερά (blades).



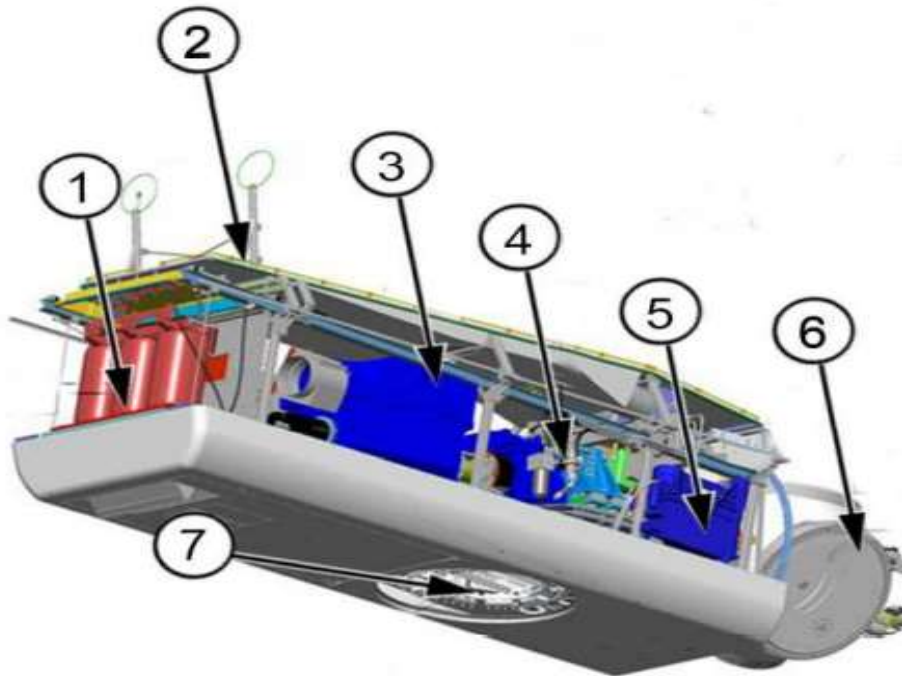
Εικόνα 1. 1: Blades, 2: hub, 3: nacelle, 4: tower

### 2.2.1 Νασέλα (nacelle)

Η νασέλα είναι το βασικότερο μέρος μίας ανεμογεννήτριας. Στο εσωτερικό της βρίσκεται το σύνολο του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού καθώς επίσης και οι βασικοί ηλεκτρολογικοί πίνακες.

Παρότι το κέλυφος της νασέλας είναι κατασκευασμένο από πολύ ελαφρύ υλικό (πολυεστέρας), το συνολικό της βάρος είναι της τάξεως των δεκάδων ή εκατοντάδων τόνων, ανάλογα με το μοντέλο. Η στήριξη της νασέλας πάνω στον πύργο και η συνολική αντοχή της ανεμογεννήτριας σε ακραία καιρικά φαινόμενα, αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα και σημαντικότερα ζητήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί σχεδιασμού των εταιρειών.

Στην εικόνα 2 φαίνεται η νασέλα μίας ανεμογεννήτριας 3MW καθώς και τα κύρια εξαρτήματα που περιλαμβάνει.

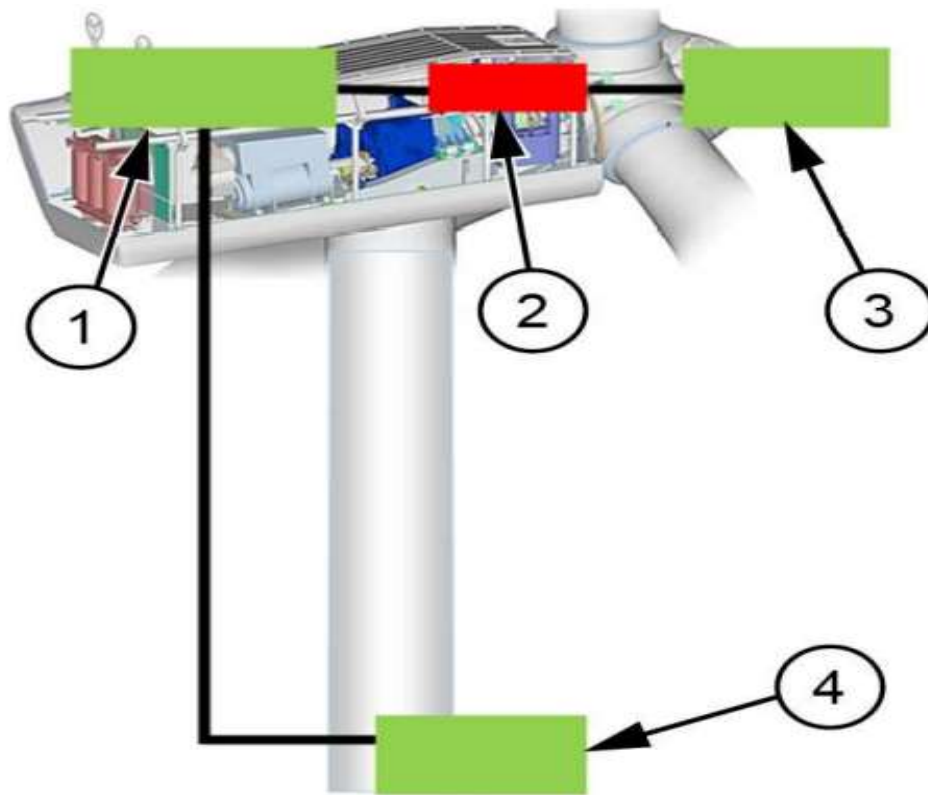


Εικόνα 2. Βασικά εξαρτήματα της νασέλας.

1. Μετασχηματιστής (Transformer)
2. Αισθητήρες περιβάλλοντος (Anemometers)
3. Γεννήτρια (Generator)
4. Κιβώτιο μετασχηματισμού στροφών (Gearbox)
5. Μονάδα υδραυλικής πίεσης (Hydraulic unit)
6. Σύστημα περιστροφής φτερών (pitch system & pitch cylinders)
7. Σύστημα προσανατολισμού νασέλας (yaw system)

Στη νασέλα βρίσκεται ο κύριος ηλεκτρολογικός πίνακας της ανεμογεννήτριας (top cabinet). Είναι χωρισμένος σε δύο μέρη, τον πίνακα ελέγχου (control cabinet) και τον πίνακα του converter (converter cabinet). Ο top cabinet επικοινωνεί με τον πίνακα που βρίσκεται στο hub (hub cabinet), καθώς επίσης και με τον πίνακα που βρίσκεται στη βάση την ανεμογεννήτριας (ground cabinet). Η επικοινωνία γίνεται με χρήση οπτικής ίνας (fiber optic). Επίσης υπάρχει ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των ηλεκτρολογικών πινάκων με χαμηλή τάση AC (230 Vac) και τάση DC (12Vdc/24Vdc).

Μεταξύ Top control cabinet και Hub cabinet υπάρχει μία αμφίδρομη επικοινωνία η οποία πραγματοποιείται μέσω του Rotating Transfer Unit (RTU). Το RTU μεταφέρει χαμηλή τάση (230 V), σήματα (fiber optic) καθώς επίσης και υδραυλικό λάδι, ώστε να επιτελούνται οι εργασίες του συστήματος περιστροφής φτερών (pitch system) εντός του hub.

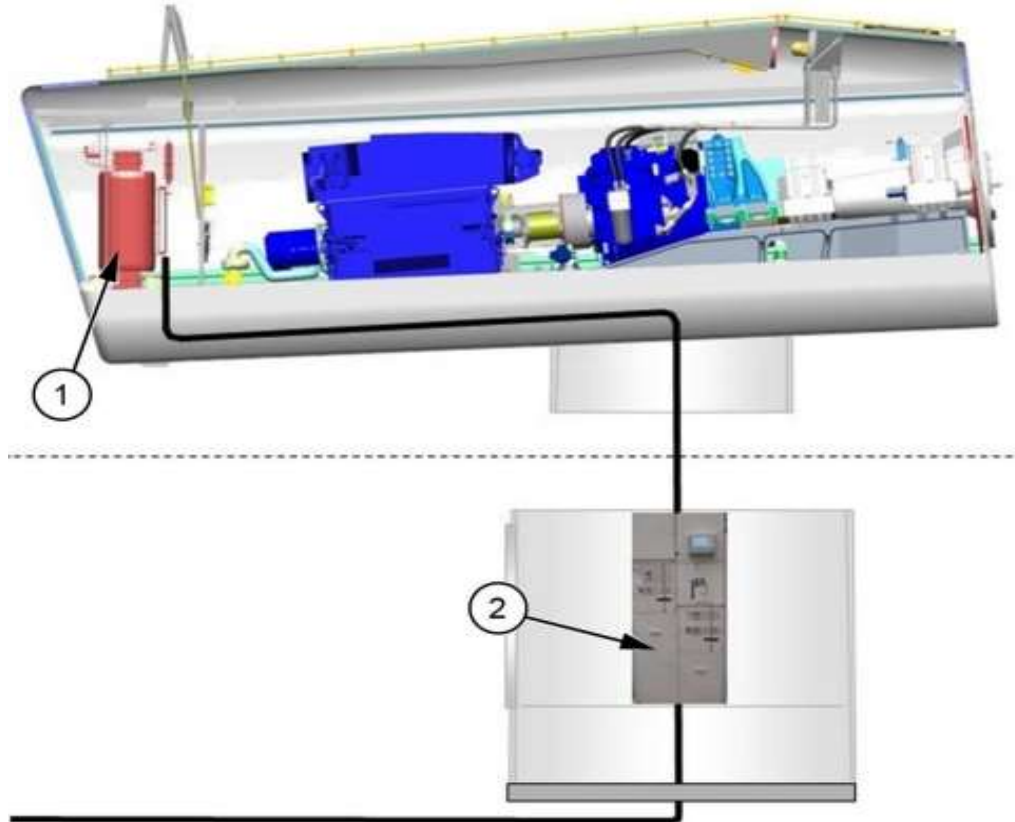


Εικόνα 3. 1: Top control cabinet, 2: Rotating Transfer Unit (RTU), 3: Hub cabinet, 4: Ground cabinet

### 2.2.1.1 Μετασχηματιστής (transformer)

Ο μετασχηματιστής (Μ/Σ) βρίσκεται στο πίσω μέρος της νασέλας. Τροφοδοτείται με τη μέση τάση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του κεντρικού διακόπτη (switchgear) ο οποίος βρίσκεται στη βάση της ανεμογεννήτριας. Ο Μ/Σ μετασχηματίζει την τάση του δικτύου από KV σε 690V η οποία είναι η τάση λειτουργίας της γεννήτριας.

Στην εικόνα 4 φαίνεται η τυπική διάταξη του Μ/Σ στην νασέλα και του switchgear στην βάση της ανεμογεννήτριας. Τα καλώδια μέσης τάσης για τη σύνδεση των 2 εξαρτημάτων, οδεύουν μέσω του πύργου.



Εικόνα 4. Σύνδεση μεταξύ switchgear-transformer. 1: Transformer, 2: Switchgear

Το switchgear αποτελείται από ένα συνδυασμό διακοπών και διατάξεων με σκοπό τη διακοπή της τάσης τροφοδοσίας στην ανεμογεννήτρια, καθώς επίσης και την προστασία της από υπερτάσεις, βραχυκυκλώματα και σφάλματα δικτύου.

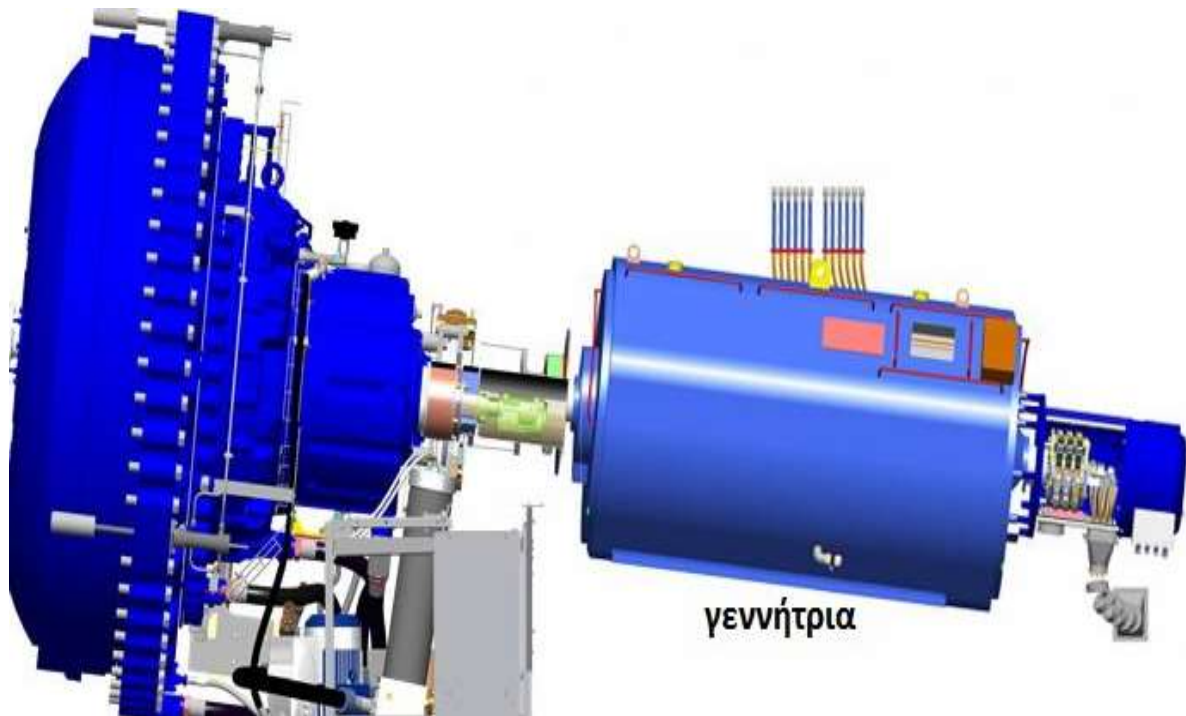
### 2.2.1.2 Αισθητήρες περιβάλλοντος (anemometers)

Οι αισθητήρες περιβάλλοντος είναι τα ανεμόμετρα και οι ανεμοδείκτες τα οποία στέλνουν στην ανεμογεννήτρια πληροφορίες για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν αισθητήρες τύπου ultrasonic, ο οποίος συνδυάζει τη μέτρηση ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, χωρίς να απαιτούνται δύο διαφορετικά εξαρτήματα (ανεμόμετρο & ανεμοδείκτης). Η ακρίβεια των παρεχόμενων μετρήσεων είναι  $0,1^\circ$  για την κατεύθυνση και  $0,1$  m/s για την ταχύτητα.

### 2.2.1.3 Γεννήτρια (Generator)

Η γεννήτρια είναι από τα βασικά εξαρτήματα μίας ανεμογεννήτριας. Μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια (κινητική) που δέχεται μέσω του gearbox σε ηλεκτρική. Η γεννήτρια

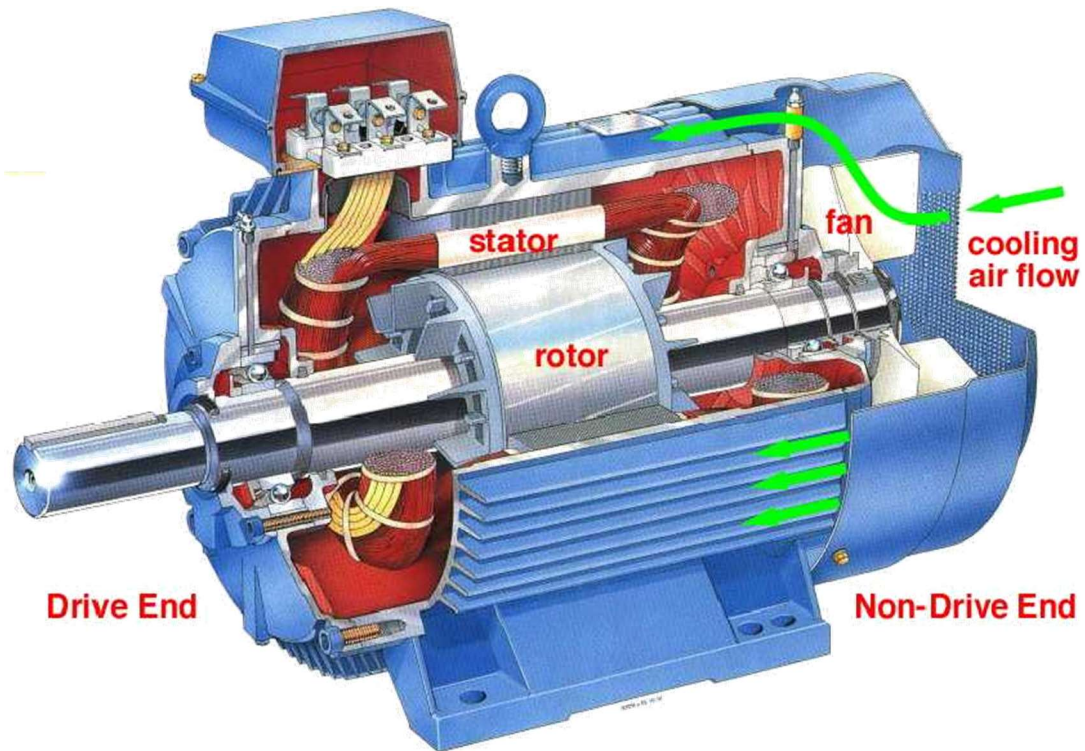
είναι συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο και μεταφέρει την παραγόμενη ενέργεια προς την κατανάλωση. Υπάρχουν διάφορα μεγέθη γεννήτριας (ανάλογα με την ονομαστική της ισχύ) καθώς επίσης και διάφοροι τύποι (ασύγχρονες ή σύγχρονες). Οι ασύγχρονες γεννήτριες είναι ο επικρατέστερος τύπος που χρησιμοποιείται στις ανεμογεννήτριες. Στην εικόνα 5 φαίνεται η διάταξη μίας ασύγχρονης γεννήτριας τεσσάρων πόλων και η σύνδεση της με το gearbox.



Εικόνα 5. Γεννήτρια και gearbox

Η γεννήτρια αποτελείται από τον στάτη, τον ρότορα, το σύστημα ψύξης, το σύστημα λίπανσης και διάφορους αισθητήρες για τον έλεγχο της λειτουργίας και των στροφών της. Η πλευρά της γεννήτριας όπου δέχεται τη μηχανική ενέργεια από το gearbox ονομάζεται Drive End (DE), ενώ Non-Drive End (NDE) ονομάζεται η πλευρά ηλεκτρικής σύνδεσης των τυλιγμάτων του ρότορα.

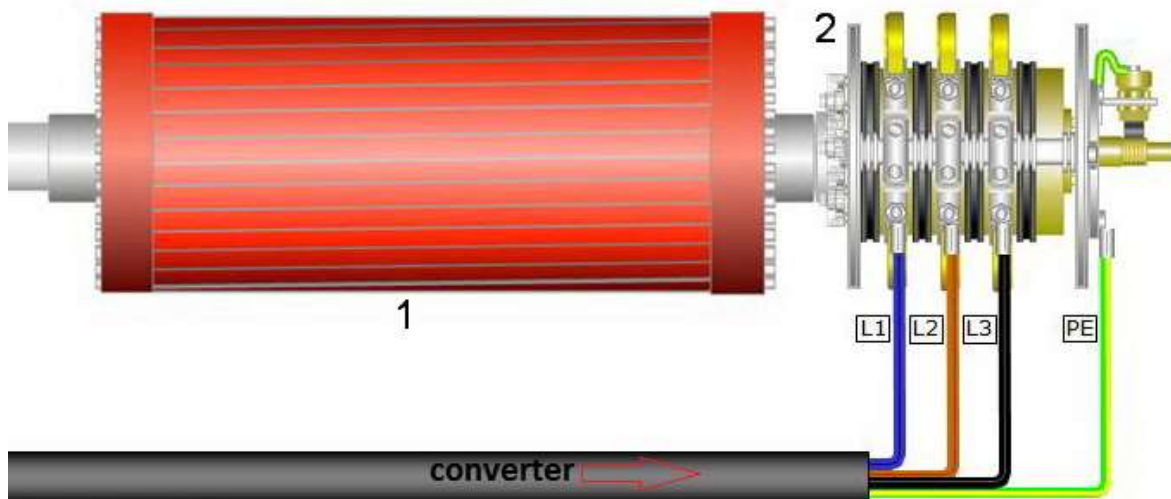




Εικόνα 6. Εσωτερικό γεννήτριας

Ένα πολύ βασικό μέρος της γεννήτριας είναι τα δαχτυλίδια ολίσθησης (slip rings) τα οποία βρίσκονται στη NDE πλευρά της. Επιτρέπουν τη μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος από τη στατική στην περιστρεφόμενη διάταξη, τροφοδοτώντας τον ρότορα της γεννήτριας από τον converter.

Στην εικόνα 7 φαίνεται ο ρότορας της γεννήτριας και η ηλεκτρική του σύνδεση με τα slip rings.



Εικόνα 7. 1: ρότορας, 2: Slip rings

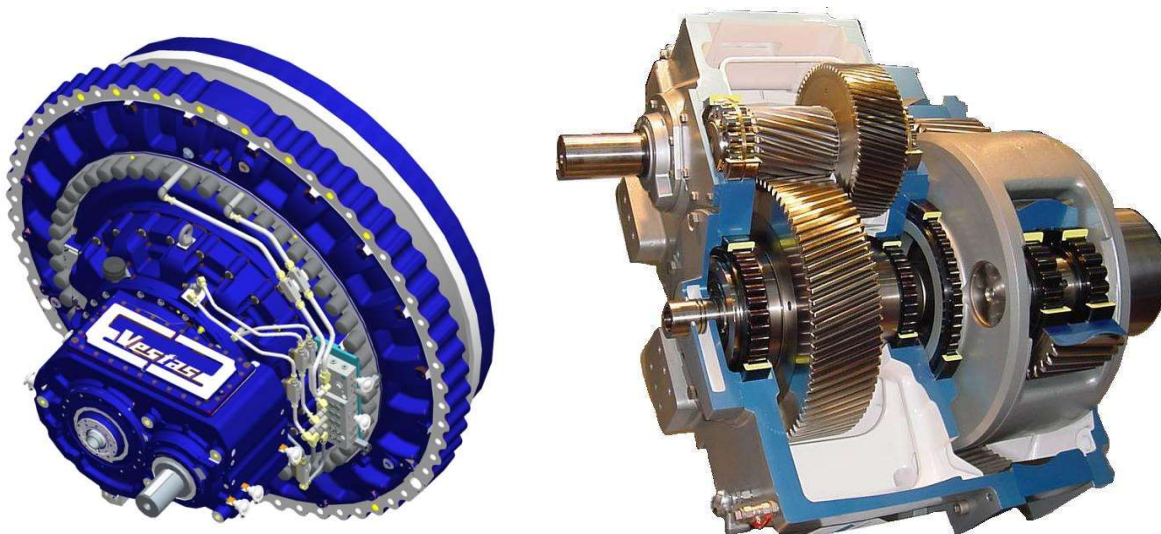
Οι αισθητήρες που περιλαμβάνει η γεννήτρια χρησιμοποιούνται για :

- Μέτρηση θερμοκρασίας (με χρήση PT100)
  1. Στο ρουλεμάν DE και στο ρουλεμάν NDE
  2. Στις τρεις φάσεις του στάτη, U-V-W
- Μέτρηση στροφών (με χρήση encoder τοποθετημένο στην NDE πλευρά της).

#### 2.2.1.4 Κιβώτιο μετασχηματισμού στροφών (Gearbox)

Το gearbox μεταφέρει τη μηχανική ενέργεια μέσω του κυρίως άξονα (main shaft) προς τη γεννήτρια. Η λειτουργία του είναι να αυξάνει τη ταχύτητα περιστροφής μειώνοντας τη ροπή, μεταξύ κυρίως άξονα και γεννήτριας.

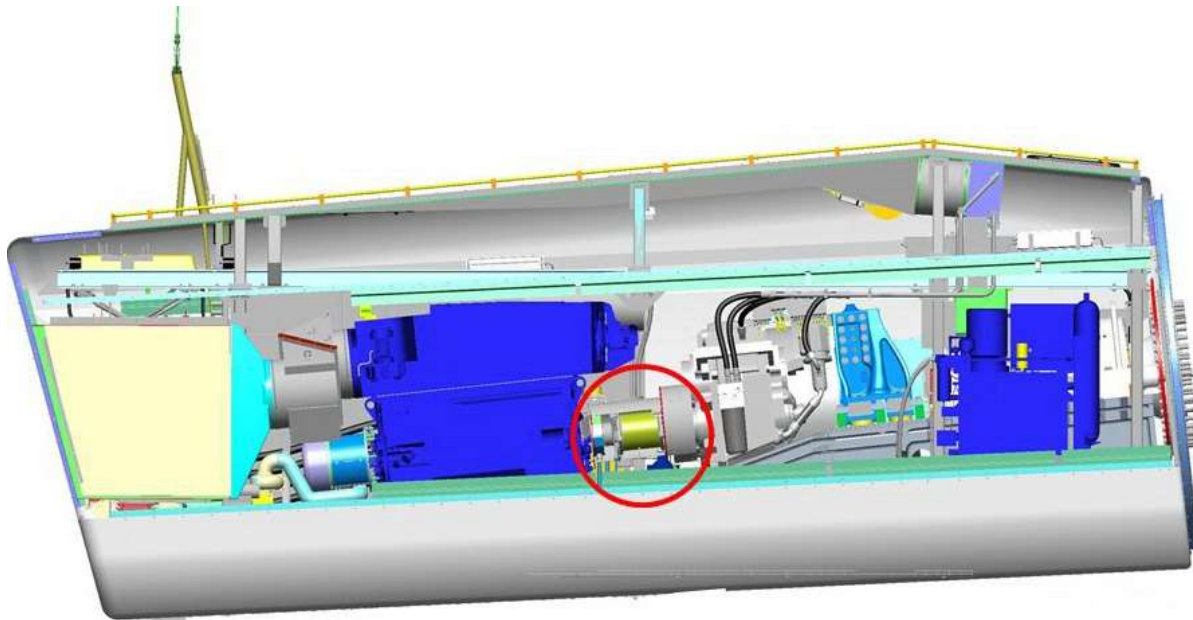
Το gearbox που χρησιμοποιείται είναι μια εξειδικευμένη κατασκευή για αποκλειστική χρήση στη συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια. Αποτελείται από σύστημα δύο σταδίων χρησιμοποιώντας συνδυαστικά ένα πλανητικό (Planetary gear) και ένα ελικοειδές (Helical gear) σύστημα γραναζιών.



Εικόνα 8. Εξωτερική και εσωτερική απεικόνιση του gearbox

Ο λόγος μετασχηματισμού του gearbox εξαρτάται από τη συχνότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (50 Hz ή 60 Hz), ώστε να παρέχονται στη γεννήτρια οι απαιτούμενες στροφές για τον συγχρονισμό της στο δίκτυο.

Η μηχανική ενέργεια της εξόδου του gearbox (αυξημένες στροφές – μειωμένη ροπή), μεταφέρεται μέσω του συζεύκτη (composite coupling) προς τη γεννήτρια. Στην εικόνα 9 φαίνεται η θέση του composite coupling στη νασέλα.



Εικόνα 9. Composite coupling

Τα συνεχή στρεφόμενα μέρη του gearbox, καθώς επίσης η υψηλή ροπή και οι υψηλές στροφές σε κάποια από τα εξαρτήματά του, το καθιστούν ως ένα ευάλωτο εξάρτημα. Για τον λόγο αυτό απαιτείται συνεχής έλεγχος κατά τη λειτουργία του (μέσω αισθητήρων), καθώς επίσης και υψηλού επιπέδου συντήρηση, ώστε να αυξηθεί στο μέγιστο ο χρόνος έως την φθορά του. Επιπλέον τα γρανάζια στο εσωτερικό του gearbox βρίσκονται εμποτισμένα σε συνθετικό λάδι κατά τη λειτουργία τους για την ελαχιστοποίηση των μεταξύ τους τριβών. Η ποιότητα και η κατάσταση του λαδιού εμποτισμού ελέγχεται συνεχώς με αισθητήρες, αλλά και περιοδικά κατά τις συντηρήσεις.

Οι αισθητήρες που περιλαμβάνει το gearbox είναι οι ακόλουθοι:

- Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας λαδιού και ρουλεμάν υψηλής ταχύτητας (HSS)
- Αισθητήρες ελέγχου στάθμης λαδιού
- Αισθητήρες πίεσης λαδιού

Οι παραπάνω αισθητήρες ελέγχονται σε πραγματικό χρόνο από το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας και ανάλογα των δεδομένων που παρέχουν, δίνουν τις ανάλογες εντολές:

- Έναρξη συστήματος ψύξης λαδιού ή
- Έναρξη συστήματος θέρμανσης λαδιού ή
- Δημιουργία σχετικού σφάλματος λόγω επικίνδυνης για τον εξοπλισμό κατάστασης

Επιπρόσθετα, υπάρχει σύστημα φίλτρανσης του λαδιού, το οποίο επίσης ελέγχεται από αισθητήρες.

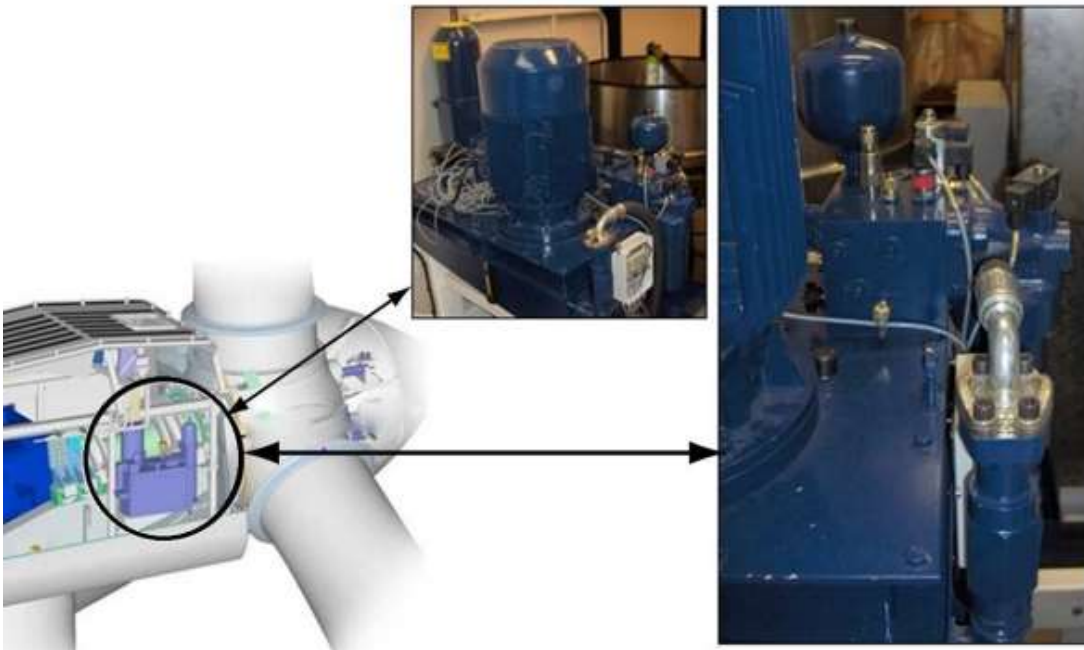
### 2.2.1.5 Μονάδα υδραυλικής πίεσης (Hydraulic unit)

Η μονάδα υδραυλικής πίεσης τροφοδοτεί με υδραυλικό λάδι υπό υψηλή πίεση τα παρακάτω συστήματα:

- Σύστημα περιστροφής φτερών (pitch system)
- Μηχανικό φρένο ανεμογεννήτριας (mechanical brake)

Το σύστημα υδραυλικής πίεσης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Υδραυλική μονάδα και δεξαμενή λαδιού
- Pitch system
- Mechanical brake
- Hydraulic Rotating Transfer Unit (για την μεταφορά υδραυλικού λαδιού από την nacelle προς το hub)



Εικόνα 10. Μονάδα υδραυλικής πίεσης

Η υδραυλική μονάδα, όπως και όλα τα επιμέρους συστήματα της ανεμογεννήτριας, περιλαμβάνουν διάφορους αισθητήρες ελέγχου. Οι αισθητήρες αυτοί είναι:

- Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας λαδιού



- Αισθητήρες ελέγχου στάθμης λαδιού
- Αισθητήρες πίεσης λαδιού

### **2.2.1.6 Σύστημα περιστροφής φτερών (pitch system & pitch cylinders)**

Τα κύρια εξαρτήματα του pitch system βρίσκονται μέσα στο hub και η λειτουργία του είναι να περιστρέφει τα τρία φτερά, ώστε κάθε χρονική στιγμή να δέχονται τη μέγιστη ενέργεια από τον άνερα.

Το σύστημα pitch αποτελείται από τρεις κυλίνδρους, υδραυλικούς βραχίονες και μετρητικές διατάξεις. Η περιστροφή των φτερών γίνεται με τη βοήθεια λαδιού το οποίο βρίσκεται στην υδραυλική μονάδα στη nacelle.

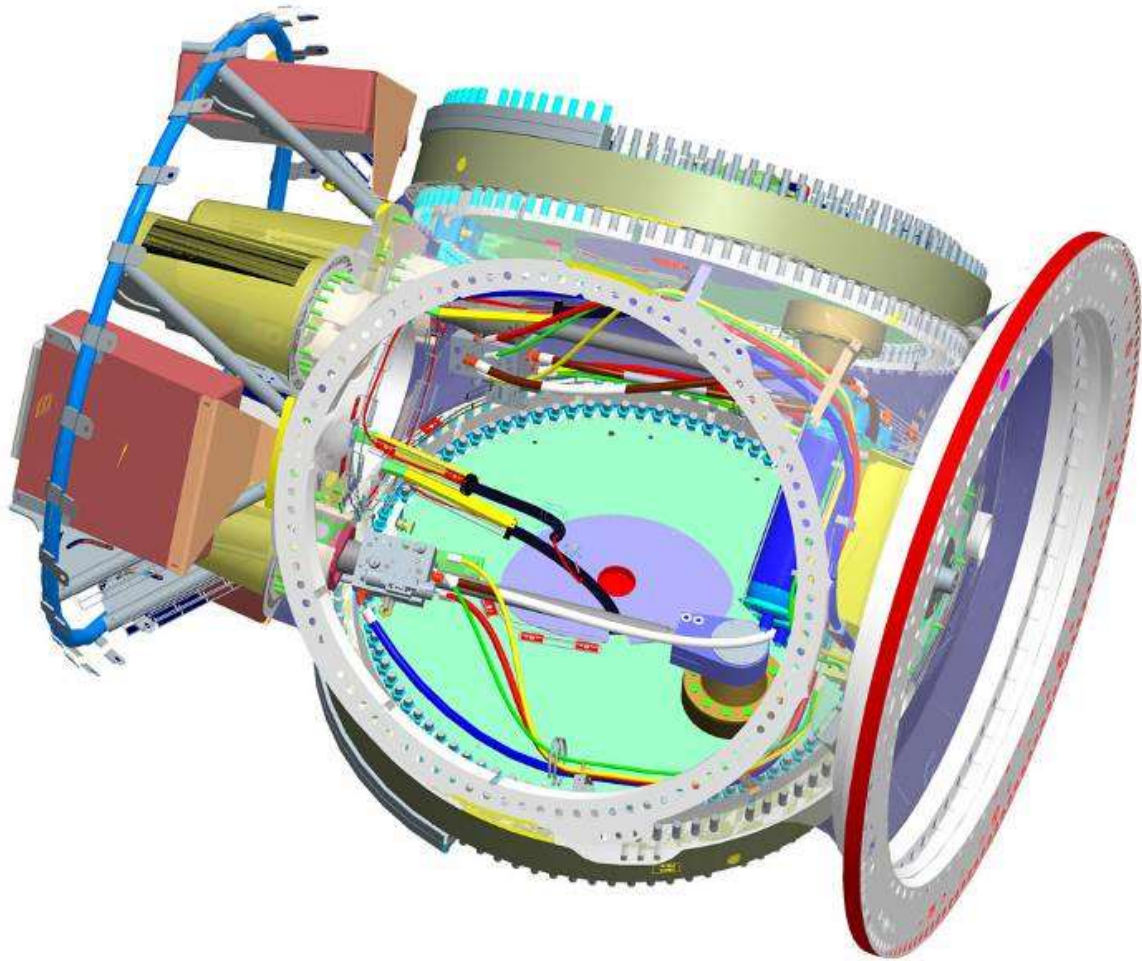
Το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας ελέγχει ανά δεδομένα χρονικά διαστήματα τα ακόλουθα:

1. Ταχύτητα ανέμου
2. Κατεύθυνση ανέμου
3. Επιθυμητή παραγωγή

Στη συνέχεια ορίζει το επιθυμητό pitch στα φτερά, ώστε να επιτευχθεί η ζητούμενη ισχύς εξόδου (εφόσον η ταχύτητα του ανέμου βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων).

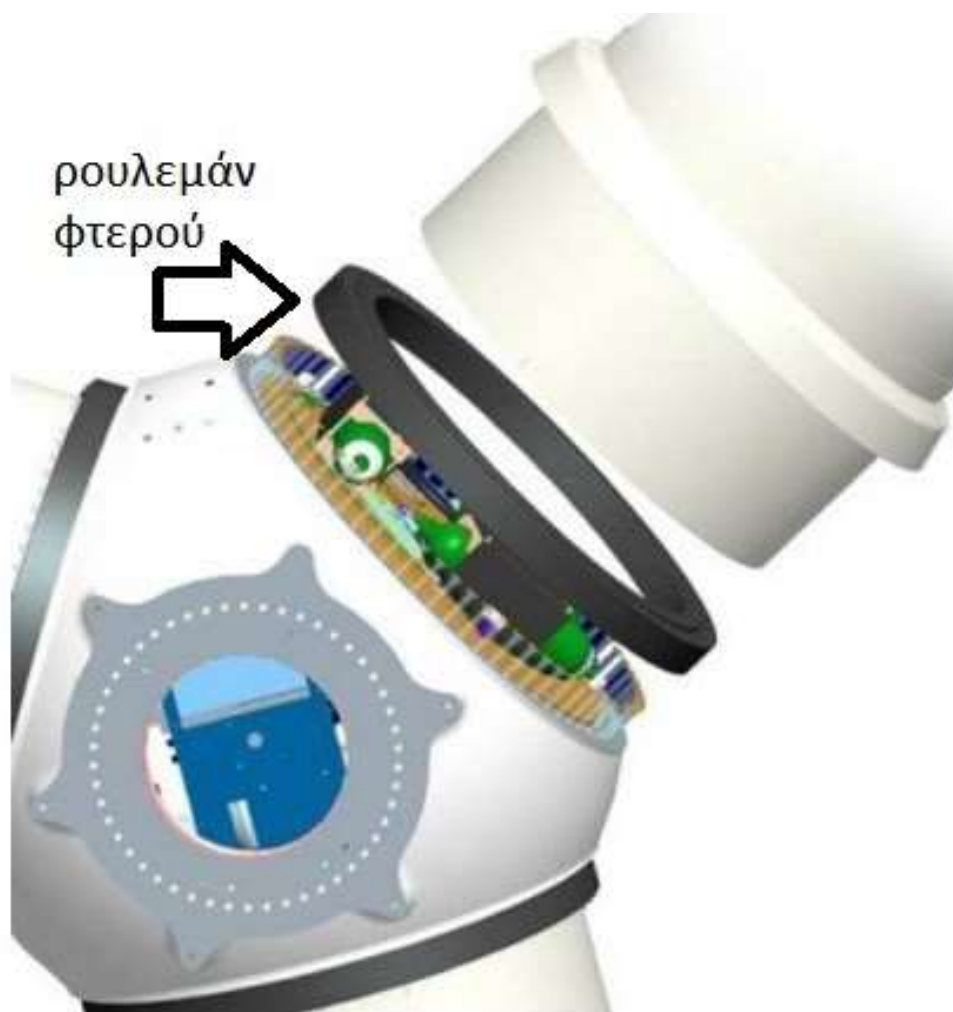
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η περιστροφή των τριών φτερών επιτυγχάχεται με την βοήθεια υδραυλικού λαδιού υψηλής πίεσης. Εφόσον η μονάδα υδραυλικής πίεσης και η δεξαμενή λαδιού βρίσκεται μέσα στην νασέλα, απαιτείται η μεταφορά λαδιού από ένα σταθερό μέρος (nacelle) προς ένα μέρος που περιστρέφεται (hub). Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια του Rotating Transfer Unit (RTU), το οποίο έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για την σκοπό αυτό. Επίσης, εκτός από το υδραυλικό λάδι, το RTU μεταφέρει τάση και σήματα εντός του hub για τις ανάγκες ελέγχου και επικοινωνίας των επιμέρους συστημάτων με τον κεντρικό πίνακα ελέγχου.

Στην εικόνα 11 φαίνεται το hub με τα εξαρτήματα που περιλαμβάνει.



Εικόνα 11. Το hub με τα εξαρτήματα του συστήματος pitch.

Τα τρία φτερά ενώνονται με το hub. Μεταξύ του κάθε φτερού και του hub υπάρχει ένα ρουλεμάν το οποίο επιτρέπει την περιστροφική κίνησή του (pitch) μεταξύ  $-5^\circ$  και  $90^\circ$ . Υπάρχουν τρία μεμονομένα συστήματα ελέγχου και λειτουργίας των φτερών (ένα για κάθε φτερό). Αυτό δίνει την δυνατότητα μεμονωμένης περιστροφής κάθε φτερού ή ταυτόχρονης περιστροφής όλων των φτερών. Το hub ενώνεται με τον κύριο άξονα (main shaft) της ανεμογεννήτριας επιτρέποντάς του να περιστρέφεται μαζί του.



Εικόνα 12. Σύνδεση φτερού στο hub

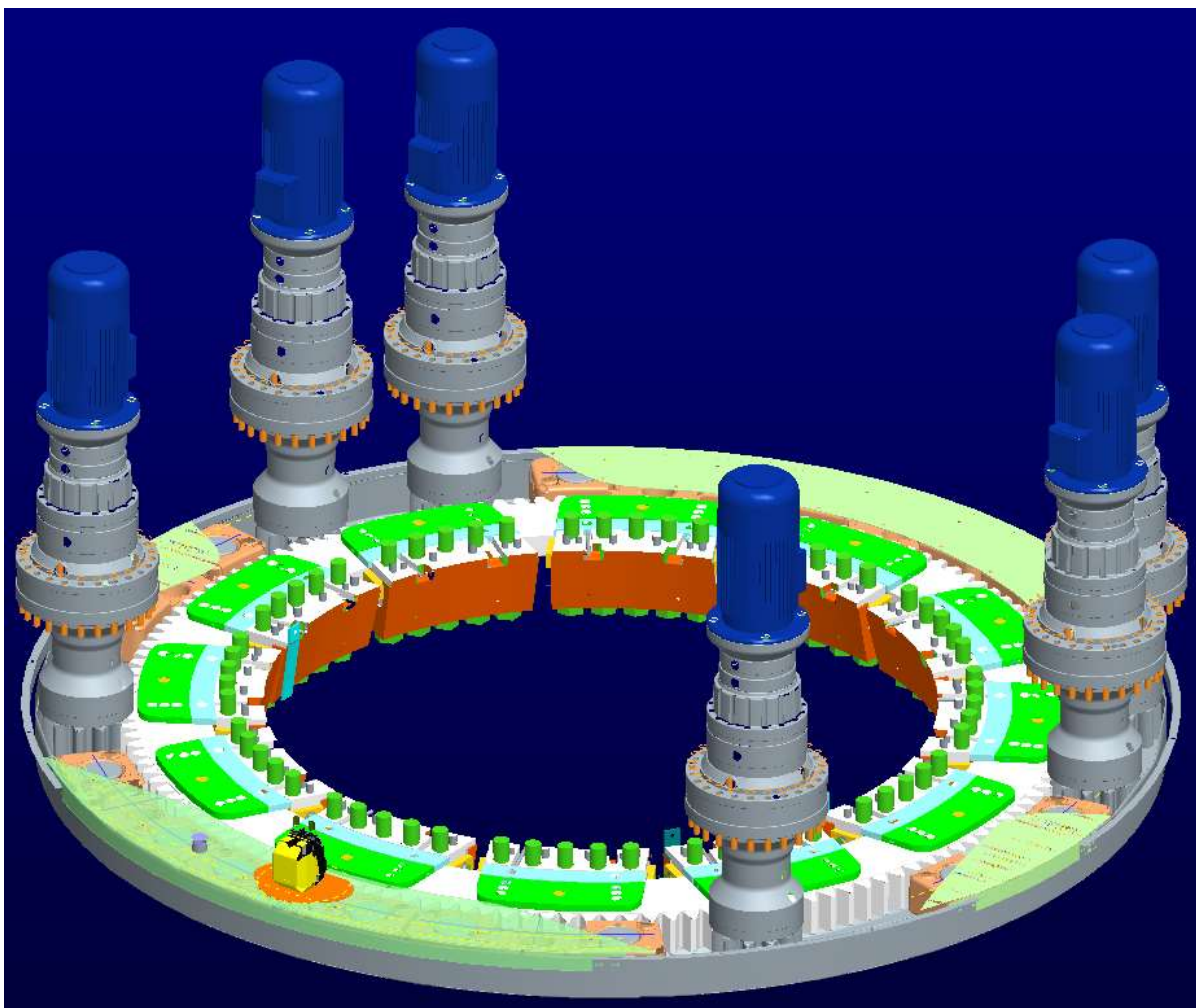
### 2.2.1.7 Σύστημα προσανατολισμού νασέλας (Yaw system)

Το yaw system βρίσκεται μεταξύ του πάνω μέρους του πύργου και της νασέλας επιτρέποντας την περιστροφή της πάνω σε αυτό.

Οι λειτουργίες που επιτελεί το yaw system είναι οι ακόλουθες:

1. Περιστρέφει τη νασέλα στην κατεύθυνση του ανέμου ή εκτός ανέμου
2. Μεταφέρει το φορτίο από τον ρότορα προς τον πύργο
3. Πραγματοποιεί το ξετύλιγμα των καλωδίων μέσα στον πύργο, καθώς τα καλώδια όταν η νασέλα προσανατολίζεται στον άνεμο τυλίγονται με κίνδυνο την καταστροφή τους.

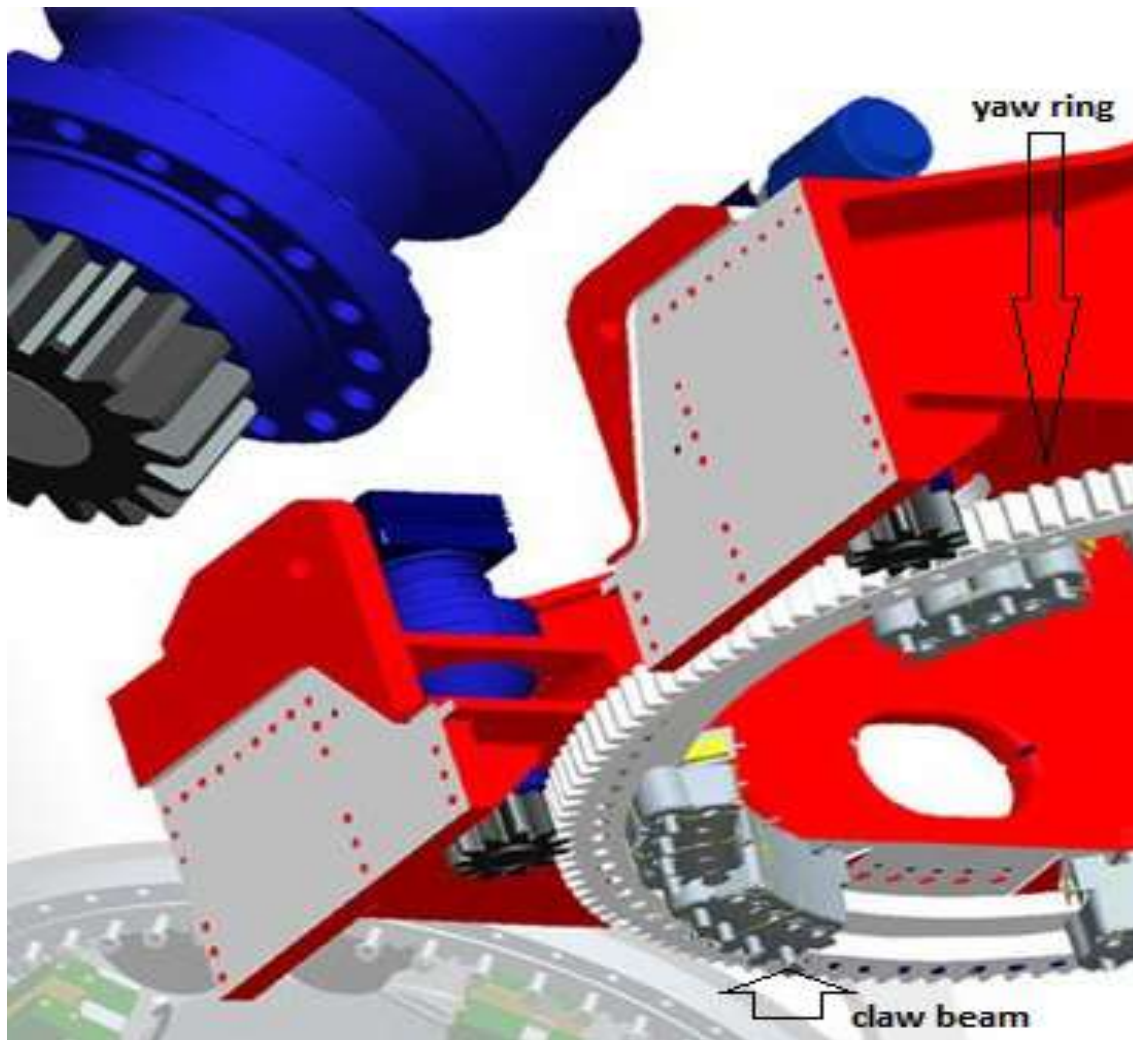
Το yaw system αποτελείται από ένα δαχτυλίδι γραναζιών (yaw ring) το οποίο είναι βιδωμένο στο πάνω μέρος του πύργου. Πάνω σε αυτό συγκρατείται με ειδικό εξοπλισμό (claw beams system) η νασέλα, η οποία περιστρέφεται με τη βοήθεια έξι ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων. Ο κάθε κινητήρας περιστρέφει το yaw gear , το οποίο είναι μία διάταξη η οποία μειώνει τις στροφές των κινητήρων και ταυτόχρονα αυξάνει τη ροπή η οποία μεταφέρεται στο yaw ring. Η ταχύτητα περιστροφής της νασέλας είναι 0,5 m/s.



Εικόνα 13. Yaw system. Διακρίνονται τα 6 yaw gears με τους κινητήρες τους

Το yaw system περιλαμβάνει ένα αυτόματο σύστημα λίπανσης της επιφάνειας τριβής και των γραναζιών. Επιπρόσθετα, ένα σύστημα αισθητήρων υπολογίζει με ακρίβεια τη θέση της νασέλας (ως προς τον Βορρά) για κάθε χρονική στιγμή.





Εικόνα 14. Λεπτομέρεια του yaw system. Φαίνονται το yaw ring και τα claw beams

### 2.3 Σύστημα επικοινωνίας ανεμογεννήτριας

Όπως γίνεται αντιληπτό από τις προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου, όλα τα ηλεκτρολογικά και τα περισσότερα μηχανολογικά και υδραυλικά μέρη της ανεμογεννήτριας ελέγχονται από αισθητήρες. Οι αισθητήρες αυτοί καταγράφουν δεδομένα συνεχώς, σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται από τον controller, ο οποίος αποτελεί την καρδιά του αυτόνομου υπολογιστικού συστήματος το οποίο διαθέτει κάθε ανεμογεννήτρια. Ο controller χρησιμοποιεί software στο οποίο ορίζονται οι παράμετροι και τα όρια λειτουργίας κάθε εξαρτήματος (για παράδειγμα το όριο θερμοκρασίας λαδιού της υδραυλικής μονάδας ή το εύρος πίεσης λειτουργίας, κτλ). Η κεντρική μονάδα του controller επεξεργάζεται τα δεδομένα και αποφασίζει, αν η ανεμογεννήτρια μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί, αν

πρέπει να σταλεί ειδοποίηση σφάλματος (warning) ή ακόμα και να σταματήσει τη λειτουργία της, λόγω επικείμενης φθοράς εξοπλισμού (alarm). Οι πληροφορίες αυτές εμφανίζονται στην οθόνη του controller και ταυτόχρονα στέλνονται στον κεντρικό server του αιολικού πάρκου. Χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο, η πληροφορία μεταφέρεται σε όλους τους εμπλεκόμενους (ιδιοκτήτη αιολικού πάρκου, κέντρο ελέγχου ανεμογεννητριών, τεχνικούς συντήρησης).

## 2.4 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα βασικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας 3 MW της εταιρείας VESTAS.

Δόθηκαν πληροφορίες για το κάθε επιμέρους σύστημα, πώς λειτουργεί και σε ποιό σημείο της ανεμογεννήτριας βρίσκεται. Επιπλέον έγινε περιληπτική περιγραφή του συστήματος επικοινωνίας που χρησιμοποιεί η ανεμογεννήτρια.

Όλα τα συστήματα που παρουσιάστηκαν στις ενότητες του 2<sup>ου</sup> κεφαλαίου ελέγχονται από αισθητήρες μόνιμα τοποθετημένους αλλά και από άλλους, που τοποθετούνται στοχευμένα σε «ευαίσθητα» σημεία, με σκοπό τη διαρκή αξιολόγηση της κατάστασης του εξοπλισμού. Η αξιολόγηση των δεδομένων που παρέχονται από τους αισθητήρες και οδηγούν σε διορθωτικές ενέργειες, σε συνδυασμό με την προγραμματισμένη συντήρηση του εξοπλισμού, βελτιστοποιούν την απόδοση της ανεμογεννήτριας, μειώνοντας στο ελάχιστο δυνατό τα απρόβλεπτα σταματήματα της.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (CONDITION MONITORING SYSTEM – CMS)

#### 3.1 Εισαγωγή

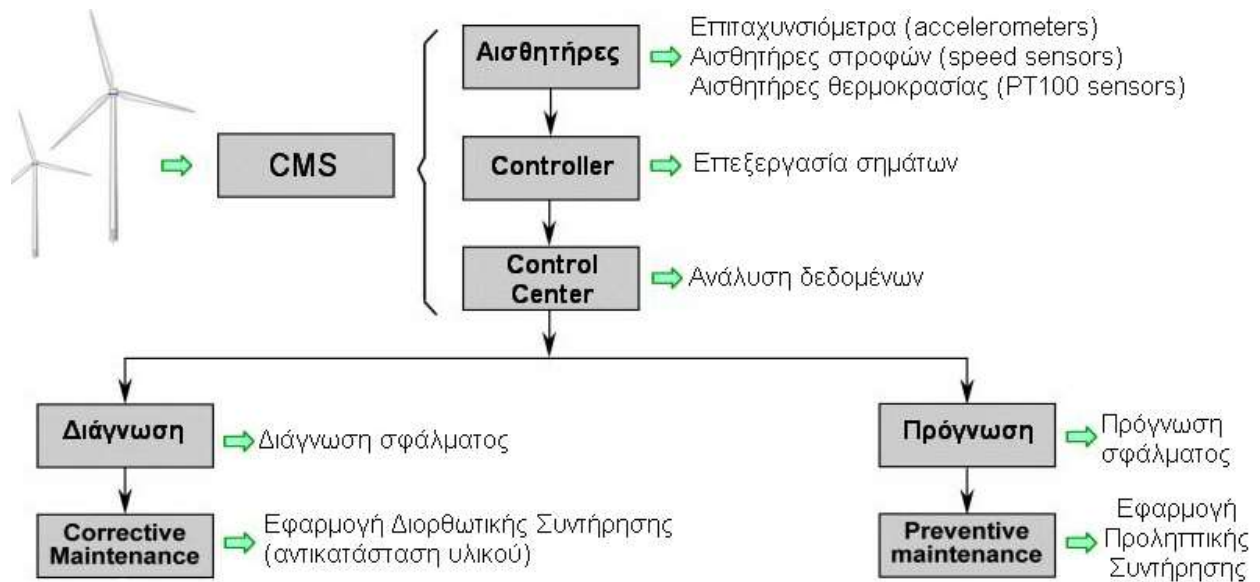
Η αξιοπιστία είναι η ικανότητα μίας συσκευής να εκτελεί τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό συγκεκριμένες συνθήκες, για μία δεδομένη χρονική περίοδο (14). Η αξιοπιστία μίας ανεμογεννήτριας είναι κρίσιμη για την παραγωγή της μέγιστης ενέργειας που είναι διαθέσιμη από τον άνεμο. Μπορεί να βελτιωθεί πολύ με τη χρήση ενός συστήματος παρακολούθησης κατάστασης.

Το Σύστημα Παρακολούθησης Κατάστασης (CMS) είναι ένα εργαλείο για τη διασφάλιση και μέτρηση της αξιοπιστίας της ανεμογεννήτριας. Η κατάσταση επιμέρους εξαρτημάτων παρακολουθείται και αξιολογείται συνεχώς με τη χρήση διαφόρων τεχνικών, όπως ανάλυση κραδασμών, ποιότητας λαδιού, διακύμανσης θερμοκρασίας, κτλ. Η δειγματοληψία των δεδομένων γίνεται σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας της ανεμογεννήτριας χρησιμοποιώντας αισθητήρες και συστήματα μέτρησης. Με την ανάλυση των δεδομένων, το CMS επιτρέπει τον προσδιορισμό της κατάστασης των βασικών εξαρτημάτων (main components). Η επεξεργασία του ιστορικού των δεδομένων μπορεί να ανιχνεύσει σφάλματα ή να προσβλέψει τη μελλοντική τους εμφάνιση. Έτσι μία κατάλληλη και στοχευμένη στρατηγική συντήρησης μπορεί να εφαρμοστεί (εικόνα 15).

#### 3.2 Περιγραφή συστήματος CMS

Το σύστημα CMS έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθεί τα κινούμενα μέρη των main components (κυρίως ρουλεμάν). Επίσης παρακολουθούνται οι δονήσεις (vibrations) που δέχεται ο πύργος της ανεμογεννήτριας.

Σε έναν παραδοσιακό σταθμό παραγωγής ενέργειας, η γεννήτρια λειτουργεί με σχεδόν σταθερές στροφές, άρα το φορτίο και η ροπή είναι σταθερά ή μεταβάλλονται με πολύ αργό ρυθμό στη διάρκεια της ημέρας. Σε αντίθεση, οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιώντας τον converter μεταβάλλουν συνεχώς τις στροφές της γεννήτριας, άρα



Εικόνα 15. Επισκόπηση του συστήματος CMS στην ανεμογεννήτρια

κατά συνέπεια και η ροπή μεταβάλλεται ανάλογα. Αυτό δημιουργεί επιπλέον φθορές στα στρεφόμενα μέρη των main components. Ένα ρουλεμάν θα έχει μειωμένο χρόνο ζωής όταν δέχεται ροπή που δεν είναι σταθερή ή έχει μεγάλο εύρος μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής.



Εικόνα 16. Ρουλεμάν άξονα γεννήτριας

Ειδικοί αισθητήρες, τα επιταχυνσιόμετρα (Accelerometers), είναι μόνιμα τοποθετημένοι στα κατάλληλα σημεία ελέγχοντας τις δονήσεις που δέχονται τα ρουλεμάν των main components. Επίσης αισθητήρες στροφών (Speed sensors) επιτηρούν τις στροφές και αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας (PT100 sensors) ελέγχουν τη διακύμανση της θερμοκρασίας. Στην εικόνα 17 φαίνονται οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε μία ανεμογεννήτρια.



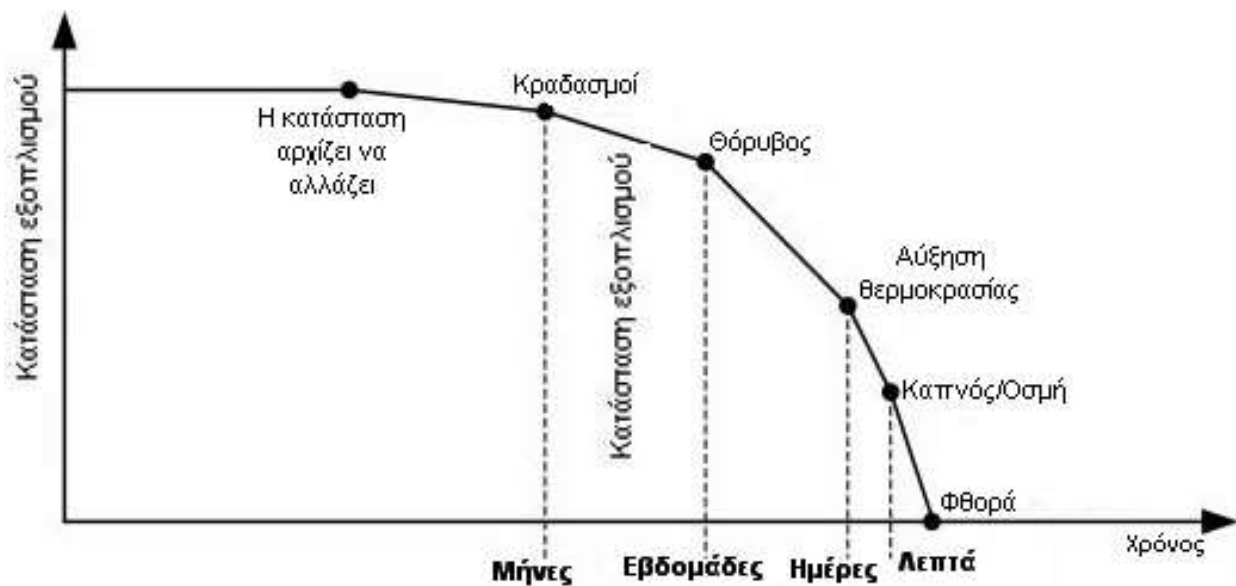
Εικόνα 17. Διάφοροι αισθητήρες

Οι βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιεί ένα σύστημα CMS στην ανεμογεννήτρια είναι:

- Ανάλυση κραδασμών (Vibration Analysis)
- Ανάλυση λαδιού (Oil Analysis)
- Έλεγχος θερμοκρασίας (Temperature Monitoring)
- Έλεγχος στροφών (Speed/RPM Monitoring)

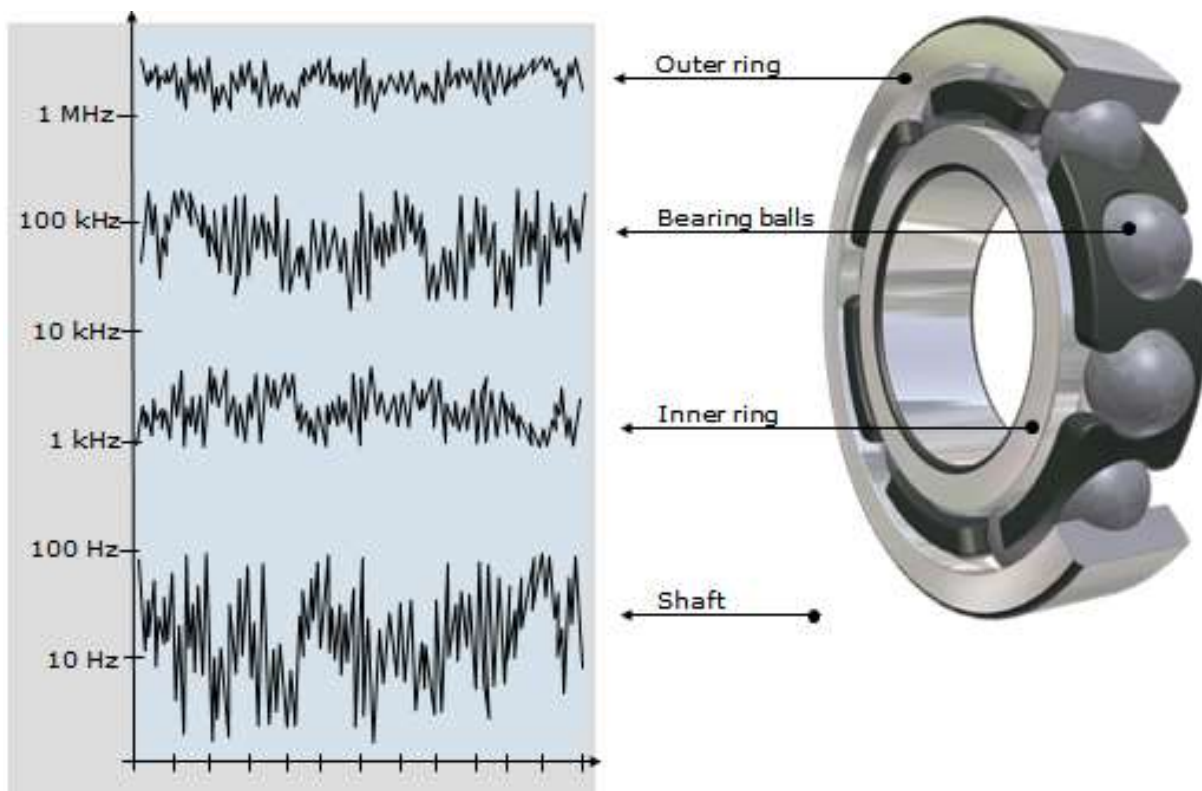
### 3.2.1 Ανάλυση Κραδασμών (Vibration Analysis)

Η ανάλυση κραδασμών είναι η πιο γνωστή μέθοδος που εφαρμόζεται στα συστήματα CMS ειδικά για τον εξοπλισμό που περιστρέφεται κατά τη λειτουργία του. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4 (15), είναι η πιο αποδοτική τεχνολογία η οποία μπορεί να προβλέψει μία επικείμενη φθορά σε πολύ αρχικό στάδιο.



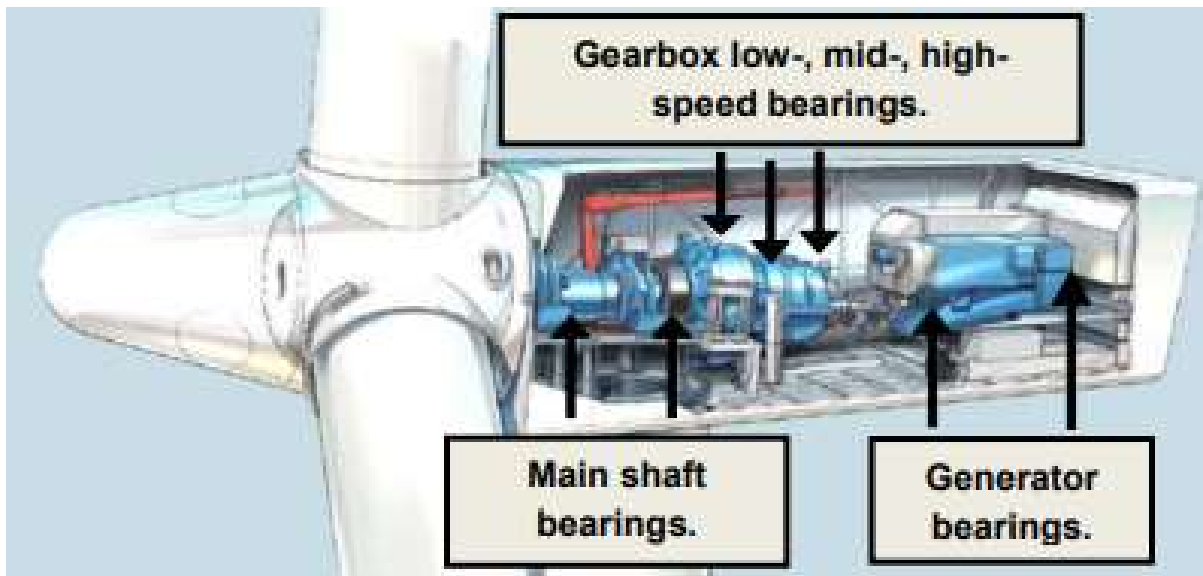
Διάγραμμα 4. Τυπική εξέλιξη μίας μηχανολογικής φθοράς

Χρησιμοποιείται το εύρος συχνοτήτων του accelerometer και οι συνθήκες λειτουργίας του εξοπλισμού. Η τεχνογνωσία και εμπειρία που υπάρχει στο συγκεκριμένο αντικείμενο, μπορεί να δώσει πολύ ακριβείς πληροφορίες για την κατάσταση του εξαρτήματος που ελέγχεται αλλά και να εντοπίσει το ακριβές σημείο φθοράς, με χρήση ενός μονάχα αισθητήρα. Κάθε τμήμα του εξαρτήματος που επιτηρείται, δονείται με μία μοναδική συχνότητα. Για παράδειγμα το ρουλεμάν του άξονα της γεννήτριας μπορεί να χωριστεί σε επιμέρους τμήματα (Inner Ring, Bearing Balls, Outer Ring). Κάθε τμήμα από αυτά δονείται με μία διαφορετική συχνότητα που κυμαίνεται σε ένα εύρος από μερικά Hz έως MHz (εικόνα 18). Επίσης και ο άξονας ο οποίος περιστρέφεται με το ρουλεμάν, δονείται σε μία διαφορετική συχνότητα. Η ανάλυση των συχνοτήτων δίνει με πολύ μεγάλη ακρίβεια πληροφορίες για το τμήμα που έχει φθαρεί ακόμα και αν ο αισθητήρας δεν βρίσκεται σε επαφή με το σώμα του ρουλεμάν, αλλά είναι τοποθετημένος στο περίβλημα που το περιβάλλει.



Εικόνα 18. Ανάλυση συχνοτήτων δόνησης ρουλεμάν

Τα ρουλεμάν τα οποία ελέγχονται από το σύστημα CMS σε μία ανεμογεννήτρια είναι της γεννήτριας, του κιβωτίου μετασχηματισμού στροφών και του κυρίως άξονα (εικόνα 19).



Εικόνα 19. Ρουλεμάν που επιτηρούνται στην ανεμογεννήτρια

### 3.2.2 Ανάλυση Λαδιού (Oil Analysis)

Σε συστήματα που χρησιμοποιείται λάδι ως μέσο λίπανσης όπως για παράδειγμα το Gearbox, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία μέθοδος συνεχούς παρακολούθησης του λαδιού για ύπαρξη ρινισμάτων μετάλλου σε αυτό. Το λάδι αντλείται από το Gearbox σε ένα σύστημα κλειστού βρόγχου και τα μεταλλικά υπολείμματα από ένα φθαρμένο άξονα ή ρουλεμάν συγκρατούνται από ένα φίλτρο. Ο τύπος των μεταλλικών υπολειμμάτων προσδιορίζει το τμήμα που έχει αρχίσει να φθείρεται, καθώς κάθε επιμέρους εξάρτημα είναι κατασκευασμένο από διαφορετικό κράμα μετάλλων. Επιπρόσθετα, από την ποσότητα των ρινισμάτων μπορούμε να εκτιμήσουμε την υγεία του εξαρτήματος.

Το βασικό πλεονέκτημα της ανάλυσης λαδιού, είναι ότι είναι η μοναδική μέθοδος για την για την ανίχνευση ρωγμών στα εσωτερικά μέρη του Gearbox (γρανάζια). Ένα ραγισμένο γρανάζι στο εσωτερικό του Gearbox ενδέχεται να μην ανιχνευθεί από ένα σύστημα παρακολούθησης κραδασμών. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ο εξοπλισμός που απαιτείται για την Online παρακολούθηση είναι πολύ ακριβός. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται η εναλλακτική μέθοδος του offline ελέγχου με τη συλλογή δειγμάτων λαδιού. Τα δείγματα συλλέγονται ανά 6 μήνες και στέλνονται προς ανάλυση σε ειδικό εργαστήριο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δίνουν πληροφορίες για την υγεία του εξοπλισμού.



### 3.2.3 Έλεγχος Θερμοκρασίας (Temperature Monitoring)

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του εξαρτήματος που παρακολουθείται είναι μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές στα συστήματα CMS. Χρησιμοποιούνται αισθητήρες, όπως τα PT100, οι οποίοι μεταβάλλουν την αντίστασή τους ανάλογα με την θερμοκρασία. Ο έλεγχος θερμοκρασίας χρησιμοποιείται συνήθως για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας σε ρουλεμάν, τυλίγματα γεννήτριας και υγρά (όπως λάδι ή ψυκτικό υγρό).

Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας είναι σημαντική γιατί στον μηχανολογικό εξοπλισμό, μία επικείμενη φθορά σε κάποιο εξάρτημα προκαλεί επιπλέον τριβή, άρα αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης, σε ότι αφορά τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε όταν οι αγωγοί έχουν υποστεί φθορά, άρα αυξάνεται η ένταση του ρεύματος που τους διαρρέει και κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία.

Το πλεονέκτημα της θερμικής παρακολούθησης είναι ότι είναι μία αξιόπιστη πηγή άντλησης πληροφοριών, καθώς όλος ο εξοπλισμός έχει μία περιορισμένη θερμοκρασία λειτουργίας. Το μειονέκτημα είναι ότι η θερμοκρασία αυξάνεται αργά και κατά συνέπεια η μέθοδος δεν παρέχει έγκαιρη ανίχνευση σφαλμάτων. Επίσης οι τιμές της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεαστούν από το περιβάλλον.

Κατά συνέπεια η μέθοδος παρακολούθησης της θερμοκρασίας σπάνια χρησιμοποιείται μόνη της, αλλά σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους όπως ο έλεγχος των κραδασμών.

### 3.2.4 Έλεγχος Στροφών (Speed/RPM Monitoring)

Ο έλεγχος των στροφών είναι μία ακόμα τεχνική που χρησιμοποιείται στα συστήματα CMS. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν χρησιμοποιείται μόνη της όπως και ο έλεγχος θερμοκρασίας, αλλά συνδυαστικά με άλλες κύριες μεθόδους συστημάτων παρακολούθησης.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των στροφών είναι επαγωγικοί αισθητήρες, οι οποίοι μπορούν να μετρήσουν τις στροφές ενός στρεφόμενου εξαρτήματος με μεγάλη ακρίβεια. Η τοποθέτησή τους γίνεται :

- Στο σημείο διασύνδεσης του ρότορα με τη νασέλα (hub-nacelle), όπου έχουμε μέτρηση χαμηλών RPM
- Στο σημείο σύζευξης του gearbox με τη γεννήτρια, όπου έχουμε μέτρηση υψηλών RPM.

Ο έλεγχος των στροφών επιτρέπει την ποσοτική διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής του άξονα της γεννήτριας και των δεδομένων που λαμβάνονται από το σύστημα CMS (κυρίως δεδομένα δονήσεων). Η επεξεργασία των δεδομένων



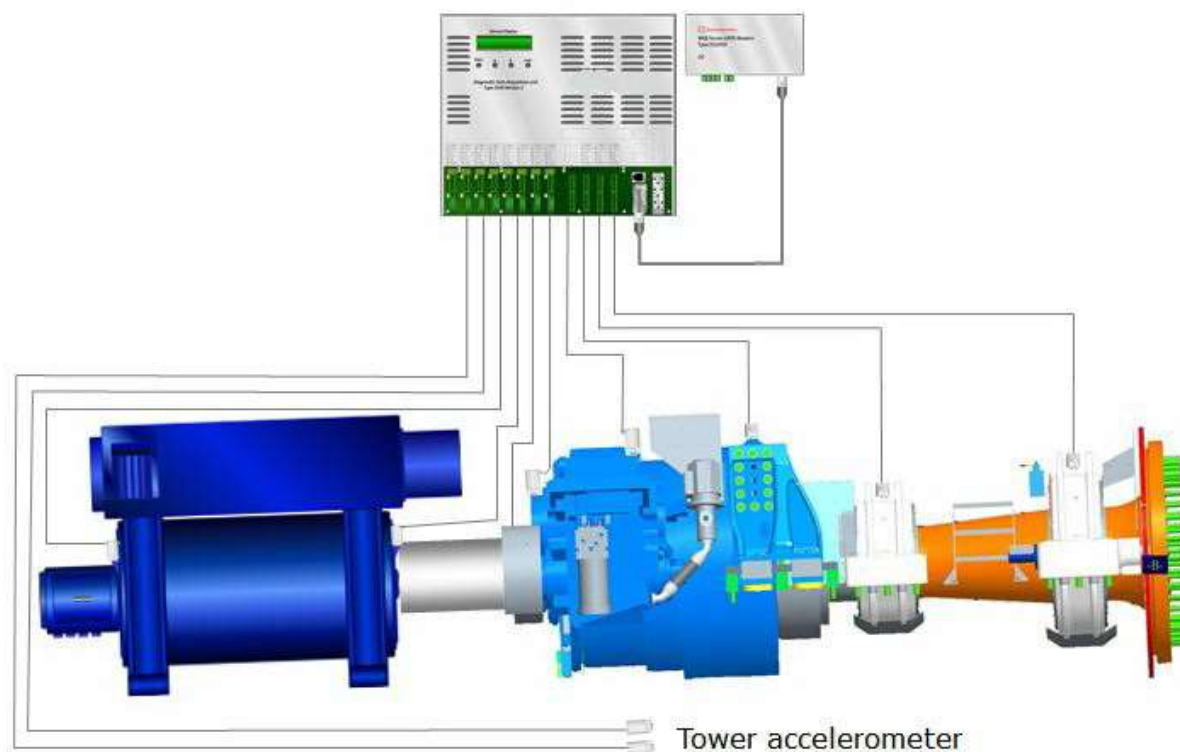
αυτών, μας δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε μία εξαρτώμενη από τη ταχύτητα «διόρθωση» άρα και εξομάλυνση των κραδασμών. Επομένως επιτυγχάνουμε μείωση της ανεπιθύμητης επιρροής των στροφών στις δονήσεις που υφίστανται τα περιστρεφόμενα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας.

### 3.2.5 Εξοπλισμός Συστημάτων CMS

Τα κύρια μέρη ενός συστήματος CMS είναι τα ακόλουθα :

1. Αισθητήρες
  - Επιταχυνσιόμετρα (Accelerometers)
  - Επαγωγικούς αισθητήρες στροφών (RPM sensors)
  - Αισθητήρες θερμοκρασίας (PT100)
2. Μονάδα ελέγχου (controller)
3. Μονάδα επικοινωνίας (communication panel)

Οι αισθητήρες ελέγχου τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία επιτηρώντας συγκεκριμένο εξοπλισμό. Στην εικόνα 20, φαίνεται η τυπική διάταξη των αισθητήρων σε μία ανεμογεννήτρια.



Εικόνα 20. Σύστημα CMS ανεμογεννήτριας

Όλοι οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι με τη μονάδα ελέγχου και από εκεί μέσω της μονάδας επικοινωνίας γίνεται η μεταφορά των δεδομένων προς τον κεντρικό σταθμό παρακολούθησης. Τα δεδομένα που λαμβάνονται κατηγοριοποιούνται αυτόματα από το σύστημα με βάση συγκεκριμένους παραμέτρους και όρια που έχουν ορισθεί. Ανάλογα με την κρισιμότητα της κατάστασης, δημιουργούνται προειδοποιητικά μηνύματα/ειδοποιήσεις τα οποία στέλνονται στους υπεύθυνους διαχείρισης του αιολικού πάρκου. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες ειδοποιήσεων του συστήματος CMS μίας ανεμογεννήτριας.

Κατηγορία	Κατάσταση	Περιγραφή	Απαιτούμενες ενέργειες
1	Κίνδυνος	Πολύ σοβαρή φθορά	Επιδιόρθωση αμέσως
2	Αυστηρή προειδοποίηση	Σημαντική φθορά	Επιδιόρθωση το συντομότερο δυνατόν
3	Προειδοποίηση	Φθορά	Επιδιόρθωση στην επόμενη επίσκεψη
4	Φυσιολογική	Μικρή ή καθόλου φθορά	Δεν απαιτείται ενέργεια. Συνεχίζεται επιτήρηση
5	Φυσιολογική	Φυσιολογική λειτουργία	Δεν απαιτείται ενέργεια
6	Σύστημα	φθορά συστήματος	Επιδιόρθωση το συντομότερο δυνατόν

Πίνακας 1. Κατηγορίες ειδοποιήσεων συστήματος CMS ανεμογεννήτριας.

### 3.3 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια περιγραφή των Συστημάτων Παρακολούθησης Κατάστασης (CMS) στις ανεμογεννήτριες.

Τα συστήματα CMS αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο, το οποίο επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση και διάγνωση πιθανών αστοχιών σε συγκεκριμένα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας. Η ικανότητα αυτή ανίχνευσης, δίνει τη δυνατότητα σε έγκαιρη στοχευμένη συντήρηση, προλαμβάνοντας απρόβλεπτες βλάβες.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες ενσωματώνουν πλέον τα συστήματα CMS στον βασικό τους εξοπλισμό, μετατρέποντάς τις σε αξιόπιστες μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

### ΟΡΓΑΝΩΣΗ – ΟΔΗΓΙΕΣ – ΕΡΓΑΛΕΙΑ

#### 4.1 Εισαγωγή

Η συντήρηση στις ανεμογεννήτριες αποτελεί μία σύνθετη εργασία για την ολοκλήρωση της οποίας απαιτείται :

- Οργάνωση εργαλείων και οργάνων ελέγχου
- Οδηγίες ασφαλείας
- Οδηγίες εκτέλεσης εργασιών
- Οργάνωση υλικών, ανταλλακτικών και εργασιών
- Εξειδικευμένες γνώσεις και εκπαίδευση του προσωπικού
- Έντυπα ελέγχου εργασιών (checklists)

Η ανεμογεννήτρια ως μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, περιλαμβάνει επιμέρους συστήματα (ηλεκτρικά, μηχανολογικά, υδραυλικά) τα οποία για να συντηρηθούν απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις από το προσωπικό συντήρησης. Για τον λόγο αυτό, οι εταιρείες κατασκευής ανεμογεννητριών έχουν δημιουργήσει κέντρα εκπαίδευσης με σκοπό την άρτια προετοιμασία των τεχνικών συντήρησης. Στα κέντρα αυτά με τη βοήθεια προσομοιωτών, το προσωπικό εκπαιδεύεται στη χρήση του εξοπλισμού και των εργαλείων καθώς επίσης και σε όλους τους ελέγχους που απαιτούνται κατά τη συντήρηση.

Η κατασκευάστρια εταιρεία των ανεμογεννητριών είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία οδηγιών που περιγράφουν αναλυτικά τις εργασίες και τους ελέγχους που περιλαμβάνει η συντήρηση. Επίσης δημιουργούνται οδηγίες ασφαλείας, όπου καταγράφονται όλοι οι κίνδυνοι, ώστε οι εργασίες να ολοκληρώνονται με ασφάλεια.

Εκτός από τα παραπάνω, εξίσου σημαντικό είναι η δημιουργία και τήρηση του χρονοδιαγράμματος συντήρησης.

Τέλος απαραίτητη είναι η οργάνωση του ανθρώπινου δυναμικού, καθώς επίσης και η διαχείριση των ανταλλακτικών και των εργαλείων.

Στο παρόν κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθεί ως αναφορά η εταιρεία VESTAS και το μοντέλο V90 3MW.

## 4.2 Οργάνωση εργαλείων και οργάνων ελέγχου

Για τη συντήρηση των ανεμογεννητριών χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός εργαλείων χειρός και μετρητικών οργάνων. Τα εργαλεία όπως και τα όργανα που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Εργαλεία γενικής χρήσης
- Εργαλεία και όργανα σχεδιασμένα από τη VESTAS (VESTAS Tools)

Επιπλέον γίνεται διαχωρισμός ανάλογα με το εάν απαιτείται ή όχι περιοδικός έλεγχος και πιστοποίηση του εργαλείου ή του οργάνου πριν τη χρήση. Είναι κρίσιμο τα εργαλεία και όργανα μετρήσεων για τα οποία απαιτείται έλεγχος πριν τη χρήση, να ελέγχονται και να πιστοποιούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Αυτό εξασφαλίζει την πιστότητα και ακρίβεια των μετρήσεων που λαμβάνονται κατά τη συντήρηση.

### 4.2.1 Εργαλεία γενικής χρήσης

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται διάφορα εργαλεία χειρός και όργανα μετρήσεων τα οποία προμηθεύονται από το εμπόριο. Πρόκειται για μη εξειδικευμένα εργαλεία ευρείας χρήσης, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη συντήρηση αλλά και στις περισσότερες εργασίες σε μία ανεμογεννήτρια.

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ενδεικτικά τα επόμενα εργαλεία:

- Πένσες, τσιμπίδες, μιτοσίμπιδα (διαφόρων διαστάσεων)
- Κλειδιά πολυγωνικά (10mm, 13mm, 16mm, 17mm, 18mm, 19mm, 24mm)
- Κατσαβίδια (διάφορα μεγέθη)
- Κόφτης καλωδίων
- Γαλλικό κλειδί (ρυθμιζόμενο), μεγέθη 6” και 12”
- Σετ κασάνιες με καρυδάκια ¼” και ½”
- Σετ ALLEN, διαστάσεις 1,5-12mm
- Μετροταινία
- Σφυριά 0,3kg και 1kg
- Πιστόλι για χρήση σιλικόνης
- Κοπίδια

- Γερμανικά κλειδιά (8mm, 14mm, 16mm, 17mm, 18mm, 19mm, 22mm, 24mm, 30mm, 32mm, 36mm, 46mm)
- Επαναφορτιζόμενο τρυπάνι
- Αποστάτες διαφόρων μεγεθών για χρήση σε κασάνιες
- Ιμάντες ανύψωσης και ναυτικά κλειδιά

Για τα παραπάνω εργαλεία χειρός δεν απαιτείται κάποιος έλεγχος ή πιστοποίηση πριν τη χρήση τους.

#### 4.2.2 Εργαλεία σχεδιασμένα από τη VESTAS

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται εξειδικευμένα εργαλεία και όργανα μετρήσεων τα οποία έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από τη VESTAS. Υπάρχουν επίσης εργαλεία τα οποία προμηθεύονται από το εμπόριο, αλλά πιστοποιούνται και ελέγχονται από τη VESTAS περιοδικά, ώστε να εξασφαλίζεται η άρτια λειτουργία τους. Όλα τα εργαλεία και τα όργανα μετρήσεων της κατηγορίας αυτής χαρακτηρίζονται από ένα μοναδικό κωδικό και εισάγονται στη βάση δεδομένων της εταιρείας. Με τη βοήθεια του κωδικού κάθε εργαλείου, γίνεται η αναζήτησή του καθώς επίσης και η αναφορά του στις εκάστοτε οδηγίες εργασιών.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα εργαλεία και τα όργανα μετρήσεων της παρούσας κατηγορίας καθώς επίσης και οι απαιτήσεις σου σε ελέγχους και πιστοποιήσεις.

**Μανόμετρο 0-400 bar.** Όργανο για τη μέτρηση πίεσης υγρών. Χρησιμοποιείται για πραγματοποίηση ελέγχων στη μονάδα υδραυλικής πίεσης, στο Gearbox και στο σύστημα ψύξης του λαδιού. Το όργανο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από το τμήμα ελέγχου και πιστοποίησης της εταιρείας διασφαλίζοντας τη σωστή του λειτουργία.

**Ψηφιακό πολύμετρο FLUKE 289.** Όργανο για πραγματοποίηση διαφόρων ηλεκτρολογικών μετρήσεων και ελέγχων, όπως μέτρηση τάσης AC/DC, αντίστασης, ρεύματος AC/DC, συχνότητας, χωρητικότητας και θερμοκρασίας.

Το όργανο αυτό παρότι είναι κατασκευασμένο από μία εταιρεία εκ των κορυφαίων στην αγορά, παρόλα αυτά ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες και από τη VESTAS.

**Ακροδέκτης μέτρησης θερμοκρασίας F-80PK-27.** Όργανο που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το FLUKE 289 για τη μέτρηση θερμοκρασίας. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 21. Μανόμετρο 0-400 bar

**Φορητό διαθλασιόμετρο.** Όργανο για τη μέτρηση του δείκτη διάθλασης. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 22. Ψηφιακό πολύμετρο FLUKE 289 και ακροδέκτης μέτρησης θερμοκρασίας F-80PK-27

**Ψηφιακό θερμόμετρο FLUKE 51.** Όργανο για τη μέτρηση θερμοκρασίας επαφής σε μοτέρ, μονώσεις, συνδέσεις διακόπτες και λοιπό ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 23. Ψηφιακό θερμόμετρο FLUKE 51 και θερμόμετρο υπερέυθρων FLUKE 62 MAX

**Θερμόμετρο laser/υπερέυθρων FLUKE 62 MAX.** Όργανο για μέτρηση θερμοκρασίας εξ αποστάσεως. Εύρος μετρήσεων από  $-30^{\circ}\text{C}$  έως  $500^{\circ}\text{C}$  με ακρίβεια  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.

**Εργαλείο συμπλήρωσης αζώτου (HYDAC) στους accumulators.** Σετ εργαλείων που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του αζώτου στους accumulators των φτερών και τη συμπλήρωση όταν αυτό απαιτείται. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.

**Μπουκάλα αζώτου 5 kg.** Μπουκάλα αζώτου πίεσης 200 bar με δυνατότητα επαναγεμίματος. Χρησιμοποιείται για την πλήρωση των accumulators με άζωτο όταν αυτό απαιτείται.

**Εργαλείο ελέγχου πίεσης αζώτου στους accumulators.** Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του εξοπλισμού που απαιτείται για τον έλεγχο της πίεσης στους accumulators στα φτερά και το γέμισμα τους όταν αυτό απαιτείται.

**Σωλήνα M16 μεταφοράς αζώτου υψηλής πίεσης.** Σωλήνα υψηλής αντοχής (έως 250 bar) για τη μεταφορά αζώτου από την μπουκάλα προς τους accumulators.



Εικόνα 24. HYDAC - Εργαλείο συμπλήρωσης αζώτου

**Μανόμετρο 0-250 bar.** Όργανο για τη μέτρηση πίεσης υγρών. Χρησιμοποιείται για πραγματοποίηση ελέγχων στη μονάδα υδραυλικής πίεσης, στο Gearbox και στο σύστημα ψύξης του λαδιού. Το όργανο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από το τμήμα ελέγχου και πιστοποίησης της εταιρείας διασφαλίζοντας τη σωστή του λειτουργία.

**Σωλήνα ¼” εξαγωγής δείγματος λαδιού Gearbox.** Σωλήνα που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή του δείγματος λαδιού του gearbox.

**Ψηφιακός ελεγκτής τάσης.** Το όργανο αυτό είναι ένας ελεγκτής τάσης 2 πόλων, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πολικότητας και ακολουθίας φάσεων. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.

**Trip test PR030/B BAT E1/6-T7-T7M-X1-T8.** Όργανο για έλεγχο αποσύνδεσης διακόπτη κυκλώματος. Χρησιμοποιείται για να ελέγξει τη σωστή λειτουργία ενός διακόπτη και κατά πόσο ανταποκρίνεται στην εντολή που δέχεται για άνοιγμα του κυκλώματος. Το όργανο λειτουργεί με μπαταρία και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.





Εικόνα 25. Ελεγκτής τάσης δύο πόλων.

**Q7 Breaker tester (ABB SACE tester PRO10/T).** Το όργανο αυτό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας του διακόπτη Q7 της ανεμογεννήτριας. Ελέγχεται επίσης η απόκριση του διακόπτη στην εντολή ανοίγματος που δέχεται.



Εικόνα 26. Trip test PR030/B (αριστερά), ABB SACE tester PRO10/T (κέντρο) και καλώδιο σύνδεσης του με υπολογιστή

**Συσκευή αναρρόφησης λαδιού.** Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται για να τραβήξει το λάδι με αναρρόφηση από ένα σημείο στο οποίο απαιτείται να γίνει έλεγχος.



Εικόνα 27. Συσκευή αναρρόφησης λαδιού.

**Slip torque tool.** Εξειδικευμένο φορητό εργαλείο για τον έλεγχο και τη μέτρηση της ροπής ολίσθησης στο yaw gear torque limiter. Η χρήση του ενδείκνυται για ειδικές περιπτώσεις όπου έχει διαπιστωθεί ολίσθηση ή επικείμενη φθορά στο σύστημα yaw. Υπό φυσιολογικές συνθήκες ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα δυναμόκλειδο.

Το slip torque tool είναι ένα σετ, που αποτελείται από τα ακόλουθα εξαρτήματα:

- Όργανο μέτρησης ροπής (ESA056S ERGOSPIN SLIMLINE)
- Controller CS351
- Καλώδιο διασύνδεσης 5 μέτρων (ERGOSPIN)

Επίσης απαιτείται η χρήση laptop κατά τη διαδικασία μετρήσεων. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 28. Όργανο μέτρησης ροπής ESA056S

**High voltage test tool.** Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιείται για τη γείωση του μετασχηματιστή (Μ/Σ) της ανεμογεννήτριας. Η γείωση επιβάλλεται για λόγους ασφαλείας καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης στον χώρο που βρίσκεται ο Μ/Σ. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.

**Flash for test of ARC detector.** Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του αισθητήρα ανίχνευσης ηλεκτρικού τόξου στην ανεμογεννήτρια. Ο έλεγχος γίνεται παρέχοντας μία ισχυρή λάμψη (η οποία δημιουργείται από το όργανο) μπροστά στον αισθητήρα ανίχνευσης τόξου. Έτσι δοκιμάζεται αν λειτουργεί ο αισθητήρας, ο οποίος αν ενεργοποιηθεί στέλνει σήμα για trip στον κεντρικό διακόπτη (switchgear) της ανεμογεννήτριας. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 29. Όργανο ελέγχου του ARC Detector

**Δυναμόκλειδο 1,5-12,5 Nm.** Εργαλείο χειρός ελέγχου ροπής με εύρος λειτουργίας από 1,5 έως 12,5 Nm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την

εταιρεία. Επίσης απαιτείται ο έλεγχός του πριν από κάθε χρήση και ανά μία εβδομάδα από την τοπική ομάδα συντήρησης.

**Δυναμόκλειδο 6-50 Nm.** Εργαλείο χειρός ελέγχου ροπής με εύρος λειτουργίας από 6 έως 50 Nm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία. Επίσης απαιτείται ο έλεγχός του πριν από κάθε χρήση και ανά μία εβδομάδα από την τοπική ομάδα συντήρησης.

**Δυναμόκλειδο 40-200 Nm.** Εργαλείο χειρός ελέγχου ροπής με εύρος λειτουργίας από 40 έως 200 Nm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία. Επίσης απαιτείται ο έλεγχός του πριν από κάθε χρήση και ανά μία εβδομάδα από την τοπική ομάδα συντήρησης.

**Δυναμόκλειδο 0-400 Nm.** Εργαλείο χειρός ελέγχου ροπής με εύρος λειτουργίας από 0 έως 400 Nm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία. Επίσης απαιτείται ο έλεγχός του πριν από κάθε χρήση και ανά μία εβδομάδα από την τοπική ομάδα συντήρησης.

**Δυναμόκλειδο 130-650 Nm.** Εργαλείο χειρός ελέγχου ροπής με εύρος λειτουργίας από 130 έως 650 Nm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία. Επίσης απαιτείται ο έλεγχός του πριν από κάθε χρήση και ανά μία εβδομάδα από την τοπική ομάδα συντήρησης.

**Δυναμόκλειδο 160-800 Nm.** Εργαλείο χειρός ελέγχου ροπής με εύρος λειτουργίας από 160 έως 800 Nm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία. Επίσης απαιτείται ο έλεγχός του πριν από κάθε χρήση και ανά μία εβδομάδα από την τοπική ομάδα συντήρησης.

**Δυναμόκλειδο 300-1000 Nm.** Εργαλείο χειρός ελέγχου ροπής με εύρος λειτουργίας από 300 έως 1000 Nm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία. Επίσης απαιτείται ο έλεγχός του πριν από κάθε χρήση και ανά μία εβδομάδα από την τοπική ομάδα συντήρησης.

**Hydraulic torque wrench.** Εργαλείο για έλεγχο ροπής. Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιεί την υδραυλική πίεση λαδιού για τον έλεγχο ροπής από 1200 Nm έως 7600 Nm. Χρησιμοποιείται με τον παρακάτω συνοδευτικό εξοπλισμό:

- Hydraulic torque tool RSL2 (για ροπή έως 1200 Nm)
- Hydraulic torque tool RSL4 (για ροπή έως 2200 Nm)
- Hydraulic torque tool RSL6 (για ροπή έως 5600 Nm)
- Hydraulic torque tool RSL8 (για ροπή έως 7600 Nm)

Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 30. Hydraulic torque wrench και RSL4

**VOG Overspeed Tester.** Εξειδικευμένο εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του συστήματος ελέγχου υπερστροφής της γεννήτριας και του ρότορα. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.

**Motor Tester.** Όργανο το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αυτεπαγωγής του στάτη και των πηνίων του ρότορα της γεννήτριας αλλά και των υπόλοιπων κινητήρων που χρησιμοποιούνται στην ανεμογεννήτρια. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.

**Megger Insulation tester.** Όργανο το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντίστασης μόνωσης τυλιγμάτων ή αγωγών, στέλνοντας ένα σήμα υψηλής τάσης στο υλικό που δοκιμάζεται. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.

**Dial gauge.** Όργανο για τη μέτρηση τζόγου σε περιστρεφόμενους άξονες και ρουλεμάν. Ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 31. Motor tester (αριστερά) και Megger insulation tester (δεξιά)

**Ανυψωτής αλυσίδας (παλάγκο).** Εργαλείο για την ανύψωση μεγάλου βάρους. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 32. Ανυψωτής αλυσίδας

**Μικρόμετρο 150-175 mm.** Εργαλείο για την ακριβή μέτρηση εξαρτημάτων. Έχει εύρος μετρήσεων από 150 έως 175 mm. Το εργαλείο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.





Εικόνα 33. Dial gauge με μαγνητική βάση

**Όργανο ευθυγράμμισης laser.** Φορητό όργανο το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ευθυγράμμισης μεταξύ της γεννήτριας και του gearbox. Το όργανο αυτό έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για χρήση σε ανεμογεννήτριες και τοποθετείται στο σημείο που βρίσκεται το composite coupling, αφού αυτό αφαιρεθεί για να γίνει ο έλεγχος της ευθυγράμμισης. Χρησιμοποιείται ένας πομπός και ένας δέκτης ακτίνας laser καθώς επίσης και ένας controller ο οποίος επεξεργάζεται τα δεδομένα. Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως του 0,1 mm. Το όργανο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 34. Σετ ευθυγράμμισης γεννήτριας – gearbox

**Όργανο ευθυγράμμισης ανεμομέτρου (laserboy).** Φορητό όργανο το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ευθυγράμμισης του ανεμομέτρου με τον άξονα της γεννήτριας. Το όργανο τοποθετείται στη θέση του ανεμομέτρου, αφού αυτό αφαιρεθεί προσωρινά για τις ανάγκες του ελέγχου. Στέλνοντας μία ακτίνα laser προς την μπροστινή πλευρά της νασέλας, προσδιορίζεται η ακριβής απόκλιση σε μοίρες του ανεμομέτρου από τον οριζόντιο άξονα της γεννήτριας. Το όργανο αυτό ελέγχεται και πιστοποιείται ανά 12 μήνες από την εταιρεία.



Εικόνα 35. Όργανο ευθυγράμμισης ανεμομέτρου με τον άξονα της νασέλας

### 4.3 Οδηγίες ασφαλείας

Η μέριμνα για την ασφάλεια του προσωπικού κατά κύριο λόγο, αλλά και του εξοπλισμού, αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι στην φιλοσοφία λειτουργίας των εταιρειών. Οι εταιρίες επιδιώκουν μηδενικό αριθμό ατυχημάτων αφενός για τη διασφάλιση της ζωής αλλά και της σωματικής ακεραιότητας των εργαζομένων και αφετέρου για να αποφευχθούν ζημιές οικονομικής φύσεως. Σε πολλές περιπτώσεις ένα ατύχημα ή ακόμα και ένα παρ' ολίγον ατύχημα, μπορεί να δημιουργήσει φθορά στον εξοπλισμό που εμπλέκεται, με αποτέλεσμα τη προβληματική λειτουργία του. Για τον λόγο αυτό δεν θα μπορούσαν να απουσιάζουν από τις διαδικασίες συντήρησης, οι αντίστοιχες αναφορές σε θέματα ασφαλείας.

Για κάθε οδηγία συντήρησης, δημιουργείται η αντίστοιχη οδηγία ασφαλείας. Στις οδηγίες ασφαλείας γίνεται εκτίμηση και στη συνέχεια καταγραφή όλων των πιθανών κινδύνων. Στη συνέχεια καταγράφονται επίσης τα επόμενα:

1. Πιθανότητα εμφάνισης για κάθε κίνδυνο
2. Σοβαρότητα κάθε κινδύνου
3. Ρίσκο να συμβεί ατύχημα για κάθε κίνδυνο
4. Απαιτούμενη ενέργεια για να ελαττωθεί το ρίσκο να συμβεί ατύχημα



## **Πιθανότητα εμφάνισης κινδύνου (Π)**

Η πιθανότητα εμφάνισης ταξινομείται στις επόμενες πέντε κατηγορίες:

1. Απίθανο. Δεν είναι πιθανό να συμβεί.
2. Απίθανο αλλά μπορεί να συμβεί.
3. Πιθανό. Θα μπορούσε να συμβεί περιστασιακά.
4. Πιθανότερο. Θα μπορούσε να συμβεί συχνά.
5. Συχνά. Μπορεί να εμφανιστεί τακτικά.

## **Σοβαρότητα κάθε κινδύνου (Σ)**

Η σοβαρότητα του κάθε κινδύνου ταξινομείται στις επόμενες πέντε κατηγορίες:

1. Μικρός τραυματισμός, χωρίς απουσία του εργαζομένου από την εργασία.
2. Αναστρέψιμος τραυματισμός, με απουσία του εργαζομένου από την εργασία μικρότερη από 14 ημέρες.
3. Αναστρέψιμος τραυματισμός, με απουσία του εργαζομένου από την εργασία μεγαλύτερη από 14 ημέρες.
4. Μη αναστρέψιμος τραυματισμός και απουσία του εργαζομένου από την εργασία.
5. Απώλεια ζωής.

## **Ρίσκο να συμβεί ατύχημα (Ρ)**

Ο υπολογισμός του ρίσκου να συμβεί ένα ατύχημα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P = \Pi \times \Sigma$$

Ανάλογα με το αποτέλεσμα που προκύπτει από τον παραπάνω τύπο, το ρίσκο να συμβεί ατύχημα ταξινομείται στις επόμενες κατηγορίες:

- 1-4: Χαμηλό ρίσκο (διαβάθμιση με πράσινο χρώμα)
- 5-8: Μεσαίο ρίσκο (διαβάθμιση με πορτοκαλί χρώμα)
- 9-25: Υψηλό ρίσκο (διαβάθμιση με κόκκινο χρώμα)

## **Απαιτούμενες ενέργειες.**

Οι απαιτούμενες ενέργειες ανάλογα με το επίπεδο ρίσκου που προκύπτει είναι οι παρακάτω:

- Καμία ενέργεια (αποδεκτό ρίσκο)
- Απαιτείται προσοχή
- Χρειάζεται διορθωτική ενέργεια

Στην περίπτωση που με βάση το ρίσκο προκύψει ότι απαιτείται διορθωτική ενέργεια, αυτή θα πρέπει να περιγράφεται αναλυτικά στην οδηγία.

Στη συνέχεια δημιουργείται ο πίνακας αξιολόγησης κινδύνου, στον οποίο αναγράφονται όλες οι επικίνδυνες επιμέρους ενέργειες που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας συντήρησης. Ο πίνακας έχει την παρακάτω μορφή:

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ				
α/α	Εργασία υπό αξιολόγηση	Περιγραφή κινδύνου	Πιθανότητα εμφάνισης κινδύνου	Απαιτούμενες ενέργειες
1				
2				
3				
4				
5				

Πίνακας 2. Πίνακας αξιολόγησης κινδύνου

Ο παραπάνω πίνακας αφού συμπληρωθεί από το τμήμα Ασφάλειας και Ποιότητας της εταιρείας, εισάγεται στην οδηγία ασφαλείας, η οποία συνοδεύει κάθε δυνητικά επικίνδυνη εργασία. Όπως είναι προφανές, κάθε εργασία συνοδεύεται από μία διαφορετική οδηγία ασφαλείας. Όλες οι οδηγίες ασφαλείας, όπως και όλα τα έγγραφα της εταιρείας, έχουν ένα μοναδικό αριθμό της μορφής XXXXXX ή XXXX-XXXX. Χρησιμοποιώντας τον αριθμό αυτό, γίνεται η εύρεση του αντίστοιχου εγγράφου μέσα από τη βάση δεδομένων της εταιρείας.

#### 4.4 Οδηγίες εκτέλεσης εργασιών

Κάθε εργασία που αφορά τη συντήρηση συνοδεύεται από μία αναλυτική οδηγία στην οποία περιγράφονται μία προς μία οι επιμέρους εργασίες. Κάθε οδηγία εκτέλεσης εργασιών έχει την ακόλουθη δομή :

- Σκοπός οδηγίας
- Αναφορά στην οδηγία ασφαλείας της συγκεκριμένης εργασίας
- Αναφορά σε επιπλέον οδηγίες εργασιών που τυχόν χρειάζονται για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας
- Απαιτούμενα εργαλεία

- Απαιτούμενα ανταλλακτικά
- Απαιτούμενα αναλώσιμα
- Απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης εργασίας
- Αναλυτική περιγραφή μία προς μία των επιμέρους εργασιών

Η κάθε οδηγία χαρακτηρίζεται με ένα μοναδικό αριθμό, κατ' αντιστοιχία με τις οδηγίες ασφαλείας. Όλες οι οδηγίες (εκτέλεσης εργασιών και ασφαλείας) βρίσκονται αποθηκευμένες σε ηλεκτρονική μορφή σε έναν κεντρικό server. Η αναζήτηση και εύρεση της απαιτούμενης οδηγίας από τη βάση δεδομένων γίνεται με τη χρήση του μοναδικού αριθμού που χαρακτηρίζει το κάθε έγγραφο .

## **4.5 Οργάνωση υλικών, ανταλλακτικών και εργασιών**

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την επιτυχή ολοκλήρωση της συντήρησης είναι η σωστή οργάνωση των απαιτούμενων ανταλλακτικών και υλικών καθώς επίσης και των εντολών εργασίας.

Για την οργάνωση των υλικών και των ανταλλακτικών, βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη επαρκούς χώρου αποθήκευσης, καθώς επίσης και του κατάλληλου προσωπικού για τη διαχείριση της αποθήκης. Οι εγκαταστάσεις του αποθηκευτικού χώρου πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον χώρο εκτέλεσης των εργασιών για την άμεση εξυπηρέτηση των συνεργείων. Επιπλέον, χρειάζεται η παροχή του απαραίτητου εξοπλισμού για τη διαχείριση της αποθήκης, όπως διαμορφωμένα ράφια, παλετοφόρο ή κλάρκ, υλικά οργάνωσης γραφείου, ηλεκτρονικός υπολογιστής, κτλ. Εκτός από όλα τα παραπάνω, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την οργάνωση της συντήρησης είναι η χρήση του κατάλληλου προγράμματος διαχείρισης. Ο μεγάλος αριθμός των εργασιών που απαιτούνται κατά τη συντήρηση σε συνδυασμό με το πλήθος των ανταλλακτικών και υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται, καθιστούν τη διαχείρισή τους σχεδόν αδύνατη χωρίς τη χρήση εξειδικευμένου προγράμματος.

Στην αγορά υπάρχουν αρκετά λογισμικά τα οποία συνδυάζουν τη διαχείριση αποθήκης, αλλά και των εντολών εργασίας που απαιτούνται. Η VESTAS χρησιμοποιεί το λογισμικό ERP (Enterprise Resource Planning) της εταιρείας SAP, το οποίο είναι ένα από τα πληρέστερα για τη διαχείριση επιχειρηματικών λειτουργιών.

### **4.5.1 Διαχείριση υλικών και ανταλλακτικών**

Η διαχείριση των υλικών και ανταλλακτικών είναι μία από τις βασικές δραστηριότητες οι οποίες ελέγχονται αποκλειστικά από το λογισμικό ERP.

Η προγραμματισμένη συντήρηση στις ανεμογεννήτριες πραγματοποιείται μία κάθε χρόνο και περιλαμβάνει μία σειρά συγκεκριμένων εργασιών όπως ελέγχους, μετρήσεις, λιπάνσεις και προληπτικές αντικαταστάσεις κάποιων υλικών. Το είδος και οι απαιτούμενες ποσότητες των λιπαντικών (λάδι, γράσσο, λιπαντικά spray, κτλ), των αναλώσιμων (καθαριστικά, δεματικά καλωδίων, χαρτιά καθαρισμού, κτλ) και των υλικών προς αντικατάσταση, είναι καταγεγραμμένα στις οδηγίες εκτέλεσης εργασιών. Μέσω του ERP, υπολογίζονται με αυτοματοποιημένες διαδικασίες ο αριθμός των απαιτούμενων υλικών ανά ανεμογεννήτρια καθώς επίσης και οι συνολικές απαιτήσεις για όλο το αιολικό πάρκο. Καθώς οι ημερομηνίες συντήρησης είναι σταθερές και προκαθορισμένες, το λογισμικό ορίζει αυτόματα τις ημερομηνίες αποστολής των υλικών από την κεντρική αποθήκη, ώστε τα υλικά να βρίσκονται στο αιολικό πάρκο πριν την έναρξη των εργασιών. Ταυτόχρονα, γίνεται αυτόματα η παραγγελία για την αντικατάσταση των υλικών της κεντρικής αποθήκης, τα οποία μεταφέρθηκαν προς τα αιολικά πάρκα για τις ανάγκες της συντήρησης. Στην εικόνα 36 φαίνεται μία λίστα υλικών όπως έχει εκδοθεί από το σύστημα ERP.

Item	Component	Description	L...	Reqmt Qty	UM	IC	S...	Sloc	Plnt	Op...	Batch	Recipient	Unloading Point	D. B. B.	Res./PReq.	Costing/Relevancy	Reqmt Date	Price/currency	Curr...	Proc. Category		
0010		AIR FILTER		1	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	31,20	EUR	Reservation for
0020		FILTER DEHUMIDF MUNTERS MG50		1	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	7,37	EUR	Reservation for
0030		O-RING Ø189.87x5.33V		1	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	2,24	EUR	Reservation for
0040		FILTER,AIR INSERT		0	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	3,00	EUR	Reservation for
0050		GREASE COLLECTING BAG		6	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	11,57	EUR	Reservation for
0060		GREASE SKF LGWM 1 420ML CARTRIDGE		0	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	3,14	EUR	Reservation for
0070		GREASE,SHELL GADUS 55 T460 1,5,380...		5	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	10,13	EUR	Reservation for
0080		GREASE KLÜBERPLEX BEM 41-132 400G		6	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	7,83	EUR	Reservation for
0090		BAT 125300 12V 150Ah		2	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	281,00	EUR	Reservation for
0100		AIR FILTER		1	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	31,20	EUR	Reservation for
0110		KLÜBERPLEX BEM 41-141 4.0KG		2	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	42,45	EUR	Reservation for
0120		AIR FILTER DC-3 DESSICANT		1	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	21,81	EUR	Reservation for
0130		FILTER DEHUMIDF MUNTERS MG50		1	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	7,37	EUR	Reservation for
0140		FILTER M. PF 2000/3000 210x210		8	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	1,03	EUR	Reservation for
0150		FILTERPAD PFM3000 200G 210X210		11	EA	L	1000	3111	0010					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Immediately	100%	Relevant to ...	25.07.2017	1,03	EUR	Reservation for

Εικόνα 36. Υλικά ετήσιας συντήρησης

Η αυτοματοποιημένη διαδικασία διαχείρισης των υλικών έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Ελαχιστοποίηση του χρόνου υπολογισμού υλικών
- Ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου προσωπικού, αφού οι διαδικασίες γίνονται αυτόματα μέσω του συστήματος
- Εξάλειψη πιθανότητας σφάλματος κατά τους υπολογισμούς
- Αυτόματη παραγγελία για αντικατάσταση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν
- Κεντρικός έλεγχος των υλικών για όλα τα αιολικά πάρκα

- Δημιουργίας βάσης δεδομένων με στατιστικά στοιχεία για τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί ανά ανεμογεννήτρια και ανά αιολικό πάρκο
- Υπολογισμός και έλεγχος του κόστους των υλικών

Εκτός από τα παραπάνω πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, τα τελευταία χρόνια τα στατιστικά στοιχεία της κατανάλωσης υλικών και κυρίως ανταλλακτικών, χρησιμοποιούνται από τα τμήματα Έρευνας και Εξέλιξης των εταιρειών. Δεδομένα όπως η συχνότητα και ο ρυθμός φθοράς των εξαρτημάτων, είναι πληροφορίες οι οποίες λαμβάνονται και αξιοποιούνται από το τμήμα Έρευνας και Εξέλιξης, οδηγώντας σε αναπροσαρμογή των διαδικασιών συντήρησης όταν αυτό απαιτείται.

#### **4.5.2 Διαχείριση εντολών εργασίας**

Οι εντολές εργασίας περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται η ομάδα συντήρησης για την εκτέλεση των εργασιών. Κάθε εντολή εργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Περιληπτική περιγραφή των εργασιών
- Λίστα με όλες τις απαιτούμενες οδηγίες
- Οδηγίες ασφαλείας
- Λίστα με τα υλικά και ανταλλακτικά
- Απαιτούμενος αριθμός τεχνικών για την ολοκλήρωση των εργασιών
- Απαιτούμενες ώρες για την ολοκλήρωση των εργασιών
- Ημερομηνία έναρξης εργασίας

Οι εντολές εργασίας που αφορούν την προγραμματισμένη συντήρηση των ανεμογεννητριών εκδίδονται αυτόματα από το σύστημα ERP.

Όλοι οι τεχνικοί συντήρησης έχουν στο κινητό τους εγκατεστημένη ειδική εφαρμογή της εταιρείας SAP για τη λήψη των εντολών εργασίας. Σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα πριν την έναρξη των εργασιών συντήρησης, το οποίο ορίζεται από τον διαχειριστή του συστήματος, οι εντολές εργασίας αποδεδεσμεύονται από το σύστημα και στέλνονται στους τεχνικούς συντήρησης στους οποίους έχει ανατεθεί η εργασία. Ο κάθε τεχνικός συντήρησης συνδέεται στην εφαρμογή μέσω του κινητού τηλεφώνου και συγχρονίζοντας την εφαρμογή με τον κεντρικό server λαμβάνει όλες τις εντολές εργασίας οι οποίες του έχουν ανατεθεί. Όταν ολοκληρώνεται η συντήρηση κάθε ανεμογεννήτριας, οι τεχνικοί οι οποίοι εκτέλεσαν τις εργασίες, συνδέονται εκ νέου στην εφαρμογή και εισάγουν τα ακόλουθα δεδομένα:

1. Συμπληρώνουν τα έντυπα ελέγχου εργασιών (checklists)
2. Εισάγουν τις ώρες που εργάστηκαν

3. Εισάγουν παρατηρήσεις, σχόλια ή ευρήματα τα οποία προέκυψαν κατά τη διαδικασία της συντήρησης
4. Εισάγουν φωτογραφίες (όπου απαιτείται)

Μετά τον συγχρονισμό της εφαρμογής με τον κεντρικό server, όλες οι παραπάνω πληροφορίες μεταφέρονται στον προϊστάμενο συντήρησης, ο οποίος κάνει τον τελικό έλεγχο και εγκρίνει τις ώρες εργασίας.

Η διαχείριση των εντολών εργασίας μέσω του συστήματος ERP έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Γρήγορη και εύκολη κατανομή εργασιών στους τεχνικούς συντήρησης
- Άμεση εποπτεία των εργασιών που έχουν ανατεθεί
- Άμεση ενημέρωση για την ολοκλήρωση κάθε εργασίας
- Έλεγχος των υλικών/ανταλλακτικών που χρησιμοποιήθηκαν και του χρόνου για την ολοκλήρωση των εργασιών
- Άμεση συλλογή πληροφοριών για την κατάσταση των ανεμογεννητριών μετά την ολοκλήρωση της συντήρησης

## 4.6 Εκπαίδευση προσωπικού

Η εκπαίδευση του προσωπικού είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ποιότητας των εργασιών συντήρησης σε μία ανεμογεννήτρια. Η εταιρεία επενδύει στη δημιουργία κέντρων εκπαίδευσης, στα οποία καταρτισμένοι εκπαιδευτές παρουσιάζουν όλες τις διαδικασίες της συντήρησης. Επιβεβλημένη είναι επίσης η χρήση προσομοιωτών, όπου κάθε επιμέρους τμήμα του εξοπλισμού της ανεμογεννήτριας το οποίο υπόκειται σε συντήρηση, έχει σχεδιαστεί για τις ανάγκες της εκπαίδευσης. Το προσωπικό συντήρησης, εφαρμόζει τη συντήρηση βήμα προς βήμα στον προσομοιωτή ανεμογεννήτριας υπό την καθοδήγηση των εκπαιδευτών, εξασφαλίζοντας ότι όλες οι διαδικασίες είναι ξεκάθαρες και μπορούν να εφαρμοστούν με ακρίβεια στην ανεμογεννήτρια.

Εκτός από την εκπαίδευση που αφορά την εφαρμογή της συντήρησης, απαιτείται εκπαίδευση του προσωπικού και στις επόμενες διαδικασίες:

- Εκπαίδευση στη χρήση του προγράμματος ERP για κινητά τηλέφωνα
- Εκπαίδευση στη χρήση οργάνων και εξειδικευμένων εργαλείων
- Εκπαίδευση στον έλεγχο των εργαλείων πριν τη χρήση (όπου αυτό απαιτείται)

## 4.7 Εργασίες συντήρησης (checklist)

Η συντήρηση στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες εφαρμόζεται σε τρία διαφορετικά στάδια.

- Συντήρηση τριών (3) μηνών.

Η συντήρηση αυτή εφαρμόζεται τρεις μήνες μετά την έναρξη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Περιλαμβάνει μία σειρά από ελέγχους σε ηλεκτρολογικά, μηχανολογικά και υδραυλικά μέρη. Ο σκοπός της συντήρησης αυτής είναι η ανίχνευση πιθανών δυσλειτουργιών σε πρώιμο στάδιο και η επίλυσή τους με τις κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες. Η συγκεκριμένη συντήρηση αποτελεί επίσης τον πρώτο σημαντικό έλεγχο ασφαλείας στη δομή της ανεμογεννήτριας και του πύργου. Ο έλεγχος της ρόπης με δυναμόκλειδο σε συγκεκριμένες βίδες στον πύργο, στη νασέλα και στο hub, εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας.

- Συντήρηση δώδεκα (12) μηνών

Εφαρμόζεται μία φορά το χρόνο καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας. Αποτελεί τη σημαντικότερη συντήρηση, η οποία εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας, προλαμβάνοντας πιθανά σφάλματα. Αποτελείται από μία σειρά ελέγχων, μετρήσεων, δοκιμών και προληπτικών αντικαταστάσεων ανταλλακτικών σε όλα τα ηλεκτρολογικά, μηχανολογικά και υδραυλικά μέρη.

- Συντήρηση τεσσάρων (4) χρόνων

Εφαρμόζεται ανά 4 χρόνια σε όλη τη διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας. Περιλαμβάνει κυρίως μηχανολογικούς ελέγχους ροπής σε κρίσιμα σημεία της δομής της ανεμογεννήτριας. Παρότι δεν εφαρμόζεται συχνά, αποτελεί μία συντήρηση κρίσιμη για θέματα ασφαλείας.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι εργασίες που πραγματοποιούνται στις συντηρήσεις των 3 μηνών, 12 μηνών και 4 ετών.

Οι πρώτες ενέργειες είναι κοινές και για τις τρεις συντηρήσεις και είναι οι ακόλουθες:

- Παύση λειτουργίας ανεμογεννήτριας
- Προετοιμασία υλικών, εργαλείων και οδηγίων
- Έλεγχος λειτουργίας εργαλείων και οργάνων (για όποια από αυτά απαιτείται)
- Εφαρμογή του πρωτόκολλου ασφαλείας Lock Out-Tag out (LOTO).

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο αυτό, όλοι οι τεχνικοί συντήρησης που εργάζονται στην ανεμογεννήτρια, κλειδώνουν με το προσωπικό τους λουκέτο τον κεντρικό διακόπτη έναρξης/παύσης λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, ώστε να μην είναι εφικτή η έναρξή της από μη εξουσιοδοτημένο προσωπικό κατά την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης. Η διαδικασία αυτή εφαρμογής του πρωτοκόλλου LOTO

εφαρμόζεται και σε επιμέρους εργασίες της συντήρησης, όπου και όταν αυτό απαιτείται σύμφωνα με τις οδηγίες ασφαλείας.

Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται και στα τρία είδη συντήρησης που εφαρμόζονται στις ανεμογεννήτριες.

#### **4.7.1 Συντήρηση τριών (3) μηνών**

Παρακάτω παρουσιάζονται όλες οι εργασίες που πραγματοποιούνται τρεις μήνες μετά την έναρξη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

##### **Hub και φτερά**

1. Έλεγχος για διαρροή λαδιού εντός του hub
2. Σύστημα pitch
  - Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> από τις 10 M20 βίδες που συγκρατούν τον κάθε κύλινδρο pitch
  - Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> από τις 12 M24 βίδες του κάθε torque arm block (βραχίονας στήριξης για την περιστροφή του φτερού)
  - Έλεγχος ροπής σε όλες τις βίδες στο περίβλημα του ρουλεμάν στους βραχίονες περιστροφής φτερών
  - Έλεγχος ροπής σε όλες τις βίδες του μπλοκ διανομέα κάθε φτερού
3. Έλεγχος για ρωγμές στην κόλληση στους 5 δακτύλιους στήριξης του ηλεκτρολογικού πίνακα του hub
4. Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> βίδας που συνδέει το κάθε φτερό και το ρουλεμάν φτερού
5. Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> βίδας η οποία συνδέει το ρουλεμάν φτερού με το hub
6. Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> βίδας που συνδέει το hub και το gearbox
7. Έλεγχος ροπής στις βίδες που συνδέουν τον σκελετό στήριξης του πολυεστέρα γύρω από το hub με το hub

##### **Gearbox και σύστημα λαδιού gearbox**

1. Καθαρισμός της επιφάνειας του gearbox και έλεγχος των αντλιών για διαρροής λαδιού

##### **Γεννήτρια και composite coupling**

1. Καθαρισμός των εξόδων και των δοχείων συλλογής γράσου της γεννήτριας
2. Επαναγέμιση του αυτόματου λιπαντήρα γράσου
3. Έλεγχος λειτουργίας του συστήματος αυτόματης λίπανσης της γεννήτριας
4. Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> βίδας που συνδέει τη βάση την γεννήτριας με τη βάση της νασέλας



5. Οπτικός έλεγχος για ρωγμές της κόλλησης στη βάση της γεννήτριας
6. Έλεγχος για ρωγμές και αποκολλήσεις της ενισχυμένης περιοχής γύρω από τις βίδες σύνδεσης του coupling
7. Έλεγχος ροπής στις M10 βίδες του coupling

### **Νασέλα**

1. Έλεγχος στροφών γεννήτριας. Ελέγχεται ότι οι πραγματικές στροφές ακολουθούν τις στροφές αναφοράς της γεννήτριας
2. Έλεγχος στροφών ρότορα. Ελέγχεται ότι οι πραγματικές στροφές ακολουθούν τις στροφές αναφοράς του ρότορα και επιπλέον ότι λειτουργεί το σύστημα ασφαλείας σε περίπτωση υπερτάχυνσης

### **Σύστημα yaw**

1. Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> βίδας στήριξης των 6 yaw gears με τη νασέλα
2. Έλεγχος ροπής σε 1 από τις 5 M39 βίδες σε κάθε ένα από τα 12 claw beams
3. Καθαρισμός της επιφάνειας ολίσθησης και των claw beams
4. Επαναγέμιση του συστήματος αυτόματης λίπανσης του yaw
5. Έλεγχος λειτουργίας του συστήματος αυτόματης λίπανσης του yaw
6. Έλεγχος ροπής κάθε 3<sup>ης</sup> βίδας που συνδέει το yaw ring με τη νασέλα

### **Πύργος**

1. Έλεγχος 3 M36 βίδες σε κάθε ένα από τα 2 δοκάρια του οπλισμού της ανεμογεννήτριας
2. Οπτικός έλεγχος στο σκυρόδεμα της βάσης της ανεμογεννήτριας
3. Οπτικός έλεγχος σε όλες τις βίδες της βάσης της ανεμογεννήτριας
4. Έλεγχος σε όλες τις βίδες στις ενώσεις των κομματιών του πύργου
5. Έλεγχος για διάβρωση στις βίδες του πύργου και στις ενώσεις του κάθε κομματιού του πύργου
6. Έλεγχος της επιφάνειας και του χρώματος του πύργου εσωτερικά
7. Οπτικός έλεγχος στη διέλευση των καλωδίων στο εσωτερικό του πύργου
8. Οπτικός έλεγχος της στήριξης των καλωδίων στο εσωτερικό του πύργου
9. Έλεγχος της διέλευσης του συστήματος γείωσης εντός του πύργου

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω εργασιών, απαιτείται ένας τελικός έλεγχος της γενικής κατάστασης της ανεμογεννήτριας. Τυχόν ευρήματα θα πρέπει να περιγράφονται αναλυτικά και να συνοδεύονται από τις σχετικές φωτογραφίες.

Μετά την ολοκλήρωση όλων των ελέγχων και εργασιών, οι τεχνικοί συντήρησης αφαιρούν τα λουκέτα τους από τον κεντρικό διακόπτη της ανεμογεννήτριας και ο

επικεφαλής του συνεργείου τη θέτει σε λειτουργία ενημερώνοντας τον υπεύθυνο συντήρησης.

#### **4.7.2 Συντήρηση δώδεκα (12) μηνών**

Η συντήρηση αυτή επαναλαμβάνεται κάθε 12 μήνες και περιλαμβάνει μία σειρά ελέγχων, μετρήσεων και δοκιμών του εξοπλισμού. Αποτελεί τη σημαντικότερη προγραμματισμένη συντήρηση της ανεμογεννήτριας, καθώς με τους στοχευμένους ελέγχους που πραγματοποιούνται, προλαμβάνονται πιθανά σφάλματα. Παρακάτω παρουσιάζονται όλες οι εργασίες που περιλαμβάνει η συγκεκριμένη συντήρηση.

##### **Δοκιμές συστημάτων ασφαλείας**

1. Δοκιμή του emergency stop button (κουμπί διακοπής έκτακτης ανάγκης) στη βάση της ανεμογεννήτριας
2. Έλεγχος του αισθητήρα κραδασμών
3. Δοκιμή του emergency stop button στη νασέλα
4. Δοκιμή λειτουργίας του μηχανικού φρένου
5. Έλεγχος του Advanced Grid Option 2 (AGO2). Δοκιμή φόρτισης του DC link στα 700 Volts και σταδιακή εκφόρτιση στα 500 Volts.
6. Δοκιμή του emergency stop button στο hub
7. Σύνδεση του καλωδίου ασφαλείας και του Hand Service Panel (HSP) για την ασφαλή παραμονή και εργασία μέσα στο hub.  
Το HSP εξασφαλίζει ότι όλες οι βαλβίδες διακοπής του συστήματος Pitch μέσα στο hub είναι κλειστές, ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε κίνηση των εμβόλων. Επιπλέον η κίνηση pitch των φτερών γίνεται με περιορισμένη ταχύτητα και το κάθε φτερό περιστρέφεται μόνο του με τα υπόλοιπα δύο να είναι σε θέση ασφαλείας (90°).
8. Έλεγχος όλων των emergency stop buttons, μετά τη σύνδεση του HSP στο hub

##### **Εσωτερικό ηλεκτρικό ανυψωτικό αλυσίδας**

1. Επιθεώρηση του ανυψωτικού αλυσίδας το οποίο βρίσκεται στη νασέλα  
Περιλαμβάνονται: Μηχανολογικός και ηλεκτρολογικός έλεγχος, έλεγχος αντοχής υλικών, έλεγχος για ρωγμές ή διάβρωση καθώς και έλεγχος της αλυσίδας

##### **Εξοπλισμός ασφαλείας ανεμογεννήτριας**

1. Έλεγχος του εξοπλισμού εκκένωσης της νασέλας σε έκτακτη ανάγκη (ResQ equipment)
2. Έλεγχος πυροσβεστήρων
3. Έλεγχος στο κουτί πρώτων βοηθειών

4. Έλεγχος της ράγας ασφαλείας αναρρίχησης στη σκάλα του πύργου
5. Έλεγχος σε όλες τις βίδες συγκράτησης της ράγας ασφαλείας
6. Έλεγχος της σκάλας ανάβασης στη νασέλα
  - Έλεγχος για ρωγμές ή διάβρωση
  - Έλεγχος στους βραχίονες στήριξης στη βάση της ανεμογεννήτριας, στη νασέλα και σε όλη τη διαδρομή
  - Έλεγχος ροπής στις βίδες στήριξης
  - Έλεγχος στα σκαλοπάτια
  - Έλεγχος στα σημεία αγκίστρωσης έκτακτης ανάγκης
7. Έλεγχος στα σημεία αγκίστρωσης έκτακτης ανάγκης σε όλη τη νασέλα και την οροφή της

### **Hub και φτερά**

1. Έλεγχος για διαρροή λαδιού στο εσωτερικό του hub
2. Έλεγχος της πίεσης αζώτου στους accumulators των τριών φτερών. Συμπλήρωση αζώτου (όπου απαιτείται)
3. Δοκιμή της emergency valve (βαλβίδα ασφαλείας pitch)
4. Δοκιμή του emergency pitch speed (ταχύτητα περιστροφής φτερών σε έκτακτη ανάγκη)
5. Έλεγχος των καλωδίων του συστήματος γείωσης εντός του hub
6. Έλεγχος στους βραχίονες στήριξης των accumulators
7. Έλεγχος του διακένου ανάμεσα στον κύλινδρο κάθε φτερού και στη βάση στήριξής του. Εάν το διάκενο είναι μεγαλύτερο από 0,8 χιλιοστά, απαιτείται αντικατάσταση της βάσης στήριξης
8. Μέτρηση του τζόγου των ρουλεμάν στους βραχίονες περιστροφής των τριών φτερών. Εάν ο τζόγος υπερβαίνει τα 0,05 χιλιοστά, απαιτείται αντικατάσταση των ρουλεμάν.
9. Έλεγχος του υδραυλικού εμβόλου στον κύλινδρο κάθε φτερού
10. Έλεγχος του προστατευτικού καλύμματος των ρουλεμάν στους βραχίονες περιστροφής των τριών φτερών
11. Δοκιμή των αντιστάσεων θέρμανσης του ηλεκτρολογικού πίνακα του hub
12. Αντικατάσταση των μπαταριών 1,5V του επεξεργαστή (CT6003) του hub
13. Οπτικός έλεγχος στους βραχίονες στήριξης του πίνακα του hub για ρωγμές, διάβρωση ή φθαρμένες βίδες
14. Έλεγχος του συστήματος αυτόματης λίπανσης των ρουλεμάν των φτερών
15. Αντικατάσταση των δοχείων συλλογής του περισσευούμενου γράσου
16. Έλεγχος των 5 σημείων μηχανικού κλειδώματος κάθε φτερού για ρωγμές
17. Γενικό οπτικό έλεγχο στο περίβλημα από πολυεστέρα του hub για πιθανές φθορές

18. Έλεγχος στα Lightning Current Transfer Units – LCTU (εξοπλισμός μεταφοράς ρεύματος κεραυνού)
19. Έλεγχος της υδρορροής του hub για πιθανές φθορές
20. Έλεγχος της μεταλλικής ταινίας – ηλεκτρόδιου για τους κεραυνούς σε κάθε φτερό
21. Οπτικός έλεγχος των τριών φτερών

### **Υδραυλικό σύστημα**

1. Έλεγχος της υδραυλικής πίεσης λειτουργίας του συστήματος μηχανικού φρένου της ανεμογεννήτριας
2. Έλεγχος της πίεσης αζώτου των accumulators (SP και SP1) των φρένων  
Συμπλήρωση αζώτου (όπου απαιτείται)
3. Έλεγχος διαρροής αζώτου των accumulators
4. Έλεγχος για διαρροή λαδιού από το υδραυλικό σύστημα
5. Έλεγχος της πίεσης λειτουργίας του υδραυλικού συστήματος
6. Έλεγχος του επιπέδου της πίεσης αναμονής του συστήματος
7. Έλεγχος της ανώτατης πίεσης λειτουργίας του συστήματος
8. Έλεγχος της πίεσης λειτουργίας κατά τη διαδικασία θέρμανσης του λαδιού της υδραυλικής μονάδας
9. Αντικατάσταση του φίλτρου συγκράτησης σωματιδίων υψηλής πίεσης της υδραυλικής μονάδας
10. Αντικατάσταση του φίλτρου συγκράτησης σωματιδίων της δευτερεύουσας γραμμής της υδραυλικής μονάδας
11. Αντικατάσταση λαδιού υδραυλικής μονάδας (ανάλογα με το αποτέλεσμα της ανάλυσης του δείγματος λαδιού)
12. Αντικατάσταση των o-rings (πλαστικών δακτυλίων αποφυγής διαρροής) μεταξύ αντλίας pitch και φλάντζας υψηλής πίεσης (κάθε 3<sup>ο</sup> χρόνο)
13. Αντικατάσταση των o-rings στο μπλοκ υψηλής πίεσης του συστήματος pitch (κάθε 3<sup>ο</sup> χρόνο)
14. Αντικατάσταση των o-rings της υδραυλικής αντλίας λαδιού και του μπλοκ υψηλής πίεσης
15. Έλεγχος για διαρροή λαδιού της αντλίας και των σωληνώσεων διασύνδεσης
16. Έλεγχος του φίλτρου αέρα
17. Έλεγχος στάθμης της δεξαμενής λαδιού του υδραυλικού συστήματος
18. Συλλογή δείγματος υδραυλικού λαδιού για ανάλυση

### **Gearbox και σύστημα λαδιού gearbox**

1. Απενεργοποίηση της αντλίας λαδιού του gearbox και έλεγχος για μεταλλικά ρινίσματα στο λάδι με τη χρήση του μαγνήτη

2. Έλεγχος στους αισθητήρες ρινισμάτων μετάλλου (S438A, S438B, S438C and S438D) του gearbox (μόνο σε περίπτωση που κάποιος από τους αισθητήρες στέλνει ανάδραση ενεργοποίησης)
3. Έλεγχος της δεξαμενής λαδιού του gearbox (μόνο σε περίπτωση που κάποιος από τους αισθητήρες ρινισμάτων μετάλλου στέλνει ανάδραση ενεργοποίησης)
4. Συλλογή δείγματος λαδιού από το gearbox για ανάλυση
5. Αντικατάσταση λαδιού gearbox (ανάλογα με το αποτέλεσμα της ανάλυσης του δείγματος λαδιού)
6. Έλεγχος του φίλτρου αέρα
7. Αντικατάσταση του φίλτρου συγκράτησης σωματιδίων υψηλής πίεσης του gearbox
8. Αντικατάσταση του φίλτρου συγκράτησης σωματιδίων της δευτερεύουσας γραμμής του gearbox
9. Έλεγχος των φίλτρων υψηλής πίεσης και δευτερεύουσας γραμμής καθώς και των σωληνώσεων σύνδεσης για διαρροή λαδιού
10. Έλεγχος λειτουργίας του συστήματος Emergency lubrication (σύστημα λίπανσης του gearbox σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης)
  - Έλεγχος αντλίας συστήματος
  - Έλεγχος βαλβίδων συστήματος
  - Έλεγχος μπαταρίας συστήματος και αντικατάσταση όταν η τάση είναι μικρότερη από 22 Volts
11. Έλεγχος του gearbox για φθορές, διάβρωση ή διαρροή λαδιού
12. Καθαρισμός επιφάνειας gearbox και έλεγχος αντλίας λαδιού για διαρροή
13. Έλεγχος της στάθμης λαδιού του gearbox
14. Λίπανση του συστήματος μηχανικού κλειδώματος του ρότορα
15. Έλεγχος για θόρυβο ή δονήσεις του gearbox κατά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας

### **Γεννήτρια και composite coupling**

1. Έλεγχος του συστήματος αυτόματης λίπανσης της γεννήτριας για σφάλματα λίπανσης, σφάλματα θερμοκρασίας και προειδοποιήσεις μελλοντικού σφάλματος (warnings)
2. Οπτικός έλεγχος για διαρροή γράσου στην αντλία και στις σωληνώσεις διασύνδεσης του αυτόματου συστήματος λίπανσης της γεννήτριας
3. Οπτικός έλεγχος της κατάστασης του γράσου στο ρεζερβουάρ του συστήματος αυτόματης λίπανσης της γεννήτριας
4. Έλεγχος και καθαρισμός των σωληνώσεων του συστήματος αυτόματης λίπανσης της γεννήτριας
5. Καθαρισμός των εξόδων και των δοχείων συλλογής γράσου την γεννήτριας
6. Επαναγέμιση του συστήματος αυτόματης λίπανσης της γεννήτριας

7. Έλεγχος λειτουργίας του συστήματος αυτόματης λίπανσης της γεννήτριας
8. Έλεγχος στις βίδες που συγκρατούν την αντλία του συστήματος αυτόματης λίπανσης της γεννήτριας
9. Έλεγχος των ρουλεμάν της γεννήτριας. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με τη γεννήτρια να περιστρέφεται στις 200 RPM.  
Αν η γεννήτρια διαθέτει σύστημα CMS, τότε το βήμα αυτό της συντήρησης παραλείπεται
10. Έλεγχος της ψύκτρας γείωσης της DE πλευράς της γεννήτριας. Αντικατάσταση αν το μήκος της είναι μικρότερο από 55 χιλιοστά.
11. Έλεγχος στις 12 ψύκτρες και στα 24 ελατήρια που τις συγκρατούν στην NDE πλευρά της γεννήτριας και καθαρισμός της περιοχής
12. Αντικατάσταση στις 12 ψύκτρες
13. Ευθυγράμμιση στις ψύκτρες μετά την αντικατάστασή τους
14. Έλεγχος και μέτρηση της ψύκτρας γείωσης της NDE πλευράς της γεννήτριας. Αντικατάσταση αν το μήκος της είναι μικρότερο από 15 χιλιοστά.
15. Έλεγχος της επιφάνειας των slip rings και καθαρισμός τους
16. Έλεγχος και καθαριότητα του εσωτερικού και εξωτερικού ανεμιστήρα των slip rings. Αντικατάσταση του εξωτερικού ανεμιστήρα σε περίπτωση ύπαρξης θορύβου από το ρουλεμάν του
17. Αντικατάσταση του encoder (Κάθε 8 χρόνια ή 65000 ώρες λειτουργίας)
18. Αντικατάσταση του εξωτερικού ανεμιστήρα των slip rings (Κάθε 10 χρόνια ή 80000 ώρες λειτουργίας)
19. Οπτικός έλεγχος για ρωγμές της κόλλησης στη βάση της γεννήτριας
20. Έλεγχος για ρωγμές και αποκολλήσεις της ενισχυμένης περιοχής γύρω από τις βίδες σύνδεσης του composite coupling

### **Σύστημα Ψύξης**

1. Έλεγχος στεγανότητας του ψυγείου και των σωληνώσεων του συστήματος ψύξης
2. Έλεγχος της αντλίας για διαρροή
3. Έλεγχος του δοχείου διαστολής και των σωληνώσεων
4. Έλεγχος στάθμης του ψυκτικού υγρού
5. Οπτικός έλεγχος της κατάστασης του ψυκτικού υγρού
6. Αντικατάσταση του ψυκτικού υγρού (κάθε 5 χρόνια)

### **Νασέλα**

1. Αντικατάσταση του φίλτρου αέρα του εναλλάκτη θερμότητας (κάθε 3 χρόνια)
2. Έλεγχος των φίλτρων αέρα εισόδου στους ηλεκτρολογικούς πίνακες
3. Έλεγχος των φίλτρων αέρα εξόδου στους ηλεκτρολογικούς πίνακες
4. Καθαρισμός στις σχάρες των ανεμιστήρων της νασέλας
5. Έλεγχος στις βίδες συγκράτησης της οροφής της νασέλας

6. Οπτικός έλεγχος και καθαρισμός του ανεμομέτρου
7. Έλεγχος του βραχίονα στήριξης του ανεμομέτρου
8. Έλεγχος της αντίστασης θέρμανσης του ανεμομέτρου
9. Έλεγχος ευθυγράμμισης της νασέλας προς την κατεύθυνση του αέρα. Στην περίπτωση που αυτό δεν επιτυγχάνεται, επανέλεγχος του ανεμομέτρου ή αντικατάσταση του
10. Οπτικός έλεγχος, καθαρισμός και μέτρηση στις ψύκτρες του Rotating Transfer Unit του gearbox. Αντικατάσταση στις ψύκτρες αν το μήκος τους είναι μικρότερο από 5 χιλιοστά
11. Αντικατάσταση των μπαταριών 1,5V του επεξεργαστή (CT6003) της νασέλας
12. Έλεγχος λειτουργίας του διακόπτη Q8 (σύνδεση στάτη γεννήτριας)
13. Έλεγχος λειτουργίας του διακόπτη Q7 (σύνδεση του ρότορα της γεννήτριας)
14. Έλεγχος των φανών αεροπορίας
15. Έλεγχος στροφών γεννήτριας. Ελέγχεται ότι οι πραγματικές στροφές ακολουθούν τις στροφές αναφοράς της γεννήτριας
16. Έλεγχος στροφών ρότορα. Ελέγχεται ότι οι πραγματικές στροφές ακολουθούν τις στροφές αναφοράς του ρότορα και επιπλέον ότι λειτουργεί το σύστημα ασφαλείας σε περίπτωση υπερτάχυνσης

### **Σύστημα yaw**

1. Έλεγχος των ρουλεμάν στα yaw gears
2. Έλεγχος της στάθμης λαδιού στα πλανητικά γρανάζια των yaw gears
3. Ρύθμιση των ελατηρίων στα claw beams
4. Καθαρισμός των claw beams και της επιφάνειας ολίσθησης της νασέλας
5. Έλεγχος του συστήματος αυτόματης λίπανσης του yaw
6. Επαναγέμιση του συστήματος αυτόματης λίπανσης του yaw
7. Έλεγχος της ρύθμισης του περιοριστή ροπής σε δύο yaw gears. Σήμανση των yaw gears τα οποία ελέγχθηκαν, ώστε στον επόμενο έλεγχο να ελεγχθούν διαφορετικά
8. Έλεγχος στα δόντια του yaw ring για φθορές ή ζημιές

### **Υψηλή τάση**

1. Έλεγχος του μετασχηματιστή υψηλής τάσης, του χώρου που βρίσκεται ο μετασχηματιστής και της εγκατάστασης χαμηλής τάσης
2. Έλεγχος του διακόπτη (switchgear) αποσύνδεσης του μετασχηματιστή

### **Ανελκυστήρας**

1. Οπτικός έλεγχος του συστήματος του ανελκυστήρα
2. Έλεγχος του ανελκυστήρα με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή

3. Έλεγχος για διαρροή ως προς γη του διακόπτη του κυκλώματος του ανελκυστήρα

### **Πύργος**

1. Οπτικός έλεγχος του πύργου για ρωγμές
2. Οπτικός έλεγχος στις βίδες της δοκού ακαμψίας
3. Αντικατάσταση των φίλτρων αέρα στους αφυγραντήρες
4. Οπτικός έλεγχος της παρουσίας και της κατάστασης στα καπάκια προστασίας σε όλες τις βίδες του πύργου
5. Οπτικός έλεγχος στις βίδες των σημείων αγκύρωσης. Έλεγχος για βίδες που λείπουν ή έχουν σπάσει ή έχουν χάσει τη ροπή τους
6. Έλεγχος για διάβρωση στις βίδες των σημείων αγκύρωσης
7. Έλεγχος του κεντρικού διακόπτη (switchgear) της ανεμογεννήτριας
8. Οπτικός έλεγχος στις βίδες σε όλες τις φλάτζες του πύργου για απώλεια ροπής, φθορά ή απουσία της βίδας
9. Οπτικός έλεγχος για είσοδο νερού στις φλάτζες του πύργου
10. Τοποθέτηση αντιδιαβρωτικού υλικού σε όλες τις βίδες στις φλάτζες του πύργου
11. Οπτικός έλεγχος στις βίδες συγκράτησης της σκάλας ανάβασης
12. Έλεγχος του αποσβεστήρα ταλάντωσης (για πύργους άνω των 105 μέτρων)
13. Έλεγχος του κιτ πρώτων βοηθειών στη βάση της ανεμογεννήτριας
14. Οπτικός έλεγχος της εσωτερικής επιφάνειας του πύργου και προσθήκη χρώματος όπου απαιτείται
15. Έλεγχος του καλωδίου γείωσης στον πύργο
16. Έλεγχος της στήριξης του καλωδίου γείωσης
17. Έλεγχος του συστήματος γείωσης της ανεμογεννήτριας
18. Αντικατάσταση των μπαταριών 1,5V του επεξεργαστή (CT6003) του ground controller
19. Έλεγχος λειτουργίας των φωτιστικών ασφαλείας στη νασέλα και τον πύργο
20. Έλεγχος του φίλτρου αέρα του ground controller
21. Έλεγχος του ρελέ διαφυγής (RCD)
22. Σημείωσε τις αρχικές ρυθμίσεις B1 και B2 του UPS
23. Έλεγχος για διαρροή ως προς γη του UPS και των μπαταριών
24. Έλεγχος της προστασίας υπέρτασης
25. Έλεγχος στους χρονοδιακόπτες του UPS
26. Έλεγχος της μπαταρίας
27. Έλεγχος της αντίστασης θέρμανσης (κάθε 2<sup>ο</sup> χρόνο)
28. Έλεγχος του αισθητήρα υγρασίας (κάθε 2<sup>ο</sup> χρόνο)
29. Έλεγχος του ανεμιστήρα του UPS (κάθε 2<sup>ο</sup> χρόνο)
30. Έλεγχος των φίλτρων αέρα στις καμπίνες του UPS



## **Τελικός έλεγχος**

1. Έλεγχος της γενικής κατάστασης της ανεμογεννήτριας
2. Αφαίρεση των λουκέτων ασφαλείας από το προσωπικό συντήρησης

### **4.7.3 Συντήρηση τεσσάρων (4) ετών**

Η συντήρηση αυτή επαναλαμβάνεται κάθε 4 χρόνια και περιλαμβάνει κυρίως μηχανολογικούς ελέγχους της ανεμογεννήτριας

## **Hub και φτερά**

1. Έλεγχος ροπής κάθε 10<sup>ης</sup> από τις M30 βίδες ένωσης του φτερού με το ρουλεμάν φτερού
2. Έλεγχος ροπής κάθε 10<sup>ης</sup> βίδας σύνδεσης του φτερού με το hub
3. Έλεγχος ροπής κάθε 10<sup>ης</sup> βίδας σύνδεσης του gearbox με το hub

## **Υδραυλικό σύστημα**

1. Έλεγχος του πάχους στα τακάκια του μηχανικού φρένου
2. Οπτικός έλεγχος στις δαγκάνες του μηχανικού φρένου για φθορές ή ζημιά
3. Οπτικός έλεγχος στον δίσκο του μηχανικού φρένου για ρωγμές, αυλακώσεις ή διάβρωση

## **Γεννήτρια και composite coupling**

1. Αντικατάσταση στις 2 ψύκτρες γείωσης στη DE πλευρά της γεννήτριας

## **Νασέλα**

1. Αντικατάσταση των φίλτρων αέρα εξόδου και καθαρισμός στο περίβλημα των φίλτρων
2. Έλεγχος και καθαριότητα στις ψύκτρες του Rotating Transfer Unit (RTD). Αντικατάσταση όταν το μήκος τους είναι μικρότερο από 5 χιλιοστά
3. Έλεγχος στους πυκνωτές του converter

## **Σύστημα Yaw**

1. Έλεγχος των φρένων σε όλους τους κινητήρες του συστήματος yaw

## **Πύργος**

1. Έλεγχος σε 3 M30 βίδες του κάθε δοκού στήριξης του εσωτερικού γερανού
2. Έλεγχος στις βίδες σύνδεσης σε κάθε φλάτζα του πύργου

## **Τελικός έλεγχος**

Αφαίρεση των λουκέτων ασφαλείας από το προσωπικό συντήρησης και επανεκκίνηση της ανεμογεννήτριας.

## **4.8 Επίλογος**

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε περιγραφή των διαδικασιών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της προγραμματισμένης συντήρησης στις ανεμογεννήτριες.

Αναφέρθηκε η ανάγκη ύπαρξης των απαραίτητων οδηγιών εκτέλεσης των εργασιών καθώς επίσης και των αντίστοιχων οδηγιών ασφαλείας, ώστε να παρέχεται υψηλή ποιότητα εργασιών κατά τη συντήρηση.

Αναφέρθηκαν επίσης αναλυτικά όλα τα εργαλεία και όργανα που απαιτούνται για τους ελέγχους και τις μετρήσεις που περιλαμβάνει η συντήρηση.

Στο πλαίσιο της οργάνωσης των διαδικασιών, παρουσιάστηκαν οι διαδικασίες και το λογισμικό τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση του προσωπικού, των εντολών εργασίας και των απαιτούμενων ανταλλακτικών. Επίσης έγινε μία σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων του λογισμικού διαχείρισης ERP της εταιρείας SAP.

Τέλος, αναφέρθηκαν όλες οι εργασίες συντήρησης που περιλαμβάνονται στις συντηρήσεις των 3 μηνών, των 12 μηνών και των 4 ετών, οι οποίες είναι οι προγραμματισμένες περιοδικές συντηρήσεις μίας ανεμογεννήτριας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΝΕΧΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

#### 5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, η επιλογή και εφαρμογή της κατάλληλης συντήρησης στις ανεμογεννήτριες οδηγεί στην ελαχιστοποίηση των απρόβλεπτων σφαλμάτων κατά τη λειτουργία τους, έχοντας ως αποτέλεσμα την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε πολλές περιπτώσεις, ενώ η επιλογή και εφαρμογή της συντήρησης είναι η βέλτιστη, κάποιο μέρος του εξοπλισμού ή κάποιο μεμονωμένο εξάρτημα εμφανίζει επαναλαμβανόμενα σφάλματα οδηγώντας στην παύση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

Η καταγραφή των δεδομένων που αφορούν ένα επαναλαμβανόμενο σφάλμα, η ανάλυση και ο προσδιορισμός της βασικής αιτίας (root cause) που οδήγησε στο σφάλμα, καθώς επίσης και οι διορθωτικές ενέργειες που γίνονται για την αποτροπή επανεμφάνισής του, αποτελούν μέρος των διαδικασιών βελτίωσης της κατάστασης των ανεμογεννητριών.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της μεθοδολογίας DEMAIC η οποία ακολουθείται, ώστε να προσδιοριστούν οι κατάλληλες ενέργειες που απαιτούνται για τη βελτίωση της κατάστασης λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

#### 5.2 Γενικές πληροφορίες μεθοδολογίας DEMAIC

Η μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων DEMAIC, είναι μία από πιο διαδεδομένες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος. Ο βασικός στόχος της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι η μείωση των ελαττωμάτων του προϊόντος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διερεύνησης των βασικών αιτιών και ελαττωμάτων, παρέχοντας λύση για τη μείωση ή την εξάλειψή τους. Συγκεκριμένα, στο μοντέλο επίλυσης προβλημάτων και βελτίωσης DMAIC, χρησιμοποιούνται στατιστικά στοιχεία και διάφορα εργαλεία βελτίωσης της ποιότητας, όπως διαγράμματα fishbone (το διάγραμμα fishbone είναι ένα εργαλείο στατιστικού ελέγχου διεργασιών, το οποίο παρουσιάζει τις βασικές αιτίες ενός συμβάντος), διαγράμματα pareto (το διάγραμμα pareto είναι ένα στατιστικό διάγραμμα το οποίο ταξινομεί τις αιτίες ή το πρόβλημα με φθίνουσα σειρά συχνότητας. Χρησιμοποιεί την αρχή Pareto ή κανόνας 80/20, σύμφωνα

με τον οποίο για πολλά γεγονότα, περίπου το 80% των επιπτώσεων προέρχεται από το 20% των αιτιών) ανάλυση δυνατοτήτων, ανάλυση συστήματος μέτρησης και σχέδιο ελέγχου. Στον κλάδο των ανεμογεννητριών, η μεθοδολογία DMAIC στοχεύει στην αναγνώριση σφαλμάτων κυρίως επαναλαμβανόμενων και στην επίλυσή τους με στόχο τη βελτίωση της λειτουργίας της.

Το DMAIC είναι το ακρωνύμιο πέντε λέξεων, οι οποίες αντιστοιχούν στα βήματα της μεθόδου.

- *Define* (Ορισμός)
- *Measure* (Μέτρηση)
- *Analyze* (Ανάλυση)
- *Improve* (Βελτίωση)
- *Control* (Έλεγχος)



Τα τρία πρώτα βήματα αφορούν την αναγνώριση των προβλημάτων και τη συγκριτική αξιολόγηση. Το τέταρτο βήμα, η βελτίωση, είναι η διαδικασία αποκατάστασης του προβλήματος. Το τελευταίο βήμα έχει να κάνει με τον έλεγχο των αποτελεσμάτων καθώς επίσης και με τον έλεγχο της διατήρησης των αλλαγών που εφαρμόστηκαν.

Η χρήση της μεθοδολογίας DMAIC έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τη συμβατική μέθοδο προσέγγισης των προβλημάτων. Η βασική διαφορά στην προσέγγιση του προβλήματος από τις δύο διαφορετικές μεθοδολογίες είναι ότι:

- Στη συμβατική προσέγγιση, αναλύεται μεγάλος αριθμός προβλημάτων αλλά το βάθος της ανάλυσης είναι περιορισμένο
- Στην προσέγγιση με τη μεθοδολογία DMAIC, αναλύεται μικρός αριθμός προβλημάτων αλλά με μεγάλο βάθος ανάλυσης

Τα χαρακτηριστικά των δύο διαφορετικών προσεγγίσεων αναλυτικά φαίνονται παρακάτω.

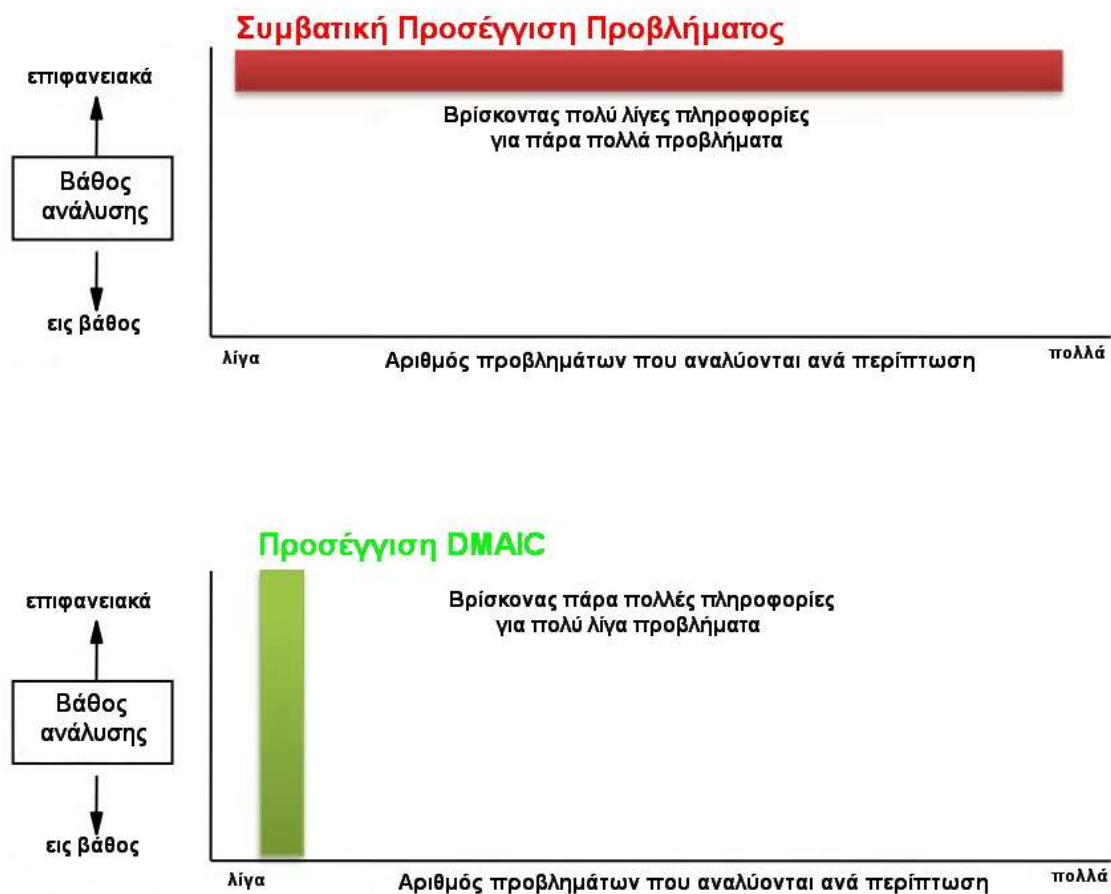
### **Συμβατική προσέγγιση προβλημάτων**

- Καταγραφή μεγάλου αριθμού συμβάντων καθιστώντας τη λεπτομερή ανάλυση δύσκολη ή αδύνατη
- Ομαδοποίηση διαφορετικών προβλημάτων
- Έλλειψη δυνατότητας να οδηγηθεί εις βάθος η έρευνα
- Έλλειψη εργαλείων ή μεθόδων για να οδηγηθεί εις βάθος η έρευνα
- Η διοίκηση ζητά πολλά σε ένα έργο
- Δεν προσδιορίζεται η βασική αιτία του προβλήματος
- Διορθώνονται τα συμπτώματα του προβλήματος και όχι η βασική αιτία
- Επαναλαμβανόμενα προβλήματα

- Δυσανεστημένοι πελάτες

## Προσέγγιση με τη μεθοδολογία DEMAIC

- Καταγραφή μικρού αριθμού συμβάντων διευκολύνοντας τη λεπτομερή ανάλυση
- Εργασία σε ένα και μόνο πρόβλημα
- Εργαλεία και μέθοδοι τα οποία οδηγούν την έρευνα σε βάθος
- Προσδιορίζεται η πραγματική αιτία εμφάνισης του προβλήματος
- Ικανότητα διόρθωσης της πραγματικής αιτίας του προβλήματος
- Δεν εμφανίζονται επαναλαμβανόμενα προβλήματα
- Πολύ ικανοποιημένοι πελάτες



Εικόνα 37. Σύγκριση μεθοδολογιών προσέγγισης προβλήματος

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο μεθόδων, η μεθοδολογία DMAIC προσφέρει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα καταφέροντας να περιορίσει στο ελάχιστο τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη λειτουργία των ανεμογεννητριών.

## 5.3 Ανάλυση μεθοδολογίας DEMAIC

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η μεθοδολογία DEMAIC χωρίζεται στα βήματα *Define* (Ορισμός), *Measure* (Μέτρηση), *Analyze* (Ανάλυση), *Improve* (Βελτίωση) και *Control* (Έλεγχος). Παρακάτω αναλύονται τα βήματα αυτά ένα προς ένα.

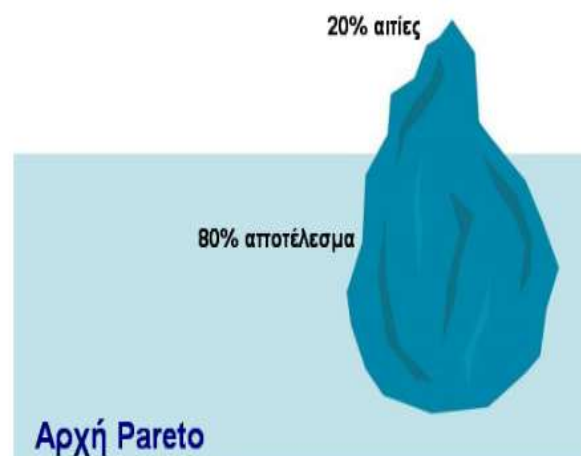
### 5.3.1 Define (Ορισμός)

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας DEMAIC έχει ως κύριο σκοπό τον εντοπισμό των προβλημάτων και των σχετικών επιπτώσεων πάνω στην ανεμογεννήτρια, εξετάζοντας τα διαθέσιμα στοιχεία και τις πληροφορίες, τα οποία επιτρέπουν στα προβλήματα να προσδιορίζονται με μετρήσιμους όρους. Ολοκληρώνοντας τη φάση Define, πρέπει να έχουν απαντηθεί τα επόμενα δύο ερωτήματα:

1. Ποιό είναι το κύριο πρόβλημα
2. Πώς αυτό το πρόβλημα επηρεάζει τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας

Για να προσδιοριστεί το βασικό πρόβλημα είναι απαραίτητη η συλλογή δεδομένων από την ανεμογεννήτρια. Επιπλέον, χρήσιμες πληροφορίες που αποτελούν δεδομένα και χρησιμοποιούνται στη διερεύνηση του προβλήματος, προέρχονται από την πλευρά του πελάτη. Ο εκάστοτε πελάτης παρακολουθώντας το αιολικό πάρκο ιδιοκτησίας του, χρησιμοποιώντας τα δικά του εποπτικά μέσα, ανιχνεύει δυσλειτουργίες και προβλήματα τα οποία μεταφέρει στην κατασκευάστρια εταιρεία. Η ανάλυση των δεδομένων διασφαλίζει ότι έχει επιλεγεί προς έρευνα το σωστό πρόβλημα. Επίσης είναι σημαντικό να περιοριστεί το εύρος μίας έρευνας, ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική διερεύνηση.

Για την αξιολόγηση των δεδομένων που συλλέγονται στο βήμα Define, χρησιμοποιείται η αρχή Pareto, σύμφωνα με την οποία το 80% ενός αποτελέσματος προέρχεται από το 20% των παραγόντων. Χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα Pareto, εστιάζουμε την έρευνα σε συγκεκριμένο αριθμό προβλημάτων και τελικά επιλέγεται το κύριο πρόβλημα στο οποίο οφείλεται η δυσλειτουργία της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 38. Αρχή Pareto

Το βήμα Define αποτελεί επίσης το πρώτο μέρος της Ανάλυση της βασικής αιτίας εμφάνισης του προβλήματος (Root Cause Analysis), η οποία ολοκληρώνεται στα βήματα δύο (Measure) και τρία (Analyze) της μεθοδολογίας.



Εικόνα 39. Βήμα Define της μεθοδολογίας DMAIC

### 5.3.2 Measure (Μέτρηση)

Το δεύτερο βήμα της μεθοδολογίας DMAIC αφορά την περιγραφή του ελαττώματος ή του προβλήματος λεπτομερώς με μετρήσιμους όρους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συλλογή δεδομένων και μετρήσεων από τις ανεμογεννήτριες και την ανάλυση των παραμέτρων λειτουργίας που σχετίζονται με το πρόβλημα.

Τα δεδομένα που συλλέγονται στη φάση Measure θα χρησιμοποιηθούν στο βήμα No 3 όπου θα γίνει η ανάλυση σε βάθος του προβλήματος.

Η φάση Measure αποτελεί επίσης τμήμα της διαδικασίας του Root Cause Analysis, αφού τα δεδομένα των μετρήσεων βοηθούν στον προσδιορισμό της βασικής αιτίας η οποία προκάλεσε το πρόβλημα.

### 5.3.3 Analyze (Ανάλυση)

Στο βήμα αυτό γίνεται η ανάλυση σε βάθος των δεδομένων και μετρήσεων και ολοκληρώνεται η διαδικασία του Root Cause Analysis. Πλέον η βασική αιτία πρόκλησης

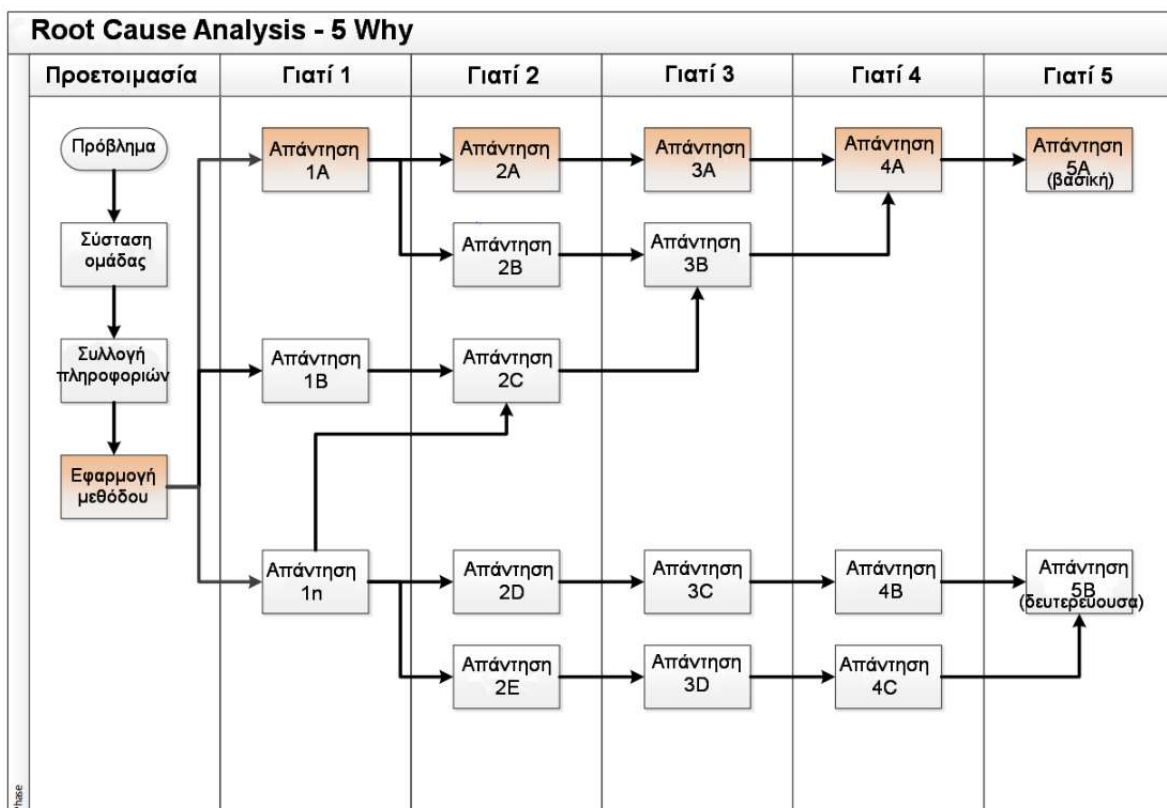
του προβλήματος (Root Cause) έχει προσδιοριστεί έπειτα από μία σειρά διαδικασιών όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Κατά τη διαδικασία του Root Cause Analysis χρησιμοποιείται η πολύ διαδομένη μέθοδος «5 Why» (5 Γιατί), η οποία θεωρείται η πιο επιτυχημένη μέθοδος προσδιορισμού του βασικού αίτιου εμφάνισης ενός προβλήματος.

### Μέθοδος 5 Why (5 Γιατί)

Η μέθοδος 5 Why είναι μια επαναληπτική διερευνητική τεχνική που χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση των σχέσεων αιτίας – αποτελέσματος που κρύβονται πίσω από ένα πρόβλημα. Ο στόχος της τεχνικής είναι να προσδιορίσει την βασική αιτία του προβλήματος (Root Cause) επαναλαμβάνοντας την ερώτηση «Γιατί».

Η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει τη συγκρότηση μίας ομάδας ανθρώπων οι οποίοι είναι γνώστες των λεπτομερειών του προβλήματος. Ο συντονιστής της ομάδας ξεκινάει με την ερώτηση γιατί εμφανίστηκε το πρόβλημα (1<sup>ο</sup> Γιατί). Για κάθε μία απάντηση που δέχεται από τα μέλη της ομάδας, συνεχίζει με ακόμα 4 ερωτήσεις «γιατί».



Εικόνα 40. Μεθοδολογία 5 Why



Καθώς προχωράει η διαδικασία των ερωτήσεων, οι απαντήσεις τείνουν να συγκλίνουν προς μία κοινή απάντηση. Με άλλα λόγια, για όλες τις αρχικές απαντήσεις που δόθηκαν στο 1<sup>ο</sup> Γιατί, η συνέχεια των επόμενων τεσσάρων ερωτήσεων θα οδηγήσει τελικά σε μία κοινή απάντηση ή σε μία Βασική (επικρατέστερη) απάντηση. Η απάντηση αυτή είναι ένα πιθανό βασικό αίτιο πρόκλησης του προβλήματος (Root Cause).

### **5.3.4 Improve (Βελτίωση)**

Στο βήμα αυτό της μεθοδολογίας γίνεται η διερεύνηση των πιθανών λύσεων με στόχο την εξάλειψη του βασικού αίτιου πρόκλησης του προβλήματος, όπως αυτό προσδιορίστηκε στο προηγούμενο βήμα. Ο προσδιορισμός της κατάλληλης λύσης επικεντρώνεται στη διόρθωση της βασικής αιτίας του προβλήματος και όχι στα συμπτώματα που αυτό προκαλεί. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται οριστική λύση του προβλήματος.

Εκτός από τον προσδιορισμό της κατάλληλης λύσης, είναι εξίσου σημαντικό η προετοιμασία και η οργάνωση για την εφαρμογή της. Οι εργασίες που απαιτείται να γίνουν θα πρέπει να συνοδεύονται από αναλυτικές οδηγίες. Επίσης θα πρέπει να ορισθεί ένα χρονοδιάγραμμα εργασιών και να υπάρχει μία σαφής ενημέρωση για την ολοκλήρωση των εργασιών, ώστε η φάση την παρακολούθησης και επιβεβαίωσης της λύσης του προβλήματος να είναι χρονικά ορισμένη.

Τέλος, πολύ σημαντική είναι η απόφαση για το εάν η λύση θα εφαρμοστεί μόνο στο εξάρτημα του εξοπλισμού που έχει ήδη επηρεαστεί από το πρόβλημα ή αν θα εφαρμοστεί προληπτικά σε όλα τα εξαρτήματα του ίδιου τύπου ανεξάρτητα εάν έχουν φθαρεί ή όχι.

### **5.3.5 Control (Έλεγχος)**

Ο κύριος στόχος της τελευταίας φάσης είναι η επικύρωση της βελτίωσης που εφαρμόστηκε και η κατάρτιση σχεδίου ελέγχου για τη διασφάλιση ότι η νέα διαδικασία εφαρμόζεται αυστηρά. Κατά τη διαδικασία του ελέγχου πραγματοποιούνται οι ακόλουθες ενέργειες:

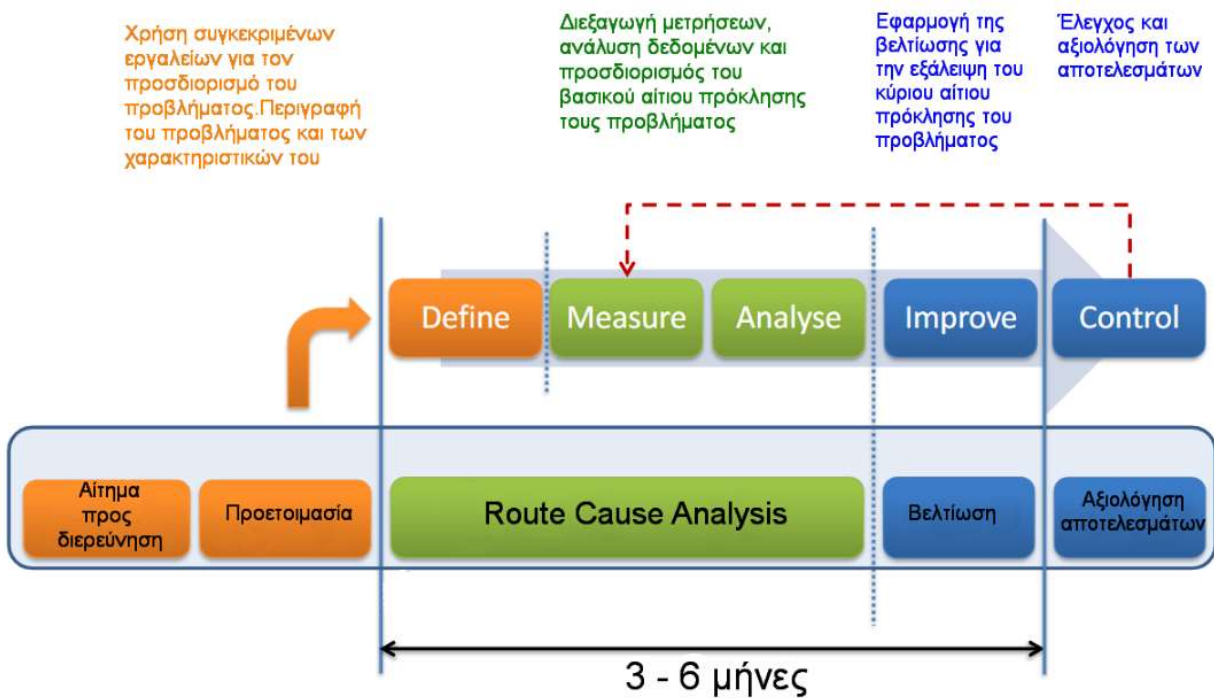
- Καθορισμός του συστήματος και των αναφορών που θα χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων με την πάροδο του χρόνου
- Εκτίμηση οικονομικού οφέλους
- Προγραμματισμός και έλεγχος αποτελεσμάτων σε 30 ημέρες και 90 ημέρες
- Πραγματοποίηση τελικού ελέγχου 12 μήνες μετά τη βελτίωση

- Δημιουργία πλήρους έκθεσης αποτελεσμάτων
- Επικοινωνία και διαμοιρασμός του επιτυχούς αποτελέσματος

## 5.4 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την εξάλειψη επαναλαμβανόμενων σφαλμάτων με τη βοήθεια συγκεκριμένων τεχνικών και εργαλείων.

Η μέθοδος DMAIC η οποία αναλύθηκε συνοπτικά στα προηγούμενα κεφάλαια χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βασικού αίτιου πρόκλησης του σφάλματος. Στη συνέχεια επιλέγεται η βελτίωση που απαιτείται να πραγματοποιηθεί στον εξοπλισμό και εφαρμόζεται βάσει συγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος. Τέλος τα αποτελέσματα αξιολογούνται και έτσι διασφαλίζεται η επιτυχία του αποτελέσματος.



Εικόνα 41. Μεθοδολογία DMAIC

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάστηκαν οι βασικές μεθοδολογίες που εφαρμόζονται για την συντήρηση του εξοπλισμού σήμερα. Αναλύθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά της συντήρησης αποκατάστασης βλάβης (Reactive Maintenance) και της διορθωτικής συντήρησης (Corrective Maintenance), καθώς και των ποιο εξελιγμένων και διαδομένων μεθόδων δηλαδή την προληπτικής (Preventive) και της προγνωστικής (Predictive) συντήρησης. Αναφέρθηκαν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθοδολογίας καθώς και τα οφέλη της χρήσης της συντήρησης για την αποφυγή σφαλμάτων λόγω φθοράς του εξοπλισμού. Επίσης τονίσθηκε η σημασία της συνδιαστικής χρήσης διαφόρων μεθοδολογιών ανάλογα με το είδος του εξοπλισμού.

Στη συνέχεια έγινε συνοπτική περιγραφή του βασικού εξοπλισμού μίας ανεμογεννήτριας V90 3MW της εταιρείας VESTAS. Επιπλέον παρουσιάστηκε το Σύστημα Παρακολούθησης Κατάστασης (Condition Monitoring System – CMS) το οποίο αποτελεί ένα από τα βασικότερα εργαλεία στις ανεμογεννήτριες για την παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο. Αναλύθηκε η δομή του συστήματος αυτού, οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την συλλογή δεδομένων, ο εξοπλισμός της ανεμογεννήτριας που ελέγχεται και τελικά τα οφέλη από την χρήση ενός τέτοιου συστήματος.

Στο επόμενο μέρος της διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκε βήμα προς βήμα η συντήρηση που εφαρμόζεται στην ανεμογεννήτρια V90 καθώς επίσης και τα εργαλεία και όργανα μετρήσεων που χρησιμοποιούνται. Επιπρόσθετα, αναφέρθηκαν πληροφορίες για την οργάνωση της συντήρησης αλλά και την διαχείριση των υλικών και των ανταλλακτικών. Δόθηκαν τέλος πληροφορίες σχετικά με τις οδηγίες εκτέλεσης των εργασιών και τι οδηγίες ασφαλείας και τονίσθηκε η ανάγκη χρήσης κατάλληλου λογισμικού (όπως το ERP της εταιρείας SAP) για την ενιαία διαχείριση όλων των επιχειρηματικών διαδικασιών.

Στο τελευταίο μέρος παρουσιάστηκε η διαδικασία της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της συντήρησης καθώς επίσης και των αιτιών που οδηγούν σε επαναλαμβανόμενα σφάλματα, με σκοπό τη βελτίωση της λειτουργίας του εξοπλισμού.

## Βιβλιογραφία

1. *A review on maintenance technique for industrial equipment and its machine learning algorithms.* **J, Ulaganathan και M, Sadyojatha K.** s.l. : IAEME Publication, 2011. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. Τόμ. Volume 12, σσ. 183-194.
2. *General overview of maintenance strategies–concepts and approaches.* **Gackowiec, Paulina.** 1, 2019, Τόμ. 2, σσ. 126-139.
3. *Offshore wind turbine operations and maintenance: A state-of-the-art review.* **Z. Ren, A.S. Verma, Y. Li, J.J.E. Teuwen, Z. Jiang.** s.l. : ElsevierLtd., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110886>.
4. *A Review of Maintenance Strategy Optimization for Wind Energy.* **M. Li, X. Jiang, H. Polinder, R.R. Negenborn.** Delft : s.n., 2020. 10.1201/9781003134572-53.
5. **Oyelami Opeyemi, Falah Al Hassan.** *Energy Systems Maintenance.* s.l. : Energy and Power Engineering, 2012. σσ. 8-18. Τόμ. 1, 10.4236/epe.2012.41002. ISSN Online: 1947-3818.
6. *A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches.* **Yongyi Ran, Xin Zhou, Pengfeng Lin, Yonggang Wen, Ruilong Deng.** 2019. CoRR abs/1912.07383.
7. *An integrated fault diagnosis and prognosis approach for predictive maintenance of wind turbine bearing with limited samples.* **Wang, J., και συν.** s.l. : Renewable Energy, 2020, Τόμ. 145, σσ. 642–650. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.103>. 0960-1481.
8. *Kernel spectral clustering for predicting maintenance of industrial machines.* **Langone, Rocco & Alzate, Carlos & De Ketelaere, Bart & Suykens, Johan.** April 2013. DOI:10.1109/CIDM.2013.6597215.
9. **Bloch, H.P. and Geitner, F.K.** *Practical machinery management for process plants.* Houston, TX : s.n., 1983. Τόμ. 2.
10. *Equipment health diagnosis and prognosis using hidden semi-Markov models.* **Dong, Ming & He, David & Banerjee, Prashant & Keller, Jonathan.** Phoenix, AZ : s.n., 2006, σσ. 738-749. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0111-0>.
11. *On a Predictive Maintenance Platform for Production Systems.* **K. Efthymiou, N. Papakostas, D. Mourtzis, G. Chryssolouris.** s.l. : Elsevier, 2012, Τόμ. 3, σσ. 221-226. DOI:10.1016/j.procir.2012.07.039. 2212-8271.
12. *A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches.* **Ran, Y., Zhou, X., Lin, P., Wen, Y. and Deng, R.** 2019. <https://arxiv.org/pdf/1912.07383.pdf>.
13. *Asset management and maintenance programming for power distribution systems: A review.* **M. Mirhosseini, F. Keynia.** 16, s.l. : IET Generation, Transmission & Distribution, 2021, Τόμ. 15. DOI: 10.1049/gtd2.12177. 1751-8687.

14. **W. R. Blischke, M. R. Karim et D. N. Prabhakar.** *Warranty Data Collection and Analysis*. s.l. : Springer Series in Reliability Engineering, 2011. DOI 10.1007/978-0-85729-647-4. 978-0-85729-647-4/1614-7839.

15. **Madsen, B. N.** Condition Monitoring of Wind Turbines by Electric Signature Analysis. 2011.

16. *Prognostic techniques applied to maintenance of wind turbines: a concise and specific review.*

**Gustavo de Novaes Pires Leite, Alex Maurício Araújo, Pedro André Carvalho Rosas.** Recife : Elsevier Ltd., 2018, Τόμ. 81, σσ. 1917-1925. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.002>. 1364-0321.