



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών**

# **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΣΩΛΗ ΑΣΗΜΙΝΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Θ. Ν. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2007**

*Στη μνήμη της Νάντιας*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική μου εργασία με τίτλο «Μεθοδολογίες Συντήρησης Μηχανών και Σύγχρονες Τάσεις» αποτελεί μια ιστορική αναδρομή στις μεθόδους συντήρησης των μηχανών από τότε που αυτές εμφανίστηκαν μέχρι και σήμερα, καθώς και μια εξέταση των μελλοντικών τάσεων αυτής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κύριο Θ. Ν. Κωστόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος. Επίσης τον υποψήφιο διδάκτορα Δ. Χ. Τσαντιώτη για την πολύτιμη βοήθειά του και τη συνεργασία του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου και σε όλους τους καθηγητές της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τις γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσαν.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή της και για την υπομονή που έδειξε καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τσώλη Ασημίνα  
Αθήνα, Νοέμβριος 2007

---

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	2
1.3 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	2
1.4 Η ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	3
1.5 ΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	3
1.6 Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	5
1.7 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (MAINTENANCE MANAGEMENT).....	9
1.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS - CMMS).....	10
1.9 ΣΧΕΣΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	11
1.10 ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	12
1.11 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΕΠΟΜΕΝΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ.....	13
<b>2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ (BREAKDOWN MAINTENANCE)</b>	
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	14
2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ.....	14
2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ.....	15
2.4 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ.....	17
2.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ.....	17
<b>3. ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (PREVENTIVE MAINTENANCE)</b>	
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	19
3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ, ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	21
3.3 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	21
3.4 ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	24
3.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	25
3.6 ΛΙΣΤΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ (TASK LISTS).....	27
3.6.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ (PLANNED COMPONENT REPLACEMENT – PCR).....	28
3.6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΙΣΤΑΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ (TASK LIST ANALYSIS).....	29
3.7 ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΩΝ.....	30
3.7.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ.....	30
3.7.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ.....	31

<b>3.8</b>	<b>ΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>32</b>
<b>3.9</b>	<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS - CMMS).....</b>	<b>33</b>
<b>3.10</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>35</b>
<b>3.11</b>	<b>ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>43</b>
<b>3.12</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>46</b>
<b>4.</b>	<b>ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (PREDICTIVE MAINTENANCE)</b>	
<b>4.1</b>	<b>ΓΕΝΙΚΑ.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....</b>	<b>51</b>
<b>4.3</b>	<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ (CONDITION MONITORING).....</b>	<b>53</b>
<b>4.5</b>	<b>ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>54</b>
<b>4.6</b>	<b>Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>55</b>
<b>4.7</b>	<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>55</b>
<b>4.7.1</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.2</b>	<b>ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΧΡΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.3</b>	<b>ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΧΡΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ.....</b>	<b>57</b>
<b>4.8</b>	<b>ΤΟΜΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>57</b>
<b>4.9</b>	<b>ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>58</b>
<b>4.9.1</b>	<b>ΦΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....</b>	<b>58</b>
<b>4.9.2</b>	<b>ΦΑΣΗ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩΝ.....</b>	<b>60</b>
<b>4.9.3</b>	<b>ΦΑΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....</b>	<b>62</b>
<b>4.10</b>	<b>ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>62</b>
<b>4.11</b>	<b>ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS - CMMS) ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>64</b>
<b>4.11.1</b>	<b>Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ.....</b>	<b>65</b>
<b>4.12</b>	<b>ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....</b>	<b>65</b>
<b>4.12.1</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>66</b>
<b>4.13</b>	<b>ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>75</b>
<b>4.14</b>	<b>ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>78</b>
<b>4.15</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>81</b>
<b>5.</b>	<b>ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (DESIGN-OUT MAINTENANCE)</b>	
<b>5.1</b>	<b>ΓΕΝΙΚΑ.....</b>	<b>83</b>
<b>5.2</b>	<b>ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ.....</b>	<b>84</b>
<b>5.3</b>	<b>ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....</b>	<b>84</b>
<b>5.3.1</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....</b>	<b>85</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Ο ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ (DEFAULT ACTION).....</b>	<b>86</b>
<b>5.3.3</b>	<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ.....</b>	<b>94</b>

<b>5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>96</b>
<b>5.5 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....</b>	<b>97</b>
<b>5.6 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....</b>	<b>98</b>
<b>5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....</b>	<b>99</b>
<b>5.8 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....</b>	<b>100</b>
<b>6. ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ</b>	
<b>6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....</b>	<b>102</b>
<b>6.2 ΣΥΝΗΘΗ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ.....</b>	<b>102</b>
<b>6.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ (VIBRATION SPECTRUM ANALYSIS – VSA).....</b>	<b>104</b>
<b>6.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VSA.....</b>	<b>106</b>
<b>6.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΟΡΓΑΝΟ SPM T-30.....</b>	<b>106</b>
<b>6.4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CONDMASTER PRO 2.....</b>	<b>107</b>
<b>6.4.3 ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΦΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>109</b>
<b>6.5 ΘΕΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VSA.....</b>	<b>111</b>
<b>7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>112</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>11</b>

---

# 1

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο σημερινό πλαίσιο της παγκοσμιοποίησης της αγοράς, χαρακτηριστικό στοιχείο της οποίας είναι ο ανταγωνισμός, η επιβίωση των επιχειρήσεων εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ικανότητά τους να βελτιώνονται και να καινοτομούν με ρυθμούς ταχύτερους από τους ανταγωνιστές τους σε όλο το φάσμα των δραστηριοτήτων τους. Η συντήρηση και γενικότερα η διαχείριση του εξοπλισμού είναι μία από τις δραστηριότητες στις οποίες θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στην προσπάθεια αυτή. Και αυτό γιατί αφενός είναι μία σύνθετη δραστηριότητα και αφετέρου το κόστος της αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του συνολικού κόστους λειτουργίας. Ανάλογα με τον κλάδο το κόστος συντήρησης σαν ποσοστό του συνολικού κόστους του παραγόμενου προϊόντος κυμαίνεται από 15% στις ελαφρές βιομηχανικές μονάδες (π.χ. βιομηχανίες τροφίμων) έως 40% στις βαριές βιομηχανικές εγκαταστάσεις (π.χ. χαλυβουργίες, χαρτοβιομηχανίες, χημικές βιομηχανίες, βιομηχανίες παραγωγής ρεύματος κ.λπ.).

Οι νέες απαιτήσεις των πελατών, ο αυξανόμενος ανταγωνισμός, η ολοένα και μεγαλύτερη μηχανοποίηση και αυτοματοποίηση των λειτουργιών και η απαίτηση προστασίας του οικολογικού περιβάλλοντος είναι τα νέα δεδομένα στο βιομηχανικό κλάδο. Για να ακολουθήσει μία επιχείρηση όλες αυτές τις αλλαγές απαιτούνται αποτελεσματικότητα, επάρκεια και υψηλή ποιότητα προϊόντος, καθώς και ευαισθητοποίηση σε θέματα περιβάλλοντος και ασφάλειας.

Η συντήρηση επιδρά θετικά σε τομείς της επιχείρησης όπως η παραγωγικότητα και η κερδοφορία. Η χαμένη παραγωγή μιας ημέρας εξαιτίας μιας απρόσμενης διακοπής δεν πρόκειται ποτέ να ανακτηθεί χωρίς επιπρόσθετο κόστος, όπως υπερωρίες, ενώ χάνεται και η πελατεία. Η σημασία της λειτουργίας της συντήρησης έχει αυξηθεί χάρη στο ρόλο της στη διατήρηση και τη βελτίωση της διαθεσιμότητας και της απόδοσης του εξοπλισμού, της ποιότητας των προϊόντων, της επίτευξης συνεπών παραδόσεων των παραγγελιών, της ικανοποίησης των περιβαλλοντολογικών απαιτήσεων και των απαιτήσεων ασφαλείας και της διατήρησης της συνολικής οικονομικής απόδοσης της επιχείρησης σε υψηλά επίπεδα.

Παραδοσιακά η συντήρηση θεωρείτο αναγκαίο κακό, στην πραγματικότητα όμως αποτελεί ένα κέντρο κέρδους παρά ένα απρόβλεπτο και αναπόφευκτο κόστος. Με την εφαρμογή αποδοτικής συντήρησης οι αστοχίες είναι δυνατό να περιοριστούν στο ελάχιστο. Αυτό οδηγεί σε σημαντική αποφυγή δαπανών. Αλλά η συντήρηση κερδίζει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον χάρη στο ρόλο που διαδραματίζει στη μακρόχρονη κερδοφορία μιας επιχείρησης. Επιδρά στην παραγωγή και σε λειτουργικά στοιχεία αυτής, όπως απόδοση, ποιότητα, κόστος, περιβάλλον και ασφάλεια.

Η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα ενός οργανισμού ή επιχείρησης που στο φάσμα των δραστηριοτήτων του/της απασχολεί μηχανολογικό εξοπλισμό εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον τρόπο οργάνωσής του/της στην κατεύθυνση της μέγιστης δυνατής αξιοποίησης αυτού του μηχανολογικού εξοπλισμού. Πέρα από άλλους παράγοντες που σχετίζονται με την παρακολούθηση όλων των σύγχρονων εξελίξεων και επιτευγμάτων στον κλάδο δραστηριότητας της εταιρίας, μέγιστη αξιοποίηση του μηχανολογικού εξοπλισμού σημαίνει πρωτίστως καλά οργανωμένη και σωστά μελετημένη διαδικασία συντήρησης.

## **1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Όσο τεχνολογικά εξελιγμένα και να είναι τα μηχανήματα παραγωγής, είναι αδύνατο να λειτουργούν και να αποδίδουν, τουλάχιστον στο επίπεδο που είναι σχεδιασμένα να το κάνουν, χωρίς την απαραίτητη επίβλεψη και συντήρηση. Η συντήρηση σε μία βιομηχανική επιχείρηση έχει στόχο να υποστηρίζει την παραγωγή έτσι ώστε να παράγονται προϊόντα συνεχώς, με το μικρότερο δυνατό κόστος και την καλύτερη ποιότητα σύμφωνα με τα πρότυπα της εταιρίας. Έτσι λοιπόν επιγραμματικά η συντήρηση πρέπει να εξασφαλίζει:

- Απρόσκοπτη λειτουργία – Μείωση χαμένου χρόνου
- Οικονομική λειτουργία – Μέγιστη παραγωγικότητα
- Βέλτιστο αποτέλεσμα από πλευράς ποιότητας
- Πληροφορίες για παραπέρα βελτίωση του εξοπλισμού και της οργάνωσης.

## **1.3 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Το κόστος συντήρησης σήμερα μπορεί να αντιπροσωπεύει μέχρι και το 40% των εξόδων λειτουργίας μιας επιχείρησης. Με τον όρο συντήρηση εννοούμε:

- Τεχνικό και χρονικό σχεδιασμό εργασιών
- Διαχείριση υλικών και ανταλλακτικών
- Διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού
- Διαχείριση εργαλείων και μέσων γενικότερα
- Προληπτικούς, προγνωστικούς και διαγνωστικούς ελέγχους
- Προληπτικές ενέργειες και αντικαταστάσεις
- Προγραμματισμό και εκτέλεση προγράμματος λίπανσης
- Επισκευές, βελτιώσεις, κατασκευές
- Γενικές ετήσιες συντηρήσεις.

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι η συντήρηση δεν έχει στόχο μόνο τις επισκευές, όπως γενικά θεωρείται από πολλούς, αλλά αποτελεί έναν κρίσιμης σημασίας παράγοντα στη ζωή της επιχείρησης που σχετίζεται με το σύνολο της απόδοσής της.

Η διατήρηση του εξοπλισμού και των στοιχείων του σε ικανοποιητική κατάσταση λειτουργίας μέσω της συντήρησης (συστηματικές επιθεωρήσεις, εντοπισμοί και διορθώσεις επικείμενων αστοχιών πριν εμφανιστούν ή προτού εξελιχθούν σε μεγάλες καταστροφές) αποδεικνύεται ότι:

- Μειώνει το επενδύμενο κεφάλαιο
- Μειώνει την ποιοτική υποβάθμιση του εξοπλισμού
- Μειώνει τις βλάβες του εξοπλισμού
- Αυξάνει τη διάρκεια ζωής των μηχανών
- Αυξάνει την παραγωγικότητα του προσωπικού της συντήρησης



- Ελαττώνει την απώλεια πελατείας
- Βελτιώνει τη συμμόρφωση σε νόμους και κανονισμούς
- Μειώνει περιττές επισκευές μηχανών
- Μειώνει την επανάληψη δραστηριοτήτων συντήρησης
- Μειώνει την απόρριψη (ελαττωματικών) προϊόντων
- Αυξάνει την αξιοπιστία
- Μειώνει τις υπερωρίες
- Αυξάνει την ασφάλεια
- Μειώνει τους τραυματισμούς
- Μειώνει την κατανάλωση ενέργειας
- Μειώνει την ποσότητα των απαραίτητων διαθέσιμων ανταλλακτικών
- Μειώνει τα ελαττώματα σε καινούριες μηχανές
- Μειώνει τις λανθασμένες ενέργειες συντήρησης
- Μειώνει τα ασφάλιστρα.

#### **1.4 Η ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Πολύ συχνά η συντήρηση αποτελεί το πρώτο θύμα των προσπαθειών εξοικονόμησης πόρων σε μια επιχείρηση κάτω από την εσφαλμένη θεώρηση ότι η μείωση των εξόδων συντήρησης θα βελτιώσει την κερδο-ικανότητα της επιχείρησης.

Ο χειρισμός αυτός είναι πιθανό να αποφέρει κάποια εξοικονόμηση σε βραχυπρόθεσμη βάση, αλλά είναι σίγουρο ότι οι επιπτώσεις που θα έχει στη μεσο-μακροπρόθεσμη λειτουργία της επιχείρησης θα είναι καταστροφικές. Και μόνο αν αναλογιστεί κανείς τις επιπτώσεις από ένα απρόβλεπτο σταμάτημα της παραγωγής σε μια επιχείρηση συνεχούς λειτουργίας μπορεί να αντιληφθεί τη σημασία μιας τέτοιας προσέγγισης.

Σε αντίθεση με την παραπάνω αντίληψη, για τις σωστά οργανωμένες επιχειρήσεις η συντήρηση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του παραγωγικού δυναμικού, μια επένδυση που αποδίδει τόσο στη βελτίωση της παραγωγικότητας αυτής καθ' εαυτής όσο και στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Για τις επιχειρήσεις αυτές η συντήρηση είναι μία προσεκτικά οργανωμένη λειτουργία η οποία, έχοντας λάβει υπόψη όλους τους παράγοντες κόστους, οικονομίας ποιότητας και πάνω από όλα τους σκοπούς της επιχείρησης, αξιοποιεί:

- ανθρώπινο δυναμικό,
- μηχανολογικό εξοπλισμό και εργαλεία,
- διαδικασίες ενεργειών, συγκέντρωσης πληροφοριών και επαναπληροφόρησης,
- συνεργάτες, πελάτες και προμηθευτές

με στόχο την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη εκπλήρωση των στόχων της επιχείρησης.

#### **1.5 ΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Γενικά στη βιβλιογραφία αναφέρονται και προτείνονται πολλές προσεγγίσεις, στρατηγικές και φιλοσοφίες, συντήρησης.

Μια στρατηγική συντήρησης περιλαμβάνει την ταυτοποίηση, την αναζήτηση και την εκτέλεση πολλών αποφάσεων σχετικών με επισκευές, αντικαταστάσεις και ελέγχους. Ασχολείται με την εκπόνηση του καλύτερου πλάνου λειτουργικής ζωής για κάθε μονάδα του εξοπλισμού και του βέλτιστου προγράμματος συντήρησης για τον

εξοπλισμό σε συνεργασία με την παραγωγή και άλλες λειτουργίες. Μια στρατηγική συντήρησης περιγράφει ποια περιστατικά (για παράδειγμα αστοχία, πάροδος ορισμένου χρόνου, κατάσταση) χρήζουν ποιας δραστηριότητας συντήρησης (έλεγχος, επισκευή ή αντικατάσταση). Συγκροτείται από ένα μίγμα πολιτικών και τεχνικών, οι οποίες ποικίλουν από εξοπλισμό σε εξοπλισμό. Τέλος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τους στόχους της επιχείρησης, τη φύση του εξοπλισμού που συντηρείται και το περιβάλλον εργασίας.

Μια φιλοσοφία συντήρησης ορίζεται ως η γενική δομή μιας σειράς διαφόρων επεμβάσεων συντήρησης (διορθωτική, προληπτική κ.λπ.). Η φιλοσοφία συντήρησης δίνει το σκελετό πάνω στον οποίο αναπτύσσονται οι στρατηγικές συντήρησης και αποτελεί την ενσωμάτωση του τρόπου που σκέφτεται η επιχείρηση για το ρόλο της συντήρησης ως λειτουργία. Στη βιβλιογραφία μπορεί να βρει κανείς αρκετές φιλοσοφίες συντήρησης. Οι σημαντικότερες και πιο διαδεδομένες από αυτές είναι η *Συντήρηση με γνώμονα την Αξιοπιστία (Reliability Centered Maintenance – RCM)* και η *Ολική Παραγωγική Συντήρηση (Total Productive Maintenance – TPM)*.

Η φιλοσοφία της **Ολικής Παραγωγικής Συντήρησης (Total Productive Maintenance – TPM)** ξεκίνησε στην Ιαπωνία στα μέσα της δεκαετίας του 80 και σταδιακά επεκτάθηκε και σε άλλες χώρες. Η ιαπωνική ιδέα όμως της Ολικής Παραγωγικής Συντήρησης χρονολογείται ήδη από το 1951 όταν έφτασε στην Ιαπωνία η Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance) από τις Η.Π.Α. Η Nippondenso, τμήμα της Toyota, ήταν η πρώτη επιχείρηση στην Ιαπωνία που εισήγαγε την ευρεία εφαρμογή της Προληπτικής Συντήρησης το 1960. Σύμφωνα με την Προληπτική Συντήρηση οι χειριστές χειρίζονταν τις μηχανές και η ομάδα συντήρησης τις συντηρούσε. Όμως το υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης της Nippondenso καθιστούσε αυτού του είδους τη συντήρηση προβληματική, καθώς αυτή απαιτούσε ολοένα και περισσότερο προσωπικό. Έτσι η διοίκηση αποφάσισε ότι τις συντηρήσεις ρουτίνας (όπως καθαρισμοί, λιπάνσεις κ.λπ.) θα τις έκαναν οι χειριστές, ενώ η ομάδα συντήρησης θα ασχολείτο μόνο με τροποποιήσεις στον εξοπλισμό οι οποίες είχαν στόχο την αύξηση της αξιοπιστίας του και συνακόλουθα την αποφυγή συντήρησης. Έτσι η Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance) μαζί με την Πρόληψη της Συντήρησης (Maintenance Prevention) και τη Βελτίωση της Συντηρησιμότητας (Maintenability Improvement) συνέθεσαν την Παραγωγική Συντήρηση. Στις αρχές της δεκαετίας του 70 η βιομηχανία της Ιαπωνίας βρισκόταν σε κρίσιμη οικονομική κατάσταση εξαιτίας της κρίσης του πετρελαίου και έψαχνε τον αποτελεσματικό τρόπο που θα της επέτρεπε να επιβιώσει στην παγκόσμια αγορά. Στην προσπάθεια αυτή το Ιαπωνικό Ινστιτούτο Συντήρησης πήρε τη βασική ιδέα της Παραγωγικής Συντήρησης και τη μετέτρεψε στο σύστημα της Ολικής Παραγωγικής Συντήρησης, το οποίο στη συνέχεια εξελίχθηκε σταδιακά από μικρού μεγέθους επιχειρήσεις. Συνεπώς η Ολική Παραγωγική Συντήρηση είναι ο αμερικανικός τρόπος συντήρησης ο οποίος τροποποιήθηκε και βελτιώθηκε για να ταιριάζει στο ιαπωνικό βιομηχανικό περιβάλλον. Από τα μέσα της δεκαετίας του 80 είναι συνήθης στη βιομηχανία της Ιαπωνίας και άρχισε να γίνεται δημοφιλής και στις δυτικές χώρες. Επομένως ο όρος καλύπτει ένα ενιαίο σύνολο μεθόδων που αναφέρονται στο συνολικό τρόπο διαχείρισης της λειτουργίας των σύγχρονων παραγωγικών μονάδων και εκτείνονται τόσο στο τεχνολογικό όσο και στο διοικητικό επίπεδο. Σύμφωνα με αυτή ένα μεγάλο κομμάτι των δραστηριοτήτων συντήρησης (π.χ. έλεγχοι, αναφορές συμβάντων, εφαρμογή σωστών συνθηκών λειτουργίας, καθαριότητα, λίπανση κ.λπ.) ανατίθεται στο τμήμα που είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του εξοπλισμού (Αυτόνομη Συντήρηση – Autonomous Maintenance). Τελικό στόχο της φιλοσοφίας αυτής αποτελεί η αύξηση της συνολικής διαθεσιμότητας της εγκατάστασης με τη

συστηματική μείωση μέχρι την εξάλειψη των αναίτιων μη λειτουργικών χρόνων (downtimes). Δέχεται μια μηχανή όπως είναι και προσπαθεί να εξασφαλίσει βασική συντήρηση και συνθήκες λειτουργίας που θα εμποδίσουν την επιτάχυνση της χειροτέρευσης και των αστοχιών.

Για πρώτη φορά ο όρος *Reliability Centered Maintenance (RCM)* χρησιμοποιήθηκε σε δημοσιεύσεις στελεχών και μηχανικών των United Airlines των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής για να περιγράψει τις βέλτιστες απαιτήσεις σε συντήρηση ενός αεροσκάφους. Το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των Η.Π.Α. χρηματοδότησε τη δημοσίευση ενός βιβλίου (από τις United Airlines) και μιας αναφοράς εκτίμησης (από τη Rand Corp.) για τη φιλοσοφία αυτή. Η δημοσίευση έγινε το 1978 και κατέστησε γνωστές τις ιδέες της νέας φιλοσοφίας σε ένα ευρύτερο κοινό. Το βιβλίο περιέγραφε τις προσπάθειες των εμπορικών αερογραμμών και της Αεροπορίας των Η.Π.Α. κατά τις δεκαετίες του 60 και του 70 να βελτιώσουν την αξιοπιστία ενός νέου αεροσκάφους τους. Η Συντήρηση με γνώμονα την Αξιοπιστία, πλέον ένα ολοκληρωμένο κομμάτι της Ολικής Παραγωγικής Συντήρησης, προσπαθεί να εμποδίσει ή να περιορίσει τις συνέπειες των αστοχιών και να καταστήσει δυνατή τη λειτουργία των μηχανών μέσα στα όρια σχεδιασμού τους. Είναι μια μέθοδος που μελετά τρόπους με τους οποίους μπορεί να αστοχήσει η λειτουργία ενός συστήματος και τις συνέπειες αυτών των αστοχιών. Βοηθά στον καθορισμό των πιο κατάλληλων και οικονομικά αποδοτικών «προδραστικών» στρατηγικών συντήρησης, ώστε να μετριάσει τα αποτελέσματα και τις συνέπειες τέτοιων αστοχιών. Σχεδιάζεται ώστε να ελαχιστοποιεί το κόστος συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη την απώλεια λειτουργικού χρόνου ζωής των μηχανημάτων. Κύριοι στόχοι αυτής της φιλοσοφίας συντήρησης είναι η διατήρηση της λειτουργικής ακεραιότητας και η μείωση του κόστους λειτουργίας με την ελάττωση των συνεπειών των αστοχιών του εξοπλισμού, όχι άμεσα των αστοχιών.

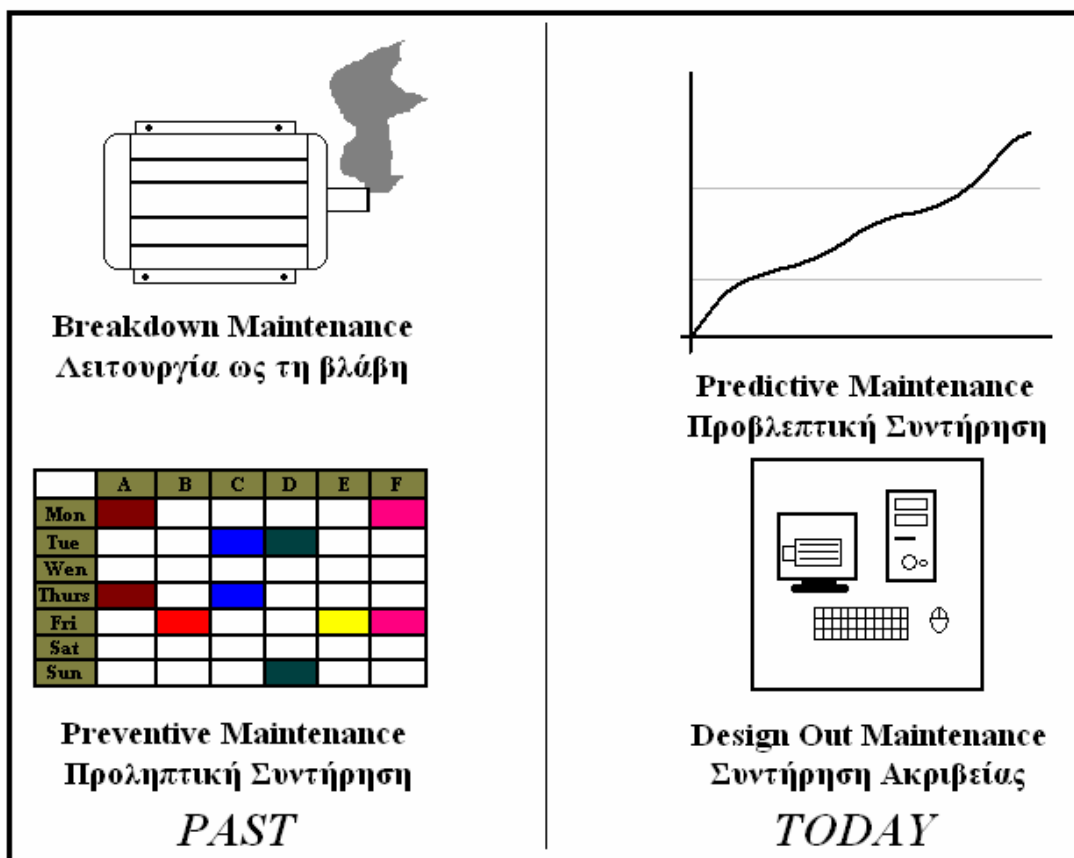
## **1.6 Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Η συντήρηση από την εμφάνισή της μέχρι σήμερα έχει εξελιχθεί κατά πολύ. Ειδικά τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει αλλάξει ίσως περισσότερο απ' όσο περίμεναν οι ειδικοί. Νέα δεδομένα έχουν έρθει στο χώρο, ολοένα περισσότερα συστήματα και παραγωγικές μονάδες απαιτούν συντήρηση και φυσικά νέες τεχνικές και φιλοσοφίες εφαρμόζονται σε όλο τον κόσμο.

Μέχρι το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η βιομηχανία δεν ήταν μηχανοποιημένη σε υψηλό βαθμό. Το μεγαλύτερο κομμάτι του εξοπλισμού ήταν απλό και ο σχεδιασμός του πολύ βασικός. Οι συνέπειες των αστοχιών δεν ήταν τόσο ζωτικής σημασίας και η επίδρασή τους ήταν μηδαμινή. Έτσι ο βιομηχανικός εξοπλισμός λειτουργούσε κανονικά μέχρι να αστοχήσει και τότε είτε επισκευαζόταν είτε αντικαθίστατο. Η συντήρηση δε θεωρείτο σημαντική, αλλά ως μια παραγωγική δραστηριότητα και ένα αναγκαίο κακό. Η πρώτη προσέγγιση της συντήρησης μπορεί να χαρακτηριστεί ως συντήρηση «εξ αντιδράσεως» κατά την οποία δε γίνεται καμία ενέργεια για την αποφυγή ή διάγνωση επερχόμενης αστοχίας. Το κόστος της συντήρησης αυτής είναι συνήθως υψηλό, μπορεί όμως να είναι οικονομικά αποδοτική σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Αυτή η πρώτη γενιά συντήρησης που προέκυψε με την εμφάνιση των πρώτων μηχανών αναφέρεται ως *Λειτουργία ως τη Βλάβη (Breakdown Maintenance)*.

Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η μείωση του ανθρώπινου δυναμικού στις βιομηχανίες και η αύξηση της ζήτησης ποικίλων προϊόντων οδήγησε σε υψηλή μηχανοποίηση. Οι εγκαταστάσεις κατασκευών έγιναν πολύπλοκες και οι βλάβες

άρχισαν να πληθαίνουν. Η διαθεσιμότητα, η μακροζωία και το κόστος άρχισαν να θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες για την επίτευξη των στόχων των επιχειρήσεων. Η συντήρηση έγινε δραστηριότητα του τμήματος συντήρησης και θεωρείτο ένα τεχνικό ζήτημα. Έτσι η δεύτερη προσέγγιση της συντήρησης μπορεί να περιγραφεί ως μία προληπτική προσέγγιση. Η **Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance)** επίσημα ορίζεται ως «η συντήρηση που διενεργείται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή ανταποκρινόμενη σε συγκεκριμένα κριτήρια και στοχεύει στη μείωση της πιθανότητας βλάβης ή χειροτέρευσης της λειτουργίας ενός αντικειμένου» (British Standard, 1984). Αυτά τα προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα μπορεί να είναι είτε με βάση το χρόνο (time-based, δηλαδή ημερολογιακές ημέρες) είτε με βάση τη χρήση (use-based, όπως συνολικές ώρες λειτουργίας, συνολική παραγωγή) και καθορίζονται με τη χρήση στατιστικών μοντέλων.



Σχήμα 1.1. Οι συνηθέστερες προσεγγίσεις συντήρησης.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 70 ο βιομηχανικός εξοπλισμός αυτοματοποιήθηκε ακόμη περισσότερο και έγινε ακόμη πιο περίπλοκος. Η αξιοπιστία, η διαθεσιμότητα και η συντηρησιμότητα, η ασφάλεια, η ποιότητα, το περιβάλλον, οι πολλαπλές δεξιότητες, όλα αυτά άρχισαν να θεωρούνται πολύ σημαντικά. Τα συστήματα πληροφόρησης της οργάνωσης της συντήρησης (Maintenance Management Information Systems), η παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού (condition monitoring) και η Συντήρηση με βάση την Κατάσταση (Condition Based Maintenance – CBM), που ξεκίνησε κυρίως από τη βιομηχανία

αεροπορίας και συστημάτων άμυνας, άρχισε να εφαρμόζεται στην παραγωγική βιομηχανία. Πιο συγκεκριμένα τη δεκαετία του 50 στατιστικοί του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής ανέπτυξαν τις βασικές αρχές της αξιοπιστίας στη Στατιστική, ανοίγοντας το δρόμο για την πρώτη χρήση προβλεπτικών τεχνολογιών. Στη συνέχεια, τη δεκαετία του 60, οι βιομηχανίες αεροπορίας και συστημάτων άμυνας αναγνώρισαν τη μεγάλη αξία της προβλεπτικής προσέγγισης για τη μείωση του κινδύνου των αστοχιών. Αργότερα οι προβλεπτικές τεχνολογίες υιοθετήθηκαν από την πολιτική αεροπορία και την πυρηνική βιομηχανία. Τέλος με τη λήξη του Ψυχρού Πολέμου πολλοί από τους εργαζόμενους της βιομηχανίας αεροπορίας και συστημάτων άμυνας ανέλαβαν θέσεις στη βιομηχανία εμπορίου όπου μετέφεραν και τις γνώσεις τους, ενώ μερικοί ίδρυσαν δικές τους επιχειρήσεις που προμήθευαν τις νέες τεχνολογίες. Έτσι έφτασαν τέλη της δεκαετίας του 80 και αρχές της δεκαετίας του 90 για να επικρατήσει η νέα προσέγγιση συντήρησης στη βιομηχανία. Η Συντήρηση με βάση την Κατάσταση ορίζεται ως «συντήρηση που διενεργείται σύμφωνα με τις ανάγκες όπως αυτές υποδεικνύονται από την παρακολούθηση της κατάστασης» (British Standard, 1984). Η αυτοματοποίηση και η εξέλιξη στις τεχνολογίες πληροφοριών έχουν καταστήσει τη χρήση των τεχνικών αυτής της συντήρησης στη βιομηχανία πολύ πιο εύκολη. Αυτές οι πρακτικές μπορούν να περιγραφούν ως μια προβλεπτική προσέγγιση η οποία ασχολείται κυρίως με την αναγνώριση κρυμμένων ή πιθανών επικείμενων αστοχιών και την πρόβλεψη της κατάστασης του εξοπλισμού. Πρόκειται για την **Προβλεπτική Συντήρηση (Predictive Maintenance)**.

Με τις αρχές της δεκαετίας του 80 προτάθηκαν πολλές συστηματικές φιλοσοφίες συντήρησης, όπως η Συντήρηση με γνώμονα την Αξιοπιστία (Reliability Centered Maintenance – RCM) και η Ολική Παραγωγική Συντήρηση (Total Productive Maintenance – TPM), που περιγράφηκαν ανωτέρω και οι οποίες έδιναν έμφαση στη χρήση των παραπάνω προσεγγίσεων, η Ολική Παραγωγική Συντήρηση στη Λειτουργία ως τη Βλάβη και την Προληπτική Συντήρηση, ενώ η Συντήρηση με γνώμονα την Αξιοπιστία και στην Προβλεπτική Συντήρηση. Παρόλα αυτά σήμερα λόγω της παγκοσμιοποίησης καταβάλλεται μεγαλύτερη προσπάθεια στη δημιουργία συνεργασιών μεταξύ της συντήρησης και των άλλων λειτουργιών μιας επιχείρησης. Για παράδειγμα η συμμετοχή της συντήρησης στη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, στο τμήμα αγορών για την επιλογή των κατασκευαστών του εξοπλισμού, στο σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας, στη χρήση εκτεταμένων συστημάτων πληροφοριών κ.λπ. Ακόμη δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην παρακολούθηση και τον έλεγχο όχι μόνο της κατάστασης του εξοπλισμού, αλλά και της ποιότητας του προϊόντος.

Στο πλαίσιο αυτό κινείται μια νέα προσέγγιση συντήρησης που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και καλείται **Συντήρηση Ακριβείας (Design-out Maintenance)**. Βασίζεται στη λεπτομερή κατανόηση των διαδικασιών των αστοχιών. Στη συνέχεια η μηχανή επανασχεδιάζεται ώστε να μειωθεί η πιθανότητα αστοχίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη σε μια εγκατάσταση χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα περισσότερες της μιας προσεγγίσεις. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να εξετάζεται ποια από τις διάφορες προσεγγίσεις αποδίδει καλύτερα οικονομικά και ταιριάζει περισσότερο σε κάθε τεχνικό σύστημα και στο λειτουργικό του περιεχόμενο.

Στον ακόλουθο *Πίνακα 1.1* παρουσιάζεται συνοπτικά η διαχρονική εξέλιξη της συντήρησης.

Στρατηγικές / Φιλοσοφίες	Εμφανίστηκε	Εφαρμόστηκε
Λειτουργία ως τη Βλάβη (Breakdown Maintenance)	- Με την εμφάνιση των πρώτων μηχανών	
Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance)	- Με την υψηλή μηχανοποίηση αμέσως μετά το 2 <sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο – Η.Π.Α.	
Ολική Παραγωγική Συντήρηση (Total Productive Maintenance - TPM)	- η ιδέα υπάρχει από το 1951 (Ιαπωνία) - δεκαετία 60: η ιαπωνική εταιρία Nippondenso εξελίσσει την Προληπτική Συντήρηση στην Παραγωγική Συντήρηση - δεκαετία 70: το Ιαπωνικό Ινστιτούτο Συντήρησης θέτει τις αρχές της TPM – την εξελίσσουν σταδιακά ιαπωνικές επιχειρήσεις μικρού μεγέθους	- αρχές με μέσα δεκαετίας 80: η TPM είναι συνήθης στην Ιαπωνία και γίνεται δημοφιλής στις δυτικές χώρες
Συντήρηση με γνώμονα την Αξιοπιστία (Reliability Centered Maintenance – RCM)	- δεκαετίες 60 – 70: οι εμπορικές αερογραμμές και η Αεροπορία των Η.Π.Α. προσπαθούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία αεροσκάφους τους - δημοσιεύσεις στελεχών των United Airlines χρησιμοποιούν για πρώτη φορά τον όρο RCM (Η.Π.Α.) - 1978: δημοσιεύσεις των United Airlines και Rand Corp. βιβλίου και αναφοράς εκτίμησης για την RCM αντίστοιχα με χρηματοδότηση του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας των Η.Π.Α.	- αρχές δεκαετίας 80 και εφεξής ευρεία εφαρμογή
Προβλεπτική Συντήρηση (Predictive Maintenance)	- δεκαετία του 50: στατιστικοί του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας των Η.Π.Α. αναπτύσσουν τις αρχές της αξιοπιστίας στη Στατιστική	- δεκαετία του 60: στη βιομηχανία αεροπορίας και συστημάτων ασφαλείας - δεκαετία 70: στην πολιτική αεροπορία και πυρηνική βιομηχανία

		- τέλη δεκαετίας 80 – αρχές δεκαετίας 90: με το τέλος του Ψυχρού Πολέμου στην παραγωγική βιομηχανία με τη συμμετοχή σε αυτή στελεχών των παραπάνω βιομηχανιών
Συντήρηση Ακριβείας (Design – Out Maintenance)	- τα τελευταία χρόνια	- δεν είναι διαδεδομένη ακόμη – αποτελεί το μέλλον της συντήρησης

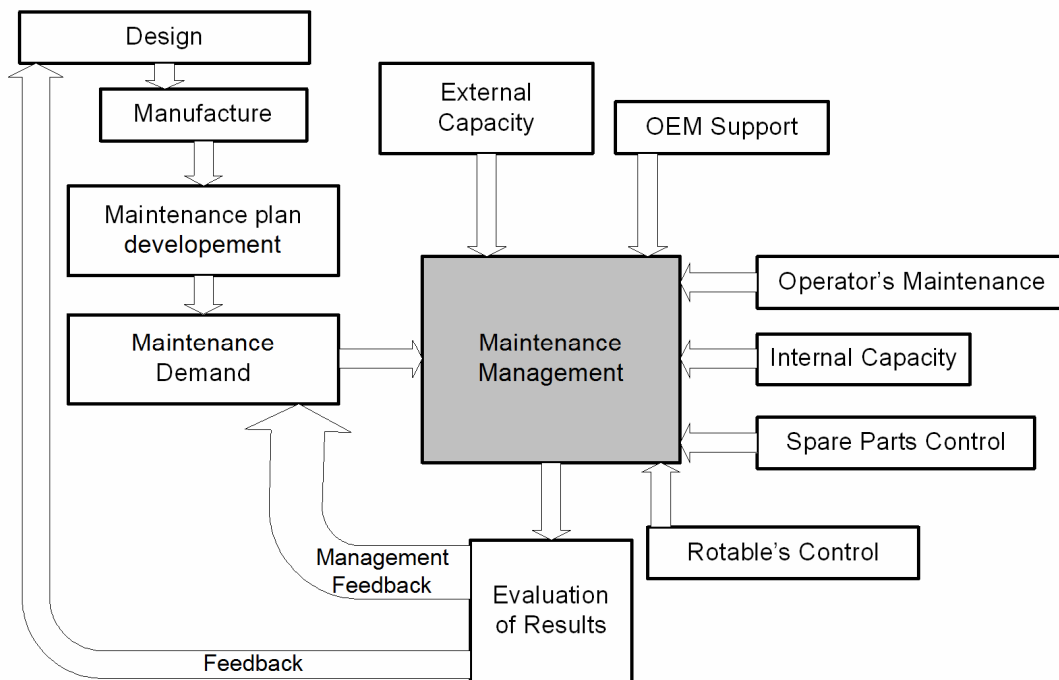
*Πίνακας 1.1. Η διαχρονική εξέλιξη της συντήρησης.*

## **1.7 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (MAINTENANCE MANAGEMENT)**

Η Οργάνωση και Διοίκηση της Συντήρησης αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες λειτουργίες σε έναν οργανισμό. Η μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού απαιτεί τη βελτιστοποίηση των προγραμμάτων των εργασιών, τον αποδοτικό σχεδιασμό του προσωπικού, την έγκαιρη διάθεση ανταλλακτικών και την εξασφάλιση πρωτοτυποποιημένων πρακτικών στα πλαίσια των διαδικασιών της συντήρησης.

Μπορεί να περιγραφεί ως το σύνολο δραστηριοτήτων της διοίκησης που καθορίζουν τους στόχους της συντήρησης, τις στρατηγικές της και τις ευθύνες. Σκοπός της είναι να εξασφαλίζει την αποδοτική λειτουργία του προγράμματος συντήρησης προς επίτευξη των στόχων της συντήρησης. Θα πρέπει να κάνει το σχεδιασμό, τον έλεγχο και την επίβλεψη της συντήρησης. Τέλος θα πρέπει να επανεκτιμά τις μεθοδολογίες που υιοθετήθηκαν στον οργανισμό, συμπεριλαμβανομένης και της οικονομικής τους απόδοσης.

Μόλις συναρμολογηθεί και τεθεί σε λειτουργία ο εξοπλισμός αρχίζει και ο ρόλος της Οργάνωσης και Διοίκησης της Συντήρησης, ο οποίος συνεχίζει για όλη τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Η Οργάνωση και Διοίκηση της Συντήρησης θα πρέπει να ικανοποιεί πολλές απαιτήσεις συντήρησης οι οποίες ανακύπτουν από το σύστημα σχεδιασμού και καθορίζονται κατά το σχεδιασμό της (βλ. *Σχήμα 1.2*). Θα πρέπει επιπλέον να ελέγχει τους διάφορους εξωτερικούς πόρους που υποστηρίζουν τις εργασίες της συντήρησης, όπως τους σύμβουλους συντήρησης και τους διάφορους κατασκευαστές του εξοπλισμού (Original Equipment Manufacturers – OEM), αλλά και τους εσωτερικούς πόρους, όπως την αποδοτικότητα του συστήματος και τους χειριστές που πραγματοποιούν δραστηριότητες συντήρησης. Σημαντικό είναι να ελέγχει και τα ανταλλακτικά και τα εξαρτήματα που αφαιρούνται κατά τις αντικαταστάσεις και επισκευάζονται για να επαναχρησιμοποιηθούν (rotables). Τα αποτελέσματα της Οργάνωσης και Διοίκησης της Συντήρησης εκτιμώνται και οδηγούν σε νέες απαιτήσεις συντήρησης και στο σχεδιασμό νέων παρόμοιων συστημάτων στα πλαίσια της συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας.



*Σχήμα 1.2. Την Οργάνωση και Διοίκηση της Συντήρησης υποστηρίζουν διάφοροι εξωτερικοί και εσωτερικοί πόροι με τους οποίους πρέπει να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις συντήρησης.*

## **1.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS - CMMS)**

Οι κύριοι στόχοι της λειτουργίας της συντήρησης είναι:

- Η μείωση των αποθεμάτων των ανταλλακτικών
- Η μείωση των σταματημάτων του εξοπλισμού
- Η παροχή πληροφοριών για αποφάσεις με βάση δεδομένα (κόστη, απαιτούμενες εργατοώρες) του παρελθόντος
- Η αύξηση της ποιότητας της παραγωγής.

Οι ίδιοι οι στόχοι της συντήρησης είναι ακριβώς το πρόβλημα των διευθυντών της συντήρησης σήμερα. Και αυτό γιατί η εκπλήρωση ενός στόχου οδηγεί σε μη εκπλήρωση ενός άλλου. Αυτό καθιστά αναγκαίο να γίνουν οι διευθυντές της συντήρησης πολύ αποδοτικοί και αποτελεσματικοί. Χωρίς αμφιβολία πολλές τεχνικές εξελίξεις έχουν κάνει τη δουλειά τους ευκολότερη. Από την προπολεμική «εξ αντιδράσεως» πρακτική της Λειτουργίας ως τη Βλάβη έχουμε φτάσει στις πολύ προδραστικές πρακτικές της Προληπτικής Συντήρησης, της Προβλεπτικής Συντήρησης και της Συντήρησης Ακριβείας. Αυτό που λείπει είναι η χρήση των νέων εργαλείων διοίκησης στη συντήρηση, όπως είναι τα Πληροφοριακά Συστήματα (Information Systems), τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems) κ.ά.

Έχει γίνει κατανοητό πλέον ότι η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα των διευθυντών συντήρησης εξαρτάται από την ποιότητα των πληροφοριών που τους διατίθενται. Οι πληροφορίες δεν είναι τίποτα άλλο από επεξεργασμένα δεδομένα. Τα δεδομένα παρέχονται από οποιοδήποτε τμήμα και με συνεχή τρόπο, για να είναι όμως



χρήσιμα στη λήψη αποφάσεων πρέπει να οργανωθούν σε κατάλληλη μορφή. Όταν γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων από τον ανθρώπινο παράγοντα απαιτείται πολύς χρόνος, γεγονός που καθιστά τα δεδομένα λιγότερο χρήσιμα στη λήψη αποφάσεων. Επίσης είναι μια δουλειά μονότονη και βαρετή, αφού είναι επαναλαμβανόμενη. Επομένως καθίσταται απαραίτητη η χρήση των υπολογιστών.

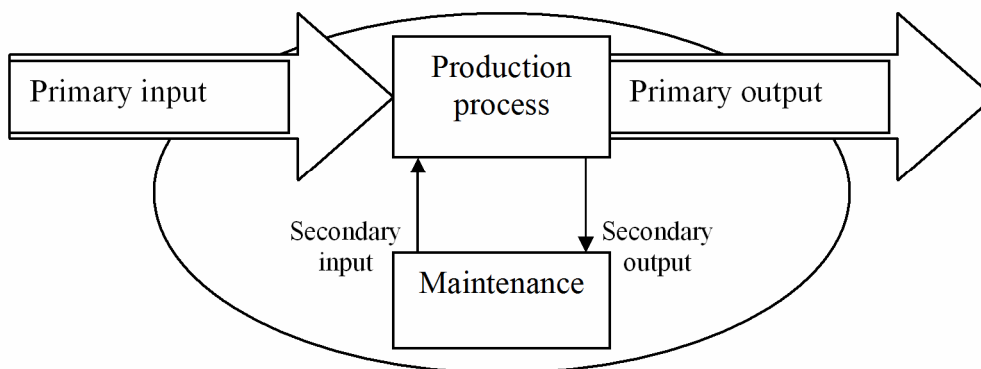
Οι μηχανικοί συντήρησης χειρίζονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων κατά το σχεδιασμό των διαφόρων δραστηριοτήτων συντήρησης για ένα σύνολο μηχανών και κατά τον προγραμματισμό των διαθέσιμων ανταλλακτικών για όλες τις διαφορετικές καταστάσεις και για όλες τις χρονικές περιόδους. Ακόμη η επιτυχία της συντήρησης, στις περισσότερες περιπτώσεις, εξαρτάται κυρίως από την εμπειρία (ιστορικά δεδομένα – past history data) και λιγότερο από τη θεωρητική γνώση, ενώ η αποτελεσματική χρήση της εμπειρίας εξαρτάται από την επεξεργασία των ιστορικών δεδομένων. Γίνεται φανερό ότι η επιτυχία της οργάνωσης της συντήρησης εξαρτάται από την ποιότητα και την ταχύτητα παροχής των πληροφοριών στο διευθυντή ή το σχεδιαστή. Σε συνδυασμό και με την επαναληπτική φύση πολλών δραστηριοτήτων καταλήγουμε στην αναγκαιότητα των υπολογιστών στην Οργάνωση και Διοίκηση της Συντήρησης. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί τα λεγόμενα Υπολογιστικά Συστήματα Οργάνωσης και Διοίκησης της Συντήρησης (Computerized Maintenance Management Systems - CMMS).

Τα Υπολογιστικά Συστήματα Οργάνωσης και Διοίκησης της Συντήρησης (CMMS) αποτελούν μια βάση δεδομένων όπου συγκεντρώνονται πληροφορίες για τη συντήρηση σε μια εταιρία. Σκοπός τους είναι να καταστήσουν τα στελέχη της συντήρησης πιο αποδοτικά και τη λήψη των αποφάσεων από τους διευθυντές ευκολότερη. Στην αγορά υπάρχουν πολλά διαφορετικά πακέτα τα οποία προσφέρουν μια μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών. Τα περισσότερα από αυτά περιέχουν τα εξής:

- Έκδοση εντολών εργασίας
- Παρακολούθηση των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης
- Έλεγχος των αποθεμάτων για τη συντήρηση (ανταλλακτικά και αναλώσιμα)
- Αποθήκευση πληροφοριών για τον εξοπλισμό, ιστορικών αρχείων των μηχανών, προδιαγραφών των μηχανών, εγγυήσεων.

## 1.9 ΣΧΕΣΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η Συντήρηση κατέχει μια σημαντική θέση σε οποιοδήποτε οργανισμό και πρέπει να θεωρείται ως μια υπο-διαδικασία ή ως ένα ολοκληρωμένο κομμάτι της όλης παραγωγικής διαδικασίας. Η σχέση μεταξύ Συντήρησης και Παραγωγής φαίνεται στο *Σχήμα 1.3* που ακολουθεί. Τα πρωταρχικά εισαγόμενα δεδομένα (primary input) σε μια παραγωγική διαδικασία είναι τα υλικά, η ενέργεια και το ανθρώπινο δυναμικό. Αυτά τα πρωταρχικά δεδομένα μετατρέπονται στη συνέχεια στο πρωταρχικό αποτέλεσμα (primary output) που είναι το τελικό προϊόν. Αυτή η μετατροπή οδηγεί σε ένα δευτερεύον παραγωγικό αποτέλεσμα (secondary output) το οποίο είναι η απαίτηση για συντήρηση. Η συντήρηση επηρεάζει την παραγωγική ικανότητα που μπορεί να επιτύχει η εγκατάσταση και είναι απαραίτητο αυτή να διατηρείται σε υψηλό επίπεδο. Με άλλα λόγια είναι το δευτερεύον εισαγόμενο δεδομένο (secondary input) στην παραγωγική διαδικασία.

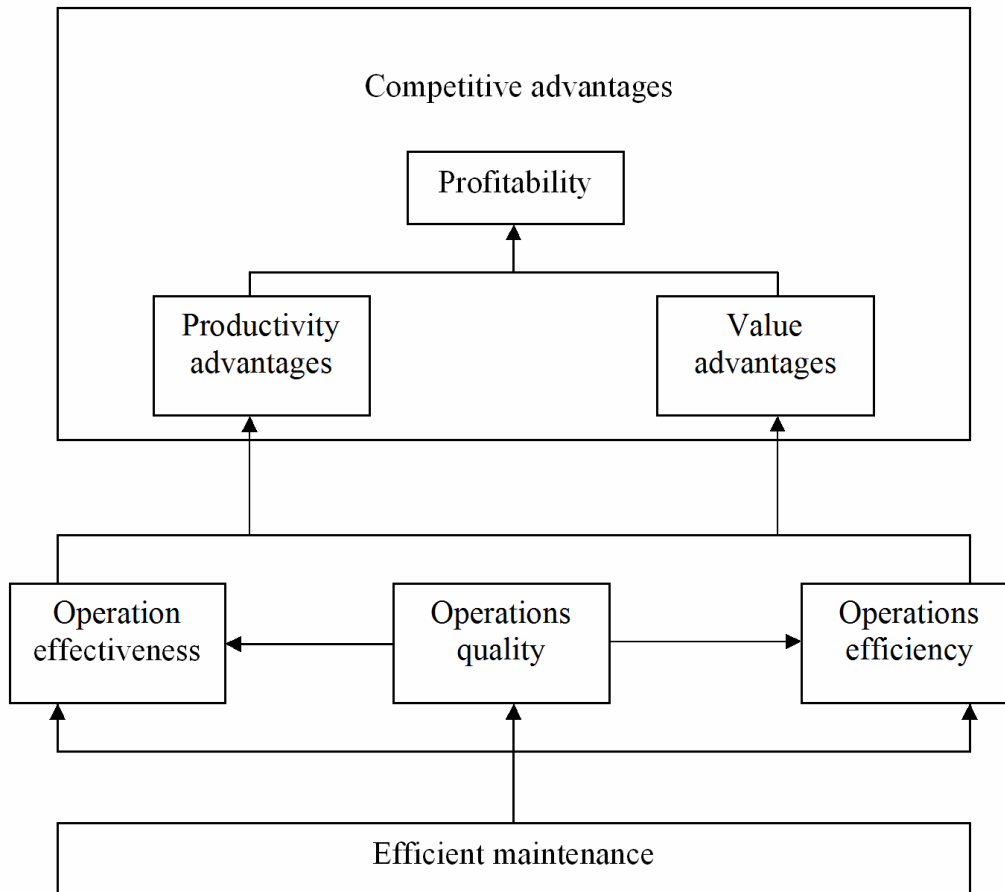


Σχήμα 1.3. Διαδικασίες Παραγωγής-Συντήρησης.

### 1.10 ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η αποδοτική συντήρηση επηρεάζει την παραγωγικότητα, ανταγωνιστικότητα και κερδοφορία μιας εταιρίας επειδή έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα, αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της παραγωγικής της διαδικασίας. Σε έναν οργανισμό το τμήμα λειτουργίας έχει την ευθύνη της παραγωγής των προϊόντων. Κάθε παραγωγική επιχείρηση συγκροτείται από πολλά τμήματα, όπως σχεδιασμού, αγορών, παραγωγής, ποιότητας, συντήρησης κ.λπ., ο προϋπολογισμός του τμήματος λειτουργίας όμως είναι ο μεγαλύτερος όλων των υπόλοιπων τμημάτων και αποτελεί και το μεγαλύτερο κομμάτι του προϋπολογισμού της εταιρίας. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι η απαίτηση για αποτελεσματική, αποδοτική και υψηλής ποιότητας οργάνωση των παραγωγικών δραστηριοτήτων.

Η οικονομικά αποδοτικότερη προσέγγιση συντήρησης επηρεάζει την απόδοση και της εταιρίας και της ίδιας της συντήρησης. Η συντήρηση έχει άμεση επίδραση στην ποιότητα της λειτουργίας. Από την άλλη μεριά η ποιότητα της λειτουργίας και η αποδοτικότητα της συντήρησης επιδρούν στην αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα των διαδικασιών της λειτουργίας. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το αποτέλεσμα μιας ποιοτικής, αποδοτικής και αποτελεσματικής λειτουργίας επιστρέφει ως πλεονεκτήματα για την παραγωγικότητα, δηλαδή χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη αξία της εταιρίας στην αγορά (καλύτερη εικόνα και φήμη). Αυτό οδηγεί την εταιρία σε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4. Πώς επηρεάζει η συντήρηση τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα μιας εταιρίας.

### 1.11 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΕΠΟΜΕΝΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ

Στις επόμενες ενότητες γίνεται μια αναφορά στις κυριότερες προσεγγίσεις συντήρησης με έμφαση στην αποτελεσματικότητά τους, τον τρόπο οργάνωσης και εφαρμογής τους και στις απαιτήσεις τους σε ανθρώπινο δυναμικό, μέσα και κόστος. Η αναφορά γίνεται με βάση τη διαχρονική εξέλιξη της συντήρησης.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύεται η πρώτη μορφή συντήρησης, η *Λειτουργία ως τη Βλάβη*, στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο η *Προληπτική Συντήρηση*, ακολουθεί στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο η πιο σύγχρονη *Προβλεπτική Συντήρηση*, ενώ στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται η νεότερη φιλοσοφία της *Συντήρησης Ακριβείας*.

Στο πλαίσιο των τελευταίων εξελίξεων της τεχνολογίας στις μεθοδολογίες της Προβλεπτικής Συντήρησης παρουσιάζεται στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο μία από τις πιο διαδεδομένες και πρακτικές τεχνικές της, η μέθοδος της *Μέτρησης και Ανάλυσης των Κραδασμών (Vibration Spectrum Analysis)*.

Τέλος στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρονται ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με τη σημασία της συντήρησης, την εξέλιξή της και την εφαρμογή των διαφόρων προσεγγίσεών της.

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ (BREAKDOWN MAINTENANCE)

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η λογική αυτής της μεθόδου συντήρησης είναι ιδιαίτερα απλή: Τα μηχανήματα αφήνονται να λειτουργούν χωρίς κάποια επέμβαση ή έλεγχο μέχρι την εμφάνιση βλάβης ή την παραγωγή προϊόντων κακής ποιότητας. Τότε μόνο γίνεται αναγκαστική επέμβαση για την αποκατάσταση του προβλήματος.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως *Διορθωτική Συντήρηση*, με την έννοια ότι επεμβαίνει μόνο για να διορθώσει τις βλάβες και *συντήρηση «εξ αντιδράσεως» (reactive)*, με την έννοια ότι αντιδρά στις βλάβες αντί να τις προλαμβάνει.

Η Λειτουργία ως τη Βλάβη δεν απαιτεί σπουδαία οργάνωση ούτε προγραμματισμό. Απαιτεί όμως εκτέλεση εργασιών κάτω από συνθήκες πίεσης και κρίσης, που συνοδεύουν την εμφάνιση βλάβης.

Αυτή η μέθοδος συντήρησης μπορεί να είναι αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται σωστά. Για παράδειγμα σε μικρής σημασίας και χαμηλού κόστους εξοπλισμούς, σε εξοπλισμούς όπου οι βλάβες μπορούν να είναι αποδεκτές (από τεχνική αλλά και από οικονομική άποψη) ή σε εξοπλισμούς όπου καμία άλλη μέθοδος δεν είναι δυνατή. Σε περιπτώσεις χαμηλού κόστους λόγω βλάβης (breakdown cost) μπορεί να αποτελέσει μια καλή στρατηγική, καθώς σε αυτές τις περιπτώσεις εξακολουθεί η καλύτερη συντήρηση να είναι η απουσία της.

### 2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ

Κατά τη λειτουργία ως τη βλάβη ο εξοπλισμός λειτουργεί μέχρι να επέλθει κάποια βλάβη. Τότε το τμήμα που χρησιμοποιεί το εξάρτημα/μηχάνημα ενημερώνει το τμήμα συντήρησης. Αυτό, αφού εντοπίσει το πρόβλημα, αναλαμβάνει να εκτελέσει Διορθωτική Συντήρηση για την επιδιόρθωση του εξαρτήματος/μηχανήματος που αστόχησε και την αποκατάσταση της λειτουργίας του ή για την αντικατάστασή του. Η συντήρηση καταχωρείται στην ημερήσια αναφορά του τμήματος.

Οι βλάβες προκαλούνται από ελαττώματα στον εξοπλισμό που προκύπτουν από τη λειτουργία του εξοπλισμού, ακατάλληλα υλικά κατασκευής, ελλιπή σχεδιασμό ή λάθη κατά την κατασκευή. Ο χρόνος για την αποκατάσταση των βλαβών εξαρτάται από τον αριθμό των μηχανικών στους οποίους έχει ανατεθεί η Διορθωτική Συντήρηση και από την παραγωγικότητα αυτών κατά την εκτέλεση των διορθωτικών επεμβάσεων.

Η Λειτουργία ως τη Βλάβη μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρία επίπεδα ανάλογα με τη σπουδαιότητα των εργασιών:

- i. Επιδιορθώσεις ρουτίνας, όταν η βλάβη είναι κάτι ανεπιθύμητο αλλά δεν επηρεάζει άλλες χρήσιμες λειτουργίες.
- ii. Επείγουσες επιδιορθώσεις, όταν οι βλάβες αφορούν ζωτικά εξαρτήματα/μηχανήματα του εξοπλισμού και διακοπή ζωτικών λειτουργιών της παραγωγικής διαδικασίας.
- iii. Επείγουσες επιδιορθώσεις, όταν η βλάβη σε ένα εξάρτημα/μηχάνημα πρόκειται να θέσει σε άμεσο κίνδυνο την υγεία ή την ασφάλεια του προσωπικού ή να προκαλέσει μεγάλη διακοπή σε μια ζωτικότερη λειτουργία.

Με βάση την παραπάνω διάκριση ορίζεται και η προτεραιότητα με την οποία κάθε διορθωτική ενέργεια πρέπει να πραγματοποιηθεί. Η θέση προτεραιοτήτων καθορίζει πρωτίστως το χρόνο αντίδρασης που απαιτείται για την εκτέλεση της κάθε ενέργειας, αλλά επηρεάζει και το συνολικό κόστος συντήρησης. Εργασίες υψηλής προτεραιότητας απαιτούν ποικίλες αρχικές δαπάνες προ της βλάβης για την ύπαρξη των κατάλληλων μέσων και του κατάλληλου προσωπικού που θα πρέπει να αντιδράσει άμεσα και μέσα στα καθορισμένα χρονικά όρια. Εργασίες χαμηλής προτεραιότητας δεν απαιτούν δαπάνες πριν την εκδήλωση της βλάβης.

Τυπικά μια κλίμακα προτεραιοτήτων από το 1 έως το 5 στη Λειτουργία ως τη Βλάβη κατατάσσει τις εργασίες αυτής όπως παρακάτω.

*Προτεραιότητα 1:* Γενικά οποιοδήποτε πρόβλημα είναι πιθανό να απαιτεί άμεση διακοπή της λειτουργίας ή θέτει σε υψηλό κίνδυνο την ασφάλεια ή την υγεία του προσωπικού.

*Προτεραιότητα 2:* Γενικά οποιοδήποτε πρόβλημα είναι πιθανό να απαιτεί επίλυση μέσα σε κάποιο σχετικά μικρό χρονικό διάστημα ή ο κίνδυνος στον οποίο μπορεί να θέσει την ασφάλεια ή την υγεία του προσωπικού δεν είναι υψηλός.

*Προτεραιότητα 3:* Γενικά οποιοδήποτε πρόβλημα είναι πιθανό να απαιτεί επίλυση μέσα σε κάποιο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ή ο κίνδυνος στον οποίο μπορεί να θέσει την ασφάλεια ή την υγεία του προσωπικού είναι μικρός.

*Προτεραιότητες 4 και 5:* Αυτό το επίπεδο συντήρησης προορίζεται για τις περιπτώσεις όπου η Λειτουργία ως τη Βλάβη είναι πρακτική απλά για την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Ένα παράδειγμα μιας κλίμακας από το 1 έως το 5 μπορεί να είναι το εξής:

*Προτεραιότητα 1:* Υποδεικνύει ένα επείγον πρόβλημα για επίλυση μέσα σε 30 λεπτά.

*Προτεραιότητα 2:* Υποδεικνύει ένα πρόβλημα υψηλής προτεραιότητας για επίλυση μέσα σε 2 ώρες.

*Προτεραιότητα 3:* Υποδεικνύει ένα πρόβλημα για επίλυση μέσα στην ίδια ημέρα.

*Προτεραιότητα 4:* Υποδεικνύει ένα πρόβλημα για επίλυση μέσα στις επόμενες 5 ημέρες.

*Προτεραιότητα 5:* Υποδεικνύει ένα πρόβλημα που απαιτεί δράση μέσα σε μια περίοδο 30 ημερών και που μπορεί να συνδυαστεί με άλλες επισκευές προοριζόμενες για την ίδια περίοδο.

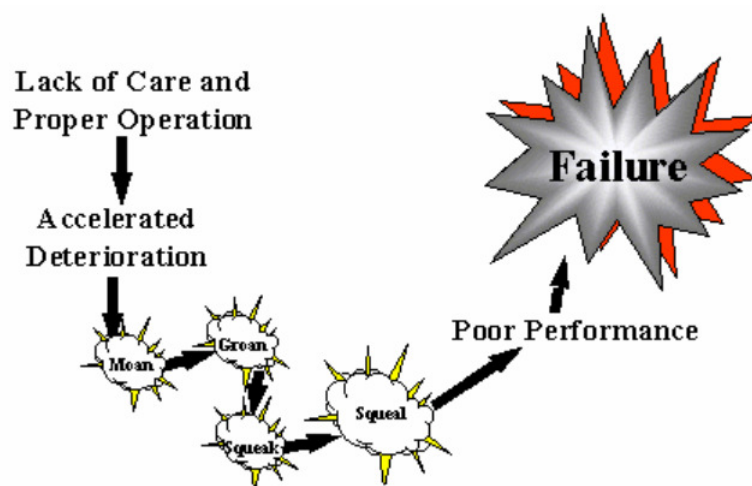
### **2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ**

Σε πρώτο επίπεδο η πρακτική της Λειτουργίας ως τη Βλάβη εμφανίζεται λογική και αυτή μπορεί να είναι αποτελεσματική όταν ο εξοπλισμός είναι καινούριος ή το σταμάτημά του δεν είναι σημαντικό για την παραγωγική διαδικασία. Σε αντίθετη περίπτωση αποτελεί την πιο ακριβή μορφή συντήρησης. Η υπερωριακή εργασία, η έκτακτη προσέλευση προσωπικού μη εργάσιμες ώρες ή και η μετάκληση εξωτερικών

ειδικών είναι σύνηθες φαινόμενο σε βιομηχανίες συνεχούς πυράς που συντηρούνται κατά αυτόν τον τρόπο, γεγονός που αυξάνει το κόστος αποκατάστασης. Από την άλλη, αφού δεν είναι γνωστό τι και πότε θα χαλάσει, απαιτείται διατήρηση μεγάλων αποθεμάτων ανταλλακτικών, που αυξάνονται όσο μεγαλύτερη είναι η πληθώρα διαφορετικών μηχανημάτων της εγκατάστασης. Επιπλέον η παντελής έλλειψη ελέγχου των μηχανημάτων κατά τη λειτουργία οδηγεί συνήθως σε μεγάλο χρόνο εύρεσης και επισκευής της βλάβης, με αποτέλεσμα τους αυξημένους νεκρούς χρόνους και τη μικρή διαθεσιμότητα της παραγωγικής εγκατάστασης.

Ακόμη το ξαφνικό σταμάτημα ενός μηχανήματος λόγω της αστοχίας του κρύβει κόστη που αφορούν:

1. την παραγωγή:
  - i. κόστος της χαμένης παραγωγής,
  - ii. φθορά, μόλυνση ή άλλος συμβιβασμός στην ποιότητα του προϊόντος,
  - iii. απώλεια πελατείας και επανεκτίμηση των εξωτερικών συνεργατών στους οποίους θα ανατεθεί η συντήρηση,
  - iv. γενικά έξοδα συνδεδεμένα με τους αρχικούς εξωτερικούς συνεργάτες συντήρησης,
  - v. απώλεια της ομαλής λειτουργίας και
  
2. τη συντήρηση και προκύπτουν επιπλέον:
  - i. επιπλέον κόστη εξαιτίας της καταστροφής κανονικά αποκαταστάσιμων κομματιών,
  - ii. επιπλέον καταστροφή στοιχείων συνδεδεμένων με το αρχικά κατεστραμμένο και οι εργατοώρες για την επισκευή τους,
  - iii. επιπλέον κόστη του χρόνου και των υλικών που χρησιμοποίησαν οι εξωτερικοί συνεργάτες συντήρησης,
  - iv. αργοί χρόνοι των εργατών όσο το μηχάνημα είναι εκτός λειτουργίας,
  - v. επιπλέον χρόνοι που προκύπτουν από τις συνθήκες (χρόνοι μεταφορών, επιπλέον επισκευών).



Σχήμα 2.1. Τα αποτελέσματα της Λειτουργίας ως τη Βλάβη και η επίδρασή της στην απόδοση του εξοπλισμού.

## 2.4 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, η Λειτουργία ως τη Βλάβη μπορεί να είναι αποτελεσματική σε ορισμένες περιπτώσεις. Κατά βάση εφαρμόζεται:

- όταν ο αριθμός των μηχανημάτων είναι μικρός,
- όταν ο εξοπλισμός είναι πολύ απλός και η επισκευή δεν απαιτεί κάποιον ειδικό ή εξειδικευμένα εργαλεία ή συσκευές,
- όπου η ξαφνική στάση λόγω βλάβης (breakdown) ενός στοιχείου του εξοπλισμού δεν πρόκειται να προκαλέσει μεγάλη οικονομική απώλεια λόγω καθυστέρησης των παραδόσεων των προϊόντων ή περαιτέρω καταστροφές σε άλλα στοιχεία του εξοπλισμού,
- όπου η ξαφνική βλάβη δεν πρόκειται να προκαλέσει κάποιο σοβαρό κίνδυνο για την ασφάλεια του προσωπικού ή το περιβάλλον.

Το μεγάλο μειονέκτημα αυτού του τύπου συντήρησης είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί όπου ο αριθμός των μηχανημάτων είναι μεγάλος.

Συχνά όμως και παρά την υιοθέτηση πιο εξελιγμένων μεθόδων συντήρησης, που σκοπό έχουν την παρεμπόδιση ή την πρόβλεψη της εξέλιξης των βλαβών (όπως θα εξεταστεί στα επόμενα κεφάλαια), η λειτουργία της συντήρησης μπορεί να πραγματοποιηθεί αφότου συμβεί μια βλάβη

- είτε γιατί αυτή ήταν δυνατό να παρεμποδιστεί αλλά δεν παρεμποδίστηκε
- είτε γιατί ήταν δυνατό να προβλεφθεί αλλά δεν προβλέφθηκε
- είτε γιατί προβλέφθηκε αλλά δεν αντιμετωπίστηκε
- είτε γιατί δεν ήταν δυνατό ούτε να παρεμποδιστεί ούτε να προβλεφθεί.

## 2.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΩΣ ΤΗ ΒΛΑΒΗ

Όπως προκύπτει και από τα παραπάνω, η εφαρμογή της Λειτουργίας ως τη Βλάβη έχει πλεονεκτήματα, αλλά και πολλά μειονεκτήματα.

- **Πλεονεκτήματα**
  - Το χαμηλό κόστος, όταν εφαρμόζεται σωστά. Όταν δεν απαιτείται συντήρηση δεν προκύπτει και κόστος συντήρησης.
  - Οι βλάβες είθισται να συμβαίνουν ξαφνικά. Η Λειτουργία ως τη Βλάβη δεν απαιτεί προγραμματισμό, γεγονός που αποτελεί μια επιπλέον μείωση του κόστους.
  - Η δυνατότητα συλλογής πληροφοριών. Με βάση τις αστοχίες μιας χαμηλής σημασίας μηχανής μπορούν να προκύψουν αξιόπιστες πληροφορίες για μηχανές μεγαλύτερης σημασίας που έχουν τα ίδια στοιχεία.
  - Μικρότερη πιθανότητα «νηπιακής θνησιμότητας» της μηχανής (δηλαδή αστοχίας της όταν ακόμα είναι καινούρια). Όπως θα εξηγηθεί και σε επόμενο κεφάλαιο, η Προληπτική Συντήρηση συχνά δεν προτιμάται εξαιτίας αυτής της «νηπιακής θνησιμότητας».
- **Μειονεκτήματα**
  - Χαμηλή ποιότητα συντήρησης των μηχανημάτων και μειωμένη διάρκεια ζωής τους.

- Απρόβλεπτη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού με συνέπειες στην παραγωγική διαδικασία, αλλά και στην εξυπηρέτηση των πελατών.
- Οι μεγάλες απώλειες παραγωγής, λόγω των απρογραμμάτιστων στάσεων του εξοπλισμού.
- Βλάβη σε ένα στοιχείο του εξοπλισμού μπορεί να προκαλέσει δευτερεύουσα βλάβη σε ένα άλλο, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερο κόστος και μεγαλύτερους χρόνους αποκατάστασης της ομαλής λειτουργίας του εξοπλισμού και της παραγωγικής διαδικασίας.
- Καθώς οι βλάβες συμβαίνουν ξαφνικά, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες διαθέσιμων αποθεμάτων για την κάλυψη των έκτακτων αναγκών.
- Για την αποφυγή σταματήματος της παραγωγής συχνά μπορεί να καθίσταται απαραίτητη η ύπαρξη πλεονάζοντος εφεδρικού εξοπλισμού.
- Με σκοπό τη γρήγορη αποκατάσταση όλων των ξαφνικών βλαβών που μπορεί να προκύψουν απαιτείται η ύπαρξη μιας μεγάλης ομάδας συντήρησης που να είναι ικανή και έτοιμη να αντιδράσει ανά πάσα στιγμή.
- Το αυξημένο κόστος συντήρησης και λειτουργίας εξαιτίας κυρίως εκδήλωσης σοβαρών βλαβών και μεγάλων σταματημάτων, αλλά και αύξησης εργασιακού κόστους, ανάλωσης ανταλλακτικών, μεγάλων αποθεμάτων.
- Μεγαλύτερες πιθανότητες εργατικών ατυχημάτων λόγω των έκτακτων προσελεύσεων και της υπερωριακής εργασίας, της πίεσης χρόνου στις επεμβάσεις, της ξαφνικής φύσης των βλαβών, αλλά και της κατάστασης του εξοπλισμού.

Γίνεται φανερό από τα παραπάνω ότι το κόστος αποκατάστασης με αυτή τη μορφή συντήρησης είναι πολλαπλάσιο από το σχετικό κόστος αποκατάστασης εάν η ίδια επισκευή είχε πραγματοποιηθεί στα πλαίσια μιας προγραμματισμένης διαδικασίας συντήρησης. Για το λόγο αυτό και καθότι η συντήρηση οφείλει να παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατή διαθεσιμότητα στον εξοπλισμό με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι που βασίζονται στη σχεδίαση και εφαρμογή ενός σωστού προγράμματος συντήρησης.

Παρά τα μειονεκτήματά της όμως αυτή η μέθοδος συντήρησης εξακολουθεί να υφίσταται, διότι, όπως ειπώθηκε, σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι τεχνικά ή οικονομικά δυνατή η διαπίστωση της φθοράς ή άλλων λόγων (λειτουργία εκτός προδιαγραφών, σχεδιαστικά ή κατασκευαστικά λάθη, βλάβες συστημάτων επιτήρησης κ.λπ.) που προκαλούν τη βλάβη. Έτσι, όσο καλά οργανωμένη κι αν είναι μια μονάδα συντήρησης και όσο αποτελεσματικά και αν ενεργεί, πάντοτε θα παρουσιάζονται βλάβες στον εξοπλισμό που θα απαιτούν Διορθωτική Συντήρηση.



## **ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (PREVENTIVE MAINTENANCE)**

### **3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Διεθνώς έχουν καθιερωθεί πολλοί ορισμοί αυτής της μεθόδου. Κοινό σημείο όλων είναι η ένταξη των διαδικασιών συντήρησης σε ένα χρονικά προγραμματισμένο πλαίσιο.

Η λογική της μεθόδου συνίσταται στα εξής: Προγραμματισμένος περιοδικός έλεγχος του εξοπλισμού. Κάθε σημαντικό μηχάνημα σταματά και επιθεωρείται επισταμένως μετά από συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας (η Προληπτική Συντήρηση αποτελεί παρεμβατική μέθοδο συντήρησης). Κάθε φθαρμένο εξάρτημα (εάν υπάρχει) αντικαθίσταται και το μηχάνημα παραδίδεται σε λειτουργία.

Επομένως η Προληπτική Συντήρηση συνίσταται σε μία σειρά από δραστηριότητες οι οποίες προγραμματίζονται με συχνότητα που υπαγορεύεται από το συνολικό χρονικό διάστημα από την προμήθεια ενός μηχανήματος, τις ώρες λειτουργίας του μηχανήματος, την ποσότητα της παραγωγής ή την κατάσταση (π.χ. διαφορική πίεση κατά μήκος ενός φίλτρου) και:

1. είτε παρατείνουν τη ζωή ενός εξαρτήματος/μηχανήματος (για παράδειγμα, η λίπανση σε ένα κιβώτιο ταχυτήτων παρατείνει τη ζωή του)
2. είτε αποκαλύπτουν ότι ένα εξάρτημα/μηχάνημα έχει φθαρεί σημαντικά και πρόκειται να αστοχήσει (για παράδειγμα, τρίμηνη επιθεώρηση έδειξε ότι υπάρχει ρήγμα στο στεγανωτικό μιας αντλίας – η εύρεση του ρήγματος επιτρέπει την επισκευή προτού εμφανιστεί καταστροφική βλάβη).

Σύμφωνα επομένως με αυτή τη μέθοδο, η συντήρηση σχεδιάζεται έτσι ώστε να διορθώνει ή να προλαμβάνει καταστάσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε βλάβες με αποτέλεσμα την απώλεια παραγωγής, τις ακριβές επισκευές και αντικαταστάσεις εξαρτημάτων. Είναι πιο οικονομικό να συντηρηθεί κάτι προληπτικά παρά αφότου έχει ήδη προκαλέσει σταμάτημα παραγωγής, με όλα τα δυσάρεστα επακόλουθα. Ακόμα και αν αυτό σημαίνει ότι ορισμένα εξάρτηματα πιθανόν να αντικατασταθούν πριν εξαντλήσουν τα αξιόπιστα όρια λειτουργίας. Αν και πάλι η παραγωγική διαδικασία σταματά, η παραγωγή που χάνεται σε μια στάση-βλάβη είναι πολύ περισσότερη από ό,τι σε μια στάση που γίνεται προγραμματισμένα.

Η λογική πίσω από αυτή την πρακτική συντήρησης είναι ότι οι ρυθμοί βλαβών του εξοπλισμού ακολουθούν μία πορεία στην οποία ο μόνος παράγοντας που ουσιαστικά επιδρά είναι ο χρόνος. Τα διαστήματα της συντήρησης προκαθορίζονται είτε κυρίως από την εμπειρία του κατασκευαστή του συγκεκριμένου εξοπλισμού είτε, σε μικρότερο βαθμό, από τη συστηματική τήρηση αρχείων στην εγκατάσταση. Με αυτό τον τρόπο θεωρητικά οι διαδικασίες συντήρησης μπορούν να προγραμματιστούν σε

νεκρούς χρόνους λειτουργίας και τα απαραίτητα ανταλλακτικά να παραγγελθούν σε κατάλληλο χρονικό διάστημα.

Η λογική της επισκευής πριν πραγματοποιηθεί η βλάβη αποτελεί την ουσιαστική διαφοροποίηση της προληπτικής μεθόδου από τη Λειτουργία ως τη Βλάβη και, πέρα από τη σημαντική μείωση του κόστους που προκύπτει από την παραμονή της μονάδας εκτός λειτουργίας (downtime cost) και τη δυνατότητα προγραμματισμού των χρόνων επισκευής και προμήθειας ανταλλακτικών, υπάρχει ένας ακόμα λόγος που την επιβάλλει: η καταστροφή συνδεόμενων στοιχείων του συστήματος. Όταν κάποιο εξάρτημα αστοχεί, συχνά καταστρέφει τα στοιχεία που συνδέονται με αυτό, γεγονός που πολλαπλασιάζει το κόστος για την αποκατάσταση της (ολικής) βλάβης. Για παράδειγμα, εάν δεν αντικατασταθεί έγκαιρα το ρουλεμάν μιας αντλίας, θα χρειαστεί έπειτα να αντικατασταθούν τα περυσία, το κέλυφος και άλλα στοιχεία. Μερικές φορές η βλάβη δεν επιδεινώνεται και έτσι το κόστος αποκατάστασης και το κόστος από τη βλάβη είναι περίπου τα ίδια. Όμως η αναβολή της δράσης δημιουργεί ένα διαρκώς αυξανόμενο πρόβλημα στο μελλοντικό τμήμα συντήρησης.

Για να είναι αποδοτική (και οικονομική) η Προληπτική Συντήρηση απαιτείται εκπαιδευμένο προσωπικό, αξιόπιστο και οργανωμένο σύστημα διακινήσεως πληροφοριών, οι οποίες να υποστηρίζουν το σύστημα συντήρησης, τακτικές προγραμματισμένες επιθεωρήσεις και προληπτικές εργασίες συντήρησης.

Ακρογωνιαίος λίθος της Προληπτικής Συντήρησης είναι η διενέργεια ελέγχων. Έλεγχος είναι η διαδικασία εκείνη που:

1. Εξετάζει εάν ο σχεδιασμός ή οι προδιαγραφές ενός μηχανήματος είναι τα απαιτούμενα.
2. Εκτιμά όλους τους παράγοντες που μπορούν να δημιουργήσουν πιθανά προβλήματα.
3. Αναγνωρίζει όλους τους παράγοντες και τα αίτια που μπορούν να οδηγήσουν σε σταμάτημα και εκτιμά το χρόνο μέχρις ότου αυτό συμβεί.



*Σχήμα 3.1. Διενέργεια ελέγχου.*

Οι έλεγχοι θα πρέπει να προγραμματίζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία των μηχανημάτων, οι δε επεμβάσεις, επισκευές ή αντικαταστάσεις που πιθανά χρειάζονται να μην έρχονται σε αντίθεση με το πρόγραμμα της παραγωγής.

Υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί όσον αφορά την εφαρμογή της Προληπτικής Συντήρησης:

1. Οι αστοχίες που δεν εξαρτώνται από το χρόνο, δηλαδή εμφανίζονται τυχαία και όχι μετά από ίσα χρονικά διαστήματα.
2. Οι εξαρτώμενες από το χρόνο αστοχίες που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και οι οποίες δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν γιατί και αυτές δεν εμφανίζονται μετά από ίσα χρονικά διαστήματα. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι γι' αυτό που οφείλονται κυρίως στον τρόπο λειτουργίας και σε

εξωτερικούς παράγοντες, όπως κακή τοποθέτηση του εξαρτήματος, απώλεια λαδιών κ.λπ.

3. Η διαδικασία του σταματήματος της λειτουργίας του εξοπλισμού και της επανεκκίνησής του κάθε φορά που πραγματοποιείται μια επιθεώρηση. Μάλιστα όσο πιο μεγάλα και πιο βαριά είναι τα μηχανήματα που σταματούν τόσο πιο δύσκολη και πιο ακριβή είναι η επανεκκίνησή τους.

### **3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ, ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

Η Προληπτική Συντήρηση εμπεριέχει τις έννοιες του ελέγχου, του προγραμματισμού και του σχεδιασμού.

Κατά την Προληπτική Συντήρηση διενεργούνται έλεγχοι για να εντοπίζονται τυχόν προβλήματα στον εξοπλισμό. Κάποιοι έλεγχοι προβλέπονται από το νόμο και είναι υποχρεωτικοί. Οι υπόλοιποι έλεγχοι που προβλέπονται από την Προληπτική Συντήρηση καθορίζονται από το τμήμα συντήρησης και γίνονται με συχνότητα που καθορίζει πάλι το τμήμα συντήρησης. Οι έλεγχοι είναι απαραίτητοι για να εντοπίζονται προβλήματα και να διορθώνονται πριν προκαλέσουν βλάβη.

Ο προγραμματισμός καθορίζει το πότε μπορεί να διακοπεί η λειτουργία του εξοπλισμού για να ελεγχθεί και να συντηρηθεί. Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η συντήρηση εξαρτάται από τον αριθμό των εργαζομένων που την έχουν αναλάβει και από την παραγωγικότητά τους.

Ο σχεδιασμός αποτελεί έναν παράγοντα που επηρεάζει την αποδοτικότητα των εργαζομένων. Αναφέρεται στη διαδικασία δημιουργίας ενός σαφούς σχεδίου για την κάθε δραστηριότητα. Ο σχεδιασμός αυξάνει την παραγωγικότητα των εργαζομένων μέσω του καθορισμού των πρακτικών της κάθε δραστηριότητας και της εξασφάλισης των απαιτούμενων υλικών και ικανοτήτων. Καλύτερος και περισσότερος σχεδιασμός λοιπόν αυξάνει την παραγωγικότητα των εργαζομένων, γεγονός που οδηγεί σε μείωση του χρόνου που απαιτείται για τις επισκευές και σε αύξηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού.

Ο προγραμματισμός και ο σχεδιασμός των δραστηριοτήτων της συντήρησης δεν πρέπει να παραλείπονται. Όταν ο προγραμματισμός δε γίνεται σωστά υπάρχει ο κίνδυνος να γίνονται πολλοί έλεγχοι, αλλά όχι επισκευές. Δε θα υπήρχε πρόβλημα εάν οι έλεγχοι κατέληγαν στις απαραίτητες επισκευές που θα απέτρεπαν τις βλάβες. Όμως όταν δεν υπάρχει ένα επαρκές πρόγραμμα, οι έλεγχοι δεν καταλήγουν σε επισκευές. Αντίθετα αυτές αργούν να προγραμματιστούν και ο εξοπλισμός αστοχεί. Ακόμα όμως και αν ο προγραμματισμός γίνεται σωστά και οι έλεγχοι καταλήγουν σε επισκευές, εάν δεν υπάρχει ο απαραίτητος σχεδιασμός οι επισκευές δεν είναι αποτελεσματικές. Αυτό αυξάνει το χρόνο επισκευής και μειώνει τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

### **3.3 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

Η Προληπτική Συντήρηση είναι προγραμματισμένη συντήρηση η οποία στοχεύει στην παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού και στην αποφυγή απρογραμμάτιστων δραστηριοτήτων συντήρησης. Περιλαμβάνει λιπάνσεις, καθαρισμούς, ρυθμίσεις και αντικαταστάσεις. Σκοπός της είναι η ελαχιστοποίηση των βλαβών (breakdowns) και των εκτεταμένων ζημιών.

Ένα καλό πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- μη καταστροφικούς ελέγχους,
- περιοδικές επιθεωρήσεις,
- προγραμματισμένες δραστηριότητες συντήρησης,
- διορθωτικές συντηρήσεις των ελαττωμάτων που εντοπίστηκαν κατά τους ελέγχους ή τις επιθεωρήσεις.

Η έκταση των προληπτικών συντηρήσεων που απαιτούνται διαφέρει σημαντικά κατά περίπτωση. Μπορεί να ξεκινούν από μια απλή επίσκεψη και επιθεώρηση του εξοπλισμού με παράλληλη καταγραφή των ευρημάτων που πρέπει να διορθωθούν σε υπολογιστές, οι οποίοι σταματούν τη λειτουργία του εξοπλισμού μετά την πάροδο συγκεκριμένου αριθμού ωρών λειτουργίας ή μετά την παραγωγή συγκεκριμένης ποσότητας προϊόντων κ.λπ.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι που συνηγορούν στην εγκατάσταση ενός προγράμματος Προληπτικής Συντήρησης. Παρακάτω αναφέρονται κάποιοι από τους λόγους οι οποίοι όταν συντρέχουν είναι πολύ πιθανό να χρειάζεται ένα πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης.

- Αυξημένη αυτοματοποίηση.
- Απώλειες λόγω καθυστερήσεων στην παραγωγή.
- Η επιθυμία για
  - μείωση των ασφαλιστρών του εξοπλισμού.
  - παραγωγή Just-In-Time (JIT).
  - παραγωγή προϊόντων υψηλότερης ποιότητας.
  - μείωση του εφεδρικού εξοπλισμού.
  - ελάττωση της κατανάλωσης ενέργειας (μέχρι και 5%).
- Η ανάγκη για ένα πιο οργανωμένο περιβάλλον.

Ο πιο σημαντικός λόγος όμως για την υιοθέτηση ενός προγράμματος Προληπτικής Συντήρησης είναι το μειωμένο κόστος που προκύπτει λόγω:

- μείωσης των σταματημάτων της παραγωγής χάρη στη μείωση των στάσεων-βλαβών (breakdowns) του εξοπλισμού,
- αύξησης της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού, άρα μείωσης των αντικαταστάσεων,
- μείωσης του κόστους λόγω υπερωριών καθώς οι τεχνικοί συντήρησης δουλεύουν βάση προγράμματος και όχι εκτάκτως για την αποκατάσταση αιφνίδιων βλαβών,
- έγκαιρων επισκευών που μειώνουν την ανάγκη εκτεταμένων επισκευών,
- μείωσης του κόστους των επισκευών λόγω της μείωσης των δευτερευουσών αστοχιών (καθώς, όταν κάποια στοιχεία αστοχούν κατά τη λειτουργία, συχνά καταστρέφουν και άλλα στοιχεία),
- αυξημένης ποιότητας προϊόντος και μείωσης των απορριπτόμενων προϊόντων χάρη στην καλύτερη γενική κατάσταση του εξοπλισμού.

Εάν δεν αποδεικνύεται ότι με κάποιο τρόπο το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης μειώνει το κόστος, μάλλον δεν υπάρχει κάποιος καλός λόγος που να δικαιολογεί την εφαρμογή του πέρα από την ασφάλεια του προσωπικού.

Η Προληπτική Συντήρηση ενέχει και κάποιους κινδύνους με την έννοια της πρόκλησης ζημιών διαφόρων τύπων κατά την πραγματοποίησή της. Με άλλα λόγια τα ανθρώπινα λάθη κατά τη διενέργεια των δραστηριοτήτων της και η «νηπιακή θνησιμότητα» των καινούριων στοιχείων που τοποθετούνται μετά από αντικαταστάσεις που προβλέπει οδηγούν σε επιπρόσθετες αστοχίες του εξοπλισμού ο οποίος έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης. Συχνά αυτού του

είδους οι αστοχίες συμβαίνουν πολύ γρήγορα μετά τη διενέργεια Προληπτικής Συντήρησης. Τυπικά τα ακόλουθα λάθη ή καταστροφές συμβαίνουν κατά τις προληπτικές συντηρήσεις:

- Ζημιά σε παρακείμενο εξοπλισμό κατά τη διάρκεια δραστηριότητας Προληπτικής Συντήρησης.
- Ζημιά στον εξοπλισμό που συντηρείται που μπορεί να είναι:
  - ζημιά κατά τη διενέργεια επιθεωρήσεων, επισκευών, ρυθμίσεων ή τοποθετήσεων ανταλλακτικών,
  - τοποθέτηση ελαττωματικών ανταλλακτικών, λανθασμένη τοποθέτηση ανταλλακτικών ή λανθασμένη επανασυναρμολόγηση,
  - η «νηπιακή θνησιμότητα» των νέων στοιχείων που τοποθετούνται κατά τις αντικαταστάσεις.
- Ζημιά κατά την επανατοποθέτηση του εξοπλισμού στην αρχική του θέση.

Το χειρότερο στοιχείο αυτού του τύπου των λαθών είναι το γεγονός ότι δε γίνονται αντιληπτά - παρά μόνο όταν εκδηλωθεί η απρόβλεπτη βλάβη που προκαλούν.

Το κλειδί για ένα επιτυχημένο πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης είναι ο προγραμματισμός και η εκτέλεση. Ο προγραμματισμός θα πρέπει να είναι αυτοματοποιημένος στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό ώστε να γίνεται συνεχής έλεγχος του προγράμματος και να εξασφαλίζεται η ολοκλήρωση όλων των εργασιών που προβλέπονται σύμφωνα με το πρόγραμμα. Η Προληπτική Συντήρηση θα πρέπει να επικεντρώνεται σε καθαρισμούς, λιπάνσεις και επιδιορθώσεις ελαττωμάτων που εντοπίζονται μετά από ελέγχους και επιθεωρήσεις. Όταν υπάρχει ανάγκη ρύθμισης ή αντικατάστασης στοιχείων αυτές θα πρέπει να γίνονται από κατάλληλα εκπαιδευμένους ειδικούς. Οι προκαθορισμένες αντικαταστάσεις θα πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές και να γίνονται μόνο όταν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία ή στοιχεία σχετικά με τη γήρανση του εξοπλισμού που να δείχνουν την ύπαρξη χαρακτηριστικών φθοράς.

Ένα ποιοτικό πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης απαιτεί και την ύπαρξη ενός ευαισθητοποιημένου και κινητοποιημένου προσωπικού που να έχει αντιληφθεί τα οφέλη από την εφαρμογή του. Στην ευαισθητοποίηση και κινητοποίηση του προσωπικού μπορούν να βοηθήσουν ενέργειες όπως:

- η εγκατάσταση της Προληπτικής Συντήρησης ως ενός αναγνωρισμένου, σημαντικού τμήματος του όλου προγράμματος της συντήρησης,
- η ανάθεση των εργασιών της συντήρησης σε ικανούς και υπεύθυνους ανθρώπους,
- η παρακολούθηση των εργασιών από τη διεύθυνση για την εξασφάλιση της ποιότητάς τους και για να γίνεται αντιληπτό ότι η διεύθυνση ενδιαφέρεται,
- η εκπαίδευση σε συγκεκριμένες πρακτικές και τεχνικές συντήρησης και πάνω σε συγκεκριμένο εξοπλισμό,
- η δημοσίευση της μείωσης του κόστους που προκύπτει ως αποτέλεσμα της Προληπτικής Συντήρησης.

Πέρα από την ενημέρωση για τη σημασία ενός καλού προγράμματος Προληπτικής Συντήρησης και για τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από αυτό, η εκπαίδευση είναι το πιο αποτελεσματικό μέσο κινητοποίησης των εργαζομένων. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνονται και οι ανάλογες επενδύσεις σε αυτή. Μάλιστα, εξαιτίας των εξελίξεων της τεχνολογίας, εάν δεν έχει γίνει εκπαίδευση των τεχνικών τους τελευταίους 18 μήνες, οι γνώσεις τους είναι ξεπερασμένες.

### 3.4 ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Όσον αφορά τα οικονομικά της Προληπτικής Συντήρησης αυτά εξετάζονται σε τρία επίπεδα.

Το υψηλότερο επίπεδο αφορά μια μακροοικονομική ανάλυση, η οποία επιτρέπει στην επιχείρηση να αποφασίσει κατά πόσον η προσέγγιση αυτής της μεθόδου συντήρησης έχει νόημα, δεδομένων των στόχων της επιχείρησης και των αναγκών και απαιτήσεων του κλάδου δραστηριοποίησής της.

Η μακροοικονομική ανάλυση παίρνει το τωρινό κόστος λειτουργίας και προγραμματίζει το κόστος λειτουργίας που προκύπτει μετά από τις προτεινόμενες αλλαγές που πρόκειται να επιφέρει η εφαρμογή της μεθόδου. Καθώς κάθε αλλαγή κοστίζει, ο αναλυτής ελέγχει εάν και μετά από πόσους μήνες ή χρόνια η επένδυση θα αποδώσει (Return On Investment). Το πόσο γρήγορα αποδίδει η επένδυση είναι ουσιώδες. Εάν αυτό γίνει μετά την πάροδο ικανοποιητικού χρονικού διαστήματος (στις σημερινές επιχειρήσεις ικανοποιητική θεωρείται συνήθως η πάροδος το πολύ τριμήνου), αποφασίζεται η εφαρμογή της νέας μεθόδου.

Όταν η απόφαση αυτή έχει πλέον ληφθεί, το δεύτερο επίπεδο ανάλυσης προσεγγίζει περισσότερο ομάδες μηχανών ή διαδικασιών. Σε αυτό χρησιμοποιείται μια ημι-μικροοικονομική ανάλυση, η οποία βοηθά στην απόφαση για το ποια στρατηγική είναι η πιο κατάλληλη για μια συγκεκριμένη μηχανή ή ομάδα μηχανών. Ακόμα και αν στο επίπεδο της επιχείρησης έχει ορισθεί ως κυριαρχούσα μέθοδος συντήρησης η προληπτική, σε κάθε μηχανή ή ομάδα μηχανών υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο θα εφαρμοστεί αυτή συγκεκριμένα.

Ένα βασικό στοιχείο για τη λήψη απόφασης για την εφαρμογή του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης είναι το κόστος αυτού σε σύγκριση με εκείνο του εξοπλισμού. Είναι χάσιμο χρόνου και χρημάτων ο έλεγχος και η συντήρηση ενός κομματιού που στοιχίζει φθηνά. Πρέπει επομένως να καθοριστούν χρηματικά όρια προκειμένου να προσδιοριστεί το πού θα γίνονται έλεγχοι και συντήρηση. Για εξαρτήματα αξίας μεγαλύτερης από το καθορισμένο χρηματικό όριο θα γίνεται έλεγχος, ενώ εξαρτήματα μικρότερης αξίας θα αντικαθίστανται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Συνήθως ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την εφαρμογή του προγράμματος σε μια μονάδα, όταν δε συντρέχουν λόγοι ασφάλειας του προσωπικού, είναι το κόστος που προκύπτει από την παραμονή της μονάδας εκτός λειτουργίας (downtime cost). Εάν το κόστος αυτό είναι χαμηλό ή μηδαμινό, η Προληπτική Συντήρηση μπορεί να μην εφαρμοστεί σε αυτή τη μονάδα. Όπως περιγράφη ανωτέρω, το τωρινό κόστος λειτουργίας αυτής της μονάδας συγκρίνεται με το αντίστοιχο που προκύπτει μετά την εφαρμογή της μεθόδου και εξετάζεται εάν αποδίδει αρκετά μια τέτοια επένδυση, ώστε να δικαιολογεί το νέο κόστος.

Εφόσον επιλεγεί και η στρατηγική για κάθε μηχανή ή ομάδα μηχανών, στο τρίτο επίπεδο γίνεται η επιλογή των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης που θα πραγματοποιηθούν. Στο τρίτο επίπεδο, αυτό της μικροοικονομικής ανάλυσης, το κόστος και τα αποτελέσματα κάθε δραστηριότητας συγκρίνονται με το κόστος και τα αποτελέσματα της αστοχίας την οποία η συγκεκριμένη δραστηριότητα έχει ως σκοπό να εξαλείψει. Είναι φανερό ότι είναι σημαντικό να επιλεγθεί ο μικρότερος δυνατός αριθμός δραστηριοτήτων που εξυπηρετεί τους εκάστοτε στόχους.

Τα κόστη που περιλαμβάνει η υιοθέτηση ενός συστήματος Προληπτικής Συντήρησης διακρίνονται:

1. σε αυτά που εμφανίζονται *μία μόνο φορά*, στην αρχή:
  - i. εκσυγχρονισμός του εξοπλισμού σύμφωνα με τα πρότυπα της Προληπτικής Συντήρησης (ώστε να μην υπάρχουν βλάβες ή προβλήματα του παρελθόντος που δεν έχουν αποκατασταθεί) συμπεριλαμβανομένων ανταλλακτικών, εργολάβων,
  - ii. κόστος εκπαίδευσης για όλους, ώστε να αλλάξει η γενική νοοτροπία και οι συνήθειες τόσο στο επίπεδο προϊσταμένων όσο και στο επίπεδο του προσωπικού έτσι ώστε να μην παραλείπονται οι δραστηριότητες συντήρησης και τελικά το σύστημα να είναι αποτελεσματικό,
  - iii. κόστος εγκατάστασης συστήματος (CMMS – Computerized Maintenance Management System) για την αποθήκευση πληροφοριών,
  - iv. έμμεσα κόστη του συστήματος (όπως η καλωδίωση των υπολογιστών, προμήθειες, πρόσθετες θέσεις υπολογιστών κ.λπ.),
  - v. εργατοώρες για την εισαγωγή δεδομένων για τη συγκέντρωση πληροφοριών,
  - vi. εργατοώρες για την εκπαίδευση επιθεωρητών,
  - vii. εργατοώρες για την εκκίνηση των λιστών δραστηριοτήτων και των συχνοτήτων,
  - viii. εργατοώρες για τη δημιουργία σχεδίων του πακέτου εργασιών και για τον ορισμό των προτύπων όλων των διαφορετικών εφαρμογών της Προληπτικής Συντήρησης
2. και σε αυτά που υπάρχουν *συνεχώς* και εξασφαλίζουν τη λειτουργία του συστήματος:
  - i. εργατοώρες για λίστες δραστηριοτήτων, μικρές επιδιορθώσεις,
  - ii. κόστος ανταλλακτικών για τις λίστες δραστηριοτήτων και για προγραμματισμένες αντικαταστάσεις,
  - iii. κεφάλαια για τη διατήρηση της συντήρησης σε υψηλό επίπεδο,
  - iv. συνέχιση της εκπαίδευσης,
  - v. αλλαγές στην επιχείρηση για τη συνέχιση εφαρμογής του συστήματος της Προληπτικής Συντήρησης.

### **3.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Η διαδικασία του προγραμματισμού της Προληπτικής Συντήρησης ολοκληρώνεται σε τρία βήματα.

Στο *πρώτο βήμα* συντάσσονται πλήρεις λίστες όλων όσων απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί η Προληπτική Συντήρηση. Για να γίνει αυτό προηγείται μια προσπάθεια πλήρους σχεδιασμού κάθε επαναλαμβανόμενης δραστηριότητας και έτσι ετοιμάζεται ένα διεξοδικό πακέτο σχεδιασμένων δραστηριοτήτων (Planned Job Package). Αυτό το πακέτο περιλαμβάνει τα εξής:

- Εκδόσεις εντολών εργασίας (work orders).
- Λεπτομερή λίστα δραστηριοτήτων (Task List) με βήμα-βήμα τις ενέργειες κάθε δραστηριότητας.

- Εκτιμώμενες εργατοώρες, λαμβανομένων υπόψη των δυνάμεων και των ικανοτήτων.
- Κατάλογο όλων των υλικών που χρειάζονται για τη δραστηριότητα.
- Απαιτήσεις σε υλικά που δεν υπάρχουν στις αποθήκες.
- Πλήρη κατάλογο των απαιτούμενων εργαλείων. Κατά τη διαδικασία της αναθεώρησης της Προληπτικής Συντήρησης καθορίζεται εάν διαφορετικά, καλύτερα, πιο εξειδικευμένα ή πιο απλά εργαλεία θα επιταχύνουν τη δραστηριότητα.
- Κατάλογο των απαιτήσεων σε ασφάλεια συμπεριλαμβανομένων κλειδωμένων ή οριοθετημένων χώρων και προσωπικού εξοπλισμού προστασίας.
- Απαιτήσεις πρόσβασης στα υλικά. Κατάλογος με το ποιος πρέπει να ειδοποιηθεί όταν γίνεται συντήρηση σε μια μονάδα.
- Εγχειρίδια συντήρησης, σχέδια, φωτογραφίες, ειδικές ενέργειες, διασαφηνίσεις, μεγέθη, ανοχές και άλλες αναφορές που είναι πιθανό η ομάδα συντήρησης να χρειαστεί.
- Κενά έντυπα για τις διορθωτικές δραστηριότητες που θα πρέπει να σχεδιαστούν.

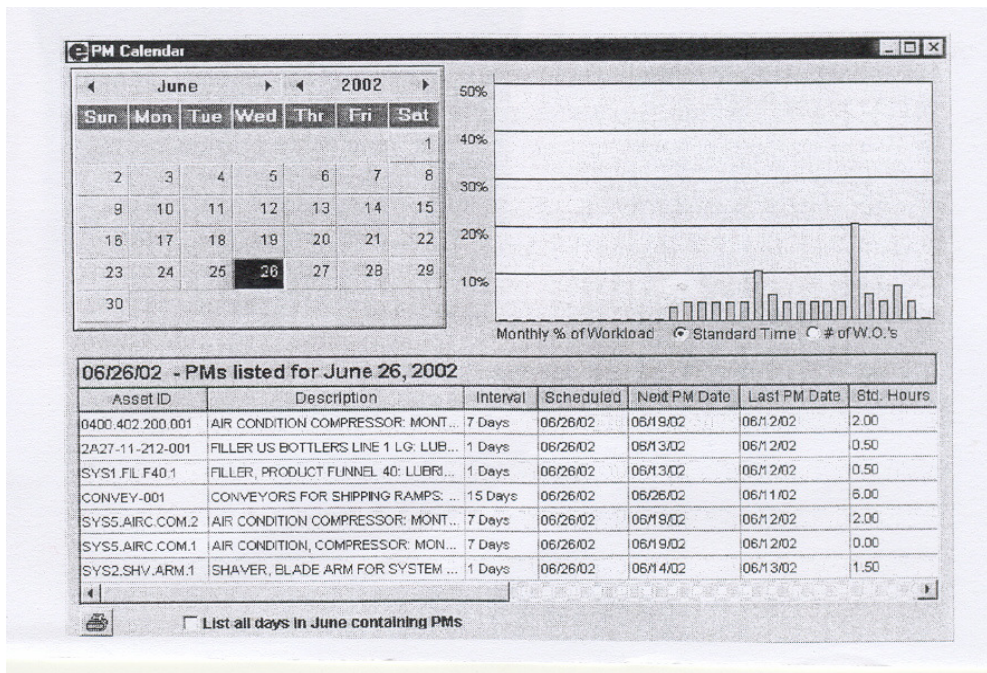
Ο σχεδιασμός συντονίζει χρονικά ακριβώς τα στοιχεία μιας επιτυχημένης δραστηριότητας συντήρησης: εργατοώρες, εργαλεία, ανταλλακτικά, προμήθειες, πληροφορία, μηχανολογικά δεδομένα και σχέδια, επιτήρηση της μονάδας που συντηρείται, εντολές, έγγραφα άδειες και θεσπισμένες άδειες. Αυτή η ακριβής συνεργασία όλων των πόρων που απαιτούνται για μια δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα ουσιώδης για την Προληπτική Συντήρηση.

Το *δεύτερο βήμα* στον προγραμματισμό της Προληπτικής Συντήρησης αφορά την επίτευξη αρμονικής συνεργασίας συντήρησης και παραγωγής. Σε αυτό το βήμα γίνεται προσπάθεια να συνδυαστούν οι επιθυμίες για το πότε να γίνουν οι δραστηριότητες της συντήρησης με την πραγματικότητα της παραγωγής. Για να υπάρξει αποτελεσματική συνεργασία θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα που θα προταθεί στη συνέχεια στην παραγωγή ή στους χειριστές, ώστε να διαπιστωθεί εάν οι χρονικές στιγμές που είναι διαθέσιμο το προσωπικό και τα υλικά συμπίπτουν με τις χρονικές στιγμές που είναι διαθέσιμος ο εξοπλισμός.

Αφότου η παραγωγή συμφωνήσει με το προτεινόμενο πρόγραμμα ακολουθεί το *τρίτο βήμα* στο οποίο το πρόγραμμα διατυπώνεται ακριβώς.

Ένα Υπολογιστικό Σύστημα Οργάνωσης και Διοίκησης της Συντήρησης (Computerized Maintenance Management System - CMMS) μπορεί να διευκολύνει τον προγραμματισμό της Προληπτικής Συντήρησης. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στην οθόνη του ακόλουθου *Σχήματος 3.2*, ο υπολογιστής μπορεί να ψάξει όλες τις προγραμματισμένες συντηρήσεις για μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Μπορεί να υπολογίσει τους πρότυπους χρόνους όλων των προγραμματισμένων συντηρήσεων και να δώσει το ποσοστό των διαθέσιμων ωρών. Το σύστημα δείχνει ακόμα όλες τις δραστηριότητες συντήρησης που δεν έχουν προγραμματιστεί. Τα συστήματα αυτά αναλύονται σε επόμενη ενότητα.





Σχήμα 3.2.

### 3.6 ΛΙΣΤΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ (TASK LISTS)

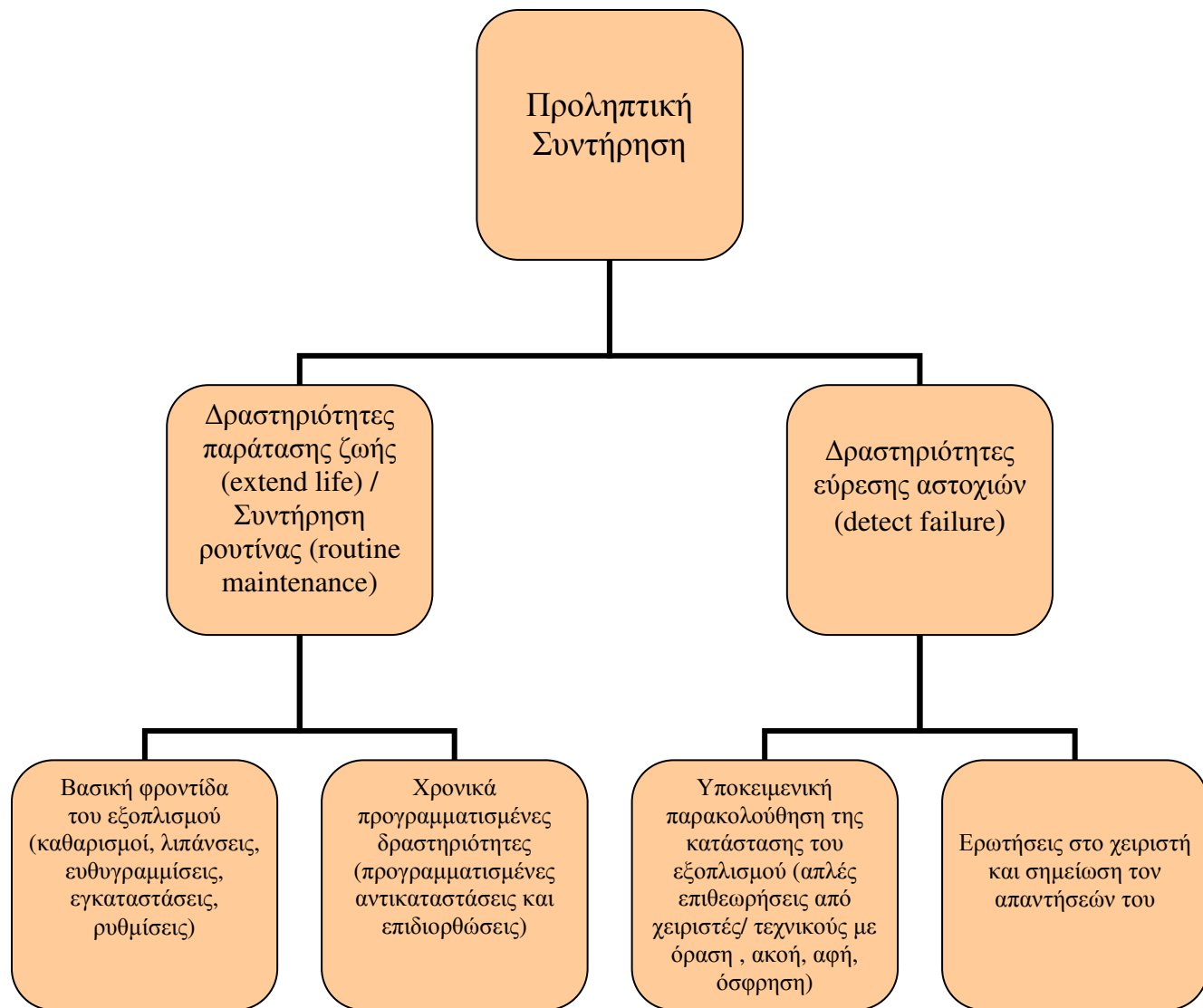
Όλες οι δραστηριότητες και ενέργειες που θα πραγματοποιηθούν κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή οργανώνονται στις λεγόμενες λίστες δραστηριοτήτων (task lists), όπου οι δραστηριότητες είναι δύο ειδών: παράτασης ζωής (extend life) και εύρεσης αστοχιών (detect failure).

Στις *δραστηριότητες εύρεσης αστοχιών (detect failure)* ανήκουν:

- i. Η επιθεώρηση με χρήση των ανθρώπινων αισθήσεων. Η Προληπτική Συντήρηση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους άγρυπνους χειριστές και ανθρώπους της συντήρησης. Η πλειοψηφία των δραστηριοτήτων εξαρτάται από τις αισθήσεις της όρασης, της ακοής, της αφής και της όσφρησης του παρατηρητή.
- ii. Οι ερωτήσεις στο χειριστή για τη λειτουργία της μηχανής και η σημείωση των απαντήσεών του. Πολλά προβλήματα είναι φανερά στο χειριστή πριν τα αντιληφθεί οποιοσδήποτε άλλος.

Στις *δραστηριότητες παράτασης ζωής (extend life)* ή αλλιώς *συντήρηση ρουτίνας (routine maintenance)* ανήκουν:

- i. Συσφίξεις, λιπάνσεις, καθαρισμοί (TLC – tighten, lube, clean). Αποτελούν τις βασικότερες και σημαντικότερες ίσως δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης οι οποίες δεν απαιτούν κάποιο ιδιαίτερο εξοπλισμό ή τεχνικές.
- ii. Ρυθμίσεις που κάνουν τον εξοπλισμό να λειτουργεί βέλτιστα, όπως αλλαγές ή τροποποιήσεις στην εκκίνηση (set-up) ή τη λειτουργία της μηχανής.
- iii. Οι Προγραμματισμένες Αντικαταστάσεις Εξαρτημάτων (Planned Component Replacement - PCR), μια τεχνική που βελτιώνει την αξιοπιστία σε πολλές περιπτώσεις.



Σχήμα 3.3. Οι δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης.

### 3.6.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ (PLANNED COMPONENT REPLACEMENT – PCR)

Η Προγραμματισμένη Αντικατάσταση Εξαρτημάτων είναι μια από τις δραστηριότητες που περιλαμβάνονται στη λίστα δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης. Η καινοτομία της συνίσταται στην εξάλειψη των βλαβών επειδή αφαιρούνται και αντικαθίστανται εξαρτήματα μετά από τόσες ώρες ή κύκλους λειτουργίας, αλλά πάντως πριν αστοχήσουν. Ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής της στρατηγικής αυτής τα εξαρτήματα που αφαιρούνται είτε επιστρέφονται για επιθεώρηση και επιδιόρθωση, ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν, είτε αχρηστεύονται.

Θετικά αποτελέσματα αυτής της στρατηγικής αποτελούν το ελεγχόμενο κόστος συντήρησης και τα χαμηλά επίπεδα του χρόνου εκτός λειτουργίας. Εάν όμως το νέο εξάρτημα έχει αυξημένες πιθανότητες να αστοχήσει όταν είναι καινούριο, η στρατηγική είναι μη αποτελεσματική. Επιπλέον τα αφαιρούμενα εξαρτήματα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μετά από επιδιόρθωση είναι ελάχιστα, καθώς επιδιώκεται η μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία. Γι' αυτό και η PCR είναι ακριβή.

Όπως ειπώθηκε, υπάρχουν δύο διαφορετικές μέθοδοι εφαρμογής της PCR:

- i. *Προγραμματισμένη απόρριψη (planned discard)*, όπου το εξάρτημα απομακρύνεται πριν αστοχήσει και απορρίπτεται. Συνήθη παραδείγματα αποτελούν ιμάντες, φίλτρα, μικρά ρουλεμάν, φτηνά φθειρόμενα κομμάτια κ.λπ.
- ii. *Προγραμματισμένη αναδόμηση (planned rebuild)*, όπου τα εξαρτήματα απομακρύνονται μετά από ένα προκαθορισμένο αριθμό ωρών λειτουργίας ή κύκλων λειτουργίας, αποστέλλονται στον εξειδικευμένο τεχνικό που τα επιδιορθώνει και επιστρέφουν στην αποθήκη για να επαναχρησιμοποιηθούν αργότερα. Εφαρμόζεται σε μεγάλα στοιχεία τα οποία μπορούν να επιδιορθωθούν, όπως μηχανές, κιβώτια ταχυτήτων, αντλίες, συμπιεστές κ.λπ.

Με την προγραμματισμένη αντικατάσταση εξαρτημάτων πριν αυτά αστοχήσουν αποφεύγεται η αστοχία τους, ώστε τελικά αποφεύγεται μια γενικότερη βλάβη και η διαδικασία της επιδιόρθωσης περιορίζεται στα «αναδομούμενα» στοιχεία. Επιπλέον καθίσταται δυνατό οι αντικαταστάσεις των εξαρτημάτων να προγραμματίζονται σε ώρες που η μονάδα βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Ακόμη κάθε αντικατάσταση μπορεί να προγραμματίζεται έτσι, ώστε τα ανταλλακτικά που πρέπει κάθε φορά να είναι διαθέσιμα να είναι λιγότερα και οι ανάγκες σε αποθήκευση μικρότερες από ό,τι εάν περιμένουμε να συμβεί η οποιαδήποτε βλάβη. Αφού το εξάρτημα αντικαθίσταται, οι στάσεις-βλάβες γίνονται σπάνιες, η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού αυξάνεται και οι συνθήκες λειτουργίας γίνονται κανονικές.

### **3.6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΙΣΤΑΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ (TASK LIST ANALYSIS)**

Στην ανάλυση της λίστας δραστηριοτήτων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα τρία σημεία για να επιβεβαιώνεται ότι καλύπτονται όλες οι περιοχές και δε σπαταλώνται πόροι (προσωπικό):

1. θα πρέπει να παραλείπονται δραστηριότητες που δεν προάγουν την αξιοπιστία ή δεν αξίζουν τον κόπο,
2. θα πρέπει να προστίθενται δραστηριότητες όπου οι αστοχίες χωρίς αυτές δεν είναι αποδεκτές ή υπάρχει κάποιος κίνδυνος για το προσωπικό ή το περιβάλλον,
3. οι συχνότητες των δραστηριοτήτων θα πρέπει να είναι οι κατάλληλες, ώστε να αποφεύγονται όσο είναι δυνατόν περιττές εργασίες συντήρησης και να μην παραλείπονται απαραίτητες εργασίες.

Η ανάλυση της λίστας δραστηριοτήτων είναι μια μικροανάλυση. Συνίσταται στον έλεγχο της καταλληλότητας κάθε γραμμής της λίστας δραστηριοτήτων και στον έλεγχο κάθε αστοχίας, ώστε να βρεθεί εάν υπάρχει συσχετισμός κάποιας δραστηριότητας με αυτή. Είναι μια επίπονη διαδικασία, αλλά απαραίτητη για την αποφυγή σπατάλης χρημάτων σε περιττές δραστηριότητες και για την αποφυγή αστοχιών.

Κάθε δραστηριότητα εμπεριέχει κόστη, όπως εργατοώρες, κόστος υλικών, ειδικά εργαλεία, τα οποία επανεμφανίζονται κάθε φορά που αυτή εκτελείται (μια φορά την εβδομάδα, το μήνα ή άλλο χρονικό διάστημα). Γι' αυτό πρέπει να εξετάζεται κατά πόσο κάθε δραστηριότητα είναι κατάλληλη, ώστε να μην προκύπτουν περιττές ενέργειες συντήρησης και περιττά επιπρόσθετα χρόνια κόστη.

Αφότου η λίστα δραστηριοτήτων έχει τεθεί σε εφαρμογή, κάθε χρόνο προτείνεται να ελέγχεται κατά πόσον η διαδικασία ή οι συχνότητες είναι ακόμη αποδοτικές. Σε αυτό μπορούν να βοηθήσουν οι αναφορές συμβάντων (βλαβών). Κάθε στάση-βλάβη λογίζεται ως αποτυχία του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης και μπορεί

να αντιμετωπιστεί ως ευκαιρία για να εντοπιστεί πού απέτυχε το σύστημα. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να συντάσσονται αναφορές συμβάντων οι οποίες στη συνέχεια θα εξετάζονται και θα αναλύονται σε βάθος για τη βελτίωση των λιστών δραστηριοτήτων.

Οι αναφορές των συμβάντων (breakdown reports) μπορούν να έχουν πολλές μορφές. Η πιο απλή μορφή είναι μια λίστα των βλαβών. Για μια ανάλυση της αποτυχίας της Προληπτικής Συντήρησης είναι χρήσιμο να προστίθενται οι χρόνοι απόκρισης και να υπολογίζονται ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δύο αστοχιών (Mean Time Between Failures - MTBF) και ο ενδιάμεσος χρόνος για την επισκευή (Mean Time To Repair - MTTR).

### **3.7 ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΩΝ**

Αφού γίνει η επιλογή του εξοπλισμού που θα υπαχθεί στο πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης και προσδιοριστούν οι λίστες δραστηριοτήτων καθορίζεται η συχνότητα που θα πραγματοποιούνται οι δραστηριότητες και ο τρόπος ορισμού της συχνότητας, δηλαδή σε ημέρες, μονάδες, χωρητικότητα, κύκλους λειτουργίας ή ακόμα τιμές παραμέτρων (όπως θερμοκρασία), αλλαγές στις τιμές παραμέτρων, ευρήματα (π.χ. λάδι στο δάπεδο κάτω από φορτηγό).

#### **3.7.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ**

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να καθοριστεί η σωστή συχνότητα:

- i. με βάση τον κατασκευαστή ή άλλον εξωτερικό συνεργάτη,
- ii. με χρήση των στατιστικών των αστοχιών για την πρόβλεψη της συχνότητας και
- iii. με βάση τον αριθμό των διορθωτικών επεμβάσεων.

Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο λαμβάνεται η συχνότητα που προτείνει κάποιος άλλος. Αυτός ο τρόπος επιλέγεται και από τους περισσότερους. Έχει το πλεονέκτημα ότι έχει το κύρος κάποιου εκτός της επιχείρησης και σε κάθε περίπτωση μπορεί να αποτελέσει το αρχικό σημείο αναφοράς πριν αποφασιστεί η τελική συχνότητα.

Αυτός ο τρόπος ενδείκνυται όταν χρησιμοποιείται πρότυπος εξοπλισμός με πρότυπο τρόπο λειτουργίας. Οι μεγαλύτερες κατασκευάστριες εταιρείες τέτοιου εξοπλισμού παρέχουν αρκετά αξιόπιστους καταλόγους συχνοτήτων. Η χρήση τους γίνεται προβληματική όταν η επιχείρηση χρησιμοποιεί εξειδικευμένο εξοπλισμό, ιδιαίτερες μηχανές ή έχει ασυνήθιστες απαιτήσεις λειτουργίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις προτείνεται αρχικά η χρήση των πρότυπων συχνοτήτων και ακολούθως ένας από τους επόμενους τρόπους για την τροποποίησή τους.

Ακόμη, πέραν του ότι οι εκτιμήσεις του κατασκευαστή για το πώς χρησιμοποιείται η μηχανή μπορεί να διαφέρουν από τον τρόπο χρήσης της από την εκάστοτε επιχείρηση, κάποιοι κατασκευαστές ενδιαφέρονται για την προστασία τους και για τον περιορισμό των χρηματικών απωλειών από τις εγγυήσεις και προτείνουν συχνότητες που μπορεί να οδηγήσουν σε περισσότερους των απαραίτητων ελέγχους.

Γι' αυτό η ιστορία και η εμπειρία του κάθε τμήματος συντήρησης αποτελούν άριστους οδηγούς για τον προσδιορισμό της συχνότητας των προληπτικών συντηρήσεων, καθώς περιλαμβάνουν τους συντελεστές του τρόπου λειτουργίας του εξοπλισμού, την εμπειρία των χειριστών και το επίπεδο και την ποιότητα της εκτελούμενης συντήρησης.

Ο δεύτερος τρόπος χρησιμοποιεί τη στατιστική. Ο απλούστερος τρόπος για τον προσδιορισμό της συχνότητας είναι η χρήση του ενδιάμεσου χρόνου μεταξύ δύο αστοχιών (Mean Time Between Failures - MTBF) από τα ιστορικά αρχεία. Η στατιστική αναλύει το παρελθόν και λέει ότι το μέλλον θα είναι όπως το παρελθόν. Προσφέρει τη δυνατότητα να μετατρέπονται τα δεδομένα των αστοχιών σε μια πρόβλεψη για το τι είναι πιθανό να συμβεί.

Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν στον εξοπλισμό υπάρχουν πολλές μονάδες της ίδιας ομαδοποίησης (παρόμοιες μονάδες με παρόμοια λειτουργία). Όσο μεγαλύτερος είναι ο εξοπλισμός τόσο πιο αξιόπιστες είναι οι στατιστικές.

Το σημαντικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι υπάρχει κάτι που η στατιστική δεν μπορεί εύκολα να λάβει υπόψη: το *πώς* προέκυψε η αστοχία.

Ο τρίτος τρόπος προσδιορισμού της συχνότητας χρησιμοποιεί τον αριθμό των διορθωτικών επεμβάσεων. Για κάθε εκατό ή χίλιες επιθεωρήσεις αναμένεται ένας συγκεκριμένος αριθμός παρατηρούμενων προβλημάτων. Επομένως η κατάλληλη συχνότητα των επιθεωρήσεων μπορεί να προκύψει από την παρατήρηση του αριθμού των επιδιορθώσεων. Μάλιστα κάποιοι οργανισμοί θεωρούν ότι, εάν δεν παρατηρηθεί κάποιο πρόβλημα σε κάθε Προληπτική Συντήρηση, τότε αυτή γίνεται πολύ συχνά. Βέβαια όταν πρόκειται για κάποιο ακριβό τμήμα του εξοπλισμού μπορεί να περάσουν πολλοί έλεγχοι χωρίς να αναφερθεί αστοχία. Ανάλογα και με τα οικονομικά στοιχεία μπορεί να είναι προτιμότερο να συνεχιστούν έτσι οι έλεγχοι, ώστε να εντοπιστεί κάποια αλλαγή όταν αυτή συμβεί.

### **3.7.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ**

Οι επαναλαμβανόμενες προληπτικές συντηρήσεις σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποκαλύπτουν σημεία με κρίσιμη φθορά την οποία αναβάλλουν για όσο το δυνατόν αργότερα στο μέλλον. Καθώς δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η φθορά απευθείας, ο σκοπός είναι να βρεθεί ένα μέτρο ανάλογο της φθοράς. Παραδοσιακά δύο μέτρα χρησιμοποιούνται:

- *η χρησιμοποίηση* (κύκλοι, μέτρα, τόνοι, ώρες), που είναι μέτρο εύκολα κατανοητό, είναι ανάλογο με τη φθορά, όχι δύσκολο στον προγραμματισμό, αλλά μάλλον δύσκολο στο να προβλεφθούν οι απαιτήσεις σε εργατοώρες για τον επόμενο μήνα ή χρόνο και
- *οι ημερολογιακές ημέρες*, που είναι μέτρο εύκολα προγραμματίσιμο, το ευκολότερα κατανοητό και το καταλληλότερο για εξοπλισμό που χρησιμοποιείται τακτικά, δεν αντανακλά όμως το *πώς* φθείρεται η μονάδα.

Αυτά τα μέτρα ονομάζονται και «*ρολόγια*» (“*clocks*”) και αποτελούν τις παραμέτρους που εκκινούν τον προγραμματισμό των λιστών δραστηριοτήτων.

Βέβαια είναι δυνατή η χρήση και άλλων μέτρων που σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα κρίνονται και πιο ακριβή. Τέτοια μέτρα είναι:

- *Ενδείξεις μετρητών*, για παράδειγμα αλλαγή των μίαντων αφότου ο συμπιεστής δουλέψει 5000 ώρες. Αποτελεί μέτρο κατάλληλο για εξοπλισμό που χρησιμοποιείται άτακτα, εύκολα κατανοητό και συνδέεται άμεσα με τη φθορά, απαιτεί όμως επιπλέον εργατοώρες για τη συγκέντρωση των τιμών, ενώ ο προγραμματισμός εκ των προτέρων είναι δύσκολος, εκτός εάν μπορεί να γίνει πρόβλεψη των τιμών.

- *Η ενέργεια.* Σύμφωνα με αυτό το μέτρο η Προληπτική Συντήρηση ξεκινά όταν το μηχάνημα ή σύστημα καταναλώσει μια προκαθορισμένη ποσότητα ηλεκτρικού ή καυσίμου. Χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε λέβητες και μηχανές πλοίων και αποτελεί στοιχείο που μπορεί να χρησιμεύσει και σε άλλους σκοπούς. Αρνητικά σημεία αποτελούν το γεγονός ότι πρέπει να συνδεθούν μετρητές των Watt ή του καυσίμου σε όλα τα απαραίτητα σημεία του εξοπλισμού, η δυσκολία στον προγραμματισμό εάν δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία και οι επιπλέον εργατοώρες για τη συγκέντρωση των τιμών.
- *Τα αναλώσιμα,* όπως η ποσότητα υδραυλικού υγρού ή λιπαντικού. Όταν το αναλώσιμο εξαντλήσει μια προκαθορισμένη παράμετρο η μονάδα προστίθεται στη λίστα για έλεγχο. Αυτή η μέθοδος παρέχει ένα άμεσο μέτρο της κατάστασης μέσα στη μηχανή, υδραυλικό σύστημα κ.λπ., μπορεί να αφυπνίσει εάν υπάρχει μια διαρροή, αλλά είναι πολύ εξειδικευμένη, πολύ δύσκολα προγραμματίζεται εκ των προτέρων, ενώ δύσκολη είναι και η συλλογή στοιχείων.
- *Ενδείξεις της κατάστασης,* όπως η ποιότητα. Σε αυτήν την περίπτωση εντοπίζεται είτε η ανικανότητα της μονάδας να διατηρήσει μια ανοχή ή να έχει συνεχή παραγωγή είτε μια ασυνήθιστη μέτρηση ή ένδειξη. Αυτή η μέθοδος ανταποκρίνεται πολύ καλά στις απαιτήσεις των πελατών, αλλά είναι σχεδόν αδύνατος ο προγραμματισμός της, καθώς δεν ανήκει στη δικαιοδοσία του τμήματος συντήρησης και μπορεί να είναι ήδη αργά για οποιαδήποτε ενέργεια.

### 3.8 ΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η Προληπτική Συντήρηση απαιτεί σοβαρή οργάνωση και υποδομή των συνεργείων, τα οποία χωρίζονται συνήθως σε δύο κατηγορίες: ελέγχων και επεμβάσεων.

Τα πρώτα αναλαμβάνουν την εκτέλεση όλων των περιοδικά προγραμματισμένων ελέγχων του εξοπλισμού βάσει χρόνων λειτουργίας, ενώ τα δεύτερα την εκτέλεση όλων των διορθωτικών επεμβάσεων που προκύπτουν από τους ελέγχους ή από απρόβλεπτες βλάβες. Σημαντικά μηχανήματα της παραγωγικής διαδικασίας αποσυναρμολογούνται, μερικά ή ολικά, και αντικαθίστανται τα εξαρτήματα που θεωρητικά έχουν ξεπεράσει τη διάρκεια ζωής τους βάσει των προγραμμάτων Προληπτικής Συντήρησης, ανεξάρτητα από το εάν είναι φθαρμένα ή όχι (π.χ. αντικατάσταση ρουλεμάν μειωτήρα κάθε 15000 ώρες, αλλαγή λαδιών κάθε 1000 ώρες κ.λπ.).

Με την Προληπτική Συντήρηση και τον έλεγχο η επιχείρηση μπορεί να φτιάξει μακροχρόνια προγράμματα, να συλλέξει στατιστικά στοιχεία, να οδηγηθεί από τα αποτελέσματα σε βελτιώσεις και το κυριότερο να αποκτήσει συνείδηση «δράσης» για αντικατάσταση εξαρτημάτων ή μηχανημάτων.

Πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην επιλογή του απαραίτητου προσωπικού που θα κληθεί να εφαρμόσει ένα τέτοιο πρόγραμμα, καθώς και στην εκπαίδευση που πρέπει να παρακολουθήσει. Συνήθως οι τεχνικοί και οι χειριστές έχουν λάβει εκπαίδευση σχετική με τις επισκευές και την αντιμετώπιση προβλημάτων, αλλά πολύ λίγοι από αυτούς έχουν μάθει πώς να αναγνωρίζουν τα προβλήματα κατά τις επιθεωρήσεις, πριν γίνουν πραγματικά προβλήματα. Η εκπαίδευση θα πρέπει να περιλαμβάνει μεθόδους επιθεώρησης για τα πιο κοινά στοιχεία και συστήματα του εξοπλισμού, καθώς και μια επισκόπηση των χρήσιμων βασικών οργάνων και

εργαλείων. Πέρα από τις τεχνικές γνώσεις είναι σημαντικό να αποκτηθεί και τεχνική συνείδηση, δηλαδή εξοικείωση του τεχνικού με τη μηχανή, εγρήγορση της όρασης, της ακοής, ακόμα και της αφής, όσφρησης, γεύσης. Έλεγχος σημαίνει πείρα, αισθήσεις και γρήγορη αντίδραση.

Το κύριο στοιχείο εδώ είναι ο καθένας που θα ασχοληθεί να γίνει γνώστης του προγράμματος, από τον προϊστάμενο μέχρι τον τεχνίτη, ώστε όλοι να μπορούν να αναγνωρίζουν τις ευμενείς επιπτώσεις πάνω στην παραγωγικότητα.

Ο σωστός επιθεωρητής θα πρέπει να διαθέτει στοιχεία, όπως:

1. να είναι αξιόπιστος, αφού είναι δύσκολο να εξακριβωθεί εάν έχει κάνει τη δουλειά του,
2. να μην παραλείπει να συμπληρώνει ολοκληρωμένα και με ακρίβεια τα διάφορα έντυπα, μια δουλειά που είναι επιπρόσθετη γι' αυτόν,
3. να ξέρει πώς (και να έχει τη διάθεση) να κοιτάει την ιστορία της μονάδας και να αναγνωρίζει συγκεκριμένα προβλήματα που τυχόν υπήρξαν σε αυτή στο παρελθόν, γεγονός που μπορεί να αποκαλύψει κάποια αδυναμία στο σχεδιασμό,
4. να είναι πλήρως εκπαιδευμένος, ώστε να έχει την ικανότητα ή τη γνώση να εκτελεί αποτελεσματικά μια δραστηριότητα (συχνά διεξάγονται και κατάλληλα τεστ για την απόκτηση πιστοποιητικού Προληπτικής Συντήρησης),
5. να είναι ικανός να εντοπίζει το πρόβλημα όσο το δυνατόν νωρίτερα, ώστε να υπάρχει αρκετός χρόνος για να σχεδιαστεί η αποκατάσταση, να παραγγελθούν υλικά και να αποφευχθεί ολική καταστροφή.

Η Προληπτική Συντήρηση είναι μια πνευματική εργασία που απαιτεί μεγάλη συγκέντρωση. Είναι όμως κυρίως ανιαρή. Ο μηχανικός ελέγχει υγρή εξοπλισμό και διεκπεραιώνει εργασίες που απαιτούν ελάχιστες ικανότητες, όπως καθαρισμούς και λιπάνσεις, για να εντοπίσει το ένα εξάρτημα που φθείρεται. Και αυτό το κάνει σε καθημερινή βάση. Έτσι είναι δύσκολο να μη βαρεθεί.

Αποτελεί μεγάλο πρόβλημα το να επιβεβαιωθεί ότι ο επιθεωρητής κάνει τις επιθεωρήσεις που προβλέπει η λίστα δραστηριοτήτων.

Η πρόκληση για την ηγεσία είναι να κινητοποιήσει τους ανθρώπους, κάνοντάς τους κοινωνούς στους ρόλους της Προληπτικής Συντήρησης, ώστε να θέλουν να πραγματοποιήσουν τις δραστηριότητες. Ο επιθεωρητής μπορεί να είναι ένας μηχανικός, ένας χειριστής ή ένας βοηθός (εάν κρίνεται κατάλληλος) που συμμετέχει στις δραστηριότητες της συντήρησης περιστασιακά ή ένας τεχνικός Προληπτικής Συντήρησης πλήρους απασχόλησης. Οι προϊστάμενοι θα πρέπει να ενημερώνουν τους επιθεωρητές για το ρόλο της Προληπτικής Συντήρησης στο όλο πλαίσιο των δραστηριοτήτων της επιχείρησης και για το πώς αυτή επιδρά σε αξιοπιστία, ασφάλεια, κόστη και παραγωγή. Έτσι οι επιθεωρητές θα νιώθουν ότι η δουλειά που επιτελούν είναι σημαντική και πρωτεύουσας σημασίας. Επίσης είναι σημαντικό να συμμετέχουν σε συζητήσεις για τον εξοπλισμό, ώστε να αποκτήσουν τη συνείδηση της συντήρησης και να εκτελούν τις εργασίες τους έτσι ώστε να μπορούν να απαντούν σε ερωτήσεις και να δίνουν πληροφορίες.

### **3.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS - CMMS)**

Η μέθοδος της Προληπτική Συντήρησης, ιδιαίτερα σε μεγάλα συγκροτήματα, απαιτεί μηχανογραφική υποστήριξη η οποία αναλαμβάνει τη διαχείριση όλων των προγραμμάτων προληπτικών ελέγχων και επεμβάσεων.

Τα CMMS αποτελούν ολοκληρωμένα συστήματα που βοηθούν την ηγεσία του τμήματος συντήρησης να διευθύνει όλες τις παραμέτρους του τμήματος. Για να διαχειριστεί την Προληπτική Συντήρηση ο επιβλέπων χρειάζεται να ξέρει στατιστικά στοιχεία (ώρες, ολοκληρωμένες δραστηριότητες κ.λπ.), αναφορές βλαβών και την τάση των βλαβών, που δείχνουν πόσο αποτελεσματική υπήρξε η Προληπτική Συντήρηση.

Όλα τα συστήματα σχεδιάζονται με τέσσερις κυρίως τομείς ή λειτουργίες.

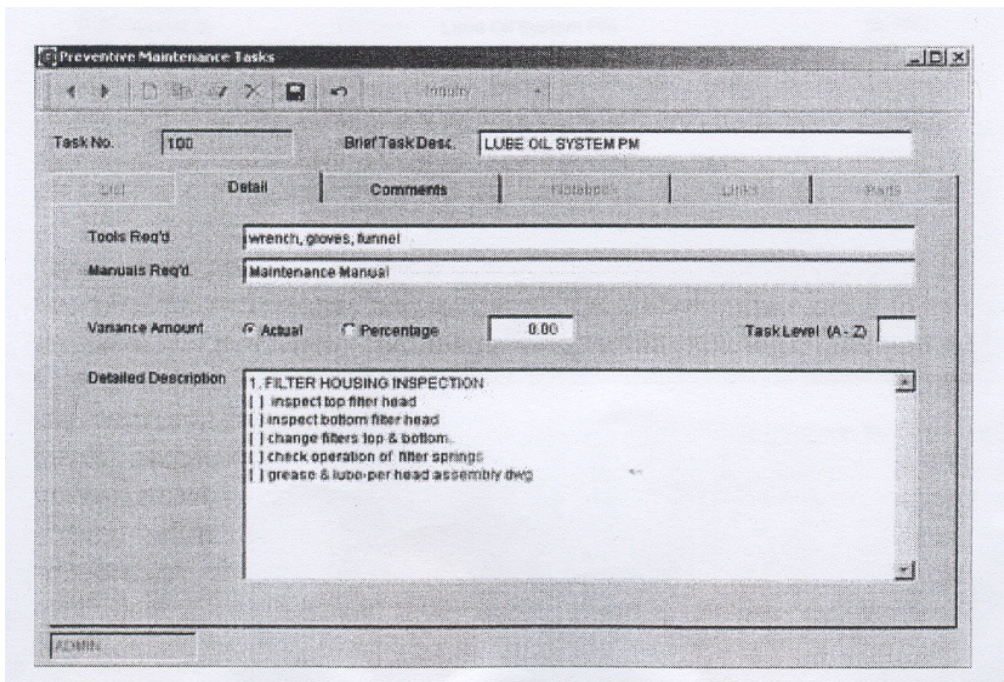
1. Ημερήσιες Πράξεις (Daily Transactions): περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα που εισάγονται, όπως οι εντολές εργασίας, παραλαβές κομματιών, μισθοδοτικές καταστάσεις, προμήθειες καυσίμων, κατάλογοι εμπορευμάτων, μικρές επιδιορθώσεις και διορθωτικές επεμβάσεις.
2. Κύρια αρχεία (Master Files): είναι οι δεδομένες πληροφορίες για τις δραστηριότητες, τις συχνότητες και την ιεράρχησή τους.
3. Processing: οι ημερήσιες πράξεις προωθούνται στα λειτουργικά αρχεία, οπότε ενημερώνεται/αναπροσαρμόζεται το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης (ενημερώνονται τα «ρολόγια»), δίνονται λεπτομερείς πληροφορίες των επισκευών για τις αναφορές και ενημερώνονται όλοι οι λογαριασμοί.
4. Απαιτήσεις (Demands): περιλαμβάνουν εκτυπώσεις αναφορών (μπορεί να είναι αναφορές που προβλέπουν τις απαιτήσεις Προληπτικής Συντήρησης μετά από ένα χρόνο, αναφορές που συνοψίζουν τις απαιτούμενες εργατοώρες για την ερχόμενη εβδομάδα-μήνα-χρόνο και αναφορές που δίνουν ένα κατάλογο των απαιτούμενων υλικών για διάφορες περιόδους) και εικόνων οθονών, που χρειάζονται όταν το πλήθος των πληροφοριών είναι μεγάλο ή τα στοιχεία θα χρησιμεύσουν σε κάποιου είδους ανάλυση.

Υπάρχουν πολλοί προμηθευτές διαφορετικών συστημάτων που προορίζονται για τμήματα συντήρησης που εφαρμόζουν την Προληπτική μέθοδο συντήρησης. Κάποια από αυτά δεν είναι εύκολα στη χρήση ή πλήρη. Για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος πρέπει να εξετάζονται τα ακόλουθα σημεία:

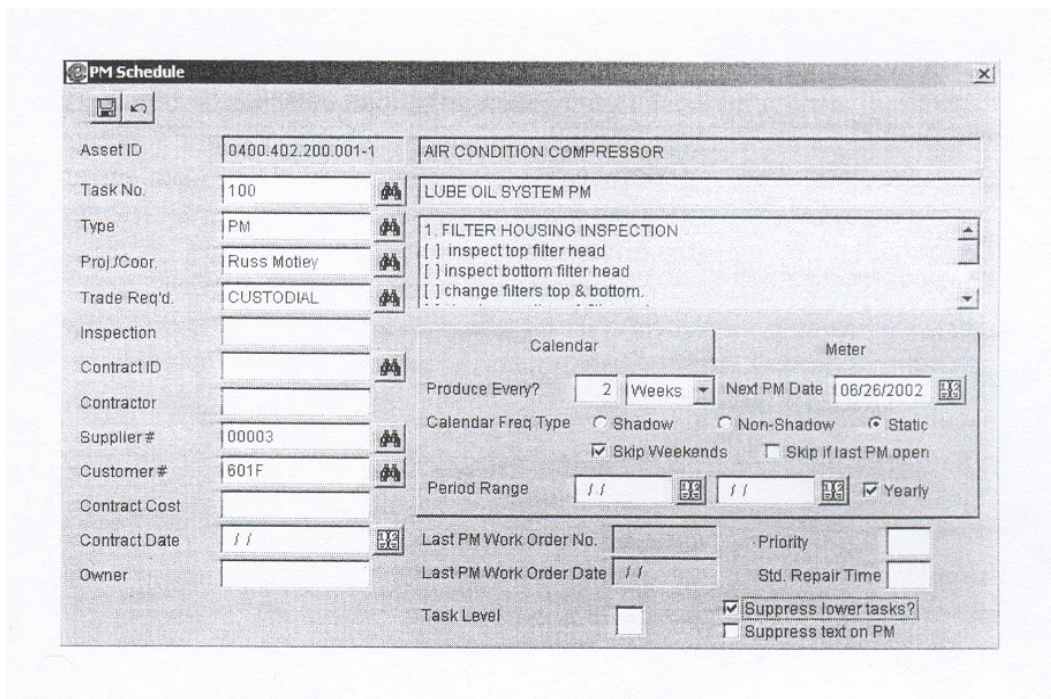
- Τι χρειάζεται το τμήμα σύμφωνα με το δικό του τρόπο λειτουργίας, δηλαδή σύμφωνα με τον τρόπο ορισμού της συχνότητας.
- Ποιο σύστημα είναι κατάλληλο και αρκετά ευέλικτο ώστε να καλύψει αυτές τις απαιτήσεις.
- Ποιο σύστημα δεν απαιτεί μεγάλες αλλαγές στον τωρινό τρόπο ενέργειας ή στο σύστημα διοίκησης και ελέγχου του τμήματος.

Ένα σύστημα CMMS είναι το eMaint. Ένα από τα πρώτα βήματα είναι να υπάρχει κάποιος χώρος όπου να εισάγονται οι λεπτομερείς δραστηριότητες και τα δεδομένα σχεδιασμού της Προληπτικής Συντήρησης. Στην οθόνη του Σχήματος 3.4 βλέπουμε 3 από τα 6 στοιχεία σχεδιασμού (σκοπός της εργασίας, εργαλεία, εξειδικευμένες πληροφορίες). Στην επόμενη οθόνη υπάρχει επιπλέον το στοιχείο των κανονικά απαιτούμενων ωρών. Η οθόνη του Σχήματος 3.5 βοηθά τον προϊστάμενο να προγραμματίσει και να καθορίσει τη δραστηριότητα επιλέγοντας τον τρόπο ορισμού της συχνότητας, ορίζοντας τη συχνότητα, συμπληρώνοντας το διάστημα μέσα στο οποίο ενδεχομένως επιθυμείται να μην πραγματοποιηθεί συντήρηση κ.λπ.





Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.5.

Γίνεται φανερό ότι το να ξεκινήσει η εφαρμογή της Προληπτικής Συντήρησης είναι κάτι πολύ πιο πολύπλοκο από απλά δραστηριότητες και συχνότητες.

### 3.10 ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η Προληπτική Συντήρηση είναι η βάση της όλης φιλοσοφίας της συντήρησης. Εάν το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης δεν είναι αποτελεσματικό, δεν θα είναι

και όλες οι ακόλουθες δραστηριότητες συντήρησης. Για να είναι δυνατός ο καθορισμός της επιτυχίας του προγράμματος χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι δείκτες οι οποίοι ελέγχουν κατά πόσο οι δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης είναι αποτελεσματικές.

### ***Χρόνος Στάσης του Εξοπλισμού Εξαιτίας Βλαβών***

Ο πρώτος δείκτης είναι ενδεικτικός της επίδρασης που έχει η Προληπτική Συντήρηση στην επιχείρηση. Εστιάζει σε αυτό για του οποίου την εξάλειψη είναι σχεδιασμένο το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης: στις βλάβες του εξοπλισμού (breakdowns). Αυτός ο δείκτης παίρνει το συνολικό χρόνο στάσης (downtime) λόγω βλάβης σε ένα εξάρτημα/μηχάνημα, τμήμα, τομέα ή ακόμη και σε ολόκληρο το εργοστάσιο και το εξετάζει μέσα στο σύνολο του χρόνου στάσης:

$$\frac{\text{Χρόνος Στάσης Λόγω Βλαβών}}{\text{Συνολικός Χρόνος Στάσης}}$$

Είναι συνηθισμένο οι βλάβες να αναφέρονται ως απρογραμματίστος χρόνος στάσης. Ο συνολικός χρόνος στάσης αντιπροσωπεύει όλο το χαμένο χρόνο ο οποίος μπορεί να οφείλεται είτε σε συντήρηση, αγορές, μεταφορές είτε ακόμη και σε εξωτερικούς προμηθευτές.

#### ***Δυνατότητες***

Αυτός ο δείκτης βοηθά στην εξακρίβωση του εάν η βλάβη ή απρογραμματίστη στάση αποτελεί πράγματι πρόβλημα του εργοστασίου. Μπορεί για τη στάση να ευθύνεται κάποιο άλλο πρόβλημα και όχι το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης.

#### ***Αδυναμίες***

Η μεγαλύτερη αδυναμία αυτού του δείκτη είναι η ανάγκη κατάλληλης κατηγοριοποίησης των στάσεων και τήρησης ακριβών αρχείων. Η στάση θα πρέπει να εξετάζεται λεπτομερώς και να κατηγοριοποιείται ανάλογα. Εάν η στάση-βλάβη (breakdown downtime) του εξοπλισμού δεν εξεταστεί λεπτομερειακά, τότε είναι πιθανό χρόνοι που για παράδειγμα ο χειριστής κάνει διάλειμμα ή προμηθεύεται τις πρώτες ύλες να συμπεριληφθούν στο χρόνο στάσης λόγω βλάβης. Κάτι τέτοιο αυξάνει το χρόνο στάσης-βλάβης αναίτια και αποκρύπτει άλλα προβλήματα. Εάν δε δεν τηρούνται ακριβή αρχεία, αποδίδονται πολλοί χρόνοι στο χρόνο στάσης λόγω βλάβης και έτσι αυτός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλέον ως εργαλείο ελέγχου της Προληπτικής Συντήρησης.

### ***Ώρες Εργασίας για Επείγουσες Ανάγκες***

Αυτός ο δείκτης είναι διαφωτιστικός των πόρων (του προσωπικού) που διατίθενται από την επιχείρηση για την αντιμετώπιση των βλαβών (breakdowns) του εξοπλισμού. Όταν το επίπεδο των πόρων που αναλώνονται σε επείγουσες δραστηριότητες λόγω βλαβών είναι υψηλό, τότε τα ποσοστά παραγωγικότητας αυτών των πόρων είναι χαμηλά. Ο δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επίπεδο τμήματος, τομέα ή ολόκληρου του εργοστασίου.

Ακόμη μπορεί να χρησιμεύσει και στον έλεγχο του καταμερισμού των εργασιών της συντήρησης.

Προκύπτει από τη διαίρεση του χρόνου που καταναλώνεται σε επείγουσες δραστηριότητες λόγω βλαβών με το συνολικό χρόνο εργασίας και στη συνέχεια εκφράζεται σαν ποσοστό:

$$\frac{\text{Ωρες Εργασίας για Επείγουσες Δουλειές}}{\text{Συνολικές Ωρες Εργασίας}}$$

Κατά τον υπολογισμό του θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται όλοι οι πόροι και όχι μόνο αυτοί της συντήρησης. Εάν συμμετέχουν χειριστές ή εργολάβοι, θα πρέπει να συμπεριληφθεί και ο δικός τους χρόνος.

#### *Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης βοηθά στην εξέταση του εάν καταναλώνεται χρόνος εργασίας σε επείγουσες δραστηριότητες. Τυπικά, εάν πάνω από το 20% των πόρων της συντήρησης καταναλώνεται για το σύνολο των επειγουσών δραστηριοτήτων λόγω βλαβών, τότε το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης κρίνεται αναποτελεσματικό. Συνεπώς αυτός ο δείκτης αποτελεί κλειδί για την εκτίμηση του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης.

#### *Αδυναμίες*

Αυτός ο δείκτης, όπως και οι περισσότεροι εξαρτάται από τη συλλογή ακριβών στοιχείων. Χωρίς ακρίβεια μπορεί κάποιο πρόβλημα στην Προληπτική Συντήρηση να μην εντοπιστεί. Επιπλέον είναι απαραίτητο να ξεκαθαρίζεται ποιες περιπτώσεις θεωρούνται επείγουσες και ποιες όχι.

#### ***Το Κόστος Επισκευής των Βλαβών***

Αυτός ο δείκτης εξετάζει τις βλάβες (breakdowns) με έναν άλλο τρόπο: το άμεσο κόστος αυτών και των επειγουσών επισκευών. Εδώ περιλαμβάνονται το κόστος εργασίας, τα υλικά, ο ενοικιαζόμενος εξοπλισμός, οι εργολάβοι και οποιοδήποτε άλλο άμεσο κόστος συντήρησης. Παρόλα αυτά το κόστος της χαμένης παραγωγής δε θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται σε αυτόν τον υπολογισμό. Το παραπάνω κόστος διαιρείται έπειτα με το συνολικό κόστος συντήρησης και προκύπτει ένα ποσοστό. Ο υπολογισμός αυτού του δείκτη μπορεί να επαναληφθεί σε διαφορετικά επίπεδα: το επίπεδο του τμήματος συντήρησης, του τμήματος πωλήσεων, του τμήματος παραγωγής ή ακόμη του εξαρτήματος/μηχανήματος.

Ο υπολογισμός γίνεται με τη διαίρεση του άμεσου κόστους συντήρησης για όλες τις βλάβες και τις επείγουσες επισκευές με το συνολικό άμεσο κόστος συντήρησης:

$$\frac{\text{Άμεσο Κόστος Επισκευής Βλαβών}}{\text{Συνολικό Άμεσο Κόστος Συντήρησης}}$$

Το αποτέλεσμα εκφράζεται ως ποσοστό.

#### *Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης δείχνει την επίδραση που έχουν οι επείγουσες εργασίες αποκατάστασης βλαβών στον προϋπολογισμό της συντήρησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δικαιολογήσει το κόστος των βελτιώσεων στο πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης.

### *Αδυναμίες*

Απαιτεί τον ξεκάθαρο καθορισμό των επειγουσών εργασιών που γίνονται για την επιδιόρθωση των βλαβών. Ακόμα και μικρές επισκευές διάρκειας 5 με 10 λεπτών θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό. Όταν συμπεριλαμβάνονται και οι σύντομες δραστηριότητες, μπορούν να εντοπιστούν προβλήματα στην Προληπτική Συντήρηση και να διορθωθούν εύκολα.

### **Τήρηση του Προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης**

Αυτός ο δείκτης εξετάζει τον αριθμό των δραστηριοτήτων Προληπτικής Συντήρησης που είναι προγραμματισμένες με τον αριθμό εκείνων που ολοκληρώνονται μέσα στα προγραμματισμένα χρονικά πλαίσια. Συνήθως υπολογιζόμενος στη διάρκεια μιας εβδομάδας, βοηθά στον εντοπισμό ενός προγράμματος Προληπτικής Συντήρησης που μπορεί να είναι ανεπτυγμένο, αλλά δεν είναι αποτελεσματικό. Σε αυτή την περίπτωση η αναποτελεσματικότητα οφείλεται στην αποτυχία ολοκλήρωσης των προγραμματισμένων δραστηριοτήτων. Η αιτία αυτής της αποτυχίας μπορεί να είναι ο υπερβολικός φόρτος εργασίας της παραγωγής που δεν επιτρέπει το σταμάτημα του εξοπλισμού για συντήρηση ή ο υπερβολικός φόρτος εργασίας του προσωπικού συντήρησης σε επείγουσες εργασίες αποκατάστασης βλαβών που δεν τους επιτρέπει να ολοκληρώσουν τις προγραμματισμένες δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης.

Υπολογίζεται εάν διαιρεθεί ο συνολικός αριθμός των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης που ολοκληρώθηκαν (συνήθως σε διάστημα μιας εβδομάδας) με το συνολικό αριθμό των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης που είναι προγραμματισμένες:

$$\frac{\text{Πραγματοποιημένες Δραστηριότητες Προληπτικής Συντήρησης}}{\text{Προγραμματισμένες Δραστηριότητες Προληπτικής Συντήρησης}}$$

Το αποτέλεσμα εκφράζεται ως ποσοστό. Σκοπός φυσικά είναι η 100% εκπλήρωση των προγραμματισμένων δραστηριοτήτων, αν και αυτό δεν είναι πάντα εύκολο. Στον υπολογισμό πρέπει να περιλαμβάνονται όλες οι δραστηριότητες είτε πραγματοποιούνται από τους τεχνικούς συντήρησης είτε από τους χειριστές είτε ακόμα από εργολάβους.

### *Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης δείχνει κατά πόσο η επιχείρηση συμμορφώνεται στο πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης. Είναι ένας από τους δείκτες-κλειδιά για ένα τέτοιο πρόγραμμα. Εάν συσχετιστεί μέσα σε διάστημα έξι μηνών με το ποσοστό των δραστηριοτήτων που είναι επείγουσες και αφορούν σε βλάβες (breakdowns), τότε φαίνεται ότι, όσο το ποσοστό των δραστηριοτήτων που ολοκληρώνονται αυξάνεται, τόσο το ποσοστό των βλαβών μειώνεται. Όταν γίνεται με ακρίβεια, ο συσχετισμός αυτός είναι αναμφισβήτητος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της υποστήριξης του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης.

### *Αδυναμίες*

Η αδυναμία που υπάρχει εδώ δεν έχει να κάνει με το δείκτη, αλλά εμφανίζεται όταν το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης αποκρύπτει το γεγονός ότι κάποιες δραστηριότητες δεν ολοκληρώνονται. Αυτό συμβαίνει με τα κυλιόμενα προγράμματα όπου δραστηριότητες που δεν ολοκληρώνονται δεν προγραμματίζονται ξανά μέχρι να

ολοκληρωθούν. Οπότε και ο επόμενος προγραμματισμός της ίδιας δραστηριότητας γίνεται με βάση την ημερομηνία ολοκλήρωσης της προηγούμενης κι όχι με βάση κάποια συχνότητα. Προφανώς τα κυλιόμενα προγράμματα δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην Προληπτική Συντήρηση.

### ***Συμβατότητα του Εκτιμώμενου Κόστους της Προληπτικής Συντήρησης με το Πραγματικό***

Αυτός ο δείκτης συγκρίνει τις εκτιμήσεις του κόστους εργασίας και υλικών για τις δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης με το πραγματικό κόστος διενέργειας των δραστηριοτήτων και δείχνει την ακρίβεια των εκτιμήσεων. Εάν αυτές δεν είναι ακριβείς, μπορούν να γίνουν κάποιες ρυθμίσεις για να εξασφαλίζεται η ακρίβειά τους. Η ακρίβεια είναι ζωτικής σημασίας όταν το σύστημα προγραμματισμού της συντήρησης ολοκληρώνεται με το σύστημα προγραμματισμού της παραγωγής. Ανακρίβειες σε ένα τέτοιο σύστημα έχουν δραματικές συνέπειες μέσα στο χρόνο.

Ο δείκτης υπολογίζεται με τη διαίρεση του εκτιμώμενου κόστους με το πραγματικό και στη συνέχεια το αποτέλεσμα εκφράζεται ως ποσοστό:

$$\frac{\text{Εκτιμώμενο Κόστος Δραστηριοτήτων Προληπτικής Συντήρησης}}{\text{Πραγματικό Κόστος Δραστηριοτήτων Προληπτικής Συντήρησης}}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο δείκτης δεν πρέπει να υπολογίζεται μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Σε ορισμένες περιπτώσεις κάποια δραστηριότητα μπορεί να υπερβεί το εκτιμώμενο κόστος λόγω προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν. Παρόλα αυτά, εάν η ανάλυση γίνεται σε διάρκεια έξι μηνών ή ενός χρόνου, τα αποτελέσματα μπορούν να είναι μια καλή ένδειξη της ακρίβειας των εκτιμήσεων.

### ***Δυνατότητες***

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του δείκτη είναι η ευκολία ελέγχου της ακρίβειας των εκτιμήσεων του κόστους των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης. Εάν η ακρίβεια της κάθε παραμέτρου του εκτιμώμενου κόστους δεν ελέγχεται συνεχώς, τότε η εκτίμηση του συνολικού κόστους εργασίας και υλικών δε θα είναι ακριβής, γεγονός που οδηγεί σε προβλήματα προϋπολογισμού.

### ***Αδυναμίες***

Η μεγαλύτερη αδυναμία που υπάρχει εδώ είναι η χρέωση δραστηριοτήτων που δεν ανήκουν στην Προληπτική Συντήρηση ως δραστηριότητες Προληπτικής Συντήρησης. Κάτι τέτοιο συμβαίνει για παράδειγμα όταν κατά τη διενέργεια μιας δραστηριότητας προκύπτει κάποιο πρόβλημα το οποίο διορθώνεται εκείνη τη στιγμή που διενεργείται και η δραστηριότητα. Εάν αυτές οι επιδιορθώσεις χρεώνονται στη δραστηριότητα της Προληπτικής Συντήρησης, τότε το κόστος υπερβαίνει το εκτιμώμενο και αμφισβητείται η ακεραιότητα της εκτίμησης. Σε τέτοιες περιπτώσεις η επιδιόρθωση που προκύπτει εκ των υστέρων πρέπει να λογίζεται και να κοστολογείται ως ξεχωριστή δραστηριότητα.

### ***Βλάβες Λόγω Ελλιπούς Προληπτικής Συντήρησης***

Με αυτό το δείκτη εξετάζονται οι πρωταρχικές αιτίες των βλαβών και ερευνάται εάν αυτές οι αιτίες έπρεπε να είχαν εντοπιστεί σαν μέρος του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης. Αυτός ο δείκτης εκτιμά και την αποτελεσματικότητα της

δραστηριότητας της Προληπτικής Συντήρησης και την ακρίβεια του ατόμου που την πραγματοποιεί. Για παράδειγμα σχετικές με τη λίπανση αστοχίες δε θα πρέπει να συμβαίνουν σε μηχανήματα που ελέγχονται και λιπαίνονται με βάση το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης. Η αστοχία δείχνει μια αποτυχία του προγράμματος. Για να εξασφαλιστεί ότι αυτή η αστοχία δε θα επαναληφθεί, μπορεί να απαιτούνται τροποποιήσεις στη λίστα δραστηριοτήτων, επανεκπαίδευση του ατόμου ή η προσθήκη μιας τεχνικής οπτικού ελέγχου.

Ο υπολογισμός γίνεται με τη διαίρεση του συνολικού αριθμού των βλαβών που μπορούσαν να είχαν προληφθεί με το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης με το συνολικό αριθμό των βλαβών:

$$\frac{\text{Συνολικός Αριθμός Βλαβών που έπρεπε να είχαν Προληφθεί}}{\text{Συνολικός Αριθμός Βλαβών}}$$

Το προκύπτον ποσοστό δείχνει τη δυνατότητα που υπάρχει για βελτίωση με την αναβάθμιση ή τροποποίηση του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης. Ένας ακόμη οδηγός για τη βελτίωση μπορεί να προκύψει εάν συμπεριληφθούν και οι απώλειες από τις βλάβες (κόστη συντήρησης, καταστροφή εξοπλισμού, κόστη στάσης).

#### *Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης, ο οποίος είναι πολύ χρήσιμος σε όποια επιχείρηση θέλει να βελτιώσει το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης που διαθέτει, δείχνει με ακρίβεια την επίδραση που έχει η Προληπτική Συντήρηση στις βλάβες του εξοπλισμού. Η παρακολούθησή του βοηθά στον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της Προληπτικής Συντήρησης.

#### *Αδυναμίες*

Η μεγάλη αδυναμία αυτού του δείκτη είναι διαδικαστική. Με άλλα λόγια το τμήμα συντήρησης θα πρέπει να δεσμεύεται να κάνει και να σημειώνει ακριβείς και λεπτομερείς αναλύσεις των πρωταρχικών αιτιών των βλαβών. Εάν απλά υποθέτει ή μαντεύει την πρωταρχική αιτία, τότε δε γίνεται φανερή η πραγματική αποτελεσματικότητα του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης.

#### ***Ικανότητα της Προληπτικής Συντήρησης***

Αυτός ο δείκτης εξετάζει την ποσότητα των εργασιών που προβλέπονται από το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης. Όταν διεξάγεται ένας έλεγχος Προληπτικής Συντήρησης ο επιθεωρητής θα αποκαλύψει στοιχεία ή συστήματα που δείχνουν σημάδια φθοράς ή και επικείμενης αστοχίας. Για να διορθωθεί το πρόβλημα πριν συμβεί βλάβη, ο επιθεωρητής θα προγραμματίσει τις απαραίτητες δραστηριότητες. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν ρυθμίσεις, αντικαταστάσεις ή μεγαλύτερης έκτασης επιδιορθώσεις. Κάποιες δραστηριότητες πρέπει να προγραμματίζονται από τους επιθεωρητές, διαφορετικά οι δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης πιθανότατα γίνονται πολύ συχνά.

Η ικανότητα της Προληπτικής Συντήρησης μετράται με τη διαίρεση του συνολικού αριθμού των δραστηριοτήτων που προβλέπει το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης με το συνολικό αριθμό των δραστηριοτήτων που τελικά προγραμματίζονται:

Συνολικός Αριθμός Δραστηριοτήτων στο Πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης  
Συνολικός Αριθμός Δραστηριοτήτων

Αυτό το μέτρο γενικά εξετάζεται σε μηνιαία βάση, αν και άλλες συχνότητες είναι δυνατές ανάλογα με τη συχνότητα των επιθεωρήσεων. Το ποσοστό που προκύπτει δείχνει κατά πόσο το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης είναι αποτελεσματικό στην εύρεση προβλημάτων στον εξοπλισμό προ της βλάβης.

*Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης κάνει μια πολύ καλή εκτίμηση του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης. Αυτό κρίνεται αποτελεσματικό όταν η πλειοψηφία των δραστηριοτήτων που τελικά προκύπτει ότι πρέπει να γίνουν προβλέπονται ήδη από το πρόγραμμα.

*Αδυναμίες*

Ο δείκτης μπορεί να είναι παραπλανητικός όταν ο επιθεωρητής κάνει πολύ δουλειά ενώ στην πραγματικότητα διεξάγει μια δραστηριότητα Προληπτικής Συντήρησης. Εάν οι επιπλέον δραστηριότητες που προκύπτουν δεν καταχωρούνται ξεχωριστά, αλλά οι επιδιορθώσεις κρύβονται και χρεώνονται στις προληπτικές συντηρήσεις, τότε η αναγκαιότητα των επιθεωρήσεων αμφισβητείται.

Ένα δεύτερο ζήτημα είναι να παρακινηθούν οι επιθεωρητές να καταγράφουν τις απαραίτητες πληροφορίες και να κρατούν αρχεία. Εάν δεν καταγράφονται όλες οι δραστηριότητες, τότε δε γίνεται φανερός ο πραγματικός αριθμός των δραστηριοτήτων που περιέλαβε το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης. Σε αυτό μπορεί να οδηγήσουν και οι ελλείψεις ικανότητες των επιθεωρητών. Αυτοί πρέπει να γνωρίζουν πώς να κάνουν τους ελέγχους, τι να ψάξουν και πώς να εντοπίσουν τις πρωταρχικές αιτίες, γεγονός που επιτυγχάνεται με την καλή εξέταση και εκπαίδευση των επιθεωρητών.

***Ο Χρόνος που ο Εξοπλισμός βρίσκεται σε Λειτουργία***

Αυτός ο δείκτης μετράει το χρόνο που απαιτείται να είναι σε λειτουργία ο εξοπλισμός (uptime) για να πραγματοποιηθεί η προβλεπόμενη παραγωγή. Βοηθά έτσι να καθορίζεται κατά πόσο η επιχείρηση έχει ρεαλιστικές απαιτήσεις από τον εξοπλισμό της. Για παράδειγμα, εάν απαιτεί ο εξοπλισμός να λειτουργεί 100%, τότε καθίσταται δύσκολο να συντηρηθεί στο βαθμό που θα έπρεπε, γεγονός που θα οδηγήσει σε μελλοντικά προβλήματα.

Ο δείκτης προκύπτει εάν ευρεθεί ο επιθυμητός χρόνος λειτουργίας (uptime) μείον το χρόνο εκτός λειτουργίας (downtime) και στη συνέχεια διαιρεθεί με τον επιθυμητό χρόνο λειτουργίας:

$$\frac{\text{Επιθυμητός Χρόνος Λειτουργίας} - \text{Χρόνος Εκτός Λειτουργίας}}{\text{Επιθυμητός Χρόνος Λειτουργίας}}$$

Το αποτέλεσμα εκφράζεται ως ποσοστό. Συνήθως ο υπολογισμός γίνεται σε εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση και παρακολουθείται η τάση μέσα στο χρόνο. Μείωση του χρόνου λειτουργίας υποδεικνύει κάποιο πρόβλημα στο πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης, πιθανά μια αλλαγή στον κύκλο ζωής του εξοπλισμού. Ακόμη μπορεί να δείχνει κάποια αλλαγή στο πρόγραμμα λειτουργίας, η οποία

επηρεάζει αρνητικά τις προγραμματισμένες δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης.

#### *Δυνατότητες*

Πρόκειται για ένα χρήσιμο δείκτη καθώς τελευταία το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης σχεδιάζεται με σκοπό τη μεγιστοποίηση του χρόνου λειτουργίας (uptime). Οι περισσότερες πληροφορίες για τον υπολογισμό του χρόνου λειτουργίας προέρχονται από το προσωπικό του τμήματος παραγωγής. Η χρήση αυτού του δείκτη τους βοηθά να κατανοούν και να υποστηρίζουν το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης. Το γεγονός ότι στον υπολογισμό του δείκτη αυτού συμπεριλαμβάνονται όλοι οι χρόνοι εκτός λειτουργίας (downtime) είτε οφείλονται στη συντήρηση είτε στον έλεγχο του τμήματος παραγωγής, οδηγεί σε ακόμα μεγαλύτερη υποστήριξη από μέρους του τελευταίου.

#### *Αδυναμίες*

Η αδυναμία σε αυτό το δείκτη είναι το γεγονός ότι στον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται συχνά οι στάσεις (downtime) λόγω οποιασδήποτε αιτίας. Για το λόγο αυτό απαιτούνται ακριβή στοιχεία, ώστε να μη χρεώνονται στο πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης στάσεις που δεν μπορεί να προλάβει.

### ***Καθυστερημένες Δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης***

Αυτός ο δείκτης εξετάζει τον αριθμό των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης που δεν πραγματοποιήθηκαν στην ώρα τους σύμφωνα με το πρόγραμμα. Είναι χρήσιμος ώστε να εντοπίζεται πότε αρχίζει να μην τηρείται το πρόγραμμα. Ο δείκτης αυτός θα προβλέψει προβλήματα, καθώς όταν το πρόγραμμα αρχίζει να μην ακολουθείται, οι βλάβες και οι έκτακτες περιπτώσεις θα αρχίσουν να αυξάνονται στο άμεσο μέλλον. Είναι πιο αποδοτικός όταν χρησιμοποιείται σε εβδομαδιαία βάση και μετά εξετάζεται η τάση του μέσα σε ένα διάστημα έξι μηνών.

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται εάν διαιρεθεί ο αριθμός των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης που είναι εκπρόθεσμες με τον αριθμό εκείνων που την προκειμένη στιγμή είναι προγραμματισμένες και σε αναμονή:

$$\frac{\text{Αριθμός Καθυστερημένων Δραστηριοτήτων Προληπτικής Συντήρησης}}{\text{Συνολικός αριθμός Δραστηριοτήτων Προληπτικής Συντήρησης σε Αναμονή}}$$

Αυτός ο δείκτης αποτελεί ένα μέτρο της προσπάθειας που απαιτείται για την τήρηση του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης. Στόχος φυσικά είναι αυτό το ποσοστό να παραμένει όσο μικρότερο γίνεται.

#### *Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης είναι απαραίτητος σε κάθε επιχείρηση που θέλει να παρακολουθήσει την πρόοδο του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης. Χωρίς αυτό το δείκτη δε θα υπήρχε πρακτικά άλλος τρόπος να ελεγχθεί κατά πόσο το πρόγραμμα τηρείται.

#### *Αδυναμίες*

Η μόνη αδυναμία σε αυτό το δείκτη είναι το γεγονός ότι πρέπει να τηρούνται ακριβή αρχεία. Κάποιες επιχειρήσεις ακυρώνουν τις δραστηριότητες που καθυστέρησαν να πραγματοποιηθούν για να μη μπερδευτεί το πρόγραμμα. Αυτό



φυσικά δεν ενδείκνυται, καθώς μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των δεδομένων που αφορούν στην τήρηση του προγράμματος. Είναι καλύτερα να αποκαλύπτονται τα προβλήματα ώστε να μπορούν να διορθώνονται.

### ***Το Ποσοστό των Υπερωριών***

Αν και αυτός ο δείκτης δεν είναι πάντα ένας άμεσος δείκτης της αποτελεσματικότητας του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης, μπορεί να είναι χρήσιμος. Οι υπερωρίες γίνονται σε περιπτώσεις βλαβών και έκτακτων καταστάσεων. Υψηλά ποσοστά υπερωριών επομένως μπορούν να δείξουν ένα αναποτελεσματικό πρόγραμμα.

Ο δείκτης αυτός προκύπτει από τη διαίρεση των ωρών που δουλεύονται σαν υπερωρίες με τις συνολικές ώρες εργασίας:

$$\frac{\text{Ωρες Υπερωριών}}{\text{Συνολικές Ωρες Εργασίας}}$$

Το ποσοστό που προκύπτει δείχνει τον επιπρόσθετο χρόνο που απαιτείται για μια εργασία. Συνήθως το ποσοστό αυτό είναι 5%.

### ***Δυνατότητες***

Αυτός ο δείκτης βοηθά τους διευθυντές να παρακολουθούν την ποσότητα των επειγουσών περιπτώσεων και βλαβών που απαιτούν υπερωρίες για να πραγματοποιηθούν. Είναι σημαντικός καθώς οι υπερωρίες απαιτούν και επιπρόσθετο κόστος.

### ***Αδυναμίες***

Μερικές εταιρείες, αντί να εφαρμόζουν πρακτική υπερωριών, προτιμούν να προσλαμβάνουν περισσότερο προσωπικό, γεγονός που αποκρύπτει τις επιπρόσθετες ώρες εργασίας λόγω της ανεπάρκειας του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης.

## **3.11 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Ακολουθώς περιγράφονται τα συνηθέστερα προβλήματα που είναι απαγορευτικά ενός προγράμματος Προληπτικής Συντήρησης. Εάν συντρέχει κάτι από τα παρακάτω, θα είναι δύσκολο, εάν όχι αδύνατο, να εγκατασταθεί ένα αποδοτικό πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης.

### ***Έλλειψη Υποστήριξης από τη Διοίκηση***

Η υποστήριξη της διοίκησης είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχία ή την αποτυχία του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης. Εάν η διοίκηση δεν υποστηρίζει το πρόγραμμα, αυτό θα αποτύχει, ενώ και όλες οι υπόλοιπες πρωτοβουλίες της συντήρησης δε θα είναι απόλυτα επιτυχείς.

Για να εξασφαλιστεί η υποστήριξη της διοίκησης θα πρέπει να υπάρχουν οικονομικά στοιχεία που να τη δικαιολογούν. Θα πρέπει να πειστούν οι κατάλληλοι διευθυντές για τα πλεονεκτήματα της Προληπτικής Συντήρησης που βοηθούν την επιχείρηση να παραμένει κερδοφόρα, όπως ασφαλής για το προσωπικό και το

περιβάλλον λειτουργία του εξοπλισμού, παραγωγή Just-In-Time (JIT), ικανοποίηση των πελατών χάρη στο χαμηλό κόστος και την υψηλή ποιότητα προϊόντος και την έγκαιρη παράδοση των εμπορευμάτων, έλλειψη εφεδρικού εξοπλισμού, μειωμένη κατανάλωση ενέργειας (από 6% μέχρι και 11% λιγότερη από εξοπλισμό που δε συντηρείται επαρκώς), μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού (30-40%).

### ***Έλλειψη Ικανοτήτων για τη Συντήρηση***

Πρόκειται για ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν σήμερα τα προγράμματα Προληπτικής Συντήρησης. Τα άτομα τα οποία έχουν τις ικανότητες που απαιτούνται για τους ελέγχους και τις βασικές δραστηριότητες συντήρησης όλο και εκλείπουν. Σε αυτές τις βασικές δραστηριότητες περιλαμβάνονται η λίπανση των ρουλεμάν, με το κατάλληλο λιπαντικό, τη σωστή ποσότητα αυτού, την κατάλληλη συχνότητα και με εφαρμογή της κατάλληλης μεθόδου.

Πολλές φορές βασικές δραστηριότητες συντήρησης όπως οι παραπάνω ουσιαστικά αγνοούνται. Το πρόβλημα αφορά την εγκατάσταση και συντήρηση βασικών στοιχείων, όπως μάντες, αλυσίδες, κιβώτια ταχυτήτων, πνευματικά και υδραυλικά συστήματα. Ακόμα και όταν προβλέπονται αυτές οι δραστηριότητες από το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης, όταν δε διενεργούνται σωστά δε φέρουν αποτέλεσμα.

Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την εκπαίδευση όλων όσων χειρίζονται ή συντηρούν τον εξοπλισμό. Μετά από ικανοποιητική εκπαίδευση θα πρέπει να δημιουργείται σε αυτούς η αίσθηση ότι ο εξοπλισμός τους ανήκει, ώστε να εξασφαλίζεται ότι δε θα σταματήσουν να εφαρμόζουν όσα έμαθαν.

### ***Επιλογή Λάθους Εξοπλισμού***

Η επιλογή του εξοπλισμού στον οποίο θα εφαρμοστεί Προληπτική Συντήρηση είναι ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν πολλά προγράμματα Προληπτικής Συντήρησης κατά την εκκίνησή τους. Όταν ξεκινά η εφαρμογή του προγράμματος θα πρέπει να επιλέγεται και ο εξοπλισμός στον οποίο θα εφαρμοστεί. Ο εξοπλισμός που επιλέγεται είναι αυτός του οποίου η λειτουργία είναι μεγάλης σημασίας για την παραγωγική διαδικασία ή για τον οποίο δεν υπάρχει εφεδρεία. Εάν συμβεί κάποια βλάβη σε αυτόν, οι αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή θα είναι σημαντικές.

Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την ιεράρχηση του εξοπλισμού κατά την εκκίνησή του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης και την επιλογή εκείνου που έχει τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.

### ***Έλλειψη Ενημέρωσης του Προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης***

Αυτό το πρόβλημα εμφανίζεται αφότου το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης έχει εφαρμοστεί για κάποιο διάστημα. Το πρόγραμμα ήταν κάποτε αποτελεσματικό, μετά όμως ο αριθμός των βλαβών άρχισε να αυξάνεται. Αν και το πρόγραμμα τηρείται, τα θετικά του αποτελέσματα ελαττώνονται συνεχώς.

Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο εξοπλισμός περνάει σε μια άλλη φάση του κύκλου ζωής του. Όποιο και να ήταν στο παρελθόν το κατάλληλο επίπεδο συντήρησης, η συντήρηση χρειάζεται αλλαγές καθώς ο εξοπλισμός γίνεται πιο παλιός. Οι δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης θα πρέπει να επανεκτιμώνται με βάση τα τωρινά προβλήματα του εξοπλισμού. Εκτός από τις καθημερινές, εβδομαδιαίες και μηνιαίες δραστηριότητες θα πρέπει να

προγραμματίζονται και αυτές με συχνότητα εξαμήνου, χρόνου, δύο χρόνων. Διαφορετικά θα εξελίσσονται στα στοιχεία του εξοπλισμού προβλήματα που δεν θα έχουν εντοπιστεί και θα αστοχούν.

Οι δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης θα πρέπει να εξετάζονται με βάση τις μακροχρόνιες ανάγκες του εξοπλισμού, ώστε να εξασφαλίζεται ότι η Προληπτική Συντήρηση θα είναι αποτελεσματική καθ' όλο τον κύκλο ζωής του.

### ***Μη Τήρηση του Προγράμματος***

Τέτοιου είδους προβλήματα συμβαίνουν για πολλούς λόγους και πάντα επιδρούν στην αποτελεσματικότητα του προγράμματος της Προληπτικής Συντήρησης. Όταν οι δραστηριότητες δεν ολοκληρώνονται μέσα στο προγραμματισμένο χρονικό πλαίσιο αρχίζουν τα προβλήματα στον εξοπλισμό. Αν και ο εξοπλισμός μπορεί να μην αρχίσει αμέσως να αστοχεί, η κατάσταση πολλών από τα στοιχεία του θα αρχίσει να χειροτερεύει. Η λειτουργία του και η απόδοσή του δεν θα είναι οι επιθυμητές, ενώ η αντιμετώπιση του ενός προβλήματος δεν θα είναι αρκετή, αφού το ένα πρόβλημα οδηγεί στο άλλο. Θα χρειαστεί να γίνουν όλες οι απαραίτητες αντικαταστάσεις που θα επαναφέρουν τον εξοπλισμό σε ένα αποδεκτό επίπεδο λειτουργίας όπου η Προληπτική Συντήρηση θα είναι πάλι αποτελεσματική.

Ο μόνος τρόπος αντιμετώπισης είναι να απασχοληθεί όλο το προσωπικό για όσο χρόνο χρειαστεί για να ξαναγίνει το πρόγραμμα συμβατό με την τωρινή κατάσταση και να γίνει δυνατή η τήρησή του. Αυτό προφανώς απαιτεί και την υποστήριξη της διοίκησης γιατί μπορεί να χρειάζονται αλλαγές και στο πρόγραμμα παραγωγής.

### ***Έλλειψη Λεπτομέρειας στα Έντυπα της Προληπτικής Συντήρησης***

Η μη λεπτομερείς περιγραφές των δραστηριοτήτων είναι ένα ακόμη πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπίσει ένα πρόγραμμα Προληπτικής Συντήρησης από την εκκίνησή του ακόμα. Όταν οι δραστηριότητες δεν περιγράφονται με επαρκείς λεπτομέρειες, παραλείπονται πολλά σημεία κατά τους ελέγχους ή τις εργασίες συντήρησης.

Για παράδειγμα η δραστηριότητα «έλεγχος εάν στον κινητήρα η θερμοκρασία είναι αυξημένη» δεν καθορίζει ποια θερμοκρασία θεωρείται αυξημένη. Είναι μια αόριστη και ασαφής περιγραφή. Για τη δραστηριότητα αυτή θα πρέπει να δίνονται θερμοκρασίες, ρυθμίσεις πίεσης κ.λπ.

Μπορεί κάποιος να θεωρούν ένα τέτοιο επίπεδο λεπτομέρειας ακριβό και χρονοβόρο. Όταν όμως οι δραστηριότητες της συντήρησης δε γίνονται σωστά και παραλείπονται έλεγχοι και εργασίες, οι βλάβες είναι αναπόφευκτες και το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης αναποτελεσματικό.

Μία από τις μεγαλύτερες αιτίες αυτού του προβλήματος είναι η έλλειψη προσωπικού κατά την αρχική διαδικασία ανάπτυξης του προγράμματος. Αυτό οδηγεί σε δραστηριότητες που είναι ελλιπώς ανεπτυγμένες και άρα ανεπαρκείς.

Ο μόνος τρόπος αντιμετώπισης είναι στην αρχή να απασχολείται όσο προσωπικό χρειάζεται ώστε να αναπτύσσονται οι λεπτομέρειες κάθε δραστηριότητας εξαρχής. Έτσι τα πλεονεκτήματα της Προληπτικής Συντήρησης γίνονται άμεσα ορατά.

### ***Πληροφορίες που δεν Καταγράφονται***

Μερικές φορές αφότου το πρόγραμμα της Προληπτικής Συντήρησης έχει εγκατασταθεί και κάποιες επιθεωρήσεις έχουν ολοκληρωθεί, αυτές ποτέ δεν επανεξετάζονται και δε σημειώνονται οι παρατηρήσεις, ώστε να υπάρχουν

καταγεγραμμένα στοιχεία. Αυτό συνήθως συμβαίνει γιατί δεν υπάρχει το απαραίτητο προσωπικό που θα μεταφέρει τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων σε μια βάση δεδομένων ώστε να μπορούν να αναλυθούν. Σαν αποτέλεσμα τα σχόλια των επιθεωρητών χάνονται και μαζί όποια ακόλουθη απαραίτητη δραστηριότητα θα προέκυπτε από αυτά. Αυτό το πρόβλημα δεν επιτρέπει την εκτίμηση των αποτελεσμάτων και της αποδοτικότητας της Προληπτικής Συντήρησης. Επομένως το πρόγραμμα θα χειροτερεύει καθώς ο εξοπλισμός παλιώνει και δε θα μπορεί να ανταποκριθεί στις νέες ανάγκες του.

Η έλλειψη συλλογής δεδομένων πολύ συχνά οφείλεται στην έλλειψη ενός εύχρηστου Υπολογιστικού Συστήματος Οργάνωσης και Διοίκησης της Συντήρησης (Computerized Maintenance Management System - CMMS). Ελλείψει προσωπικού οποιοδήποτε CMMS χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των δεδομένων πρέπει να παρέχει ευκολία εισαγωγής και ανάλυσής τους.

Η επίλυση αυτού του προβλήματος αφορά σε δύο μέρη. Καταρχήν θα πρέπει να καθορίζεται πόσα άτομα θα πρέπει να στελεχώνουν αυτή την προσπάθεια με βάση την ποσότητα των δεδομένων και την ανάλυση που απαιτούν. Όταν το προσωπικό δεν είναι επαρκές, η ακρίβεια και η αξία των όσων στοιχείων συλλέγονται είναι αμφισβητούμενα. Όταν η στελέχωση γίνει, το τμήμα συντήρησης θα πρέπει να προμηθευτεί το καλύτερο CMMS που μπορεί, γεγονός που θα διευκολύνει την εργασία της καταχώρησης και ανάλυσης των δεδομένων από το προσωπικό.

### **3.12 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Η πρόληψη βλαβών με την εφαρμογή της Προληπτικής Συντήρησης βασίζεται στην περιοδική επιθεώρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει κύρια: ελέγχους, επιθεωρήσεις, αποκαταστάσεις, επισκευές, αντικαταστάσεις. Με την εφαρμογή του συστήματος μειώνεται ο κίνδυνος πρόκλησης μεγάλων ζημιών και αυξάνεται η παραγωγική λειτουργία. Παραμένει εν τούτοις η πιθανότητα αστοχίας μεταξύ δύο περιοδικών ελέγχων, καθώς η συχνότητα εμφάνισης βλαβών είναι εκ φύσεως τυχαία.. Εκτός αυτών πολλές φορές:

- αγνοείται η ενσωματωμένη κατασκευαστική αξιοπιστία (built-in reliability) του κάθε συστήματος,
- αντικαθίστανται εξαρτήματα που δεν έχουν εξαντλήσει τα ωφέλιμα όρια ζωής τους,
- αποσυναρμολογούνται μηχανήματα χωρίς λόγο.

Επιπλέον προβλήματα προκύπτουν κατά τον προγραμματισμό και την εφαρμογή αυτής της πρακτικής συντήρησης. Σε πολλές περιπτώσεις η διαφοροποίηση των συνθηκών λειτουργίας του εξοπλισμού από τις προδιαγεγραμμένες οδηγεί σε πρόωρες αστοχίες. Σε πολλές κατηγορίες εξοπλισμού δεν υπάρχουν δεδομένα για τις σχετικές επιτρεπτές ώρες λειτουργίας. Όταν αυτά υπάρχουν, δεδομένου του συντηρητικού υπολογισμού των επιτρεπτών ωρών λειτουργίας από τους κατασκευαστές το κόστος συντήρησης αυξάνεται αναίτια. Τα επιβαλλόμενα διαστήματα επισκευής δε συμπίπτουν με το συνολικό προγραμματισμό της παραγωγής ή τον καθυστερούν αναίτια.

Συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Προληπτικής Συντήρησης παρουσιάζονται ακολούθως.

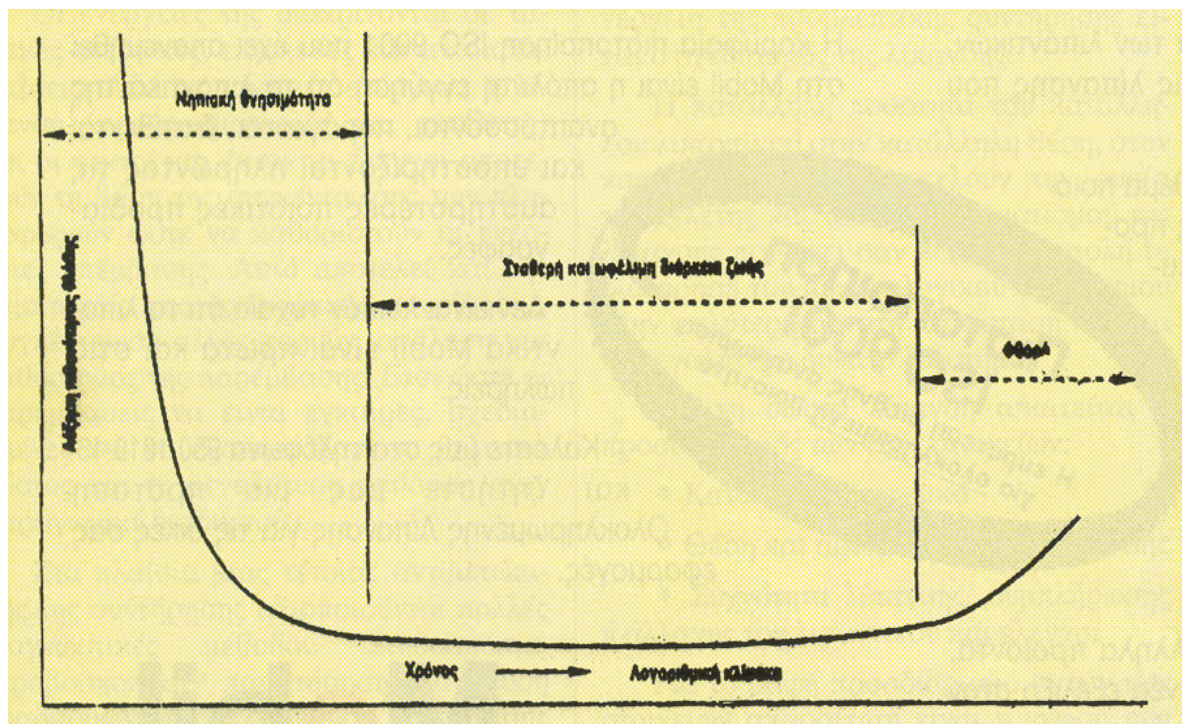
- **Πλεονεκτήματα**

- Σημαντική μείωση εμφάνισης βλαβών και του αριθμού και της έκτασης των απαιτούμενων επιδιορθώσεων σε σχέση με τη Λειτουργία ως τη Βλάβη, άρα και λιγότερες διακοπές της παραγωγικής διαδικασίας.
  - Η εργασία του προσωπικού αποδίδει οικονομικά.
  - Η συντήρηση μπορεί να σχεδιαστεί καλύτερα όταν προγραμματίζεται εκ των προτέρων (πρόβλεψη απαραίτητου ανθρώπινου δυναμικού και υλικών).
  - Μειωμένες πιθανότητες εκδήλωσης εργατικών ατυχημάτων κυρίως λόγω προγραμματισμένων επεμβάσεων, αλλά και λόγω καλής κατάστασης του εξοπλισμού.
  - Αυξημένη ποιότητα συντήρησης (λιγότερη πίεση χρόνου) και μεγάλη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.
  - Αυξημένη ποιότητα προϊόντος και μείωση των απορριπτόμενων προϊόντων χάρη στην καλύτερη γενική κατάσταση του εξοπλισμού.
  - Μείωση του κόστους των επισκευών λόγω της μείωσης των δευτερευουσών αστοχιών (καθώς, όταν κάποια στοιχεία αστοχούν κατά τη λειτουργία, συχνά καταστρέφουν και άλλα στοιχεία).
  - Γίνεται αναγνώριση του εξοπλισμού με αυξημένο κόστος συντήρησης, γεγονός που αποκαλύπτει την ανάγκη είτε διορθωτικής συντήρησης είτε εκπαίδευσης του προσωπικού είτε αντικατάστασης απηρχαιωμένου εξοπλισμού.
  - Μειωμένο κόστος λόγω υπερωριών και οικονομικότερη χρήση των τεχνικών συντήρησης, καθώς αυτοί δουλεύουν βάση προγράμματος και όχι εκτάκτως για την αποκατάσταση ξαφνικών βλαβών.
- **Μειονεκτήματα**
    - Αύξηση των δραστηριοτήτων και του κόστους συντήρησης.
    - Γίνονται περιττές και παρεμβατικές συντηρήσεις.
    - Αυξημένο κόστος συντήρησης λόγω ανάλωσης πολλών ανταλλακτικών τα οποία δεν έχουν εξαντλήσει το όριο ζωής τους, αλλά και λόγω μαζικών συντηρήσεων σε μηχανήματα που δεν το απαιτούσαν, επειδή έχουν συμπληρώσει την προγραμματισμένη περίοδο λειτουργίας.
    - Μειωμένη, αν και αυξημένη σε σχέση με τη Λειτουργία ως τη Βλάβη, διαθεσιμότητα του εξοπλισμού, αφού απαιτούνται συχνά σταματήματα για περιοδικούς ελέγχους και συντήρηση.
    - Αυξημένο προσωπικό συντήρησης (συνεργεία ελέγχου και επεμβάσεων).
    - Η Προληπτική Συντήρηση μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε φθορά του εξοπλισμού που σχετίζεται με τη διάρκεια ζωής του.
    - Σημαντική φθορά στο σύστημα σε περίπτωση που στοιχεία του παρουσιάσουν πρόβλημα πριν την προγραμματισμένη τους αλλαγή.
    - Ενέχεται ο κίνδυνος καταστροφής παρακείμενου στοιχείου κατά την εκτέλεση μιας δραστηριότητας συντήρησης.
    - Αυξημένο κόστος λειτουργίας από τη μειωμένη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.
    - Ακαμψία προγραμμάτων και αδυναμία συνεργασίας με την παραγωγική διαδικασία για την εξεύρεση κατάλληλου χρόνου σταματήματος των μηχανημάτων.
    - Η αποκατάσταση της καλής κατάστασης του εξοπλισμού, ώστε να είναι σαν καινούριος, που επιτυγχάνει η Προληπτική Συντήρηση συχνά δεν είναι επιθυμητή εξαιτίας της αυξημένης πιθανότητας «νηπιακής θνησιμότητας».

Σαν αποτέλεσμα των προβλημάτων των παραδοσιακών μορφών συντήρησης, δηλαδή της Λειτουργίας ως τη Βλάβη και της Προληπτικής Συντήρησης, τουλάχιστον το 33% του συνολικού κόστους συντήρησης οφείλεται σε μη απαραίτητες ή αναποτελεσματικές δράσεις συντήρησης. Η σημαντικότερη παράλειψη στους υπολογισμούς κόστους που γίνεται τόσο στην υιοθέτηση της Λειτουργίας ως τη Βλάβη όσο και της απλής Προληπτικής Συντήρησης είναι το συνεπαγόμενο κόστος από το απρόβλεπτο σταμάτημα της παραγωγικής διαδικασίας λόγω της αστοχίας του εξαρτήματος/μηχανήματος. Εάν δε σκεφτεί κανείς ότι οι μέσες τιμές αστοχιών για τη «νηπιακή» περίοδο των μηχανημάτων είναι της τάξης του 12-16% καταλαβαίνει τη σημασία και το μέγεθος των πιθανών απωλειών.

Τα ανωτέρω εξηγούνται με το διάγραμμα του Σχήματος 3.6. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ο τυπικός κύκλος ζωής ενός εξαρτήματος/μηχανήματος και οι πιθανότητες αστοχίας του σε κάποια φάση της ζωής του. Η αποτύπωση του διαγράμματος αυτού ξεκίνησε από την εμπειρία της αεροδιαστημικής βιομηχανίας στις Η.Π.Α., αλλά η ισχύς του γρήγορα επεκτάθηκε σε όλη τη βιομηχανία. Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι ένα μηχάνημα έχει περισσότερες πιθανότητες να αστοχήσει όταν είναι καινούριο («νηπιακή θνησιμότητα»). Το διάγραμμα αυτό επίσης εξηγεί γιατί από ένα χρονικό σημείο και πέρα η Λειτουργία ως τη Βλάβη μπορεί να φαίνεται πιο οικονομική προσέγγιση από την Προληπτική Συντήρηση.

Τόσο στη Λειτουργία ως τη Βλάβη όμως όσο και στην Προληπτική Συντήρηση είναι φανερό ότι οι πιθανότητες αστοχίας ενός μηχανήματος εξακολουθούν να υπάρχουν και πριν αλλά και μετά από κάθε παρέμβαση της συντήρησης. Για ένα μηχάνημα για παράδειγμα που προορίζεται να ζήσει για 20 χρόνια και υφίσταται Προληπτική Συντήρηση κάθε 3 χρόνια υπάρχουν 8 περίοδοι μέσα στις οποίες σύμφωνα με το διάγραμμα «κύκλου-ζωής» μπορεί να αστοχήσει. Έστω και αν οι πιθανότητες αστοχίας είναι μειωμένες κατά την περίοδο της ωφέλιμης ζωής του, αυτές δεν παύουν να υπάρχουν.



Σχήμα 3.6. Γραφική παράσταση κύκλου-ζωής εξαρτημάτων.

Πέρα από την επίδραση στο κόστος, τουλάχιστον εξίσου σημαντική είναι η επίδραση της αναποτελεσματικής συντήρησης σε ένα άλλο σύνολο πρόσθετων παραγωγικών απαιτήσεων, όπως ασφάλεια προσωπικού και εγκαταστάσεων, μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, παραγωγή προϊόντων ποιότητας κ.λπ. Κύρια αιτία για την αναποτελεσματική συντήρηση αποτελεί η έλλειψη πραγματικών δεδομένων με τα οποία είναι δυνατόν να τεκμηριωθεί με πραγματικά τεκμηριωμένα ποσοτικά κριτήρια η λήψη απόφασης για την ανάγκη επισκευής ή συντήρησης.

Με αυτό το στόχο έχει αναπτυχθεί διεθνώς ένα σύγχρονο πλαίσιο μεθόδων και τεχνολογιών για τη σταδιακή μετατόπιση του ρόλου της συντήρησης από τις παραδοσιακές διαδικασίες επισκευής-αποκατάστασης σε διαδικασίες πρόληψης-πρόβλεψης, σκοπεύοντας τελικά στην αύξηση της διαθεσιμότητας της εγκατάστασης.

## **ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (PREVENTIVE MAINTENANCE)**

### **4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Όπως ήδη αναφέρθη, το κρίσιμο σημείο για την επίτευξη μιας αποτελεσματικότερης συντήρησης ήταν να βρεθούν εκείνες οι τεχνικές συντήρησης που από τη μια θα ταίριαζαν στη συγκεκριμένη δραστηριότητα της εκάστοτε επιχείρησης (βιομηχανική, μεταφορική, κατασκευαστική κ.λπ.) και από την άλλη θα διασφάλιζαν:

- Πρόβλεψη των επικείμενων προβλημάτων και σχεδιασμό της αντιμετώπισής τους πολύ πριν γίνουν καταστροφικά.
- Μείωση των πιθανοτήτων αστοχίας στο στάδιο της «νηπιακής» ηλικίας και περιορισμός των επιπτώσεων όταν αυτή υπάρξει.
- Εφαρμογή ενός προγράμματος ποιοτικής διασφάλισης και συνέχειας της λειτουργίας των καινούριων ιδιαίτερα μηχανημάτων και γενικά όλου του μηχανολογικού εξοπλισμού.
- Παρακολούθηση και καταγραφή όλων των παραμέτρων της συντήρησης έτσι ώστε τα στοιχεία που συλλέγονται να αξιοποιούνται και τα συμπεράσματα να αποτελούν οδηγό δράσης για τη βελτίωση της παραγωγικής δραστηριότητας.

Με στόχο τα παραπάνω, τα οποία τελικά αποσκοπούν στη σταδιακή μετατόπιση των εργασιών συντήρησης από εργασίες αποκατάστασης-επισκευής σε διαδικασίες πρόληψης-πρόβλεψης, αναπτύχθηκε η Προβλεπτική Συντήρηση.

Η μέθοδος της Προβλεπτικής Συντήρησης βασίζεται στη χρήση συστημάτων μέτρησης και ελέγχου που επιτρέπουν την ουσιαστική διάγνωση της πραγματικής φυσικής κατάστασης του εξοπλισμού όσο αυτό βρίσκεται σε λειτουργία (μη παρεμβατική μέθοδος). Στόχος είναι η πρόγνωση του χρόνου επισκευής ή συντήρησης πριν από την εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων ή βλαβών.

Η Προβλεπτική Συντήρηση επομένως κάνει χρήση των θετικών χαρακτηριστικών από τις δύο προηγούμενες μεθόδους με το βέλτιστο δυνατό συνδυασμό τους για να επιτύχει καλύτερα αποτελέσματα. Έχει το στοιχείο της πρόληψης στην εμφάνιση βλάβης (Προληπτική Συντήρηση), αλλά χρησιμοποιεί την πρόγνωση προκειμένου να επέμβει διορθώνοντας έγκαιρα τη βλάβη (Διορθωτική Συντήρηση) όταν πλέον αυτή είναι αναπόφευκτη.

Αυτή η προσέγγιση έχει μειωμένο κόστος σε σχέση με τη με βάση κάποια συχνότητα επαναλαμβανόμενη Προληπτική Συντήρηση επειδή οι δραστηριότητες της συντήρησης εκτελούνται μόνο όταν είναι δικαιολογημένες.

Η εφαρμογή ενός συστήματος Προβλεπτικής Συντήρησης απαιτεί καλή οργάνωση και υποδομή των συνεργείων, τα οποία όμως δε διαχωρίζονται σε συνεργεία ελέγχου



και επεμβάσεων. Χωρίζονται και αποκεντρώνονται σε μικρότερους τομείς ευθύνης που εκτελούν όλους τους ελέγχους και επεμβάσεις.

Ακολουθείται πρόγραμμα το οποίο προκύπτει σε συνεργασία με τους υπεύθυνους παραγωγής για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της λειτουργίας του εξοπλισμού. Η κατάσταση και η απόδοση του εξοπλισμού παρακολουθούνται συνεχώς δυναμικά (condition monitoring). Οι περισσότεροι έλεγχοι των μηχανημάτων γίνονται κατά τη διάρκεια που αυτά λειτουργούν. Τα στοιχεία που προκύπτουν δίνουν πληροφορίες για την κατάσταση του μηχανήματος και βοηθούν στην πρόβλεψη του χρόνου επέμβασης για συντήρηση ή διόρθωση. Μόνο όταν προγραμματιστεί η επισκευή γίνεται διακοπή της λειτουργίας του.

Ο απώτερος σκοπός της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι να πραγματοποιεί τις εργασίες συντήρησης σε μια προγραμματισμένη χρονική στιγμή πριν ο εξοπλισμός αστοχήσει εν λειτουργία και όταν η συντήρηση είναι οικονομικά δικαιολογημένη, δηλαδή όταν το κόστος της δεν υπερβαίνει αυτό που θα επέφερε η βλάβη του εξοπλισμού.

Ενώ η φιλοσοφία της Προληπτικής Συντήρησης αφορά περισσότερο τις εξαρτώμενες από το χρόνο αστοχίες, η Προβλεπτική Συντήρηση ασχολείται με τα τυχαία και ξαφνικά εμφανιζόμενα προβλήματα τα οποία προσπαθεί να εντοπίσει και να διορθώσει εγκαίρως. Αν και οι αστοχίες δεν είναι δυνατό να ελεγχθούν πλήρως, με την εγκατάσταση αυτής της μεθόδου συντήρησης μπορούν να μειωθούν σημαντικά οι τυχαία εμφανιζόμενες αστοχίες και οι επιπτώσεις τους.

## **4.2 ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

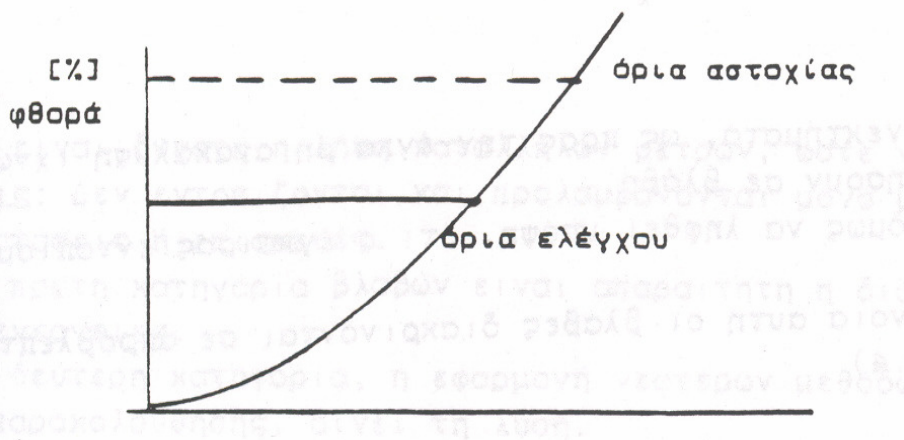
Με βάση τα παραπάνω η πρόβλεψη ή πρόγνωση της αστοχίας με τη λειτουργική παρακολούθηση (real time monitoring) είναι μία πρακτική που αναπτύχθηκε από την ανάγκη βελτιστοποίησης της χρήσης των μέσων παραγωγής σε συνδυασμό με το οικονομικό αποτέλεσμα. Είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο έλεγχος κρίσιμων σημείων μιας παραγωγικής γραμμής ώστε να προλαμβάνονται βλάβες με έγκαιρες επεμβάσεις. Η πείρα έχει αποδείξει ότι το συνολικό κέρδος μιας επιχείρησης μπορεί να αυξηθεί έως και 3% με τη συστηματική χρήση των μέσων πρόβλεψης, γεγονός που οφείλεται τόσο στη μείωση των νεκρών χρόνων όσο και στη μείωση των δαπανών συντήρησης.

Οι κύριες δραστηριότητες της συντήρησης αφορούν σε αντικαταστάσεις, τακτικές ενέργειες και επισκευές. Από τις τακτικές ενέργειες οι έλεγχοι και η λίπανση αποτελούν τη βάση της πρόβλεψης με την έννοια της εξακρίβωσης μελλοντικών αναγκών. Εκτελούνται με απλά μέσα ή με ειδικές συσκευές και μεθόδους.

Η βασική φιλοσοφία της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι η συγκέντρωση πληροφοριών της συμπεριφοράς των μηχανών με ελέγχους και επιθεωρήσεις που γίνονται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επακολουθεί η επεξεργασία τους με συγκεκριμένες μεθόδους. Η γενική μεθοδολογία έχει σχέση με την παρακολούθηση της εξέλιξης των διαφόρων φαινομένων ή ευρημάτων που αφορούν πρόοδο φθορών ή γεγονότων που οδηγούν σε βλάβες, καθώς βασίζεται στο γεγονός ότι οι αστοχίες δε συμβαίνουν στιγμιαία αλλά εξελίσσονται μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα. Τα ευρήματα αυτά οφείλονται συνήθως σε μηχανικά ή λειτουργικά αίτια, στην επίδραση του περιβάλλοντος ή και στα δύο μαζί.

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Είτε η εξέλιξή τους να κρίνεται φυσιολογική είτε να είναι απότομη. Επομένως η εμφάνιση και η πρόοδός τους εξετάζονται σε συνάρτηση

με το χρόνο. Με την έννοια αυτή καθορίζονται χρονικά όρια επεμβάσεων ή αντικαταστάσεων (βλ. Σχήμα 4.1) πριν το γεγονός συγκεκριμένης αστοχίας δημιουργήσει ευρύτερες ανωμαλίες.



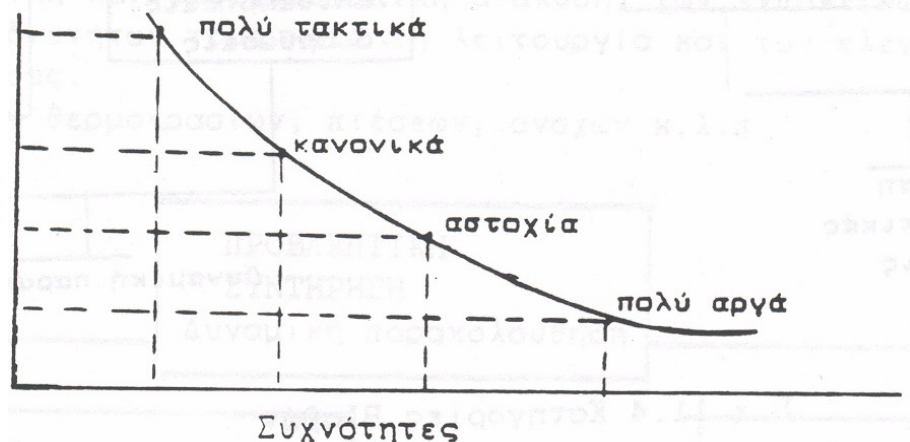
Σχήμα 4.1: Χρονικά όρια ελέγχου.

Ανάλογα με τα συμπεράσματα επιλέγονται οι κατάλληλες ενέργειες που εξασφαλίζουν την όσο το δυνατό μεγαλύτερη παραμονή της λειτουργίας ενός συστήματος στα φυσιολογικά όρια.

Με την εμπειρία που θα αποκτηθεί από την εφαρμογή του προγράμματος είναι δυνατός και ο προσδιορισμός της «φυσιολογικής ή απότομης» εξέλιξης των φθορών.

Ένα άλλο σημαντικό μέγεθος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν είναι η συχνότητα των ελέγχων και των επιθεωρήσεων (βλ. Σχήμα 4.2). Εάν οι έλεγχοι γίνονται πολύ τακτικά τότε έχουμε σημαντική οικονομική επιβάρυνση. Στην αντίθετη περίπτωση αύξηση των αστοχιών. Η καλύτερη προσέγγιση και των δύο περιπτώσεων βασίζεται στην έρευνα της συμπεριφοράς του εξοπλισμού και σε δοκιμές κατά τα αρχικά στάδια της εφαρμογής.

### Δαπάνες Συντήρησης



Σχήμα 4.2: Συχνότητα ελέγχων.

### 4.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι τακτικοί έλεγχοι και επιθεωρήσεις παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα ως προς την έγκαιρη ανακάλυψη ιχνών που είναι δυνατό να οδηγήσουν σε βλάβη. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι ο έγκαιρος εντοπισμός δεν είναι πάντα δυνατός. Με την έννοια αυτή οι βλάβες διακρίνονται σε απρόβλεπτες και σε φυσιολογικές.

*Απρόβλεπτες Βλάβες:* Εμφανίζονται κατά τρόπο τυχαίο έτσι ώστε κάθε έννοια πρόβλεψης δεν είναι δυνατή. Διακρίνονται σε:

- Εμφανείς, οι οποίες είναι δυνατό να εντοπιστούν επειδή δεν εξελίσσονται απότομα, αλλά χρειάζονται κάποιο χρόνο. Προκειμένου να προληφθούν απαιτείται συνεχής παρακολούθηση.
- Αφανείς, οι οποίες δεν εντοπίζονται και εξελίσσονται απότομα. Στην περίπτωση αυτή οι βλάβες καταγράφονται και προσδιορίζονται τα αίτια. Γίνεται η διάγνωση και στη συνέχεια λαμβάνονται τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα.

*Φυσιολογικές Βλάβες:* Εξελίσσονται χρονικά με γνωστό τρόπο και ρυθμό. Οφείλονται κύρια στις φθορές, αλλαγή της δομής των υλικών κατά τη λειτουργία, χημικές επιδράσεις, μηχανικές καταπονήσεις, θερμοκρασίες. Διακρίνονται σε:

- Εμφανείς, οι οποίες εντοπίζονται και ανιχνεύονται με επιθεωρήσεις και ελέγχους. Έτσι είναι δυνατή η λήψη κατάλληλων μέτρων, ώστε να μην εξελιχθούν.
- Αφανείς, οι οποίες δεν εντοπίζονται και προλαμβάνονται μόνο με προγραμματισμένες αντικαταστάσεις και επισκευές.

Στην πρώτη κατηγορία βλαβών είναι απαραίτητη η διάγνωση και οι διορθωτικές ενέργειες.

Στη δεύτερη κατηγορία η εφαρμογή νεότερων μεθόδων συστηματικής δυναμικής παρακολούθησης δίνει λύση.

### 4.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ (CONDITION MONITORING)

Η Προβλεπτική Συντήρηση βασίζεται στη δυναμική παρακολούθηση των μηχανών και περιλαμβάνει διαδικασίες έμμεσων και άμεσων επεμβάσεων.

Οι έμμεσες επεμβάσεις έχουν σχέση με τους Λειτουργικούς Ελέγχους (trend monitoring) όπου με ειδικά όργανα και μεθοδολογία παρακολουθείται η συμπεριφορά του εξοπλισμού. Διακρίνουμε εδώ κύρια:

- Την τεχνική της ανάλυσης των μηχανικών ταλαντώσεων περιστρεφόμενων μαζών.
- Τη χημική και φασματοσκοπική ανάλυση των λιπαντικών για την εξακρίβωση των ιδιοτήτων τους κατά τη λειτουργία και τον έλεγχο του επιπέδου μόλυνσής τους.
- Μέτρηση θερμοκρασιών, πιέσεων, ανοχών κ.λπ.

Οι άμεσες επεμβάσεις έχουν σχέση με τις Επιθεωρήσεις Κατάστασης (condition checking):

- συνεργαζόμενων επιφανειών (οδοντωτών τροχών, ρουλεμάν, κουζινέτων κ.λπ.),
- μηχανών εσωτερικής καύσης,
- εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών λειτουργικών διατάξεων (λέβητες, δεξαμενές, αγωγοί) κ.λπ.

Ένα πολύ σημαντικό σημείο στην εφαρμογή του συστήματος είναι η ικανότητα αξιολόγησης των ευρημάτων. Κατά πόσο δηλαδή αποτελούν ενδείξεις ή προβλέψεις πιθανής βλάβης, εξέλιξης φθορών, κανονικής ή μη λειτουργίας.

Για την ανάπτυξη του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι απαραίτητα:

1. η επιλογή των μηχανημάτων που θα υπαχθούν στο πρόγραμμα παρακολούθησης,
2. ο καθορισμός του είδους συντήρησης (π.χ. περιοδική με προδιαγραφές, ομοιόμορφα, ετήσια) των υπολοίπων, ώστε να υπάρχει ενιαίος προγραμματισμός και σχεδιασμός του συνόλου των εργασιών της συντήρησης,
3. η ορθολογική οργάνωση της λίπανσης με στόχο:
  - τον καθορισμό του όγκου εργασίας,
  - τη βελτίωση των μεθόδων,
  - αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της ποικιλίας των λιπαντικών,
  - τη λειτουργική παρακολούθηση των λιπαντικών,
  - τον έλεγχο του επιπέδου μόλυνσης των λιπαντικών,
  - τις ενέργειες ποιοτικής αντικατάστασής τους,
4. την ανάπτυξη βάσεων δεδομένων (data bases) και μεθόδων επεξεργασίας τους (data processing).

Με βάση τα προηγούμενα χρειάζονται επομένως:

- απογραφή, κωδικοποίηση και αναγνώριση του μηχανολογικού εξοπλισμού,
- προδιαγραφές λειτουργίας του επιλεγέντος εξοπλισμού,
- καθορισμός όγκου εργασιών,
- περιγραφή είδους εργασιών,
- καθορισμός είδους ελέγχων,
- έκδοση οδηγιών συντήρησης και λίπανσης,
- συντονισμός, τεχνικός και χρονικός προγραμματισμός, οργάνωση,
- εκπαίδευση προσωπικού.

Εκείνο που αποτελεί την ποιοτική διαφορά του συστήματος από οποιοδήποτε άλλο είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η παρακολούθηση του παραγωγικού δυναμικού, η ακρίβεια των μετρήσεων και κυρίως ο τρόπος αξιολόγησης των ευρημάτων.

#### **4.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Οι κύριες απαιτήσεις εφαρμογής του συστήματος της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι:

- Σε προσωπικό:
  - Ειδικευμένοι Μηχανικοί Συντήρησης
  - Ειδικευμένο τεχνικό προσωπικό
- Σε εκπαίδευση σχετικά με:
  - Θεωρία μηχανικών ταλαντώσεων
  - Επεξεργασία σημάτων
  - Όργανα
  - Πληροφορική
  - Άλλες τεχνικές (ανάλυση λιπαντικών, επιθεωρήσεις επιφανειών, αξιολογήσεις βλαβών κ.λπ.)

- Σε εμπειρία:  
Ίσως είναι η σημαντικότερη απαίτηση. Ο έλεγχος και η επιθεώρηση είναι έννοιες ταυτόσημες με την άμεση αντίληψη, τη γρήγορη αντίδραση, τη λήψη απόφασης και τη σωστή εκτέλεση.
- Σε όργανα και εργαλεία, όπως:
  - Ανιχνευτές και αισθητήρια λήψης σημάτων
  - Αναλυτές ταλαντώσεων ή σημάτων
  - Ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

#### **4.6 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Η εφαρμογή της Προβλεπτικής Συντήρησης δεν περιλαμβάνει ολόκληρο τον εξοπλισμό, αλλά τα βασικά και κύρια σημεία του, η συνεχής και αδιάκοπη λειτουργία των οποίων είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Βασική επιδίωξη της εφαρμογής συστήματος Προβλεπτικής Συντήρησης είναι η πρόβλεψη (prevention) και εξάλειψη των αιτίων που οδηγούν ένα λειτουργικό σύστημα σε αστοχία (βλάβη). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό δε βασίζονται μόνο σε στατικά ή στατιστικά δεδομένα, όπως π.χ. συστάσεις κατασκευαστών, εμπειρία, συνήθειες, ιστορικά στοιχεία κ.λπ., αλλά έχουν σχέση με τη δυναμική λειτουργική παρακολούθηση (condition monitoring) του μηχανολογικού εξοπλισμού. Με τη βοήθεια των συστημάτων συγκέντρωσης πληροφοριών (integrated systems, real time monitors κ.λπ.) και ελέγχου συνθηκών λειτουργίας (condition control) οδηγούμεθα στην πρόληψη μέσω προβλέψεων και προγνώσεων.

Τα πληροφοριακά αυτά συστήματα σε συνδυασμό με τα ανάλογα ελέγχου παραγωγής (production control) συνθέτουν το φάσμα της πραγματικής παρακολούθησης της απόδοσης των εγκαταστάσεων. Έτσι είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ωφέλιμου χρόνου ζωής εξαρτημάτων ή μηχανημάτων μέχρι την προσεχή επέμβαση, πριν η λειτουργία τους καταστεί κρίσιμη και ο εκ των προτέρων σχεδιασμός και προγραμματισμός των εργασιών. Η διασύνδεσή τους (interface) με ολοκληρωμένα πληροφοριακά συστήματα (integrated systems) ελέγχου της συντήρησης είναι πολύ σημαντική για την έγκαιρη λήψη σοβαρών αποφάσεων.

Η Προβλεπτική Συντήρηση σαν σχεδιασμός περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία μακροχρόνιου προγραμματισμού υποστήριξης του εξοπλισμού. Γίνεται δε χρήση εξελιγμένων μεθόδων προσδιορισμού της βέλτιστης λύσης (επιχειρησιακός σχεδιασμός). Τα κριτήρια είναι οικονομοτεχνικά με την έννοια της αύξησης των εσόδων από τα οποία αφαιρούνται κάθε φορά οι δαπάνες βελτίωσης της συντήρησης.

#### **4.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Από την πρώτη ημέρα αγοράς του ακριβού εξοπλισμού μιας διαγνωστικής τεχνολογίας για τις ανάγκες της Προβλεπτικής Συντήρησης ή του συμβολαίου με τον εξωτερικό συνεργάτη που την αναλαμβάνει οι υπεύθυνοι παρακολούθησης του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης πρέπει να μπορούν συνεχώς να δικαιολογούν τις δαπάνες για τα κεφάλαια και το ανθρώπινο δυναμικό που αυτό δεσμεύει.

Σε αντίθεση με τον εξοπλισμό ή τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή, τα οικονομικά πλεονεκτήματα από την εφαρμογή των διαγνωστικών τεχνολογιών για την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας δεν είναι εύκολο

να εκτιμηθούν. Τα άμεσα κόστη μιας επιχείρησης περιλαμβάνουν το ανθρώπινο δυναμικό της παραγωγής και τις πρώτες ύλες. Το ανθρώπινο δυναμικό που απασχολεί η συντήρηση και ό,τι άλλο χρειάζεται συμπεριλαμβάνονται στα έμμεσα κόστη, που συνήθως αναφέρονται και ως γενικά έξοδα, ενώ η επίδρασή της στο κόστος παραγωγής ανά μονάδα προϊόντος είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί.

Ο υπολογισμός των οικονομικών πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης μπορεί να γίνει εάν ληφθούν υπόψη το κόστος του προγράμματος και η μείωση του άμεσου και του έμμεσου κόστους που επιφέρει η εφαρμογή του. Εάν υπολογιστεί το συνολικό κέρδος από τη μείωση του άμεσου και του έμμεσου κόστους και από αυτό αφαιρεθεί το κόστος του προγράμματος προκύπτει το καθαρό κέρδος της επένδυσης στο πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης. Αυτή είναι μια συνηθισμένη μέθοδος έκφρασης του οικονομικού κέρδους ενός προγράμματος Προβλεπτικής Συντήρησης το οποίο σε ετήσια βάση ανακοινώνεται στην επιχείρηση και μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις της για χρηματοδότηση της συνέχισης ή και της επέκτασης του προγράμματος.

#### **4.7.1 ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ**

Το κόστος του προγράμματος τυπικά περιλαμβάνει τον εξοπλισμό, τις προμήθειες, το ανθρώπινο δυναμικό και τα γενικά έξοδα. Το κόστος του εξοπλισμού μπορεί να είναι είτε ενοίκιο είτε το κεφάλαιο που επενδύθηκε για την αγορά του. Το ενοίκιο αποτελεί ένα απλό άμεσο κόστος. Η αξία όμως του κεφαλαίου που επενδύθηκε για τον εξοπλισμό πρέπει να επανεκτιμάται κάθε μήνα ή χρόνο ανάλογα για να υπολογίζεται η μείωσή της λόγω παλαιότητας. Οι προμήθειες, που μπορεί να είναι αναλώσιμα ή όχι, πρέπει να υπολογίζονται με βάση τα αναμενόμενα ποσοστά χρήσης ή κατανάλωσης. Κατά την κοστολόγηση του ανθρώπινου δυναμικού θα πρέπει να υπολογίζονται όλες οι ώρες εργασίας που καταναλώνονται για την υποστήριξη του προγράμματος και να χρησιμοποιούνται τα κριτήρια της επιχείρησης για την ένταξη των στελεχών στις διάφορες κατηγορίες μισθοδοσίας. Τέλος τα γενικά έξοδα περιλαμβάνουν τις υπηρεσίες υποστήριξης, τις προμήθειες και οτιδήποτε άλλο παρέχεται στο πρόγραμμα και κανονικά θα χρησιμοποιούνταν σε κάποιο άλλο τομέα της επιχείρησης.

Το κόστος του προγράμματος θα πρέπει να υπολογίζεται ξανά κάθε φορά που γίνεται κάποια αλλαγή σε οποιαδήποτε από τις παραμέτρους του, όπως αύξηση ή μείωση του ανθρώπινου δυναμικού, αγορά καινούριου εξοπλισμού ή ανάθεση επιπρόσθετων ευθυνών στα στελέχη.

#### **4.7.2 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΧΡΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ**

Η εξοικονόμηση χρημάτων που προκύπτει από το άμεσο κόστος είναι η σημαντικότερη και αφορά τη μείωση των ετήσιων ασφαλιστρών και τη μείωση της συχνότητας ή τη διακοπή κάποιων δραστηριοτήτων Προληπτικής Συντήρησης, που προκύπτουν χάρη στην εφαρμογή του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης. Κάθε φορά που υπάρχουν επιπρόσθετες περικοπές στα ασφάλιστρα ή τις δραστηριότητες της Προληπτικής Συντήρησης θα πρέπει να υπολογίζονται ξανά τα χρήματα που εξοικονομούνται. Κάποιες φορές μπορεί τα δεδομένα που προκύπτουν από τους διαγνωστικούς ελέγχους να υποδεικνύουν την αναγκαιότητα αύξησης των δραστηριοτήτων της Προληπτικής Συντήρησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να αφαιρούνται τα ανάλογα ποσά από τα κέρδη λόγω ελάττωσης των προληπτικών

συντηρήσεων τα οποία όμως μετά συμπεριλαμβάνονται στα κέρδη από το έμμεσο κόστος λόγω της αύξησης της αξιοπιστίας του εξοπλισμού.

#### **4.7.3 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΧΡΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ**

Αν και η εκτίμηση της μείωσης του έμμεσου κόστους από την εφαρμογή του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι πολύ δύσκολη, αφού μόνο με εικασίες μπορεί να προκύψει, ο υπολογισμός των κερδών μόνο από το άμεσο κόστος θα ήταν ιδιαίτερα συντηρητικός και δεν θα αντικατόπτριζε το πραγματικό κέρδος της επιχείρησης από την επένδυση στο πρόγραμμα. Επειδή η μείωση του έμμεσου κόστους που σχετίζεται με τις αστοχίες που απεφεύχθησαν και την αύξηση της αξιοπιστίας βασίζεται σε γεγονότα που δε συνέβησαν, δεν υπάρχουν «πραγματικά» κέρδη, αλλά αυτά αντιπροσωπεύονται από έναν άπειρο αριθμό πιθανών σεναρίων λανθανουσών φθορών. Το πιο εύχρηστο μέγεθος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ένας πεπερασμένος αριθμός διαφορετικών σεναρίων με ένα σύστημα βαρύτητας ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισής τους.

Στην κατηγορία των χρημάτων που εξοικονομούνται από το έμμεσο κόστος συμμετέχουν υπολογισμοί που βασίζονται και στον εξοπλισμό και στην παραγωγή. Κάθε αποφευχθείσα αστοχία έχει σαν αποτέλεσμα την αποφυγή κάποιου κόστους συντήρησης που προκύπτει από τη μείωση της σοβαρότητας της ζημιάς στον εξοπλισμό. Η μεγαλύτερη μείωση του κόστους σχετίζεται με την αποφυγή των ξαφνικών δραστηριοτήτων συντήρησης, γεγονός που οδηγεί στη μείωση του χρόνου των επισκευών και των απαραίτητων διαθέσιμων ανταλλακτικών και στην αύξηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού κατά την παραγωγική διαδικασία.

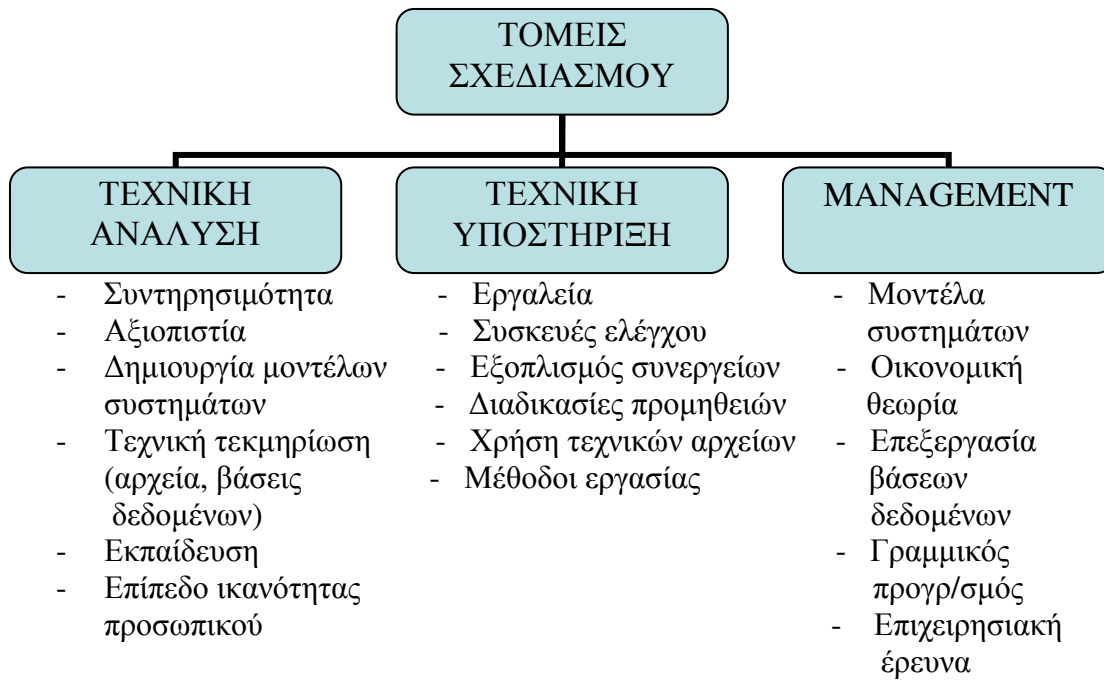
#### **4.8 ΤΟΜΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Οι τομείς σχεδιασμού της Προβλεπτικής Συντήρησης (βλ. *Σχήμα 4.3*) αφορούν:

- Την τεχνική ανάλυση και τεκμηρίωση.
- Την τεχνική υποστήριξη.
- Την οργάνωση (management).

Από τα στοιχεία της τεχνικής ανάλυσης προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Η Συντηρησιμότητα και η Αξιοπιστία επιδρούν σημαντικά στο σχεδιασμό ολοκληρωμένων συστημάτων προγραμματισμού.
- Τα στοιχεία της υλικοτεχνικής υποδομής και στήριξης καθορίζονται στο προκαταρκτικό στάδιο του σχεδιασμού.
- Οι τεχνικές του management περιλαμβάνουν:
  - το γραμμικό προγραμματισμό για τη βέλτιστη κατανομή ορισμένων μέσων που χρειάζονται σε ένα σύστημα ανεξάρτητων δραστηριοτήτων,
  - οικονομικές θεωρίες,
  - χρήση μοντέλων συστημάτων και προσομοίωσης,
  - πληροφορική,
  - επιχειρησιακή έρευνα.



Σχήμα 4.3: Τομείς Σχεδιασμού Προβλεπτικής Συντήρησης.

Τα οικονομικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή έχουν σχέση με:

- την αύξηση της παραγωγής και τη μείωση του κόστους της συντήρησης με την εφαρμογή ενός βελτιστοποιημένου συστήματος,
- την αύξηση της παραγωγής και τη μείωση του κόστους της συντήρησης σαν επακόλουθο της μείωσης του συνολικού όγκου των εργασιών,
- την οικονομία σαν επακόλουθο του σωστού συντονισμού παραγωγής και συντήρησης.

## 4.9 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

### 4.9.1 ΦΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στην περιγραφή της διαδικασίας σχεδιασμού θα χρησιμοποιηθούν τα εξής μεγέθη:  
R: Αξιοπιστία (Reliability): Είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών αστοχιών (βλαβών) του υπό έλεγχο εξαρτήματος/μηχανήματος/συγκροτήματος.

M: Συντηρησιμότητα (Maintenability): Είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη στιγμή της αστοχίας μέχρι την πλήρη αποκατάσταση του υπό εξέταση εξαρτήματος/μηχανήματος/συγκροτήματος.

A: Διαθεσιμότητα (Availability): Ο λόγος  $R/(R+M)$  για να είναι ένα σύστημα 100% παραγωγικό σε όλο το διατιθέμενο χρονικό διάστημα.

Εάν η διαθεσιμότητα (A) εκφραστεί ως συνάρτηση της παραγωγής ή των εσόδων (I), τότε ισχύει η σχέση:

$$I = f(A) \quad (1)$$



Η βελτίωση όμως τόσο της αξιοπιστίας όσο και της συντηρησιμότητας απαιτούν επιπλέον δαπάνες.

Αν  $\Delta$  παριστάνει αύξηση δαπανών, τότε:

$\Delta_{CR}$  = το κόστος βελτίωσης της αξιοπιστίας,

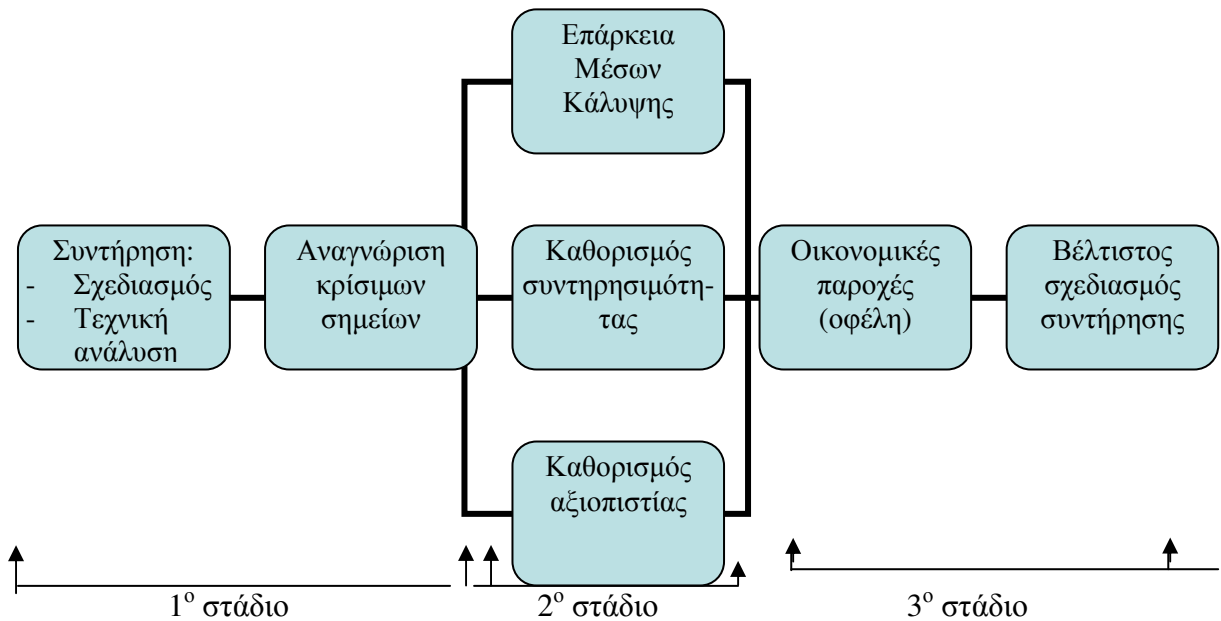
$\Delta_{CM}$  = το κόστος βελτίωσης της συντηρησιμότητας.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα και σε συνδυασμό με τη σχέση (1) προκύπτει ότι:

$$\Delta I = f(A) - \Delta_{CR} - \Delta_{CM} \quad (2).$$

Η τελευταία σχέση αποτελεί το κριτήριο αξιολόγησης όλων των προτεινόμενων λύσεων. Οι διάφορες προτάσεις βελτίωσης της συντήρησης επιλέγονται μόνο όταν τα αναμενόμενα οφέλη υπερβαίνουν το κόστος που απαιτείται για να γίνουν. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η ανάπτυξη του κατάλληλου μοντέλου για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η φάση του σχεδιασμού ξεκινά από τεχνοοικονομική ανάλυση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4 και περιλαμβάνει τρία στάδια.



Σχήμα 4.4: Φάσεις σχεδιασμού μοντέλου συντήρησης.

### **Πρώτο Στάδιο**

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας περιλαμβάνει την τεχνική ανάλυση και αναγνώριση/απομόνωση των κρίσιμων θέσεων ή σημείων του παραγωγικού/λειτουργικού συστήματος.

### **Δεύτερο Στάδιο**

Αφού αναγνωριστούν τα κρίσιμα σημεία του εξοπλισμού κάθε ένα από αυτά εξετάζεται ως προς τα απαιτούμενα μέσα κάλυψης, την αξιοπιστία και τη συντηρησιμότητα.

Η υπερεπάρκεια σε μέσα ή σχεδιασμό αυξάνει ενδεχόμενα την αξιοπιστία, αλλά όπως είναι φυσικό, προσθέτει στο σύστημα κόστος. Η αξιοπιστία μπορεί να βελτιωθεί με άλλους τρόπους όπως για παράδειγμα με την επιλογή καλύτερων εξαρτημάτων ή με κάποιες κατασκευαστικές βελτιώσεις.

Η συντηρησιμότητα εξάλλου βελτιώνεται με το συνδυασμό και τον έλεγχο των μέσων συντήρησης (επίπεδο ικανότητας προσωπικού, όργανα, εργαλεία, εκπαίδευση κ.λπ.), καθιέρωση προδιαγραφών, κατασκευαστικούς και λειτουργικούς περιορισμούς, θέσπιση πρότυπων μεγεθών μέτρησης και σύγκρισης.

### **Τρίτο Στάδιο**

Το τρίτο στάδιο αφορά την αξιολόγηση των παραδοχών επιλογής και διάθεσης των μέσων, συντηρησιμότητας και αξιοπιστίας, με την έννοια της επίτευξης του μέγιστου δυνατού οικονομικού οφέλους.

Η χρήση κατάλληλων μοντέλων δοκιμαστικά βοηθά στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Το τελικό σχέδιο θα πρέπει να συνδυάζει την οικονομοτεχνικά αποδεκτή λύση με την εφικτή διαθεσιμότητα.

Σημειώνεται ότι απόλυτη διαθεσιμότητα (100% λειτουργία χωρίς αστοχία,  $A=1$ ) ή μηδενική συντηρησιμότητα ( $M=0$ ) δεν αποτελεί βέλτιστη λύση. Ένα τέτοιο σύστημα είναι απαγορευτικά ακριβό και πρακτικά αδύνατο.

## **4.9.2 ΦΑΣΗ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩΝ**

Η βέλτιστη κατανομή των μέσων εξαρτάται από τη δομή του συστήματος. Ο καθορισμός της επομένως ακολουθεί το σχεδιασμό του.

Σε αυτή τη φάση το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι να υπολογιστούν τόσο οι συνολικά απαιτούμενες δαπάνες όσο και ο επιμερισμός τους στα μέσα που χρειάζονται, όπως εργαλεία, όργανα, προσωπικό, εκπαίδευση, έτσι ώστε:

1. να είναι δυνατή η πρόβλεψη του τι χρειάζεται στην περίπτωση που συμβεί βλάβη και
2. να είναι δυνατός ο προσδιορισμός των απαιτούμενων διορθωτικών ενεργειών ώστε αυτή να μη συμβεί.

Τα παραπάνω έχουν σχέση με την πρόληψη και τον προγραμματισμό στην Προληπτική Συντήρηση. Εδώ όμως θα πρέπει επιπλέον να ληφθεί υπόψη και η υποδομή της τεχνικής υποστήριξης που απαιτείται, όπως κατάλληλη εκπαίδευση, συγκέντρωση και επεξεργασία στοιχείων, έλεγχος ανταλλακτικών, δημιουργία αρχείων κ.λπ.

Τα κριτήρια και εδώ είναι οικονομικά. Κάθε δραστηριότητα συντήρησης δεν είναι μια ανεξάρτητη λειτουργία, αλλά πραγματοποιείται μόνο όταν:

- στοχεύει στην αύξηση της απόδοσης,
- δίνει δυνατότητα πρόβλεψης καταστροφικών βλαβών,
- επιτρέπει τη γρήγορη λειτουργική αποκατάσταση.

Η πρόβλεψη αστοχίας και ο καθορισμός των ενεργειών αποφυγής της είναι δυνατό να γίνουν με τη χρήση λειτουργικών δεδομένων αξιοπιστίας (π.χ. ρυθμός βλαβών, είδη βλαβών). Η ανάλυση κάθε βλάβης καθώς και η εξάλειψη των αιτιών που την προκάλεσαν οδηγεί στη δημιουργία βάσεων δεδομένων (data bases) που βοηθούν στην επιλογή των μέσων, στον προγραμματισμό των εργασιών και στον τεχνικό προσδιορισμό των ενεργειών που χρειάζονται.

Κάθε πρόβλημα συντήρησης αντιμετωπίζεται με το συνδυασμό διαφόρων παραγόντων και ανάλογα με τη βαρύτητα που δίνεται σε κάθε έναν από αυτούς (βλ. Σχήμα 4.5).

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΛΥΣΗ 1	ΛΥΣΗ 2	.....ΛΥΣΗ Ν
<b>A. ΜΕΣΑ</b>			
Προσωπικό			
Εκπαίδευση	2	1	
Απόθεμα ανταλλακτικών	4	2	
Αποθήκευση ανταλλακτικών	3		
Εργαλεία		3	
Όργανα ελέγχου		2	
Σύστημα πληροφοριών	1	5	
Δομή management			
<b>B. ΟΦΕΛΗ</b>			
Χρόνοι λειτουργίας	5	3	
Δαπάνες	3	2	
Απόδοση			

Η βαθμολογία είναι τυχαία

Σχήμα 4.5: Εναλλακτικές λύσεις/δραστηριότητα.

Κάθε δραστηριότητα συντήρησης που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του παραγωγικού χρόνου με ένα προκαθορισμένο λογικό κόστος μπορεί να επιτευχθεί με το συνδυασμό προσωπικού υψηλής στάθμης εκπαίδευσης, εργαλείων, οργάνων πληροφορικού συστήματος. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με προσωπικό χαμηλότερης στάθμης εκπαίδευσης, αλλά με ένα περισσότερο ανεπτυγμένο πληροφορικό σύστημα, το οποίο θα έχει περισσότερες δυνατότητες εντοπισμού σφαλμάτων και θα περιλαμβάνει μια πληρέστερη περιγραφή εργασιών και ενεργειών.

Σύμφωνα με την επιχειρησιακή έρευνα κάθε πρόβλημα έχει περισσότερες από μία λύσεις. Η βέλτιστη καθορίζεται με τα ισχύοντα κάθε φορά δεδομένα.

Η προσπάθεια και η έρευνα στο χώρο της οργάνωσης της συντήρησης μπορεί να δώσει σοβαρά οικονομικά οφέλη. Με τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε είναι δυνατή η προσέγγιση των στόχων που έχουν σχέση με:

- Το βέλτιστο σχεδιασμό των μεθόδων συντήρησης και την επιλογή των μέσων.
- Τη βέλτιστη κατανομή τους.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συγκέντρωση αρκετών στοιχείων που είναι απαραίτητα πριν ξεκινήσει ο περιγραφείς σχεδιασμός. Μερικές από τις πηγές πληροφοριών είναι:

*Οι κατασκευαστές:* Κατασκευαστικά και ιστορικά στοιχεία, οδηγίες συντήρησης και λειτουργίας συνοδεύουν συνήθως τον εξοπλισμό.

*Η εμπειρία:* Που έχει σχέση με τη λειτουργική συμπεριφορά των μηχανημάτων.

*Οι έλεγχοι:* Που πραγματοποιούνται είτε άμεσα κατά τη λειτουργία είτε έμμεσα κατά την επιθεώρηση.

*Συγκριτικά στοιχεία:* Με παρόμοια ή παρεμφερή μηχανήματα.

*Η ανάλυση των εργασιών και του επιπέδου ικανότητας του απαιτούμενου προσωπικού.*

Οποιοδήποτε σύστημα έχει ένα κόστος ανάλογο της δομής του και των μέσων που προϋποθέτει. Όπως έχει ειπωθεί, το κόστος αυτό θα πρέπει να συγκρίνεται με τις ζημιές που δημιουργούνται από τη μη εφαρμογή του. Συστήματα που εμφανώς κοστίζουν περισσότερο από ό,τι εξοικονομούν δε θα πρέπει να εφαρμόζονται.

### 4.9.3 ΦΑΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Σύμφωνα με τα όσα αναπτύχθηκαν προηγούμενα, είναι δυνατό να προσδιοριστούν η ποσότητα και το είδος των απαιτούμενων μέσων. Κατά τη φάση αυτή καθορίζονται τόσο τα στάδια ανάπτυξης όσο και τα χρονικά όρια μέσα στα οποία αυτή πρέπει να γίνει (βλ. Σχήμα 4.6).

Όπως φαίνεται και στο κατωτέρω Σχήμα 4.6, παράλληλα με το σχεδιασμό του μοντέλου της Προβλεπτικής Συντήρησης χρειάζεται να γίνουν συμπληρωματικοί σχεδιασμοί για διάφορες άλλες παράλληλες δραστηριότητες, όπως:

- προμήθειες ανταλλακτικών,
- ύψος αποθεμάτων,
- παραγγελίες,
- εσωτερικοί έλεγχοι,
- πολιτική πληρωμών,

που πρέπει και χρειάζεται να καθοριστούν πλήρως.

Το βασικό στοιχείο είναι ότι ένα σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει την παρακολούθηση και την υποστήριξη του παραγωγικού εξοπλισμού από την έναρξη της λειτουργίας του μέχρι το τέλος της χρήσιμης παραγωγικής του περιόδου.

### 4.10 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Μέχρι τώρα εξετάστηκαν όλα όσα καθορίζουν το τι πρέπει να γίνει. Στη συνέχεια εξετάζεται το πώς πρέπει να γίνει.

Το οργανωτικό/λειτουργικό σχήμα του συστήματος είναι ο φορέας με βάση τον οποίο θα εκπληρωθούν οι στόχοι. Έχει ως σκοπό το διαρκή έλεγχο του τεχνικού σχεδιασμού, των δραστηριοτήτων και των μέσων της συντήρησης, την επεξεργασία των στοιχείων που χρειάζονται για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων.

Το λειτουργικό σχήμα της συντήρησης πρέπει να είναι δομημένο έτσι ώστε:

- να εξασφαλίζεται η εκτέλεση των εργασιών όπως έχει σχεδιαστεί,
- να προωθούνται όλες οι πληροφορίες,
- να γίνεται χρήση των κατάλληλων εργαλείων και οργάνων,
- να καταγράφονται όλα τα αποτελέσματα,
- η απόδοση να είναι σύμφωνη με το πρόγραμμα.

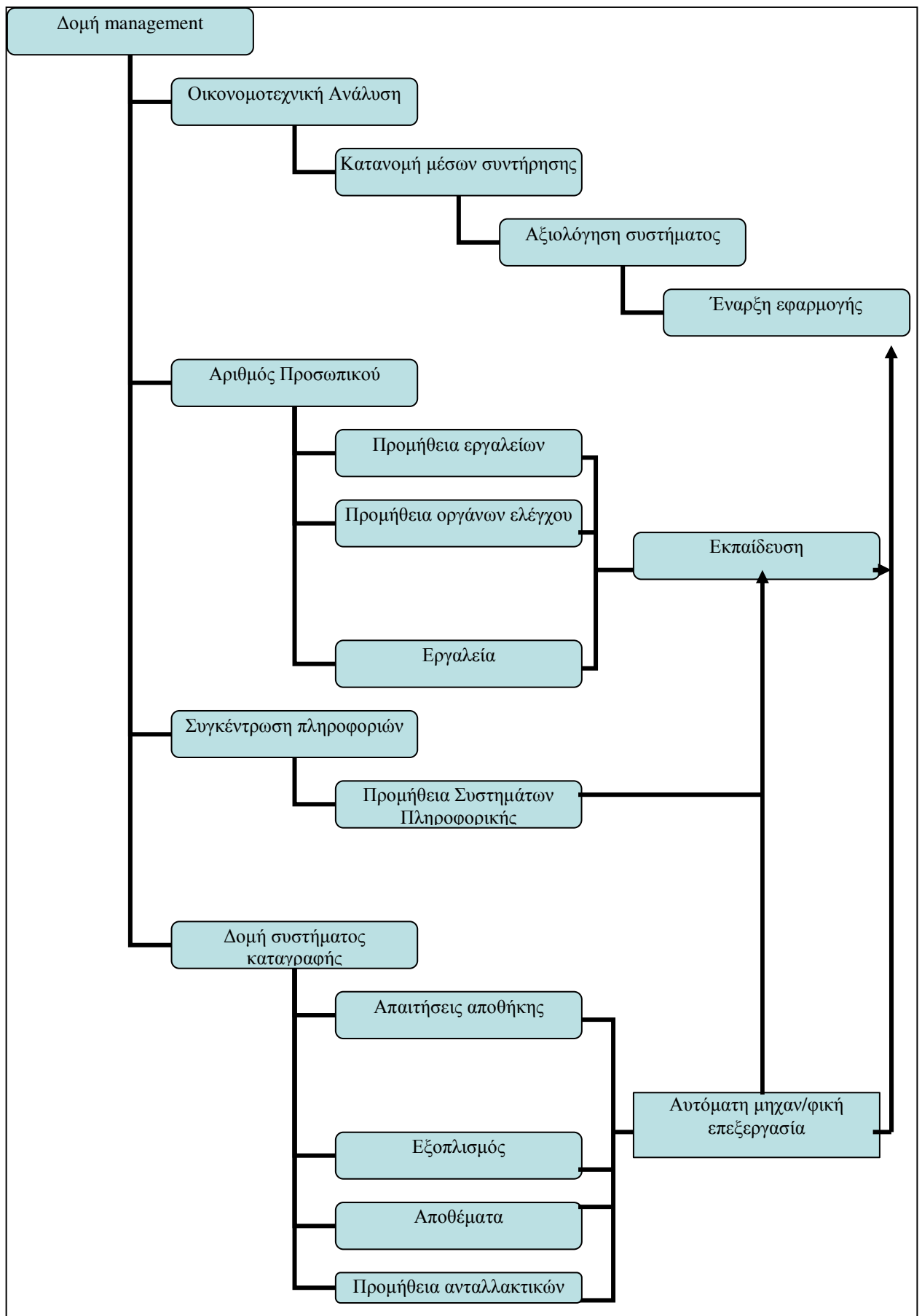
Είναι ανάγκη να υπάρξει αυτού του είδους η προσέγγιση ώστε να είναι από όλους κατανοητό:

- γιατί έγινε η κατανομή των μέσων κατά ένα συγκεκριμένο τρόπο,
- γιατί πρέπει να χρησιμοποιούνται τα συγκεκριμένα εργαλεία ή όργανα,
- γιατί πρέπει να γίνονται οι έλεγχοι.

Για να λειτουργήσει και να αποδώσει το σύστημα θα πρέπει όλα να εκτελούνται προσχεδιασμένα.

Το τελευταίο «εξάρτημα» του συστήματος είναι η συγκέντρωση των πληροφοριών και η επεξεργασία τους. Αυτή η δραστηριότητα εκτελείται με τη βοήθεια της πληροφορικής.

Το σύστημα πληροφορικής συγκεντρώνει και παρέχει στοιχεία για τη συντήρηση, όπως:



Σχήμα 4.6: Στάδια ανάπτυξης συστήματος.

- ανάλυση δεδομένων,
- συστήματα μοντέλων,
- προγράμματα συντήρησης,
- διαδικασίες συντήρησης,
- φόρτος εργασίας,
- προτεραιότητες,
- απαιτούμενα εργαλεία και όργανα ελέγχου,

ή γενικά στοιχεία σχετικά με τα χρηματοοικονομικά δεδομένα:

- έλεγχος αποθεμάτων,
- έλεγχος απόδοσης.

Κάθε σύστημα λογικής επεξεργασίας στοιχείων για να λειτουργήσει σωστά και να προσφέρει δυνατότητες εναλλακτικών λύσεων και διορθωτικών ενεργειών χρειάζεται επαναπληροφόρηση (feedback). Επιπλέον για να είναι αποδοτικό θα πρέπει να βελτιώνεται καθώς αλλάζουν οι συνθήκες ή η τεχνολογία. Ο μηχανισμός επαναπληροφόρησης δεν επιτρέπει μόνο την αναπροσαρμογή κάθε συστήματος, αλλά βοηθά στην απόκτηση της εμπειρίας που χρειάζεται για την ανάπτυξη και άλλων παρόμοιων ή πιο βελτιωμένων.

#### **4.11 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS - CMMS) ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Για να λειτουργήσει μια επιχείρηση συντήρησης ή το τμήμα συντήρησης μιας οποιασδήποτε επιχείρησης χρειάζονται ακριβείς πληροφορίες συνδυασμένες με την ικανότητα γρήγορης αντίδρασης σε επικείμενες έκτακτες ανάγκες. Σήμερα οι τεχνολογίες και των Υπολογιστικών Συστημάτων Οργάνωσης και Διοίκησης Συντήρησης (CMMS) και της Προβλεπτικής Συντήρησης μπορούν να βοηθήσουν στην εξάλειψη της μεγάλης πλειοψηφίας των απρογραμμάτιστων επισκευών του εξοπλισμού. Αν και η χρήση μιας καλής έκδοσης οποιασδήποτε από τις δύο τεχνολογίες μπορεί να οδηγήσει κοντά σε αυτό το στόχο, ο συνδυασμός και των δύο σε ένα σύστημα μπορεί να έχει πολλά περισσότερα θετικά αποτελέσματα στην απόδοση του τμήματος συντήρησης. Ένας συνδυασμός των δυνατοτήτων ενός CMMS (προγραμματισμός προληπτικών συντηρήσεων, αυτόματη παραγωγή των αρχείων με τις εργασίες συντήρησης που πρέπει να πραγματοποιηθούν, έλεγχος των αποθεμάτων και ακεραιότητα των δεδομένων) και ενός συστήματος Προβλεπτικής Συντήρησης (επιθεωρήσεις κατάστασης με πολλαπλές μεθόδους, λειτουργικοί έλεγχοι και ειδικά συστήματα διάγνωσης) μπορεί να παράγει αυτόματα τις προς εκτέλεση δραστηριότητες συντήρησης με βάση την πληροφόρηση που παρέχουν οι έλεγχοι και οι διαγνώσεις της Προβλεπτικής Συντήρησης. Οι δυνατότητες είναι πολλές και με κέντρο τη φιλοσοφία της Προβλεπτικής Συντήρησης.

Πριν από λίγα χρόνια η σύνδεση των CMMS και της τεχνολογίας της Προβλεπτικής Συντήρησης φάνταζε ανέφικτη ή, στην καλύτερη περίπτωση, πολύ ακριβή. Πλέον η έρευνα στους τομείς των δύο τεχνολογιών κατέστησε δυνατή τη σχετικά εύκολη και οικονομική σύνδεσή τους.

Τα χαρακτηριστικά και των δύο τεχνολογιών τις καθιστούν απαραίτητες για τη λειτουργία της συντήρησης. Τα CMMS αποτελούν ένα πολύ καλό εργαλείο οργάνωσης για τη συντήρηση, το οποίο όμως δεν μπορεί να ελέγχει άμεσα την κατάσταση του εξοπλισμού. Ένα σύστημα Προβλεπτικής Συντήρησης μπορεί να

ελέγχει την κατάσταση του εξοπλισμού, δεν είναι όμως κατάλληλο να οργανώνει την όλη λειτουργία της συντήρησης. Η λογική κατάληξη είναι να συνδυαστούν οι δύο τεχνολογίες σε ένα ενιαίο σύστημα το οποίο θα αποφεύγει καταστροφικές βλάβες (breakdowns) και θα εξαλείφει τις περιττές αντικαταστάσεις εξαρτημάτων που λειτουργούν ικανοποιητικά.

#### **4.11.1 Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ**

Το πρώτο βήμα για την ολοκλήρωση ενός πακέτου CMMS και Προβλεπτικής Συντήρησης σε ένα αυτόματο σύστημα είναι να βρεθεί ένας τρόπος επικοινωνίας των δύο συστημάτων. Αυτό γίνεται με τη συνεχή καταχώρηση δεδομένων στο κάθε σύστημα, γεγονός που θα τους επιτρέψει να επικοινωνούν με τη χρήση μιας κοινής βάσης πληροφοριών. Για παράδειγμα όλα τα μηχανήματα που ελέγχονται από την Προβλεπτική Συντήρηση πρέπει να υπάρχουν και στη βάση δεδομένων του CMMS και μάλιστα με το ίδιο όνομα.

Έπειτα θα πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των αισθητήρων, μετρητών ή άλλων εργαλείων μετρήσεων σε ένα σύστημα Προβλεπτικής Συντήρησης και το κατάλληλο πρόγραμμα στο CMMS που να συνδέει μετρήσεις του ενός συστήματος με μετρήσεις του άλλου. Ενδείξεις μετρήσεων εκτός της αποδεκτής περιοχής, όπως αυτή έχει καταχωρηθεί στο CMMS, θα πρέπει να επιφέρει τον αυτόματο προγραμματισμό των απαραίτητων εργασιών συντήρησης. Αυτό κάνει τον εκ των προτέρων σχεδιασμό της καταχώρησης των κανόνων και των βάσεων δεδομένων ιδιαίτερα σημαντικό στη διαδικασία προ της ολοκλήρωσης των δύο συστημάτων.

Το τρίτο βήμα στην ολοκλήρωση ενός πακέτου CMMS και Προβλεπτικής Συντήρησης είναι η παροχή ενός άμεσου συνδέσμου μεταξύ των βάσεων δεδομένων των δύο συστημάτων. Αυτό αναφέρεται ως μια «ενεργή ανταλλαγή» (“active exchange”) δεδομένων. Σήμερα οι καλύτερες βάσεις δεδομένων CMMS διαθέτουν ανοιχτή δομή όπως ISAM (External Indexed Sequential Access Method: MS Access, Dbase, FoxPro, Btrieve, Paradox κ.ά.) ή ODBC (Open Database Connectivity: Microsoft SQL Server, Sybase SQL, Oracle κ.ά.). Αυτές οι βάσεις δεδομένων CMMS μπορούν να διαβαστούν και να γραφούν από προγράμματα Προβλεπτικής Συντήρησης με δυνατότητες ISAM και ODBC.

Κάθε πληροφορία της Προβλεπτικής Συντήρησης θα πρέπει τελικά να επανεξετάζεται από τον ανθρώπινο παράγοντα, έναν αναλυτή. Όταν η προκύπτουσα πληροφορία εμφανιστεί ως διάγνωση, ο αναλυτής μπορεί εύκολα να επανεξετάσει τα αποτελέσματα της Προβλεπτικής Συντήρησης και να τα υποβάλλει στο CMMS. Αυτό παρέχει στο CMMS την πληροφόρηση για την κατάσταση του εξοπλισμού και τις επιδιορθώσεις που γίνονται.

#### **4.12 ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**

Η λέξη «προβλεπτική» του όρου Προβλεπτική Συντήρηση προέρχεται από το σκοπό αυτής που είναι η πρόβλεψη της μελλοντικής τάσης της κατάστασης του εξοπλισμού. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί στατιστικές διαδικασίες ελέγχου για να καθορίσει σε ποια χρονική στιγμή στο μέλλον είναι κατάλληλο να γίνει η συντήρηση.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιεί η προβλεπτική συντήρηση είναι προηγμένες τεχνικές περιοδικού ή συνεχούς (on-line) ελέγχου της κατάστασης του εξοπλισμού (machinery condition monitoring) οι οποίες μπορούν να προβλέψουν την αρχή μιας βλάβης πριν

τις ανθρώπινες αισθήσεις και επιτρέπουν τον προγραμματισμό των επισκευών ή άλλων ενεργειών, ώστε να αποφευχθεί το σταμάτημα της παραγωγής. Ελέγχουν μια παράμετρο της κατάστασης του εξοπλισμού έτσι ώστε μια σημαντική αλλαγή αυτής να είναι ενδεικτική μιας εξελισσόμενης αστοχίας. Η αλλαγή αυτή καταγράφεται, παρακολουθείται και εφόσον αυτή διαρκεί στη συνέχεια γίνεται διάγνωση και πρόγνωση του πιθανού χρόνου βλάβης και της αιτίας.

Αυτός ο τρόπος ελέγχου και συντήρησης έρχεται σε αντίθεση με την Προληπτική μέθοδο συντήρησης που πραγματοποιείται μόνο μετά την πάροδο ορισμένου χρόνου και στην οποία ο εξοπλισμός συντηρείται είτε είναι απαραίτητο είτε όχι. Η Προληπτική Συντήρηση απασχολεί εντατικά το προσωπικό της, είναι αναποτελεσματική στον εντοπισμό προβλημάτων που εξελίσσονται μεταξύ προγραμματισμένων ελέγχων και οικονομικά μη αποδοτική.

Πρόσφατες έρευνες αναφέρουν ότι το ένα τρίτο του συνολικού κόστους συντήρησης οφείλεται σε περιττές και λανθασμένα εφαρμοζόμενες συντηρήσεις. Η κυριότερη αιτία είναι η έλλειψη πραγματικών δεδομένων που να ποσοτικοποιούν την πραγματική ανάγκη για επισκευή ή συντήρηση. Σύμφωνα με την Προβλεπτική Συντήρηση ο τακτικός έλεγχος της πραγματικής κατάστασης του εξοπλισμού εξασφαλίζει μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των επισκευών, ελαχιστοποιεί τον αριθμό και το κόστος των στάσεων-βλαβών και βελτιώνει τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού. Η Προβλεπτική Συντήρηση προχωράει πιο πέρα από την Προληπτική με τη χρήση μη-καταστροφικών μεθόδων για να ανακαλύψει επικείμενες αστοχίες στο πρωταρχικό τους στάδιο.

#### **4.12.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Όπως ειπώθηκε, η παρακολούθηση της λειτουργικής κατάστασης του εξοπλισμού πραγματοποιείται με την παρακολούθηση της λειτουργικής του δυναμικής.

Οι σχετικές μέθοδοι της Προβλεπτικής Συντήρησης που μετρούν τη λειτουργική δυναμική του εξοπλισμού στηρίζονται σε ένα σύνολο Μετρητικών Τεχνικών συνοδευόμενων από κατάλληλες Διαγνωστικές Μεθοδολογίες.

Καθώς καθεμιά από τις μεθόδους της Προβλεπτικής Συντήρησης χρησιμοποιείται για ένα συγκεκριμένο τύπο φθοράς, σε ένα πρόγραμμα Προβλεπτικής Συντήρησης τυπικά χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός μεθόδων.

#### **A. ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ**

Η σημαντικότερη κατηγορία Μετρητικών Τεχνικών έχει αναπτυχθεί για τη διάγνωση βλαβών του μηχανολογικού εξοπλισμού, ο οποίος, δεδομένης της δομής των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, αποτελεί την κύρια κατηγορία εξοπλισμού.

Σήμερα εμφανίζεται μία μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών που μπορούν και πρέπει να χρησιμοποιούνται στη διάγνωση βλαβών και στη μέτρηση της φθοράς των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες περιλαμβάνουν:  
*Μέτρηση και Ανάλυση Κραδασμών (Vibration Spectrum Analysis)*  
*Μέθοδο Κρουστικών Παλμών (Shock Pulse Method)*  
*Μετρήσεις με Υπερήχους*  
*Μεθόδους Τριβολογίας*  
*Θερμογραφία*  
*Λοιπές μεθόδους μη καταστροφικών ελέγχων*



### **Μέτρηση και Ανάλυση Κραδασμών (Vibration Spectrum Analysis)**

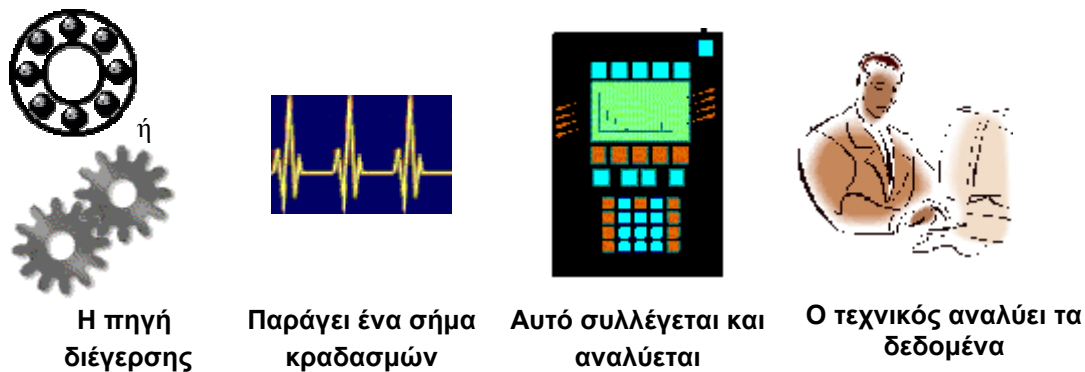
Αποτελεί σήμερα το πλέον διαδεδομένο εργαλείο διάγνωσης βλαβών του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η διάδοση αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι οποιαδήποτε βλάβη ή διαταραχή της συμπεριφοράς του εξοπλισμού δημιουργεί μία αλλαγή της δυναμικής συμπεριφοράς του, η οποία μεταβιβάζεται εν τέλει στη μηχανική δομή του προκαλώντας μεταβολή των κραδασμών στους οποίους υπόκειται. Κατά συνέπεια η μέτρηση των κραδασμών είναι σε θέση να παράσχει όλες εκείνες τις πληροφορίες που μπορούν να καταστήσουν δυνατή τη διάγνωση μιας πιθανής βλάβης ή φθοράς.

Για το λόγο αυτό έχει ήδη αναπτυχθεί διεθνώς πληθώρα σχετικών συστημάτων μέτρησης κραδασμών, πολλά από τα οποία βρίσκονται σε εμπορική μορφή. Η σχετική τεχνολογία στηρίζεται:

1. Σε κατάλληλα αισθητήρια μέτρησης κραδασμών (Displacement – Velocity – Acceleration transducers) με τη χρήση διαφόρων φυσικών τεχνικών (Piezoelectricity, Strain Gages, Capacitance, Laser κ.λπ.). Το σημερινό επίπεδο τεχνολογίας και παραγωγής έχει καταστήσει τη χρήση τους ιδιαίτερα οικονομική και ελκυστική για τη σημαντική πλειοψηφία των δυνατών εφαρμογών τους (περιοχές συχνοτήτων, περιβάλλον λειτουργίας, μη παρεμβατικές μετρήσεις κ.λπ.).
2. Σε κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων. Οι σχετικές διατάξεις διαφοροποιούνται από κατασκευαστή σε κατασκευαστή και συνιστούν σήμερα την κύρια πηγή κόστους του σχετικού εξοπλισμού.

Οι μετρήσεις συγκρίνονται με τις θεωρητικά «ανεκτές» τιμές και εξακριβώνεται η κατάσταση του εξοπλισμού. Λαμβάνοντας δε μετρήσεις σε τακτές χρονικές περιόδους παρακολουθούμε την εξέλιξη της κατάστασής του.

Η όλη διαδικασία μέτρησης και ανάλυσης των κραδασμών παρουσιάζεται και παραστατικά στο Σχήμα 4.7 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.7. Μέτρηση και ανάλυση κραδασμών.

### **Μέθοδος Κρουστικών Παλμών (Shock Pulse Method)**

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με επιτυχία για περισσότερα από 30 χρόνια και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως για τη διάγνωση και πρόγνωση βλαβών, κυρίως ρουλεμάν. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι η ταχύτητα των μετρήσεων, αλλά και η ευκολία στην κατανόησή της και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της.

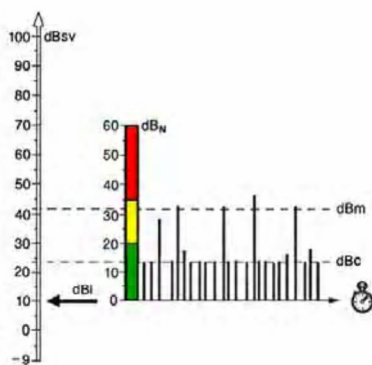
Στα πλαίσια αυτής της μεθόδου το ενδιαφέρον δεν επικεντρώνεται στον κραδασμό που προκαλείται από κάποιο κρουστικό παλμό, αλλά στον κρουστικό παλμό αυτόν καθ' εαυτόν. Συνεπώς η μέθοδος αυτή απλοποιεί πολύ και επιταχύνει τη διάγνωση με τη μείωση του χρόνου που απαιτείται για τη συλλογή και ανάλυση των μετρήσεων.

Η ανάλυση συνίσταται στα ακόλουθα στάδια:

- Το σήμα που διεγείρεται από μια μηχανή και το οποίο προκαλεί κάποιος κρουστικός παλμός περνά μέσα από ένα ηλεκτρονικό φίλτρο.
- Μέσα από το φίλτρο περνούν κρουστικοί παλμοί στα 32 kHz, το πλάτος των οποίων εξαρτάται από την ενέργεια τους.
- Οι κρουστικοί παλμοί μετατρέπονται σε αναλογικούς ηλεκτρονικούς παλμούς.
- Το αλλαγμένο σήμα των κρουστικών παλμών μετατρέπεται τελικά σε μια ακολουθία ισχυρότερων και ασθενέστερων ηλεκτρικών παλμών.

Τα όργανα που μετρούν τους κρουστικούς παλμούς, ή αλλιώς θορύβους, μετράνε το σήμα τους στην κλίμακα *decibel (db)*.

Ένα παράδειγμα αποτελεί η μέθοδος *SPM (db<sub>m</sub>/db<sub>c</sub>)*. Οι τιμές που απαιτούνται σε αυτή για την αξιολόγηση της κατάστασης του ρουλεμάν είναι:



- *dB<sub>m</sub>*: η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή για ένα μικρό αριθμό ισχυρών κρουστικών παλμών και
- *dB<sub>c</sub>*: η οποία αντιστοιχεί στο βασικό παλμό (ή παλμό χαλιού – carpet shock) για ένα μεγάλο αριθμό ασθενών κρουστικών παλμών.

Σχήμα 4.8. Η κλίμακα *dB<sub>m</sub>/dB<sub>c</sub>*.

Στο παραπάνω Σχήμα 4.8 οι τιμές των *dB<sub>m</sub>* και *dB<sub>c</sub>* έχουν ένα εύρος 60db (από 0 έως 60db) στην κανονικοποιημένη κλίμακα *db<sub>N</sub>* (0-60db). Η τιμή *db<sub>i</sub>* είναι ο αρχικός θόρυβος της κλίμακας πάνω στην απόλυτη κλίμακα *db<sub>sv</sub>*. Η τιμή *db<sub>sv</sub>* είναι ο θόρυβος που προκαλεί η περιστροφή του άξονα της μηχανής και του ρουλεμάν ταυτόχρονα. Για να εξουδετερώσουμε το θόρυβο που προκαλεί η περιστροφή του άξονα εισάγουμε την έννοια του «αρχικού» θορύβου *db<sub>i</sub>* ο οποίος και θα αποτελέσει πλέον την αφετηρία της κλίμακας για τον έλεγχο του ρουλεμάν.

Η μέτρηση γίνεται με κατάλληλο όργανο το οποίο δίνει απ' ευθείας ένδειξη της κατάστασης του ρουλεμάν σε κλίμακα καλή (πράσινη) – μειωμένη/αμφίβολη (κίτρινη) – κακή (κόκκινη) παρέχοντας έτσι στον αναλυτή ακριβείς πληροφορίες.

### Μετρήσεις με Υπερήχους

Η αρχή της μέτρησης είναι ίδια με τη μέτρηση των κρουστικών παλμών με τη διαφορά ότι η σχετική περιοχή μέτρησης βρίσκεται στην περιοχή των υπερήχων. Κύρια περιοχή εφαρμογής της είναι ο εντοπισμός ρωγμών του στατικού εξοπλισμού. Οι υπέρηχοι που εντοπίζονται και μετρώνται είναι δυνατό να παρέχουν στον αναλυτή

πληροφορίες για την τοποθεσία και τη σοβαρότητα της ρωγμής. Η εφαρμογή της όμως προϋποθέτει την εκ των προτέρων γνώση των πιθανών σημείων εμφάνισης ρωγμής, διαφορετικά η γενική χρήση της είναι εξαιρετικά δαπανηρή.



Airborne Ultrasound Mechanical Inspection

Σχήμα 4.9. Μέτρηση υπερήχων.

#### Μέθοδοι Τριβολογίας

Βασική αρχή τους είναι η ανάλυση του ελαίου λίπανσης, κυρίως των κινούμενων τμημάτων των μηχανών και περιλαμβάνει:

- αναλύσεις που έχουν σχεδιαστεί για τον έλεγχο της κατάστασης του λιπαντικού (ιξώδες, οξύτητα, αλκαλικότητα, βαθμό οξείδωσης, περιεκτικότητα νερού και στοιχεία προσθέτων) και το συσχετισμό αυτής με την κατάσταση λειτουργίας του μηχανήματος και
- αναλύσεις που έχουν σχεδιαστεί για να ελέγχουν το λιπαντικό για την παρουσία στοιχείων φθοράς και υπολειμμάτων διάβρωσης που δημιουργούνται από την κύλιση και ολίσθηση των επιφανειών των εμπλεκόμενων εξαρτημάτων.

Και οι δύο τύποι ανάλυσης περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα ανάλυσης των ελαίων. Η επιλογή κάθε φορά γίνεται ανάλογα με του είδους τις πληροφορίες που αναζητώνται, όπως δείχνει το Σχήμα 4.10 που ακολουθεί.

	Used Oil Analysis	Wear Particle Analysis
Lubricant Condition	GOOD	MINIMAL
Machine Condition	MINIMAL	GOOD

Σχήμα 4.10.

Όπως είναι γνωστό, οι περισσότεροι τύποι φθοράς και διάβρωσης έχουν σταδιακό ρυθμό ανάπτυξης για κάποιο χρονικό διάστημα προτού αποκτήσουν εκθετικό βαθμό ανάπτυξης, οπότε έρχεται ολοσχερής αστοχία. Κατά το διάστημα αυτό μικρά θραύσματα αποκολλώνται από την επιφάνεια που έχει προσβληθεί και ανακυκλώνονται μέσα στο σύστημα λίπανσης. Αυτά τα προϊόντα φθοράς ή διάβρωσης μπορούν να αναγνωριστούν με φασματοσκόπηση, φερογραφία ή φιλτράρισμα και έλεγχο με μικροσκόπιο. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για να αναγνωριστεί ποια διαδικασία φθοράς ενεργεί. Στον Πίνακα 4.1 δίνεται ενδεικτικά ένα παράδειγμα για μηχανές εσωτερικής καύσης.

Αποτέλεσμα αναλύσεων	Πιθανό πρόβλημα
1. Αύξηση ιξώδους	Υπερτροφodότηση καυσίμου που συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας και άρα παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων υλικών καύσης, περιορισμένη εισαγωγή αέρα, φθορά ελατηρίων ή οδηγών βαλβίδων, υψηλή ισχύς από υπερτροφodότηση καυσίμου, μεγάλο διάστημα αλληλλαγής βαλβίδων κ.λπ.
2. Μείωση ιξώδους	Κόλληση ελατηρίων, φτωχή ένχυση μίγματος, διαρροή βαλβίδων, αρρυθμιστο καρμπυρατέρ, φθοραμένα ελατήρια/χιτώνια αστοχία ανάφλεξης, διάτμηση του βεητιωτή δείκτη ιξώδους.
3. Μείωση TBN/αύξηση TAN	Καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα θείου φτωχή καύση, μεγάλο διάστημα αλληλλαγής βαλβίδων κ.λπ.
4. Περιεκτικότητα νερού	Χαμηλές θερμοκρασίες, μακρά λειτουργία μηχανής στο ρεζαντί, διαρροή από φλάντζα, ρωγμή στο σώμα της μηχανής κ.λπ.
5. Περιεκτικότητα Fe σε ppm	Τυπική τιμή 50–200 υψηλότερες τιμές σημαίνουν μεγάλη φθορά στα χιτώνια έδρανα στροφαλοφόρου και έκκεντρα ή ωστήρια. Απαιτείται λεπτομερής έλεγχος.
6. Φερογραφία Severity Index	Τυπική τιμή (αναλόγως με μηχανήμα) 200–400. Μεγαλύτερες τιμές δείχνουν σημαντική φθορά που χρειάζεται παραπέρα διερεύνηση.

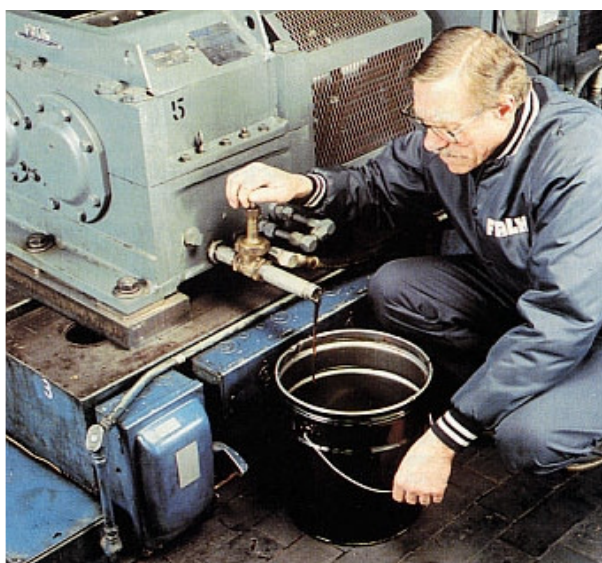
Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα αναλύσεων λαδιού μιας μηχανής εσωτερικής καύσης και πιθανά προβλήματα που υποδεικνύουν.

Πολλές εργαστηριακές μετρήσεις μπορούν να γίνουν στα δείγματα ελαίων. Αυτές αναφέρονται παρακάτω επιγραμματικά:

- Ιξώδες
- Σημείο ανάφλεξης
- Διαλυτότητα καυσίμου
- Αδιάλυτα σε πεντάνιο
- Αδιάλυτα σε τουλουόλιο
- Περιεκτικότητα σε νερό
- Φυγοκεντρικές μέθοδοι
- Διαπερατότητα φίλτρου
- Φωτομετρική σύγκριση
- Περιεκτικότητα τέφρας
- Αλκαλικότητα (TBN)
- Οξύτητα (TAN)

- Ανόργανη οξύτητα (SAN)
- Θερμοβαρυντική ανάλυση (TGA)
- Μέταλλα προσθέτων (AES/AAS)
- Μέταλλα φθοράς (AES/AAS)
- Υπέρυθρη φασματοσκόπηση (IR)
- Φερογραφία (Ferrography)

Υπάρχουν φορητές συσκευές αναλύσεων, που είναι χρήσιμες για τοπικές δοκιμές. Τέτοιες συσκευές μπορούν να δώσουν προσεγγιστικά αποτελέσματα σχετικά με την κατάσταση του λιπαντικού. Αυτές οι συσκευές πραγματοποιούν συνήθως απλοποιημένες μετρήσεις προσδιορισμού ιξώδους, ολικών αδιαλυτών, περιεκτικότητας νερού, οξύτητας κ.λπ.



*Σχήμα 4.11. Συλλογή δείγματος λαδιού.*

Για ακριβείς όμως μετρήσεις καθώς και συστηματική παρακολούθηση σε μεγάλες μηχανές/μηχανισμούς συνήθως χρειάζονται πιο ακριβείς μετρήσεις σε εργαστήρια. Οι διάφορες αναλύσεις διακρίνονται σε:

- Βασικές:

Ιξώδες – Σημείο ανάφλεξης – Αδιάλυτα σε κανονικό πεντάνιο – Αλκαλικότητα – Περιεκτικότητα σε νερό.

- Δευτερεύουσες:

Διαλυτότητα καυσίμου – Ολική οξύτητα – Ανόργανη οξύτητα – Φασματοσκοπική ανάλυση (για μέταλλα φθοράς ή προσθέτων).

- Ειδικές περιπτώσεις:

Φερογραφική ανάλυση άμεσης ανάγνωσης ή αναλυτική – Ανάλυση μεγέθους σωματιδίων – Θερμοβαρυντική ανάλυση – Ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο κ.λπ.

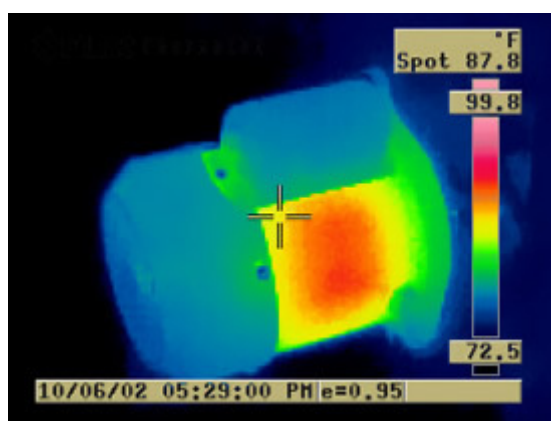
Πρώτα γίνεται η βασική σειρά αναλύσεων και εάν υπάρχει λόγος, ακολουθούν οι δευτερεύουσες αναλύσεις. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και οι ειδικές αναλύσεις.

Η χρήση των παραπάνω μεθόδων περιοδικής δειγματοληψίας και χημικής ανάλυσης των λαδιών συνεπάγεται ένα κόστος που εντοπίζεται όχι μόνο στον απαραίτητο πάγιο εξοπλισμό και προσωπικό, αλλά και στο κόστος των σχετικών αναλώσιμων που χρησιμοποιούν. Το γεγονός όμως ότι οι αλλαγές λαδιών δε γίνονται πλέον με τη συμπλήρωση καθορισμένων ωρών λειτουργίας, όπως προβλέπουν τα προγράμματα της Προληπτικής Συντήρησης, αλλά μόνο εάν απαιτείται από τα αποτελέσματα των αναλύσεων (ppm μετάλλων, μόλυνση λιπαντικού, πτώση ιξώδους ή σημείου ανάφλεξης, αφρισμός λιπαντικού κ.λπ.), εξασφαλίζει καλύτερη προστασία στα μηχανήματα, αφού τυχόν προβλήματα εντοπίζονται έγκαιρα και επιπλέον παρατείνει τη διάρκεια χρήσης του λιπαντικού.

### **Θερμογραφία**

Στηρίζεται στη μέτρηση ανωμαλιών στην εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας (θερμότητας) του εξοπλισμού. Η σωστή εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει την κατάλληλη απομόνωση της προς παρακολούθηση εκπεμπόμενης ενέργειας από άλλες ενεργειακές πηγές, όπως για παράδειγμα η ανακλώμενη ή η μεταφερόμενη ενέργεια. Σαν αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη και απαιτεί εκτεταμένη εκπαίδευση και εμπειρία.

Πρόκειται για υπέρυθρες φωτογραφικές εικόνες, όπως αυτή του Σχήματος 4.12, στις οποίες τα στοιχεία που εμφανίζονται πιο κόκκινα είναι τα θερμότερα. Το βασικό εδώ είναι ότι τα περισσότερα στοιχεία εμφανίζουν αύξηση της θερμοκρασίας τους πριν αστοχήσουν. Οι θερμοκρασίες των στοιχείων ποσοτικοποιούνται με κατάλληλο λογισμικό και αναγνωρίζονται ως φυσιολογικές ή μη με βάση τις προδιαγραφές που έχουν οριστεί από τους κατασκευαστές ή τη βιομηχανία. Αλλαγές στη θερμότητα δείχνουν τις προβληματικές περιοχές όπου εξελίσσεται η φθορά.



Σχήμα 4.12. Υπέρυθρη φωτογραφική εικόνα.

Η γνώση απλά του ότι υπάρχει μια αλλαγή στη θερμοκρασία δεν είναι αρκετή για να προβλεφθεί πότε ακριβώς θα εμφανιστεί αστοχία. Αυτό όμως δεν είναι και το πιο σημαντικό. Ο στόχος είναι να υπάρχει αρκετός χρόνος αποκατάστασης του προβλήματος πριν αυτό γίνει χειρότερο, γεγονός που έχει καταστήσει τη θερμογραφία ένα πολύ δημοφιλές εργαλείο για την Προβλεπτική Συντήρηση.

### **Λοιπές μέθοδοι μη καταστροφικών ελέγχων**

Σαν συμπλήρωμα των πιο πάνω τεχνικών έχει αναπτυχθεί μια ευρεία κατηγορία μεθόδων μη καταστροφικών ελέγχων, οι οποίες περιλαμβάνουν μεθόδους *Δινορευμάτων*, μεθόδους *Διεισδυτικών – Μαγνητικών υγρών*, *Ραδιογραφήματα* κ.λπ. Τα κύρια προβλήματα ευρείας εφαρμογής τους σε ένα γενικό σχέδιο Προβλεπτικής Συντήρησης εντοπίζονται στον περιορισμό της διαγνωστικής τους ικανότητας σε μία περιορισμένη κατηγορία βλαβών και στο σχετικά μεγάλο κόστος ενσωμάτωσής τους είτε αυτό αφορά την αγορά του εξοπλισμού είτε την ένταξή του στην παραγωγική διαδικασία (π.χ. εκπαίδευση – διατήρηση προσωπικού, προσδιορισμός συχνότητας μετρήσεων).

## **B. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ**

Κοινή παράμετρο όλων των πιο πάνω Μετρητικών Τεχνικών αποτελεί η απαίτηση για τη σωστή ερμηνεία των σχετικών μετρήσεων, με στόχο τη διάγνωση της βλάβης. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διεθνώς μεθοδολογίες για την επεξεργασία των σχετικών μετρήσεων - έτσι ώστε κατά το δυνατόν να μπορεί να υποκατασταθεί η κρίση του χειριστή του μηχανήματος - από κατάλληλη, επιστημονικά τεκμηριωμένη επιστημονική διάγνωση.

Οι μεθοδολογίες αυτές περιλαμβάνουν:

*Παρακολούθηση Λειτουργικών Παραμέτρων (Parameter Trending)*

*Μεθόδους Επεξεργασίας Σήματος (Digital Signal Processing)*

*“Αυτόματες” Μεθόδους Διάγνωσης (Automated Diagnosis)*

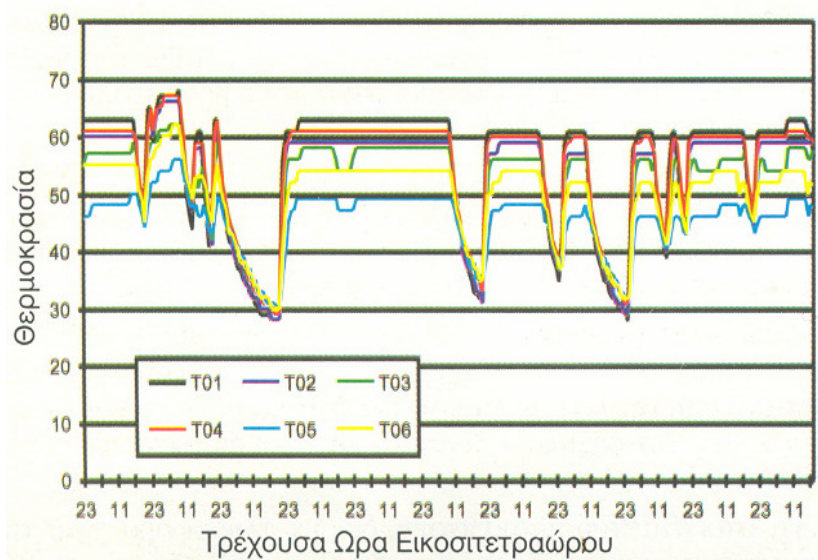
### **Παρακολούθηση Λειτουργικών Παραμέτρων (Parameter Trending)**

Αποτελεί την πλέον πρωτογενή διαγνωστική μεθοδολογία. Μία πρώτη άμεση εφαρμογή της αποτελεί η παρακολούθηση των τάσεων εξέλιξης βασικών μεγεθών (physical parameters trending), που σχετίζονται άμεσα με τη φυσική διεργασία που εκτελείται από τον εξοπλισμό, όπως πιέσεις, παροχές, θερμοκρασίες κ.λπ. Η ανωμαλία ή η βλάβη συνάγεται έμμεσα από την επισήμανση τιμών εκτός λειτουργικών πλαισίων. Σημαντική ώθηση προς αυτή την κατεύθυνση έχουν δώσει μεταξύ άλλων η ανάπτυξη συστημάτων εποπτικής λειτουργίας των εγκαταστάσεων (Supervisory Control and Data Acquisition Systems), καθώς και το σχετικά χαμηλό πλέον κόστος των απαιτούμενων αισθητηρίων.

Για παράδειγμα στο *Σχήμα 4.13* που ακολουθεί φαίνεται ένα διάγραμμα εξέλιξης της θερμοκρασίας που προκύπτει από καταγραφές κατά τη συνεχή επιτήρησή της.

Η χρησιμότητα τέτοιων διαγραμμάτων επομένως είναι προφανής, όχι μόνο για την απεικόνιση της κατάστασης του μηχανήματος, αλλά και για τη διατύπωση των αιτιών που προκάλεσαν βλάβη (root failure analysis). Η διερεύνηση των αιτιών και των μηχανισμών που οδήγησαν σε αστοχία θα βοηθήσει στη σχεδίαση και εφαρμογή συστημάτων που θα αποτρέπουν στο μέλλον την εμφάνιση βλαβών και θα διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του μηχανήματος.

Επίσης τέτοια διαγράμματα βοηθούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων από δοκιμαστικές εφαρμογές νέων υλικών, όπως π.χ. λιπαντικά. Η επιτυχής δοκιμή ενός νέου λιπαντικού θα φέρει μικρότερα επίπεδα δονήσεων στα γρανάζια αλλά και χαμηλότερες θερμοκρασίες στα ρουλεμάν, που θα φανούν άμεσα στα διαγράμματα.



Σχήμα 4.13. Εξέλιξη θερμοκρασιών σε έξι ρουλεμάν ενός μειωτήρα κίνησης. T01 έως T06 είναι οι αριθμοί των θερμοστοιχείων που μετρούν τη θερμοκρασία των ρουλεμάν σε κάθε βαθμίδα.

Μια άλλη εφαρμογή τους αποτελεί η παρακολούθηση των τάσεων εξέλιξης δευτερογενών μεταβλητών που προέρχονται από τις Μετρητικές Τεχνικές διάγνωσης βλαβών, με τυπική περίπτωση την παρακολούθηση των τάσεων εξέλιξης συνιστωσών του φάσματος συχνοτήτων των μετρήσεων των κραδασμών.

#### **Μέθοδοι Επεξεργασίας Σήματος (Digital Signal Processing)**

Λαμβανομένου υπόψη του μεγάλου όγκου των μετρήσεων που προέρχονται από τις Μετρητικές Τεχνικές έχει αναπτυχθεί μία μεγάλη κατηγορία μεθόδων επεξεργασίας των λαμβανόμενων σημάτων με στόχο την ελάττωση των σχετικών προς παρακολούθηση παραμέτρων και τον καλύτερο συσχετισμό τους με το αίτιο βλάβης. Η συνηθέστερη μέθοδος στηρίζεται στην ανάλυση συχνοτήτων των λαμβανόμενων σημάτων με τον Ταχύ Μετασχηματισμό Fourier (FFT – Fast Fourier Transform). Τυπική εφαρμογή της αποτελεί η ανάλυση των μετρήσεων των κραδασμών. Έτσι συνιστώσες ή ομάδες συνιστωσών του λαμβανόμενου φάσματος μετρήσεων μπορούν να συσχετισθούν με συγκεκριμένο τύπο βλάβης. Συμπληρωματικά έχει αναπτυχθεί μία μεγάλη ομάδα μεθόδων επεξεργασίας σήματος, π.χ. ανάλυση κυματιδίων (wavelets), ανάλυση περιβάλλουσας (envelope analysis), μέθοδοι ARMA κ.λπ., με στόχο τη διευκόλυνση ειδικών διαγνωστικών προβλημάτων.

#### **“Αυτόματες” Μέθοδοι Διάγνωσης (Automated Diagnosis)**

Χρησιμοποιούνται κυρίως για την υποκατάσταση της διαγνωστικής εμπειρίας του προσωπικού λειτουργίας ή συντήρησης από αυτοματοποιημένα συστήματα διάγνωσης στηριγμένα σε σωστά τεκμηριωμένες επιστημονικές αρχές. Τυπικά τέτοια συστήματα αποτελούν τα μοντέλα αναφοράς της λειτουργίας της εγκατάστασης για



τη σύγκριση των λαμβανόμενων μετρήσεων με τα «αποτελέσματα της ορθής λειτουργίας» (Reference Model Based Diagnosis), τα έμπειρα συστήματα (expert systems) ή συστήματα στηριζόμενα σε νευρωνικά δίκτυα (neural networks) ή ασαφή λογική (fuzzy logic). Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα αυτής της μορφής βρίσκονται ακόμη κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο, η πρακτική εφαρμογή τους σε πολλές περιπτώσεις έχει οδηγήσει σε χρήσιμα αποτελέσματα.

#### **4.13 ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Οι δείκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελεγχθεί κατά πόσο το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι επιτυχές. Μερικοί από αυτούς είναι οι ακόλουθοι.

##### ***Οι Δραστηριότητες της Προβλεπτικής Συντήρησης σαν Ποσοστό όλων των Δραστηριοτήτων Συντήρησης***

Αυτός ο δείκτης εξετάζει το ποσοστό των δραστηριοτήτων συντήρησης που είναι προβλεπτικές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες κατηγορίες των δραστηριοτήτων συντήρησης. Υπάρχουν δύο τρόποι έκφρασης αυτού του δείκτη.

Ο πρώτος είναι να συγκριθούν οι ώρες της Προβλεπτικής Συντήρησης με τις συνολικές ώρες συντήρησης:

$$\frac{\text{Ώρες Δραστηριοτήτων Προβλεπτικής Συντήρησης}}{\text{Συνολικές Ώρες Συντήρησης}}$$

Ο δεύτερος είναι να συγκριθούν τα συνολικά κόστη τους. Το μεγαλύτερο κομμάτι των εργασιών της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι εντατικοί έλεγχοι από το ανθρώπινο δυναμικό. Ελάχιστα ανταλλακτικά χρειάζονται. Παρόλα αυτά, εάν το σύστημα ελέγχου των εργασιών μπορεί να εντοπίσει τις διορθωτικές εργασίες που προκύπτουν από την Προβλεπτική Συντήρηση, τότε υπάρχει η δυνατότητα να συγκριθούν επιπρόσθετα οικονομικά οφέλη.

$$\frac{\text{Κόστος Δραστηριοτήτων Προβλεπτικής Συντήρησης}}{\text{Συνολικό Κόστος Συντήρησης}}$$

Αυτοί οι δείκτες προκύπτουν επομένως εάν διαιρεθούν οι συνολικές ώρες (ή το συνολικό κόστος) των δραστηριοτήτων της Προβλεπτικής Συντήρησης με τις συνολικές ώρες (ή το συνολικό κόστος) των δραστηριοτήτων του τμήματος συντήρησης. Τα προκύπτοντα ποσοστά μπορούν να αναχθούν στο χρόνο για να δείξουν το επίπεδο των ωρών ή του κόστους που επενδύεται στο πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης.

##### ***Δυνατότητες***

Αυτός ο δείκτης είναι διαφωτιστικός του επιπέδου των δραστηριοτήτων της Προβλεπτικής Συντήρησης και του κατά πόσο αυτές είναι συνεπείς. Εμποδίζει τον αποπροσανατολισμό των εργασιών της. Εάν σημειωθεί κάποια αρνητική τάση, μπορεί να διορθωθεί πριν την εξέλιξη σοβαρών προβλημάτων στο πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης.

### *Αδυναμίες*

Δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη αδυναμία σε αυτό το δείκτη. Θα έπρεπε να χρησιμοποιείται από οποιαδήποτε επιχείρηση θέλει να εφαρμόσει σοβαρά το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης.

### ***Εξοικονόμηση Χρημάτων Αποδιδόμενη στις Δραστηριότητες της Προβλεπτικής Συντήρησης***

Αυτός ο δείκτης είναι ενδεικτικός των χρημάτων που εξοικονομούνται χάρη στην εφαρμογή του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης. Θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει τις στάσεις-βλάβες που περιορίστηκαν ή απεφεύχθησαν χάρη στις δραστηριότητες της Προβλεπτικής Συντήρησης. Αν και αυτές μπορεί να είναι δύσκολο να υπολογιστούν, θα πρέπει να καταβληθεί μια πραγματική προσπάθεια ποσοτικοποίησης αυτών των «κερδών», ως εκ τούτου να διασφαλίζεται η συνεχής υποστήριξη του οργανισμού για το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης. Οι τρεις κυριότερες πηγές εξοικονόμησης χρημάτων είναι:

1. αύξηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού ή αποφυγή του κόστους σταματήματος της μηχανής λόγω βλάβης (breakdown),
2. αύξηση ικανότητας/απόδοσης του εξοπλισμού,
3. μείωση του κόστους συντήρησης (είναι οικονομικότερο να γίνεται η επισκευή προγραμματισμένα).

Αυτοί οι δείκτες θα πρέπει να υπολογίζονται κάθε μήνα και να εξετάζεται η τάση τους μέσα στο χρόνο. Θα πρέπει να περιλαμβάνουν μια περίληψη των ετήσιων αποταμιεύσεων από την έναρξη του προγράμματος.

### *Δυνατότητες*

Αυτοί οι δείκτες είναι χρήσιμοι για να αποσπάται και να διατηρείται η υποστήριξη της επιχείρησης για την προβλεπτική προσπάθεια. Μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν ως ένα εργαλείο εκπαίδευσης που θα βοηθά την επιχείρηση να κατανοεί τον αντίκτυπο που έχει η αξιοπιστία του εξοπλισμού στα κέρδη της.

### *Αδυναμίες*

Η μεγαλύτερη αδυναμία είναι η δυσκολία στον υπολογισμό του κόστους που αποφεύγεται. Θα ήταν ευκολότερο εάν είχαν καταγραφεί στο CMMS δεδομένα κόστους προηγούμενων βλαβών. Μπορεί να γίνεται καταγραφή του χρόνου εκτός λειτουργίας (downtime), οπότε η απώλεια μπορεί να υπολογίζεται από αυτό το στοιχείο. Ακόμη οι αυξήσεις στην ικανότητα του εξοπλισμού μπορούν να χρησιμεύσουν στη σύγκριση του ποσοστού παραγωγής με τα ποσοστά προ της έναρξης του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης.

### ***Μειωμένα Έξοδα Συντήρησης Αποδιδόμενα στις Δραστηριότητες της Προβλεπτικής Συντήρησης***

Αυτός ο δείκτης εξετάζει τη μείωση των εξόδων συντήρησης χάρη στη χρήση της Προβλεπτικής Συντήρησης σε σύγκριση με εκείνα της Λειτουργίας ως τη Βλάβη ή της Προληπτικής. Η μείωση, που προκύπτει λόγω του μακροχρόνιου σχεδιασμού, περιορίζει τον όγκο των εμπορευμάτων που πρέπει να αποθηκεύονται επειδή η παραγγελία και η παραλαβή μπορούν να γίνονται ακριβώς πριν την επισκευή. Καθώς οι εργασίες μπορούν να προγραμματιστούν, ελαχιστοποιούνται οι διακοπές στην παραγωγή και απαιτούνται λιγότερες υπερωρίες για συντήρηση. Οι δύο κυριότερες

πηγές μείωσης των εξόδων είναι η ανθρώπινη εργασία (βελτιωμένη και πιο αξιόπιστα προγραμματίσιμη) και τα ανταλλακτικά (πρόβλεψη των αναγκών, όχι αποθήκευση και χρήση όποτε είναι απαραίτητο).

Αυτός ο δείκτης προκύπτει εάν διαιρεθούν οι σημερινές εργατοώρες συντήρησης και το σημερινό κόστος υλικών με τα κόστη συντήρησης προ της έναρξης του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης. Αυτά τα κόστη θα πρέπει να είναι οι μηνιαίες δαπάνες συντήρησης. Το αποτέλεσμα, το οποίο εκφράζεται ως ποσοστό, μπορεί να εξεταστεί πώς κυμαίνεται μέσα σε 12 μήνες με τους μήνες με το υψηλότερο και το χαμηλότερο ποσοστό να δείχνουν το πεδίο διακύμανσης.

### Σημερινό Κόστος Συντήρησης

Κόστος Συντήρησης προ του Προγράμματος Προβλεπτικής Συντήρησης

#### *Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης είναι χρήσιμος για την ανάπτυξη και τη διατήρηση της υποστήριξης από μέρος της επιχείρησης για το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης. Βοηθά στην κατανόηση της επιχείρησης για τα οικονομικά οφέλη της Προβλεπτικής Συντήρησης στην κερδοφορία της. Μπορεί επίσης να χρησιμεύσει στην εξασφάλιση της συνεχούς απόδοσης του επενδεδυμένου για την Προβλεπτική Συντήρηση κεφαλαίου (ROI).

#### *Αδυναμίες*

Η μόνη μεγάλη αδυναμία αυτού του δείκτη είναι η ανάγκη συλλογής των δεδομένων κόστους ώστε να είναι αρκετά ικανοποιητικός και να γίνει αποδεκτός από την επιχείρηση. Τα δεδομένα κόστους θα πρέπει να είναι δυνατό να συσχετιστούν με τα λογιστικά δεδομένα.

#### **Μειωμένη Συχνότητα Στάσης-Βλάβης (Breakdown)**

Αυτός ο δείκτης εξετάζει τον ενδιάμεσο χρόνο μεταξύ δύο αστοχιών (Mean Time Between Failures – MTBF) για επιλεγμένα κρίσιμης σημασίας στοιχεία του εξοπλισμού. Η αποτελεσματικότητα του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης καθορίζεται από τη μείωση των στάσεων-βλαβών (breakdowns). Ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δύο αστοχιών (MTBF) προκύπτει από τη διαίρεση του παρερχόμενου χρόνου μεταξύ των αστοχιών του εξοπλισμού δια του αριθμού των αστοχιών (breakdowns):

Συνολικές Ώρες Μεταξύ Αστοχιών

Αριθμός Αστοχιών Εξοπλισμού

Η τάση του προκύπτοντος λόγου μπορεί να παρακολουθηθεί στο χρόνο και να φανερώσει το επίπεδο βελτίωσης. Εάν ο λόγος αυξάνεται, τότε αυτό σημαίνει ότι το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης έχει αποτέλεσμα. Εάν δεν αυξάνεται, τότε το πρόγραμμα χρειάζεται ρύθμιση. Το χρονικό πλαίσιο υπολογισμού εξαρτάται από τον εξοπλισμό και τη συχνότητα των αστοχιών από την έναρξη του προγράμματος.

#### *Δυνατότητες*

Αυτός ο δείκτης είναι ενδεικτικός του αντίκτυπου που έχουν οι δραστηριότητες της Προβλεπτικής Συντήρησης στις αστοχίες του εξοπλισμού. Είναι ωφέλιμη η χρήση αυτού του δείκτη για τη διατήρηση της αποδοτικότητας του προγράμματος της

Προβλεπτικής Συντήρησης. Όσο ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δύο αστοχιών (MTBF) αυξάνεται, το πρόγραμμα αποδίδει. Εάν μειώνεται, τότε είναι απαραίτητες κάποιες ρυθμίσεις.

#### *Αδυναμίες*

Δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη αδυναμία σε αυτό το δείκτη. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται από οποιοδήποτε οργανισμό εφαρμόζει ένα πρόγραμμα Προβλεπτικής Συντήρησης. Όταν ο οργανισμός φτάνει σε αυτό το επίπεδο ωριμότητας, το σύστημα συλλογής δεδομένων θα πρέπει να είναι ικανοποιητικά ακριβές για τον υπολογισμό του μέσου χρόνου μεταξύ αστοχιών.

#### **4.14 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης είναι ικανό να φέρει αποτελέσματα σε πολλές επιχειρήσεις, αν και λίγες από αυτές απολαμβάνουν όλα τα προνόμια που μπορεί να τους παρέχει. Η δυσκολία γι' αυτό προκύπτει συχνά εξαιτίας των ακόλουθων προβλημάτων.

#### *Ανεπαρκή Δεδομένα Αστοχίας του Εξοπλισμού*

Αυτό το πρόβλημα προκύπτει όταν ένας οργανισμός αρχίζει το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης χωρίς να έχει πρώτα θέσει τα θεμέλια μιας βασικής συντήρησης. Επειδή ο οργανισμός δε χρησιμοποιεί πλήρως το CMMS δεν έχει τα δεδομένα για να μπορεί να υπολογίσει τους δείκτες της Προβλεπτικής Συντήρησης.

Η λύση φυσικά είναι να γίνει σωστή χρήση των δεδομένων για να είναι δυνατό να ελεγχθεί εάν το πρόγραμμα είναι αποδοτικό.

#### *Έλλειψη Εστίασης στο Πρόγραμμα*

Αυτό το πρόγραμμα προκύπτει όταν ένας οργανισμός αποφασίζει την εφαρμογή της Προβλεπτικής Συντήρησης λόγω ενδιαφέροντος για τα προηγμένα τεχνολογικά εργαλεία που χρησιμοποιεί. Τα όργανα για την Προβλεπτική Συντήρηση αγοράστηκαν, χρησιμοποιήθηκαν πάνω σε συγκεκριμένα προβλήματα όσο ήταν καινούρια, αλλά ποτέ δεν εφαρμόστηκε ένα δομημένο και πειθαρχημένο πρόγραμμα. Επομένως το τμήμα συντήρησης έχει τα εργαλεία, αλλά ποτέ δεν εκπαιδεύτηκε ώστε να είναι επαρκές για αυτά.

Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται μόνο όταν η επιχείρηση καταβάλλει προσπάθεια για να μελετήσει τον εξοπλισμό, τη λειτουργική του δυναμική και τους τρόπους αστοχίας του. Βασιζόμενη στα στοιχεία που θα συλλέξει από αυτή τη μελέτη θα αγοράσει τα κατάλληλα εργαλεία της Προβλεπτικής Συντήρησης που θα εντοπίζουν προβλήματα στον εξοπλισμό. Ο στόχος του προγράμματος, ο εξοπλισμός που θα συμπεριληφθεί σε αυτό, το πρόγραμμα των επιθεωρήσεων και ο τρόπος που θα γίνεται η καταγραφή των δεδομένων, όλα αυτά πρέπει να προσδιοριστούν ακριβώς. Μόλις αγοραστούν τα εργαλεία της Προβλεπτικής Συντήρησης, πρέπει να σχεδιαστεί και να εφαρμοστεί μια εκτενής εκπαίδευση για τους τεχνικούς συντήρησης. Καθώς η εφαρμογή του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης θα συνεχίζεται, θα πρέπει να πραγματοποιούνται με βάση τους δείκτες κατάλληλες προσαρμογές, ώστε να εξασφαλίζεται πάντα η αποδοτικότητά του.

## ***Ανεπαρκής Εκπαίδευση πάνω στα Εργαλεία της Προβλεπτικής Συντήρησης***

Σε πολλές επιχειρήσεις η άδεια για την αγορά εργαλείων συντήρησης μπορεί να δοθεί σε πολλούς ανθρώπους. Όταν ένας εργαζόμενος χρειάζεται κάτι, το αγοράζει, χωρίς να απαιτεί κανείς ιδιαίτερη αιτιολόγηση. Το αντίθετο συμβαίνει με την εκπαίδευση. Το αίτημα της εκπαίδευσης πρέπει να περάσει από την έγκριση πολλών επιπέδων, κάθε ένα από τα οποία θέτει όλο και περισσότερα ερωτήματα και αφαιρεί ένα κομμάτι από τα προοριζόμενα για την εκπαίδευση χρήματα. Σαν αποτέλεσμα, όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί, δεν υπάρχει επαρκής χρηματοδότηση για την παροχή της καλύτερης εκπαίδευσης, γίνονται συμβιβασμοί με μια εκπαίδευση κατώτερη της βέλτιστης, γεγονός που οδηγεί σε αποτελέσματα κατώτερα των βελτίστων. Η αποδοτικότητα του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης μειώνεται και τα θετικά αποτελέσματα που θα μπορούσε να παρέχει δεν έρχονται ποτέ. Έτσι η διοίκηση αναζητά άλλα, περισσότερα υποσχόμενα προγράμματα.

Ο μόνος τρόπος για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα είναι να γίνουν κατανοητές οι απαιτήσεις ενός επιτυχούς προγράμματος Προβλεπτικής Συντήρησης όταν αυτό σχεδιάζεται ακόμα. Με αυτό τον τρόπο, όταν προκύψει το αίτημα για εκπαίδευση, αυτό θα έχει ήδη εγκριθεί.

## ***Έλλειψη Πληροφόρησης του συνόλου του Οργανισμού για το Πρόγραμμα***

Αυτό το πρόβλημα ανακύπτει όταν το τμήμα συντήρησης δεν κάνει γνωστό το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης στην υπόλοιπη επιχείρηση. Μπορεί το προσωπικό του τμήματος συντήρησης να ξέρει τι να κάνει και ποια είναι τα θετικά αποτελέσματα αυτού, αλλά αυτή η πληροφορία δε γίνεται ποτέ απόλυτα κατανοητή από την υπόλοιπη επιχείρηση. Όταν έπειτα το τμήμα συντήρησης ζητήσει να τεθεί ο εξοπλισμός εκτός λειτουργίας εξαιτίας μιας επικείμενης αστοχίας, κανείς δε θα το πιστέψει. Ο εξοπλισμός αστοχεί και το τμήμα συντήρησης καλείται να αντιδράσει.

Ο μόνος τρόπος για να μη συμβεί κάτι τέτοιο είναι να πληροφορηθεί όλη η επιχείρηση για τα πλεονεκτήματα και το σκοπό του προγράμματος πριν την εφαρμογή του ακόμη. Χρήσιμα μπορούν να φανούν παραδείγματα από άλλες επιχειρήσεις (διατίθενται συνήθως από τους πωλητές συστημάτων Προβλεπτικής Συντήρησης) που εφάρμοσαν το πρόγραμμα και είχαν επιτυχία. Έτσι όταν χρειαστούν κάποιες ενέργειες συντήρησης, αυτές θα είναι πιο εύκολο να πραγματοποιηθούν.

## ***Ανεπάρκεια των Στελεχών του Προγράμματος***

Αυτό το πρόβλημα σχετίζεται με πολλά από τα προηγούμενα, αλλά ξεκινά από την έλλειψη ενός πλήρους σχεδίου εφαρμογής του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης. Χωρίς ένα σχέδιο, οι απαιτήσεις δε γίνονται ποτέ αντιληπτές και η στελέχωση είναι μία από τις απαιτήσεις.

Όταν ξεκινά το πρόγραμμα θα πρέπει να συντάσσεται ένα συνολικό σχέδιο εφαρμογής του που θα συμπεριλαμβάνει τις απαιτήσεις σε πόρους και μια μελέτη της απόδοσης του επενδεδυμένου κεφαλαίου (ROI). Διαφορετικά η έλλειψη του κατάλληλου προσωπικού θα είναι πάντα πρόβλημα.

## ***Η Χρήση των Λάθος Εργαλείων Προβλεπτικής Συντήρησης σε μια Δραστηριότητα Συντήρησης***

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τη χρήση των λάθος εργαλείων. Ένας από αυτούς μπορεί να είναι ότι ο διευθυντής έχει γνώση μόνο μίας τεχνικής της Προβλεπτικής Συντήρησης και έτσι το πρόγραμμα εστιάζει μόνο σε αυτή. Ένας άλλος λόγος μπορεί να είναι το κόστος. Με ένα περιορισμένο προϋπολογισμό μπορεί να είναι δυνατή η αγορά και η εκμάθηση ενός μόνο εργαλείου. Όποιος και να είναι ο λόγος, το πρόγραμμα θα έχει περιορισμένη επιτυχία εάν εστιάζει σε μία μοναδική τεχνική. Όταν μάλιστα χρησιμοποιείται το λάθος εργαλείο για την επίλυση ενός προβλήματος στον εξοπλισμό και όλη η επιχείρηση παρακολουθεί την εξέλιξη της βλάβης και το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης να μην έχει αποτέλεσμα, δημιουργείται η εντύπωση ότι κανένα εργαλείο αυτού του τύπου συντήρησης δε λειτουργεί.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι απλή: να γίνεται χρήση του σωστού εργαλείου για την ανάλογη δραστηριότητα. Αυτό δεν είναι τόσο εύκολο να επιτευχθεί όσο ακούγεται. Κάποιος μέσα στην επιχείρηση πρέπει να έχει καλή γνώση των διάφορων τεχνικών Προβλεπτικής Συντήρησης που διατίθενται, καθώς και των δυνατοτήτων, των αδυναμιών και των εφαρμογών της καθεμιάς. Μόνο έτσι μπορεί να γίνει χρήση της κατάλληλης τεχνικής για το εκάστοτε πρόβλημα.

### ***Ο Οργανισμός είναι πολύ Αντιδραστικός***

Το πρόγραμμα της Προβλεπτικής Συντήρησης δε θα πρέπει να υιοθετείται πριν το τμήμα συντήρησης να είναι ώριμο αρκετά για να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά τα εργαλεία. Ας υποθέσουμε ότι πάνω από το 20% των εργασιών συντήρησης γίνονται ακόμη σε μορφή αντίδρασης και όχι πρόβλεψης. Τότε το αρχείο των εργασιών συντήρησης είναι ανακριβές. Τα δεδομένα κόστους θα είναι ανακριβή. Επομένως δε μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα για την αιτιολόγηση του κόστους ή την απόδοση του επενδεδυμένου κεφαλαίου. Μπορεί μεν τα εργαλεία της Προβλεπτικής Συντήρησης να αγοράστηκαν, αλλά να μην υπήρξε κανένας σχεδιασμός και πειθαρχία στο πρόγραμμα δε. Το αποτελέσματα δε θα είναι ενθαρρυντικά.

Η λύση είναι να εξακριβωθεί εάν τα θεμέλια υπάρχουν και ότι το τμήμα συντήρησης είναι έτοιμο να εφαρμόσει την Προβλεπτική Συντήρηση. Εάν δεν είναι έτοιμο το τμήμα συντήρησης, το πιθανότερο είναι ότι και ολόκληρη η επιχείρηση δεν είναι έτοιμη. Πρώτα πρέπει να τεθούν τα θεμέλια και μετά να εξελιχθεί το πρόγραμμα συντήρησης.

### ***Ελλιπή Θεμέλια για Προβλεπτική Συντήρηση***

Αν και σχετικό με κάποια από τα προηγούμενα, αυτό το πρόβλημα είναι περισσότερο περιεκτικό. Τα θεμέλια πρέπει να τίθενται πριν την εφαρμογή του προγράμματος της Προβλεπτικής Συντήρησης. Είναι επιτακτικό η διαδικασία της εξέλιξης να ακολουθείται, ώστε να είναι επιτυχής η προσπάθεια βελτίωσης της συντήρησης. Ελαττωματική θεμελίωση μπορεί τελικά να καταλήξει σε υπό του βέλτιστου την όλη προσπάθεια και σε έλλειψη ανταγωνιστικότητας του προγράμματος συντήρησης.

Η Προβλεπτική Συντήρηση είναι ένα από τα πιο πολύτιμα εργαλεία που καθιστούν τη συντήρηση ικανή να κάνει μακροχρόνιους προγραμματισμούς και να αυξάνει τον ενδιαμέσο χρόνο μεταξύ δύο αστοχιών (MTBF) του εξοπλισμού. Αλλά πάντα πρέπει να δομείται πάνω σε στέρεη βάση.

#### 4.15 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η εφαρμογή του συστήματος της Προβλεπτικής Συντήρησης έχει τα ακόλουθα αποτελέσματα.

- **Πλεονεκτήματα**

- Άριστη χρήση του εξοπλισμού με αύξηση της διαθεσιμότητας και του παραγωγικού χρόνου αφού οι κυριότεροι έλεγχοι συντήρησης γίνονται εν λειτουργία.
- Μειωμένο κόστος λειτουργίας λόγω αύξησης της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού.
- Δραματικά μειωμένο κόστος συντήρησης λόγω μειωμένης ανάλωσης ανταλλακτικών τα οποία εξαντλούν το όριο ζωής τους, αλλά και λόγω μείωσης των άχρηστων μαζικών συντηρήσεων σε μηχανήματα που δεν το απαιτούσαν.
- Λιγότερες απώλειες παραγωγής με τη μείωση των μη αναμενόμενων διακοπών του προγράμματος.
- Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εκδήλωσης εργατικών ατυχημάτων λόγω της αύξησης της ασφάλειας και αξιοπιστίας του εξοπλισμού, αλλά και λόγω μείωσης των επεμβάσεων.
- Μείωση του αποθέματος ανταλλακτικών.
- Μείωση των δευτερευουσών ζημιών, καθώς ο εξοπλισμός μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας πριν συμβεί κάποια μεγάλη ζημιά, άρα και μείωση του κόστους των επισκευών.
- Είναι δυνατός ο σχεδιασμός της συντήρησης (διαθεσιμότητα ανταλλακτικών, διαθεσιμότητα τεχνικών και διακοπή της παραγωγής) εκ των προτέρων.
- Είναι δυνατή η ανάλυση των αιτιών των αστοχιών.
- Αυξημένη ποιότητα προϊόντος και μείωση των απορριπτόμενων προϊόντων χάρη στην καλύτερη γενική κατάσταση του εξοπλισμού.
- Γίνεται αναγνώριση του εξοπλισμού με αυξημένο κόστος συντήρησης, γεγονός που αποκαλύπτει την ανάγκη είτε διορθωτικής συντήρησης είτε εκπαίδευσης του προσωπικού είτε αντικατάστασης απηρχαιωμένου εξοπλισμού.
- Μειωμένο προσωπικό συντήρησης, κυρίως για διορθωτικές επεμβάσεις, αφού οι περισσότεροι έλεγχοι γίνονται από αυτόματα συστήματα.
- Καλύτερη αξιοποίηση των δραστηριοτήτων και ισόχρονη απασχόληση των τεχνικών τμημάτων σε βελτιώσεις εξοπλισμού με μελέτη και χρήση νέων βελτιωμένων υλικών και ανταλλακτικών.
- Μειωμένο κόστος λόγω υπερωριών και οικονομικότερη χρήση των τεχνικών συντήρησης καθώς αυτοί δουλεύουν βάση προγράμματος και όχι εκτάκτως για την αποκατάσταση ξαφνικών βλαβών.
- Βέλτιστη ποιότητα συντήρησης και μέγιστη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.
- Ευκαμψία προγραμμάτων και συνεργασία με την παραγωγική διαδικασία για την εξεύρεση κατάλληλου χρόνου σταματήματος των μηχανημάτων λόγω δυνατότητας πρόβλεψης του χρόνου συντήρησης.
- Συνδρομή στην περιβαλλοντική προστασία από την ορθολογιστική χρήση των λιπαντικών με αφενός αύξηση της διάρκειας ζωής τους (λόγω αναλύσεων) και αφετέρου μείωση της κατανάλωσής τους από τη μείωση των επεμβάσεων στα μηχανήματα.

- **Μειονεκτήματα**

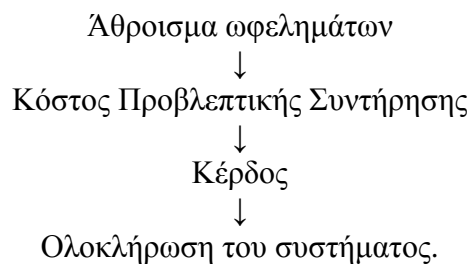
- Η μέτρηση κραδασμών, η θερμογραφία και η ανάλυση λαδιών απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό και ειδική εκπαίδευση, ενώ πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά η κατάλληλη κάθε φορά τεχνική.
- Απαιτεί εκπαιδευμένους ειδικούς.
- Απαιτείται η πάροδος κάποιου χρόνου μέχρι να φανεί η εξέλιξη των μετρούμενων μεγεθών και να διαγνωσθεί η κατάσταση της μηχανής.
- Το αρχικό κόστος της Προβλεπτικής Συντήρησης.

Η εφαρμογή του συστήματος, όπως έχει αναπτυχθεί, απαιτεί επενδύσεις σε προσωπικό, όργανα και χρόνο.

Η απόδοση του επενδεδυμένου κεφαλαίου (ROC – Return On Investment) σαν άμεσο ή έμμεσο αποτέλεσμα αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο.

Η αξιοπιστία όμως της παραγωγής, η ποιότητα των προϊόντων, η συνέπεια παραδόσεων είναι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη επειδή συμβάλλουν σημαντικά στη διατήρηση ή την απόκτηση καλής φήμης της επιχείρησης.

Αυτό το μειονέκτημα μπορεί να εξαλειφθεί εάν αντιμετωπιστεί σωστά. Οι δαπάνες εφαρμογής και λειτουργίας πρέπει να ελέγχονται λεπτομερώς, ενώ η επιλογή εξοπλισμού και μέσων να βασίζεται στη σχέση:



Σύμφωνα με σχετικές διεθνείς έρευνες, από την προκαταρκτική υλοποίηση προγραμμάτων Προβλεπτικής Συντήρησης σε 500 βιομηχανίες (Η.Π.Α., Καναδάς, Μ.Βρετανία, Γαλλία, Αυστραλία κ.λπ.) προέκυψαν σημαντικά οφέλη, τα οποία συνοψίζονται στα εξής τυπικά αποτελέσματα:

- Μείωση του κόστους συντήρησης κατά 50-80%.
- Μείωση των καταστροφών μηχανών κατά 50-60%.
- Μείωση των αποθεμάτων ανταλλακτικών κατά 20-30%.
- Μείωση του νεκρού χρόνου των μηχανών κατά 50-80%.
- Μείωση του κόστους υπερωριών κατά 20-50%.
- Αύξηση της διάρκειας ζωής των μηχανών κατά 20-40%.
- Αύξηση της παραγωγικότητας κατά 20-30%.
- Αύξηση κερδών κατά 25-60%.



## ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (DESIGN-OUT MAINTENANCE)

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Συντήρηση Ακριβείας αποτελεί μια νέα φιλοσοφία συντήρησης η οποία αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια. Προσανατολίζεται στο σχεδιασμό, έχει δηλαδή σκοπό να διορθώσει ελαττώματα του σχεδιασμού, που μπορεί να προέρχονται από ακατάλληλη μέθοδο εγκατάστασης, επιλογή λάθος υλικών κατασκευής, ασαφή καθορισμό προδιαγραφών λειτουργίας κ.ά. Προφανώς αυτό αποτελεί μηχανικό πρόβλημα, αλλά ευθύνη εξακολουθεί να έχει και το τμήμα συντήρησης. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται η σε μεγάλο βαθμό αλληλεπίδραση συντήρησης-σχεδιασμού έτσι ώστε ο μηχανικός συντήρησης να συνεργάζεται στενά με το μηχανικό σχεδιασμού.

Σε ορισμένες περιπτώσεις είτε είναι αδύνατο να βρεθεί μια δραστηριότητα συντήρησης ρουτίνας που να εξασφαλίζει το επιθυμητό επίπεδο διαθεσιμότητας του εξοπλισμού είτε δεν είναι πρακτικό αυτή να διενεργείται με την απαιτούμενη συχνότητα. Όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις κάτι πρέπει να γίνεται, ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος πολλαπλής αστοχίας σε ένα ανεκτό επίπεδο. Σε αυτές τις περιπτώσεις καθίσταται αναγκαία η επανεξέταση του σχεδιασμού. Ο επανασχεδιασμός αφορά κυρίως κάποιες επεμβάσεις σε νευραλγικά σημεία της μηχανής και την αντικατάσταση και επιλογή ίσως άλλων εναλλακτικών λύσεων. Εάν η αστοχία έχει συνέπειες στην ασφάλεια του προσωπικού ή το περιβάλλον, τότε ο επανασχεδιασμός είναι αναγκαστικός. Εάν η αστοχία έχει μόνο οικονομικές επιπτώσεις, τότε η ανάγκη επανασχεδιασμού εκτιμάται με βάση οικονομικά κριτήρια.

Η λογική αυτής της μεθόδου συντήρησης είναι διαφορετική των υπολοίπων. Ενώ οι περισσότερες μέθοδοι συντήρησης έχουν σαν στόχο την εξάλειψη των αστοχιών ή των επιπτώσεων των αστοχιών, η Συντήρηση Ακριβείας αποσκοπεί μεν στην ελαχιστοποίηση των αστοχιών, αλλά μέσω της *εξάλειψης των αιτιών της συντήρησης*, δηλαδή των αιτιών που οδηγούν στην ανάγκη για συντήρηση.

Η Συντήρηση Ακριβείας στοχεύει απευθείας στην καρδιά της αξιοπιστίας με τη βελτίωση ατελειών στο σχεδιασμό. Πλεονεκτεί σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους συντήρησης στο ότι εφαρμόζεται μία μόνο φορά για να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ο στόχος της είναι να «χτυπήσει» την έλλειψη αξιοπιστίας και όχι τα αποτελέσματα αυτής της έλλειψης, δηλαδή την πηγή που προκαλεί τα προβλήματα και όχι τα συμπτώματά της.

Υπάρχουν όμως δύο προαπαιτούμενα για την εφαρμογή της Συντήρησης Ακριβείας.

1. Είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας διευθυντικής ομάδας η οποία να πιστεύει στην καινοτομία και να ακολουθεί την αγορά. Χωρίς την παρακολούθηση της

αγοράς δεν είναι δυνατή και η καινοτομία, αφού αυτή αποτελεί απάντηση στις απαιτήσεις του πελάτη.

2. Η εφαρμογή της Συντήρησης Ακριβείας απαιτεί ερευνητές ικανούς και πεπειραμένους στους οποίους να παρέχεται ο χρόνος και τα κεφάλαια για να κάνουν την ανάλυση/σύνθεση που θα οδηγήσει στις επιθυμητές βελτιώσεις. Οι ερευνητές πρέπει να ξέρουν σε βάθος τους νόμους και τις αρχές της φυσικής και της χημείας για να επιλύουν μηχανικά προβλήματα.

Γενικά εφαρμόζεται σε εταιρείες που βλέπουν την όλη λειτουργία ενός οργανισμού σαν ένα δυναμικό σύστημα και πιστεύουν ότι η επένδυση θα αποδώσει.

## 5.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Η αξιοπιστία μπορεί να οριστεί με πολλούς τρόπους:

- Η ιδέα ότι κάτι επιτυγχάνει το σκοπό του σε σχέση με το χρόνο.
- Η ικανότητα μιας μηχανής ή ενός συστήματος να λειτουργεί όπως σχεδιάστηκε.
- Η αντίσταση μιας μηχανής ή ενός συστήματος στην αστοχία.
- Η ικανότητα μιας μηχανής ή ενός συστήματος να έχει τη λειτουργία και την απόδοση που απαιτείται κάτω από ορισμένες συνθήκες και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.
- Η πιθανότητα ότι μια λειτουργική μονάδα θα αποδώσει την απαιτούμενη λειτουργία για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Βελτίωση της αξιοπιστίας σημαίνει απουσία αστοχιών. Αυτό γίνεται με τη βελτίωση της ζωής ενός εξαρτήματος ή μιας μηχανής. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αστοχιών σε έναν οργανισμό, αστοχία του εξοπλισμού, της ποιότητας, των διαδικασιών, του προϊόντος, της ασφάλειας. Οποιοδήποτε στοιχείο και αν επιλέγει ο οργανισμός να βελτιώσει, η βελτίωση της αξιοπιστίας θα πρέπει να κατορθώνει τα εξής:

1. Μείωση του κόστους και καλύτερα κέρδη.
2. Βελτίωση της ποιότητας της αγοράς και του προϊόντος.
3. Βελτίωση της παραγωγικότητας και της οικονομικής αποδοτικότητας εσωτερικών διαδικασιών του οργανισμού.
4. Βελτίωση της τεχνολογίας, της ασφάλειας και του περιβάλλοντος.
5. Βελτίωση του ταλέντου, της καινοτομίας ικανότητας και των γνώσεων του ανθρώπινου δυναμικού του οργανισμού.
6. Βελτίωση της οργάνωσης των πληροφοριών.

Προφανώς η επιτυχία μιας επιχείρησης στην αγορά εξαρτάται από τη βελτίωση της αξιοπιστίας όλων των παραπάνω στοιχείων. Σε αυτό μπορεί να βοηθήσει η Συντήρηση Ακριβείας που στόχο της έχει αυτή ακριβώς τη βελτίωση της αξιοπιστίας μέσω της πρόβλεψης μιας αστοχίας και του εντοπισμού του ακριβούς σημείου της, αλλά κυρίως μέσω της αναγνώρισης της πιθανής αιτίας της αστοχίας που θα οδηγήσει στις απαραίτητες τροποποιήσεις ή επανασχεδιασμούς στη μηχανή, ώστε αυτή να μην ξαναεμφανιστεί.

## 5.3 ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο όρος «επανασχεδιασμός» (“*redesign*”) χρησιμοποιείται με τη γενικότερη έννοιά του. Πρώτον αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στις προδιαγραφές ενός αντικειμένου του εξοπλισμού, δηλαδή σε οποιαδήποτε ενέργεια που οδηγεί σε μια αλλαγή στο σχέδιο ή σε ένα κατάλογο εξαρτημάτων. Περιλαμβάνει *αλλαγές στις προδιαγραφές στοιχείων μηχανών, προσθήκες νέων αντικειμένων, αντικαταστάσεις ολόκληρων μηχανών με άλλες διαφορετικής κατασκευής ή τύπου ή επανατοποθετήσεις μηχανών*. Επιπλέον αναφέρεται σε οποιαδήποτε άλλη αλλαγή σε κάποια διαδικασία η οποία επηρεάζει τη λειτουργία μιας εγκατάστασης. Ακόμη καλύπτει την *εκπαίδευση* ως μέθοδο αντιμετώπισης μιας συγκεκριμένης αστοχίας (που μπορεί να θεωρηθεί ως «επανασχεδιασμός» των ικανοτήτων του εκπαιδευόμενου).

Επομένως με τον όρο επανασχεδιασμό εννοούμε οποιαδήποτε ενέργεια γίνεται για να αλλάξει η φυσική διαμόρφωση μιας μηχανής ή ενός συστήματος (*modification*), η λειτουργία μιας μηχανής ή ενός συστήματος, η μέθοδος που χρησιμοποιείται από έναν χειριστή ή έναν συντηρητή για την πραγματοποίηση μιας δραστηριότητας ή η ικανότητα ενός χειριστή ή συντηρητή (*εκπαίδευση*).

### 5.3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Οποιαδήποτε αλλαγή είναι ακριβή. Περιλαμβάνει το κόστος ανάπτυξης της νέας ιδέας (σχεδιασμός μιας νέας μηχανής, προσδιορισμός μιας νέας διαδικασίας λειτουργίας), το κόστος πραγματοποίησης της ιδέας (κατασκευή ενός νέου κομματιού, αγορά μιας νέας μηχανής, σχεδιασμός ενός νέου προγράμματος εκπαίδευσης) και το κόστος εφαρμογής της αλλαγής (εγκατάσταση του κομματιού, εφαρμογή του προγράμματος εκπαίδευσης). Επιπλέον έμμεσα κόστη προκύπτουν εάν πρέπει να διακοπεί η λειτουργία του εξοπλισμού και οι εργασίες του προσωπικού κατά τη διάρκεια εγκατάστασης της αλλαγής. Υπάρχει επιπλέον ο κίνδυνος αποτυχίας της αλλαγής να εξαλείψει ή ακόμη και να «ανακουφίσει» το πρόβλημα για τη λύση του οποίου προοριζόταν. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί ακόμη και να δημιουργήσει νέα προβλήματα.

Σαν αποτέλεσμα το όλο θέμα των τροποποιήσεων και επανασχεδιασμών θα πρέπει να προσεγγίζεται με μεγάλη προσοχή. Δύο ζητήματα χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή:

- τι εξετάζουμε αρχικά, σχεδιασμό ή συντήρηση;
- η σχέση μεταξύ της ενυπάρχουσας αξιοπιστίας και της επιθυμητής απόδοσης.

#### ***Τι έρχεται πρώτο – επανασχεδιασμός ή συντήρηση;***

Αξιοπιστία, σχεδιασμός και συντήρηση είναι άρρηκτα συνδεδεμένα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στον πειρασμό να αρχίσει η επανεξέταση του σχεδιασμού του υπάρχοντος εξοπλισμού προτού να μελετηθούν οι απαιτήσεις του σε συντήρηση. Στην πράξη όμως εξετάζεται πρώτα η συντήρηση για δύο λόγους.

Οι περισσότερες τροποποιήσεις χρειάζονται από έξι μήνες έως τρία χρόνια για να μελετηθούν και να πραγματοποιηθούν, ανάλογα με το κόστος και την πολυπλοκότητα του νέου σχεδιασμού. Από την άλλη μεριά ο συντηρητής που είναι *σήμερα* επιφορτισμένος με τη συντήρηση του εξοπλισμού πρέπει να συντηρεί τον εξοπλισμό όπως είναι *σήμερα* και όχι αυτό που θα έπρεπε ή θα μπορούσε να υπάρχει κάποια στιγμή στο μέλλον. Επομένως η σημερινή πραγματικότητα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται πριν τις αυριανές αλλαγές στο σχεδιασμό.

Δεύτερον οι περισσότεροι οργανισμοί αντιμετωπίζουν πολύ περισσότερες φαινομενικά επιθυμητές ευκαιρίες βελτίωσης του σχεδιασμού από αυτές που είναι φυσικά ή οικονομικά κατορθωτές. Δίνοντας σημασία στις συνέπειες των αστοχιών, η

συντήρηση βοηθάει στην ανάπτυξη μιας λογικής σειράς προτεραιοτήτων, κυρίως επειδή ξεχωρίζει τις τροποποιήσεις που είναι ουσιώδεις από αυτές που είναι απλά και μόνο επιθυμητές. Προφανώς τέτοιες προτεραιότητες μπορούν να εφαρμοστούν μόνο αφότου έχει πραγματοποιηθεί η επανεξέταση.

### ***Ενυπάρχουσα αξιοπιστία και επιθυμητή απόδοση***

Η ενυπάρχουσα αξιοπιστία οποιασδήποτε μηχανής είναι εγκατεστημένη από το σχεδιασμό της και από το πώς κατασκευάστηκε. Η συντήρηση δεν μπορεί να αυξήσει την ενυπάρχουσα αξιοπιστία του σχεδιασμού. Αυτό οδηγεί σε δύο σημαντικά συμπεράσματα.

Πρώτον, εάν η ενυπάρχουσα αξιοπιστία ή ικανότητα μιας μηχανής είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή απόδοση, η συντήρηση μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη της επιθυμητής απόδοσης. Το μεγαλύτερο κομμάτι του εξοπλισμού είναι επαρκώς καθορισμένο, σχεδιασμένο και κατασκευασμένο, ώστε συνήθως είναι δυνατό να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα συντήρησης (όπως αυτή περιεγράφη στα προηγούμενα κεφάλαια). Με άλλα λόγια στις περισσότερες περιπτώσεις η συντήρηση μας βοηθά να αποσπάσουμε την επιθυμητή απόδοση από μία μηχανή όπως αυτή είναι διαμορφωμένη.

Από την άλλη μεριά, εάν η επιθυμητή απόδοση ξεπερνά την ενυπάρχουσα αξιοπιστία, τότε κανένα επίπεδο συντήρησης δεν μπορεί να αποσπάσει την επιθυμητή απόδοση. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι δυνατό μια «καλύτερη» συντήρηση να λύσει το πρόβλημα, οπότε καθίσταται απαραίτητο να κοιτάξουμε πέρα από τη συντήρηση για τις λύσεις. Οι εναλλακτικές περιλαμβάνουν:

- τροποποίηση του εξοπλισμού
- αλλαγές στις διαδικασίες λειτουργίας
- μείωση των απαιτήσεων και αποδοχή του προβλήματος.

Αυτό μας υπενθυμίζει ότι η συντήρηση δεν είναι πάντα η απάντηση σε χρόνια προβλήματα αξιοπιστίας. Ακόμη μας υπενθυμίζει ότι πρέπει να εγκαθιστούμε όσο το δυνατόν συντομότερα και ακριβέστερα αυτό που θέλουμε να κάνει κάθε στοιχείο του εξοπλισμού κατά τη λειτουργία του προτού αρχίσουμε να συζητάμε την καταλληλότητα του σχεδιασμού του και τις απαιτήσεις του σε συντήρηση.

### **5.3.2 Ο ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ (DEFAULT ACTION)**

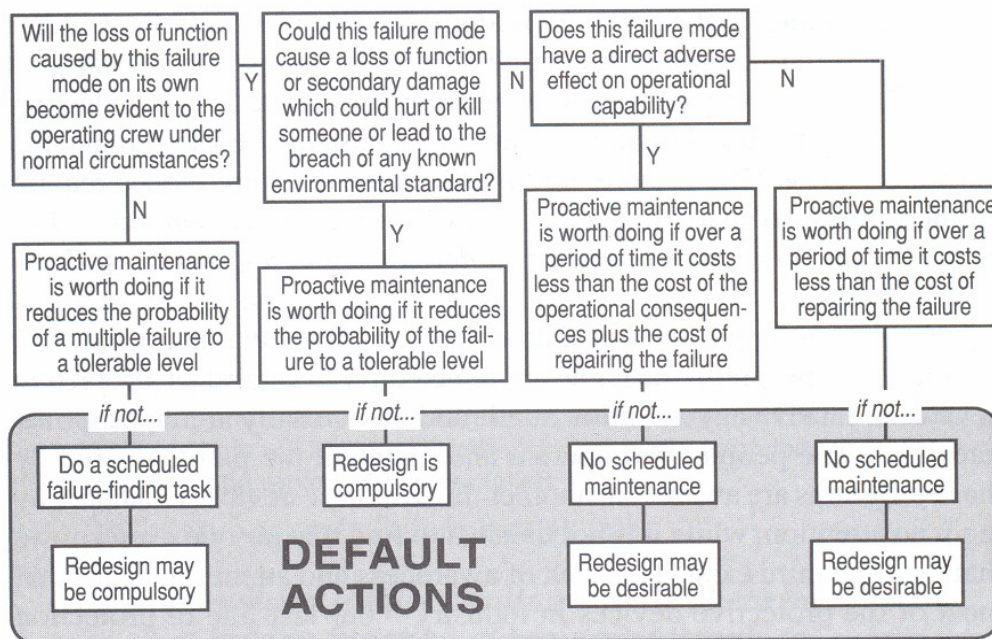
Όταν δεν μπορεί να βρεθεί κάποια «προδραστική» δραστηριότητα συντήρησης που να είναι και τεχνικά κατορθωτή και οικονομικά δικαιολογημένη για κάποια αστοχία, τότε η ενέργεια (*default action*) που πρέπει να γίνει εξαρτάται από τις επιπτώσεις της αστοχίας ως εξής:

- εάν δεν είναι δυνατό να βρεθεί κάποια προδραστική δραστηριότητα που να μειώνει σε ένα ανεκτά χαμηλό επίπεδο τον κίνδυνο της πολλαπλής αστοχίας που σχετίζεται με μια *κρυφή λειτουργία* (δηλαδή μια λειτουργία της οποίας η αστοχία δε θα γίνει φανερή στους χειριστές κάτω από φυσιολογικές συνθήκες και όταν προκληθεί από μόνη της), τότε πρέπει να πραγματοποιηθεί κάποια περιοδική *δραστηριότητα εύρεσης της αστοχίας (failure-finding task)*. Εάν δε μπορεί να βρεθεί ούτε μια τέτοια δραστηριότητα που να είναι κατάλληλη, τότε η δευτερεύουσα default απόφαση είναι ότι το στοιχείο του εξοπλισμού μάλλον πρέπει να επανασχεδιαστεί.
- εάν δεν είναι δυνατό να βρεθεί κάποια προδραστική δραστηριότητα που να μειώνει σε ένα ανεκτά χαμηλό επίπεδο τον κίνδυνο μιας αστοχίας που θα

μπορούσε να επηρεάσει την ασφάλεια ή το περιβάλλον, το στοιχείο πρέπει να επανασχεδιαστεί ή η παραγωγική διαδικασία να αλλάξει.

- εάν δεν είναι δυνατό να βρεθεί κάποια προδραστική δραστηριότητα που για μια χρονική περίοδο να κοστίζει λιγότερο από ό,τι μια αστοχία με επιπτώσεις στη λειτουργία, η αρχική default απόφαση είναι η μη πραγματοποίηση προγραμματισμένης συντήρησης. (Εάν αυτό έχει συμβεί και οι επιπτώσεις στη λειτουργία εξακολουθούν να μην είναι αποδεκτές, τότε η δευτερεύουσα default απόφαση είναι και πάλι ο επανασχεδιασμός).
- εάν δεν είναι δυνατό να βρεθεί κάποια προδραστική δραστηριότητα που για μια χρονική περίοδο να κοστίζει λιγότερο από ό,τι μια αστοχία χωρίς επιπτώσεις στη λειτουργία, η αρχική default απόφαση είναι η μη πραγματοποίηση προγραμματισμένης συντήρησης, ενώ εάν το κόστος επισκευής είναι πολύ υψηλό, η δευτερεύουσα default απόφαση είναι για μια ακόμη φορά ο επανασχεδιασμός.

Το Σχήμα 5.1 δείχνει ότι ο επανασχεδιασμός εμφανίζεται στη βάση και των τεσσάρων στηλών του διαγράμματος αποφάσεων. Σε περιπτώσεις αστοχιών που έχουν συνέπειες στην ασφάλεια και το περιβάλλον αποτελεί αναγκαστική ενέργεια, ενώ στις υπόλοιπες τρεις περιπτώσεις «θα μπορούσε να είναι επιθυμητός».



Σχήμα 5.1: Default actions.

### Επιπτώσεις στην ασφάλεια ή το περιβάλλον

Εάν κάποια αστοχία ενδέχεται να επηρεάσει την ασφάλεια ή το περιβάλλον και δεν μπορεί να βρεθεί κάποια προληπτική δραστηριότητα ή κάποιος συνδυασμός δραστηριοτήτων που να μειώνει τον κίνδυνο σε ένα ανεκτό επίπεδο, κάτι πρέπει να αλλάξει, αλλά επειδή πρόκειται για ένα κίνδυνο για την ασφάλεια ή το περιβάλλον που δεν είναι δυνατό να προληφθεί επαρκώς. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνήθως γίνεται επανασχεδιασμός με έναν από τους δύο ακόλουθους σκοπούς:

- να μειωθεί η πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας σε ένα επίπεδο που να είναι ανεκτό. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση του προβληματικού στοιχείου με ένα δυνατότερο ή πιο αξιόπιστο.
- να τροποποιηθεί η μηχανή ή η διαδικασία με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην έχει πλέον επιπτώσεις στην ασφάλεια ή το περιβάλλον. Αυτό συνήθως γίνεται με την εγκατάσταση ενός ή περισσότερων από τους τέσσερις τύπους προστατευτικών συσκευών, οι οποίες κατηγοριοποιούνται ως εξής ανάλογα με τη λειτουργία τους:
  - να ειδοποιούν τους χειριστές για μη φυσιολογικές συνθήκες
  - να σταματούν τη λειτουργία του εξοπλισμού σε περίπτωση αστοχίας
  - να εξαλείφουν ή να ανακουφίζουν μη φυσιολογικές συνθήκες που έπονται μιας αστοχίας και οι οποίες σε διαφορετική περίπτωση θα προκαλούσαν πιο σοβαρές βλάβες
  - να εμποδίζουν την εμφάνιση επικίνδυνων καταστάσεων.

Όταν προστεθεί μια τέτοια συσκευή θα πρέπει να αναλύονται και οι δικές της απαιτήσεις σε συντήρηση. Οι επιπτώσεις στην ασφάλεια και το περιβάλλον μπορούν επίσης να μειωθούν με την αποφυγή χρήσης επικίνδυνων υλικών σε μια διαδικασία ή ακόμη και με την πλήρη εγκατάλειψη μιας επικίνδυνης διαδικασίας.

Όταν πρόκειται για την ασφάλεια ή το περιβάλλον δεν τίθεται οικονομικό θέμα. Εάν το επίπεδο του κινδύνου που συνοδεύει μια αστοχία κρίνεται μη ανεκτό, είμαστε υποχρεωμένοι είτε να προλάβουμε/εμποδίσουμε την αστοχία είτε να καταστήσουμε τη διαδικασία ασφαλή. Εναλλακτικά δεχόμαστε τις συνθήκες που είναι επισφαλείς για το προσωπικό ή το περιβάλλον, γεγονός που πλέον δεν είναι αποδεκτό από τις περισσότερες βιομηχανίες.

### ***Κρυμμένες αστοχίες***

Στην περίπτωση των κρυμμένων αστοχιών ο κίνδυνος πολλαπλής αστοχίας μπορεί να μειωθεί με την τροποποίηση του εξοπλισμού με έναν από τους ακόλουθους τέσσερις τρόπους:

- οι κρυφές λειτουργίες γίνονται εμφανείς με την προσθήκη συσκευών: κάποιες κρυφές λειτουργίες μπορούν να γίνουν φανερές με την προσθήκη μιας ακόμα συσκευής που να τραβά την προσοχή του χειριστή στην αστοχία της κρυφής λειτουργίας.

Για παράδειγμα η μπαταρία που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία ενός ανιχνευτή καπνού είναι μια κλασική κρυφή λειτουργία, εάν δεν παρέχεται πρόσθετη προστασία. Έτσι στους περισσότερους από αυτούς τους ανιχνευτές προσαρμόζεται μια προειδοποιητική λυχνία με τέτοιο τρόπο, ώστε η λυχνία να σβήνει όταν η μπαταρία αστοχεί. Κατ' αυτόν τον τρόπο η επιπρόσθετη προστασία κάνει τη λειτουργία της μπαταρίας εμφανή. (Σημειώνεται ότι η λυχνία μας ενημερώνει μόνο για την κατάσταση της μπαταρίας, όχι για την ικανότητα του ανιχνευτή να ανιχνεύει τον καπνό).

Εδώ χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς οι επιπλέον λειτουργίες που εγκαθίστανται για το σκοπό αυτό τείνουν και αυτές να είναι κρυφές. Όταν προστίθενται πολλά επίπεδα προστασίας, γίνεται όλο και πιο δύσκολο – αν όχι αδύνατο – να καθοριστούν δραστηριότητες εύρεσης των αστοχιών. Μια πολύ πιο αποτελεσματική προσέγγιση είναι η αντικατάσταση μιας κρυφής λειτουργίας από μία εμφανή, όπως εξηγείται στην επόμενη παράγραφο.

- η κρυφή λειτουργία αντικαθίσταται από μια εμφανή λειτουργία: στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό σημαίνει αντικατάσταση μιας προστατευτικής συσκευής που

δεν κινδυνεύει να αστοχήσει από μία που μπορεί να αστοχήσει. Αυτό στην πράξη είναι ιδιαίτερα δύσκολο να γίνει, αλλά όταν γίνει, δεν υπάρχει πλέον η ανάγκη κάποιας δραστηριότητας εύρεσης της αστοχίας.

Για παράδειγμα ένας συνηθισμένος τρόπος που χρησιμοποιείται για να ενημερώνεται ο οδηγός ενός οχήματος για την αστοχία των λυχνιών των φρένων του είναι η εγκατάσταση μιας προειδοποιητικής λυχνίας η οποία ανάβει όταν οι λυχνίες των φρένων αστοχούν. (Σε πολλές περιπτώσεις αυτή η λυχνία ανάβει και για ένα μικρό χρονικό διάστημα όταν γίνεται η ανάφλεξη. Αυτό όμως συμβαίνει και με όλα τα άλλα φώτα του προφυλακτήρα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η έλλειψη μιας προειδοποιητικής λυχνίας είναι πολύ πιθανό να παραβλεφθεί και έτσι η λειτουργία της είναι κρυφή).

Το σύστημα μπορεί ακόμη να είναι έτσι διαμορφωμένο, ώστε η όλη του λειτουργία να μπορεί να ελεγχθεί με την αποσύνδεση της μιας λυχνίας των φρένων και τον έλεγχο του εάν η προειδοποιητική λυχνία ανάβει. Αυτός ο τρόπος είναι άτσαλος και παρεμβατικός και είναι πιθανό να δημιουργήσει περισσότερα προβλήματα από αυτά που θα λύσει, οπότε μάλλον εγκαταλείπεται λόγω έλλειψης πρακτικότητας. Οι πολλαπλές αστοχίες που συνδέονται με ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσαν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ασφάλεια, επομένως είναι αναγκαίο να επανεξεταστεί ο σχεδιασμός.

Ένας τρόπος για την εξάλειψη αυτού του προβλήματος είναι να γίνουν η λειτουργία των λυχνιών των φρένων και η λειτουργία του προειδοποιητικού συστήματος εμφανείς. Αυτό μπορεί να γίνει με την αντικατάσταση της προειδοποιητικής λυχνίας με καλώδια οπτικών ινών και την εμφανή τοποθέτηση των καλωδίων έτσι ώστε ο οδηγός να βλέπει μέσω αυτών τις λυχνίες των φρένων κάθε φορά που χρησιμοποιεί τα φρένα (στην πραγματικότητα βλέπει ένα φως στην άκρη κάθε καλωδίου). Έτσι γίνεται πλέον φανερό στον οδηγό το εάν υπάρχει κάποια αστοχία είτε στις λυχνίες των φρένων είτε σε κάποιο καλώδιο. Με άλλα λόγια η λειτουργία αυτής της προστατευτικής συσκευής είναι πλέον εμφανής και έτσι δεν είναι πια αναγκαία η διαδικασία εύρεσης της αστοχίας.

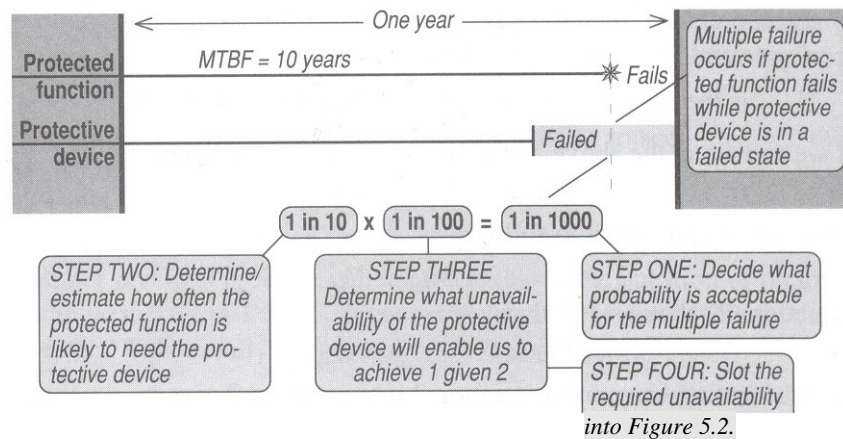
- η υπάρχουσα κρυφή λειτουργία αντικαθίσταται από μια πιο αξιόπιστη (αλλά ακόμα κρυφή) συσκευή: μια πιο αξιόπιστη (με υψηλότερο μέσο χρόνο μεταξύ δύο αστοχιών – MTBF) κρυφή λειτουργία θα δώσει τη δυνατότητα στον οργανισμό να επιτύχει έναν από τους τρεις στόχους:
  - να μειώσει την πιθανότητα πολλαπλής αστοχίας χωρίς να αλλάξει τα διαστήματα μεταξύ των δραστηριοτήτων εύρεσης των αστοχιών, γεγονός που αυξάνει το επίπεδο προστασίας
  - να αυξήσει το διάστημα μεταξύ δύο δραστηριοτήτων χωρίς να αλλάξει την πιθανότητα της πολλαπλής αστοχίας, γεγονός που μειώνει τις απαιτήσεις σε πόρους
  - να μειώσει την πιθανότητα της πολλαπλής αστοχίας και να αυξήσει τα διαστήματα μεταξύ των δραστηριοτήτων, παρέχοντας αυξημένη προστασία με λιγότερη προσπάθεια.
- αναπαραγωγή εις διπλούν της κρυφής λειτουργίας: εάν δεν είναι δυνατό να βρεθεί μια μοναδική προστατευτική συσκευή που να έχει έναν αρκετά υψηλό μέσο χρόνο μεταξύ δύο αστοχιών (MTBF) ώστε να δώσει το επιθυμητό επίπεδο προστασίας, είναι δυνατό να επιτευχθεί ένας οποιοσδήποτε από τους παραπάνω στόχους με την αναπαραγωγή εις διπλούν (ή ακόμη και εις τριπλούν) της κρυφής λειτουργίας.

Ας πάρουμε για παράδειγμα μία αντλία (duty pump) και μία ακόμη εφεδρική (stand-by pump). Εάν οι χρήστες επιθυμούν η πιθανότητα πολλαπλής αστοχίας να είναι μικρότερη από 1 στις 1000 και ο ρυθμός των απρόβλεπτων αστοχιών της αντλίας έχει μειωθεί στη 1 σε 10 χρόνια, τότε η διαθεσιμότητα της εφεδρικής αντλίας θα πρέπει να είναι 99% ή καλύτερη. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στην εφεδρική αντλία θα πρέπει να γίνεται μια δραστηριότητα εύρεσης αστοχιών κάθε 2 μήνες έτσι ώστε να επιτευχθεί διαθεσιμότητα 99% (με βάση ένα μέσο χρόνο μεταξύ δύο αστοχιών 8 χρόνων για την αντλία αυτή). Μια περίληψη των παραπάνω φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Το Σχήμα 5.2 προτείνει ότι για να επιτευχθεί μια διαθεσιμότητα 99% της εφεδρικής αντλίας θα πρέπει να πραγματοποιείται μια δραστηριότητα εύρεσης αστοχιών (με άλλα λόγια έλεγχος ότι είναι πλήρως λειτουργική) σε ένα διάστημα 2% του μέσου χρόνου της μεταξύ δύο αστοχιών. Τα αρχεία θα μπορούσαν να δείχνουν ότι η εφεδρική αντλία έχει ένα μέσο χρόνο μεταξύ δύο αστοχιών 8 χρόνων (ή περίπου 400 εβδομάδες), οπότε η συχνότητα της δραστηριότητας εύρεσης αστοχιών θα πρέπει να είναι:

$$\text{το } 2\% \text{ των } 400 \text{ εβδομάδων} = 8 \text{ εβδομάδες} = 2 \text{ μήνες.}$$

Availability we require for the hidden function	99.99%	99.95%	99.9%	99.5%	99%	98%	95%
Failure-finding interval (as a % of the MTBF)	0.02%	0.1%	0.2%	1%	2%	4%	10%

Σχήμα 5.2: Διαστήματα δραστηριοτήτων εύρεσης αστοχιών, διαθεσιμότητα και αξιοπιστία.



Σχήμα 5.3: Επιθυμητή απόδοση από μία προστατευόμενη μηχανή.

Έστω ότι κάποιος αποφασίζει ότι η πιθανότητα πολλαπλής αστοχίας στο σύστημα δε θα πρέπει να ξεπερνά τη 1 στις 100000 (ή  $10^{-5}$ ), αντί της 1 στις 1000. Εάν ο μέσος χρόνος μεταξύ απροσδόκητων αστοχιών της πρωταρχικής αντλίας δε μεταβάλλεται στα 10 χρόνια, τότε η μη διαθεσιμότητα της εφεδρικής αντλίας θα πρέπει τώρα να μην ξεπερνά  $10/100000 = 10^{-4}$  (0.01%). Εάν ο μέσος χρόνος μεταξύ αστοχιών της



εφεδρικής αντλίας παραμένει αμετάβλητος στα 8 χρόνια, τότε το διάστημα μεταξύ των δραστηριοτήτων εύρεσης αστοχιών είναι

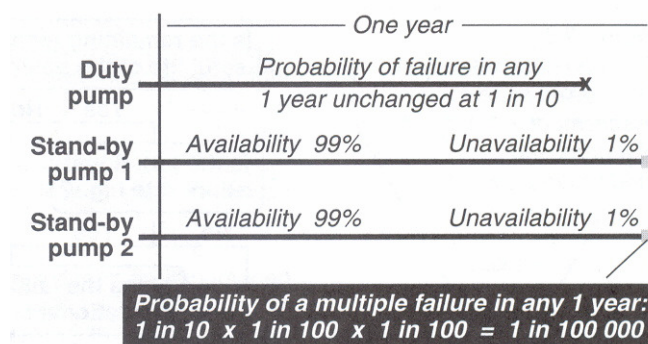
$$2 * 10^{-4} * 8 \text{ χρόνια} = 14 \text{ ώρες.}$$

Η θέση σε λειτουργία μιας εφεδρικής αντλίας τόσο συχνά δεν είναι πρακτική, επομένως πρέπει να επανεξεταστεί ο σχεδιασμός του συστήματος.

Εάν τοποθετηθεί μια δεύτερη εφεδρική αντλία (βλ. Σχήμα 5.4) και εξασφαλιστεί ότι η διαθεσιμότητα κάθε εφεδρικής αντλίας χωριστά ξεπερνά το 99% (που ανταποκρίνεται σε μη διαθεσιμότητα 1% ή  $10^{-2}$ ), η πιθανότητα πολλαπλής βλάβης θα είναι:

$$10^{-1} * 10^{-2} * 10^{-2} = 10^{-5}$$

ή 1 στις 100000. Το Σχήμα 5.2 προτείνει ότι αυτό μπορεί να γίνει κάνοντας τις δραστηριότητες εύρεσης αστοχιών σε κάθε εφεδρική αντλία με συχνότητα μία κάθε 8 εβδομάδες. Με άλλα λόγια επιτυγχάνεται ένα πολύ υψηλότερο επίπεδο προστασίας χωρίς να αλλάξει το διάστημα μεταξύ των δραστηριοτήτων.



Σχήμα 5.4: Το αποτέλεσμα από την αναπαραγωγή εις διπλούν μιας κρυφής λειτουργίας.

#### Λειτουργικές και μη λειτουργικές επιπτώσεις

Εάν δε μπορεί να βρεθεί μια τεχνικά κατορθωτή προληπτική δραστηριότητα η οποία να αξίζει να γίνει για αστοχίες με ή χωρίς επιπτώσεις στη λειτουργία, η άμεση default απόφαση είναι η μη πραγματοποίηση προγραμματισμένης συντήρησης. Παρόλα αυτά μπορεί ακόμη να είναι επιθυμητή η τροποποίηση του εξοπλισμού για να μειωθεί το συνολικό κόστος. Για να επιτευχθεί αυτό η εγκατάσταση θα μπορούσε να τροποποιηθεί έτσι ώστε:

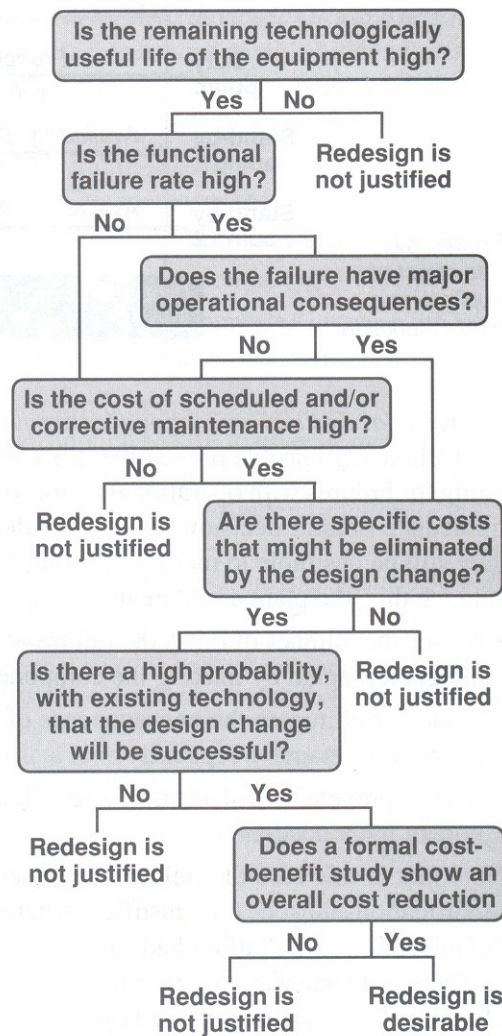
- να μειωθούν οι φορές που εμφανίζεται η αστοχία, ή πιθανόν αυτή να εξαλειφθεί τελείως, κάνοντας το στοιχείο πιο δυνατό και πιο αξιόπιστο (για παράδειγμα επιλογή άξονα μεγαλύτερης διαμέτρου)
- να μειωθούν ή εξαλειφθούν οι επιπτώσεις της αστοχίας (για παράδειγμα με την παροχή εφεδρικής μηχανής, η οποία όμως αποτελεί δύσκολη και ακριβή λύση και περιορίζεται στα κρίσιμης μόνο σημασίας στοιχεία ενός συστήματος, ή με τη λεπτομερή κατανόηση των φυσικών διεργασιών και των μηχανισμών των τάσεων, δυνάμεων και αστοχιών που υφίστανται τα στοιχεία ενός συστήματος κατά τη λειτουργία του)
- να γίνει μια προληπτική δραστηριότητα οικονομικά αποδοτική (για παράδειγμα κάνοντας το στοιχείο πιο προσιτό).

Σημειώνεται ότι σε αυτή την περίπτωση οι επιπτώσεις των αστοχιών είναι καθαρά οικονομικές, επομένως οι τροποποιήσεις θα πρέπει να είναι οικονομικά

δικαιολογημένες, ενώ στις περιπτώσεις που η αστοχία έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια ή το περιβάλλον οι τροποποιήσεις ήταν η αναγκαστική ενέργεια default.

Δεν υπάρχει ένας μοναδικός τρόπος για να καθοριστεί εάν μια τροποποίηση θα είναι οικονομικά αποδοτική. Κάθε περίπτωση κυβερνάται από μια διαφορετική σειρά μεταβλητών, οι οποίες περιλαμβάνουν μια προ-και-μετά εκτίμηση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας, την απομένουσα τεχνολογικά ωφέλιμη ζωή του στοιχείου, την πιθανότητα επιτυχίας της τροποποίησης, τον αριθμό των υπόλοιπων σχεδίων της επιχείρησης που ανταγωνίζονται για τα κεφάλαιά της κ.ο.κ.

Μια λεπτομερής ανάλυση του κόστους η οποία λαμβάνει υπόψη όλους αυτούς τους παράγοντες μπορεί να απαιτεί πολύ χρόνο, επομένως είναι χρήσιμο να είναι γνωστό εκ των προτέρων εάν αυτή η προσπάθεια είναι πιθανό να αξίζει τον κόπο. Για να βοηθήσουν στην πραγματοποίηση μιας γρήγορης προκαταρκτικής εκτίμησης, οι Nowlan και Hear ανέπτυξαν το διάγραμμα αποφάσεων που φαίνεται στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα αποφάσεων για μια προκαταρκτική εκτίμηση μιας προτεινόμενης τροποποίησης.

Ανεξάρτητα από το πόσο αξιόπιστες είναι, όλες οι μηχανές «εκτοπίζονται» από τη νέα τεχνολογία. Επομένως το πρώτο ερώτημα που τίθεται είναι εάν η υπό εξέταση μηχανή πρόκειται να καταστεί ξεπερασμένη στο κοντινό μέλλον. Εάν η απάντηση είναι θετική, τότε προφανώς δεν αξίζει να τροποποιηθεί. Από την άλλη μεριά εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για κάποιο χρόνο παραπάνω, η επένδυση για την τροποποίηση θα μπορούσε να έχει μια ευκαιρία να αποδώσει. Αυτός είναι και ο λόγος που η πρώτη ερώτηση του διαγράμματος του Σχήματος 5.5 είναι:

*Είναι η απομένουσα τεχνολογικά ωφέλιμη ζωή του εξοπλισμού μεγάλη;*

Μερικές επιχειρήσεις απαιτούν οι επενδύσεις για τις τροποποιήσεις να αποδίδουν οικονομικά μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα μέσα σε δύο χρόνια. Αυτό θέτει το λειτουργικό ορίζοντα του εξοπλισμού στα δύο χρόνια. Αυτή η πολιτική μειώνει τον αριθμό των σχεδίων που μελετώνται με βάση τα οικονομικά τους πλεονεκτήματα και εξασφαλίζει ότι μόνο σχέδια που πρόκειται να αποδώσουν γρήγορα οικονομικά υποβάλλονται προς έγκριση. Επομένως, εάν η απάντηση στην πρώτη ερώτηση του διαγράμματος του Σχήματος 5.5 είναι αρνητική, ο επανασχεδιασμός πιθανόν δεν είναι δικαιολογημένος.

Εάν η απάντηση στην πρώτη ερώτηση είναι θετική, τότε η επόμενη ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί είναι το εάν η αστοχία συμβαίνει αρκετά συχνά ώστε να αποτελεί πραγματικό πρόβλημα:

*Είναι ο ρυθμός της λειτουργικής αστοχίας υψηλός;*

Με αυτή την ερώτηση απορρίπτονται αντικείμενα που αστοχούν τόσο σπάνια, ώστε το κόστος επανασχεδιασμού τους να είναι πιθανό να είναι μεγαλύτερο από τα πλεονεκτήματα που θα προκύψουν από αυτόν, εκτός βέβαια εάν η αιτία του χαμηλού ρυθμού αστοχίας είναι μια προληπτική δραστηριότητα. Αυτός είναι και ο λόγος που αρνητική απάντηση σε αυτή την ερώτηση δεν αποκλείει αυτομάτως την τροποποίηση – η ίδια η δραστηριότητα συντήρησης μπορεί να είναι τόσο ακριβή που η τροποποίηση να εξακολουθεί να είναι δικαιολογημένη.

Εάν ο ρυθμός αστοχίας είναι υψηλός, αρχίζουμε να μελετάμε τις οικονομικές επιπτώσεις της αστοχίας:

*Περιλαμβάνει η αστοχία μεγάλες λειτουργικές συνέπειες;*

Εάν η απάντηση είναι θετική, τότε το ζήτημα του επανασχεδιασμού πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω. Αρνητική απάντηση σε αυτό το ερώτημα σημαίνει ότι η αστοχία έχει ελάχιστη μόνο επίδραση στο λειτουργικό κόστος, αλλά πρέπει ακόμη να εξεταστεί το κόστος συντήρησης που σχετίζεται με την αστοχία με την ερώτηση:

*Είναι το κόστος της προγραμματισμένης και/ή διορθωτικής συντήρησης υψηλό;*

Αυτή η ερώτηση προσεγγίζεται από δύο κατευθύνσεις. Όπως είδαμε, μπορεί να πάρουμε αρνητική απάντηση στην ερώτηση για το ρυθμό της αστοχίας απλά και μόνο επειδή μια πολύ ακριβή προληπτική δραστηριότητα μπορεί να εμποδίσει λειτουργικές αστοχίες.

Μια αρνητική απάντηση στο ερώτημα των λειτουργικών συνεπειών σημαίνει ότι οι αστοχίες μπορεί να μην επηρεάζουν τη λειτουργική ικανότητα, αλλά μπορεί να οδηγούν σε υπερβολικό κόστος επισκευής. Επομένως θετική απάντηση σε

οποιαδήποτε από τις δύο αυτές ερωτήσεις μας οδηγεί στην ίδια την αλλαγή στο σχεδιασμό:

*Υπάρχουν συγκεκριμένα κόστη που θα μπορούσαν να εξαιρεθούν με αλλαγή στο σχεδιασμό;*

Αυτή η ερώτηση αναφέρεται στις λειτουργικές επιπτώσεις και τα άμεσα κόστη της προδραστικής και/ή διορθωτικής συντήρησης. Εάν όμως αυτά τα κόστη δε συνδέονται με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του σχεδιασμού, το πρόβλημα δε μπορεί να επιλυθεί με αλλαγή του σχεδιασμού. Επομένως αρνητική απάντηση σε αυτή την ερώτηση σημαίνει ότι μπορεί να πρέπει να ζήσουμε με τις οικονομικές συνέπειες της αστοχίας. Από την άλλη μεριά εάν το πρόβλημα μπορεί να συνδεθεί με κάποιο συγκεκριμένο στοιχείο του κόστους, τότε η δυνατότητα επανασχεδιασμού από οικονομική άποψη είναι υψηλή.

Αλλά θα λειτουργήσει ο νέος σχεδιασμός; Με άλλα λόγια:

*Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, με την υπάρχουσα τεχνολογία, η τροποποίηση να είναι επιτυχής;*

Παρόλο που μια ορισμένη αλλαγή στο σχεδιασμό μπορεί να είναι οικονομικά επιθυμητή, υπάρχει περίπτωση αυτή να μην έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Μια αλλαγή που προορίζεται για την εξάλειψη μιας αστοχίας μπορεί να αποκαλύψει άλλες αστοχίες, απαιτώντας έτσι πολλές προσπάθειες για την επίλυση του προβλήματος. Κάθε αλλαγή στο σχεδιασμό η οποία περιλαμβάνει προσθήκη υλικού προσθέτει επιπλέον πιθανότητες αστοχίας – μπορεί και πολλές.

Έτσι εάν μια ψυχραιμη εκτίμηση της προτεινόμενης αλλαγής δείξει μικρή πιθανότητα επιτυχίας, τότε είναι μάλλον απίθανο η αλλαγή να είναι οικονομικά βιώσιμη.

Οποιαδήποτε προτεινόμενη αλλαγή στο σχεδιασμό που φτάνει ως εδώ αξίζει να αναλυθεί λεπτομερώς ως προς τα οικονομικά της οφέλη:

*Δείχνει η οικονομική ανάλυση της αλλαγής μια αναμενόμενη αποφυγή κόστους;*

Μια τέτοια ανάλυση συγκρίνει την αναμενόμενη μείωση του κόστους κατά την απομένουσα ωφέλιμη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού με το κόστος διενέργειας της αλλαγής. Για μεγαλύτερη ασφάλεια το αναμενόμενο κέρδος θα πρέπει να θεωρείται ως η προγραμματισμένη εξοικονόμηση εάν η πρώτη προσπάθεια για βελτίωση είναι επιτυχής, πολλαπλασιασμένη με την πιθανότητα επιτυχίας στην πρώτη προσπάθεια. Διαφορετικά μπορεί να θεωρηθεί ότι η αλλαγή στο σχεδιασμό θα είναι πάντα επιτυχής, αλλά τότε μερικές μόνο από τις εξοικονομήσεις θα επιτευχθούν.

Φυσικά αυτός ο τύπος δικαιολόγησης δεν είναι απαραίτητος όταν τα χαρακτηριστικά αξιοπιστίας ενός στοιχείου είναι το αντικείμενο εγγυήσεων ή όταν οι αλλαγές είναι απαραίτητες για άλλους λόγους πέραν του κόστους (όπως για λόγους ασφαλείας).

### **5.3.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ**

Κατά την εκτίμηση των αστοχιών πολύ συχνά συμβαίνει το 2% με 10% αυτών να υποδεικνύει επανασχεδιασμό. Όπως ήδη αναφέρθη, επανασχεδιασμός σημαίνει μια αλλαγή που γίνεται *μία μοναδική φορά* σε οποιαδήποτε από τις ακόλουθες περιοχές:

- στη φυσική διαμόρφωση μιας μηχανής ή ενός συστήματος
- σε μια διαδικασία ή σε ένα χειρισμό
- στην ικανότητα ενός ανθρώπου, συνήθως με εκπαίδευση.

Από τη στιγμή που κριθούν σκόπιμες, αυτές οι αλλαγές πρέπει να γίνουν όσο το δυνατόν ακριβέστερα και ταχύτερα. Κατά τον επανασχεδιασμό μιας μηχανής θα πρέπει να ακολουθούνται ορισμένα βήματα:

- καθορισμός υπευθύνου
- καθορισμός του στόχου
- καθορισμός των άμεσων αποτελεσμάτων
- καθορισμός των μέτρων
- ανατομία του προβλήματος
- επανασχεδιασμός της μηχανής
- εφαρμογή της αλλαγής
- έλεγχος των αποτελεσμάτων
- απόδοση ευθυνών.

Κατωτέρω αναφέρονται σημαντικά σημεία στα οποία θα πρέπει να δίνεται σημασία για καθεμιά από τις παραπάνω περιοχές αλλαγών.

#### **Αλλαγές στη φυσική διαμόρφωση**

Όλες οι τροποποιήσεις (modifications) θα πρέπει:

- να είναι κατάλληλα αιτιολογημένες. Οι τροποποιήσεις θα πρέπει να αιτιολογούνται με βάση τις επιπτώσεις τους. Τροποποιήσεις που στοχεύουν στην αντιμετώπιση απλών ή πολλαπλών αστοχιών οι οποίες έχουν επιπτώσεις στην ασφάλεια ή το περιβάλλον θα πρέπει να μειώνουν τον κίνδυνο (συχνότητα και/ή σοβαρότητα) των επιπτώσεων σε ένα αποδεκτό επίπεδο, αν όχι να τον εξαλείφουν τελείως. Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάστηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιείται για την αιτιολόγηση τροποποιήσεων που στοχεύουν στην αντιμετώπιση αστοχιών με οικονομικές μόνο επιπτώσεις.
- να είναι σωστά σχεδιασμένες από κατάλληλα ειδικευμένους μηχανικούς. Κατά κανόνα δε θα πρέπει να γίνονται προσπάθειες επανασχεδιασμού των μηχανών κατά τη διαδικασία της μελέτης των αστοχιών τους, αλλά θα πρέπει μετά ο σχεδιαστής να συμβουλευτεί αυτούς που έκαναν τη μελέτη (χειριστές, μηχανικοί επιβλέποντες, επιβλέποντας της λειτουργίας, τεχνικοί), ώστε να αναπτύξει τις προδιαγραφές μιας σωστά στοχευμένης αλλαγής.
- να είναι κατάλληλα εγκατεστημένες. Θα πρέπει να ακολουθούνται βήματα που να εξασφαλίζουν ότι οι τροποποιήσεις γίνονται όπως προβλέπεται από απόψεως χρόνου, κόστους και ποιότητας και ότι όλα τα σχέδια, εγχειρίδια και όλες οι λίστες των στοιχείων των μηχανών ενημερώνονται σωστά.
- να γίνονται με κατάλληλη διαχείριση. Οι τροποποιήσεις δε θα πρέπει να επηρεάζουν ουσιαστικές δραστηριότητες συντήρησης ρουτίνας (routine maintenance) σε άλλα στοιχεία της εγκατάστασης, ενώ οι απαιτήσεις σε συντήρηση κάθε τροποποιημένου στοιχείου του εξοπλισμού θα πρέπει να εκτιμώνται και να γίνονται σωστά.

#### **Αλλαγές στον τρόπο χειρισμού της εγκατάστασης**

Οποιοσδήποτε αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο χειρισμός μιας μηχανής θα πρέπει να αναφέρονται εγγράφως στις πρότυπες διαδικασίες χειρισμού (*standard operating procedures – SOP's*). Δηλαδή οι αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να λειτουργεί η εγκατάσταση αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και οι υψηλής συχνότητας δραστηριότητες συντήρησης ρουτίνας οι οποίες διενεργούνται από τους

χειριστές και ενσωματώνονται στις διαδικασίες λειτουργίας. Ένα παράδειγμα δείχνει το Σχήμα 5.6.

Proposed task	Initial interval	Can be done by	Standard operating procedure
No scheduled maintenance			<b>WIDGET WASHING MACHINE</b> At the start of the shift: • Fill feed hopper • Open air valve and wait until pressure reaches 50 psi • (Monday mornings only) Check agitator gearbox oil level using dipstick and report if it is below level 2 • Press start button • Open detergent valve • Start widget feed • etc
Check coupling bolts	Monthly	Mechanic	
No scheduled maintenance			
Redesign guard			
Check agitator gearbox oil level	Weekly	Operator	
Check tension of main drive chain	Monthly	Mechanic	
Calibrate gauge	Annually	E&I technician	
No scheduled maintenance			
Drain main tank and check if low level alarm sounds at 50 liters	4 yearly	Operator	

Σχήμα 5.6. Μεταφορά μιας δραστηριότητας από ένα φύλλο εργασίας σε ένα SOP.

#### Αλλαγές στην ικανότητα των ανθρώπων

Πολύ συχνά παρατηρούνται αστοχίες οι οποίες προκαλούνται από σφάλματα των χειριστών ή συντηρητών (ανθρώπινα λάθη που σχετίζονται με τις ικανότητες – skill-based human errors). Αυτά γίνονται αμέσως ορατά από οποιοδήποτε χειριστή ή συντηρητή συμμετέχει άμεσα στη διαδικασία και αυτός αλλάζει τον τρόπο ενεργείας του κατάλληλα αμέσως μόλις συνειδητοποιήσει τι κάνει λάθος.

Παρόλα αυτά πρέπει να εξασφαλίζεται ότι και όσοι δε συμμετείχαν άμεσα στη διαδικασία αποκτούν τις σχετικές ικανότητες. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να γίνει αυτό είναι η επανεξέταση και επέκταση υπαρχόντων προγραμμάτων εκπαίδευσης ή η ανάπτυξη νέων προγραμμάτων.

#### 5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Όπως αναφέρθη η Συντήρηση Ακριβείας στοχεύει στην αποκατάσταση της αξιοπιστίας βελτιώνοντας ατέλειες του σχεδιασμού, γεγονός που της επιτρέπει να εφαρμόζεται μία μόνο φορά για να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα και να μειώνει τις δραστηριότητες συντήρησης. Αντίθετα η Προληπτική και η Προβλεπτική Συντήρηση αποτελούν εξακολουθητικές μεθόδους συντήρησης, με κόστη που επανεμφανίζονται, ενώ στόχος τους είναι η ελάττωση των αποτελεσμάτων της έλλειψης αξιοπιστίας και όχι η βελτίωση της αξιοπιστίας αυτής καθ' εαυτής.

Η Προβλεπτική Συντήρηση, που αποτελεί μέθοδο συντήρησης βασισμένη στην κατάσταση του εξοπλισμού, επικεντρώνεται στον εντοπισμό διαφόρων ελαττωμάτων που εξελίσσονται κατά τη λειτουργία. Αντιμετωπίζει ένα μέρος του προβλήματος, αλλά όχι ολόκληρο το πρόβλημα. Στοχεύει περισσότερο στον εντοπισμό παρά στη μόνιμη λύση του προβλήματος.

Από την άλλη μεριά η Προληπτική Συντήρηση, η οποία είναι μια μέθοδος συντήρησης βασισμένη στο χρόνο, στοχεύει στην επαναφορά του εξοπλισμού στην αρχική του κατάσταση και στη διατήρηση της καλής κατάστασης λειτουργίας και των καλών ικανοτήτων του προσωπικού στη συντήρηση ώστε να παρεμποδίζεται η

εμφάνιση αστοχιών. Αντιμετωπίζει τα προβλήματα με ένα μεμονωμένο τρόπο και έτσι αρκείται σε μικρές έκτασης βελτιώσεις. Δεν μπορεί να προβλέψει πιθανά προβλήματα μέσα από τη μελέτη του εξοπλισμού, ενώ αντικαθιστά στοιχεία σε προκαθορισμένους χρόνους με την εικασία ότι η διάρκεια ζωής τους έχει τελειώσει παρά να προσπαθεί να τη βελτιώσει ή να την παρατείνει όσο το δυνατόν περισσότερο. Η στρατηγική αυτής της μεθόδου συντήρησης και ο σχεδιασμός της είναι προβληματικά και μπορεί να φέρει περιορισμένα μόνο αποτελέσματα στον οργανισμό.

Ακόμη και στις δύο παραπάνω μεθόδους λείπει το ενδιαφέρον για σημαντικά θέματα σχετικά με την ποιότητα, την τεχνολογία και όλα τα σχετικά.

Η Συντήρηση Ακριβείας σαν προσέγγιση ξεπερνά όλες τις παραπάνω δυσκολίες, ατέλειες και όλους τους περιορισμούς. Η κεντρική της ιδέα είναι η εξάλειψη των αιτιών των αστοχιών και όχι των επιπτώσεών τους. Επιπλέον συσχετίζει τα διάφορα προβλήματα και ελαττώματα μεταξύ τους, γεγονός που αποτελεί προϋπόθεση για μια μόνιμη λύση. Σκοπός της είναι να εξαλείψει όλες τις ατέλειες του εξοπλισμού σταδιακά ακολουθώντας μία συστηματική, αλλά και ευέλικτη μεθοδολογία. Ευέλικτη με την έννοια ότι μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το βαθμό στον οποίο βασίζει η επιχείρηση την παραγωγή της στην τεχνολογία, αλλά και ότι σιγά σιγά αναπτύσσει και καθιερώνει ένα σύστημα σχετικό με την επιχείρηση και τους στόχους της.

## 5.5 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Η Συντήρηση Ακριβείας προορίζεται για μηχανήματα υψηλού κόστους συντήρησης, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε ελλιπή συντήρηση, ελλιπή σχεδιασμό ή λειτουργία εκτός των προδιαγραφών σχεδιασμού.

Την απόφαση για την υιοθέτηση αυτού του τύπου συντήρησης καθορίζει κυρίως η σύγκριση του κόστους επανασχεδιασμού της μηχανής/του συστήματος με το κόστος της επαναλαμβανόμενης συντήρησής της/του. Η επιλογή της Συντήρησης Ακριβείας αποτελεί το χειρότερο σενάριο στη λειτουργία της συντήρησης, καθώς επιβάλλεται όταν μια βλάβη (breakdown) συμβαίνει συχνά και χρειάζεται πολύς χρόνος για την αποκατάστασή της. Η λειτουργία της μηχανής/του συστήματος κάτω από αυτές τις συνθήκες δεν είναι οικονομική. Έτσι σε αυτές τις περιπτώσεις η μόνη κατάλληλη αντιμετώπιση είναι η αντικατάσταση ή ο επανασχεδιασμός κατά τη διάρκεια των φάσεων που η παραγωγική διαδικασία σταματάει.

Πέραν των οικονομικών, την επιλογή αυτής της μεθόδου επηρεάζουν και τεχνικοί λόγοι, όπως οι ακόλουθοι:

1. Η Συντήρηση Ακριβείας μπορεί πολύ εύκολα να χρησιμοποιηθεί λανθασμένα. Πριν αποφασιστεί η εφαρμογή της για την επίλυση κάποιου προβλήματος είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ακριβώς ποια είναι η πηγή του. Για παράδειγμα το να συγκολληθεί ένα μπουλόνι που εξακολουθεί να χαλαρώνει συνέχεια μπορεί να αποτελεί ένα λανθασμένο τρόπο αντίδρασης που θα οδηγήσει σε δυσλειτουργία ένα κιβώτιο ταχυτήτων (π.χ. πολλοί κραδασμοί).
2. Όταν ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης ενός προβλήματος φαίνεται να είναι η Συντήρηση Ακριβείας, θα πρέπει παράλληλα να εξετάζονται και οι επιπτώσεις αυτής. Κατά πόσο δηλαδή είναι πιθανό να υπάρξουν δυσμενείς επιπτώσεις σε άλλα σημεία του συστήματος.
3. Πριν εφαρμοστεί Συντήρηση Ακριβείας θα πρέπει να εξετάζεται διεξοδικά εάν πράγματι τα συμπτώματα οδηγούν στη διάγνωση λαθών κατά τον αρχικό σχεδιασμό του εξοπλισμού.

## 5.6 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Η εφαρμογή της Συντήρησης Ακριβείας ανεβάζει το κόστος συντήρησης, καθώς προϋποθέτει πολύ χρόνο και πολλούς οικονομικούς πόρους για την κάλυψη του αυξημένου κόστους του απαιτούμενου υλικοτεχνικού εξοπλισμού και του απαραίτητου εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού.

Επιπλέον μπορεί η εφαρμογή της να είναι αδύνατη εξαιτίας κάποιων τεχνολογικών περιορισμών του εξοπλισμού.

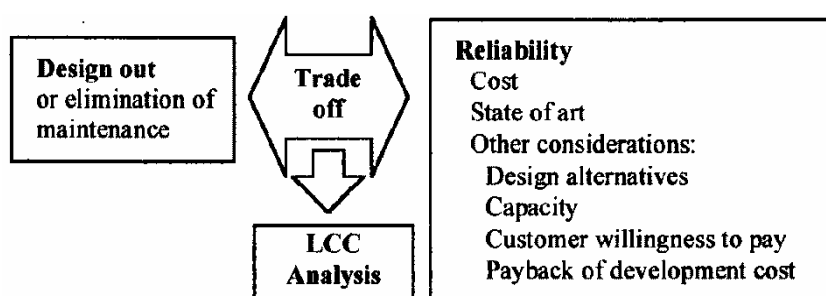
Σε κάθε περίπτωση απαιτεί ελέγχους σε μόνιμη βάση και έμπειρο προσωπικό το οποίο να μπορεί να αναγνωρίζει τα προβλήματα τα οποία δικαιολογούν κάποια αλλαγή στο σχεδιασμό και να μπορεί να εξασφαλίσει τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία.

Γενικά η εφαρμογή της Συντήρησης Ακριβείας δεν είναι εύκολη υπόθεση. Θα πρέπει να αναγνωρίζονται οι απαιτήσεις σε συντήρηση και να γίνεται προσπάθεια εξάλειψής τους λαμβάνοντας υπόψη και αξιολογώντας στοιχεία όπως:

- Το κόστος της αξιοπιστίας που πρέπει να έχει ο εξοπλισμός καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.
- Το επίπεδο της διαθέσιμης τεχνολογίας. Έλλειψη της απαραίτητης τεχνολογίας δε θα επιτρέψει τον επανασχεδιασμό για την εξάλειψη των αιτιών της συντήρησης ή θα οδηγήσει σε αυξημένο κόστος.
- Τις εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις.
- Την απόδοση του κεφαλαίου που επενδύθηκε για τη βελτίωση του σχεδιασμού κ.ά.

Για τη σύγκρισή των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων μπορεί να γίνεται μια ανάλυση του κόστους του κύκλου ζωής (life cycle cost – LCC) της μηχανής το οποίο προϋποθέτει κάθε εναλλακτική λύση. Αυτό θα πρέπει να εξισορροπείται με τις ανάγκες της αγοράς, την προθυμία των πελατών να πληρώσουν, τις προτιμήσεις των πελατών κ.ά.

Μεταξύ όλων των παραπάνω στοιχείων θα υπάρχει πάντα αλληλεπίδραση (βλ. Σχήμα 5.7).



Σχήμα 5.7. Συντήρηση Ακριβείας.

Παρά τις δυσκολίες όμως μπορεί η Συντήρηση Ακριβείας να εξασφαλίσει τα εξής:

- εμφάνιση κόστους μία μόνο φορά,
- ανάγκη αποθήκευσης και χρήσης περιορισμένου αριθμού ανταλλακτικών,
- απουσία περαιτέρω συντήρησης ή αναβολή της με την παράταση της διάρκειας ζωής και φυσικά
- μόνιμη επίλυση.



## 5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Η Συντήρηση Ακριβείας χρησιμοποιεί σχεδόν τις ίδιες τεχνικές με την Προβλεπτική Συντήρηση. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι ο μηχανικός δεν αρκεί να εντοπίσει μια επαναλαμβανόμενη βλάβη, αλλά να κάνει τις απαραίτητες τροποποιήσεις ή επανασχεδιασμούς στη μηχανή, ώστε αυτή να μην ξαναεμφανιστεί. Ο επανασχεδιασμός αφορά κυρίως κάποιες επεμβάσεις σε νευραλγικά σημεία της μηχανής και την αντικατάσταση και επιλογή ίσως άλλων εναλλακτικών λύσεων.

Πέρα λοιπόν από την πρόβλεψη μιας αστοχίας και τον εντοπισμό του ακριβούς σημείου της, γίνεται αναγνώριση της πιθανής αιτίας της αστοχίας που θα οδηγήσει στις διορθωτικές ενέργειες μέσω του επανασχεδιασμού. Η διάγνωση της αιτίας απαιτεί μια συγκεκριμένη διαδικασία ελέγχου η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει:

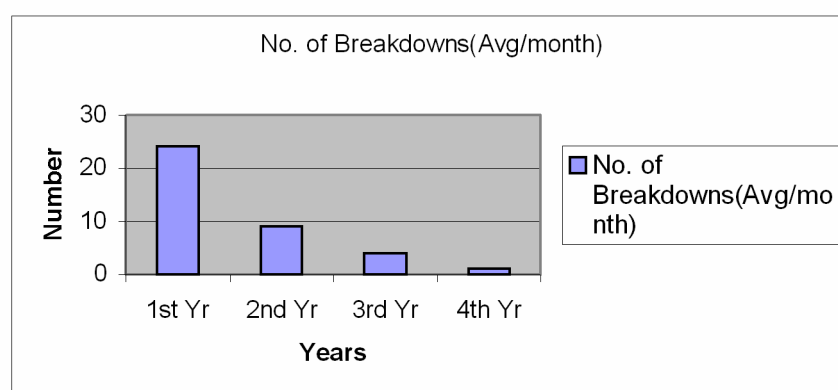
- έρευνα των ιστορικών στοιχείων (τα οποία υπάρχουν καταγεγραμμένα) που σχετίζονται με αστοχίες κατά τη λειτουργία των μηχανών καθώς και με τις μέχρι στιγμής συντηρήσεις,
- περιοδική επιθεώρηση των στοιχείων μηχανών,
- συλλογή στοιχείων σχετικών με το κόστος αντικατάστασης.

Ο επανασχεδιασμός μπορεί να γίνεται είτε στο στάδιο κατασκευής, με την επιλογή διαφορετικών υλικών και στοιχείων, είτε μετά την εγκατάσταση, με την επιλογή άλλου κατασκευαστή.

Στη Συντήρηση Ακριβείας το βασικό πρόβλημα είναι ότι υπάρχει πάντα η περίπτωση να χρειαστεί μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός.

Ακολουθεί ένα *παράδειγμα* της γενικής απόδοσης της Συντήρησης Ακριβείας.

Όταν η Συντήρηση Ακριβείας εφαρμόστηκε σε μία χημική βιομηχανία τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά. Στη βιομηχανία εμφανίζονταν κατά μέσο όρο 24 αστοχίες σε ζωτικής σημασίας μηχανές. Μετά από μια ολοκληρωμένη προσπάθεια εφαρμογής Συντήρησης Ακριβείας ο αριθμός των αστοχιών μειώθηκε στη μία ανά μήνα σε αυτές τις μηχανές (συνολικά 46). Το παρακάτω γράφημα δείχνει τα αποτελέσματα μέσα σε διάστημα 4 χρόνων.



Σχήμα 5.8.

Στο γράφημα φαίνεται ακόμη η σταθερότητα που επετεύχθει στη μείωση των αστοχιών. Ο επόμενος πίνακας δείχνει μια συγκριτική ανάλυση μερικών σημαντικών παραμέτρων που παρουσίασαν βελτίωση.

Sr. No	Parameters of Audit	Before 1998	After (May 01)
1	Reliability (Moving Reliability Index) –only considered for critical flow path.	75% (24 failures/month)	95% (One/Zero failures/month)
2	MTTR (Mean Time To Repair)	4 hours	2 hours
3	Steady State Availability (Markov Analysis)	96.10%	99.5 %
4	Median Corrective Maintenance Time (i.e. 50% of the jobs would be completed within this time)	2.49 hours	1.64 hours
5	Maximum Corrective Maintenance Time (i.e. 95% of the jobs would be completed within this time)	10.86 hours	7.16 hours
6	Maintenance Manpower	126	107
7	Spares cost	Rs195.83 Lakhs	Rs 177.85 Lakhs
8	Annual Mean Maintenance Labour Hours in a year	4675.66 hours	3108.87 hours
9	Maintenance Budget	Rs 3.4 Crores	Rs 1.41 Crores
10	Production rate	1.66 T/hr	1.87 T/hr
11	Quality	3.5 $\sigma$	6 $\sigma$
12	Leadership Position	4 <sup>th</sup>	1 <sup>st</sup> (sells at premium)

Πίνακας 5.1.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσα σε μια περίοδο 5 ετών η αγορά οδήγησε την τιμή πώλησης της εταιρείας σε μείωση της τάξης του 20%. Παρά τη μείωση όμως της τιμής πώλησης τα κέρδη της εταιρείας αυξήθηκαν σε σχέση με τα κέρδη της κατά τις περιόδους που η τιμή πώλησης ήταν υψηλότερη. Ακόμη η εταιρεία παρατήρησε μείωση (κατά 58% περίπου) του προϋπολογισμού για τις ανάγκες συντήρησης, βελτίωση της ποιότητας και γενικά αύξηση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού και του παραγωγικού συστήματος, κατακτώντας έτσι την πρώτη θέση στην αγορά μέσα σε περίπου δύο χρόνια.

## 5.8 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Η εφαρμογή της Συντήρησης Ακριβείας έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

- **Πλεονεκτήματα**
  - Συνεχώς επαναλαμβανόμενα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν ολοκληρωτικά.
  - Οι εταιρείες κάνουν τις βελτιώσεις μία μόνο φορά, ενώ τα θετικά αποτελέσματα που απολαμβάνουν παραμένουν.
  - Σε ορισμένες περιπτώσεις μικρές ρυθμίσεις στο σχεδιασμό μπορούν να είναι πολύ αποτελεσματικές και οικονομικές.
  - Το κόστος λειτουργίας ελαχιστοποιείται, όπως και οι καθυστερήσεις και οι απώλειες. Οι απώλειες στην ποιότητα λόγω κακής λειτουργίας του εξοπλισμού επίσης ελαχιστοποιούνται. Έτσι η επιχείρηση μπορεί να επιτύχει και να διατηρήσει παράλληλα με το χαμηλό κόστος λειτουργίας υψηλό επίπεδο ποιότητας.
  - Το επαναλαμβανόμενο κόστος συντήρησης εξαφανίζεται ή μειώνεται στο ελάχιστο. Το ίδιο και οι δραστηριότητες συντήρησης. Συνεπώς ο σχεδιασμός της συντήρησης μειώνεται στο ελάχιστο, απλοποιείται και βελτιστοποιείται.

- Με την απομάκρυνση των ατελειών του σχεδιασμού και τη βελτίωση της λειτουργικότητας η παραγωγική διαδικασία σταθεροποιείται.
  - Η επένδυση για τη Συντήρηση Ακριβείας αποδίδει.
  - Βελτιώνεται το γνωστικό υπόβαθρο των μηχανικών (ένας νέος συντελεστής στην παραγωγή) της επιχείρησης, γεγονός που τη βοηθά να είναι ανταγωνιστική.
  - Η συνεχής εφαρμογή της Συντήρησης Ακριβείας μπορεί να παρέχει ανταγωνιστικές τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν την επιχείρηση να αποκτήσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα όταν αυτό χρειαστεί.
- **Μειονεκτήματα**
    - Απώλειες στην παραγωγή. Οι εργασίες της Συντήρησης Ακριβείας μπορεί να διαρκέσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα.
    - Εκτεταμένα προγράμματα Συντήρησης Ακριβείας μπορούν να αποδειχτούν πολύ ακριβά, ενώ το αναμενόμενο αποτέλεσμα μπορεί να μην επιτευχθεί.
    - Μια Συντήρηση Ακριβείας που δεν εξετάστηκε διεξοδικά μπορεί να αγνοήσει την πραγματική πηγή του προβλήματος.
    - Η λύση ενός προβλήματος σε μια περιοχή μπορεί να υπερφορτώσει ή να δημιουργήσει προβλήματα σε μια άλλη.
    - Απρόσμενα προβλήματα. Όπως πάντα σε μεγάλα έργα, απρόσμενα προβλήματα είναι πιθανόν να προκύψουν (αν όχι σίγουρο).
    - Εάν δεν εφαρμοστεί από ικανούς και πεπειραμένους ανθρώπους μπορεί να οδηγήσει στα αντίθετα από τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Η Συντήρηση Ακριβείας βρίσκεται ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο εφαρμογής. Παρά τα μειονεκτήματα, τα πλεονεκτήματά της την καθιστούν το μέλλον της συντήρησης. Ο λόγος γι' αυτό είναι ο σημερινός προσανατολισμός της συντήρησης στη δραστική μείωση των βλαβών μέσω του εντοπισμού των αιτιών που τις προκαλούν και όχι στα συμπτώματα που εκδηλώνονται. Σε μια τέτοια στρατηγική οι ενέργειες ως προς την πρόληψη και εξάλειψη των αιτιών μιας βλάβης πρέπει να είναι προνοητικές.

## **ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ**

### **6.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Οι σημερινές απαιτήσεις για αυξημένη αξιοπιστία των περιστρεφόμενων στοιχείων των μηχανών του εξοπλισμού είναι μεγαλύτερες από ποτέ. Σε αυτό τον τομέα συντελείται διαρκής πρόοδος, κυρίως λόγω των συνεχών απαιτήσεων των βιομηχανιών παραγωγής, παραγωγής ενέργειας και μεταφορών.

Λόγω των εξελίξεων που έχουν συντελεστεί στις επιστήμες της μηχανολογίας και των υλικών, τα περιστρεφόμενα στοιχεία γίνονται ολοένα γρηγορότερα και ελαφρύτερα. Επιπλέον απαιτείται να δουλεύουν για περισσότερο χρόνο. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η αναγνώριση, η θέση και η ανάλυση των αστοχιών τους είναι ζωτικής σημασίας για την υψηλού επιπέδου αξιοπιστία της λειτουργίας του εξοπλισμού.

Η παρακολούθηση των κραδασμών που παράγουν κατά τη λειτουργία τους τα περιστρεφόμενα στοιχεία μηχανών είναι μια αρκετά αξιόπιστη και ευρέως εφαρμοζόμενη μέθοδος για τη διάγνωση βλαβών σε μηχανολογικές κατασκευές. Στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε στοιχείο μηχανής παράγει δονήσεις σε συγκεκριμένες, χαρακτηριστικές για αυτό, συχνότητες. Η ανάλυση του φάσματος των κραδασμών παρέχει ποσοτικά στοιχεία που επιτρέπουν την αξιολόγηση της κατάστασης της μηχανής.

Η παρακολούθηση (monitoring) των κραδασμών των μηχανών μπορεί να γίνεται είτε συνεχώς είτε κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Με την ανάλυση των κραδασμών μπορούν να εντοπίζονται πιθανά προβλήματα, που εξελίσσονται ή έχουν ήδη εκδηλωθεί, με το συσχέτισμό των κραδασμών με τα ελαττώματα των περιστρεφόμενων στοιχείων μηχανών που υποδεικνύουν, ενώ με τη λήψη μετρήσεων σε τακτές χρονικές περιόδους καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση της εξέλιξης της κατάστασης των μηχανών.

### **6.2 ΣΥΝΗΘΗ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ**

Μερικά από τα ελαττώματα στον εξοπλισμό που εντοπίζονται με τη μέθοδο μέτρησης και ανάλυσης κραδασμών είναι τα εξής:

- Αζυγοσταθμία
- Κάμψη άξονα
- Εκκεντρότητα
- Κακή ευθυγράμμιση
- Χαλαρότητα

- Σφάλματα ιμάντων
- Σφάλματα οδοντωτών τροχών
- Σφάλματα ρουλεμάν
- Ραγισμένος άξονας
- Προβλήματα στο στάτορα ή το ρότορα κινητήρα
- Υδραυλικές και αεροδυναμικές δυνάμεις.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα συνηθέστερα συμπτώματα σε στοιχεία μηχανών.

<b>SYMPTOM</b>	<b>FREQUENCY</b>	<b>SIDEBANDS</b>	<b>COMMENTS</b>
Unbalance	1X of $f_s$	0	Mass Imbalance
Misalignment	2X, 3X of $f_s$	0	Couplings, belt drive
Looseness ( 3 – 10 H )	3X – 10X of $f_s$	0	Structural looseness
Looseness ( 0.5 – 3.5 H )	0.5X, 1.5X, 2.5X, 3.5X of $f_s$	0	Excessive bearing play
Bearings*	$BPF_{O} = f_{outer} = \frac{n}{2} f_s \left( 1 - \frac{BD}{PD} \cos \phi \right)$	0	Ball Pass Frequency Outer Race
	$BPF_{I} = f_{inner} = \frac{n}{2} f_s \left( 1 + \frac{BD}{PD} \cos \phi \right)$	0	Ball Pass Frequency Inner Race
	$BSF = f_{ball} = f_s \frac{PD}{BD} \left[ 1 - \left( 1 + \frac{BD}{PD} \cos \phi \right)^2 \right]$	0	Ball Spin Frequency
	$FTF = f_{cage} = \frac{1}{2} f_s \left( 1 - \frac{BD}{PD} \cos \phi \right)$	0	Fundamental Train Frequency - Cage
Gears Damage	1X – 4X of $GF = N \cdot S$ where $N = \text{number of teeth}$ $S = \text{speed}$	$\pm 3 f_s$	Gearmesh Frequency
Gears Alignment	2X – 3X of $GF$	$\pm 1 f_s$	Not be use together with symptom gear damage for the same measuring point
Hunting Tooth	1X, 2X of $HT = \frac{G_s \cdot U}{L}$ Where $G_s = \text{Speed of gear}$ $U = \text{Uncommon factor of gear}$ $L = \text{Least common multiple}$	0	One faulty tooth on Z1 meets a faulty tooth on Z2
Worn or Loose Belts	1X – 4X of $BPF = \pi \cdot \text{pitch diameter (of pulley running at RPM1)} / \text{belt length}$	0	Belt Frequency (belt or pulley misalignment cause peaks at 1X of the driving or driven pulley (symptom unbalance))

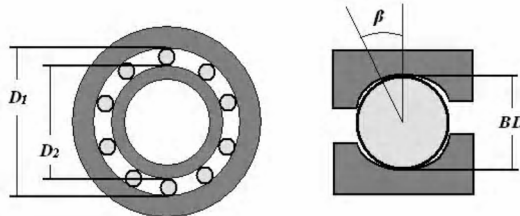
Πίνακας 6.1. Χαρακτηριστικές συχνότητες βλαβών περιστρεφόμενων στοιχείων μηχανών.

\*Για τα ρουλεμάν ισχύει:

$n$  = αριθμός σφαιρών του ρουλεμάν

$f_s$  = συχνότητα περιστροφής του άξονα

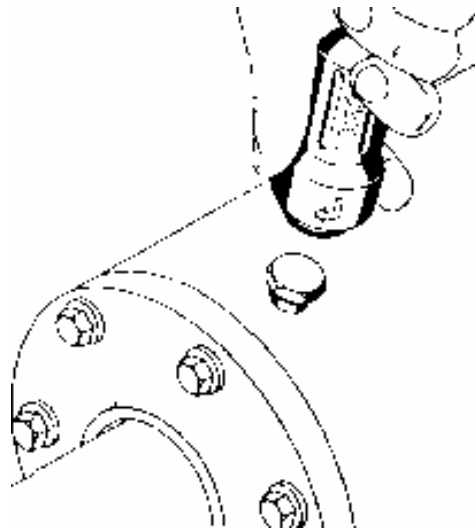
$D_1, D_2, BD, \beta$  όπως στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1. Διαστάσεις του ρουλεμάν.

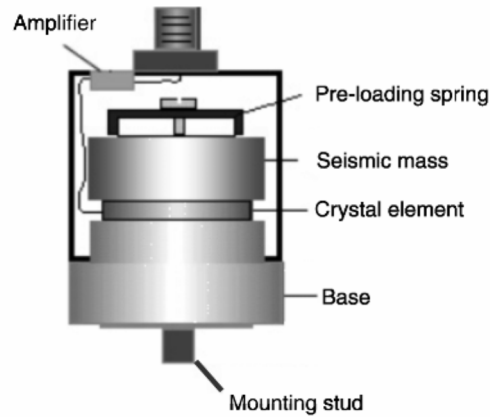
### 6.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ (VIBRATION SPECTRUM ANALYSIS – VSA)

Η μέθοδος εφαρμόζεται με τη χρήση συσκευών λήψης και καταγραφής σημάτων κραδασμών από όργανα που συνήθως είναι κατάλληλα επιταχυνσιόμετρα (τα οποία μετρούν επιτάχυνση, ταχύτητα ή μετατόπιση) και την περαιτέρω ανάλυσή τους με μετασχηματισμό Fourier (FFT).



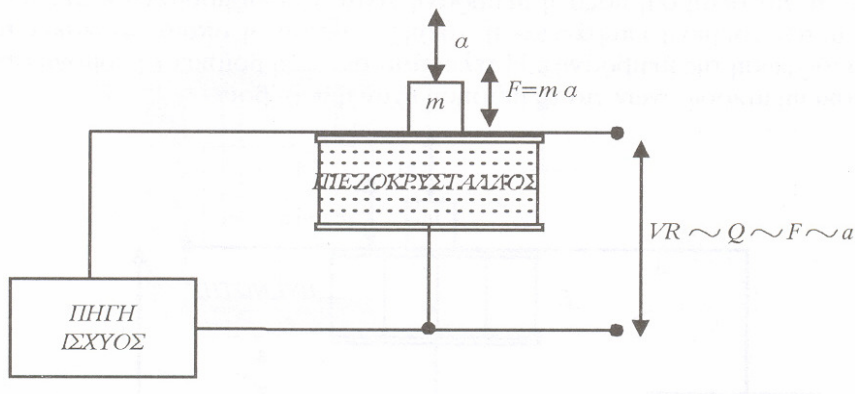
Σχήμα 6.2. Μέτρηση έντασης κραδασμών με επιταχυνσιόμετρο.

Τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα (βλ. Σχήμα 6.3) είναι τα πιο διαδεδομένα και τα πλέον πρακτικά αισθητήρια μέτρησης κραδασμών εξαιτίας των πλεονεκτημάτων τους, όπως το γεγονός ότι έχουν μικρό μέγεθος και βάρος, πολύ μεγάλη δυναμική περιοχή, τη δυνατότητα να μετρούν υψίσυχνες ταλαντώσεις και να παρέχουν κατευθείαν ένδειξη της επιτάχυνσης. Αποτελούνται από έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο (φτιαγμένο από φεροηλεκτρικά υλικά) και μια μικρή μάζα κανονικά κλεισμένη μέσα σε μία μεταλλική θήκη.



Σχήμα 6.3. Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο.

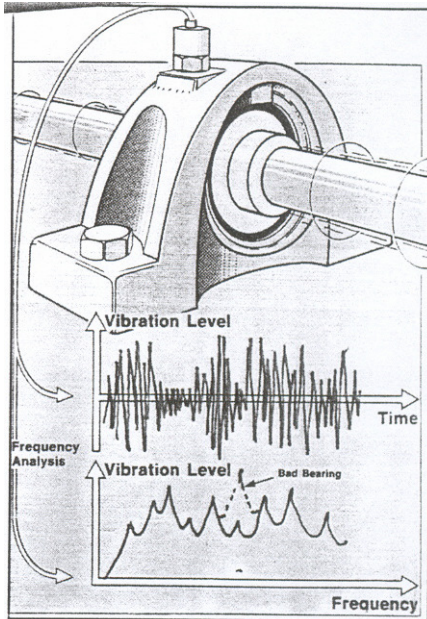
Η βασική αρχή λειτουργίας τους φαίνεται στο Σχήμα 6.4. Όταν η μάζα  $m$  (σεισμική μάζα) υπόκειται σε επιταχύνσεις (κραδασμών) δημιουργεί μια αδρανειακή δύναμη ανάλογη της επιτάχυνσης. Η δύναμη καταπονεί τον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο, ο οποίος παράγει ένα ηλεκτρικό φορτίο ανάλογο της δύναμης. Κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη μετατρέπει το φορτίο σε τάση ανάλογη της επιτάχυνσης.



Σχήμα 6.4. Αρχή λειτουργίας πιεζοηλεκτρικού επιταχυνσιόμετρου.

Ο έλεγχος με επιταχυνσιόμετρο γίνεται λαμβάνοντας τρεις μετρήσεις για κάθε στοιχείο μηχανής: μία στην οριζόντια, μία στη κατακόρυφη και μία στην αξονική διεύθυνση. Τις περισσότερες όμως φορές, αρκεί μια μέτρηση στο οριζόντιο ή κατακόρυφο επίπεδο για τη διάγνωση μιας βλάβης.

Το εισερχόμενο από τα επιταχυνσιόμετρα σήμα διασπάται σε μεμονωμένες διακριτές συχνότητες με τη χρήση αναλογικών φίλτρων ή ενός Fast Fourier Transformer (FFT) και τελικά προκύπτει ένα δυσδιάστατο φάσμα συχνοτήτων με τα αντίστοιχα πλάτη (βλ. Σχήμα 6.5). Όταν μεταβληθεί η κατάσταση ενός στοιχείου της μηχανής το πλάτος του στην αντίστοιχη συχνότητα αλλάζει. Εάν το συγκρίνουμε με τις θεωρητικά «ανεκτές» τιμές, μπορούμε να εξακριβώσουμε την κατάσταση του συγκεκριμένου στοιχείου μηχανής, ενώ με τη λήψη μετρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα παρακολουθούμε την εξέλιξη της κατάστασής του.



Σχήμα 6.5. Στάθμη πλάτους δονήσεως.

A) Συναρτήσσει του χρόνου.

B) Συναρτήσσει της συχνότητας.

## 6.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VSA

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε εμβολοφόρο αντλία 9 εμβόλων και ταχύτητας περιστροφής  $f_s = 1450$  RPM. Η χαρακτηριστική συχνότητα εμβόλου είναι:

$$f_{εμβ.} = [1450 \text{ RPM} / 60 \text{ (s/min)}] / 9 \approx 2.7 \text{ Hz},$$

όπου 9 το πλήθος των εμβόλων. Η μέτρηση της έντασης των κραδασμών έγινε με πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο. Η διάγνωση βλαβών έγινε με τη χρήση του μηχανήματος T-30 της Σουηδικής εταιρείας SPM Instruments. Η ανάλυση και η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε σε Η/Υ με τη χρήση του προγράμματος Condmaster Pro της ίδιας εταιρείας SPM που συνοδεύει το όργανο T-30.

### 6.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΟΡΓΑΝΟ SPM T-30

Το μηχάνημα T-30 (βλ. Σχήμα 6.6) είναι της Σουηδικής εταιρείας SPM Instruments. Διατίθεται σε τρεις διαφορετικές εκδόσεις: τη βασική (1), την ενδιάμεση (2) και την εξειδικευμένη (3). Η μέτρηση έγινε με την εξειδικευμένη έκδοση.

Με το όργανο μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες μετρήσεις :

- **Μέτρηση του κρουστικού παλμού βάσει της μεθόδου SPM ( $db_m/db_c$ ).**
- **Μέτρηση και ανάλυση κραδασμών βάσει της μεθόδου VSA.**
- Μέτρηση ταχύτητας περιστροφής/λεπτό με τη χρήση του κατάλληλου αισθητήρα.
- TEMP μέτρηση θερμοκρασίας με τη χρήση του κατάλληλου αισθητήρα.
- Εναλλακτική μέτρηση ALT (στην ενδιάμεση (2) και εξειδικευμένη έκδοση (3) ), που σημαίνει εισαγωγή μιας άλλης ποσότητας όπως η ροή ή η πίεση και κατάλληλη επεξεργασία μετέπειτα στο πρόγραμμα Condmaster Pro.

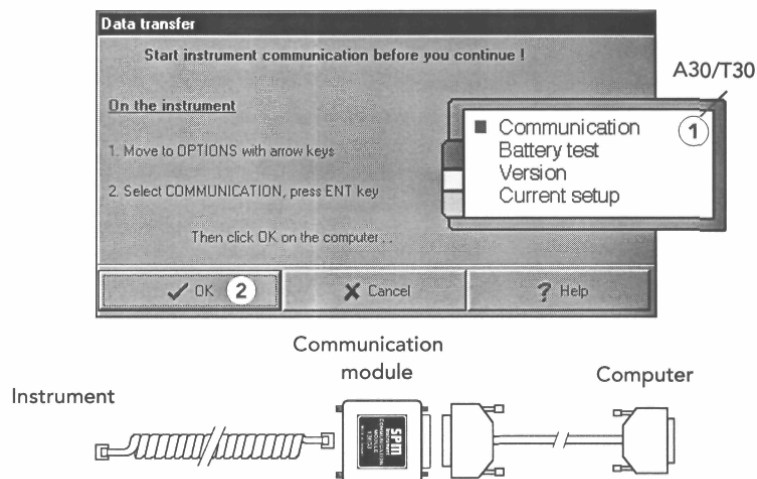




Σχήμα 6.6. Το όργανο T-30

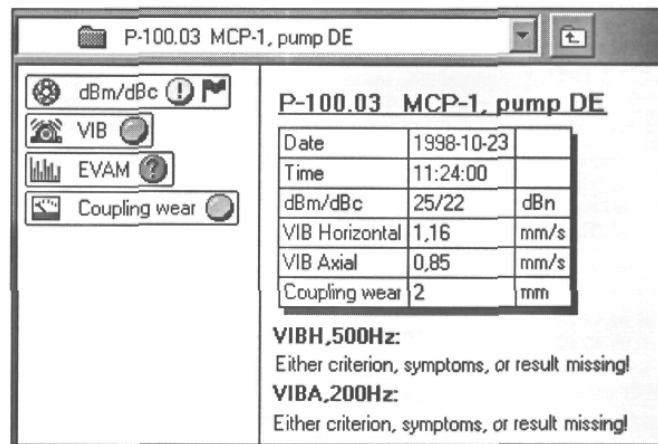
#### 6.4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CONDMASTER PRO 2

Το πρόγραμμα Condmaster Pro 2 αποτελεί το software του μηχανήματος T-30. Η χρήση του έγκειται στην ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων του οργάνου T-30.



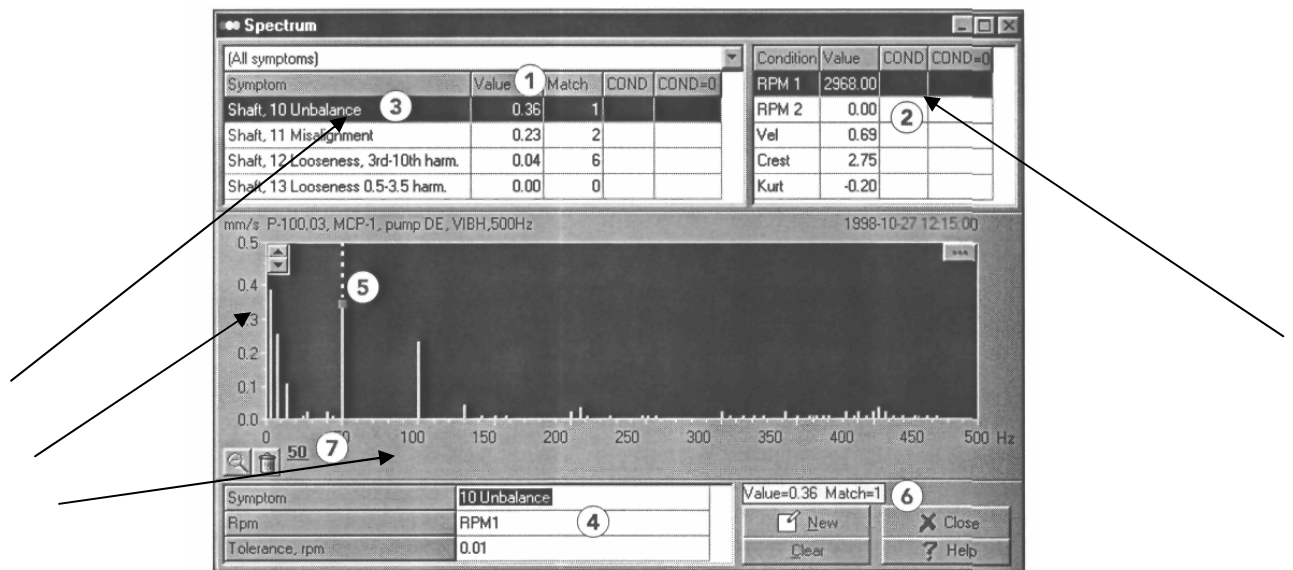
Σχήμα 6.7. Σύνδεση του οργάνου με τον υπολογιστή.

Μετά τη μεταφορά των μετρήσεων από το όργανο στον υπολογιστή, ακολουθεί η ανάλυση και η προβολή των αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου SPM τα αποτελέσματα εμφανίζονται συνοπτικά σε πίνακα (Σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.8. Αποτελέσματα  $db_m$  και  $db_c$ .

Στη μέθοδο VSA προβάλλεται το αποδιαμορφωμένο φάσμα που προκύπτει από την επεξεργασία του σήματος των μετρήσεων με τη χρήση του μετασχηματισμού Fourier (FFT).



Σχήμα 6.9. Αποδιαμορφωμένο φάσμα και πίνακες αποτελεσμάτων.

Στο Σχήμα 6.9 έχουμε ένα φάσμα εύρους 500 Hz. Το πλάτος των κατακόρυφων γραμμών (πλάτη) μετριέται σε mm/s. Αριστερά στην οθόνη έχουμε τις βλάβες των στοιχείων που μελετάμε, οι οποίες έχουν ήδη εισαχθεί στο πρόγραμμα. Δίπλα τους αναφέρονται οι τιμές σε mm/s του ύψους των αιχμών του διαγράμματος που αντιστοιχούν στο πρόβλημα (Value), το πλήθος των αιχμών που ταυτίζονται με τη θεωρητικά αναμενόμενη συχνότητα του προβλήματος (Match) και το πλήθος των αιχμών που είναι στην περιοχή που έχουμε θέσει ως περιοχή κινδύνου (Cond).

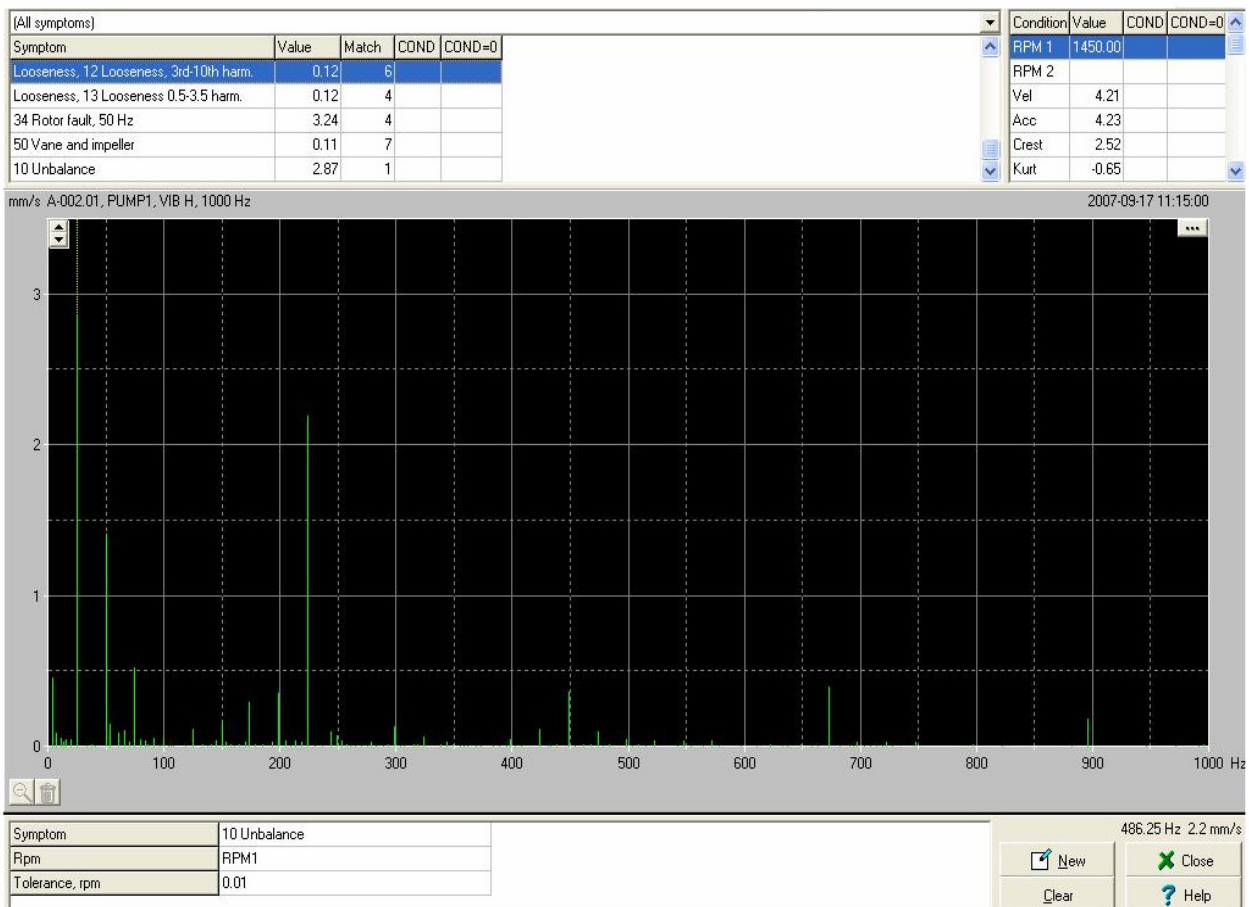
Δεξιά αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με τις στροφές ανά λεπτό του στοιχείου μηχανής, καθώς επίσης και αριθμητικές τιμές που δείχνουν την ταχύτητα της ταλάντωσης RMS (Vel), την επιτάχυνση της ταλάντωσης RMS (ACC), τη διαφορά

μεταξύ των RMS και μέγιστων τιμών των παλμών (Crest) και την παρουσία παροδικών υψηλών συχνοτήτων (Kurt). Η τελευταία παίζει σημαντικό ρόλο στη διάγνωση μιας βλάβης, αφού ο δείκτης κύρτωσης δείχνει την κατανομή των μέγιστων και ελάχιστων τιμών σε ένα σήμα.

Τέλος στην κάτω πλευρά της οθόνης έχουμε απομονώσει το σφάλμα που μελετάμε τη δεδομένη στιγμή. Κατ' αυτόν τον τρόπο στο διάγραμμα εμφανίζεται με διακεκομμένη γραμμή η θεωρητικά αναμενόμενη συχνότητα βλάβης του προβλήματος μαζί με τις αρμονικές της.

### 6.4.3 ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΦΑΣΜΑΤΑ

Στα Σχήματα 6.10 και 6.11 προβάλλονται δύο αποδιαμορφωμένα φάσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία δύο σημάτων μετά από μετρήσεις με επιταχυνσιόμετρο στην εμβολοφόρο αντλία με τη μέθοδο VSA. Τα φάσματα είναι εύρους 1000 Hz. Αριστερά στις οθόνες φαίνονται ο πίνακας των βλαβών που μελετώνται και η συσχέτιση των θεωρητικά αναμενόμενων συχνοτήτων εμφάνισής τους και των πειραματικών αποτελεσμάτων μετά την αποδιαμόρφωση των μετρούμενων φασμάτων. Η εμβολοφόρος αντλία είναι μηχανή Class II (μηχανές μεσαίου μεγέθους) σύμφωνα με τον κανονισμό ISO 2372 κατάταξης της σοβαρότητας του συνολικού επιπέδου κραδασμών. Για μηχανές Class II ως όριο συντήρησης (maintain) ορίζεται το πλάτος των 2.8 mm/s, ενώ ως όριο βλάβης (breakdown) το πλάτος των 7 mm/s.



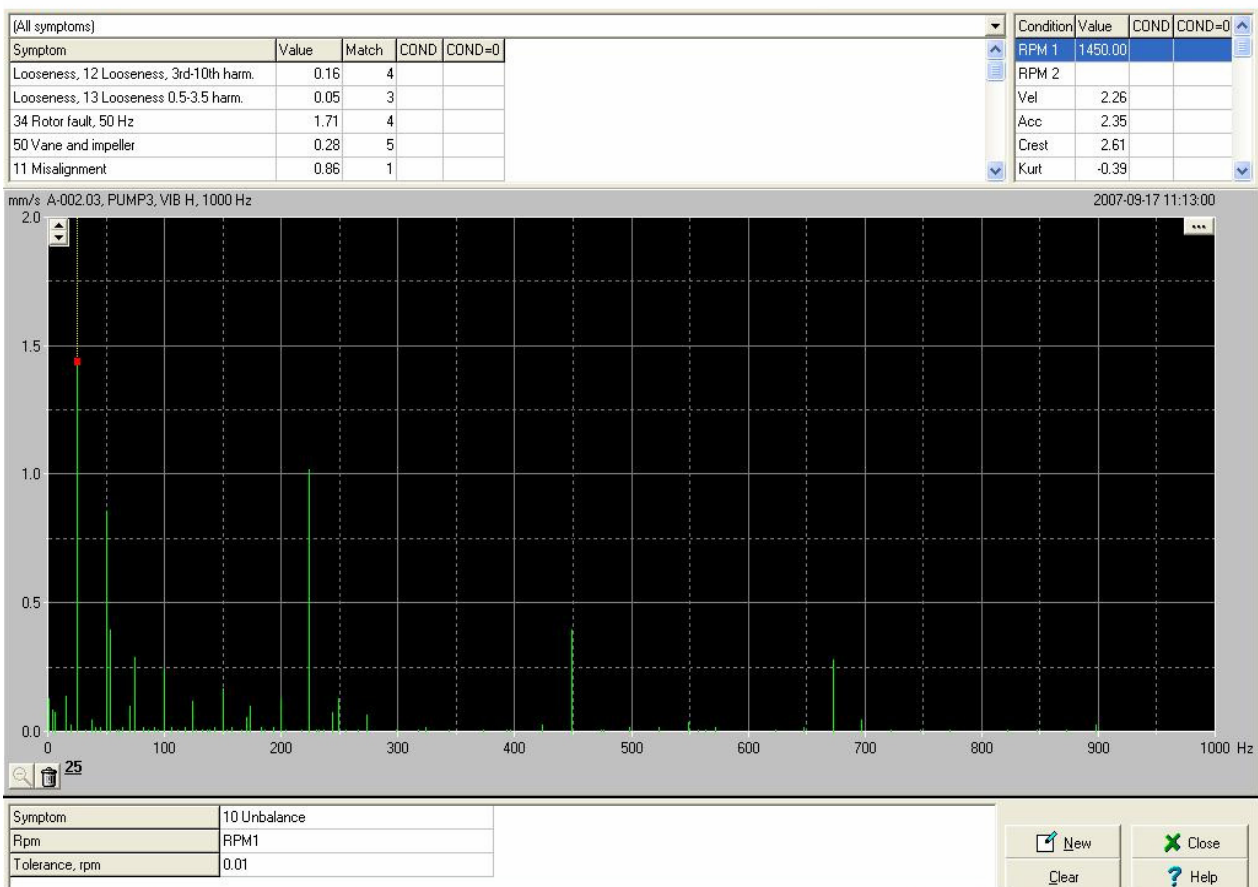
Σχήμα 6.10. Αποδιαμορφωμένο φάσμα.

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα του Σχήματος 6.10, αλλά και από την παρατήρηση του φάσματος, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι υπάρχει πρόβλημα αζυγοσταθμίας στην άτρακτο της αντλίας. Το πλάτος της αιχμής του φάσματος που ταυτίζεται με την αναμενόμενη αιχμή βλάβης, η οποία είναι η πρώτη αρμονική της συχνότητας περιστροφής  $1X f_s$  ή:

$$f = 1450 \text{ RPM} / 60 \text{ (s/min)} \approx 24.2 \text{ Hz,}$$

είναι μεγαλύτερο από το όριο 2.8 mm/s (2.87 mm/s σύμφωνα και με το πρόγραμμα), ενώ παρατηρούνται τουλάχιστον 2 ακόμα αιχμές που ταυτίζονται με αρμονικές της  $f_s$  (2X και 3X).

Το μεγάλο πλάτος 3.24 mm/s της αιχμής του σφάλματος στο ρότορα του κινητήρα είναι ο αρχικός θόρυβος κατά την εκκίνησή του, ο οποίος όμως μετά σταματά και δεν αποτελεί ένδειξη βλάβης.



Σχήμα 6.11. Αποδιαμορφωμένο φάσμα.

Στο φάσμα του Σχήματος 6.11 δεν παρατηρείται κάποια αιχμή με μεγάλο πλάτος. Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγει αυτόματα και το πρόγραμμα το οποίο δείχνει τα πλάτη όλων των αιχμών πολύ μικρότερα του 2.8 mm/s. Εδώ το πλάτος της αιχμής του φάσματος που ταυτίζεται με την αναμενόμενη αιχμή βλάβης λόγω αζυγοσταθμίας στα 24.2 Hz είναι σχετικά μικρό (μικρότερο από 1.5 mm/s). Υπάρχουν όμως και εδώ

τουλάχιστον δύο ακόμα αρμονικές (2X και 3X). Η αιχμή κακής ευθυγράμμισης έχει πλάτος 0.86 mm/s σύμφωνα με το πρόγραμμα, γεγονός που εντοπίζεται και στο φάσμα στην αναμενόμενη συχνότητα αυτής της βλάβης  $2X f_s$  ή:

$$f = 2 * 1450 \text{ RPM} / 60 \text{ (s/min)} \approx 48.4 \text{ Hz,}$$

ενώ στο φάσμα παρατηρείται η ύπαρξη τουλάχιστον μίας ακόμα αρμονικής της  $f_s$  (3X). Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι είναι πιθανό να υπάρχει κάποιο μικρό (για την ώρα τουλάχιστον) πρόβλημα αζυγοσταθμίας και κακής ευθυγράμμισης.

Λίγο αυξημένο πλάτος έχει και εδώ η αιχμή του σφάλματος στο ρότορα του κινητήρα (1.71 mm/s), η οποία όμως και πάλι δε μας ανησυχεί.

## **6.5 ΘΕΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VSA**

Η μέθοδος μέτρησης και ανάλυσης των κραδασμών μπορεί να αποκαλύψει εφαρμογή ακατάλληλων πρακτικών συντήρησης ή επισκευών, όπως ελαττωματική τοποθέτηση ή αντικατάσταση ρουλεμάν, κακή ευθυγράμμιση άξονα ή αζυγοσταθμία ρότορα. Καθώς το 80% των συνήθων προβλημάτων των περιστρεφόμενων στοιχείων μηχανών σχετίζεται με κακές ευθυγραμμίσεις και αζυγοσταθμίες, η μέτρηση και ανάλυση κραδασμών αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη μείωση ή εξάλειψη των επανεμφανιζόμενων προβλημάτων των μηχανών.

Η παρακολούθηση της τάσης εξέλιξης των κραδασμών μπορεί επίσης να αποκαλύψει ακατάλληλες πρακτικές παραγωγής, όπως λειτουργία του εξοπλισμού πάνω από τις προδιαγραφές σχεδιασμού του (υψηλότερες θερμοκρασίες, ταχύτητες ή υψηλότερα φορτία). Ο έλεγχος της τάσης αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη σύγκριση παρόμοιων μηχανών από διαφορετικούς κατασκευαστές, με σκοπό τον έλεγχο του κατά πόσο ατέλειες στο σχεδιασμό αντικατοπτρίζονται σε μειωμένη απόδοση λειτουργίας.

Τέλος η μέθοδος μέτρησης και ανάλυσης κραδασμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέρος ενός γενικότερου προγράμματος αύξησης της αξιοπιστίας του εξοπλισμού. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ακριβέστερη ευθυγράμμιση και ζυγοστάθμιση, καλύτερη ποιότητα τοποθετήσεων και επισκευών και συνεχή μείωση του επιπέδου των κραδασμών του εξοπλισμού.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην αρχή αυτής της εργασίας, η συντήρηση αποτελεί πλέον βασικό επιχειρηματικό στοιχείο για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των βιομηχανιών. Η αναδρομή στις εξελίξεις των μεθόδων συντήρησης έδειξε, πέρα από τα θετικά και αρνητικά σημεία τους (βλ. και *Πίνακα 7.1* τις απαιτήσεις τους σε μέσα, ανθρώπινο δυναμικό και κόστος), τη μεγάλη πρόοδο που έχει επιτελεστεί σε αυτό τον τομέα. Η χρήση των πρόσφατων τεχνολογικών εξελίξεων στην πληροφορική και τα συστήματα αυτοματισμού επιτρέπουν την αξιοποίηση και την εφαρμογή όλο και πιο σύγχρονων μεθόδων και πρακτικών συντήρησης που ελαχιστοποιούν το χρόνο στάσεων λόγω βλάβης και αυξάνουν τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

Οι υπεύθυνοι διαχείρισης των εταιριών έχουν κατανοήσει τη σπουδαιότητα του θέματος και δίνουν συνεχώς περισσότερο βάρος στη συντήρηση.

Από τότε που έγινε ευρέως κατανοητό το γεγονός ότι η συντήρηση αντιπροσωπεύει για τα μηχανήματα ό,τι η ιατρική για τον άνθρωπο, άρχισε να αντιμετωπίζεται με το σωστό τρόπο, ως ένα σύνολο δηλαδή μέσων για τη διατήρηση της αποτελεσματικότητας, της διάρκειας και των επιδόσεων των μηχανών και των εγκαταστάσεων και για να αποφευχθεί η ποιοτική τους υποβάθμιση.

Η συνεχής αύξηση της πολυπλοκότητας των μέσων παραγωγής φρόντισε για τα υπόλοιπα: η συντήρηση, τα κριτήριά της, τα μέσα της και φυσικά οι τεχνικοί έπρεπε να βελτιωθούν και να εξελιχθούν ανάλογα για να φτάσει η συντήρηση στις σημερινές συνθήκες που την κάνουν πραγματική τεχνική αν όχι επιστήμη.

Η δεκαετία του 80, σε ό,τι αφορά τη συντήρηση, χαρακτηρίστηκε από την ανάπτυξη προβλεπτικών και δυναμικών μεθόδων παρακολούθησης της λειτουργίας των μηχανών, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η συνεχής αύξηση των δαπανών συντήρησης και να βρεθούν λύσεις στις απαιτήσεις αύξησης της παραγωγικότητας και μείωσης των εξόδων.

Η δεκαετία του 90 με τη σειρά της χαρακτηρίστηκε από την ανάγκη πληρέστερης ανάπτυξης των προηγούμενων μεθόδων, τη μεγαλύτερη εξοικείωση των τεχνικών της συντήρησης και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ελέγχων με περισσότερη ακρίβεια. Η έγκαιρη προειδοποίηση για επερχόμενα γεγονότα βλαβών ή αστοχιών αποδείχτηκε πράγματι αποτελεσματική στη μείωση των επιπτώσεων ή της έκτασης, καθώς και του χρόνου αποκατάστασής τους, πλην όμως αυτό δε συνοδεύτηκε ταυτόχρονα με τη σημαντική μείωση της συχνότητας εμφάνισής τους.

Η σημερινή στρατηγική της συντήρησης πρέπει να στοχεύει στη δραστική μείωση των βλαβών και πρέπει να αποβλέπει στον εντοπισμό των αιτιών που τις προκαλούν και όχι στα συμπτώματα που εκδηλώνονται. Σε μια τέτοια στρατηγική οι ενέργειες πρέπει να είναι προνοητικές ως προς την πρόληψη και εξάλειψη των αιτιών μιας βλάβης και όχι «εξ αντιδράσεως».

Αυτή ακριβώς η προσέγγιση αποτελεί τον πιο ενδεδειγμένο δρόμο για την εφαρμογή των νέων μεθόδων συντήρησης με τη λογική της πρόνοιας και την επέκταση της ωφέλιμης ζωής λειτουργίας, καθώς και του ενδιαμέσου χρόνου μεταξύ δύο αστοχιών, πολλές φορές παραπάνω από αυτούς που επιτυγχάνονται με τους κλασικούς τρόπους συντήρησης.

<b>Φιλοσοφίες</b>	<b>Μέσα</b>	<b>Ανθρώπινο δυναμικό</b>	<b>Κόστος</b>
Λειτουργία ως τη Βλάβη (Breakdown Maintenance)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ανάγκη αποθήκευσης (στοκ) μεγάλου όγκου αποθεμάτων ανταλλακτικών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Αυξημένο πλήθος προσωπικού (υπερωρίες, έκτακτες προσελεύσεις σε μη εργάσιμες ώρες, μεγάλος αριθμός βλαβών)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Αυξημένο κόστος εξαιτίας εκδήλωσης πολλών και σοβαρών βλαβών, μεγάλων σταματημάτων και αύξησης εργασιακού κόστους, ανάλωσης ανταλλακτικών, μεγάλου όγκου αποθεμάτων</li> </ul>
Προληπτική Συντήρηση (Preventive Maintenance)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ανάγκη διατήρησης μεγάλου όγκου αποθεμάτων ανταλλακτικών (ανάλωση πολλών ανταλλακτικών που δεν έχουν εξαντλήσει το όριο ζωής τους)</li> <li>- Απαιτεί μηχανογραφική υποστήριξη για τη διαχείριση των προγραμμάτων προληπτικών ελέγχων και επεμβάσεων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Αυξημένο προσωπικό συντήρησης (συνεργεία ελέγχου και επεμβάσεων)</li> <li>- Εκπαιδευμένο προσωπικό</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Χαμηλότερο κόστος εξαιτίας του προγραμματισμού του ανθρώπινου δυναμικού εκ των προτέρων</li> <li>- Αυξημένο κόστος λόγω ανάλωσης πολλών ανταλλακτικών που δεν έχουν εξαντλήσει το όριο ζωής τους και μαζικών συντηρήσεων σε μηχανήματα που δεν το απαιτούσαν</li> </ul>
Προβλεπτική Συντήρηση (Predictive Maintenance)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Η αποθήκη των ανταλλακτικών μπορεί να προγραμματίζεται ακριβώς</li> <li>- Εξειδικευμένα συστήματα, όργανα και εργαλεία επιτηρήσεων και</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Μειωμένο προσωπικό συντήρησης (κυρίως για διορθωτικές επεμβάσεις, αφού οι περισσότεροι έλεγχοι</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Δραματικά μειωμένο κόστος και αυξημένες δυνατότητες εξοικονόμησης λόγω μειωμένης ανάλωσης ανταλλακτικών και μείωσης των</li> </ul>

	κεντρικά συστήματα ελέγχου με χρήση κεντρικών Η/Υ	γίνονται από αυτόματα συστήματα) - Ειδικευμένοι και έμπειροι μηχανικοί και τεχνικό προσωπικό	άχρηστων μαζικών συντηρήσεων
Συντήρηση Ακριβείας (Design – Out Maintenance)	- Καθόλου ή ελάχιστες ανάγκες διατήρησης αποθεμάτων ανταλλακτικών - Υλικοτεχνικός εξοπλισμός	- Εξειδικευμένο και έμπειρο ανθρώπινο δυναμικό	- Μεγαλύτερο κόστος λόγω υλικοτεχνικού εξοπλισμού και εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού, το οποίο όμως εμφανίζεται μία μοναδική φορά

*Πίνακας 7.1. Οι προσεγγίσεις συντήρησης και οι απαιτήσεις τους σε μέσα, ανθρώπινο δυναμικό και κόστος.*



---

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

1. Joel Levitt (2003), “Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance”, Industrial Press, USA
2. Cornelius Scheffer, Paresh Girdhar (2004), “Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance”, IDC Technologies
3. Terry Wireman (2006), “Developing Performance Indicators for Managing Maintenance”, Industrial Press, USA
4. John Moubray (2004), “Reliability-centered Maintenance”, Industrial Press, USA
5. Dimitris C. Tsantiotis, Theodore N. Costopoulos, and Ioannis S. Zotos (2006), “Applied Methods of Maintenance by the Use of Test Rig Measurements”, Machine Elements Laboratory, School of Mechanical Engineering, National Technical University of Athens
6. Dibyendu De (2003), “Design Out For Reliability & Long Term Profitability”, IDCON, INC
7. M. Bevilacqua, M. Braglia (2000), “The analytic Hierarchy Process Applied to Maintenance Strategy Selection”, Elsevier Science Ltd.
8. Bankim Shikari (2004), “Automation in Condition Based Maintenance Using Vibration Analysis”, Department of Mechanical Engineering, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India
9. Mattias Holmgren (2003), “Maintenance Related Losses: A Study at the Swedish National Rail Administration”, Licentiate Thesis, Division of Quality and Environmental Management, Department of Business Administration and Social Sciences, Lulea University of Technology
10. M. N. Yuniarto, W. Labib (2006), “Fuzzy Adaptive Preventive Maintenance in a Manufacturing Control System: A Step Towards Self-Maintenance”, International Journal of Production Research
11. Muhammad Shahid Tufail, Hamid Mehovic (2007), “Investigation of the Ways to Improve the Performance of a Plant” Diploma Thesis, Department of Mechanical Engineering, School of Technology and Design, Vaxjo University, Sweden
12. Dr Dheeraj Kumar, Shivnath Jha, Naveen Somani (2006), “Computerized Maintenance Management System (CMMS) for Mining Industries”, Indian School of Mines, Dhanbad
13. Allen S. B. Tam, John W. H. Price (2006), “Optimisation Framework for Asset Maintenance Investment”, Department of Mechanical Engineering, Monash University, Australia
14. Imad Alsyouf (2006), “The Role of Maintenance in Improving Companies’ Productivity and Profitability”, Department of Mechanical Engineering, School of Technology and Design, Vaxjo University, Sweden
15. Alexander Grigoriev, Joris van de Klunbert, Frits C. R. Spijksma (2006), “Modeling and Solving the Periodic Maintenance Problem”, European Journal of Operational Research

16. John Morris (2006), "Preventative Maintenance as a Means to Reduce Cost", Tele-Workshop, Colorado Governor's Office of Energy Management and Conversation
17. G. Waeyenbergh, L. Pintelon (2002), "Maintenance Concept Development: A Case Study", Centre for Industrial Management, Catholic University of Leuven
18. Dean A. Lofall, Tom A. Mereckis (2001), "Integrating CMMS with Predictive Maintenance Software", DLI Engineering Corporation
19. Tore Markeset, Uday Kumar (2001), "R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design, to Reduce Life-Cycle Cost and Improve Attractiveness", Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium
20. William J. Coad (1982), "Energy Engineering and Management for Building Systems", Van Nostrand Company, USA
21. Richard N. Wurzbach, "A Web-Based Cost Benefit Analysis Method for Predictive Maintenance", Maintenance Reliability Group, Brogue
22. William C. Worsham (2005), "Is Preventive Maintenance Necessary?", Reliability Center, Inc.
23. Christer Idhammar, "Preventive maintenance", IDCON, INC
24. ASSET POLICY & CAPITAL PROGRAMS (2002), "Requesting Breakdown Maintenance (Metro and Country)", Department of Education and Children's Services, Government of Australia
25. (2003), "Maintenance Program Requirements/Elements", Brookhaven National Laboratory, USA
26. (2004), "Benefits of Planned Domain", TMG Newsletter, TMG Public Workshops
27. Terry Wireman (1997), "Maintenance Feature – Getting the Most from Predictive Maintenance", Engineer's Digest
28. Sheldon Liebman (1998), "Predictive Maintenance Heats Up", L&S Marketing Articles
29. "Maintenance Policy", University of Edinburgh, Estates and Buildings Department, Works Division
30. (1998), "On the Road to Effective Predictive Maintenance", World Pumps
31. Margaret J. Wheatley, Myron Kellner-Rogers (April/May 1998), "Bringing Life to Organizational Change", Journal of Strategic Performance Measurement
32. Τσαντιώτης Χ. Δημήτρης, Θ. Ν. Κωστόπουλος (2006), "Εργαστηριακός Οδηγός του Μαθήματος Συντήρησης Μηχανών", Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
33. Ι. Α. Αντωνιάδης (1997), "Σύγχρονες Μέθοδοι Συντήρησης Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων", Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.-Η.
34. Α. Κανάραχος, Ι. Αντωνιάδης (1998), "Δυναμική Μηχανών", Παπασωτηρίου, Αθήνα
35. Francesco Villa (1997), "Η Ιατρική των Μηχανημάτων", Μετάδοση Ισχύος
36. Γιώργος Ι. Πανταζόπουλος (1998), "Τρέχουσες Εξελίξεις στη Συντήρηση – Εφαρμογές στην Τσιμεντοβιομηχανία", Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.-Η.
37. Χαράλαμπος Αποστολίδης (1996), "Προληπτική Συντήρηση με Βάση τον Έλεγχο Μόλυνσης των Λιπαντικών", Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.-Η.
38. Θεόδωρος Μεγαλοκονόμος (1995), "Ο Ρόλος του Λιπαντικού στην Προληπτική – Προβλεπτική Συντήρηση", Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.-Η.
39. Χαράλαμπος Αποστολίδης (1998), "Οργάνωση Προληπτικής και Αναγκαστικής Συντήρησης", Διεύθυνση Εκπαίδευσης, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Αθήνα

40. Ευάγγελος Δημόπουλος (1999), “Ανάπτυξη της Συντήρησης στο Λ.Κ.Μ.”, Κλάδος Υποστήριξης, Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Μεγαλόπολη
41. Χ. Ι. Εφραιμίδης (1989), “Συντήρηση Μηχανημάτων Παραγωγής”, Επιμορφωτικές Διαλέξεις, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Αθήνα