ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ: «ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ-ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ»

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΚΑΤΣΑΡΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΤΜΔ1818

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΟΝΔΡΟΚΟΥΚΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020

ΔΗΛΩΣΗ

«Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου».

«Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στο μεταπτυχιακό φοιτητή και το επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και τον επιβλέποντα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο».

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, με τίτλο «Συντήρηση και Αξιοπιστία Εξοπλισμού-Μέθοδοι και Τεχνικές Συντήρησης και Διάγνωσης Βλαβών», αποτελεί συνδυαστικό προϊόν, το οποίο απορρέει από πολύμηνη και μεθοδική μελέτη καθώς και από την έως τώρα εργασιακή μου εμπειρία για την ολοκλήρωση των Μεταπτυχιακών Σπουδών μου στο Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών του τμήματος βιομηχανικής διοίκησης και τεχνολογίας με κατεύθυνση τη διοίκηση έργων. Αντικείμενό της είναι η αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων της Συντήρησης και Αξιοπιστίας Εξοπλισμού, η συγκριτική αξιολόγηση τους καθώς και η παρουσίαση μεθόδων διάγνωσης και βλαβών στον μηχανολογικό αλλά και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον κύριο Χονδροκούκη για την καθοδήγησή του κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 8
1.1 Η σχέση μεταξύ Συντήρησης και Αξιοπιστίας Εξοπλισμού και της Διοίκησης Έργων- Project Management 8
1.2 Ιστορική αναδρομή και ορισμός της Συντήρησης 8
2. Συντήρηση Εξοπλισμού 11
2.1 Βασικοί ορισμοί 11
2.2 Οι κυρίαρχες φιλοσοφίες συντήρησης 13
3. Οι προσεγγίσεις της Συντήρησης 19
3.1 Γενικά 19
3.2 Συντήρηση επικεντρωμένη στην αξιοπιστία- RCM 21
3.2.1 Η μύηση στην RCM 21
3.3 Ολική Παραγωγική Συντήρηση-TPM 22
4. Αξιοπιστία 26
4.1 Βασικές Έννοιες 26
4.1.1 MTBF 26
4.1.2 MTTF 27
4.1.3 Διαφορά μεταξύ MTBF-MTTF 27
4.1.4 NFR 27
4.2 Θεωρία της αξιοπιστίας 28
4.2.1 Αθροιστική Συνάρτηση Αστοχίας 28
4.2.2 Η σημασία της αξιοπιστίας σε έναν οργανισμό 29
4.2.3 Τα οφέλη από την εφαρμογή ενός συστήματος Αξιοπιστίας σε έναν οργανισμό .. 29
4.3 Η έννοια της μηχανικής αξιοπιστίας 30
4.3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μηχανική αξιοπιστία 30
5. Βλάβες 35
5.1 Αποτελέσματα της βλάβης 35
5.2 Αιτίες της βλάβης 35
5.3 Η πρόβλεψη της βλάβης 36
5.3.1 Θερμογραφία 37
5.3.2 Οι διάφοροι τύποι του εξοπλισμού 38
5.3.3 Εφαρμογή της θερμογραφίας σε ηλεκτρικά συστήματα 39
5.3.4 Εφαρμογή της θερμογραφίας σε μηχανολογικά συστήματα 40
5.3.5 Ανάλυση λαδιών 40
5.3.6 Ανάλυση δονήσεων 42
5.4 CMMS (Computerized Maintenance Management System) 45

6. Total Productive Maintenance-Overall Equipment Efficiency 46
6.1 Βήματα για την υιοθέτηση του TPM σε μια επιχείρηση 46
6.2 Οι πυλώνες του TPM..... 48
6.2.1 Πρώτος πυλώνας-5S..... 49
6.2.2 Δεύτερος Πυλώνας-Jishu Hozen (JH) (Αυτόνομη Συντήρηση)..... 50
6.2.3 Τρίτος Πυλώνας – Kaizen 53
6.2.4 Τέταρτος Πυλώνας-Σχεδιασμένη Συντήρηση: 55
6.2.5 Πέμπτος Πυλώνας -Συντήρηση ποιότητας..... 56
6.2.6 Έκτος Πυλώνας - Εκπαίδευση: 57
6.2.7 Έβδομος Πυλώνας -TPM Γραφείου..... 58
6.2.8 Όγδοος Πυλώνας -Ασφάλεια, Υγιεινή και Περιβάλλον..... 60
6.3 Overall Equipment Efficiency (OEE)- Μέτρηση της συνολικής αποτελεσματικότητας εξοπλισμού 61
7. Συμπεράσματα..... 63
8. Βιβλιογραφία..... 64

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: «Οι τρείς γενιές συντήρησης έως το 2000».....σελ.10

Εικόνα 2: «Οι γενιές της συντήρησης έως σήμερα».....σελ.11

Εικόνα 3: «Παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητα».....σελ.13

Εικόνα 4: «Οικονομική συσχέτιση Αξιοπιστίας/Διαθεσιμότητας».....σελ.30

Εικόνα 5: «Η καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας (Bathtub Curve)» σελ.32

Εικόνα 6: «Επιμήκυνση της Bathtub curve» …….....σελ.33

Εικόνα 7: «Σειριακό σύστημα»…….....…σελ.35

Εικόνα 8: «Παράλληλο σύστημα».....σελ.36

Εικόνα 9: «Σύστημα μερικής εναλλαξιμότητας»…….....….σελ.36

Εικόνα 10 : «Θερμόμετρο Υπέρυθρων» σελ.39

Εικόνα 11: «Infrared Imager».....σελ.40

Εικόνα 12 : «Θερμογραφία σε κινητήρα».....σελ.41

Εικόνα 13: «Γράφημα δονήσεων».....σελ.45

Εικόνα 14: «Μορφοτροπείς».....σελ.45

Εικόνα 15: «Οργανωτική Δομή για την εφαρμογή του TPM σε μια επιχείρηση»σελ.49

Εικόνα 16: «Οι οκτώ πυλώνες του TPM» σελ.50

Εικόνα 17: «Πυλώνας 5S».....σελ.51

Εικόνα 18: «SEIRI-Sort out» σελ.51

Εικόνα 19 : «Οι 16 κύριες απώλειες σε έναν οργανισμό».....σελ.56

Εικόνα 20: «Ταξινόμηση των απωλειών» σελ.56

Εικόνα 21: «OEE».....σελ.65

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 : «Τα δώδεκα βήματα για την ανάπτυξη της TPM» σελ.25

Πίνακας 2: **«**Παραδείγματα της αποτελεσματικότητας της TPM».....σελ.26

1. Εισαγωγή

1.1 Η σχέση μεταξύ Συντήρησης και Αξιοπιστίας Εξοπλισμού και της Διοίκησης Έργων-Project Management

Σύμφωνα με το Project Management Institute, το έργο-project ορίζεται ως μία «προσωρινή προσπάθεια που αναλαμβάνεται για τη δημιουργία ενός μοναδικού προϊόντος, υπηρεσίας ή αποτελέσματος». Κατά συνέπεια, τα άτομα που συμμετέχουν στον κόσμο της συντήρησης αναλαμβάνουν να φέρουν εις πέρας, έργα μεγάλης είτε μικρότερης κλίμακας κάθε μέρα. Η επιτυχής περάτωση των έργων αυτών στηρίζεται στην ικανότητα του διαχειριστή του έργου να το σχεδιάσει σωστά και να ελέγχει την πρόοδό του. Χαρακτηριστικά παραδείγματα έργων μικρής κλίμακας αποτελούν ο χρωματισμός του πατώματος σε έναν χώρο χρήσης και διακίνησης λιπαντικών αλλά και η εφαρμογή ανάλυσης λαδιού σε εξοπλισμό με υψηλή κρισιμότητα. Από την άλλη πλευρά, ένα μεγάλο έργο αποτελεί την συνισταμένη μιας ομάδας επιμέρους συντονισμένων έργων, που διοικούνται για την επίτευξη αποτελεσμάτων που δεν είναι διαθέσιμα από τη διαχείριση των έργων αυτών ξεχωριστά. Η επιθεώρηση συντήρησης ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού εμπίπτει στην παραπάνω κατηγορία καθώς επίσης και ένα ευρύ πρόγραμμα λίπανσης ενός εργοστασίου. Επομένως, βασική γνώση ενός Manager για την διαχείριση των επιμέρους διαδικασιών συντήρησης αποτελεί η γνώση του project management.

1.2 Ιστορική αναδρομή και ορισμός της Συντήρησης

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εικοσαετίας, η συντήρηση έχει αλλάξει, ίσως περισσότερο από κάθε άλλο τομέα του Management. Η αλλαγή αυτή οφείλεται στην αύξηση του πλήθους αλλά και στη ποικιλία των περιουσιακών στοιχείων που πρέπει να συντηρηθούν ανά το κόσμο, στην πολυπλοκότητα των σχεδίων, στις νέες τεχνικές συντήρησης και στις εναλλασσόμενες οπτικές των οργανισμών συντήρησης και των αρμοδιοτήτων.

Η συντήρηση καλείται να ανταποκριθεί στις συνεχώς μεταβαλλόμενες προσδοκίες. Αυτές περιλαμβάνουν την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση σχετικά με την πιθανότητα αστοχίας του εξοπλισμού, την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση της σχέσης μεταξύ συντήρησης και ποιότητας παραγόμενου προϊόντος και την αυξανόμενη πίεση για επίτευξη μεγαλύτερης διαθεσιμότητας και μείωσης στα κόστη.

Οι αλλαγές αυτές εξωθούν στα άκρα τις συμπεριφορές και τις ικανότητες σε όλους τους κλάδους της βιομηχανίας. Οι εργαζόμενοι στον τομέα της συντήρησης πρέπει να προσαρμοστούν σε εντελώς νέους τρόπους σκέψης και δράσης. Ταυτόχρονα, οι περιορισμοί των συστημάτων συντήρησης γίνονται ολοένα και περισσότερο ξεκάθαροι.

Οι managers προκειμένου να ανταποκριθούν σε αυτόν τον κυκεώνα αλλαγών ψάχνουν για μια νέα προσέγγιση στη συντήρηση, θέλοντας να αποφύγουν τα λάθος ξεκινήματα και τα αδιέξοδα που πάντα φέρνουν σημαντικές αναταραχές. Αντ' αυτού προσπαθούν να βρουν ένα στρατηγικό πλαίσιο, το οποίο θα συγκεντρώνει τις νέες εξελίξεις σε ένα συνεκτικό μοτίβο, έτσι ώστε να μπορούν να τις αποτιμήσουν λογικά και να τις

εφαρμόσουν προσδίδοντας αξία στον οργανισμό τους. Μια φιλοσοφία η οποία παρέχει ένα τέτοιο πλαίσιο, η οποία αναλύεται παρακάτω είναι η Συντήρηση Εστιασμένη στην Αξιοπιστία Reliability-centered Maintenance, ή RCM.

Από το 1930, η εξέλιξη της συντήρησης μπορεί να χωριστεί σε τρείς διαφορετικές γενιές.

Η Πρώτη Γενιά

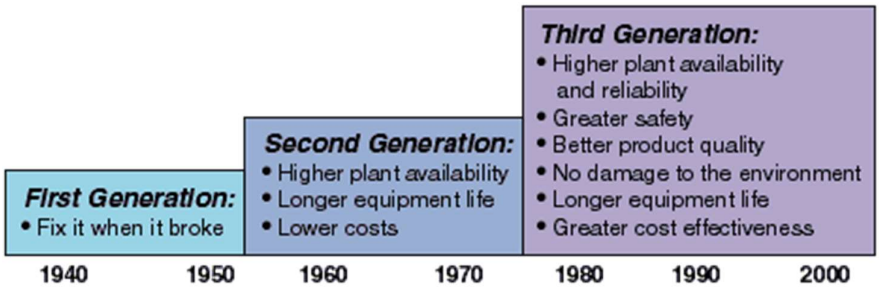
Η πρώτη γενιά καλύπτει την περίοδο έως το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Οι χρόνοι εκτός λειτουργίας και τα σταματήματα των μηχανών δεν είχαν μεγάλη σημασία καθώς η βιομηχανία την περίοδο εκείνη δεν ήταν τόσο μηχανοποιημένη. Έτσι, η πρόληψη της αστοχίας του εξοπλισμού δεν ήταν στόχος υψηλής προτεραιότητας στη λογική των περισσοτέρων manager της τότε εποχής. Την ίδια στιγμή, το μεγαλύτερο μέρος του εξοπλισμού ήταν απλό και χωρίς πολύπλοκα συστήματα γεγονός που τον έκανε αξιόπιστο και εύκολο στο να συντηρηθεί και να τεθεί ξανά σε λειτουργία. Σαν αποτέλεσμα, δεν υπήρχε ανάγκη κάποιου είδους συστηματικής συντήρησης πέραν των διαδικασιών καθαρισμού, τυπικής συντήρησης και λίπανσης. Επιπλέον, η ανάγκη για αυξημένες δεξιότητες των εργαζομένων συντήρησης ήταν χαμηλότερη από όσο είναι σήμερα.

Η Δεύτερη Γενιά

Κατά τη διάρκεια όμως του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου η κατάσταση άλλαξε δραματικά. Οι ανάγκες κατά τη διάρκεια του πολέμου αύξησαν τη ζήτηση για αγαθά όλων των ειδών καθώς η ενίσχυση της βιομηχανίας με ανθρώπινο δυναμικό μειώθηκε απότομα. Έως τη δεκαετία του 1950 οι μηχανές παντός τύπου αυξήθηκαν και έγιναν πιο πολύπλοκες. Εκείνο ήταν και το σημείο όπου η βιομηχανία άρχισε να εξαρτάται από τις μηχανές. Ενόσω αυτή η εξάρτηση μεγάλωνε οι χρόνοι εκτός λειτουργίας άρχισαν να αποτελούν παράγοντα βαρύνουσας σημασίας. Το γεγονός αυτό, οδήγησε στην ιδέα ότι οι αστοχίες του εξοπλισμού έπρεπε να προβλεφθούν, που οδήγησε με τη σειρά του στην ιδέα της προληπτικής συντήρησης. Κατά τη δεκαετία του 1960, οι εργασίες προληπτικής συντήρησης αποτελούνταν κυρίως από επισκευές εξοπλισμού που γίνονταν σε προκαθορισμένα διαστήματα. Το κόστος της συντήρησης ξεκίνησε να αυξάνεται απότομα συγκριτικά με τα λειτουργικά κόστη. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη του προγραμματισμού συντήρησης και των συστημάτων ελέγχου, γεγονός που συνέβαλε τα μέγιστα στο να τεθεί η συντήρηση υπό έλεγχο και να είναι σήμερα ένα καθιερωμένο μέρος των λειτουργιών ενός οργανισμού. Επίσης, το ποσό του κεφαλαίου που δεσμευόταν σε πάγιο εξοπλισμό μαζί με μια απότομη αύξηση στο κόστος αυτού του κεφαλαίου οδήγησαν τους ανθρώπους στο να ξεκινήσουν να ψάχνουν τρόπους με τους οποίους θα μπορούσαν να μεγιστοποιήσουν τη διάρκεια της ζωής του πάγιου εξοπλισμού.

Η Τρίτη Γενιά

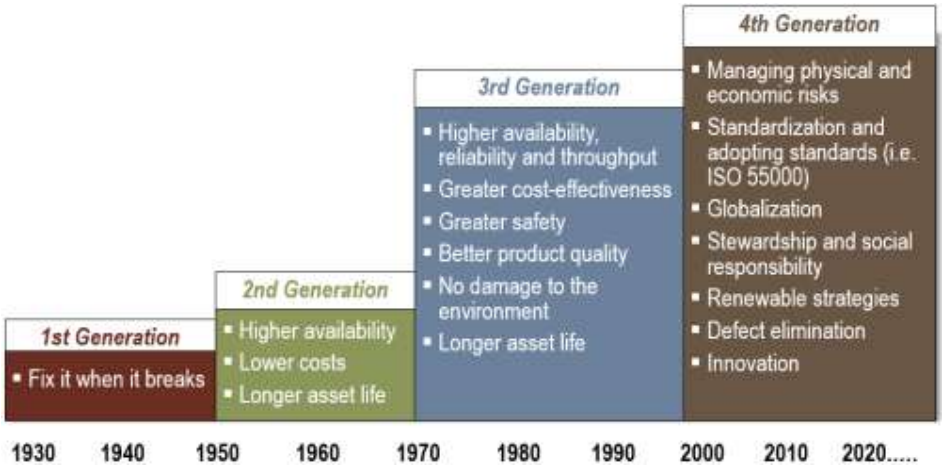
Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, η διαδικασία αλλαγής στη βιομηχανία συγκέντρωσε ακόμη μεγαλύτερη δυναμική. Οι αλλαγές μπορούν να ταξινομηθούν υπό τους τίτλους των νέων προσδοκιών, της νέας έρευνας και των νέων τεχνικών.
Οι χρόνοι εκτός λειτουργίας επηρέαζαν πάντα την παραγωγική ικανότητα των μηχανών, μειώνοντας την παραγωγή, αυξάνοντας τα λειτουργικά κόστη και παρεμβαίνοντας στην εξυπηρέτηση των πελατών. Μέχρι τις δεκαετίες του 1960 και του 1970, αυτό ήταν ήδη ένα μείζον μέλημα στους τομείς της εξόρυξης, της μεταποίησης και των μεταφορών. Στη μεταποίηση, οι επιπτώσεις της διακοπής λειτουργίας επιδεινώνονται από την παγκόσμια κίνηση προς συστήματα just-in-time, όπου τα μειωμένα αποθέματα εργασίας σε εξέλιξη σημαίνουν ότι πολύ μικρές βλάβες είναι τώρα πολύ πιο πιθανό να σταματήσουν ένα ολόκληρο εργοστάσιο.



Εικόνα 1: Οι τρείς γενιές συντήρησης έως το 2000 (Πηγή: John Moubray (2012) *Reliability-centered Maintenance*, Industrial Press, Incorporated)

Η Συντήρηση σήμερα-Τέταρτη Γενιά

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη της μηχανοποίησης και του αυτοματισμού σήμαινε ότι η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα έχουν πλέον γίνει βασικά ζητήματα σε τομείς τόσο διαφορετικούς όσο η υγειονομική περίθαλψη, η επεξεργασία δεδομένων, οι τηλεπικοινωνίες και η διαχείριση κτιρίων. Η όλο και περισσότερη αυτοματοποίηση σημαίνει επίσης ότι όλο και περισσότερες αστοχίες επηρεάζουν την ικανότητά διατήρησης ικανοποιητικών προτύπων ποιότητας. Αυτό ισχύει τόσο για τα πρότυπα υπηρεσιών όσο και για την ποιότητα των προϊόντων. Για παράδειγμα, οι βλάβες του εξοπλισμού μπορούν να επηρεάσουν τον έλεγχο του κλίματος στα κτίρια και την ακρίβεια των δικτύων μεταφορών όσο μπορούν να επηρεάσουν τη συνεπή επίτευξη συγκεκριμένων ανοχών στην κατασκευή. Όλο και περισσότερες αστοχίες έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ασφάλεια ή στο περιβάλλον, σε μια στιγμή που τα πρότυπα σε αυτούς τους τομείς μεταβάλλονται γρήγορα. Πλέον οι οργανισμοί είτε συμμορφώνονται με τις προσδοκίες της κοινωνίας για την ασφάλεια και το περιβάλλον, είτε παύουν να λειτουργούν. Την ίδια στιγμή όσο η εξάρτηση του ανθρώπου από τις μηχανές αυξάνεται, το ίδιο συμβαίνει με το κόστος λειτουργίας και κατοχής τους. Για να εξασφαλιστεί η μέγιστη απόδοση της επένδυσης που αντιπροσωπεύουν, πρέπει να συνεχίσουν να λειτουργούν αποτελεσματικά για όσο απαιτείται. Τέλος, το ίδιο το κόστος συντήρησης αυξάνεται, σε απόλυτους όρους αλλά και ως ποσοστό των συνολικών δαπανών. Σε ορισμένες βιομηχανίες, το κόστος συντήρησης είναι πλέον το δεύτερο υψηλότερο ή ακόμη και το υψηλότερο στοιχείο λειτουργικού κόστους.



Εικόνα 2: Οι γενιές της συντήρησης έως σήμερα (Πηγή: https://www.mromagazine.com/events/public-aladon-rcm3-introductory-course-2/)

2. Συντήρηση Εξοπλισμού

2.1 Βασικοί ορισμοί

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να δοθούν οι ορισμοί της συντήρησης και της αξιοπιστίας εξοπλισμού για την καλύτερη κατανόηση της διπλωματικής εργασίας.

Ορισμός της συντήρησης

Συντήρηση είναι ο συνδυασμός όλων των τεχνικών, διαδικαστικών και διοικητικών ενεργειών στη διάρκεια ζωής ενός παγίου που σκοπεύουν στη διατήρηση ή την αποκατάστασή του (διαθεσιμότητα-availability) στην απαιτούμενη λειτουργία του (required function) παρέχοντας προστασία, ασφάλεια και ενεργειακή οικονομία από την χρήση του, κρατώντας παράλληλα το κόστος της λειτουργίας της συντήρησης στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα.

Αξιοπιστία

Έως τώρα, ανεξάρτητα από το πόσοι ειδικοί συμμετείχαν στο σχεδιασμό συστημάτων, η πιθανότητα αστοχίας παραμένει πάντα. Έτσι, όλοι οι κλάδοι του engineering χρειάζεται να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία. Σήμερα, η μηχανική βασισμένη στην αξιοπιστία είναι ένας εξελιγμένος και απαιτητικός διεπιστημονικός τομέας. Όλοι οι μηχανικοί πρέπει να διασφαλίζουν την αξιοπιστία των σχεδίων και των προϊόντων τους. Επιπλέον, πρέπει να είναι σε θέση να αναλύουν ένα προϊόν και να εκτιμούν ποια μέρη του συστήματος ενδέχεται να είναι επιρρεπή σε αστοχία. Παρόλο που υπάρχει συναίνεση ότι η αξιοπιστία είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ενός προϊόντος, δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτός ορισμός της αξιοπιστίας. Ωστόσο, η αξιοπιστία, πολλές φορές αναφέρεται στη μελλοντική απόδοση ή συμπεριφορά του προϊόντος.

Κάποιοι ορισμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την έννοια της αξιοπιστίας είναι οι εξής:

- Η μείωση των πιθανοτήτων να πάει κάτι λάθος (Johnson και Nilsson 2003).

- Ένα χαρακτηριστικό ενός προϊόντος που περιγράφει εάν το προϊόν κάνει αυτό που ο χρήστης θέλει να κάνει, όταν ο χρήστης το θέλει (Condra 2001).
- Η ικανότητα ενός προϊόντος να ανταποκρίνεται στις προσδοκίες των πελατών για την απόδοση του προϊόντος με την πάροδο του χρόνου (Stracener 1997).
- Η πιθανότητα ότι μια συσκευή, ένα προϊόν ή ένα σύστημα δεν θα αποτύχει για μια δεδομένη χρονική περίοδο υπό καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας (Shishko 1995).

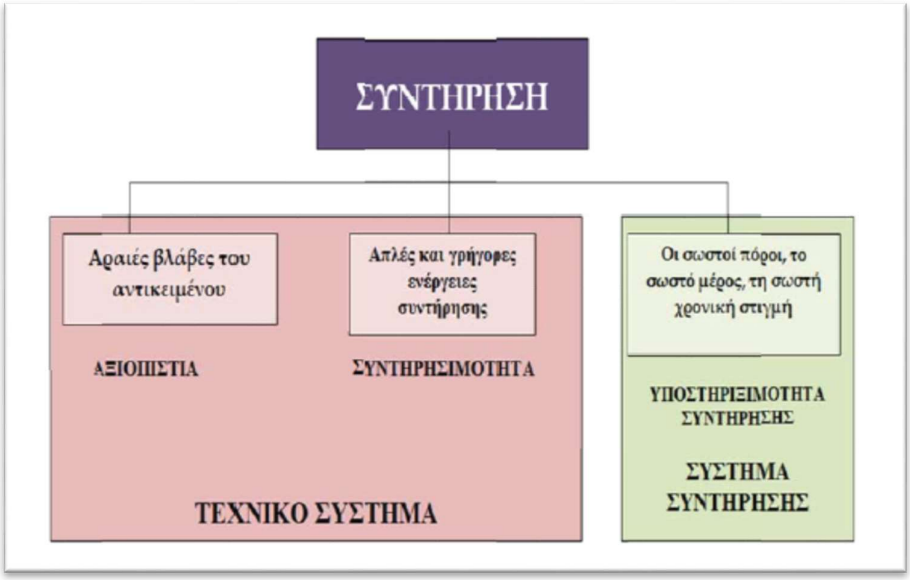
Σε οποιονδήποτε κλάδο πρέπει να υπάρχει ένας ορισμός για την αξιοπιστία, διότι για σκοπούς βελτίωσης και διαχείρισης, η αξιοπιστία πρέπει να ορίζεται με ακρίβεια, να μετράται, να αξιολογείται, να υπολογίζεται, να επαληθεύεται, να ελέγχεται και να διατηρείται.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία ο ορισμός που θα χρησιμοποιηθεί για την αξιοπιστία είναι ο παρακάτω:

Αξιοπιστία είναι η ικανότητα ενός προϊόντος ή συστήματος να λειτουργεί όπως έχει προβλεφθεί (δηλαδή, χωρίς αποτυχία και εντός καθορισμένων ορίων απόδοσης) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, στον κύκλο ζωής του.

Διαθεσιμότητα

Η συντήρηση αποσκοπεί στην διατήρηση ή την αποκατάσταση ενός παγίου στην απαιτούμενη λειτουργία του, δηλαδή στην μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας του (availability). Ως διαθεσιμότητα λοιπόν ορίζεται η πιθανότητα ένα σύστημα να είναι λειτουργικό όποτε αυτό και αν απαιτείται. Η διαθεσιμότητα εξαρτάται από τους παράγοντες που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3. Παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητα (Πηγή: Δήμου Δ. Θεόδωρος και Δελήπαλτας Ζιώβας Α. Σεραφείμ, 2016, *Εφαρμογή Πλέγματος Αποφάσεων Συντήρησης Decision Making Grid (DMG) Σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες (Ορυχείο Νοτίου Πεδίου),* Μη εκδοθείσα διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας)

2.2 Οι κυρίαρχες φιλοσοφίες συντήρησης

Τα είδη της συντήρησης που συνήθως εφαρμόζονται ανά τους διάφορους οργανισμούς είναι τα παρακάτω:

• 55% Διορθωτική

• 31% Προληπτική

• 12% Προβλεπτική

• 2% Άλλο.

Διορθωτική συντήρηση

Η Διορθωτική συντήρηση είναι ουσιαστικά η επισκευή που γίνεται στον εξοπλισμό όταν αυτός αστοχεί. Αξίζει να σημειωθεί πως παρόλη την εξέλιξη που έχει λάβει χώρα στον τομέα της συντήρησης, η επικρατούσα λογική Συντήρησης είναι η Διορθωτική.

Τα πλεονεκτήματα της Διορθωτικής Συντήρησης.

Αναφορικά με τη συντήρηση καινούριου εξοπλισμού, τα περιστατικά αστοχίας του θα είναι ελάχιστα. Εάν το πρόγραμμα συντήρησης κινείται στα πλαίσια της Διορθωτικής Συντήρησης, τότε θα εξοικονομηθούν χρήματα από πλευράς ανθρωποωρών και δε θα προκύψουν κόστη κεφαλαίου έως ότου προκύψει η αστοχία του εξοπλισμού. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποιο κόστος που να σχετίζεται με τη συντήρηση έως αυτή την περίοδο, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από εξοικονόμηση χρημάτων. Στην πραγματικότητα όμως, κατά την περίοδο που παρατηρείται εξοικονόμηση χρημάτων όσον αφορά τα κόστη συντήρησης και τα κόστη κεφαλαίου, δαπανώνται περισσότερα χρήματα από ότι αν εφαρμοζόταν μια διαφορετική μέθοδος συντήρησης. Έτσι, περιμένοντας την αστοχία του εξοπλισμού, μειώνεται η διάρκεια ζωής του, έχοντας σαν αποτέλεσμα την συχνότερη αντικατάσταση μερών του εξοπλισμού και κατ' επέκταση ξοδεύοντας περισσότερα χρήματα που σχετίζονται με το κόστος κεφαλαίου.

Οι αντιδράσεις ενδέχεται να είναι αλυσιδωτές, καθώς μπορεί να προκύψει και κόστος για την επισκευή ενός δευτερεύοντος εξοπλισμού, το οποίο προέκυψε από την αστοχία ενός πρωτεύοντος. Αυτό είναι ένα αυξημένο κόστος που δεν θα είχε προκύψει εάν το πρόγραμμα συντήρησης ήταν περισσότερο προληπτικό. Το κόστος εργασίας που σχετίζεται με την επισκευή πιθανότατα θα είναι υψηλότερο από το κανονικό, διότι η αστοχία του εξοπλισμού θα απαιτήσει πιθανώς πιο εκτεταμένες επισκευές από ό,τι θα απαιτούσε εάν το μέρος του εξοπλισμού δεν λειτουργούσε έως ότου αστοχήσει.

Συνήθως, ο εξοπλισμός αστοχεί κατά τις ώρες εκτός λειτουργίας ή κοντά στο τέλος της κανονικής εργάσιμης ημέρας. Εάν πρόκειται για ένα κρίσιμο κομμάτι εξοπλισμού που πρέπει να επιστρέψει γρήγορα σε λειτουργία, θα πρέπει αναπόφευκτα να δαπανηθούν χρήματα για υπερωριακή απασχόληση του προσωπικού συντήρησης προκειμένου να αποκατασταθεί η βλάβη. Από τη στιγμή που ο εξοπλισμός λειτουργεί μέχρι να προκύψει η αστοχία του, πρέπει να υπάρχει και ένα μεγάλο απόθεμα σε ανταλλακτικά. Το κόστος αυτό θα μπορούσε να είναι μειωμένο με την επιλογή μιας διαφορετικής φιλοσοφίας συντήρησης.

Προληπτική συντήρηση

Η προληπτική συντήρηση μπορεί να οριστεί ως εξής: Ενέργειες που εκτελούνται βάσει ενός συγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος ή του χρόνου λειτουργίας της μηχανής και ανιχνεύουν, αποτρέπουν ή μετριάζουν την υποβάθμιση ενός στοιχείου του συστήματος ή ολόκληρου του συστήματος με σκοπό τη διατήρηση ή την παράταση της ωφέλιμης ζωής του μέσω του ελέγχου της υποβάθμισης σε αποδεκτό επίπεδο.

Το Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α. πρωτοστάτησε στην προληπτική συντήρηση χρησιμοποιώντας την σαν ένα μέσο για την αύξηση της αξιοπιστίας των πλοίων του. Χρησιμοποιώντας τους απαραίτητους πόρους για τη διεξαγωγή δραστηριοτήτων συντήρησης που ορίζονται από τον σχεδιαστή του εξοπλισμού, η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού επεκτείνεται και η αξιοπιστία του αυξάνεται. Πέρα από την αύξηση της αξιοπιστίας, εξοικονομούνται χρήματα σε αντίθεση με ένα πρόγραμμα διορθωτικής συντήρησης. Μελέτες δείχνουν ότι αυτή η εξοικονόμηση μπορεί να ανέλθει στο 12% έως 18% κατά μέσο όρο. Ανάλογα με τις τρέχουσες πρακτικές συντήρησης των εγκαταστάσεων, την τρέχουσα αξιοπιστία του εξοπλισμού και τον χρόνο λειτουργίας του εξοπλισμού, πολλές εγκαταστάσεις που εξαρτώνται καθαρά από την Διορθωτική συντήρηση θα μπορούσαν να εξοικονομήσουν πολύ περισσότερο από 18% με την καθιέρωση ενός κατάλληλου προγράμματος Προληπτικής συντήρησης.

Ενώ η Προληπτική συντήρηση δεν αποτελεί το βέλτιστο πρόγραμμα συντήρησης, έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με ένα πρόγραμμα αμιγούς Διορθωτικής συντήρησης. Εκτελώντας την Προληπτική συντήρηση σύμφωνα με τις οδηγίες του σχεδιαστή του εξοπλισμού, επεκτείνεται η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Το γεγονός αυτό μεταφράζεται σε εξοικονόμηση χρημάτων. Η Προληπτική συντήρηση (λίπανση, αλλαγή φίλτρων κ.λπ.) συμβάλλει στην αποδοτικότερη λειτουργία του εξοπλισμού που επίσης συνεπάγεται εξοικονόμηση χρημάτων. Παρόλο που δε θα αποτραπούν οι καταστροφικές αστοχίες του εξοπλισμού, θα μειωθεί δραστικά ο αριθμός των αστοχιών. Η ελαχιστοποίηση των αστοχιών μεταφράζεται σε εξοικονόμηση κόστους κεφαλαίου.

Προβλεπτική συντήρηση

Η Προβλεπτική συντήρηση μπορεί να οριστεί ως εξής: Μετρήσεις που ανιχνεύουν την έναρξη της υποβάθμισης του συστήματος (μειωμένη λειτουργία), επιτρέποντας έτσι να περιοριστούν οι αιτιολογικοί παράγοντες ή να τεθούν υπό έλεγχο πριν από κάθε σημαντική επιδείνωση στη φυσική κατάσταση του στοιχείου. Τα αποτελέσματα της Προβλεπτικής συντήρησης υποδεικνύουν την τρέχουσα αλλά και τη μελλοντική λειτουργική ικανότητα του εξοπλισμού.

Η Προβλεπτική συντήρηση διαφέρει από την Προληπτική, καθώς οι ανάγκες για συντήρηση βασίζονται στην κατάσταση που βρίσκεται ο εξοπλισμός παρά σε ένα προσχεδιασμένο πρόγραμμα συντήρησης. Δραστηριότητες όπως η αλλαγή λιπαντικού βασίζεται στο χρόνο, όπως ο ημερολογιακός χρόνος ή ο χρόνος λειτουργίας του εξοπλισμού. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι άνθρωποι αλλάζουν λάδι στα οχήματά τους στα 15.000 με 17.000 χιλιόμετρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η αλλαγή λαδιών να βασίζεται στο χρόνο λειτουργίας του εξοπλισμού. Δεν δίνεται καμία σημασία στην πραγματική κατάσταση και την ικανότητα απόδοσης του λαδιού. Γίνεται αλλαγή επειδή έχει φτάσει η προκαθορισμένη ώρα για την αλλαγή. Αυτή η μεθοδολογία θα

ήταν ανάλογη της Προληπτικής συντήρησης. Εάν, από την άλλη πλευρά, ο χειριστής του αυτοκινήτου μείωνε τον χρόνο λειτουργίας του οχήματος και ανέλυε το λάδι ανά συγκεκριμένα διαστήματα για να προσδιορίσει την πραγματική του κατάσταση και τις ιδιότητες λίπανσης, μπορεί να είναι σε θέση επεκτείνει την αλλαγή λαδιού έως ότου το όχημα συγκεντρώσει μεγαλύτερο αριθμό χιλιομέτρων. Αυτή είναι η θεμελιώδης διαφορά μεταξύ Προβλεπτικής και Προληπτικής συντήρησης, σύμφωνα με την οποία η Προβλεπτική συντήρηση χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της απαιτούμενης εργασίας συντήρησης με βάση την ποσοτικοποιημένη κατάσταση είτε του υλικού είτε του εξοπλισμού.

Τα πλεονεκτήματα της Προβλεπτικής συντήρησης είναι πολλά. Ένα καλά σχεδιασμένο πρόγραμμα Προβλεπτικής συντήρησης σχεδόν θα εξαλείψει τις καταστροφικές αστοχίες εξοπλισμού. Δίνεται η δυνατότητα να γίνει προγραμματισμός των δραστηριοτήτων συντήρησης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμα και να εξαλειφθεί το κόστος υπερωριών. Επιπλέον, δύναται να περιοριστεί το απόθεμα ανταλλακτικών και τα υλικά προς παραγγελία, όπως απαιτείται, πολύ νωρίτερα από το χρόνο που απαιτείται για να υποστηριχθούν οι μελλοντικές ανάγκες συντήρησης. Δίνεται επίσης η δυνατότητα για βελτιστοποίηση της λειτουργίας του εξοπλισμού, εξοικονομώντας ενεργειακό κόστος και αυξάνοντας την αξιοπιστία της εγκατάστασης. Παλαιότερες μελέτες εκτιμούν ότι ένα σωστά λειτουργικό πρόγραμμα Προβλεπτικής συντήρησης μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση 8% έως 12% σε σχέση με ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί μόνο Προληπτική συντήρηση. Ανάλογα με την εξάρτηση μιας εγκατάστασης από την Διορθωτική συντήρηση και την κατάσταση των υλικών, οι ευκαιρίες εξοικονόμησης εκτιμώνται από 30% έως 40% όταν εφαρμόζεται Προβλεπτική συντήρηση. Στην πραγματικότητα, ανεξάρτητες έρευνες δείχνουν την μετέπειτα μέση βιομηχανική εξοικονόμηση που προκύπτει από την έναρξη ενός λειτουργικού προγράμματος Προβλεπτικής συντήρησης:

• Απόδοση επένδυσης: 10 φορές

• Μείωση κόστους συντήρησης: 25% έως 30%

• Εξάλειψη των βλαβών: 70% έως 75%

• Μείωση στο χρόνο διακοπής λειτουργίας: 35% έως 45%

• Αύξηση της παραγωγής: 20% έως 25%

Από την άλλη πλευρά, το να υιοθετήσει μια επιχείρηση ένα πρόγραμμα προβλεπτικής συντήρησης αποτελεί μια ακριβή επένδυση. Η εκπαίδευση προσωπικού ενός εργοστασίου για την αποτελεσματική χρήση τεχνολογιών προβλεπτικής συντήρησης θα απαιτήσει σημαντική χρηματοδότηση. Το πρόγραμμα ανάπτυξης της Προβλεπτικής συντήρησης προϋποθέτει μια κοινή αντίληψη και αφοσίωση από όλα τα μέλη του οργανισμού και του management για να δουλέψει κατάλληλα.

Συντήρηση ακριβείας ή Επιβελτιωτική συντήρηση (Design-out Maintenance)

Η Επιβελτιωτική συντήρηση αποτελεί μια μέθοδο συντήρησης η οποία αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια και εστιάζει κατά κύριο λόγο στο σχεδιαστικό μέρος του εξοπλισμού. Σκοπεύει δηλαδή στο να διορθώσει ελαττώματα που σχετίζονται με τη

σχεδίαση και που μπορεί να προέρχονται από ακατάλληλη μέθοδο εγκατάστασης, επιλογή λάθος υλικών κατασκευής, ασαφή καθορισμό των προδιαγραφών λειτουργίας κ.ά. Αυτό αποτελεί σχεδιαστικό πρόβλημα, αλλά εμπλέκεται και το τμήμα της συντήρησης. Γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη η στενή συνεργασία μεταξύ των λειτουργιών συντήρησης και σχεδιασμού έτσι ώστε ο μηχανικός συντήρησης να συνεργάζεται στενά με το μηχανικό σχεδιασμού.

Σε ορισμένες περιπτώσεις είτε δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα συντήρησης 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 εναλλακτικών λύσεων. Εάν η αστοχία έχει συνέπειες στην ασφάλεια του προσωπικού ή στο περιβάλλον, τότε ο επανασχεδιασμός κρίνεται επιτακτικός. Εάν η αστοχία έχει μόνο οικονομικές επιπτώσεις, τότε η ανάγκη επανασχεδιασμού εκτιμάται βάσει οικονομικών κριτηρίων.

Η λογική της Επιβελτιωτικής συντήρησης διαφέρει από τις υπόλοιπες. Ενώ οι περισσότερες μέθοδοι συντήρησης σκοπεύουν στην εξάλειψη των αστοχιών ή των επιπτώσεων αυτών, η Επιβελτιωτική συντήρηση αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των αστοχιών, αλλά μέσω της εξάλειψης των αιτιών της συντήρησης, δηλαδή των αιτιών που οδηγούν στην ανάγκη για συντήρηση.

Η Επιβελτιωτική συντήρηση στοχεύει απευθείας στην αξιοπιστία μέσω της βελτίωσης σχεδιαστικών ατελειών. Πλεονεκτεί σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους συντήρησης στο ότι εφαρμόζεται μία μόνο φορά για να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. 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.

Προϋποθέσεις για εφαρμογή Επιβελτιωτικής συντήρησης είναι οι παρακάτω:

1) Η ύπαρξη μιας ομάδας management η οποία να πιστεύει στην καινοτομία και παρακολουθεί την αγορά. Χωρίς την παρακολούθηση της αγοράς δεν είναι δυνατή και η καινοτομία, αφού αποτελεί απάντηση στις απαιτήσεις του πελάτη.

2) Η ύπαρξη μιας ομάδας ικανών και έμπειρων ερευνητών, στους οποίους να παρέχεται ο απαιτούμενος χρόνος και τα κεφάλαια για την ανάλυση που θα οδηγήσει στις επιθυμητές βελτιώσεις. Τέτοιες ομάδες υπάρχουν σε εταιρείες που βλέπουν την όλη λειτουργία ενός οργανισμού σαν ένα δυναμικό σύστημα και πιστεύουν ότι η επένδυση θα αποδώσει.

Απαιτήσεις της εφαρμογής της συντήρησης ακριβείας

Η εφαρμογή της Επιβελτιωτικής συντήρησης ενδεχομένως 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.

Η εφαρμογή της Επιβελτιωτικής Συντήρησης δεν αποτελεί ένα εύκολο εγχείρημα. Θα πρέπει να αναγνωρίζονται οι απαιτήσεις του εξοπλισμού σχετικά με τη συντήρησή του και να γίνεται προσπάθεια εξάλειψής τους λαμβάνοντας υπόψη και αξιολογώντας στοιχεία όπως:

1) Το κόστος της αξιοπιστίας που πρέπει να έχει ο εξοπλισμός καθ΄ όλη τη διάρκεια της ζωής του

2) Το επίπεδο της διαθέσιμης τεχνολογίας. Ενδεχόμενη έλλειψη της απαραίτητης τεχνολογίας δε θα επιτρέψει τον επανασχεδιασμό για την εξάλειψη των αίτιων της συντήρησης ή θα οδηγήσει σε αυξημένο κόστος.

3) Τις εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις

4) Την απόδοση του κεφαλαίου που επενδύθηκε για την βελτίωση του σχεδιασμού.

Παρά τις όποιες δυσκολίες όμως η Επιβελτιωτική συντήρηση μπορεί να εξασφαλίσει τα εξής:

1) Εμφάνιση κόστους μόνο μια φορά

2) Ανάγκη αποθήκευσης και χρήσης περιορισμένου αριθμού ανταλλακτικών

3) Απουσία περαιτέρω συντήρησης ή αναβολή της με παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού

4) Μόνιμη επίλυση

Εφαρμογή της Επιβελτιωτικής συντήρησης

Η Επιβελτιωτική συντήρηση 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 επανεμφανιστεί.

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:

1) Έρευνα των ιστορικών στοιχείων (τα οποία υπάρχουν καταγεγραμμένα) που σχετίζονται με αστοχίες κατά τη λειτουργία των μηχανών καθώς και με τις μέχρι στιγμής συντηρήσεις

2) Περιοδική επιθεώρηση των στοιχείων μηχανών

3) 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 Επιβελτιωτική συντήρηση το βασικό πρόβλημα είναι ότι υπάρχει πάντα η περίπτωση να χρειαστεί μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός.

Αξιολόγηση της Επιβελτιωτικής συντήρησης

Η εφαρμογή της Επιβελτιωτικής συντήρησης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα:

1) Συνεχώς επαναλαμβανόμενα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν ολοκληρωτικά

2) Οι εταιρείες κάνουν τις βελτιώσεις μία μόνο φορά, ενώ τα θετικά αποτελέσματα που απολαμβάνουν παραμένουν

3) Σε ορισμένες περιπτώσεις μικρές διορθώσεις στο σχεδιασμό μπορούν να είναι πολύ αποτελεσματικές και οικονομικές

4) 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 επιτυγχάνει και διατηρεί παράλληλα με το χαμηλό κόστος λειτουργίας υψηλό επίπεδο ποιότητας

5) Το επαναλαμβανόμενο κόστος συντήρησης εξαφανίζεται ή μειώνεται στο ελάχιστο. Το ίδιο συμβαίνει και με τις δραστηριότητες συντήρησης. Συνεπώς ο σχεδιασμός της συντήρησης μειώνεται στο ελάχιστο, απλοποιείται και βελτιστοποιείται

6) Με την απομάκρυνση των ατελειών του σχεδιασμού και τη βελτίωση της λειτουργικότητας η παραγωγική διαδικασία σταθεροποιείται

7) Η επένδυση για την Επιβελτιωτική συντήρηση αποδίδει

8) Βελτιώνεται το γνωστικό υπόβαθρο των μηχανικών της επιχείρησης, γεγονός που τη βοηθά να είναι ανταγωνιστική

9) Η συνεχής εφαρμογή της Επιβελτιωτικής συντήρησης μπορεί να παρέχει ανταγωνιστικές τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν την επιχείρηση να αποκτήσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα όταν αυτό χρειαστεί

Μειονεκτήματα

1)Απώλειες στην παραγωγή. Οι εργασίες της Επιβελτιωτικής συντήρησης μπορεί να

διαρκέσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα

2) Εκτεταμένα προγράμματα Επιβελτιωτικής συντήρησης μπορούν να αποδειχτούν πολύ ακριβά, ενώ το αναμενόμενο αποτέλεσμα μπορεί να μην επιτευχθεί

3) Μια Επιβελτιωτική συντήρηση που δεν εξετάστηκε διεξοδικά μπορεί να αγνοήσει την πραγματική πηγή του προβλήματος

4) Η λύση ενός προβλήματος σε μια περιοχή μπορεί να υπερφορτώσει ή να δημιουργήσει προβλήματα σε μια άλλη

5) Απρόσμενα προβλήματα. Όπως πάντα σε μεγάλα έργα, απρόσμενα προβλήματα είναι πιθανόν να προκύψουν

6) Εάν δεν εφαρμοστεί από ικανούς και πεπειραμένους ανθρώπους μπορεί να οδηγήσει στα αντίθετα από τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Η Επιβελτιωτική συντήρηση βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο 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.

3. Οι προσεγγίσεις της Συντήρησης

3.1 Γενικά

Οι φιλοσοφίες, οι προσεγγίσεις και οι στρατηγικές συντήρησης διαφέρουν. Περιλαμβάνουν την αναζήτηση, την ταυτοποίηση και την εκτέλεση πολλών αποφάσεων σχετικών με επισκευές, αντικαταστάσεις και ελέγχους. Ασχολούνται με την υιοθέτηση του βέλτιστου πλάνου για τη λειτουργία της κάθε μονάδας του εξοπλισμού και του βέλτιστου προγράμματος συντήρησης για τον εξοπλισμό, σε συνεργασία με την παραγωγή και άλλες λειτουργίες. Ανάλογα με το περιστατικό που προκύπτει (για παράδειγμα αστοχία, πάροδος ορισμένου χρόνου, κατάσταση) αναθέτουν αυτό στην αντίστοιχη δραστηριότητα της συντήρησης (έλεγχος, επισκευή ή αντικατάσταση). Συγκροτείται από ένα μίγμα πολιτικών και τεχνικών, οι οποίες ποικίλουν από εξοπλισμό σε εξοπλισμό. Επιπλέον, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι οι στόχοι της επιχείρησης, η 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.). 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. Οι σημαντικότερες και πιο διαδεδομένες από αυτές, ανάμεσα από πολλές που υπάρχουν, είναι η Συντήρηση με γνώμονα την Αξιοπιστία (Reliability Centered Maintenance – RCM) και η Ολική Παραγωγική Συντήρηση (Total Productive Maintenance – TPM).

Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε ο όρος Reliability Centered Maintenance (RCM), ήταν για να περιγράψουν οι μηχανικοί της αεροπορικής εταιρείας United Airlines τις βέλτιστες απαιτήσεις για τη συντήρηση 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 1960 και του 1970 να βελτιώσουν την αξιοπιστία ενός νέου αεροσκάφους τους. Η Συντήρηση με γνώμονα την Αξιοπιστία, 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. Συμβάλλει στον καθορισμό των καταλληλότερων και οικονομικά αποδοτικών «επιβελτιωτικών» 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.

Η φιλοσοφία της Ολικής Παραγωγικής Συντήρησης (Total Productive Maintenance – TPM) ξεκίνησε στην Ιαπωνία στα μέσα της δεκαετίας του 1980 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 1970 η βιομηχανία της Ιαπωνίας βρισκόταν σε κρίσιμη οικονομική κατάσταση εξαιτίας της κρίσης του πετρελαίου και έψαχνε έναν 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 1980 ήταν 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). Προσπαθεί να εξασφαλίσει βασική συντήρηση και συνθήκες λειτουργίας που θα εμποδίσουν την επιτάχυνση της επιδείνωσης και των αστοχιών.

3.2 Συντήρηση επικεντρωμένη στην αξιοπιστία- RCM

Το περιοδικό Συντήρηση επικεντρωμένη στην αξιοπιστία (RCM) παρέχει τον ακόλουθο ορισμό της RCM: «μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων συντήρησης οποιουδήποτε φυσικού περιουσιακού στοιχείου στο πλαίσιο λειτουργίας του».

Ουσιαστικά, η μεθοδολογία RCM εστιάζει σε κάποια βασικά ζητήματα που δεν αντιμετωπίζονται από άλλα προγράμματα συντήρησης. Αναγνωρίζει ότι όλος ο εξοπλισμός σε μια εγκατάσταση δεν έχει την ίδια βαρύτητα για τη διαδικασία αλλά και για την ασφάλεια των εγκαταστάσεων. Προσεγγίζει επίσης τη διάρθρωση ενός προγράμματος συντήρησης αναγνωρίζοντας ότι μια εγκατάσταση δεν έχει απεριόριστους πόρους χρηματοδότησης και προσωπικού και ότι η χρήση και των δύο πρέπει να ιεραρχείται και να βελτιστοποιείται. Η RCM είναι μια συστηματική προσέγγιση για την αξιολόγηση του εξοπλισμού και των πόρων μιας εγκατάστασης για να τα συνδυάσει καλύτερα και να οδηγήσει σε υψηλό βαθμό αξιοπιστίας και οικονομικής απόδοσης των εγκαταστάσεων. Η RCM εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προβλεπτική συντήρηση αλλά αναγνωρίζει επίσης ότι οι δραστηριότητες συντήρησης που γίνονται στον εξοπλισμό που είναι φθηνός και ασήμαντος για την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων μπορεί καλύτερα να αφεθεί σε μια διορθωτική προσέγγιση συντήρησης.

Επειδή η RCM δίνει μεγάλη βαρύτητα στη χρήση τεχνολογιών Προβλεπτικής Συντήρησης, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του προγράμματος αντικατοπτρίζουν αυτά της Προβλεπτικής Συντήρησης. Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα, η RCM θα επιτρέψει σε μια εγκατάσταση να ταιριάξει καλύτερα τους πόρους με τις ανάγκες, βελτιώνοντας παράλληλα τα επίπεδα αξιοπιστίας και μειώνοντας το κόστος.

Είναι σημαντικό να καθοριστεί επαρκώς η κρισιμότητα του εξοπλισμού και το κόστος του χρόνου εκτός λειτουργίας κατά τη διάρκεια του καθορισμού του βέλτιστου συνδυασμού των στοιχείων συντήρησης. Μόλις καθοριστεί, ο εξοπλισμός μπορεί να ιεραρχηθεί για την ανάπτυξη ενός λειτουργικού προγράμματος RCM.

3.2.1 Η μύηση στην RCM

Η πορεία από ένα αμιγώς διορθωτικό πρόγραμμα συντήρησης σε ένα RCM πρόγραμμα δεν αποτελεί μια εύκολη διαδικασία. Η ακόλουθη λίστα απαριθμεί κάποια βασικά βήματα για την υιοθέτηση μιας RCM.

Βήματα για την υιοθέτηση RCM

1) Δημιουργία μιας λίστας του εξοπλισμού της εγκατάστασης

2) Ιεράρχηση των στοιχείων του εξοπλισμού βάσει σπουδαιότητας ή κρισιμότητας ή διαδικασίας

3) Κατανομή των στοιχείων σε κατηγορίες

4) Προσδιορισμός του τύπου και του αριθμού των απαιτούμενων δραστηριοτήτων συντήρησης και της περιοδικότητας αυτών χρησιμοποιώντας:

i) Τα τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή

ii) Το ιστορικό του εξοπλισμού

iii) Ευρήματα της root cause analysis

iv) Καλή κρίση του τμήματος των μηχανικών

5) Αξιολόγηση του ανθρώπινου δυναμικού της συντήρησης

6) Ανάλυση των τύπων αστοχίας του εξοπλισμού και των επιδράσεων στα στοιχεία και στα συστήματα

7) Προσδιορισμός των δραστηριοτήτων που μπορούν να εκτελεστούν από το προσωπικό συντήρησης

8) Καθορισμός αποτελεσματικών δραστηριοτήτων συντήρησης

3.3 Ολική Παραγωγική Συντήρηση-TPM

Η Ολική Παραγωγική Συντήρηση (TPM) είναι μια τεχνική που εστιάζει στον ανθρώπινο παράγοντα, σύμφωνα με την οποία δίνεται έμφαση στην συντηρησιμότητα.

Η TPM είναι ένας δοκιμασμένος τρόπος μείωσης αποβλήτων, οικονομίας χρημάτων και βελτίωσης του χώρου εργασίας στις βιομηχανίες. Προσφέρει στους χειριστές τη γνώση και την αυτοπεποίθηση να χειριστούν τα μηχανήματά τους. Αντί να περιμένουν την εμφάνιση βλάβης και μετά να απευθύνονται στον μηχανικό συντήρησης, αναλαμβάνουν άμεσα την αντιμετώπιση μικρών βλαβών πριν αυτές να γίνουν κρισιμότερες για τον εξοπλισμό. Οι χειριστές διερευνούν και εξαλείφουν τις κύριες πηγές των μηχανικών βλαβών. Επίσης εργάζονται σε μικρές ομάδες για να επιτύχουν συνεχή βελτίωση των γραμμών παραγωγής.

Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα της TPM

Η TPM ως σύστημα συντήρησης θα μπορούσε να προσδιορισθεί ως «συντήρηση που περιλαμβάνει όλους τους συνεργάτες». Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι:

Η Ολική Παραγωγική Συντήρηση είναι η συντήρηση προσανατολισμένη προς την παραγωγή, η οποία διεκπεραιώνεται από όλους τους εργαζομένους μέσω κυρίως μικροομαδικών δραστηριοτήτων. Είναι η ολικά διεκπεραιωμένη συντήρηση των εγκαταστάσεων σε όλο το φάσμα της επιχείρησης. Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει επίσης στην ικανότητα της TPM να υποστηρίξει ακόμα και τις πιο εξελιγμένες εγκαταστάσεις παραγωγής. Η δημοτικότητα και η ραγδαία εξάπλωση παγκοσμίως της TPM μπορεί να αποδοθεί σε τρεις κυρίως λόγους που αποτελούν και τη σημαντικότερη συμβολή της TPM στην επιχείρηση: Εξασφαλίζει πολύ καλά αποτελέσματα, αναμορφώνει ριζικά το χώρο εργασίας και αυξάνει το πεδίο των γνώσεων και των ικανοτήτων των εργαζομένων.

Θεμελιώδεις αρχές της TPM

Σήμερα, η TPM εκτός από τα κλασικά παραγωγικά τμήματα των επιχειρήσεων εφαρμόζεται και σε πολλά προ-παραγωγικά τμήματα και τμήματα ανάπτυξης προϊόντων, όπως και σε πολλές διοικητικές υπηρεσίες και υπηρεσίες πωλήσεων.
Για να ακολουθήσει αυτήν την τάση, το JTPM (Japan, Institute of Production Maintenance), εισήγαγε ένα νέο ορισμό της TPM κατά το 1989 με τα ακόλουθα στρατηγικά στοιχεία:

1) Δημιουργία ενός συνεργαζόμενου οργανισμού που θα μεγιστοποιήσει την αποτελεσματικότητα των παραγωγικών συστημάτων

2) Δημιουργία ενός οργανισμού που θα προλαμβάνει κάθε τύπο αστοχίας, εξασφαλίζοντας μηδενικά ατυχήματα, μηδενικά ελαττωματικά προϊόντα και μηδενικές βλάβες για όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος παραγωγής

3) Ανάμιξη όλων των τμημάτων στην εφαρμογή της TPM, συμπεριλαμβανομένων αυτών της ανάπτυξης, των πωλήσεων και της διοίκησης

4) Ανάμιξη όλων των μελών του οργανισμού, από το διευθυντή μέχρι τους εργάτες

5) Εφαρμογή πολιτικής μηδενικών αστοχιών

Η λέξη «Ολική» (Total) στην Ολική Παραγωγική Συντήρηση έχει τριπλή σημασία.
Ολική αποτελεσματικότητα, όπου καταδεικνύει την επιδίωξη της TPM για οικονομική αποδοτικότητα και κερδοφορία. Ολικό σύστημα συντήρησης, το οποίο περιλαμβάνει την πρόληψη της συντήρησης και την βελτίωση της συντηρησιμότητας ταυτόχρονα με την προληπτική συντήρηση. Ολική συμμετοχή όλων των εργαζομένων, που σημαίνει την αυτόνομη συντήρηση από τους χειριστές μέσω των μικροομαδικών δραστηριοτήτων.

Τα 12 βήματα ανάπτυξης της TPM

Η TPM συνήθως πραγματοποιείται σε τέσσερις φάσεις (προετοιμασία, εισαγωγή, εφαρμογή και σταθεροποίηση) οι οποίες μπορούν να διασπαστούν σε δώδεκα θεμελιώδη βήματα. Τα βήματα αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΒΗΜΑ	ΣΗΜΕΙΟ ΚΛΕΙΔΙ
Προετοιμασία	
1. Επίσημη ανακοίνωση της απόφασης για εισαγωγή της TPM	Ανακοίνωση της ανώτατης διοίκησης σε σύσκεψη της εταιρείας
2. Διεξαγωγή εισαγωγικής εκπαίδευσης στην TPM	Ανώτερη διοίκηση: Εκπαίδευση ομάδων για συγκεκριμένα επίπεδα διοίκησης Εργαζόμενοι: παρουσιάσεις
3. Δημιουργία ενός οργανισμού προώθησης της TPM	Οργανωτική επιτροπή και εξειδικευμένες υποεπιτροπές Γραφείο προώθησης της TPM
4. Καθιέρωση βασικής πολιτικής και στόχων της TPM	Προσδιορισμός βασικών επιπέδων και στόχων Πρόβλεψη επιδράσεων
5. Δημιουργία βασικού σχεδίου για την εφαρμογή της TPM	Από το στάδιο προετοιμασίας, στην αίτηση για το βραβείο TPM
Εισαγωγή	
6. Έναρξη TPM	Πρόσκληση πελατών, συνεργατών και υπεργολάβων
Εφαρμογή	
7. Δημιουργία ενός οργανισμού για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας	Επιδίωξη του απόλυτου στην αποτελεσματικότητα της της παραγωγής
i. Διεξαγωγή δραστηριοτήτων εστιασμένης βελτίωσης	Δραστηριότητες ομάδας έργου και μικροομαδικές δραστηριότητες στο χώρο εργασίας
ii. Εφαρμογή και καθιέρωση ενός προγράμματος αυτόνομης συντήρησης	Βήμα προς βήμα μετάβαση με ελέγχους και έγκριση σε κάθε στάδιο
iii. Εφαρμογή προγράμματος προγραμματισμένης συντήρησης	Επιδιορθωτική συντήρηση Συντήρηση διακοπής λειτουργίας Προβλεπτική συντήρηση
iv. Διεξαγωγή εκπαίδευσης ικανοτήτων χειρισμού και συντήρησης	Ομαδική εκπαίδευση για τους αρχηγούς των ομάδων όπου στη συνέχεια περνούν τη γνώση στα μέλη των ομάδων τους
8. Δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης νέου εξοπλισμού και προϊόντων	Ανάπτυξη προϊόντων και εξοπλισμού εύκολων στη χρήση
9. Δημιουργία ενός συστήματος διατήρησης ποιότητας	Καθιέρωση, διατήρηση και έλεγχος συνθηκών
10. Δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης	Βελτίωση στην υποστήριξη παραγωγής Βελτίωση λειτουργιών διοίκησης
11.Ανάπτυξη ενός συστήματος για τη διαχείριση της υγείας, της ασφάλειας και του περιβάλλοντος	Εξασφάλιση ενός περιβάλλοντος χωρίς ατυχήματα και μόλυνση
Σταθεροποίηση	Αίτηση για το βραβείο TPM
12. Υποστήριξη της πλήρους εφαρμογής της TPM και αύξηση επιπέδων εφαρμογής	Επιδίωξη ακόμα υψηλότερων στόχων

Πίνακας 1.Τα δώδεκα βήματα για την ανάπτυξη της TPM (Πηγή: Δήμου Δ. Θεόδωρος και Δελήπαλτας Ζιώβας Α. Σεραφείμ, 2016, *Εφαρμογή Πλέγματος Αποφάσεων Συντήρησης Decision Making Grid (DMG) Σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες (Ορυχείο Νοτίου Πεδίου),*Μη εκδοθείσα διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας)

Σημαντικά αποτελέσματα της TPM

Οι εταιρείες που εφαρμόζουν την TPM επιτυγχάνουν εντυπωσιακά αποτελέσματα, κυρίως όσον αφορά τη μείωση των βλαβών του εξοπλισμού, την ελαχιστοποίηση των διακοπών λειτουργίας, την ουσιαστική εξαφάνιση των ελαττωμάτων της ποιότητας, την ταχεία αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση του κόστους συντήρησης και απασχόλησης του εργατικού δυναμικού, τη συρρίκνωση των αποθηκών, την αποφυγή των ατυχημάτων και την ενθάρρυνση της ενεργούς ανάμιξης των εργαζομένων.

Παραδείγματα των αποτελεσμάτων αυτών όπως γενικά εμφανίζονται στην παγκόσμια βιβλιογραφία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία	**Παραδείγματα της αποτελεσματικότητας της TPM**
	Αύξηση της παραγωγικότητας του ανθρώπινου
	δυναμικού μέχρι 150%
	Αύξηση της προστιθέμενης αξίας ανά άτομο μέχρι 147%
Παραγωγικότητα P	Αύξηση βαθμού λειτουργίας: 17% (68%-85%)
	Μείωση βλαβών: 98%
Ποιότητα Q	Μείωση ατελειών στη μέθοδο: 90%
	Μείωση ατελειών στα προϊόντα: 70%
	Μείωση παραπόνων πελατών: 25% -50%
Κόστος C	Μείωση του ανθρώπινου δυναμικού: 30%
	Μείωση του κόστους συντήρησης: 15-30%
	Εξοικονόμηση ενέργειας: 30%
Παραδόσεις D	Μείωση του χρόνου διατήρησης των αποθεμάτων
	σε ημέρες: 50%
	Ανανέωση αποθέματος 200%
Ασφάλεια/Περιβάλλον	Μηδέν ατυχήματα
	Μηδενική μόλυνση
Ηθικό M	Αύξηση στις προτεινόμενες ιδέες βελτίωσης: 230%
	Αύξηση στις συναντήσεις των μικρών ομάδων: 200%

Πίνακας 2. Παραδείγματα της αποτελεσματικότητας της TPM (Πηγή: Δήμου Δ. Θεόδωρος και Δελήπαλτας Ζιώβας Α. Σεραφείμ, 2016, *Εφαρμογή Πλέγματος Αποφάσεων Συντήρησης Decision Making Grid (DMG) Σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες (Ορυχείο Νοτίου Πεδίου),* Μη εκδοθείσα διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας)

Βασικές δραστηριότητες της TPM

Οι οκτώ βασικές δραστηριότητες (βήματα εφαρμογής ή πυλώνες της TPM) είναι:
- Εστιασμένη Βελτίωση (Focused Improvement)
- Αυτόνομη Συντήρηση (Autonomous Maintenance)
- Προγραμματισμένη Συντήρηση (Planned Maintenance)

- Εκπαίδευση και Κατάρτιση (Education and Training)
- Διαχείριση Νέων Πόρων (Early Management)
- Διατήρηση Ποιότητας (Quality Maintenance)
- Δραστηριότητες Τμημάτων Διοίκησης και Υποστήριξης (Administrative and Support Department Activities)
- Ασφάλεια και Περιβαλλοντική Διαχείριση (Safety and Environmental Management)

Άλλες δραστηριότητες περιλαμβάνουν
- Διαγνωστική και Προβλεπτική Συντήρηση (Diagnostics and Predictive Maintenance)
- Διαχείριση Εξοπλισμού (Equipment Management)
- Ανάπτυξη Προϊόντων, σχεδιασμός και κατασκευή Εξοπλισμού (Product Development and Equipment Design and Construction)

Πολιτικές Στόχοι και Στρατηγικές Συντήρησης

- Τεχνικές που συνδέονται με την TPM: Συνολική Αποτελεσματικότητα Εξοπλισμού (Overall Equipment Effectiveness), Ανάλυση why-why.
- Πρωτοπόρος βιομηχανία: Αυτοκινητοβιομηχανία.

4. Αξιοπιστία

4.1 Βασικές Έννοιες

Πρώτού γίνει αναφορά στην θεωρία της αξιοπιστίας θα πρέπει να γίνει ανάλυση κάποιων όρων και εννοιών οι οποίες σχετίζονται άμεσα με αυτή. Τέτοιοι είναι η αστοχία, ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (Mean Time Between Failure-MTBF), ο μέσος χρόνος μέχρι την αστοχία (Mean Time Till Failure-MTTF), ο μέσος ρυθμός βλαβών σε συγκεκριμένη περίοδο λειτουργίας λ (Normal Failure Rate-NFR).

Όλα τα μηχανικά συστήματα, μηχανήματα και εξαρτήματα έχουν έναν ορισμένο ωφέλιμο χρόνο ζωής με αποτέλεσμα κάποτε να αστοχούν. Τα συστήματα αποτελούνται από επιμέρους εξαρτήματα κάθε ένα από τα οποία εκτελεί μια συγκεκριμένη εργασία. Εάν οποιοδήποτε εξάρτημα αστοχήσει τότε ολόκληρο το σύστημα μπορεί να αστοχήσει.

Αστοχία εντοπίζεται όταν ένα μηχάνημα ή εξάρτημα παύει να λειτουργεί μέσα στα απαιτούμενα επιτρεπτά όρια.

4.1.1 MTBF

Το MTBF είναι ένα βασικό μέτρο αξιοπιστίας του εξοπλισμού. Υπολογίζεται διαιρώντας τον συνολικό χρόνο λειτουργίας του εξοπλισμού με τον αριθμό των αστοχιών για κάποια χρονική περίοδο. Το MTBF αναφέρεται σε επισκευάσιμα συστήματα ή εξαρτήματα και κυρίως χρησιμοποιείται σε ομάδες όμοιων συσκευών, όπως οι αντλίες ενός διυλιστηρίου. Συνήθως εκφράζεται σε ώρες.

Το MTBF υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$MTBF = \frac{Operating\ time}{Number\ of\ failures}$$

4.1.2 MTTF

Ο μέσος χρόνος μέχρι τη βλάβη MTTF αποτελεί ένα στοιχειώδες μέτρο αξιοπιστίας για τα μη επισκευάσιμα εξαρτήματα. Είναι ουσιαστικά, ο μέσος χρόνος που αναμένεται μέχρι τη πρώτη αστοχία σε ένα κομμάτι του εξοπλισμού. Είναι ένα στατιστικό μέγεθος και προορίζεται να είναι ο μέσος όρος για μεγάλο χρονικό διάστημα και ένα μεγάλο αριθμό μονάδων.

Το MTTF υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$MTTF = \frac{Total\ hours\ of\ operation}{Total\ number\ of\ units}$$

4.1.3 Διαφορά μεταξύ MTBF-MTTF

Από τεχνικής πλευράς το MTBF πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για επισκευάσιμα στοιχεία, ενώ το MTTF θα πρέπει να χρησιμοποιείται για μη επισκευάσιμα στοιχεία. Παραταύτα, το MTBF χρησιμοποιείται σαν έννοια τόσο για επισκευάσιμα όσο και για μη επισκευάσιμα στοιχεία.

4.1.4 NFR

Το NFR, εκφράζεται συνήθως σαν ποσοστό βλαβών επί του συνολικού χρόνου των εν λειτουργία συσκευών (survivals) στη διάρκεια συγκεκριμένης περιόδου (failures per unit). Συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ.

Το NFR ή λ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\lambda = \frac{Number\ of\ failures}{Total\ operating\ time}$$

Όταν το λ είναι σταθερό, ισχύει:

$$\lambda = NFR = \frac{1}{MTBF}$$

4.2 Θεωρία της αξιοπιστίας

Η Συνάρτηση πυκνότητας-πιθανότητας αστοχίας-probability density function (pdf)

Οι αστοχίες ενός εξαρτήματος συμβαίνουν τυχαία στη διάρκεια της ζωής του, σύμφωνα με την κατανομή πιθανότητας. Έστω τυχαία μεταβλητή T, είναι η διάρκεια ζωής ενός εξαρτήματος που αρχίζει να λειτουργεί τη χρονική στιγμή t=0. Η T είναι συνεχής τυχαία μεταβλητή, καθώς μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή σε αυτό το φάσμα. Έτσι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αστοχίας f(t), δηλώνει την πιθανότητα αστοχίας σε κάθε χρονική στιγμή t σε όλο το εύρος του χρόνου. Η συνάρτηση πιθανότητας είναι η πιθανότητα αστοχίας ανά μονάδα χρόνου. Καθώς αυτή πολλαπλασιάζεται με το μήκος μικρού χρονικού διαστήματος Δt του χρόνου t, το γινόμενο είναι η πιθανότητα αστοχίας στο διάστημα αυτό. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της f(t), τόσο περισσότερες είναι οι αστοχίες που συμβαίνουν σε ένα μικρό χρονικό διάστημα γύρω από το t. Αν έχουμε ένα μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων που μπορούμε να ελέγξουμε με την πάροδο του χρόνου, τότε η πιθανότητα της αστοχίας σε κάθε μικρή χρονική διάρκεια Δt δίνεται απλά από τον τύπο:

$$F(t) = \frac{nf(\Delta t)}{n0(\Delta t)}$$

Όπου nf: ο αριθμός των αστοχιών σε ένα μικρό χρονικό διάστημα Δt

n0: ο αριθμός των εξαρτημάτων που ελέγχονται τη χρονική στιγμή t=0

Παρά το γεγονός ότι συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) χρησιμοποιείται σπάνια για τη μέτρηση της αξιοπιστίας, αποτελεί το βασικό εργαλείο από το οποίο απορρέουν οι υπόλοιπες σχέσεις.

4.2.1 Αθροιστική Συνάρτηση Αστοχίας

Συμβολίζεται με F(t) και είναι η πιθανότητα ένα προϊόν να αστοχήσει πριν από συγκεκριμένο χρόνο T Διάρκειας ζωής ενός εξαρτήματος.

Η πιθανότητα F(t) δίνεται από τον τύπο:

$$F(t) = \Pr(T \leq t) = \int_0^t f(t)dt$$

Για μεγάλο αριθμό στοιχείων όπως στατιστικά δεδομένα που ελέγχουμε με την πάροδο του χρόνου, τότε η πιθανότητα αστοχίας για το χρόνο T διαμορφώνεται ως εξής:

$$F(t) = \sum \big(\Delta t \times f(t)\big) = \frac{nf(t)}{n0}$$

όπου: nf=αριθμός βλαβών μέχρι τον χρόνο t

n0=αριθμός στοιχείων που ξεκίνησαν να ελέγχονται στο χρόνο μηδέν

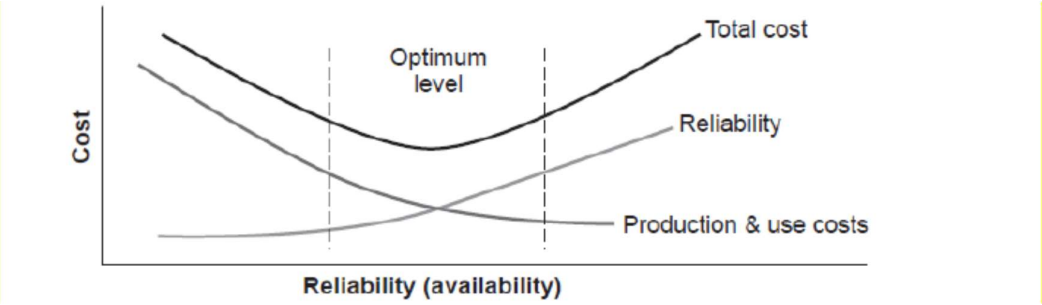
4.2.2 Η σημασία της αξιοπιστίας σε έναν οργανισμό

Η αξιοπιστία για έναν οργανισμό είναι πολύ σημαντική για την λειτουργία του για τους λόγους που αναλύονται παρακάτω:

Ικανοποίηση των πελατών: Αξιόπιστα προϊόντα, είναι σε θέση να ικανοποιούν τις ανάγκες των πελατών. Ένα αναξιόπιστο προϊόν θα μειώσει την ικανοποίηση του πελάτη από αυτό. Έτσι, η υψηλή αξιοπιστία αποτελεί κριτήριο για την ικανοποίηση των πελατών.

Φήμη: Η φήμη ενός οργανισμού σχετίζεται πολύ στενά με την αξιοπιστία του. Όσο πιο αξιόπιστα είναι τα προϊόντα του οργανισμού, τόσο πιθανότερο είναι να έχει μια καλή φήμη.

Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα: Πολλοί κορυφαίοι οργανισμοί έχουν αρχίσει να επιτυγχάνουν υψηλή αξιοπιστία των εγκαταστάσεων και των περιουσιακών τους στοιχείων. Η έμφαση αυτή που δίνουν στο προγράμματα βελτίωσης της αξιοπιστίας των εγκαταστάσεων έχει σαν αποτέλεσμα να έχουν πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών τους. Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο κάθε οργανισμός πρέπει να βρει το σωστό επίπεδο αξιοπιστίας που απαιτείται για να έχει το μικρότερο δυνατό συνολικό κόστος. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το κόστος παραγωγής ή κόστος χρήσης, το οποίο αποτελείται από τα κόστη λειτουργίας και χρήσης του εξοπλισμού, έναντι του κόστους της αξιοπιστίας ή του κόστους συντήρησης.



Εικόνα 4: Οικονομική συσχέτιση Αξιοπιστίας/Διαθεσιμότητας
(Πηγή:https://www.kau.edu.sa/Files/0057850/Subjects/mechanical%20fault%20diagnosis%20%20part%201.pdf)

4.2.3 Τα οφέλη από την εφαρμογή ενός συστήματος Αξιοπιστίας σε έναν οργανισμό

Η σωστή εφαρμογή ενός συστήματος αξιοπιστίας σε έναν οργανισμό τον βοηθά να:

- Αυξήσει την παραγωγή του, χρησιμοποιώντας σωστά τον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό
- Μειώσει την ανάγκη για αντικατάσταση εξοπλισμού
- Μειώσει το κόστος συντήρησης ανά μονάδα
- Μειώσει το συνολικό κόστος ανά μονάδα παραγωγής
- Βελτιώσει το κόστος απόδοσης, την παραγωγικότητα και την ασφάλεια

• Αυξήσει την ανταγωνιστικότητα
• Αυξήσει το μερίδιο αγοράς

4.3 Η έννοια της μηχανικής αξιοπιστίας

Μηχανική αξιοπιστία R(t) ορίζεται η πιθανότητα ένα μηχάνημα, εξάρτημα ή σύστημα να λειτουργεί εκτελώντας τη προδιαγεγραμμένη εργασία του για καθορισμένο χρονικό διάστημα και δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον.

Δίνεται από τον τύπο:

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - P(T < t), t \geq 0$$

Θεωρώντας δεδομένο, ότι η αξιοπιστία μπορεί να αποδοθεί με αριθμούς μόνο μέσω της πιθανότητας, η οποιαδήποτε προσπάθεια μέτρησης αυτής συνεπάγεται χρήση πιθανολογικών και στατιστικών μεθόδων. Επομένως, οι θεωρίες των πιθανοτήτων και της στατιστικής αποτελούν χρήσιμα μαθηματικά εργαλεία για την εφαρμοσμένη μηχανική αξιοπιστία.

4.3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μηχανική αξιοπιστία

Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα σύστημα τόσο περισσότερο επιρρεπές σε βλάβες είναι. Άρα, η λειτουργία του εξαρτάται όλο και περισσότερο από τη λειτουργία όλων των στοιχείων του. Ειδικότερα, σε συστήματα που εμπλέκεται ο ανθρώπινος παράγοντας, όπως τα συστήματα παραγωγής, οι πιθανότητες βλάβης από ανθρώπινο λάθος αυξάνονται και η συνολική αξιοπιστία μειώνεται. Ο ορισμός της αξιοπιστίας περιλαμβάνει ένα σύνολο μεταβλητών, οι οποίες είναι εξωτερικές ως προς το μηχάνημα του οποίου αναλύεται η αξιοπιστία. Για παράδειγμα, ίδια μηχανήματα ενδέχεται να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ρυθμών λειτουργίας όπως συχνά σταματήματα, ξεκινήματα ή συνεχή λειτουργία. Οι συνθήκες του περιβάλλοντος στις οποίες λειτουργεί ένα μηχάνημα, όπως η υπερβολική σκόνη, επηρεάζουν επίσης τη λειτουργία του. Επομένως, οι παραπάνω παράγοντες πρέπει να τίθενται υπό εξέταση όταν γίνεται μέτρηση της αξιοπιστίας.

Αν έχουμε ένα μεγάλο αριθμό στοιχείων που μπορούμε να ελέγξουμε με την πάροδο του χρόνου, τότε η αξιοπιστία των στοιχείων τη χρονική στιγμή T δίνεται απλά από τον παρακάτω τύπο:

$$R(t) = \frac{ns(t)}{n0}$$

Όπου: ns, ο αριθμός των διασωθέντων στοιχείων τη στιγμή T
$n0$, ο αριθμός των στοιχείων που ελέγχονται τη στιγμή t=0

Ρυθμός βλαβών σε μικρό χρονικό διάστημα Δt

Αν υπάρχει μεγάλος αριθμός στοιχείων για εξέταση, τότε ο ρυθμός βλαβών για συγκεκριμένο διάστημα Δt, είναι ο αριθμός των βλαβών στο συγκεκριμένο διάστημα δια των ωρών λειτουργίας των διασωθέντων (εξαρτημάτων που δεν αστόχησαν) στο

χρονικό διάστημα t. Την αμέσως επόμενη χρονική στιγμή, ο ρυθμός βλαβών μπορεί να αλλάξει και τα εξαρτήματα που ήδη αστόχησαν, πλέον δεν διαδραματίζουν ρόλο, εφόσον μόνο τα διασωθέντα εξαρτήματα μετρούν. Ο ρυθμός βλαβών για μικρό χρονικό διάστημα Δt δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\lambda(t) = \frac{nf(\Delta t)}{ns(t) * \Delta t}$$

Όπου: nf =ο αριθμός των αποτυχιών για ένα μικρό χρονικό διάστημα Δt
ns = ο αριθμός των διασωθέντων για τη χρονική στιγμή t

Στιγμιαίος ρυθμός βλαβών

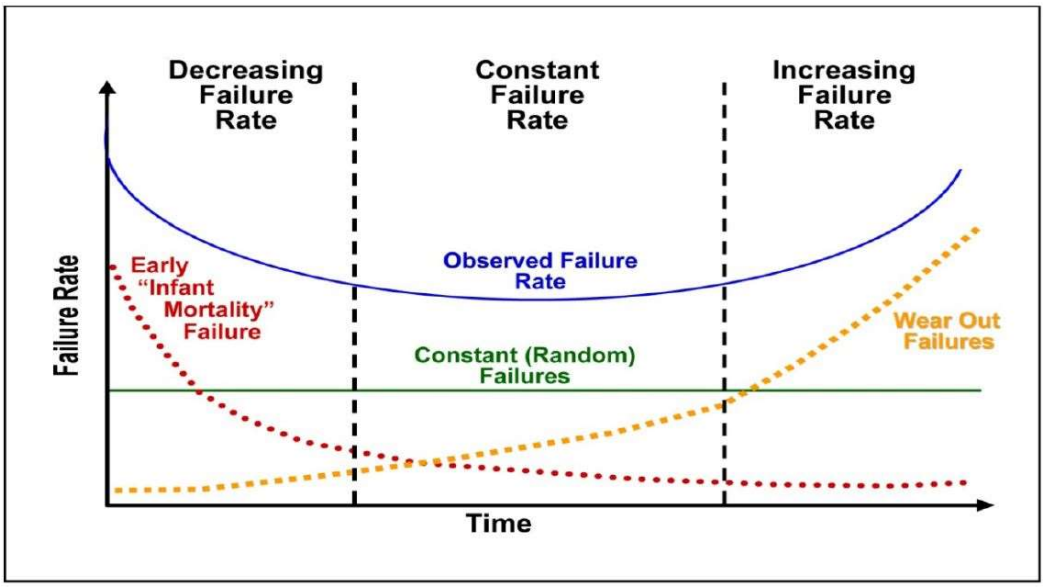
Από τον υπολογισμό του ρυθμού βλαβών για μικρότερα και μικρότερα χρονικά διαστήματα, το διάστημα γίνεται απείρως μικρό. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το στιγμιαίο ρυθμό αποτυχίας σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο.
Επομένως, ο στιγμιαίος ρυθμός βλαβών δίνεται από τους εξής παρακάτω τύπους:

$$\lambda(t) = h(t) = \lim_{\Delta\tau \to 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t * R(t)}$$

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

Η καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας (Bathtub Curve)

Η πιθανότητα αστοχίας (Failure Probability) ενός εξαρτήματος σε σχέση με το χρόνο ορίζεται ως F(t). Η γραφική αυτή απεικόνιση της F(t), ονομάζεται καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας (Bathtub Curve).

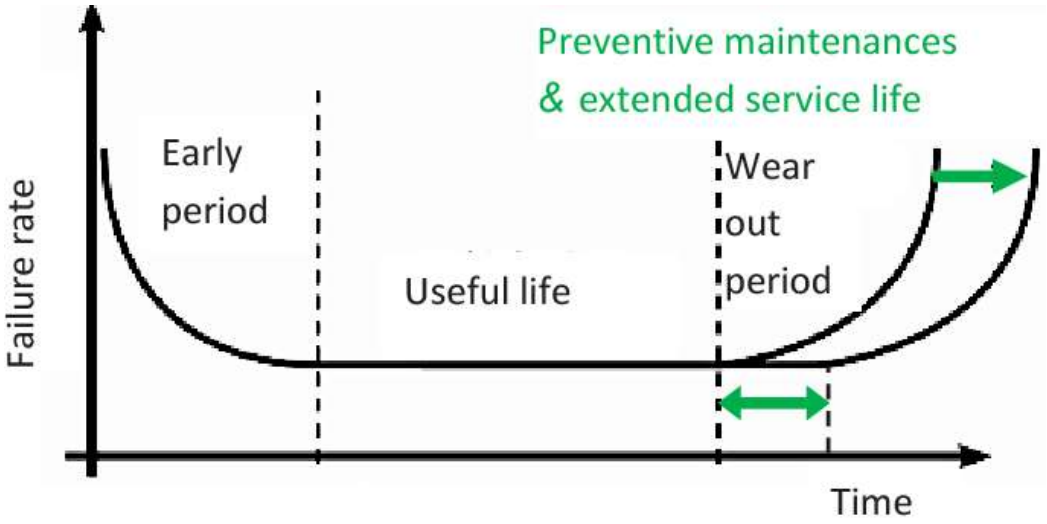


Εικόνα 5. Η καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας (Bathtub Curve)
(Πηγή: https://allthingsnuclear.org/dlochbaum/the-bathtub-curve-nuclear-safety-and-run-to-failure)

Κατά την βρεφική περίοδο (early life) ή περίοδο παιδικής θνησιμότητας (infant morality), ο εξοπλισμός εμφανίζει μεγάλη πιθανότητα για αστοχία, η οποία αργότερα μειώνεται απότομα με το πέρας του χρόνου. Η μεγάλη αυτή πιθανότητα αστοχίας σχετίζεται με τη διαδικασία της παραγωγής και κατασκευής και μπορεί να οφείλεται σε λανθασμένη σχεδίαση, κακή συναρμολόγηση, αστοχία υλικού ή ανθρώπινο λάθος κατά την παραγωγική διαδικασία. Κατά το μεσαίο διάστημα του διαγράμματος, το οποίο ονομάζεται ωφέλιμη περίοδος (useful life), η πιθανότητα αστοχίας είναι σταθερή και παραμένει σε χαμηλό επίπεδο. Στη περίοδο αυτή, η όποια αστοχία προκύψει οφείλεται σε τυχαίο γεγονός. Κατά την τελευταία περίοδο, την περίοδο φθοράς (wear-out life), η πιθανότητα αστοχίας του εξοπλισμού αυξάνεται εκθετικά σε σχέση με τον χρόνο και η όποια αστοχία αποδίδεται στη φυσιολογική φθορά των υλικών του εξοπλισμού.

Αύξηση του χρόνου λειτουργίας μηχανημάτων-Επιμήκυνση της Bathtub curve

Η Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας (Bathtub Curve) τροποποιείται σε περίπτωση εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης με τη συχνότητα που απαιτείται. Συγκεκριμένα η προσεκτική και σύμφωνα με τις προδιαγραφές χρήση του παραγωγικού εξοπλισμού σε συνδυασμό με προληπτικές ενέργειες συντήρησης, που εφαρμόζονται είτε περιοδικά είτε προβλεπτικά έχουν σαν αποτέλεσμα την επιμήκυνση της ωφέλιμης ζωής του εξοπλισμού.



Εικόνα 6. Επιμήκυνση της Bathtub curve
(Πηγή:https://www.researchgate.net/publication/308873277_Monitoring_of_critical_substation_equipment)

Ωστόσο δεν έχει πάντα θετικά αποτελέσματα στη Καμπύλη Πιθανότητας Αστοχίας. Πιο συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις όπου διενεργούνται σύνθετες και εκτεταμένες διαδικασίες συντήρησης, οι οποίες περιλαμβάνουν αποσυναρμολόγηση, επιδιόρθωση, αντικατάσταση και επανασυναρμολόγηση η κατάσταση του εξοπλισμού επανέρχεται στην βρεφική του περίοδο, όπου αιτίες πιθανής αστοχίας είναι η κακή συναρμολόγηση, ο παράγοντας ανθρώπινου λάθους κατά τη διαδικασία και η αστοχία ενός νέου υλικού, δεδομένου ότι έγινε αντικατάσταση παλαιού.

Επομένως, η αξιοπιστία μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά με:
1) Τη συνάρτηση αξιοπιστίας
2) Το μέσο χρόνο βλάβης
3) Το ρυθμό βλαβών

Ο πιο ακριβής και ενδεδειγμένος τρόπος ποσοτικοποίησης της αξιοπιστίας από τους παραπάνω είναι η συνάρτηση αξιοπιστίας.

Συσχέτιση του γενικού τύπου της αξιοπιστίας με τον ρυθμό βλαβών

Η σχέση μεταξύ της συνάρτησης αξιοπιστίας και του ρυθμού βλαβών δίνεται από τη παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^1 \lambda(t)\, dt\right) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

Η παραπάνω μαθηματική σχέση για λ=σταθερό παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$R(t) = e^{-t*\lambda}$$

Ή αλλιώς $R(t) = e^{-t/MTBF}$

Η παραπάνω σχέση αναφέρεται συχνά και σαν μοντέλο σταθερού ρυθμού βλαβών (constant failure rate model). Χρησιμοποιείται περισσότερο σε εφαρμογές αξιοπιστίας, καθώς έχει απλούστερη μαθηματική μορφή. Εφαρμόζεται συνήθως κατά την περίοδο της ωφέλιμης ζωής και το χρησιμοποιούν συχνά εταιρείες ανάπτυξης ηλεκτρονικών προϊόντων.

Τα διαγράμματα ροής για την αξιοπιστία

Πριν γίνει η όποια ανάλυση αξιοπιστίας για ένα σύστημα κρίνεται απαραίτητο να αποτυπωθεί το υπό εξέταση σύστημα με ένα διάγραμμα ροής. Για παράδειγμα, το διάγραμμα ροής μπορεί να απεικονίζει την κάθε μονάδα ενός εργοστασίου και εφόσον κρίνεται απαραίτητο να δημιουργούνται και υποκατηγορίες.

Κατηγορίες των Συστημάτων

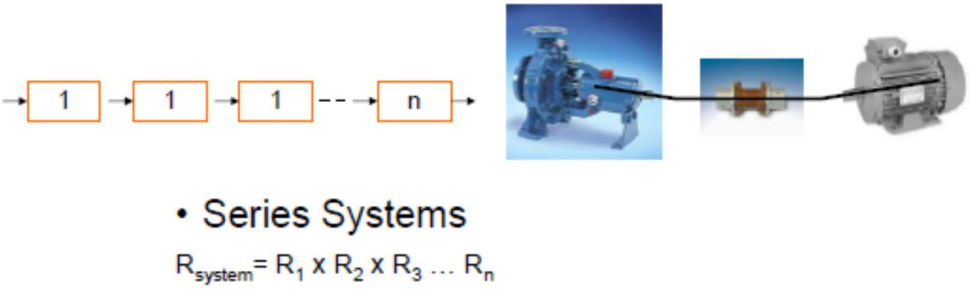
Όταν διάφορα στοιχεία συνεργάζονται μεταξύ τους για να επιτελέσουν μια εργασία, τότε αυτά αποτελούν ένα σύστημα. Τα συστήματα χωρίζονται σε κατηγορίες βάσει του τρόπου διάταξης τους. Αυτά είναι τα έξης: το σειριακό, το παράλληλο ή αλλιώς πλήρους εναλλαξιμότητας, το σύστημα υβριδικής διαμόρφωσης και το σύστημα μερικής εναλλαξιμότητας (M out of N). Εκείνα τα οποία βρίσκουν μεγαλύτερη εφαρμογή στη βιομηχανία είναι κατά κύριο λόγο το σειριακό, το παράλληλο ή σύστημα πλήρους εναλλαξιμότητας και το σύστημα μερικής εναλλαξιμότητας.

Ο υπολογισμός της αξιοπιστίας ενός συστήματος παράλληλης διάταξης εξαρτάται από το πώς είναι η διάταξη διαμορφωμένη για να λειτουργεί. Σε ένα σύστημα παράλληλης διάταξης, ένα και μόνο στοιχείο του μπορεί να επιτελέσει τη διαδικασία ολόκληρου του συστήματος. Το παραπάνω σύστημα υιοθετείται από τα συστήματα πτήσης των

αεροσκαφών της πολιτικής αεροπορίας. Τα αεροσκάφη έχουν πολλούς ανεξάρτητους τρόπους για να πετούν σε περίπτωση που κάποιο από τα συστήματά τους αστοχήσει. Η τελική αξιοπιστία ενός σειριακού συστήματος είναι πάντα μικρότερη από το λιγότερο αξιόπιστο στοιχείο του. Ενώ η τελική αξιοπιστία μιας παράλληλης διάταξης είναι πάντα υψηλότερη από εκείνη του πιο αξιόπιστου στοιχείου της.

Οι ιδιότητες της αξιοπιστίας ενός σειριακού συστήματος

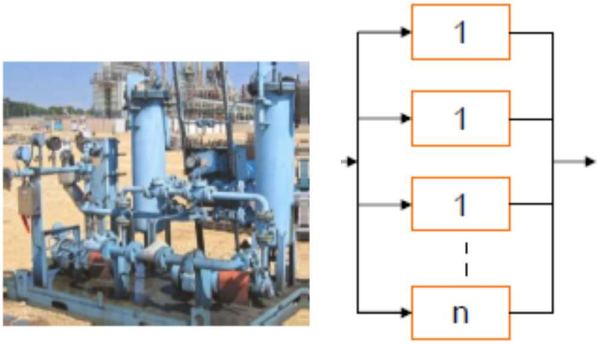
1) Η αξιοπιστία ενός συστήματος σειράς δεν μπορεί να είναι υψηλότερη από το λιγότερο αξιόπιστο συστατικό του.
2) Εάν «k» περισσότερα στοιχεία προστίθενται σε ένα σύστημα σειράς (πρόσθεση ενός επιπλέον σε ένα σύστημα των 2, το καθένα με R = 0,9) η πιθανότητα αστοχίας όλων των στοιχείων του πρέπει να μειωθεί κατά ίδιο ποσοστό για να διατηρηθεί η αρχική αξιοπιστία συστήματος.
(0,9 χ 0,9 = 0,93 χ 0,93 χ 0,93 = 0,81)
3) Μικρή αύξηση της αξιοπιστίας όλων των στοιχείων (ας πούμε R από τα τρία είδη αυξάνεται από 0,93 σε 0,95, 2,2% βελτίωση) προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση αξιοπιστίας συστήματος (από 0,81 έως 0,86, 5%).



Εικόνα 7. Σειριακό σύστημα (Πηγή: https://studfile.net/preview/5376938/)

Οι ιδιότητες της αξιοπιστίας ενός παράλληλου συστήματος

1) Όσο περισσότερα στοιχεία σε ένα σύστημα είναι σε παράλληλη διάταξη, τόσο μεγαλύτερη είναι η συνολική αξιοπιστία του συστήματος.
2) Η συνολική αξιοπιστία ενός παράλληλου συστήματος είναι μεγαλύτερη από την αξιοπιστία από το στοιχείο του που έχει τη μεγαλύτερη αξιοπιστία.

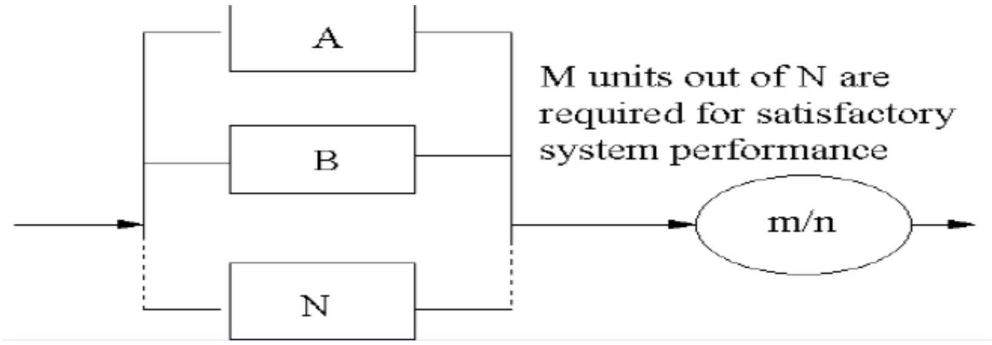


$$R_{system} = 1-[(1- R_1)x(1- R_2)x \ldots(1-R_n)]$$

Εικόνα 8. Παράλληλο σύστημα (Πηγή: https://studfile.net/preview/5376938/)

Το σύστημα μερικής εναλλαξιμότητας (M out of N)

Στο σύστημα αυτό οι μονάδες που το απαρτίζουν, μοιράζονται τη λειτουργία του συστήματος. Το τελευταίο μπορεί να διατηρηθεί σε ικανοποιητικό επίπεδο λειτουργίας αν μια ή περισσότερες μονάδες του αστοχήσουν.



Εικόνα 9. Σύστημα μερικής εναλλαξιμότητας (Πηγή: https://wrapperband.github.io/Open-Condition-Monitoring/MaintenanceTechniquesAnalysis/)

5. Βλάβες

5.1 Αποτελέσματα της βλάβης

Όταν ένα μηχάνημα σταματήσει να λειτουργεί, τότε η κατάσταση αυτή του μηχανήματος ονομάζεται βλάβη.

Η βλάβη που προκύπτει στον εξοπλισμό επιφέρει εκτεταμένα αποτελέσματα σε πολλές πτυχές του εκάστοτε οργανισμού. Έτσι, μια βλάβη επιφέρει αποτελέσματα στην ομαλή λειτουργία του οργανισμού, στη φήμη του, στην αποδοτικότητα του και στην ασφάλεια του προσωπικού, καθώς από έναν τραυματισμό εργαζομένου είναι πιθανό να προκύψουν αυξημένα ασφάλιστρα και αποζημιώσεις. Επιπλέον, είναι πιθανό να προκύψουν καθυστερήσεις στις παραγγελίες των πελατών, ανεπιθύμητες αλλαγές στην ποιότητα του προϊόντος αλλά και στο ηθικό των υπαλλήλων.

5.2 Αιτίες της βλάβης

Οι κυριότερες αιτίες βλάβης είναι οι εξής:

1) Η μη διατήρηση στοιχειωδών περιοδικών απαιτήσεων συντήρησης

2) Η μη διατήρηση σωστών συνθηκών λειτουργίας

3) Κακή εκπαίδευση του χειριστή

4) Έλλειψη εμπειρίας/προσοχής από τον υπεύθυνο χειριστή

5) Φυσιολογική φθορά εξαρτημάτων (έδρανα, τροχοί, λαμπτήρες)

6) Αρχική σχεδιαστική ατέλεια του μηχανήματος, λάθος τοποθέτησης και αστοχία υλικού

Αναλυτικότερα, η μη διατήρηση στοιχειωδών περιοδικών απαιτήσεων συντήρησης σχετίζεται με ανεπαρκή λίπανση σε εξαρτήματα της μηχανής που το απαιτούν, με ανεπαρκή καθαρισμό σε περιστρεφόμενα μέρη της μηχανής αλλά και των αισθητήρων της καθώς και με ξένα αντικείμενα που μπορεί να έχουν βρεθεί ή αφεθεί στη μηχανή από ανθρώπινο λάθος.

Η μη διατήρηση σωστών συνθηκών λειτουργίας αφορά την θερμοκρασία λειτουργίας, τα δυσανάλογα φορτία, τις ταχύτητες, τις δυνάμεις, τις ροπές, τις πιέσεις και τις ταλαντώσεις του κάθε μηχανήματος που πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται.

Σημαντικό ρόλο στην αποφυγή των βλαβών διαδραματίζει και η κατάλληλη εκπαίδευση του χειριστή. Όταν μία επιχείρηση επενδύει σε πάγιο εξοπλισμό, ζητά από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού εκπαίδευση τόσο των χειριστών αλλά και των συντηρητών της. Μετά το πέρας αυτών των εκπαιδεύσεων, θα πρέπει να παρέχεται και το αντίστοιχο πιστοποιητικό εκπαίδευσης στον κάθε συμμετέχοντα. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι σε πολλές συμβάσεις όπου οι εργασίες συντήρησης και οι υπηρεσίες χειρισμού μηχανημάτων ανατίθενται σε εξωτερικό συνεργάτη είναι απαραίτητο να υπάρχουν πιστοποιητικά εκπαίδευσης και πιστοποιήσεις. Επίσης, μπορεί να προκύπτουν νομικά θέματα αδειών χειρισμού όπως για παράδειγμα σε μεγάλους γερανούς ή εργοταξιακά μηχανήματα.

Η φυσιολογική φθορά εξαρτημάτων έχει να κάνει με την καταπόνηση που υφίσταται ένας μηχανισμός κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Ένα τέτοιο παράδειγμα φυσιολογικής φθοράς εξαρτήματος είναι και του μπεκ ενός καυστήρα πετρελαίου. Έτσι στη συντήρηση ενός καυστήρα καλοριφέρ που γίνεται σε ετήσια βάση είναι προτιμότερο το μπεκ να αντικαθίσταται παρά να γίνεται καθαρισμός του. Αυτό συμβαίνει διότι το κόστος του μπέκ είναι ελάχιστο αλλά και επειδή η όποια ανθρώπινη παρέμβαση για καθαρισμό του μπέκ μπορεί να επιφέρει την καταστροφή του.

Σχετικά με τις αρχικές σχεδιαστικές ατέλειες ενός μηχανήματος, όταν ένα μηχάνημα σχεδιάζεται, για παράδειγμα ένας άξονας περιστροφής που εδράζεται σε δυο τριβείς ολισθήσεως θα πρέπει να τηρούνται οι σχεδιαστικές ανοχές κατά τη λειτουργία του. Εάν τα συνεργαζόμενα τμήματα μετακινηθούν και παραμορφωθούν το κενό εξαφανίζεται και τα τμήματα θα τρίβονται μεταξύ τους.

5.3 Η πρόβλεψη της βλάβης

Η Προβλεπτική συντήρηση προσπαθεί να ανιχνεύσει την έναρξη ενός μηχανισμού υποβάθμισης με στόχο τη διόρθωση αυτής της υποβάθμισης πριν από σημαντική επιδείνωση του εξαρτήματος ή του εξοπλισμού.

Τα τελευταία χρόνια με την πρόοδο που σημειώθηκε στην τεχνολογία των αισθητήρων, οι διαγνωστικές ικανότητες των τεχνολογιών Προβλεπτικής συντήρησης αυξήθηκαν. Οι εξελίξεις αυτές, οι καινοτομίες στις ευαισθησίες των εξαρτημάτων, η μείωση του

μεγέθους και του κόστους έχουν ανοίξει έναν εντελώς νέο ορίζοντα στον τομέα της πρόβλεψης των βλαβών.

Όπως συμβαίνει και με την εισαγωγή οποιασδήποτε νέας τεχνολογίας, η σωστή εφαρμογή και η εκπαίδευση είναι κρίσιμης σημασίας. Η ανάγκη αυτή παρατηρείται ιδιαίτερα στον τομέα της Προβλεπτικής συντήρησης. Οι περισσότεροι εμπειρογνώμονες της βιομηχανίας θα συμφωνούσαν καθώς και οι πιο αξιόπιστοι πωλητές εξοπλισμού ότι ένας εξοπλισμός δεν πρέπει να αγοραστεί για εσωτερική χρήση, εάν δεν υπάρχει σοβαρή δέσμευση για σωστή εφαρμογή, εκπαίδευση χειριστή και συντήρηση εξοπλισμού. Εάν μια επιχείρηση δεν μπορεί να δεσμευθεί για τα παραπάνω, συνιστάται η υιοθέτηση μιας άλλης μεθόδου πρόβλεψης βλαβών. Μια προτιμότερη επιλογή μπορεί να είναι η σύναψη συμβάσεων για αυτές τις υπηρεσίες με έναν εξωτερικό συνεργάτη (outsourcing).

5.3.1 Θερμογραφία

Η θερμογραφία υπέρυθρων (IR) μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία δημιουργίας εικόνων που αντιπροσωπεύουν αλλαγές στην υπέρυθρη ακτινοβολία των επιφανειών αντικειμένων. Αντικείμενα διαφορετικών υλικών και χρωμάτων απορροφούν και αντανακλούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο φάσμα ορατού φωτός (0,4 έως 0,7 microns), οποιοδήποτε αντικείμενο σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το απόλυτο μηδέν εκπέμπει υπέρυθρη ενέργεια (ακτινοβολία) ανάλογη με την υπάρχουσα θερμοκρασία. Το φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας υφίσταται μεταξύ 2 και 15 microns. Χρησιμοποιώντας ένα όργανο που περιέχει ανιχνευτές ευαίσθητους στην υπεριώδη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μπορεί να δημιουργηθεί μια δισδιάστατη οπτική εικόνα που αντανακλά την ακτινοβολία υπέρυθρων από την επιφάνεια ενός αντικειμένου. Παρόλο που οι ανιχνευτές και τα ηλεκτρονικά είναι διαφορετικά, η ίδια η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιεί μια βιντεοκάμερα για να ανιχνεύσει μια σκηνή που αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στο φάσμα του ορατού φωτός, ερμηνεύοντας αυτές τις πληροφορίες και εμφανίζοντας αυτό που ανιχνεύει σε μια οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) που μπορεί να προβληθεί από τον χειριστή της συσκευής.

Επειδή η υπεριώδης ακτινοβολία πέφτει εκτός του ορατού φωτός (το φάσμα ακτινοβολίας στο οποίο είναι ευαίσθητα τα μάτια), είναι αόρατη με γυμνό μάτι. Μια υπέρυθρη κάμερα ή παρόμοια συσκευή μας επιτρέπει να ξεφύγουμε από το φάσμα του ορατού φωτός και να βλέπουμε ένα αντικείμενο με βάση τη θερμοκρασία του και την ανάλογη εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας. Όπως όλες οι τεχνολογίες Προβλεπτικής συντήρησης, η τεχνολογία υπέρυθρων προσπαθεί να ανιχνεύσει την παρουσία συνθηκών ή στρεσογόνων παραγόντων που ενεργούν για τη μείωση της ωφέλιμης ή σχεδιαστικής ζωής ενός εξαρτήματος. Πολλές από αυτές τις συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα αλλαγές στη θερμοκρασία ενός εξαρτήματος. Για παράδειγμα, μια χαλαρή ή διαβρωμένη καλωδίωση έχει ως αποτέλεσμα ασυνήθιστα αυξημένες θερμοκρασίες σύνδεσης λόγω αυξημένης ηλεκτρικής αντίστασης. Πρωτού η καλωδίωση να είναι αρκετά ζεστή για να οδηγήσει σε βλάβη του εξοπλισμού ή πιθανή πυρκαγιά, η κατάσταση αυτή εντοπίζεται από την κάμερα υπέρυθρων και διορθώνεται. Τα προβλήματα που παρουσιάζουν περιστρεφόμενοι μηχανισμοί έχουν σαν αποτέλεσμα αυξημένη τριβή στη συγκεκριμένη περιοχή και συνεπώς αύξηση της θερμοκρασίας. Η

απώλεια του μονωτικού υλικού μιας στέγης έχει σαν αποτέλεσμα την υγρασία που μπορεί εύκολα να εντοπιστεί σαν διαφορά στο θερμικό προφίλ της στέγης.

5.3.2 Οι διάφοροι τύποι του εξοπλισμού

Υπάρχουν πολλοί τύποι συσκευών ανίχνευσης υπέρυθρων, οι οποίοι διαφέρουν ως προς την ικανότητα, το σχεδιασμό και το κόστος. Επιπλέον, κατασκευάζονται επίσης απλές συσκευές μέτρησης θερμοκρασίας που ανιχνεύουν εκπομπές υπέρυθρων αλλά δεν παρέχουν οπτική εικόνα ή προφίλ υπέρυθρων.

Spot Radiometer (Θερμόμετρο Υπέρυθρων) – Αυτές οι συσκευές δεν παρέχουν καμία εικόνα αντιπροσωπευτική του θερμικού προφίλ ενός αντικειμένου, αλλά μια τιμή αντιπροσωπευτική της θερμοκρασίας του αντικειμένου ή της περιοχής ενδιαφέροντος.

Εικόνα 10 . Θερμόμετρο Υπέρυθρων
(Πηγή:
https://www.befashion.gr/index.php?route=product/product&product_id=6450&gclid=CjwKCAjw-5v7BRAmEiwAJ3DpuFKdacUugENWpKeNPl1Bwtl6acTGtZvMMYdrg1h42XdtaNneExlG0xoC0SUQAvD_BwE)

Infrared Imager - Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι δυνατότητες του εξοπλισμού, ο σχεδιασμός, το κόστος και η λειτουργικότητα διαφέρουν. Οι συσκευές ανίχνευσης υπέρυθρων μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες, σε συσκευές λήψης εικόνων και σε κάμερες με ραδιομετρική ικανότητα. Μια απλή συσκευή λήψης υπέρυθρης εικόνας έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει τις εκπομπές υπέρυθρης ακτινοβολίας ενός αντικειμένου και να μεταφράζει αυτές τις πληροφορίες σε μια οπτική εικόνα. Δεν έχει τη δυνατότητα να αναλύει και να ποσοτικοποιεί συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας. Αυτός ο τύπος συσκευής ανίχνευσης υπέρυθρων μπορεί να είναι χρήσιμος όταν οι τιμές θερμοκρασίας είναι ασήμαντες και το προφίλ θερμοκρασίας του αντικειμένου (που αντιπροσωπεύεται από την εικόνα) είναι το μόνο που απαιτείται για τον καθορισμό ενός προβλήματος.

Εικόνα 11. Infrared Imager (Πηγή: https://www.alibaba.com/product-detail/HSETIN-Thermograph-camera-sell-hot-Infrared_62016678171.html)

Μια τέτοια εφαρμογή απαιτεί απλώς μια εικόνα αντιπροσωπευτική των διαφορών στο θερμικό προφίλ λόγω της απουσίας επαρκούς μόνωσης. Οι ακριβείς τιμές θερμοκρασίας είναι ασήμαντες.

Οι υπέρυθρες κάμερες με πλήρη ραδιομετρική ικανότητα ανιχνεύουν τις εκπομπές υπέρυθρων από ένα αντικείμενο ή οπτικό πεδίο της κάμερας και μεταφράζουν αυτές τις πληροφορίες σε ορατή μορφή όπως στην περίπτωση ενός απεικονιστή. Επιπλέον, αυτές οι συσκευές έχουν τη δυνατότητα να αναλύουν την εικόνα και να παρέχουν τιμή θερμοκρασίας για την περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτή η ικανότητα είναι χρήσιμη σε εφαρμογές όπου μια τιμή θερμοκρασίας είναι σημαντική για τον καθορισμό ενός προβλήματος ή κατάστασης. Για παράδειγμα, εάν μια εικόνα υποδεικνύει μια διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του περιβλήματος του ρουλεμάν και του περιβλήματος του κινητήρα, θα ήταν σημαντικό στον προσδιορισμό του προβλήματος να γνωρίζουμε την κατά προσέγγιση διαφορά θερμοκρασίας. Αυτός ο εξοπλισμός και το υποστηρικτικό λογισμικό μπορούν να ποσοτικοποιήσουν τις θερμοκρασίες.

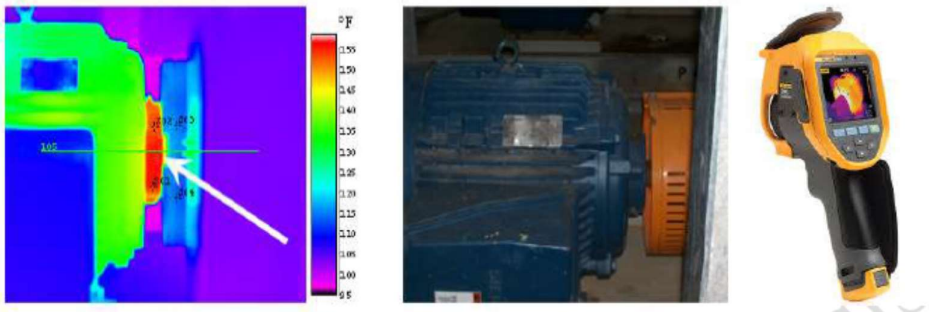
5.3.3 Εφαρμογή της θερμογραφίας σε ηλεκτρικά συστήματα

Η πρωταρχική σημασία των θερμογραφικών επιθεωρήσεων των ηλεκτρικών συστημάτων είναι ο εντοπισμός προβλημάτων έτσι ώστε να μπορούν να διαγνωστούν και να επισκευαστούν. Μόλις εντοπιστεί το πρόβλημα, η θερμογραφία και άλλες μέθοδοι, καθώς και η εμπειρία και η κοινή λογική, χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση της φύσης του προβλήματος. Παρακάτω, παρουσιάζονται περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται θερμογραφία σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό:

1) Υποσταθμούς

2) Μετασχηματιστές

3) Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 12 . Θερμογραφία σε κινητήρα (Πηγή: https://www.kau.edu.sa/Files/0057850/Subjects/mechanical%20fault%20diagnosis%20%20part%201.pdf)

5.3.4 Εφαρμογή της θερμογραφίας σε μηχανολογικά συστήματα

Ο περιστρεφόμενος εξοπλισμός είναι μόνο ένα μικρό υποσύνολο των πιθανών περιοχών όπου η θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πρόγραμμα Προβλεπτικής συντήρησης. Εκτός από την ικανότητα εντοπισμού προβλημάτων που σχετίζονται με αστοχία ρουλεμάν, ευθυγράμμιση, ισορροπία και χαλαρότητα, η θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό πολλών θερμοκρασιακών προφίλ, έτσι ώστε να διαγνωσθεί βλάβη. Παρακάτω, παρουσιάζονται περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται θερμογραφία σε μηχανολογικό εξοπλισμό:

1) Κινητήρες

2) Σωλήνες

3) Βαλβίδες

5.3.5 Ανάλυση λαδιών

Μια από τις παλαιότερες πρακτικές της Προβλεπτικής συντήρησης και που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα είναι η ανάλυση λαδιού. Η ανάλυση λαδιού χρησιμοποιείται για τον καθορισμό τριών βασικών συνθηκών της μηχανής που σχετίζονται με τη λίπανση του μηχανήματος. Αυτές είναι η κατάσταση του λαδιού, η κατάσταση του συστήματος λίπανσης και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το μηχάνημα. Όσον αφορά την κατάσταση του λαδιού, διενεργούνται έλεγχοι για τον καθορισμό του ιξώδους, της οξύτητας του λαδιού καθώς και άλλες χημικές αναλύσεις που στοχεύουν στην ποσοτικοποίηση της κατάστασης των πρόσθετων του λαδιού, όπως είναι οι αναστολείς διάβρωσης. Έπειτα εξετάζεται η κατάσταση του συστήματος λίπανσης για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει επιμόλυνση με νερό ή άλλα υλικά. Με τον τρόπο αυτό διαπιστώνεται η ακεραιότητα του λαδιού. Τέλος, αναλύεται η φθορά των σωματιδίων που βρίσκονται μέσα στο λάδι έτσι ώστε να προσδιοριστεί και η φθορά της μηχανής.

Η ανάλυση λαδιού αποτελεί και μια ένδειξη κακής συντήρησης ή κακών πρακτικών λειτουργίας. Η επιμόλυνση κατά την αλλαγή λιπαντικού, ο κακός καθαρισμός του

συστήματος μετά από επισκευές, η προσθήκη ακατάλληλου λιπαντικού και η ακατάλληλη λειτουργία του εξοπλισμού είναι όλες οι συνθήκες που τίθενται υπό αξιολόγηση κατά τη διεργασία ανάλυσης λαδιού.

Πολλές εταιρείες παρέχουν υπηρεσίες ανάλυσης λαδιού. Αυτές οι υπηρεσίες είναι σχετικά φθηνές και ορισμένα εργαστήρια ανάλυσης μπορούν να παρέχουν αποτελέσματα ανάλυσης εντός 24 ωρών. Ορισμένες υπηρεσίες χρησιμοποιούν επί του παρόντος το Διαδίκτυο για να παρέχουν γρήγορη και εύκολη πρόσβαση στις αναφορές ανάλυσης. Ο εξοπλισμός ανάλυσης είναι επίσης διαθέσιμος εάν μια εγκατάσταση επιθυμεί να ιδρύσει το δικό της εργαστήριο ανάλυσης λαδιών. Ανεξάρτητα από το αν η ανάλυση πραγματοποιείται από ανεξάρτητο εργαστήριο ή την ίδια την εταιρεία, τα ακριβή αποτελέσματα απαιτούν κατάλληλες τεχνικές δειγματοληψίας. Τα δείγματα πρέπει να λαμβάνονται από μια ενεργή γραμμή χαμηλής πίεσης, μπροστά από οποιαδήποτε συσκευή φιλτραρίσματος. Για συνεπή αποτελέσματα, τα δείγματα πρέπει να λαμβάνονται από το ίδιο μέρος στο σύστημα κάθε φορά (συνιστάται η χρήση μόνιμα εγκατεστημένης βαλβίδας δείγματος). Τα περισσότερα ανεξάρτητα εργαστήρια παρέχουν δείγματα δοχείων, ετικετών και χαρτοκιβωτίων. Εάν η ανάλυση λαδιού πρέπει να γίνει από εργαστήριο, το μόνο που απαιτείται είναι να γίνει λήψη δείγματος, να συμπληρωθεί ο αριθμός του μηχανήματος, ο τύπος του μηχανήματος και η ημερομηνία του δείγματος και να αποσταλεί στο εργαστήριο. Εάν η ανάλυση πρόκειται να πραγματοποιηθεί επιτόπου, πρέπει να αγοραστεί, να εγκατασταθεί και να τυποποιηθεί ο εξοπλισμός ανάλυσης.

Οι πιο συνηθισμένοι έλεγχοι για την ανάλυση λαδιού χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί η κατάσταση του λιπαντικού. Η κατάσταση λαδιού προσδιορίζεται ευκολότερα μετρώντας το ιξώδες, τον αριθμό οξέος και τον αριθμό βάσης. Πρόσθετες δοκιμές μπορούν να προσδιορίσουν την παρουσία και την αποτελεσματικότητα των προσθέτων λαδιού όπως τα πρόσθετα κατά της φθοράς, τα αντιοξειδωτικά, οι αναστολείς της διάβρωσης και οι παράγοντες κατά του αφρού. Η φθορά των συστατικών μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας την ποσότητα των μετάλλων φθοράς όπως είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το χρώμιο, το αλουμίνιο, ο μόλυβδος, ο κασσίτερος και το νικέλιο. Αυξήσεις σε συγκεκριμένα μέταλλα φθοράς μπορεί να σημαίνει ότι ένα συγκεκριμένο τμήμα σε ένα συγκεκριμένο μέρος του μηχανήματος έχει υποστεί φθορά. Η μόλυνση προσδιορίζεται μετρώντας την περιεκτικότητα σε νερό, το ειδικό βάρος και το επίπεδο του πυριτίου. Συχνά, οι αλλαγές στο ειδικό βάρος σημαίνουν ότι το υγρό ή το λιπαντικό έχει μολυνθεί με άλλο τύπο λαδιού ή καυσίμου. Η παρουσία πυριτίου (συνήθως από άμμο) αποτελεί ένδειξη μόλυνσης από βρωμιά.

5.3.5.1 Οι διάφοροι τύποι ελέγχων

Έλεγχος νερού Karl Fischer: Ο έλεγχος νερού Karl Fischer ποσοτικοποιεί το νερό που βρίσκεται μέσα στο λιπαντικό. Το νερό καταστρέφει τις λιπαντικές ιδιότητες του λαδιού και συμβάλλει στη διάβρωση του εξοπλισμού. Αυξημένες συγκεντρώσεις νερού καταδεικνύουν ενδεχόμενη συμπύκνωση και διαρροές ψυκτικού.

Φασματοσκοπία ICP: Μετρά την συγκέντρωση ρινισμάτων και άλλων υπολειμμάτων μετάλλων στο λιπαντικό. Μετρά και ποσοτικοποιεί τα στοιχεία αυτά που σχετίζονται

με φθορά, επιμόλυνση και πρόσθετα. Οι πληροφορίες από αυτή τη μέθοδο συμβάλλουν στην αντίληψη της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το έλαιο και ο εξοπλισμός.

Αριθμός Σωματιδίων: Μετρά το μέγεθος και την ποσότητα των σωματιδίων μέσα σε ένα λιπαντικό. Συμβάλλει στη σωστή αντίληψη της καθαρότητας και της απόδοσης του λαδιού.

Έλεγχος Ιξώδους: Μετρά την αντίσταση του λιπαντικού όταν ρέει υπό συγκεκριμένη θερμοκρασία καθώς το ιξώδες αποτελεί τη σημαντικότερη ιδιότητα ενός ελαίου. Ο προσδιορισμός του ιξώδους παρέχει έναν συγκεκριμένο αριθμό για σύγκριση με το συνιστώμενο λάδι σε λειτουργία. Ένα μη φυσιολογικό ιξώδες (± 15%) είναι συνήθως ενδεικτικό ενός προβλήματος.

FT-IR Φασματοσκοπία: Μετρά τη χημική σύσταση ενός λιπαντικού. Η μοριακή ανάλυση των λιπαντικών και των υδραυλικών μέσω της Φασματοσκοπίας FT-IR παρέχει πληροφορίες σε σχέση με τα πρόσθετα και την εξωτερική επιμόλυνση.

Συνολικός αριθμός οξέος: Μετρά την οξύτητα ενός λιπαντικού. Τα οργανικά οξέα, ένα υποπροϊόν της οξείδωσης του ελαίου, υποβαθμίζουν τις ιδιότητες του λαδιού και οδηγούν στη διάβρωση των εσωτερικών εξαρτημάτων ενός μηχανισμού. Για υψηλά επίπεδα οξέος ευθύνεται η οξείδωση του ελαίου.

Οι διάφοροι τύποι εξοπλισμού

Αν και συνήθως τα ανεξάρτητα εργαστήρια παρέχουν αναλύσεις ελαίων, ορισμένοι προμηθευτές παρέχουν τον απαιτούμενο εξοπλισμό για ανάλυση. Οι συσκευές αυτές συνήθως αποτελούνται από διάφορους τύπους δοκιμαστικού εξοπλισμού όπως είναι τα ιξωδόμετρα, τα φασματόμετρα, οι αναλυτές λαδιών, οι μετρητές σωματιδίων και τα μικροσκόπια.

Εφαρμογή σε συστήματα:

1) Τουρμπίνες

2) Αντλίες τροφοδοσίας λέβητα

3) Ηλεκτροϋδραυλικά συστήματα ελέγχου

4) Υδραυλικά συστήματα

5) Κιβώτια ταχυτήτων

6) Ρουλεμάν

5.3.6 Ανάλυση δονήσεων

Διάφορα μέρη ενός μηχανήματος περιστρέφονται και κάθε ένα από αυτά τα μέρη παράγει τη δική του δόνηση. Το επίπεδο και η συχνότητα αυτών των δονήσεων είναι διαφορετικά και η ανθρώπινη αφή δεν είναι αρκετά ευαίσθητη για να διακρίνει αυτές τις διαφορές. Έτσι, χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες για τον ποσοτικό προσδιορισμό του μεγέθους των κραδασμών προκειμένου να γίνει αντιληπτό εάν το μηχάνημα

λειτουργεί ομαλά. Δηλαδή, το ζητούμενο είναι το πλάτος δόνησης. Αυτό το μέγεθός των κραδασμών εκφράζεται ως:

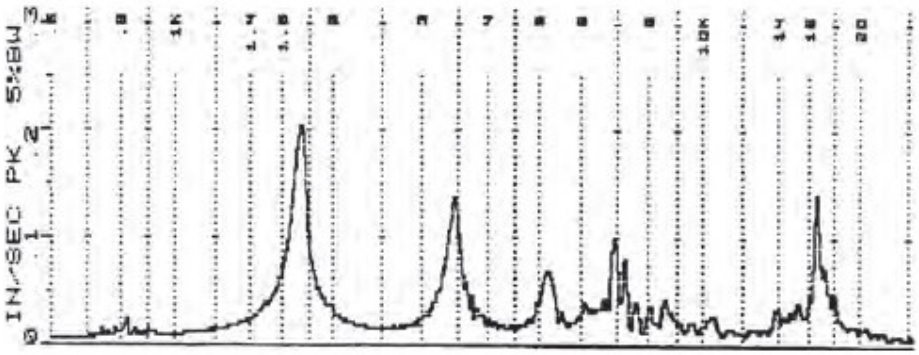
Μετατόπιση - Δηλαδή, η συνολική απόσταση που διανύθηκε από το μέρος που δονείται από το ένα ακραίο όριο διαδρομής στο άλλο ακραίο όριο διαδρομής. Αυτή η απόσταση ονομάζεται επίσης «μετατόπιση από κορυφή σε κορυφή».

Ταχύτητα - Μια μέτρηση της ταχύτητας με την οποία ένα μηχάνημα ή ένα εξάρτημα της μηχανής κινείται καθώς υφίσταται κίνηση ταλαντώσεων.

Επιτάχυνση - Ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας. Αναγνωρίζοντας ότι οι δυνάμεις δόνησης είναι κυκλικές, τόσο το μέγεθος της μετατόπισης όσο και η ταχύτητα αλλάζουν από την ελάχιστη τιμή σε κάποιο μέγιστο. Η επιτάχυνση είναι μια τιμή που αντιπροσωπεύει το μέγιστο ρυθμό που αυξάνει η ταχύτητα (ταχύτητα μετατόπισης).

Είναι αδύνατο να καθοριστούν απόλυτα όρια δόνησης για τα μηχανήματα. Ωστόσο, κατά τη δημιουργία ενός προγράμματος Προβλεπτικής συντήρησης, είναι απαραίτητο να καθοριστούν ορισμένα κριτήρια ή όρια πάνω από τα οποία θα ληφθούν μέτρα. Τέτοια διαγράμματα δεν προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό κριτηρίων αποδοχής κραδασμών για ανακατασκευασμένα ή πρόσφατα εγκατεστημένα μηχανήματα. Πρέπει να χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της γενικής ή συνολικής κατάστασης των μηχανημάτων που είναι ήδη εγκατεστημένα και είναι σε λειτουργία.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, παράγονται πολλά σήματα δόνησης ταυτόχρονα. Όταν ένα μέγεθος κραδασμών υπερβεί κάποια προκαθορισμένη τιμή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλυση υπογραφής δόνησης για τον καθορισμό της θέσης του μηχανήματος που είναι η πηγή της δόνησης και που χρειάζεται επισκευή ή αντικατάσταση. Με τη χρήση εξοπλισμού ανάλυσης και λογισμικού, τα μεμονωμένα σήματα δόνησης διαχωρίζονται και εμφανίζονται με τρόπο που καθορίζει το μέγεθος των κραδασμών και τη συχνότητα.



Εικόνα 13. Γράφημα δονήσεων
(Πηγή:https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/10/f3/omguide_complete.pdf)

Με την κατανόηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας του μηχανήματος, ένα άτομο που έχει εκπαιδευτεί στην ανάλυση υπογραφής δόνησης μπορεί να ερμηνεύσει αυτές τις πληροφορίες για να καθορίσει το πρόβλημα του μηχανήματος σε επίπεδο εξαρτήματος.

Τύποι εξοπλισμού

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσκευών ανίχνευσης δονήσεων στην αγορά. Ωστόσο, οι απαιτήσεις που θα καθορίσουν την επιλογή της κατάλληλης συσκευής εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Μερικοί από αυτούς είναι η ταχύτητα λειτουργίας της μηχανής, η συλλογή στοιχείων όταν η μηχανή βρίσκεται σε λειτουργία και όταν βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Έτσι, το κάθε πρόγραμμα ανίχνευσης δονήσεων απαιτεί έναν αισθητήρα (μορφοτροπέας) για να μετρήσει την υφιστάμενη δόνηση και να μεταφράσει αυτή τη πληροφορία σε ηλεκτρονικό σήμα. Οι μορφοτροπείς, είναι σχετικά μικροί σε μέγεθος και μπορούν να προσαρμοστούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα είτε περιοδικά στα σημεία της μηχανής όπου πρέπει να γίνει η συλλογή δεδομένων, χωρίς να εμποδίζουν την ομαλή λειτουργία της. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η μετάφραση μιας δόνησης σε ηλεκτρονικό σήμα γίνεται με συσκευές χειρός.

Εικόνα 14. Μορφοτροπείς
(Πηγή:https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/10/f3/omguide_complete.pdf)

Εφαρμογές

Παρακάτω, ακολουθούν ορισμένες γενικά αποδεκτές μη φυσιολογικές συνθήκες εξοπλισμού όπου η ανάλυση δονήσεων μπορεί να είναι χρήσιμη για τον καθορισμό υπαρχόντων προβλημάτων:

1) Ανισορροπία

2) Έκκεντροι ρότορες

3) Κακή ευθυγράμμιση

4) Προβλήματα συντονισμού

5) Μηχανική χαλαρότητα

6) Προβλήματα τριβής γραναζιών

7) Τριβή ρουλεμάν

5.4 CMMS (Computerized Maintenance Management System)

Το CMMS είναι ένα μηχανογραφημένο σύστημα διαχείρησης συντήρησης. Είναι ένα λογισμικό, μέσω του οποίου υπάρχει έλεγχος και παρακολούθηση των δραστηριοτήτων της συντήρησης.

Οι δυνατότητες του CMMS

Τα συστήματα CMMS αυτοματοποιούν τις περισσότερες από τις εργασίες που εκτελούνται από το προσωπικό συντήρησης και τη διοίκηση. Συνοδεύονται από πολλές επιλογές και έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των μη αυτόματων συστημάτων παρακολούθησης συντήρησης. Συνήθεις λειτουργίες ενός λογισμικού CMMS είναι οι παρακάτω:

1) Δημιουργία εντολών εργασίας, ιεράρχηση και παρακολούθηση αυτών βάσει εξοπλισμού / εξαρτήματος.

2) Ιστορικό παρακολούθησης όλων των εντολών εργασίας που δημιουργούνται, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν βάσει εξοπλισμού, ημερομηνίας και του εκάστοτε υπεύθυνου για την εντολή εργασίας.

3) Παρακολούθηση προγραμματισμένων και μη προγραμματισμένων δραστηριοτήτων συντήρησης.

4) Αποθήκευση στη μνήμη του προγράμματος, των δραστηριοτήτων συντήρησης καθώς και πληροφοριών εγγύησης του κάθε εξαρτήματος.

5) Αποθήκευση όλων των τεχνικών εγγράφων ή διαδικασιών ανά εξάρτημα.

6) Έκδοση αναφορών σε πραγματικό χρόνο για μια εργασία που βρίσκεται σε εξέλιξη.

7) Έκδοση εντολής εργασίας για προληπτική συντήρηση βάσει χρόνου λειτουργίας ή ημερολογιακών ημερών.

8) Παρακολούθηση του κόστους κεφαλαίου και εργασίας ανά εξάρτημα καθώς και εκτιμώμενοι χρόνοι για την ολοκλήρωση μιας εντολής εργασίας.

9) Έλεγχος των αποθεμάτων για τα υλικά και τα εξαρτήματα.

Κίνδυνοι που σχετίζονται με το CMMS

Παρόλο που το CMMS μπορεί να συμβάλλει στην αυτοματοποίηση και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των περισσότερων προγραμμάτων συντήρησης, υπάρχουν ορισμένες συνήθεις παγίδες. Αυτές είναι οι εξής:

1) Λάθος επιλογή προμηθευτή λογισμικού CMMS. Δηλαδή, πριν την επιλογή του κατάλληλου προμηθευτή, κάθε εταιρεία πρέπει να αφιερώνει χρόνο για να δει αν το λογισμικό ανταποκρίνεται στις ανάγκες της.

2) Ανεπαρκής εκπαίδευση του διοικητικού προσωπικού σχετικά με την ορθή χρήση του CMMS. Το διοικητικό προσωπικό, πρέπει να λαμβάνει ειδική εκπαίδευση σχετικά με την ένταξη, την λειτουργία και τη διατήρηση του CMMS στην επιχείρηση. Συνήθως, αυτή η εκπαίδευση λαμβάνει χώρα στις εγκαταστάσεις της εταιρείας που αγόρασε το λογισμικό μετά την εγκατάσταση του.

3) Έλλειψη δέσμευσης για σωστή εφαρμογή του CMMS. Πρέπει να υπάρχει δέσμευση για την εκκίνηση και εφαρμογή του CMMS.

4) Έλλειψη δέσμευσης για επιμονή στη χρήση και ενσωμάτωση CMMS. Ενώ το CMMS παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, αυτά πρέπει να διατηρηθούν. Οι περισσότερες επιτυχημένες εγκαταστάσεις CMMS έχουν έναν «πρωταθλητή» της χρήσης του που ενθαρρύνει τη συνεχιζόμενη χρήση του.

Οφέλη από τη χρήση CMMS

Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη του CMMS είναι η εξάλειψη των εγγράφων και των μη αυτόματων δραστηριοτήτων παρακολούθησης, επιτρέποντας έτσι στο προσωπικό να γίνει πιο παραγωγικό. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η λειτουργικότητα ενός CMMS έγκειται στην ικανότητά του να συλλέγει και να αποθηκεύει πληροφορίες σε ένα εύκολα ανακτήσιμο περιβάλλον. Ένα CMMS δεν λαμβάνει αποφάσεις, αλλά παρέχει στον διαχειριστή τις καλύτερες πληροφορίες για να επηρεάσει την λειτουργική αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης.

Η εφαρμογή ενός συστήματος CMMS έχει τα ακόλουθα οφέλη:

1) Ανίχνευση επικείμενων προβλημάτων πριν από την εμφάνιση μιας αστοχίας με αποτέλεσμα λιγότερες αστοχίες και παράπονα πελατών.
2) Επίτευξη υψηλότερου επιπέδου σχεδιασμένης συντήρησης που επιτρέπει πιο αποδοτική χρήση του ανθρώπινου δυναμικού.
3) Καλύτερος έλεγχος των αποθεμάτων, επιτρέποντας καλύτερες προβλέψεις ανταλλακτικών για την εξάλειψη των ελλείψεων και την ελαχιστοποίηση του υπάρχοντος αποθέματος.
4) Διατήρηση της βέλτιστης απόδοσης του εξοπλισμού μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας και αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.

6. Total Productive Maintenance-Overall Equipment Efficiency

Αφού έγινε ανάλυση της TPM στο κεφάλαιο 3.3.3, πλέον μπορεί να γίνει ανάλυση ενός οδηγού για την υιοθέτηση της φιλοσοφίας της TPM σε έναν οργανισμό.

6.1 Βήματα για την υιοθέτηση του TPM σε μια επιχείρηση

Η εφαρμογή της TPM κρίνεται απαραίτητη στη σημερινή εποχή, καθώς έτσι οι οργανισμοί μπορούν να:

1) Παράγουν προϊόντα χωρίς εκπτώσεις στην ποιότητα αυτών

2) Μειώσουν τα κόστη

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένας οδηγός για την εφαρμογή της TPM.

ΒΗΜΑ Α

- ΒΗΜΑ 1-Ανακοινώση από τη διοίκηση σε όλο το προσωπικό για την υιοθέτηση του TPM: Η πρέπουσα αντίληψη, αφοσίωση και η ενεργή συμμετοχή του ανώτατου management είναι απαραίτητη για αυτό το βήμα. Τα ανώτερα διευθυντικά στελέχη πρέπει να ενημερώσουν το υπόλοιπο προσωπικό της εταιρείας με ανακοινώσεις και δημοσιεύσεις σε ενδοεταιρικά έντυπα και πίνακες ανακοινώσεων.
- ΒΗΜΑ 2-Αρχική εκπαίδευση σχετικά με το TPM
  Η εκπαίδευση πρέπει να γίνεται βάσει των απαιτήσεων της κάθε επιχείρησης. Ορισμένοι χρειάζονται εντατική εκπαίδευση πάνω στο TPM ενώ άλλοι εργαζόμενοι είναι γνώστες της διαδικασίας. Οι εργαζόμενοι οι οποίοι έχουν προηγούμενη εμπειρία, θα πρέπει να πρωτοστατήσουν σε αυτή τη προσπάθεια.
- ΒΗΜΑ 3-Σύσταση διατμηματικών επιτροπών για το TPM
  Το TPM περιλαμβάνει τις έννοιες της βελτίωσης, της αυτόνομης συντήρησης και της συντήρησης με βάση την ποιότητα. Όταν οι επιτροπές αυτές δημιουργούνται αναλαμβάνουν την εφαρμογή των παραπάνω.
- ΒΗΜΑ 4-Καθιέρωση του συστήματος εργασίας TPM και θέσπιση στόχων
  Τώρα, η κάθε περιοχή συγκρίνεται και θέτει στόχους προς επίτευξη.
- ΒΗΜΑ 5-Ένα γενικό πλαίσιο για θεσμοθέτηση
  Το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή που οδηγεί στη θεσμοθέτηση όπου το TPM αποτελεί μια οργανωτική κουλτούρα. Η κατάκτηση ενός βραβείου Παραγωγικής Συντήρησης είναι η απόδειξη της επίτευξης ικανοποιητικού επιπέδου σχετικά με το TPM.

ΒΗΜΑ Β - Στάδιο εισαγωγής

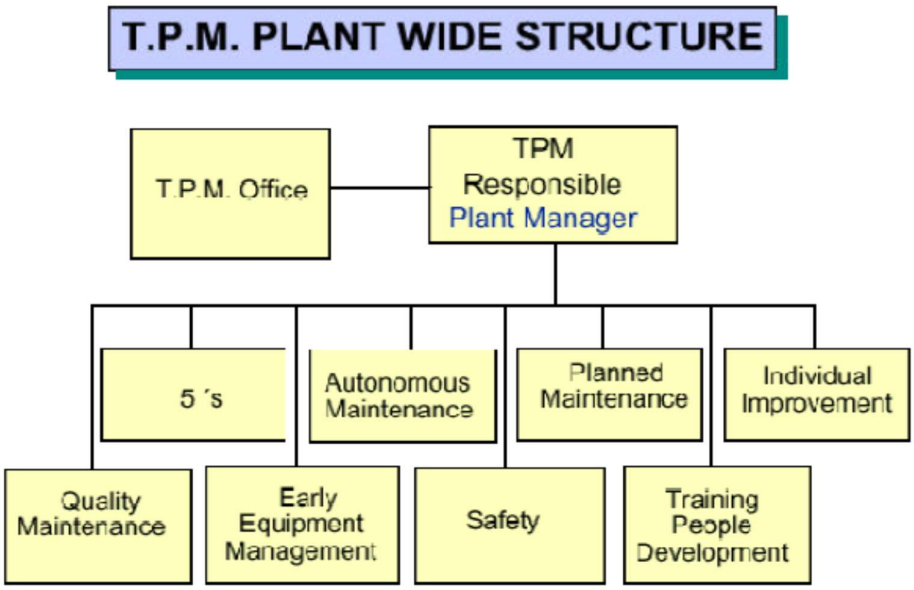
Αυτή είναι μια τελετή όπου όλοι πρέπει να είναι προσκεκλημένοι. Οι προμηθευτές, καθώς πρέπει να γνωρίζουν ότι υπάρχει ανάγκη για ποιοτικά προϊόντα από αυτούς, καθώς και σχετικές εταιρείες και συνδεδεμένες εταιρείες που μπορούν να αποτελούν πελάτες της επιχείρησης.

ΒΗΜΑ Γ- Εφαρμογή

Σε αυτό το στάδιο λαμβάνουν χώρα οκτώ δραστηριότητες οι οποίες αποτελούν τους πυλώνες για την ανάπτυξη ενός συστήματος TPM.

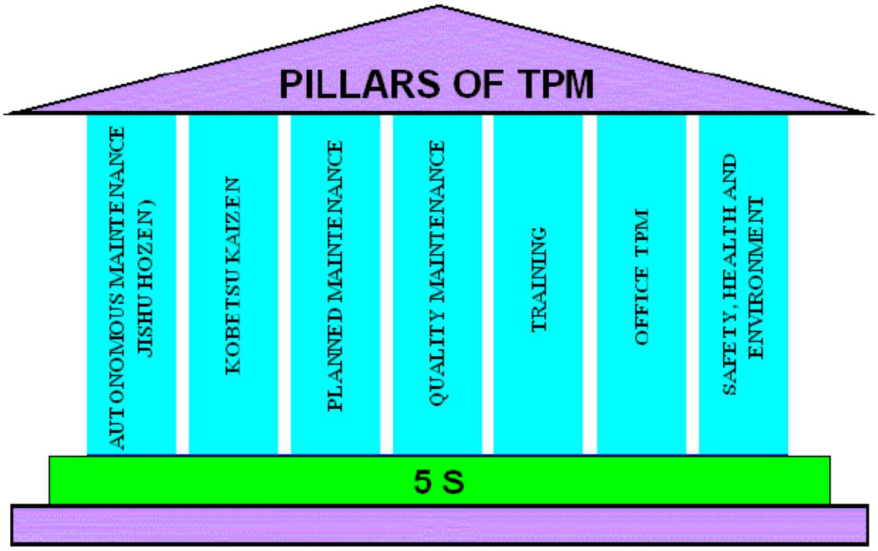
ΒΗΜΑ Δ - Θεσμικό στάδιο

Κάποια από τις παραπάνω δραστηριότητες θα έχει στο σημείο αυτό φτάσει στο στάδιο της ωριμότητας. Αυτή η στιγμή είναι η κατάλληλη για να θέσει ο οργανισμός υποψηφιότητα για βραβείο Παραγωγικής Συντήρησης.



Εικόνα 15. Οργανωτική Δομή για την εφαρμογή του TPM σε μια επιχείρηση (Πηγή: http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml)

6.2 Οι πυλώνες του TPM



Εικόνα 16. Οι οκτώ πυλώνες του TPM
(Πηγή: http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml)

6.2.1 Πρώτος πυλώνας-5S

Το TPM ξεκινά με τον πυλώνα 5S. Τα προβλήματα στο χώρο εργασίας δεν μπορούν να είναι εμφανή εάν αυτός δεν είναι σωστά οργανωμένος. Ο καθαρισμός και η ευταξία στο χώρο εργασίας βοηθά την ομάδα να αποκαλύψει προβλήματα που δεν ήταν εμφανή. Ο εντοπισμός των προβλημάτων αποτελεί ένα πρώτο βήμα για την βελτίωση.

Japanese Term	English Translation	Equivalent 'S' term
Seiri	Organisation	Sort
Seiton	Tidiness	Systematise
Seiso	Cleaning	Sweep
Seiketsu	Standardisation	Standardise
Shitsuke	Discipline	Self - Discipline

Εικόνα 17 . Πυλώνας 5S.
(Πηγή: http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml)

SEIRI-Sort out:

Ο όρος SEIRI σημαίνει ταξινόμηση και οργάνωση των αντικειμένων στο χώρο εργασίας ανάλογα με το πόσο σημαντικά, κρίσιμα, συχνά ή λιγότερο χρησιμοποιούμενα αυτά είναι. Ανεπιθύμητα ή άχρηστα αντικείμενα μπορούν απλά να αποθηκευτούν. Τα αντικείμενα τα οποία χρησιμοποιούνται με μεγάλη συχνότητα πρέπει να τοποθετούνται σε ένα σημείο το όποιο είναι εύκολα προσβάσιμο. Έτσι, για τη διαδικασία αυτή το κάθε αντικείμενο πρέπει να τοποθετείται στην θέση που του αρμόζει βάσει της συχνότητας χρήσης του και όχι βάσει της αξίας του. Η διαδικασία αυτή λοιπόν μειώνει τον χρόνο για την εύρεση του αντικείμενου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Priority	Frequency of Use	How to use
Low	Less than once per year, Once per year<	Throw away, Store away from the workplace
Average	At least 2/6 months, Once per month, Once per week	Store together but offline
High	Once Per Day	Locate at the workplace

Εικόνα 18. SEIRI-Sort out
(Πηγή: http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml)

Seiton-Οργάνωση:

Η ιδέα εδώ είναι ότι "Κάθε στοιχείο έχει ένα και μόνο ένα μέρος στο οποίο μπορεί να αποθηκευτεί". Τα αντικείμενα ύστερα από τη χρήση τους πρέπει να τοποθετούνται στη θέση τους. Για την ευκολότερη αναγνώριση των αντικειμένων συνίσταται η χρήση ετικετών και διαφόρων χρωμάτων.

Seiso-Λάμψη στο χώρο εργασίας:

Αυτό περιλαμβάνει τον καθαρισμό του χώρου εργασίας χωρίς γρέζια, γράσα, λάδια, απορρίμματα και θραύσματα κ.λπ. Επιπλέον, δε θα πρέπει να υπάρχουν καλώδια τα οποία να κρέμονται ή διαρροές λαδιών από τις μηχανές παραγωγής.

Seiketsu-Τυποποίηση

Οι εργαζόμενοι πρέπει να συζητούν μεταξύ τους και να αποφασίζουν για τα πρότυπα που πρέπει να πληρούνται ώστε οι χώροι εργασίας, οι μηχανές παραγωγής και οι διάδρομοι στο χώρο της παραγωγής να παραμένουν καθαροί. Αυτά τα πρότυπα εφαρμόζονται σε όλο τον οργανισμό ελέγχονται και επιθεωρούνται.

Shitsuke-Αυτοπειθαρχία:

Η υιοθέτηση του 5s ως τρόπου ζωής, έχει σαν αποτέλεσμα την αυτοπειθαρχία των εργαζομένων του οργανισμού.

6.2.2 Δεύτερος Πυλώνας-Jishu Hozen (JH) (Αυτόνομη Συντήρηση)

Αυτός ο πυλώνας απευθύνεται στους χειριστές, έτσι ώστε να είναι σε θέση να φέρουν εις πέρας απλές εργασίες συντήρησης, ώστε να υπάρχει χρόνος για το προσωπικό της συντήρησης να ασχοληθεί με πιο σοβαρές βλάβες. Οι χειριστές είναι υπεύθυνοι για τη συντήρηση του εξοπλισμού τους και για να την διατήρηση της κατάστασης του σε καλό επίπεδο.

Πολιτική :

1. Αδιάλειπτη λειτουργία εξοπλισμού.

2. Ευέλικτοι χειριστές για τη λειτουργία και συντήρηση άλλων εξοπλισμών.

3. Εξάλειψη των ελαττωμάτων στην πηγή μέσω της ενεργού συμμετοχής των εργαζομένων.

4. Σταδιακή εφαρμογή των δραστηριοτήτων Jishu Hozen.

Στόχοι Jishu Hozen:

1. Μείωση της κατανάλωσης λαδιού κατά 50%

2. Μείωση του χρόνου διεργασίας κατά 50%

3. Αύξηση της χρήσης του JH κατά 50%

Βήματα στο Jishu Hozen:

1. Προετοιμασία των εργαζομένων.

2. Αρχικός καθαρισμός μηχανών.

3. Λήψη αντίμετρων

4. Διόρθωση των προσωρινών προτύπων Jishu Hozen

5. Γενική επιθεώρηση

6. Αυτόνομη επιθεώρηση

7. Τυποποίηση

8. Αυτόνομη διαχείριση

Παρακάτω ακολουθεί ανάλυση των βημάτων του Jishu Hozen

1. Εκπαίδευση των εργαζομένων: Εκπαίδευση των εργαζομένων για το TPM, τα πλεονεκτήματά του, τα πλεονεκτήματα και τα βήματα του Jishu Hozen. Εκπαίδευση των εργαζομένων για τις αστοχίες εξοπλισμού.

2. Αρχικός καθαρισμός μηχανών:

- Ο προϊστάμενος και ο τεχνικός πρέπει να συζητούν για να ορίσουν μια ημερομηνία για την εφαρμογή του βήματος 1.
- Τακτοποίηση όλων των αντικείμενων που απαιτούνται για τον καθαρισμό.
- Την προγραμματισμένη ημερομηνία, οι εργαζόμενοι καθαρίζουν πλήρως τον εξοπλισμό με τη βοήθεια του τμήματος συντήρησης.
- Αφαιρούνται σκόνη, λεκέδες, λάδια και γράσα.
- Ακολουθούν τα ζητήματα όπου πρέπει να εστιάσουν κατά τον καθαρισμό, όπως διαρροή λαδιών, καλώδια που κρέμονται, μηχανισμοί χωρίς ασφάλειες και φθαρμένα μέρη.
- Μετά τον καθαρισμό τα προβλήματα κατηγοριοποιούνται και επισημαίνονται. Λευκές ετικέτες τοποθετούνται όπου τα προβλήματα μπορούν να λυθούν από τους χειριστές. Ροζ ετικέτες τοποθετούνται όπου υπάρχει ανάγκη για επέμβαση από το τμήμα της συντήρησης.
- Οι ετικέτες αυτές μεταφέρονται σε ένα μητρώο.

- Αποκλεισμός της μηχανής ώστε να μην είναι προσβάσιμη.
- Κλείσιμο όλων των ανοιχτών μερών της μηχανής και έναρξη της λειτουργίας της.

3. Αντίμετρα:

- Οι δυσπρόσιτες περιοχές πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμες. π.χ. εάν υπάρχει ένα καπάκι με πολλές βίδες, αυτό μπορεί να αντικατασταθεί με ένα άλλο με μεντεσέ.
- Πρέπει να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή της λειτουργίας εξαρτημάτων του μηχανήματος.
- Τα εξαρτήματα του μηχανήματος πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση ρύπων και σκόνης.

4. Πρωταρχικό πρότυπο:

- Το πρόγραμμα JH πρέπει να καταρτιστεί και να ακολουθείται αυστηρά.
- Πρέπει να δημιουργηθεί χρονοδιάγραμμα σχετικά με τον καθαρισμό, την επιθεώρηση και τη λίπανση και επίσης να περιλαμβάνει λεπτομέρειες όπως πότε θα γίνουν αυτές οι ενέργειες και πώς.

5. Γενική επιθεώρηση:

- Οι εργαζόμενοι εκπαιδεύονται σε κλάδους όπως τα πνευματικά, τα ηλεκτρικά, υδραυλικά συστήματα, τα λιπαντικά, τα ψυκτικά, τους δίσκους, τα μπουλόνια, τα παξιμάδια και την ασφάλεια.
- Αυτό είναι απαραίτητο για τη βελτίωση των τεχνικών δεξιοτήτων των εργαζομένων και τη σωστή χρήση των εγχειριδίων επιθεώρησης.
- Μετά την απόκτηση αυτής της νέας γνώσης, οι υπάλληλοι θα πρέπει να τη μοιράζονται με τους υπόλοιπους συναδέλφους τους.
- Με την απόκτηση αυτής της νέας τεχνικής γνώσης, οι χειριστές γνωρίζουν πλέον καλά τα εξαρτήματα των μηχανών.

6. Αυτόνομη επιθεώρηση:

- Χρησιμοποιούνται νέες μέθοδοι καθαρισμού και λίπανσης.
- Κάθε υπάλληλος προετοιμάζει το δικό του αυτόνομο πρόγραμμα σε συνεννόηση με τον προϊστάμενο.
- Εξαρτήματα που δεν έχουν παρουσιάσει ποτέ κανένα πρόβλημα ή μέρη του εξοπλισμού που δεν χρειάζονται καμία επιθεώρηση αφαιρούνται από τη λίστα.
- Η επιθεώρηση που πραγματοποιείται στην προληπτική συντήρηση περιλαμβάνεται στο JH.
- Η συχνότητα καθαρισμού και επιθεώρησης μειώνεται με βάση την εμπειρία.

7. Τυποποίηση:

- Μέχρι το προηγούμενο βήμα γινόταν εστίαση μόνο στον εξοπλισμό. Ωστόσο, σε αυτό το βήμα οργανώνονται και τα αντικείμενα γύρω από τον εξοπλισμό.

Τα πρωτεύουσας σημασίας αντικείμενα οργανώνονται, έτσι ώστε να μην δαπανάται χρόνος για την εύρεση τους.

- Το περιβάλλον εργασίας τροποποιείται έτσι ώστε να μην υπάρχει δυσκολία στην εύρεση ενός αντικειμένου.
- Όλοι πρέπει να ακολουθούν αυστηρά τις οδηγίες εργασίας.
- Προγραμματίζεται και γίνεται η προμήθεια των απαραίτητων ανταλλακτικών για τον εξοπλισμό.

8. Αυτόνομη διαχείριση:

- Στόχοι όπως το OEE πρέπει να επιτυγχάνονται με μια συνεχή βελτίωση μέσω του Kaizen.
- Ο κύκλος PDCA (Plan, Do, Check and Act) πρέπει να εφαρμοστεί για τον Kaizen.

6.2.3 Τρίτος Πυλώνας – Kaizen

Το "Kai" σημαίνει αλλαγή και το "Zen" σημαίνει καλό (για το καλύτερο). Το Kaizen αναφέρεται σε μικρές βελτιώσεις, ωστόσο εφαρμόζεται με μια συνέχεια και αφορά όλους τους εργαζόμενους της εταιρείας. Το Kaizen αντιτίθεται στις μεγάλες και θεαματικές καινοτομίες. Απαιτεί καθόλου ή μικρή επένδυση.

Η αρχή πίσω από αυτό είναι ότι ένας μεγάλος αριθμός μικρών βελτιώσεων είναι πιο αποτελεσματικός σε ένα περιβάλλον από μερικές βελτιώσεις μεγάλης αξίας. Αυτός ο πυλώνας στοχεύει στη μείωση των απωλειών που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά στο χώρο εργασίας . Χρησιμοποιώντας μια λεπτομερή και μεθοδική διαδικασία Kaizen παρατηρείται μείωση των απωλειών. Αυτές οι δραστηριότητες δεν περιορίζονται μόνο σε περιοχές της παραγωγής, αλλά μπορούν να εφαρμοστούν και σε διοικητικές περιοχές επίσης.

Πολιτική Kaizen:

1) Εφαρμογή της έννοιας μηδενικών απωλειών σε κάθε τομέα δραστηριότητας.
2) Αδιάκοπη επιδίωξη για την επίτευξη στόχων μείωσης κόστους σε όλους τους πόρους.
3) Αδιάκοπη επιδίωξη βελτίωσης της αποτελεσματικότητας όλων των εγκαταστάσεων.
4) Εκτεταμένη χρήση της ανάλυσης PM (problem solving) ως εργαλείο για την εξάλειψη των απωλειών.
5) Εστίαση στην ευκολία χειρισμού των εργαζομένων στη παραγωγή.

Στόχος Kaizen:

Επίτευξη και διατήρηση μηδενικών απωλειών που αφορούν τους χρόνους εκτός λειτουργείας, τις ρυθμίσεις και τις βλάβες. Εστιάζει επίσης στη μείωση του κόστους παραγωγής κατά 30%.

Εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο Kaizen:

1) Ανάλυση PM
2) Ανάλυση Why-Why
3) Σύνοψη των βλαβών
4) Μητρώο Kaizen
5) Συνοπτικό φύλλο Kaizen.

Ο στόχος του TPM είναι η μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του εξοπλισμού. Το TPM στοχεύει στη μεγιστοποίηση της χρήσης των μηχανών και όχι απλώς στη μεγιστοποίηση διαθεσιμότητας. Ως πυλώνας των δραστηριοτήτων του TPM, το Kaizen επιδιώκει αποδοτικό εξοπλισμό και χειρισμό και αποδοτική χρήση υλικών και ενέργειας. Οι δραστηριότητες Kaizen προσπαθούν να εξαλείψουν πλήρως 16 μεγάλες απώλειες.

Loss	***Category***
1. Failure losses - Breakdown loss 2. Setup / adjustment losses 3. Cutting blade loss 4. Start up loss 5. Minor stoppage / Idling loss. 6. Speed loss - operating at low speeds. 7. Defect / rework loss 8. Scheduled downtime loss	Losses that impede equipment efficiency
9. Management loss 10. Operating motion loss 11. Line organization loss 12. Logistic loss 13. Measurement and adjustment loss	Loses that impede human work efficiency
14. Energy loss 15. Die, jig and tool breakage loss 16. Yield loss.	Loses that impede effective use of production resources

Εικόνα 19. Οι 16 κύριες απώλειες σε έναν οργανισμό (Πηγή: https://studfile.net/preview/5376938/)

Aspect	Sporadic Loss	Chronic Loss
Causation	Causes for this failure can be easily traced. Cause-effect relationship is simple to trace.	This loss cannot be easily identified and solved. Even if various counter measures are applied
Remedy	Easy to establish a remedial measure	This type of losses are caused because of hidden defects in machine, equipment and methods.
Impact / Loss	A single loss can be costly	A single cause is rare - a combination of causes trends to be a rule
Frequency of occurrence	The frequency of occurrence is low and occasional.	The frequency of loss is more.
Corrective action	Usually the line personnel in the production can attend to this problem.	Specialists in process engineering, quality assurance and maintenance people are required.

Εικόνα 20. Ταξινόμηση των απωλειών (Πηγή: https://studfile.net/preview/5376938/)

6.2.4 Τέταρτος Πυλώνας-Σχεδιασμένη Συντήρηση:

Στοχεύει στην ικανοποίηση του πελάτη, μέσω της απροβλημάτιστης λειτουργίας του εξοπλισμού και της παραγωγής προϊόντων χωρίς ελαττώματα. Χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες.

1) Προληπτική συντήρηση
2) Συντήρηση βλάβης
3) Διορθωτική συντήρηση
4) Πρόληψη συντήρησης

Με την προγραμματισμένη συντήρηση, υιοθετείται μια proactive μέθοδος, με το προσωπικό της συντήρησης να βοηθά τους χειριστές για την καλύτερη συντήρηση του εξοπλισμού.

Πολιτική :

1) Επίτευξη και διατήρηση διαθεσιμότητας μηχανημάτων
2) Βέλτιστο κόστος συντήρησης.
3) Μείωση του αποθέματος ανταλλακτικών.
4) Βελτίωση της αξιοπιστίας και της συντηρησιμότητας των μηχανών.

Στόχος:

1) Μηδενική αστοχία εξοπλισμού και μηδενικές βλάβες
2) Βελτίωση της αξιοπιστίας και της συντηρησιμότητας κατά 50%
3) Μείωση του κόστους συντήρησης κατά 20%
4) Διασφάλιση διαθεσιμότητας ανταλλακτικών

Έξι βήματα στην προγραμματισμένη συντήρηση:

1) Αξιολόγηση του εξοπλισμού και καταγραφή της παρούσας κατάστασης
2) Επαναφορά του εξοπλισμού στη κανονική λειτουργία του και βελτίωση πάνω στις όποιες αδυναμίες
3) Δημιουργία συστήματος διαχείρισης πληροφοριών
4) Προετοιμασία ενός συστήματος πληροφοριών βασισμένο στο χρόνο
5) Προετοιμασία συστήματος προληπτικής συντήρησης με την εισαγωγή τεχνικών διάγνωσης για τον εξοπλισμό

6.2.5 Πέμπτος Πυλώνας -Συντήρηση ποιότητας

Στοχεύει στην ικανοποίηση του πελάτη μέσα από την παροχή προϊόντων υψηλής ποιότητας που δεν παρουσιάζουν ελαττώματα.

Μέσω της συντήρησης ποιότητας ο οργανισμός αποκτά καλή αντίληψη για το ποιά μέρη του εξοπλισμού επηρεάζουν την ποιότητα και ξεκινά να περιορίζει τους έως τώρα προβληματισμούς που σχετίζονται με τη ποιότητα, προχωρώντας έπειτα σε δυνητικά ζητήματα σχετικά με τη ποιότητα.

Οι δραστηριότητες της συντήρησης ποιότητας γίνονται με σκοπό να τεθεί ο εξοπλισμός σε μια κατάσταση χωρίς ποιοτικά ελαττώματα, βασιζόμενες στη βασική αντίληψη της διατήρησης ενός άψογου εξοπλισμού που θα έχει σαν αποτέλεσμα τη διατήρηση της υψηλής ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Η κατάσταση ελέγχεται και μετράται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να διασφαλιστεί ότι η κατάσταση πληροί τα κριτήρια που έχουν τεθεί και να αποτραπούν τα ελαττώματα.

Πολιτική:

1) Συνθήκες χωρίς ελαττώματα και έλεγχος του εξοπλισμού
2) Δραστηριότητες συντήρησης ποιότητας για την υποστήριξη της διασφάλισης ποιότητας
3) Εστίαση στην πρόληψη ελαττωμάτων στην πηγή
4) Εστίαση στο poka-yoke
5) Ανίχνευση και διαχωρισμός ελαττωμάτων
6) Αποτελεσματική εφαρμογή της διασφάλισης ποιότητας του χειριστή

Στόχος:

1) Επίτευξη και διατήρηση των παραπόνων των πελατών σε μηδενικό επίπεδο
2) Μείωση των ελαττωμάτων κατά τη διαδικασία κατά 50%
3) Μείωση του κόστους ποιότητας κατά 50%

Απαιτήσεις δεδομένων:

Τα ελαττώματα ποιότητας ταξινομούνται ως ελαττώματα τελικού πελάτη και εσωτερικά ελαττώματα. Για τα ελαττώματα που σχετίζονται με τον τελικό πελάτη, πρέπει να γίνει συλλογή δεδομένων σχετικά με:

1) Την απόρριψη του τελικού πελάτη
2) Παράπονα

Στο εσωτερικό, τα δεδομένα περιλαμβάνουν δεδομένα που σχετίζονται με προϊόντα και δεδομένα που σχετίζονται με τη διαδικασία παραγωγής:

Δεδομένα που σχετίζονται με το προϊόν:

1) Ελαττωματικά προϊόντα
2) Σοβαρότητα του ελαττώματος και συμβολή του
3) Τοποθεσία του ελαττώματος
4) Μέγεθος και συχνότητα εμφάνισης σε κάθε στάδιο μέτρησης
5) Η τάση εμφάνισης στην αρχή και στο τέλος κάθε παραγωγής / διαδικασίας / αλλαγής.
6) Τάση εμφάνισης σε σχέση με την αποκατάσταση βλάβης / τροποποιήσεων / περιοδικών αντικαταστάσεων ποιοτικών εξαρτημάτων.

Δεδομένα που σχετίζονται με διαδικασίες:

1) Η κατάσταση λειτουργίας για μεμονωμένη υπό-διαδικασία που σχετίζεται με ανθρωποδύναμη, μέθοδο, υλικό και μηχανή.
2) Οι τυπικές ρυθμίσεις / συνθήκες της υπό-διαδικασίας
3) Η πραγματική καταγραφή των ρυθμίσεων / συνθηκών κατά την εμφάνιση του ελαττώματος.

6.2.6 Έκτος Πυλώνας - Εκπαίδευση:

Στοχεύει στην ύπαρξη πολυπράγμονων εργαζομένων, των οποίων το ηθικό είναι υψηλό, όντας πρόθυμοι να εργαστούν και να εκτελέσουν όλες τις απαιτούμενες ενέργειες αποτελεσματικά. Δίδεται εκπαίδευση στους χειριστές, ώστε να αναβαθμίσουν τις δεξιότητές τους. Δεν αρκεί να έχουν μόνο τη τεχνογνωσία αλλά πρέπει να είναι γνώστες του σκοπού για τον οποίον εργάζονται.

Οι εργαζόμενοι πρέπει να είναι σε θέση να αποδώσουν και τις τέσσερις φάσεις των δεξιοτήτων. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα εργοστάσιο γεμάτο εμπειρογνώμονες.

Οι διάφορες φάσεις των ικανοτήτων είναι οι εξής:

Φάση 1: Άγνοια

Φάση 2: Γνώση της θεωρίας αλλά όχι της εφαρμογής της στην πράξη

Φάση 3: Εκτέλεση της θεωρίας αλλά χωρίς να είναι σε θέση να τη διδάξουν

Φάση 4: Εκτέλεση της θεωρίας αλλά και διδασκαλία αυτής

Πολιτική :

1) Εστίαση στη βελτίωση των γνώσεων, των δεξιοτήτων και των τεχνικών.
2) Δημιουργία ενός περιβάλλοντος εκπαίδευσης με βάση τις υπάρχουσες ανάγκες.
3) Εκπαιδευτικό πρόγραμμα / εργαλεία / αξιολόγηση κ.λπ. κατάλληλο για την αναζωογόνηση των εργαζομένων
4) Εκπαίδευση για απομάκρυνση της κόπωσης των εργαζομένων και ευχάριστου περιβάλλοντος εργασίας.

Στόχος:

1) Επίτευξη μηδενικών χρόνων διακοπής
2) Επίτευξη και διατήρηση μηδενικών απωλειών λόγω έλλειψης γνώσεων / δεξιοτήτων / τεχνικών
3) Στόχος για 100% συμμετοχή στο σχέδιο προτάσεων.

Βήματα στις δραστηριότητες εκπαίδευσης και κατάρτισης:

1) Καθορισμός πολιτικών, προτεραιοτήτων και έλεγχος της τρέχουσας κατάστασης της εκπαίδευσης και της κατάρτισης.
2) Δημιουργία συστήματος εκπαίδευσης για διαβάθμιση δεξιοτήτων λειτουργίας και συντήρησης.
3) Εκπαίδευση των εργαζομένων για αναβάθμιση των δεξιοτήτων λειτουργίας και συντήρησης.
4) Προετοιμασία εκπαιδευτικού ημερολογίου.
5) Έναρξη του συστήματος εκπαίδευσης.
6) Αξιολόγηση δραστηριοτήτων και μελέτη μελλοντικής προσέγγισης.

6.2.7 Έβδομος Πυλώνας -TPM Γραφείου

Η λειτουργεία του TPM Γραφείου ξεκινά αφού πρώτα ενεργοποιηθούν οι τέσσερις άλλοι πυλώνες του TPM (JH,KK,QM,PM). Το TPM στο γραφείο εφαρμόζεται για να βελτιωθεί η παραγωγικότητα και η αποδοτικότητα στις διοικητικές λειτουργίες του οργανισμού και για να αναγνωριστούν και να περιοριστούν οι απώλειες. Το TPM στο γραφείο αντιμετωπίζει δώδεκα κύριες απώλειες. Αυτές απαριθμούνται παρακάτω:

1) Απώλειες επεξεργασίας

2) Απώλειες κόστους, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών όπου τα τμήματα των προμηθειών, της λογιστικής, του marketing και των πωλήσεων οδηγούν σε υψηλά αποθέματα.

3) Απώλειες σχετικές με την επικοινωνία

4) Απώλειες αδράνειας

5) Απώλειες σχετικές με την οργάνωση

6) Απώλειες σχετικές με την ακρίβεια

7) Απώλειες σχετικές με βλάβες του εξοπλισμού γραφείου

8) Απώλειες των δικτύων επικοινωνίας όπως τα τηλέφωνα και τα fax

9) Απώλειες σχετικές με ανάκτηση πληροφοριών

10) Απώλεια διαθεσιμότητας της ακριβούς ποσότητας αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο

11) Απώλειες σχετικές με παράπονα των πελατών για την εφοδιαστική αλυσίδα

12) Απώλειες που σχετίζονται με επείγουσες αποστολές ή αγορές

Εφαρμογή του TPM γραφείου

Θεωρείται πρέπον ένα έμπειρο μέλος του οργανισμού, το οποίο ανήκει σε ένα διοικητικό τμήμα της επιχείρησης να ηγείται αυτής της προσπάθειας, συντονίζοντας την υπόλοιπη ομάδα. Εργαζόμενοι από άλλα υποστηρικτικά τμήματα και άλλοι από τα τμήματα της Παραγωγής και της Ποιότητας αποτελούν τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας. Η ομάδα TPM συντονίζει τις διαδικασίες με τους εξής παρακάτω τρόπους:

1) Κοινοποιεί τη λειτουργία του TPM γραφείου σε όλα τα τμήματα

2) Βοηθά στον καθορισμό των P, Q, C, D, S, M που σχετίζονται με την απόδοση της επιχείρησης σε κάθε λειτουργία της

3) Αναγνωρίζει τα αντικείμενα προς βελτίωση σε κάθε λειτουργία

4) Συλλέγει τα αντίστοιχα δεδομένα

5) Βοηθά για την επίλυση των προβλημάτων σε κάθε λειτουργία

6) Συνθέτει ένα συμβούλιο δράσεων όπου παρακολουθείται η πρόοδος

7) Εξαπλώνεται προκειμένου να καλύψει όλους τους εργαζομένους και τις λειτουργίες της επιχείρησης.

Θέματα του Kobetsu Kaizen για το TPM γραφείου

1) Μείωση των αποθεμάτων

2) Μείωση των χρονικών περιθωρίων για κρίσιμες διαδικασίες

3) Απώλειες κίνησης και χωροταξίας

4) Εύρεση χρονικών περιθωρίων για άλλες διαδικασίες όπου αυτό απαιτείται

5) Ισοκατανομή του φόρτου εργασίας

6) Βελτίωση της αποδοτικότητας του γραφείου, περιορίζοντας τη σπατάλη χρόνου για ανάκτηση πληροφοριών, καταφέρνοντας παράλληλα μηδενικές βλάβες στον εξοπλισμό γραφείου όπως τηλέφωνα και fax

Τα πλεονεκτήματα του TPM γραφείου

1) Ενασχόληση όλων των εργαζομένων των υποστηρικτικών λειτουργιών για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης της επιχείρησης

2) Καλύτερη χρήση του χώρου εργασίας

3) Μείωση επαναλαμβανόμενων/μονότονων εργασιών

4) Μείωση του αριθμού των αποθεμάτων για όλα τα μέρη της αλυσίδας εφοδιασμού

5) Μείωση στα διοικητικά κόστη

6) Reduced inventory carrying cost

7) Μείωση του αριθμού των αρχείων

8) Μείωση των επιπλέον/έμμεσων εξόδων

9) Παραγωγικότητα των εργαζομένων σε υποστηρικτικές λειτουργίες

10) Μείωση στις βλάβες του εξοπλισμού γραφείου

11) Μείωση των παραπόνων των πελατών σχετικά με την εφοδιαστική αλυσίδα

12) Μείωση εξόδων σχετικά με επείγουσες αποστολές και αγορές

13) Μείωση ανθρωποδύναμης

14) Καθαρό και ευχάριστο περιβάλλον εργασίας

P Q C D S M στο TPM Γραφείου

P-Απώλειες παραγόμενου προϊόντος λόγω έλλειψης πρώτων υλών, μειωμένης παραγωγικότητας ανθρώπινου δυναμικού και έλλειψης των κατάλληλων εργαλείων

Q-Λάθη στην προετοιμασία αποδείξεων, λογαριασμών, τιμολογίων, πληρωμών

C- Buying cost/unit produced, Cost of logistics - inbound/outbound, Cost of carrying inventory, Cost of communication, Demurrage costs.

D-Απώλειες στην εφοδιαστική αλυσίδα (Καθυστερήσεις στην φόρτωση/εκφόρτωση)

1) Καθυστερήσεις στην παράδοση

2) Καθυστερήσεις σε πληρωμές προμηθευτών

3) Καθυστερήσεις στη συλλογή δεδομένων

S-Ασφάλεια στη διαχείριση υλικών και εγγράφων

M-Αριθμός των Kaizen στους χώρους των γραφείων

Επέκταση του TPM στο Γραφείο στους προμηθευτές και στους διανομείς

Η επέκταση του TPM στο γραφείο είναι μείζονος σημασίας αφού πρώτα όμως έχουν εντατικοποιηθεί οι προσπάθειες για εφαρμογή του TPM στο εσωτερικό της επιχείρησης. Έτσι με τους προμηθευτές θα υπάρχει έγκαιρη παράδοση, καλή ποιότητα πρώτων υλών και μείωση στα κόστη. Η εφαρμογή του TPM στους διανομείς θα οδηγήσει σε ακριβείς ποσότητες στα ζητούμενα προϊόντα, βελτιωμένη διανομή και μείωση των απωλειών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της διακίνησης. Σε κάθε περίπτωση, κρίνεται απαραίτητη η παροχή εκπαίδευσης στους διανομείς και στους προμηθευτές βάσει της υπάρχουσας εμπειρίας στον οργανισμό, καθώς έτσι θα επισημανθούν τα κενά που επηρεάζουν και τις δυο πλευρές στην εφοδιαστική αλυσίδα.

6.2.8 Όγδοος Πυλώνας -Ασφάλεια, Υγιεινή και Περιβάλλον

Στόχοι:

1) Κανένα εργατικό ατύχημα

2) Καμία επιβάρυνση στην υγεία

3) Καμία εστία φωτιάς

Ο πυλώνας 8 στοχεύει στη δημιουργία ενός ασφαλούς περιβάλλοντος που δεν θα επηρεάζεται από τις διαδικασίες παραγωγής και συντήρησης των μηχανημάτων της εταιρείας. Ο πυλώνας 8 αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εφαρμογή των υπόλοιπων πυλώνων του TPM.

Για τον πυλώνα 8, δημιουργείται μια επιτροπή η οποία αποτελείται από εργαζομένους σε γραφεία αλλά και από εργαζομένους στην παραγωγή. Για την ευαισθητοποίηση των εργαζομένων, μπορούν να οργανώνονται σε τακτά διαστήματα διαγωνισμοί όπως συνθήματα ασφαλείας, κουίζ, role playing, αφίσες κ.λπ. που σχετίζονται με την ασφάλεια.

6.3 Overall Equipment Efficiency (OEE)- Μέτρηση της συνολικής αποτελεσματικότητας εξοπλισμού

Η φιλοσοφία της Συνολικής Αποτελεσματικότητας Εξοπλισμού, αποτελεί το επίκεντρο της Ολικής Παραγωγικής Συντήρησης (TPM). Έτσι λοιπόν, διεπιστημονικές ομάδες που έχουν γνώση των συστημάτων παραγωγής ασχολούνται με την βελτίωση του OEE των μηχανών παραγωγής. Το OEE, αποτελεί μια μέθοδο για την παρακολούθηση και την βελτίωση της αποδοτικότητας των παραγωγικών διεργασιών, συγκρίνοντας τον πραγματικό χρόνο λειτουργίας των μηχανών έναντι του ιδανικού χρόνου λειτουργίας τους.

Η OEE, εστιάζει στις τρείς κύριες παραμέτρους από τις οποίες προκύπτουν οι απώλειες παραγωγικότητας. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι εξής:

- Availability(Διαθεσιμότητα)
- Performance(Απόδοση)
- Quality (Ποιότητα)

Η OEE, αποτελώντας μέρος της Ολικής Παραγωγικής Συντήρησης, είναι πλέον ο αποδεκτός τρόπος μέτρησης των επιδόσεων στο βιομηχανικό κλάδο. Η μέθοδος OEE, αποτελεί μια απλή και πρακτική μέθοδο, καθώς λαμβάνει υπόψη τις σημαντικότερες και συχνότερες απώλειες παραγωγικότητας, τις διαχωρίζει σε τρείς κύριες κατηγορίες και μετατρέπει αυτές σε μετρήσιμα αποτελέσματα, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούν ένα σημείο αναφοράς για την απόδοση της βιομηχανικής μονάδας και αλλά και για την βελτίωση της.

Ανάλυση των παραμέτρων υπολογισμού της OEE

Η OEE, προκύπτει σαν γινόμενο τριών παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτοί είναι η Διαθεσιμότητα, η Απόδοση και η Ποιότητα. Παρακάτω, ακολουθεί ανάλυση των παραμέτρων.

Διαθεσιμότητα

Για τον υπολογισμό της Διαθεσιμότητας, λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες από τους χρόνους σταματημάτων των μηχανών παραγωγής. Τέτοιες απώλειες περιλαμβάνουν γεγονότα που φέρνουν πίσω χρονικά τον προγραμματισμένο χρόνο παραγωγής για αισθητό διάστημα όπως οι βλάβες στις μηχανές παραγωγής, οι ελλείψεις σε υλικά και οι χρόνοι μετάβασης των μηχανών σε νέα παρτίδα ή προϊόν. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο χρόνος μετάβασης λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό του OEE, καθώς αποτελεί εκ των πραγμάτων μια μορφή χρόνου σταματήματος για την παραγωγή. Σε ορισμένες περιπτώσεις η πλήρης εξάλειψη του μπορεί να μην είναι δυνατή όμως στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να μειωθεί.

Έτσι, ανάλογα με τα δεδομένα τα οποία είναι κάθε φορά διαθέσιμα, ο υπολογισμός της Διαθεσιμότητας, προκύπτει από τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους :

$$\text{Διαθεσιμότητα} = \frac{\text{Πραγματικός χρόνος λειτουργίας των μηχανών}}{\text{Σχεδιασμένος ή Θεωρητικός χρόνος λειτουργίας των μηχανών}}$$

$$\text{Πραγματικός χρόνος λειτουργείας των μηχανών} = \frac{\text{Σχεδιασμένος ή Θεωρητικός χρόνος λειτουργίας των μηχανών}}{\text{Χρόνος των μηχανών εκτός λειτουργίας}}$$

Απόδοση

Για τον υπολογισμό, της Απόδοσης, λαμβάνονται υπόψη, οι απώλειες σχετικές με την ταχύτητα παραγωγής και περιλαμβάνουν οποιονδήποτε παράγοντα προκαλεί λειτουργία των μηχανών σε μικρότερη από τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Τέτοιους παράγοντες αποτελούν, η φθορά των μηχανών, τα υλικά εκτός των απαιτούμενων προδιαγραφών, οι μειωμένες προώσεις των μηχανών και η αναποτελεσματικότητα των χειριστών. Η Απόδοση υπολογίζεται από τους εξής παρακάτω τύπους, ανάλογα με τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα κατά περίπτωση:

$$\text{Απόδοση} = \frac{\text{Αριθμός προιόντων που παράγονται στο πραγματικό χρόνο λειτουργίας}}{\text{Αριθμός προιόντων που θεωρητικά έπρεπε να παραχθούν στο χρόνο λειτουργίας}}$$

$$\text{Απόδοση} = \frac{\text{Ιδανικός χρόνος για την παραγωγή μιας μονάδας προιόντος}}{\text{Πραγματικός χρόνος για την παραγωγή μιας μονάδας προιόντος}}$$

$$\text{Απόδοση} = \frac{\text{Πραγματικός ρυθμός παραγωγής}}{\text{Ιδανικός ρυθμός παραγωγής}}$$

Ποιότητα

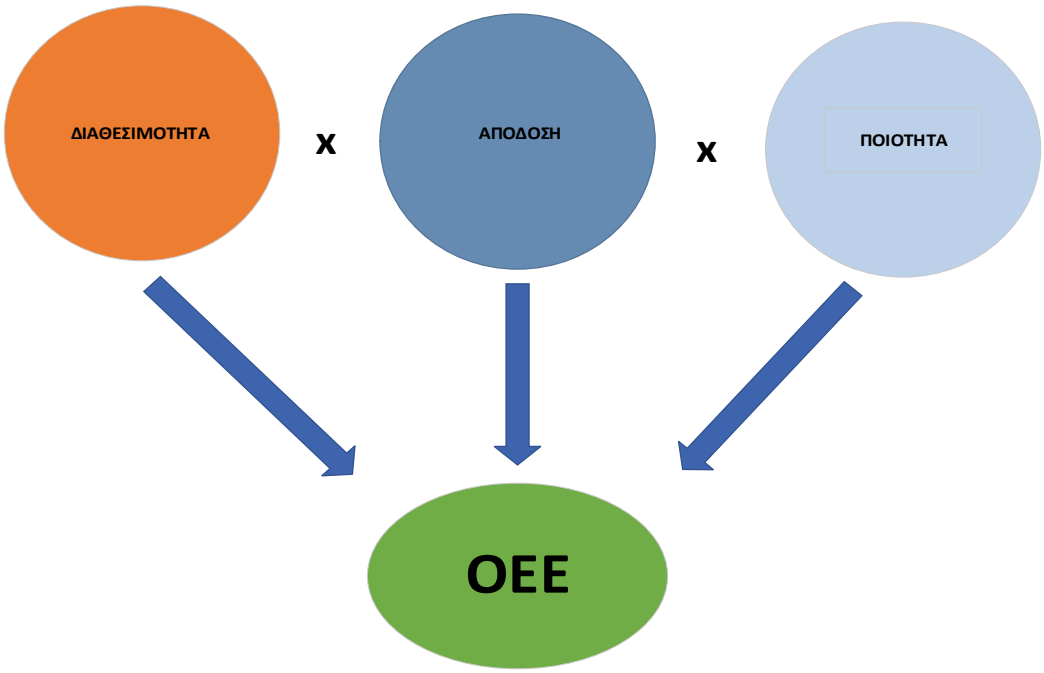
Για τον υπολογισμό της Ποιότητας, λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες ποιότητας, οι οποίες προέρχονται από τα παραγόμενα κομμάτια που δεν πληρούν τα ποιοτικά πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων και των τεμαχίων που απαιτούν επιδιόρθωση. Οι απώλειες ποιότητας, αφορούν απορρίψεις κατά την προθέρμανση ή εκκίνηση των μηχανών παραγωγής και απορρίψεις κατά τη διάρκεια της σταθερής παραγωγής. Η ποιότητα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Ποιότητα} = \frac{\text{Καλά τεμάχια που παρήχθησαν}}{\text{Τεμάχια που παρήχθησαν συνολικά}}$$

Υπολογισμός της OEE

Εφόσον, λοιπόν, έχουν υπολογιστεί οι παραπάνω τρεις δείκτες, είναι εύκολο να γίνει ο υπολογισμός της OEE, πολλαπλασιάζοντας απλά τους δείκτες αυτούς.

OEE=Διαθεσιμότητα x Απόδοση x Ποιότητα



Εικόνα 21. OEE (Πηγή: Ίδια επεξεργασία)

7. Συμπεράσματα

Η διαχείριση των projects στη σύγχρονη εποχή απαιτεί διάφορες και ποικίλες ικανότητες για την επιτυχή περάτωσή τους. Μια από τις ικανότητες αυτές αποτελεί και η διαχείριση των εργασιών συντήρησης σε έργα μικρής είτε μεγαλύτερης κλίμακας. Έτσι, με την υιοθέτηση ενός προγράμματος Προληπτικής συντήρησης επιτυγχάνονται οφέλη όπως η επέκταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού, η αποδοτικότερη λειτουργία του η ελαχιστοποίηση των αστοχιών του. Από την άλλη πλευρά, με την υιοθέτηση ενός προγράμματος Προβλεπτικής συντήρησης τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακόμα καλύτερα από αυτά του προγράμματος Προληπτικής συντήρησης, ωστόσο θα υπάρχει και μια αύξηση στα έξοδα του εκάστοτε οργανισμού, καθώς η εφαρμογή ενός προγράμματος Προβλεπτικής συντήρησης προϋποθέτει και σημαντική χρηματοδότηση για την εκπαίδευση του προσωπικού συντήρησης και την αγορά των

κατάλληλων μέσων. Συνεπώς, οι βιομηχανίες για να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις όλο και περισσότερο αυξανόμενες απαιτήσεις στρέφονται σε ακόμα πιο προηγμένες μεθόδους και πρακτικές συντήρησης. Μια από αυτές είναι και η Total Productive Maintenance-TPM ή Ολική Παραγωγική Συντήρηση, όπου μέσω αυτής, όλα τα μέλη του οργανισμού, ανεξαρτήτως του αν αποτελούν μέλη του τμήματος της συντήρησης, συμμετέχουν για την επίτευξη κοινών στόχων. Οι εργαζόμενοι έχοντας σαν κοινούς στόχους την εξάλειψη των ατυχημάτων, την εξάλειψη των ελλαττωματικών προϊόντων και των βλαβών στις μηχανές επιτυγχάνουν σημαντικά αποτελέσματα, όπως αύξηση της παραγωγικότητας, αύξηση της ποιότητας, μείωση στο κόστος συντήρησης, βελτίωση στις συνθήκες που σχετίζονται με την υγιεινή και ασφάλεια αλλά και στο ηθικό των εργαζομένων του εκάστοτε οργανισμού. Η υιοθέτηση ενός προγράμματος TPM σε έναν οργανισμό, σε συνδυασμό με την εφαρμογή ενός προγράμματος CMMS, και των κατάλληλων πρακτικών πρόβλεψης και διάγνωσης των βλαβών αποτελεί δίχως αμφιβολία μια ασφαλή οδό για αποτελεσματική συντήρηση και αύξηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού. Τέλος, ακόμα ένα σημαντικό στοιχείο της TPM το οποίο ιδιαίτερα χρήσιμο αλλά και εύκολο να εφαρμοστεί από την πλειοψηφία των εταιριών του βιομηχανικού κλάδου είναι και η OEE, καθώς αποτελεί μια μέθοδο για την παρακολούθηση και την βελτίωση της αποδοτικότητας. Η OEE, ποσοτικοποιώντας τα αποτελέσματα των παραμέτρων της Απόδοσης, της Ποιότητας και της Διαθεσιμότητας αποτελεί ένα σημείο αναφοράς για την απόδοση της βιομηχανικής μονάδας αλλά και για την βελτίωση αυτής.

8. Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

1) Σπυρίδων Μπιλαλής (2017) «Συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού στη βιομηχανία παραγωγής πλαστικών προϊόντων για τρόφιμα», Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας-Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Διαθέσιμο:http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/5081
2) Δρακόπουλος Ανδρέας (2005) «Αξιοπιστία και Προβλεπτική Συντήρηση», μεταπτυχιακή εργασία τμήματος «Οργάνωσης και Διοίκησης Βιομηχανικών Συστημάτων» Διαθέσιμο:http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/1061/Drakopoulos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3) Βαιόπουλος Κωνσταντίνος (2017) «Διαγνωστική Συντήρηση: Μέθοδοι διάγνωσης βλαβών ηλεκτρικών μηχανών σε λειτουργία» Διαθέσιμο:http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/5153
4) Κέμμος Μιχαήλ (2015) «Προβλεπτική συντήρηση με χρήση θερμοκάμερας στο εκκοκκιστήριο βάμβακος Βιολάρ Α.Ε.» Διαθέσιμο: https://ikee.lib.auth.gr/record/281733/files/%CE%91%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%A4%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%99%CE%9F%20%CE%A0%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%99%CE%9F%20%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%A3%CE%91%CE%9B%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3.pdf

5) Μουσκεφτάρα Αντωνία (2006) «Ανάπτυξη εκπαιδευτικού εργαλείου διαχείρησης συντήρησης» Διαθέσιμο:http://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1089/Mouskeftara%20Antonia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6) Ξαγοράρης Χριστόφορος (2007) «Οργάνωση συντήρησης σε χαρτοβιομηχανία» Διαθέσιμο: http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/2000/Ksagoraris.pdf?sequence=3&isAllowed=y
7) Ξυδιάς Γιώργος (2016) «Μέθοδοι συντήρησης εξοπλισμού και ασφάλειας εργαζομένων στη βιομηχανία πετρελαίου. Η περίπτωση των ΕΛ.ΠΕ.» Διαθέσιμο: http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/13337/1/DT2016-0320.pdf
8) Δήμου Θεόδωρος-Δελήπλατας Ζιώβας Σεραφείμ (2016) «Εφαρμογή πλέγματος αποφάσεων συντήρησης Decision Making Grid (DMG) σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες (Ορυχείο Νοτίου Πεδίου)» Διαθέσιμο: http://dspace.uowm.gr:8080/xmlui/handle/123456789/537
9) Ανδρέου Κώστας-Αδάμου Χριστάκης (2015) «Ανάλυση κινδύνου και διαχείριση συντήρησης στη μονάδα παραγωγής ασφαλτικού σκυροδέματος της εταιρείας Iacovou Brothers στη Λάρνακα» Διαθέσιμο: https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/21/ADAMOY%20XRISTAKHS1473.pdf?sequence=1
10) Διαμαντής Ευάγγελος (2016) «Οργάνωση συντήρησης και αξιοπιστία σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων» Διαθέσιμο: http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/9437
11) Σεβαστίδου Αικατερίνη Φαίδρα (2018) «Συντήρηση παραγωγικού εξοπλισμού-Ειδικές μέθοδοι και εφαρμογές προγραμματισμού συντήρησης και δυναμικότητας» Διαθέσιμο: http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/11314
12) Σουρβίνος Νικόλαος (2015) «Μείωση κόστους ανταλλακτικών συντήρησης σε ναυτιλιακή εταιρεία-Μελέτη περίπτωσης Cardiff Marine Inc.» Διαθέσιμο: http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/9146
13) Τσώλη Ασημίνα (2007) «Μέθοδοι συντήρησης μηχανών και σύγχρονες τάσεις» Διαθέσιμο: http://dspace.lib.ntua.gr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/691/tsolia_maintenance.pdf?sequence=1&isAllowed=y
14) Κουσκούκης Δήμος (2016) «Μελέτη εφαρμογής ολικής παραγωγικής συντήρησης σε εργοστασιακή μονάδα» Διαθέσιμο: https://apothesis.eap.gr/handle/repo/39712
15) Στρίγκος Θεόδωρος «World class manufacturing and total perfect manufacturing -Η εφαρμογή στην ελληνική βιομηχανία» Διαθέσιμο: http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/9171/Strigkos_Theodoros.pdf?sequence=1&isAllowed=y

16) Γωγάκος Στέφανος (2006) «Η προσέγγιση του Total Productive Maintenance(TPM) και η εφαρμογή του στην Αθηναϊκή Ζυθοποιία Α.Ε. (εργοστάσιο Θεσσαλονίκης)» Διαθέσιμο: http://dspace.lib.uom.gr/handle/2159/2648
17) Ροδόπουλος Κωνσταντίνος (2016) «Μέθοδοι διάγνωσης βλαβών μηχανολογικού εξοπλισμού από δυναμικές μετρήσεις σε μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας» Διαθέσιμο: https://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/39351#page/1/mode/2up

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1) U.S. Department of Energy (2010) «Operations and Maintenance-Best Practices-A guide to achieving Operational Efficiency» Διαθέσιμο: https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-13890.pdf
2) Lifetime Reliability (2011) «Maintenance best practices for outstanding equipment reliability and maintenance results» Διαθέσιμο: http://www.lifetime-reliability.com/tutorials/maintenance-planning-scheduling/MPS_Day3_World_Class_Maintenance_Planning.pdf
3) Dr. Essam Bahgat «Mechanical fault diagnosis» Διαθέσιμο: https://www.kau.edu.sa/Files/0057850/Subjects/mechanical%20fault%20diagnosis%20%20part%201.pdf
4) Lindley R. Higgins, R. Keith Mobley (2002) «Maintenance Engineering Handbook». 6th Edition. McGraw-Hill Διαθέσιμο: https://vietnamwcm.files.wordpress.com/2008/08/maintenance-engineering-handbook.pdf
5) Kailash C. Kapur, Michael Pecht (2014) «Reliability Engineering» Διαθέσιμο: http://qpr.buaa.edu.cn/__local/2/AA/B8/BB116BBD20312235B2E7F93FAD2_483F18EF_5132FE.pdf
6) U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (2009) «Maintenance Scheduling for Mechanical Equipment» Denver: Colorado Διαθέσιμο: https://www.usbr.gov/power/data/fist/fist4_1a/4-1A.pdf
7) J. Vankatesh (2007) «An introduction to Total Productive Maintenance» Διαθέσιμο: http://faculty.nps.edu/dl/sysengineering/se3302/pdf/anintroductiontototalproductivemaintenance.pdf
8) Council for Six Sigma Certification (2018) «Lean Six Sigma Black Belt Certification Training Manual» Wyoming: Buffalo Διαθέσιμο: https://www.sixsigmacouncil.org/wp-content/uploads/2018/09/Six-Sigma-Black-Belt-Certification-Training-Manual-CSSC-2018-06b.pdf