



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**«Εφαρμογές συστημάτων προβλεπτικής και προληπτικής
συντήρησης στη βιομηχανία»**

Preventive maintenance systems in the industry



Σάμπος Γεώργιος Α.Μ.: 18392042

Επιβλέποντες καθηγητές:

Δρ. Κονδύλη Αιμιλία

Σαγιάς Βασίλειος

ΑΘΗΝΑ, 2024

**ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ
ΤΟΥ ΕΙΣΗΓΗΤΗ**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/A	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΑΙΜΙΛΙΑ Μ. ΚΟΝΔΥΛΗ	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
2	ΝΑΖΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΣΑΓΓΙΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σάμπος Γεώργιος του Αθανασίου με αριθμό μητρώου 18392042 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



.....

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου Αιμιλία Κονδύλη που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και με στήριξε στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την συμπαράστασή τους όλον αυτόν τον καιρό.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τα δυνητικά οφέλη της προβλεπτικής συντήρησης στο κόστος κύκλου ζωής του εξοπλισμού σε σύγκριση με την απλή, βάσει ωρών λειτουργίας συντήρηση. Εκτελείται βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με τις μεθόδους συντήρησης, τα οφέλη από τη συντήρηση, τους τρόπους συλλογής δεδομένων για την προβλεπτική συντήρηση και τα εμπορικά λογισμικά CMMS που κυκλοφορούν. Μελετάται η περίπτωση του δυνητικού οφέλους σε κόστος και διαθεσιμότητα μιας μηχανής, αν με βάση την ανάλυση συλλεγμένων δεδομένων από τη λειτουργία δοθεί παράταση στο χρόνο μεταξύ των γενικών επιθεωρήσεων αυτής. Συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή προβλεπτικής συντήρησης με βάση την κατάσταση μπορεί να διευρύνει το χρόνο μεταξύ γενικών επισκευών μιας μηχανής και να επιτευχθεί σημαντική μείωση του κόστους κύκλου ζωής. Το κέρδος συναρτήσει του ετήσιου χρόνου λειτουργίας και του ποσοστού παράτασης μεταβάλλεται βηματιστικά, οπότε απαιτείται ανάλυση προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη εξοικονόμηση κόστους με την ελάχιστη ανάληψη πρόσθετου ρίσκου. Ένα σύγχρονο σύστημα CMMS με data monitoring και ειδικούς αλγορίθμους ανάλυσης μπορεί να ελαχιστοποιήσει το ρίσκο που μια παράταση μπορεί να ενέχει. Η πολιτική αυτή με αντίστοιχη ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε μηχανή ή μηχανολογική εγκατάσταση που εκτελεί overhauls μεγάλου κόστους και χρόνου.

Λέξεις-Κλειδιά: Συντήρηση, Προβλεπτική Συντήρηση, CMMS, Γενική Επισκευή Μηχανής.

Abstract

This thesis examines the potential benefits of predictive maintenance on equipment life cycle costs compared to simple time-hours based maintenance. A literature review is performed on maintenance methods, the benefits of maintenance, ways of collecting data for predictive maintenance and commercially available CMMS software. The case of the potential cost and availability benefits of a diesel engine if an extension in time between overhauls, based on analysis of collected operational data of that engine, is studied. It is concluded that the application of condition-based predictive maintenance can extend the time between overhauls of a machine and achieve a significant reduction in life cycle costs. The gain as a function of annual operating time and extension rate varies stepwise, so analysis is required to achieve maximum cost savings with minimum additional risk. A modern CMMS system with data monitoring and specific analysis algorithms can minimize the risk that an extension may involve. This policy with corresponding analysis can be applied to any machinery asset or engineering facility that require high cost and timely overhauls.

Keywords: Maintenance, Predictive Maintenance, CMMS, Engine Overhaul.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	4
Περίληψη	5
Abstract	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ-ΤΥΠΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	10
2.1 Ορισμός συντήρησης	10
2.2 Σημασία συντήρησης	10
2.2.1 Ασφάλεια	11
2.2.2 Λειτουργικότητα	11
2.3 Κατηγορίες τεχνικών συντήρησης	13
2.3.1 Corrective maintenance (Διορθωτική συντήρηση).....	14
2.3.2 Reactive maintenance (Αντιδραστική συντήρηση).....	16
2.3.3 Preventive maintenance (Προληπτική συντήρηση).....	17
2.3.4 Pre-determined maintenance (προ-καθορισμένη συντήρηση).....	18
2.3.5 Condition-based maintenance (CBM) (Συντήρηση βάσει κατάστασης)	18
2.3.6 Predictive maintenance (PdM) (προβλεπτική συντήρηση).....	19
2.3.7 Σύγκριση μεταξύ των τύπων συντήρησης	20
2.4 Οφέλη προβλεπτικής-προληπτικής συντήρησης.....	23
2.5 Προκλήσεις της προβλεπτικής-προληπτικής συντήρησης.....	24
2.5.1 Οικονομικά και οργανωτικά όρια	24
2.5.2 Όρια πηγής δεδομένων	25
2.5.3 Όρια δραστηριότητας επισκευής μηχανών	25
2.5.4 Όρια στην ανάπτυξη βιομηχανικών μοντέλων προβλεπτικής συντήρησης	26
3. ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: ΑΝΑΓΚΗ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ, ΟΡΓΑΝΩΣΗ...27	
3.1 Νομοθεσία-Ηθική.....	27
3.1.1 Νομοθεσία.....	27
3.1.2 Ηθική.....	29
3.2 Κόστος-Όφελος.....	32
3.2.1 Payback.....	33
3.2.2 Percent Rate of Return (PRR).....	33

3.2.3	Return on Investment (ROI)	34
3.2.4	Internal Rate of Return (IRR)	34
3.2.5	Net Present Value (NPV)	34
3.2.6	Cost-Benefit Ratio (CBR).....	34
3.3	Ανάγκη: Λόγοι εκτέλεσης προληπτικής συντήρησης	36
3.4	Βασικές παράμετροι προληπτικής συντήρησης- Τεχνικές δειγματοληψίας και μέθοδοι δείγματος	38
3.5	Μέθοδοι συλλογής δεδομένων-Τεχνικές ανάλυσης δεδομένων	43
3.5.1	Ανάλυση κραδασμών	43
3.5.2	Παρακολούθηση ακουστικής ανάλυσης	47
3.5.3	Ανάλυση υπέρυθρης θερμογραφίας	49
3.5.3	Ανάλυση δειγμάτων ελαίου	52
3.5.4	Ανάλυση παραμέτρων κυκλώματος κινητήρα	53
3.5.5	Ανάλυση υπερήχων	54
3.6	Μέθοδοι προβλέψεων	55
3.6.1	Μοντέλα με βάση τα δεδομένα.....	56
3.6.2	Μοντέλα βασισμένα στην εμπειρία	57
3.6.3	Μοντέλα βασισμένα στη φυσική	57
4.	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ-ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	59
4.1	Συστήματα Διαχείρισης Συντήρησης (MMS)	59
4.2	CMMS.....	60
4.3	Η ιστορία των CMMS	61
4.4	Οφέλη CMMS	63
4.5	Χαρακτηριστικά CMMS	69
4.6	CMMS στη βιομηχανία.....	71
4.7	Προγράμματα CMMS: Διαθεσιμότητα και κόστος.....	73
4.8	Παραδείγματα χρήσης CMMS στη βιομηχανία.....	80
5.	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	83
5.1	Ορισμός προβλήματος.....	83
5.2	Παραδοχές.....	83
5.3	Ανάλυση	84
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ	91
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πλαίσιο της αδιάκοπης προσπάθειας για αύξηση της κερδοφορίας, οι επιχειρήσεις οδηγούνται όλο και περισσότερο στον εντοπισμό μεθόδων μείωσης του κόστους. Όταν πραγματοποιούνται επενδύσεις σε εξοπλισμό στο πλαίσιο σφιχτών προϋπολογισμών, η τάση είναι συχνά να επικεντρώνονται αποκλειστικά στο άμεσο κόστος. Ωστόσο, η αρχική τιμή αποτελεί μόνο ένα κλάσμα της συνολικής οικονομικής εικόνας. Κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής, το κόστος μπορεί να είναι σημαντικό, ιδίως όταν πρόκειται για σημαντικό και τεχνολογικά προηγμένο εξοπλισμό, όπως είναι οι μηχανές. Για την κατανόηση της διαρκούς αξίας μιας μηχανής, είναι ζωτικής σημασίας να αξιολογηθεί όχι μόνο το αρχικό κόστος προμήθειας αλλά και τα έξοδα που σχετίζονται με τη συντήρηση, τη λειτουργία και την απόρριψη καθ' όλη τη διάρκεια της ιδιοκτησίας.

Κατά την αξιολόγηση του κόστους του κύκλου ζωής, η εξέταση της συντήρησης και των σχετικών δαπανών καθίσταται πρωταρχικής σημασίας, κυρίως λόγω του σημαντικού αντίκτυπου που ασκούν οι πρακτικές συντήρησης στο μακροπρόθεσμο λειτουργικό κόστος και στη συνολική διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Η επιμελής συντήρηση καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός κινητήρα όχι μόνο αποδίδει, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και αποτρέποντας τη μείωση της οικονομίας καυσίμου και των επιδόσεων που προκαλούνται από τη φθορά.

Ωστόσο, συχνά αναπτύσσεται μια πολύπλοκη δυναμική μεταξύ εκείνων που εμπλέκονται στην απόκτηση εξοπλισμού και εκείνων που είναι επιφορτισμένοι με τη λειτουργία και τη συντήρησή τους. Αυτοί οι ρόλοι, κατά καιρούς, αντιπροσωπεύουν αντικρουόμενα συμφέροντα - ο ένας επικεντρώνεται στη βραχυπρόθεσμη μεγιστοποίηση του κέρδους, που ενδεχομένως οδηγεί σε αναβαλλόμενη συντήρηση για άμεση εξοικονόμηση κόστους- ο άλλος υποστηρίζει τη συνεχή επένδυση στην ευημερία του πολύτιμου εξοπλισμού.

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί αύξηση της υιοθέτησης προσεγγίσεων προβλεπτικής συντήρησης από οργανισμούς για την επισκευή και συντήρηση των μηχανημάτων στις εγκαταστάσεις τους. Η συνακόλουθη ανάπτυξη προγραμμάτων προβλεπτικής συντήρησης χρησιμοποιείται ενεργά από το προσωπικό συντήρησης. Η τάση αυτή συνοδεύεται από εξελίξεις στην τεχνολογία παρακολούθησης της κατάστασης, και στο λογισμικό προγραμματισμένης συντήρησης, που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και μειώνουν το ενδεχόμενο ρίσκο της αναβαλλόμενης συντήρησης, καθιστώντας την υιοθέτηση της προβλεπτικής συντήρησης ιδιαίτερα ελκυστική.

Προκειμένου να τεκμηριωθεί η προσέγγιση απαιτείται εμβάθυνση στον τομέα της συντήρησης βιομηχανικών μηχανημάτων, διερευνώντας ένα φάσμα που εκτείνεται από

τις αντιδραστικές επισκευές έως τις στρατηγικές πρόβλεψης. Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να δοθεί στην αυξανόμενη υιοθέτηση της προβλεπτικής συντήρησης. Η σημασία της συντήρησης αναδεικνύεται όχι μόνο για την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα αλλά και για τις οικονομικές της επιπτώσεις. Στο πλαίσιο αυτό είναι άξιο αναφοράς στις νομοθετικές και ηθικές διαστάσεις των πρακτικών συντήρησης καθώς και στην ανάλυση κόστους-οφέλους

Για την αξιόπιστη και αποτελεσματική υιοθέτηση προβλεπτικής συντήρησης είναι απαραίτητη η συλλογή και επεξεργασία αξιόπιστης πληροφορίας. Στο πλαίσιο αυτό είναι σκόπιμη η διερεύνηση των βασικών παραμέτρων, των τεχνικών δειγματοληψίας και των μεθόδων ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην προληπτική συντήρηση, επικεντρώνοντας στις δυνατότητες πρόβλεψης διαφόρων μεθόδων, από την ανάλυση κραδασμών έως τα μοντέλα που βασίζονται στη φυσική. Για το σκοπό αυτό είναι σημαντικός ο ρόλος των συστημάτων διαχείρισης ηλεκτρονικών συστημάτων συντήρησης (CMMS) στα σύγχρονα βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Με βάση τα ανωτέρω στην παρούσα διατριβή εξετάζεται σαν μελέτη περίπτωσης το δυνητικό όφελος σε κόστος και διαθεσιμότητα μιας μηχανής αν με βάση την ανάλυση συλλεγμένων δεδομένων από τη λειτουργία δοθεί παράταση στο χρόνο μεταξύ των γενικών επιθεωρήσεων αυτής. (Camilleri)

2. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ-ΤΥΠΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

2.1 Ορισμός συντήρησης

Με τον όρο συντήρηση - γνωστή και ως τεχνική συντήρηση – αναφερόμαστε στο σύνολο των διαδικασιών και πρακτικών που αποσκοπούν στη διατήρηση ή αποκατάσταση του εξοπλισμού, των μηχανημάτων ή άλλων περιουσιακών στοιχείων μιας επιχείρησης σε λειτουργική κατάσταση. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά δραστηριοτήτων όπως οι τακτικές επιθεωρήσεις, ο καθαρισμός, η λίπανση και η αντικατάσταση φθαρμένων εξαρτημάτων. (SafetyCulture, 2023).

Το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών προσδιορίζει τη συντήρηση ως ένα φάσμα δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στη διατήρηση ή την αποκατάσταση του εξοπλισμού σε λειτουργική κατάσταση. Οι δραστηριότητες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν επιθεωρήσεις, δοκιμές, μετρήσεις, αντικαταστάσεις, προσαρμογές και επισκευές, με απώτερο στόχο τη διασφάλιση ότι ο εξοπλισμός μπορεί να εκτελεί τις απαιτούμενες λειτουργίες του. Περιλαμβάνει και τις εργασίες ρουτίνας που απαιτούνται για να διατηρηθεί μια εγκατάσταση, όπως ένα εργοστάσιο, ένα κτίριο, ή μια επίγεια εγκατάσταση σε βέλτιστη κατάσταση για τον επιδιωκόμενο σκοπό της, συμπεριλαμβανομένης της διατήρησης της χωρητικότητας και της αποδοτικότητάς της. (Wikipedia, 2023) (CIA, 2004)

2.2 Σημασία συντήρησης

Ο στόχος της συντήρησης είναι να διασφαλιστεί ότι ο εξοπλισμός λειτουργεί αποδοτικά, με ασφάλεια και αποτελεσματικά για τον προβλεπόμενο σκοπό τους. Οι αποτελεσματικές πρακτικές συντήρησης αποτελούν προϋπόθεση για τη μακροζωία του εξοπλισμού, την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας, τη μείωση του κόστους επισκευής και τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας των επιχειρήσεων και των οργανισμών. (SafetyCulture, 2023).

Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα που αποδίδει η συντήρηση ώστε να επωφεληθεί μία επιχείρηση παρουσιάζονται παρακάτω:

- Αυξημένη αξιοπιστία και διαθεσιμότητα: Με σωστή συντήρηση βελτιώνεται η αξιοπιστία του εξοπλισμού και άλλων περιουσιακών στοιχείων, μειώνοντας την πιθανότητα απροσδόκητων βλαβών ή διακοπών λειτουργίας. Αυτό, με τη σειρά του, αυξάνει τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και διασφαλίζει ότι λειτουργούν όταν χρειάζεται.
- Παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού: Η τακτική συντήρηση μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, διασφαλίζοντας ότι συνεχίζουν να εκτελούν την προβλεπόμενη λειτουργία τους για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

- Μειωμένο κόστος επισκευής: Η τακτική συντήρηση μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό θεμάτων πριν αυτά γίνουν σημαντικά προβλήματα, μειώνοντας την ανάγκη για δαπανηρές επισκευές και αντικαταστάσεις.
- Βελτιωμένη ασφάλεια: Η σωστή συντήρηση μπορεί να εντοπίσει και να μετριάσει τους κινδύνους για την ασφάλεια, μειώνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων ή τραυματισμών στο χώρο εργασίας.
- Βελτιωμένη αποδοτικότητα και παραγωγικότητα: Ο καλά συντηρημένος εξοπλισμός και τα μηχανήματα λειτουργούν αποτελεσματικότερα, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνοντας τη συνολική παραγωγικότητα.

2.2.1 Ασφάλεια

Η συντήρηση είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του εξοπλισμού, των μηχανημάτων και του συνολικού εργασιακού περιβάλλοντος. Οι ανεπαρκείς ή απύσυχες πρακτικές συντήρησης μπορεί να οδηγήσουν σε επικίνδυνες καταστάσεις, ατυχήματα και προβλήματα υγείας, θέτοντας σε κίνδυνο τόσο το προσωπικό όσο και τον χώρο εργασίας.

Βασικός στόχος της συντήρησης είναι η πρόληψη ατυχημάτων και ο μετριασμός των κινδύνων για την υγεία με τον εντοπισμό και την προληπτική αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων. Η τακτική συντήρηση λειτουργεί ως προληπτικό μέτρο κατά των καταστροφικών βλαβών του εξοπλισμού, εντοπίζοντας και διορθώνοντας πιθανά προβλήματα έγκαιρα, ώστε να αποφεύγονται σοβαρά ατυχήματα ή εκτεταμένες ζημιές.

Στο πλαίσιο αυτό σε πολλές περιπτώσεις η συντήρηση επιβάλλεται από τη νομοθεσία και διαμορφώνεται από συγκεκριμένους κανονισμούς ή πρότυπα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η συντήρηση των δοχείων πίεσης και των ανυψωτικών μηχανημάτων.

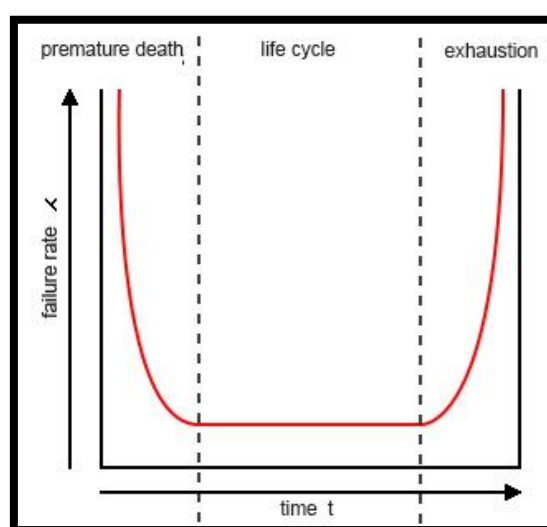
Επιπρόσθετα, η συντήρηση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της κουλτούρας ασφάλειας στο χώρο εργασίας, επηρεάζοντας τη συνολική ευαισθητοποίηση και τις πρακτικές ασφάλειας. Η συντήρηση είναι σημαντικό τμήμα της λειτουργίας μιας επιχείρησης τόσο λόγω της ευρύτητας του φάσματος των εργασιών που προϋποθέτει το οποίο απαιτεί διάθεση πόρων, όσο και λόγω της σημασίας της για τον περιορισμό των κινδύνων και τη διατήρηση ενός ασφαλούς και αξιόπιστου εργασιακού περιβάλλοντος.

2.2.2 Λειτουργικότητα

Οι ορθές πρακτικές συντήρησης είναι απαραίτητες για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων στην παραγωγή. Ωστόσο, δεν αρκεί απλώς η γνώση αυτών των πρακτικών, αλλά πρέπει επίσης να εφαρμόζονται και να αναπτύσσονται αποτελεσματικά. Για να προσδιοριστεί ο αντίκτυπος των πρακτικών συντήρησης στα αποτελέσματα των επιδόσεων, είναι

σημαντικό να συλλέγονται και να αναλύονται δεδομένα που σχετίζονται με τις δραστηριότητες συντήρησης. (R. Keith Mobley, 2008)

Παρά τις πολυάριθμες μελέτες της τελευταίας δεκαετίας που αναδεικνύουν τα οφέλη της συντήρησης, πολλές εταιρείες εξακολουθούν να μην επενδύουν επαρκείς πόρους στη συντήρηση του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεών τους. Αντ' αυτού, συχνά περιμένουν να χαλάσει ο εξοπλισμός προτού λάβουν διορθωτικά μέτρα για την επισκευή ή την αντικατάστασή του. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι κάθε κομμάτι εξοπλισμού έχει μια πεπερασμένη διάρκεια ζωής και, με τη σωστή συντήρηση και χρήση, η διάρκεια ζωής μπορεί συχνά να παραταθεί πέρα από τον αρχικό σχεδιασμό του. Η παραμέληση της συντήρησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κόστος και χρόνο διακοπής λειτουργίας, γεγονός που καθιστά απαραίτητο για τις εταιρείες να δίνουν προτεραιότητα στη συντήρηση ως βασική πτυχή της λειτουργίας τους.



Εικόνα 1: Bathtub diagram. Πηγή: (FMHOUSE, 2014)

Η σημασία της συντήρησης βασίζεται στην ανάγκη αποτροπής της πραγματικής ή επικείμενης βλάβης του εξοπλισμού. Ο απώτερος στόχος είναι να διατηρηθεί η αποδοτική λειτουργία του εξοπλισμού και των συστημάτων καθ' όλη τη διάρκεια της αναμενόμενης διάρκειας ζωής τους. Συνήθως, η απόδοση του εξοπλισμού υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου. Στην πραγματικότητα, η πιθανότητα εμφάνισης βλαβών στον εξοπλισμό ακολουθεί συνήθως μια καμπύλη σε σχήμα μπανιέρας, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1, όπου ο άξονας Y αντιπροσωπεύει τον αριθμό αστοχιών και ο άξονας X αντιπροσωπεύει το χρόνο. Η καμπύλη χωρίζεται συνήθως σε τρεις περιόδους: πρόωρος θάνατος, κύκλος ζωής και εξάντληση. Με την κατανόηση αυτών των περιόδων και την εφαρμογή αποτελεσματικών στρατηγικών συντήρησης, είναι δυνατόν να παραταθεί η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος πρόωρης βλάβης.

Το αρχικό στάδιο της καμπύλης της μανιέρας που είναι γνωστό ως πρόωρος θάνατος (premature death) χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό αστοχίας, το οποίο στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά. Οι αστοχίες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου αποδίδονται συχνά σε παράγοντες όπως ο κακός σχεδιασμός, η λανθασμένη εγκατάσταση ή η κακή χρήση.

Μετά από αυτή την περίοδο ακολουθεί η φάση του κύκλου ζωής (life cycle), όπου το ποσοστό αστοχίας παραμένει σχετικά σταθερό. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες σχετικά με τους λόγους για τους οποίους παρουσιάζεται αστοχία εξοπλισμού κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, αλλά είναι ευρέως αποδεκτό ότι η ανεπαρκής προληπτική συντήρηση αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Επίσης αποτελεί πεποίθηση ότι οι αποτελεσματικές πρακτικές προβλεπτικής και προληπτικής συντήρησης μπορούν να παρατείνουν αυτή την περίοδο.

Η τελική φάση, η περίοδος εξάντλησης (exhaustion), χαρακτηρίζεται από αυξανόμενο ρυθμό αστοχίας και οι αστοχίες κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης συμβαίνουν συνήθως τακτικά με αντίστροφη σειρά σε σχέση με τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού του εξοπλισμού.

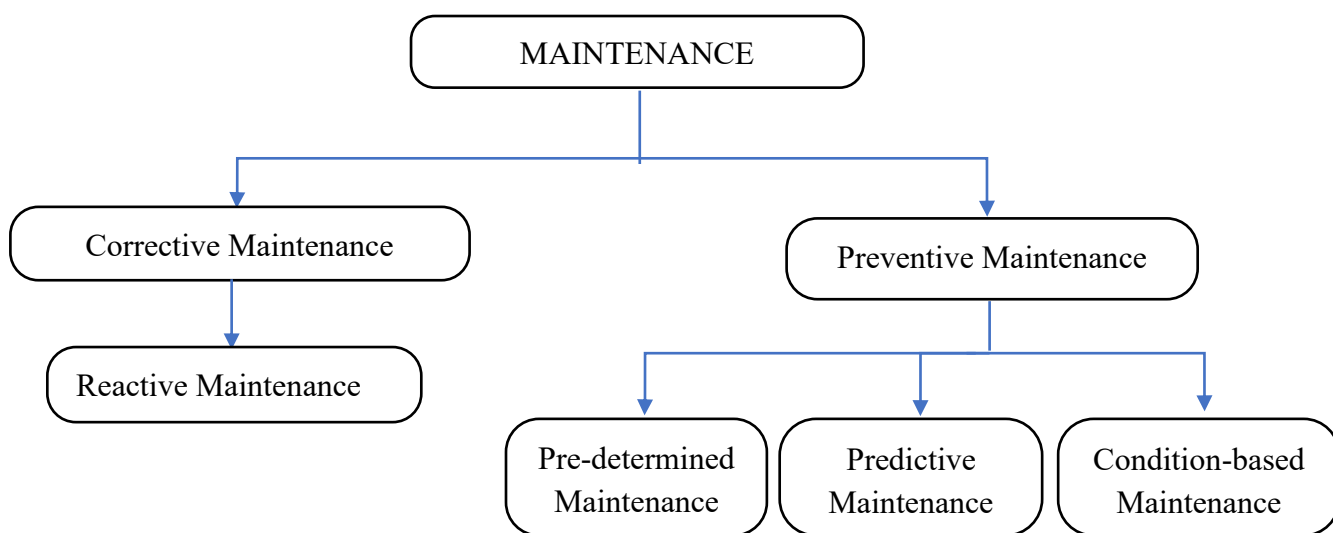
Ο εξοπλισμός απαιτεί συνήθως περιοδική συντήρηση για να διασφαλιστεί η μακροζωία του. Για παράδειγμα, ένα αυτοκίνητο απαιτεί τακτική συντήρηση, όπως η αλλαγή φίλτρων, η διατήρηση της ευθυγράμμισης του μπροστινού μέρους και η αλλαγή λαδιών ή η λίπανση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, συγκεκριμένα εξαρτήματα, όπως ο μάντας χρονισμού, πρέπει να αντικαθίστανται για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία μετά το τέλος της σχεδιαστικής διάρκειας ζωής του εξοπλισμού. Η παραμέληση των δραστηριοτήτων συντήρησης που καθορίζονται από τον σχεδιαστή μπορεί να μειώσει τη λειτουργική διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει δοθεί έμφαση στην προληπτική δράση για να διασφαλιστεί ότι ο εξοπλισμός φτάνει ή ξεπερνά τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού του μέσω της κατάλληλης προληπτικής συντήρησης. Επιπλέον, η προβλεπτική συντήρηση γίνεται όλο και πιο δημοφιλής ως συμπληρωματική προσέγγιση της προληπτικής συντήρησης. (FMHOUSE, 2014)

Εν κατακλείδι, οι αποτελεσματικές πρακτικές συντήρησης είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της μακροζωίας και της βέλτιστης απόδοσης του εξοπλισμού, την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και του κόστους επισκευής και την προώθηση της ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας σε επιχειρήσεις και οργανισμούς. Χωρίς κατάλληλη συντήρηση, ο εξοπλισμός και τα μηχανήματα μπορεί να υποβαθμιστούν γρήγορα, οδηγώντας σε βλάβες, κινδύνους για την ασφάλεια και σημαντικό κόστος. (SafetyCulture, 2023).

2.3 Κατηγορίες τεχνικών συντήρησης

Για τη συντήρηση του εξοπλισμού και των συστημάτων, υπάρχουν διάφορες πολιτικές που μπορούν να ακολουθηθούν. Οι πολιτικές υιοθετούν τύπους συντήρησης που κυμαίνονται από την διορθωτική συντήρηση (corrective maintenance), η οποία

περιλαμβάνει την επίλυση των προβλημάτων όταν αυτά εμφανίζονται, έως την προληπτική συντήρηση (preventive maintenance), η οποία περιλαμβάνει τη λήψη μέτρων για την αποτροπή της εμφάνισης προβλημάτων εξ αρχής. Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχει μια στρατηγική συντήρησης που μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες ανάγκες κάθε δεδομένης κατάστασης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται όλοι οι τύποι συντήρησης:



Σχήμα 1: Κατηγορίες συντήρησης

(Christian Krupitzera, 2020) (ToolSense, 2022)

2.3.1 *Corrective maintenance (Διορθωτική συντήρηση)*

Παρά τις προσπάθειες που καταβάλλονται μέσω του σχεδιασμού και της προληπτικής συντήρησης, τα μηχανολογικά συστήματα ενδέχεται να παρουσιάζουν κατά καιρούς βλάβες και να απαιτείται επισκευή για την επαναφορά τους στη λειτουργική τους κατάσταση. Σε αυτό το σημείο η διορθωτική συντήρηση αποτελεί σημαντική πτυχή της δραστηριότητας συντήρησης. Η διορθωτική συντήρηση περιλαμβάνει διορθωτικές ενέργειες που αναλαμβάνονται για την αποκατάσταση ενός εξοπλισμού/στοιχείου στη λειτουργική του κατάσταση λόγω βλάβης ή ελλείψεων που ανακαλύφθηκαν κατά την προληπτική συντήρηση.

Η διορθωτική συντήρηση συνήθως δεν είναι προγραμματισμένη και προκύπτει απροσδόκητα λόγω απρόβλεπτων αναγκών συντήρησης που δεν μπορούν να οργανωθούν ή να προγραμματιστούν με βάση ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα. Απαιτεί άμεση προσοχή και μπορεί να χρειαστεί να προστεθεί, να ενσωματωθεί ή να αντικαταστήσει στοιχεία εργασίας που είχαν προγραμματιστεί προηγουμένως.

Περιλαμβάνει τη διόρθωση ελαττωμάτων που διαπιστώνονται κατά τη λειτουργία του εξοπλισμού και την εκτέλεση επισκευών λόγω ατυχημάτων ή συμβάντων.

Η διορθωτική συντήρηση συνήθως κατηγοριοποιείται σε πέντε κύριους τύπους: επισκευή αστοχίας (fail-repair), διάσωση (salvage), ανακατασκευή (rebuild), εξέταση και διόρθωση (overhaul) και σέρβις (servicing).

- Η επισκευή αστοχίας (fail-repair), περιλαμβάνει την επισκευή ενός στοιχείου που αστόχησε για την επαναφορά του στη λειτουργική του κατάσταση.
- Η διάσωση, ασχολείται με την απόρριψη μη επισκευάσιμου υλικού και την επαναχρησιμοποίηση διασωθέντος υλικού από μη επισκευάσιμο εξοπλισμό.
- Η συντήρηση ανακατασκευής επικεντρώνεται στην αποκατάσταση ενός στοιχείου στην αρχική του κατάσταση όσον αφορά την απόδοση, το προσδόκιμο ζωής και την εμφάνιση, αποσυναρμολογώντας το, εξετάζοντας όλα τα εξαρτήματα, επισκευάζοντας ή αντικαθιστώντας τα φθαρμένα εξαρτήματα και δοκιμάζοντας το σύμφωνα με τις αρχικές οδηγίες παραγωγής.
- Το overhaul, περιλαμβάνει την αποκατάσταση ενός στοιχείου στην ολική κατάσταση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τα πρότυπα συντηρησιμότητας, με επιθεώρηση και επισκευή μόνο κατά περίπτωση.
- Το σέρβις, αποτελεί την ειδική επιδιόρθωση ή ρύθμιση εξαρτημάτων ή υποσυστημάτων μετά την εκτέλεση μιας διορθωτικής ενέργειας σε μηχανήματα. (Dhillon, 2002)

Αν και η διορθωτική συντήρηση μπορεί να είναι απαραίτητο στοιχείο των συνολικών προσπαθειών συντήρησης, είναι σημαντικό να εξεταστούν τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματά της.

Πλεονεκτήματα:

- Είναι συχνά λιγότερο δαπανηρή και χρονοβόρα από άλλους τύπους συντήρησης, δεδομένου ότι αντιμετωπίζει μόνο τα ζητήματα που προκύπτουν.
- Μπορεί να είναι αποτελεσματική για την αντιμετώπιση ξαφνικών βλαβών ή έκτακτων περιστατικών.
- Μπορεί να είναι η μόνη επιλογή για ορισμένο εξοπλισμό που δεν μπορεί εύκολα να συντηρηθεί προληπτικά.

Μειονεκτήματα:

- Μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερο χρόνο διακοπής λειτουργίας και απώλεια παραγωγικότητας, καθώς ο εξοπλισμός πρέπει να επισκευαστεί αφού έχει ήδη αποτύχει.
- Μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος επισκευής εάν το πρόβλημα δεν εντοπιστεί έγκαιρα και προκαλέσει περαιτέρω ζημιά. Για παράδειγμα ο δευτερεύων εξοπλισμός μπορεί να υποστεί ζημιά κατά τη διάρκεια της βλάβης του πρωτεύοντος εξοπλισμού.

- Μπορεί να είναι δύσκολο να προγραμματιστεί, δεδομένου ότι είναι απρόβλεπτη και μη προγραμματισμένη.
- Χρησιμοποιεί αναποτελεσματικά τους ανθρώπινους πόρους.

(FMHOUSE, 2014)

2.3.2 Reactive maintenance (Αντιδραστική συντήρηση)

Η αντιδραστική συντήρηση (run-to-failure) είναι ένας τύπος διαχείρισης της συντήρησης όπου η ενέργεια συντήρησης για την επισκευή του εξοπλισμού πραγματοποιείται μόνο αφού ο εξοπλισμός παρουσιάσει βλάβη ή φτάσει στο σημείο βλάβης. Αν και η αντιδραστική συντήρηση προσφέρει μέγιστη αξιοποίηση του εξοπλισμού και μέγιστη απόδοση παραγωγής με τη χρήση του στα όριά του, λίγες εταιρείες χρησιμοποιούν μια πραγματική φιλοσοφία διαχείρισης της λειτουργίας μέχρι την αστοχία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κόστος επισκευής ή αντικατάστασης ενός εξαρτήματος μετά από μια βλάβη θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι υψηλότερο από την αξία παραγωγής που λαμβάνεται με την λειτουργία μέχρι τη βλάβη. Επιπλέον, καθώς τα εξαρτήματα αρχίζουν να φθείρονται, μπορεί να προκληθεί πρόσθετη βλάβη στον εξοπλισμό, με αποτέλεσμα περαιτέρω δαπανηρές επισκευές. Για την άμβλυνση των αρνητικών επιπτώσεων από την υιοθέτηση της επιλογή της συγκεκριμένης πολιτικής, μια εταιρεία πρέπει να διατηρεί εκτεταμένα αποθέματα ανταλλακτικών για όλο τον κρίσιμο εξοπλισμό και τα εξαρτήματα ή να βασίζεται σε προμηθευτές εξοπλισμού που μπορούν να παρέχουν άμεση παράδοση του απαιτούμενου ανταλλακτικού και των εξαρτημάτων. (Yongyi Ran, 2019)

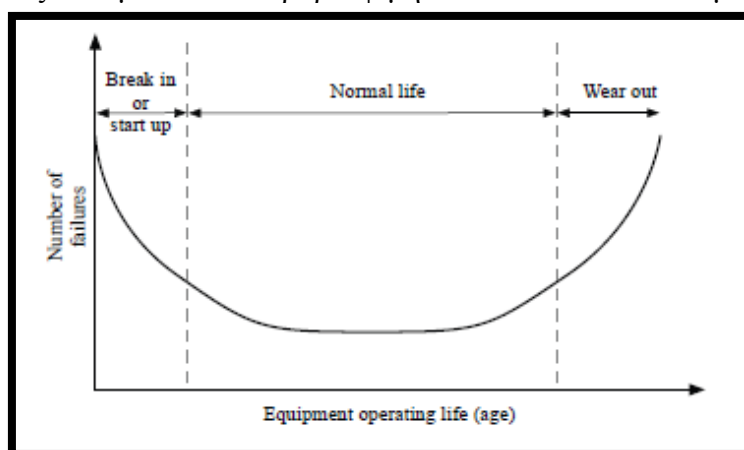
Εφόσον το μηχάνημα λειτουργεί σε ένα ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο, υπάρχει εναλλαξιμότητα (redundancy) και δεν τίθεται θέμα κρίσιμης ασφάλειας η συντήρηση μπορεί να είναι αποτελεσματική. Όμως η αντιδραστική συντήρηση έχει δύο παράγοντες που είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες στην αύξηση του κόστους: (1) ο κακός σχεδιασμός και (2) η ελλιπής επισκευή:

- Πρώτον, λόγω των χρονικών περιορισμών της παραγωγής και του τρόπου λειτουργίας των εγκαταστάσεων, οι περισσότερες επισκευές δεν προγραμματίζονται επαρκώς, με αποτέλεσμα την ελάχιστη αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων και του ανθρώπινου δυναμικού της συντήρησης. Συνήθως παρατηρείται ότι η αντιδραστική συντήρηση κοστίζει τρεις έως τέσσερις φορές περισσότερο από τις καλά σχεδιασμένες επισκευές.
- Δεύτερον, επικεντρώνεται κυρίως στην επισκευή των εμφανών συμπτωμάτων της βλάβης και όχι στην αντιμετώπιση της βαθύτερης αιτίας. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συχνότητας των επισκευών, υψηλό κόστος συντήρησης και σοβαρή μείωση της αξιοπιστίας της μηχανής ή του συστήματος. (R. Keith Mobley, 2008)

2.3.3 Preventive maintenance (Προληπτική συντήρηση)

Η προγραμματισμένη συντήρηση, γνωστή και ως προληπτική συντήρηση, περιλαμβάνει τον προγραμματισμό τακτικών δραστηριοτήτων συντήρησης για συγκεκριμένο εξοπλισμό, προκειμένου να μειωθεί η πιθανότητα βλαβών του εξοπλισμού. Αυτές οι δραστηριότητες συντήρησης εκτελούνται ακόμη και όταν ο εξοπλισμός λειτουργεί κανονικά, προκειμένου να αποφευχθούν απροσδόκητες βλάβες και το σχετικό κόστος και ο χρόνος διακοπής λειτουργίας.

Τα περισσότερα προγράμματα προληπτικής συντήρησης βασίζονται σε δραστηριότητες συντήρησης με βάση το χρόνο, θεωρώντας ότι η συμπεριφορά των βλαβών του εξοπλισμού είναι προβλέψιμη και ακολουθεί ένα μοτίβο καμπύλης



Εικόνα 2: Bathtub diagram. Πηγή: (Yongyi Ran, 2019)

μπανιέρας, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Αυτή η καμπύλη, που είναι αντίστοιχη της καμπύλης στην εικόνα 1, δείχνει ότι ο νέος εξοπλισμός είναι πιθανό να εμφανίσει υψηλά ποσοστά βλάβης λόγω προβλημάτων εγκατάστασης κατά τις πρώτες εβδομάδες λειτουργίας, ακολουθούμενα από μια μακρά περίοδο σχετικά χαμηλών ποσοστών βλάβης. Τελικά, μετά την κανονική περίοδο ζωής, η πιθανότητα αστοχίας αυξάνεται απότομα με την πάροδο του χρόνου.

Η διαδικασία προληπτικής συντήρησης περιλαμβάνει συνήθως δύο βήματα: πρώτον, την ανάλυση των χαρακτηριστικών βλάβης του εξοπλισμού με βάση δεδομένα χρονοσειρών και, δεύτερον, τον προσδιορισμό των βέλτιστων πολιτικών συντήρησης που μεγιστοποιούν την αξιοπιστία, τη διαθεσιμότητα και την απόδοση και ασφάλεια του συστήματος, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το κόστος συντήρησης.

Ενώ η προληπτική συντήρηση μπορεί να μειώσει τα έξοδα επισκευής και να μειώσει τον απρογραμματίστο χρόνο διακοπής λειτουργίας, μπορεί να οδηγήσει σε περιττή συντήρηση ή σε καταστροφικές βλάβες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φάση φθοράς του εξοπλισμού καθορίζεται με βάση το θεωρητικό ποσοστό βλάβης και όχι την πραγματική κατάσταση του συγκεκριμένου εξοπλισμού. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δαπανηρή και περιττή συντήρηση, είτε πριν από την εμφάνιση πραγματικού προβλήματος είτε αφού έχει ήδη επέλθει σημαντική βλάβη. Επιπλέον, η προσέγγιση αυτή απαιτεί πολύπλοκη διαχείριση αποθεμάτων και οδηγεί σε περισσότερες

προγραμματισμένες διακοπές λειτουργίας. Εξάλλου αν ο εξοπλισμός παρουσιάσει βλάβη πριν από τον εκτιμώμενο χρόνο φθοράς, πρέπει να επισκευαστεί αντιδραστικά, κάτι που έχει αποδειχθεί ότι είναι τρεις φορές πιο δαπανηρό από την προγραμματισμένη συντήρηση.

2.3.4 Pre-determined maintenance (προ-καθορισμένη συντήρηση)

Η προκαθορισμένη συντήρηση, είναι μια πολιτική συντήρησης που περιλαμβάνει την εκτέλεση δραστηριοτήτων συντήρησης σε ένα συγκεκριμένο κομμάτι εξοπλισμού ή συστήματος σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Τα διαστήματα βασίζονται συνήθως σε συστάσεις του κατασκευαστή, βιομηχανικά πρότυπα ή στο ιστορικό συντήρησης του παρελθόντος. Η στρατηγική αυτή αποσκοπεί στην πρόληψη της βλάβης του εξοπλισμού με τον εντοπισμό και τη διόρθωση πιθανών προβλημάτων προτού οδηγήσουν σε βλάβη ή διακοπή λειτουργίας.

Οι δραστηριότητες συντήρησης συνήθως σχεδιάζονται εκ των προτέρων και προγραμματίζονται σε περιόδους χαμηλότερης ζήτησης παραγωγής ή διακοπής λειτουργίας, όπως τα Σαββατοκύριακα ή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου διακοπής λειτουργίας. Αυτό επιτρέπει στο προσωπικό συντήρησης να εργάζεται στον εξοπλισμό χωρίς να διαταράσσεται η κανονική λειτουργία της εγκατάστασης.

Ένα πιθανό μειονέκτημα της προκαθορισμένης συντήρησης είναι ο κίνδυνος να εκτελείται η συντήρηση πολύ συχνά, γεγονός που μπορεί να αυξήσει το κόστος και τον χρόνο διακοπής λειτουργίας χωρίς να προσφέρει σημαντικά οφέλη. Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος να εκτελείται η συντήρηση πολύ σπάνια, γεγονός που μπορεί να αυξήσει την πιθανότητα βλάβης του εξοπλισμού και απρογραμμάτιστου χρόνου διακοπής λειτουργίας. Η αποτελεσματικότητα της προκαθορισμένης συντήρησης εξαρτάται από τα ακριβή και επικαιροποιημένα δεδομένα του εξοπλισμού, ένα καλά σχεδιασμένο πρόγραμμα συντήρησης και τη σωστή εκτέλεση των δραστηριοτήτων συντήρησης. (ToolSense, 2022) (MaintMaster, 2023).

2.3.5 Condition-based maintenance (CBM) (Συντήρηση βάσει κατάστασης)

Η συντήρηση με βάση την κατάσταση (CBM) είναι μια προσέγγιση συντήρησης που καθορίζει την αναγκαία συντήρηση μέσω της παρακολούθησης της πραγματικής κατάστασης του εξοπλισμού. Η στρατηγική της CBM συνεπάγεται ότι η συντήρηση πραγματοποιείται μόνο όταν ορισμένοι δείκτες δείχνουν σημάδια μείωσης της απόδοσης ή επερχόμενης βλάβης. Για τον προσδιορισμό αυτών των δεικτών, τα μηχανήματα ελέγχονται με τη χρήση μη επεμβατικών μετρήσεων, οπτικής επιθεώρησης, δεδομένων απόδοσης και προγραμματισμένων δοκιμών. Στη συνέχεια συλλέγονται δεδομένα κατάστασης σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ή συνεχώς με τη χρήση εσωτερικών αισθητήρων. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για εξοπλισμό κρίσιμης σημασίας όσο και για μη κρίσιμο εξοπλισμό.

Σε αντίθεση με την προγραμματισμένη συντήρηση που ακολουθεί προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα, η συντήρηση με βάση την κατάσταση πραγματοποιείται μόνο όταν

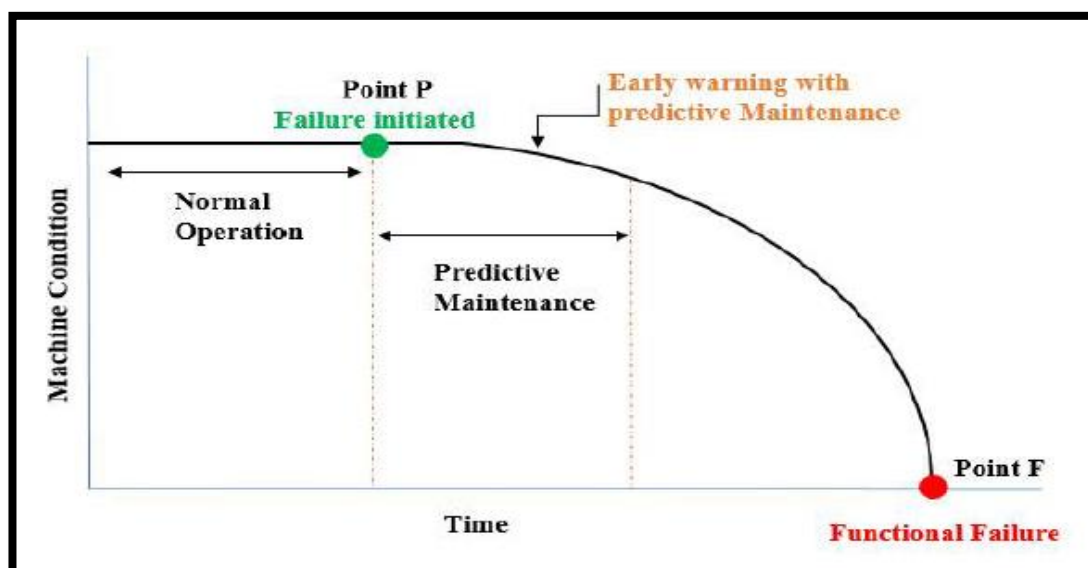
διαπιστώνεται πτώση της κατάστασης του εξοπλισμού. Η προσέγγιση αυτή αυξάνει το χρονικό διάστημα μεταξύ των επισκευών συντήρησης σε σύγκριση με την προληπτική συντήρηση, καθώς η συντήρηση πραγματοποιείται με βάση τις πραγματικές ανάγκες και όχι με βάση ένα καθορισμένο χρονοδιάγραμμα.

Για να επιτευχθεί επιτυχία με τη συντήρηση βάσει κατάστασης, υπάρχουν διάφορες προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται. Αυτές περιλαμβάνουν την εφαρμογή μιας στρατηγικής προγραμματισμένης συντήρησης που επιτρέπει τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των ανωμαλιών του εξοπλισμού με έγκαιρες εντολές παρακολούθησης εργασιών. Επίσης, είναι ζωτικής σημασίας να υπάρχουν άμεσα διαθέσιμα τα κατάλληλα ανταλλακτικά και προμήθειες όταν εντοπίζονται προβλήματα απόδοσης και απαιτούνται εργασίες συντήρησης. (Rockwell Automation, 2022).

2.3.6 Predictive maintenance (PdM) (προβλεπτική συντήρηση)

Η προβλεπτική συντήρηση δεν διαφέρει ιδιαίτερα από τη συντήρηση βάσει κατάστασης-συνθηκών. Η προβλεπτική συντήρηση (PdM) είναι μια σύγχρονη προσέγγιση της προληπτικής συντήρησης, η οποία επικεντρώνεται στην ενίσχυση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των διαδικασιών παραγωγής με την παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού και την εξασφάλιση βιώσιμης λειτουργικής διαχείρισης.

Περιλαμβάνει τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και του αριθμού των περιττών στάσεων, καθώς και τη μείωση του κόστους επισκευής μέσω της πρόβλεψης των βλαβών και της ενεργοποίησης των επεμβάσεων. Για να επιτευχθεί αυτό, οι εταιρείες παραγωγής υιοθετούν έξυπνες στρατηγικές προβλεπτικής συντήρησης. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής των στοιχείων που



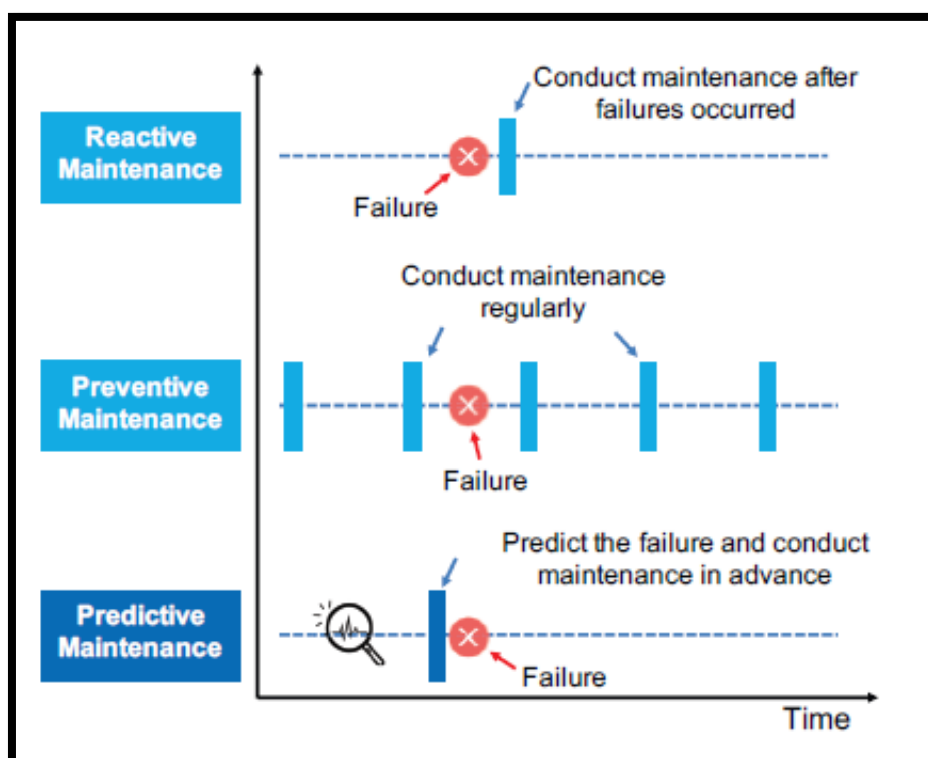
Εικόνα 3: Διάγραμμα πιθανής βλάβης που παρουσιάζει τα διαστήματα επιθεώρησης και την προβλεπτική συντήρηση. Πηγή: (Mounia Achouch, 2022)

είναι επιρρεπή σε βλάβες και τη δυνατότητα απομακρυσμένης και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθησης των βλαβών του εξοπλισμού μέσω ανίχνευσης και διάγνωσης.

Η προβλεπτική συντήρηση είναι η πιο πρόσφατη και αποτελεσματική μορφή συντήρησης, παρέχοντας μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, αυξημένη αξιοπιστία και τις πιο οικονομικά αποδοτικές και περιβαλλοντικά ορθές λύσεις. Η προληπτική (proactive) συντήρηση, μια μέθοδος συντήρησης που συμπληρώνει την προβλεπτική συντήρηση, γίνεται όλο και πιο δημοφιλής και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην αντιμετώπιση των προβλημάτων του εξοπλισμού στην πηγή τους. (Mounia Achouch, 2022)

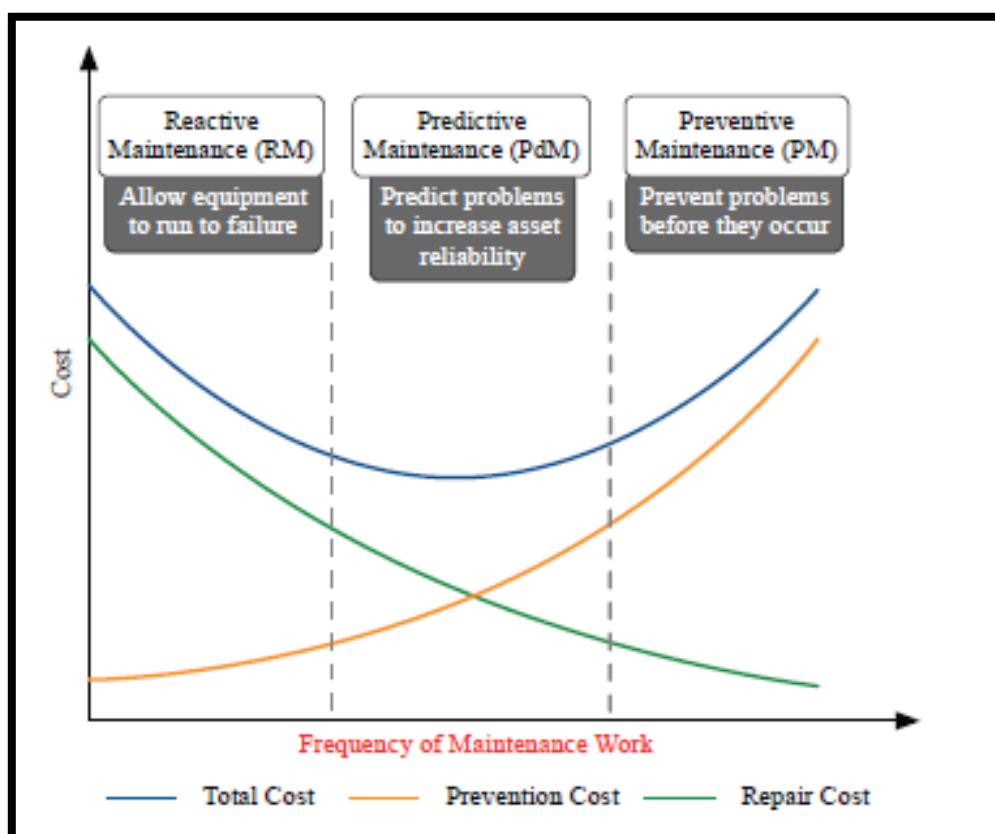
2.3.7 Σύγκριση μεταξύ των τύπων συντήρησης

Η επιλογή της ακολουθητέας πολιτικής συντήρησης από μια επιχείρηση ή έναν οργανισμό αποτελεί απόφαση που λαμβάνεται με γνώμονα οικονομοτεχνικά κριτήρια για τη βελτιστοποίηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και μπορεί να είναι διαφορετική στη δομή του οργανισμού για διαφορετικής κρισιμότητας εξοπλισμό. Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται μια σύγκριση των σχεδίων συντήρησης για την αντιδραστική συντήρηση (RM), την προληπτική συντήρηση (PM) και την προβλεπτική συντήρηση (PdM), ενώ στην εικόνα 5 συγκρίνεται το κόστος αυτών των τριών στρατηγικών συντήρησης.



Εικόνα 4: Σχέδια συντήρησης RM, PM και PdM. Πηγή (Yongyi Ran, 2019)

Η RM έχει το χαμηλότερο κόστος πρόληψης, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί μια προσέγγιση διαχείρισης της λειτουργίας μέχρι την αστοχία. Η PM έχει το χαμηλότερο κόστος επισκευής λόγω του προγραμματισμένου χρόνου διακοπής λειτουργίας, ενώ η PdM προσφέρει τον καλύτερο συμβιβασμό μεταξύ κόστους επισκευής και κόστους πρόληψης, επιτρέποντας τη διατήρηση της συχνότητας συντήρησης σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα για την αποφυγή μη προγραμματισμένων RM, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το κόστος που σχετίζεται με την υπερβολική PM. Το κόστος πρόληψης αποτελείται κυρίως από το κόστος επιθεώρησης και προληπτικής αντικατάστασης, ενώ το κόστος επισκευής αναφέρεται στο κόστος διορθωτικής αντικατάστασης μετά την εμφάνιση βλάβης.



Εικόνα 5: Σύγκριση των RM, PM και PdM σχετικά με το κόστος και την συχνότητα των εργασιών συντήρησης. Πηγή: (Yongyi Ran, 2019)

Ο Πίνακας I συνοψίζει τα οφέλη, τις προκλήσεις, τις κατάλληλες και ακατάλληλες εφαρμογές για κάθε στρατηγική συντήρησης.

	Οφέλη	Προκλήσεις	Κατάλληλες εφαρμογές	Ακατάλληλες εφαρμογές
Reactive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> -Μέγιστη αξιοποίηση και αξία παραγωγής -Χαμηλότερο κόστος πρόληψης 	<ul style="list-style-type: none"> -Απρογραμματίστος χρόνος διακοπής λειτουργίας - Υψηλό κόστος αποθεμάτων ανταλλακτικών - Πιθανή περαιτέρω βλάβη του εξοπλισμού - Υψηλότερο κόστος επισκευής 	<ul style="list-style-type: none"> -Εφεδρικός ή μη κρίσιμος εξοπλισμός -Επισκευή εξοπλισμού με χαμηλό κόστος μετά από βλάβη 	<ul style="list-style-type: none"> -Η βλάβη του εξοπλισμού δημιουργεί κίνδυνο για την ασφάλεια -Η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού 24 ώρες το 24ωρο είναι απαραίτητη
Preventive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> -Χαμηλότερο κόστος επισκευής -Λιγότερες δυσλειτουργίες του εξοπλισμού και μη προγραμματισμένες διακοπές λειτουργίας 	<ul style="list-style-type: none"> -Ανάγκη για απογραφή -Αυξημένος προγραμματισμένος χρόνος διακοπής λειτουργίας -Συντήρηση σε φαινομενικά τέλειο εξοπλισμό 	<ul style="list-style-type: none"> -Έχουν πιθανότητα αποτυχίας που αυξάνεται με το χρόνο ή τη χρήση 	<ul style="list-style-type: none"> -Τυχαίες βλάβες που δεν σχετίζονται με τη συντήρηση
Predictive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> -Ολιστική θεώρηση της υγείας του εξοπλισμού -Βελτιωμένες επιλογές ανάλυσης -Πρόληψη αστοχίας -Αποφυγή αντικατάστασης εξαρτήματος με ωφέλιμη διάρκεια ζωής 	<ul style="list-style-type: none"> -Αυξημένο αρχικό κόστος υποδομής και εγκατάστασης (π.χ. αισθητήρες) -Πιο πολύπλοκο σύστημα 	<ul style="list-style-type: none"> -Έχουν τρόπους αστοχίας που μπορούν να προβλεφθούν οικονομικά αποδοτικά με τακτική παρακολούθηση 	<ul style="list-style-type: none"> -Έλλειψη failure mode που μπορεί να προβλεφθεί με οικονομικό αποδοτικό τρόπο

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι: Σύγκριση μεταξύ των οφελών, προκλήσεων και εφαρμογών των τύπων συντήρησης. Πηγή: (Yongyi Ran, 2019)

2.4 Οφέλη προβλεπτικής-προληπτικής συντήρησης

Η προγνωστική (προβλεπτική) συντήρηση δεν προορίζεται να αντικαταστήσει τις άλλες μεθόδους διαχείρισης της συντήρησης, όπως η λειτουργία μέχρι την αποτυχία και η προληπτική συντήρηση. Αντίθετα, έχει σχεδιαστεί για να αποτελεί ένα πρόσθετο εργαλείο σε ένα ολοκληρωμένο, συνολικό πρόγραμμα συντήρησης εγκαταστάσεων. Ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι συντήρησης βασίζονται στην τακτική συντήρηση όλων των μηχανημάτων και στην ταχεία ανταπόκριση σε απροσδόκητες βλάβες, η προγνωστική συντήρηση προγραμματίζει συγκεκριμένες εργασίες συντήρησης μόνο όταν αυτές απαιτούνται πραγματικά από τον εξοπλισμό της εγκατάστασης. Αν και δεν μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη για παραδοσιακές μεθόδους συντήρησης, η προγνωστική συντήρηση μπορεί να συμβάλει στη μείωση του αριθμού των απροσδόκητων βλαβών και να παρέχει ένα πιο αξιόπιστο εργαλείο προγραμματισμού για τις εργασίες προληπτικής συντήρησης ρουτίνας.

Η προληπτική συντήρηση βασίζεται στην ιδέα ότι η τακτική παρακολούθηση της μηχανικής κατάστασης και της λειτουργικής απόδοσης των μηχανών και των συστημάτων διεργασιών θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ των επισκευών, την ελαχιστοποίηση του αριθμού και του κόστους των μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας λόγω βλαβών των μηχανών και τη βελτίωση της διαθεσιμότητας των εν λειτουργία εγκαταστάσεων. Με τη συμπερίληψη της προληπτικής συντήρησης σε ένα πρόγραμμα συνολικής διαχείρισης εγκαταστάσεων, η διαθεσιμότητα των μηχανημάτων διεργασιών μπορεί να βελτιστοποιηθεί και το κόστος συντήρησης να μειωθεί σημαντικά. Ουσιαστικά, η προγνωστική συντήρηση είναι ένα πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης που καθοδηγείται από την κατάσταση του εξοπλισμού.

Η αποτελεσματικότητα ενός προγράμματος προληπτικής συντήρησης καθορίζεται από την εφαρμογή του. Εάν το πρόγραμμα επικεντρώνεται μόνο στην πρόληψη καταστροφικών βλαβών ορισμένων συστημάτων της εγκατάστασης, θα επιτύχει μόνο αυτόν τον συγκεκριμένο στόχο. Ωστόσο, η επικέντρωση αποκλειστικά στην πρόληψη των αστοχιών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του κόστους συντήρησης. Για παράδειγμα, μια μεγάλη ολοκληρωμένη χαλυβουργία κατάφερε να μειώσει τις μη προγραμματισμένες αστοχίες μηχανών κατά πάνω από 30 τοις εκατό, αλλά η ανάλυση των δαπανών συντήρησης αποκάλυψε αύξηση κατά 60 τοις εκατό. (Moble, 2002)

2.5 Προκλήσεις της προβλεπτικής-προληπτικής συντήρησης

Η προβλεπτική συντήρηση και η προληπτική συντήρηση είναι δύο στενά συνδεδεμένες στρατηγικές συντήρησης. Ενώ η προληπτική συντήρηση (PM) προγραμματίζεται βάσει ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος, η προβλεπτική συντήρηση (PdM) βασίζεται σε δεδομένα πραγματικής κατάστασης του εξοπλισμού. Οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να αλληλοσυμπληρώνονται, καθώς η PdM μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό του πότε αναμένεται να εκτελεστούν δραστηριότητες συντήρησης και η PM μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη της βλάβης του εξοπλισμού που μπορεί να μην εντοπιστεί μέσω τεχνικών PdM.

Από μια άποψη, η PdM είναι μια επέκταση της PM που προσθέτει ένα επίπεδο παρακολούθησης της κατάστασης και ανάλυσης δεδομένων για να συμβάλει στη βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων συντήρησης και στη μείωση του κόστους. Και οι δύο στρατηγικές αποσκοπούν στην αύξηση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού και στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας.

Η υιοθέτηση της προβλεπτικής συντήρησης στη βιομηχανία είναι μεν επιθυμητή, αλλά ενέχει αρκετές προκλήσεις. Παρά τη διαθεσιμότητα των αλγορίθμων προβλεπτικής συντήρησης, οι εταιρείες που θέλουν να επωφεληθούν από την τέταρτη Βιομηχανική επανάσταση που συνεπάγεται την πλήρη ψηφιοποίηση των διαδικασιών, μεθόδων και μέσων, πρέπει να σταθμίσουν τα οφέλη της προβλεπτικής συντήρησης έναντι του κόστους αγοράς των απαραίτητων οργάνων, του λογισμικού και της τεχνογνωσίας. Αυτό το μειονέκτημα είναι ιδιαίτερα έντονο στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης της προβλεπτικής συντήρησης, όταν υπάρχουν ελάχιστα ή καθόλου πραγματικά δεδομένα σχετικά με την κανονική και μη κανονική συμπεριφορά του εξοπλισμού ή όταν πρόκειται για νέα συστήματα χωρίς προηγούμενη λειτουργική εμπειρία. Ως αποτέλεσμα, οι εταιρείες μπορεί να αναγκαστούν να επενδύσουν περισσότερο σε λύσεις προληπτικής συντήρησης. Στην επιστημονική βιβλιογραφία εντοπίζονται τέσσερις ομάδες προκλήσεων, δηλαδή οικονομικά και οργανωτικά όρια, όρια πηγής δεδομένων, όρια δραστηριότητας επισκευής μηχανών και όρια στην ανάπτυξη βιομηχανικών μοντέλων προγνωστικής συντήρησης.

2.5.1 Οικονομικά και οργανωτικά όρια

Όταν εξετάζουν το ενδεχόμενο εφαρμογής της προβλεπτικής συντήρησης, οι επιχειρήσεις πρέπει να λάβουν υπόψη τους το αναμενόμενο κόστος που συνδέεται με αυτή τη νέα επένδυση. Για την ουσιαστική και αποτελεσματική εφαρμογή απαιτούνται δαπάνες που σχετίζονται με την εγκατάσταση αισθητήρων, την ανάκτηση και αποθήκευση των δεδομένων, την προετοιμασία και τη συντήρηση μοντέλων, καθώς και τις δραστηριότητες συντήρησης. Το κόστος αυτό μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα και ο τύπος του εξοπλισμού και των αντίστοιχων αισθητήρων, οι αμοιβές συμβούλων, το κόστος εγκατάστασης και η διαθεσιμότητα τεχνογνωσίας εσωτερικά ή εξωτερικά.

Για να προσδιοριστεί η σκοπιμότητα της εισαγωγής της προβλεπτικής συντήρησης, μπορεί να υπολογιστεί μια προβλεπόμενη απόδοση της επένδυσης (ROI), λαμβάνοντας υπόψη την αξία των αποτελεσμάτων της προληπτικής συντήρησης, τον χρόνο απόσβεσης και το σχετικό κόστος. Η οικονομική λογική της χρήσης και της δυνατότητας εφαρμογής της προβλεπτικής συντήρησης εξαρτάται επίσης από το μέγεθος και τον τύπο της επιχείρησης όπου εισάγεται.

2.5.2 Όρια πηγής δεδομένων

Η ύπαρξη σχετικών δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη ενός μοντέλου διαχείρισης διαδικασιών παραγωγής. Ωστόσο, οι εταιρείες σπάνια διαθέτουν όλα τα απαραίτητα δεδομένα κατά την εφαρμογή της διαχείρισης διαδικασιών παραγωγής. Ως εκ τούτου, αφού αξιοποιήσουν τα διαθέσιμα δεδομένα, οι εταιρείες πρέπει να εντοπίσουν τα κενά και να προσπαθήσουν να τα καλύψουν. Επιπλέον, η ποιότητα των υφιστάμενων πηγών δεδομένων ενδέχεται να μην ανταποκρίνεται στα απαιτούμενα πρότυπα. Σε περίπτωση που μόνο ορισμένα τμήματα των δεδομένων δεν είναι ικανοποιητικής ποιότητας, αυτό μπορεί να διορθωθεί κατά την προετοιμασία των δεδομένων, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν αρκετά σημεία δεδομένων για την επίτευξη στατιστικής σημαντικότητας και ότι το σύστημα ανίχνευσης ελαττωμάτων μπορεί να εντοπίσει αποτελεσματικά τα κρίσιμα για τη μηχανή σημεία.

Ωστόσο, μια πρόκληση προκύπτει όταν τα δεδομένα είναι αναξιόπιστα, όπως όταν οι αισθητήρες, οι ελεγκτές ή άλλες πηγές δεδομένων παρέχουν ανακριβείς ή εσφαλμένες μετρήσεις. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες προβλέψεις και σε χαμένες ανάγκες συντήρησης ή ψευδείς συναγερμούς. Επιπλέον, η λειτουργία εκτός σύνδεσης, ο χρόνος διακοπής λειτουργίας, η υποβάθμιση των οργάνων, ο θόρυβος ή η βλάβη των αισθητήρων είναι μερικές από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η τεχνολογία αισθητήρων. Ως εκ τούτου, ο καθαρισμός των δεδομένων πριν από την εφαρμογή αλγορίθμων προβλεπτικής συντήρησης είναι απαραίτητος για τη διασφάλιση ακριβών αποτελεσμάτων.

2.5.3 Όρια δραστηριότητας επισκευής μηχανών

Παρά τη δυνατότητα πρόβλεψης της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής ενός εξαρτήματος, παραμένουν προκλήσεις στην εκτέλεση της συντήρησης λόγω της εξάρτησης από την ανθρώπινη αλληλεπίδραση και της απουσίας δυνατοτήτων αυτοσυντήρησης. Η αποτελεσματικότητα της συντήρησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της ανθρώπινης διαχείρισης και των δεξιοτήτων, καθώς τα εξαρτήματα των μηχανών εξακολουθούν να απαιτούν ανθρώπινους χειριστές για τον έλεγχο και τη συντήρηση. Οι βιομηχανικές μηχανές λειτουργούν αντιδραστικά χωρίς να αμφισβητούν τις εντολές που τους δίνονται. Από την άλλη πλευρά, ο άνθρωπος προγραμματισμός εργασιών βασίζεται σε δεδομένα και εμπειρία, τα οποία μπορούν επίσης να ανακτηθούν από τις μηχανές. Ως αποτέλεσμα, ένα ευφύες στοιχείο μπορεί να προτείνει ή ακόμη και να

ξεκινήσει ενέργειες που είναι επωφελείς για την υγεία του συστήματος, την απόδοση του εξοπλισμού ή την ποιότητα των προϊόντων.

Για να επιτευχθεί η αυτονομία του εξοπλισμού, το εξάρτημα πρέπει να έχει αυτογνωσία και να είναι ικανό για αυτόνομη συντήρηση. Σε ένα σύστημα με αυτογνωσία, το εξάρτημα μπορεί να αξιολογεί την κατάστασή του με βάση τα δεδομένα που εξάγονται και αποθηκεύονται σε ένα σύστημα προληπτικής συντήρησης, να αναγνωρίζει κρίσιμες καταστάσεις και να καθορίζει αποφάσεις συντήρησης αυτόνομα. Σε αντίθεση με ένα κεντρικό σύστημα που ελέγχει πολλαπλά στοιχεία εξοπλισμού, όλες οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη λήψη αποφάσεων προληπτικής συντήρησης θα είναι κατανοητές και διαθέσιμες στο επίπεδο του εξαρτήματος. Το μηχάνημα μπορεί στη συνέχεια να σχεδιάσει το πρόγραμμα συντήρησής του ανεξάρτητα. Ωστόσο, επί του παρόντος, οι βιομηχανικές μηχανές δεν διαθέτουν αυτό το επίπεδο αυτογνωσίας και αυτοσυντήρησης.

2.5.4 Όρια στην ανάπτυξη βιομηχανικών μοντέλων προβλεπτικής συντήρησης

Μετά την ανάπτυξη ευφυών μοντέλων πρόβλεψης βλαβών, η ενσωμάτωση, η παρακολούθηση και η ενημέρωσή τους αποτελούν σημαντικές προκλήσεις. Η ενσωμάτωση αυτών των μοντέλων στις βιομηχανικές λειτουργίες είναι δύσκολη, δεδομένου ότι συνήθως αποτελεί ευθύνη μιας ομάδας πληροφορικής (IT) που είναι ξεχωριστή από την ομάδα που ανέπτυξε τα μοντέλα προβλεπτικής συντήρησης. Επιπλέον, η δημιουργία της απαραίτητης υποδομής IT για τη συντήρηση των αγωγών δεδομένων μπορεί να είναι μια χρονοβόρα διαδικασία που συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τον προγραμματισμό του έργου. Το στάδιο της παρακολούθησης περιλαμβάνει τη διασφάλιση της τακτικής ενημέρωσης του μοντέλου μέσω ενός βρόχου ανατροφοδότησης, ο οποίος χρησιμοποιεί τα εισερχόμενα δεδομένα ως εισροές μάθησης. Ωστόσο, η συνεχής επανεκπαίδευση των μοντέλων πρόβλεψης έχει το μειονέκτημα ότι μειώνει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, καθώς δεν υπάρχει επαλήθευση της ακεραιότητας και της συνέπειας των δεδομένων στην παραγωγή. Αυτό θα μπορούσε να εισάγει ακραίες τιμές και να αλλοιώσει τις προβλέψεις με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, η επικαιροποίηση των μοντέλων είναι απαραίτητη για την αποτροπή της εννοιολογικής παρέκκλισης στα μοντέλα μηχανικής μάθησης. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή είναι πιο περίπλοκη από τις παραδοσιακές ενημερώσεις λογισμικού, καθώς απαιτεί την ταυτόχρονη τροποποίηση του κώδικα, του μοντέλου και των δεδομένων. (Mounia Achouch, 2022)

3. ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ: ΑΝΑΓΚΗ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ, ΟΡΓΑΝΩΣΗ

3.1 Νομοθεσία-Ηθική

3.1.1 Νομοθεσία

Η νομοθεσία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συντήρηση, καθώς θέτει κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα για τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να συντηρούνται ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς.

Σε πολλούς κλάδους, υπάρχουν νόμοι και κανονισμοί που απαιτούν από τις εταιρείες να συντηρούν τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις σύμφωνα με ορισμένα πρότυπα. Για παράδειγμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο Οργανισμός Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (OSHA) θέτει πρότυπα για την ασφάλεια στους χώρους εργασίας, συμπεριλαμβανομένων κανονισμών για τη συντήρηση και την επιθεώρηση εξοπλισμού όπως γερανοί, ανελκυστήρες και λέβητες. (OSHA, 2010) (EU-OSHA, n.d.)

Εκτός από τους γενικούς κανονισμούς για την ασφάλεια στους χώρους εργασίας, ενδέχεται να υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί για τον κλάδο που διέπουν τις πρακτικές συντήρησης. Για παράδειγμα, η βιομηχανία τροφίμων και ποτών υπόκειται σε κανονισμούς όπως ο νόμος για τον εκσυγχρονισμό της ασφάλειας των τροφίμων (FSMA), ο οποίος επιβάλλει διαδικασίες προληπτικής συντήρησης ώστε να διασφαλίζεται ότι ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις διατηρούνται σε καλή κατάσταση λειτουργίας και απαλλαγμένες από κινδύνους μόλυνσης. (BUSINESS QUALITY CERTIFICATION, n.d.)

Υπάρχουν επίσης κανονισμοί που σχετίζονται με τη διάθεση των επικίνδυνων αποβλήτων που παράγονται από τις δραστηριότητες συντήρησης. Ο νόμος περί διατήρησης και ανάκτησης πόρων (RCRA) στις Ηνωμένες Πολιτείες, για παράδειγμα, ορίζει πρότυπα για το χειρισμό, την αποθήκευση και τη διάθεση επικίνδυνων αποβλήτων.

Η συντήρηση υπόκειται σε διάφορες νομικές απαιτήσεις που ποικίλλουν ανάλογα με τον κλάδο και τη δικαιοδοσία. Για παράδειγμα, στον αεροπορικό κλάδο, η τακτική συντήρηση των αεροσκαφών είναι υποχρεωτική για να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η αξιοπιστία τους. Οι κανονισμοί που διέπουν τη συντήρηση αεροσκαφών καθορίζονται από τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας (ΔΟΠΑ) και εφαρμόζονται από τις εθνικές αεροπορικές αρχές.

Ομοίως, η φαρμακευτική βιομηχανία υπόκειται σε αυστηρούς κανονισμούς που αφορούν τη συντήρηση και τη βαθμονόμηση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην παραγωγή φαρμάκων. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών (FDA) έχει θεσπίσει κανονισμούς για τους φαρμακοβιομήχανους,

συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων για τη συντήρηση και τη βαθμονόμηση του εξοπλισμού.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία, οι κανονισμοί που σχετίζονται με τη συντήρηση επικεντρώνονται στην ασφάλεια των οχημάτων. Για παράδειγμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, η National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) απαιτεί από τους κατασκευαστές να παρέχουν προγράμματα συντήρησης για τα οχήματα και να ανακαλούν τα οχήματα όταν προκύπτουν ζητήματα ασφάλειας.

Συνολικά, οι κανονισμοί συντήρησης χρησιμεύουν για να διασφαλίζουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία του εξοπλισμού και των συστημάτων σε διάφορες βιομηχανίες. Η μη συμμόρφωση με τους κανονισμούς συντήρησης μπορεί να οδηγήσει σε πρόστιμα, νομικές ενέργειες και βλάβη της φήμης μιας εταιρείας.

Στην Ελλάδα, υπάρχουν διάφοροι νόμοι και κανονισμοί που αφορούν τη συντήρηση, ανάλογα με τον τομέα και τον τύπο του εξοπλισμού. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:

- Νόμος 4093/2012: Αυτός ο νόμος καθορίζει το πλαίσιο για την τεχνική επιθεώρηση των κτιρίων και άλλων κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων των τακτικών επιθεωρήσεων για λόγους ασφαλείας και συντήρησης.
- Νόμος 4276/2014: Ο νόμος αυτός καλύπτει την εγκατάσταση και τη συντήρηση ανελκυστήρων και άλλου ανυψωτικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων για τακτικές επιθεωρήσεις και δοκιμές.
- Προεδρικό διάταγμα 181/2007: Αυτό το διάταγμα καθορίζει τις απαιτήσεις για την εγκατάσταση και τη συντήρηση συσκευών και εξοπλισμού αερίου, συμπεριλαμβανομένων των τακτικών επιθεωρήσεων και δοκιμών.
- Νόμος 3418/2005: Ο νόμος αυτός καλύπτει την ασφάλεια και τη συντήρηση των πάρκων ψυχαγωγίας και άλλων εγκαταστάσεων αναψυχής, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων για τακτικές επιθεωρήσεις και δοκιμές.
- Νόμος 3850/2010: Αυτός ο νόμος ορίζει τις απαιτήσεις για την εγκατάσταση και τη συντήρηση του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων των τακτικών επιθεωρήσεων και δοκιμών.
- Η ελληνική εργατική νομοθεσία (Ν. 2112/1920) ρυθμίζει την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων στους χώρους εργασίας, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης των μηχανημάτων και του εξοπλισμού για την εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών εργασίας.
- Ο Ελληνικός Αστικός Κώδικας (Ν. 4764/2020) καθορίζει τις ευθύνες και τις υποχρεώσεις των ιδιοκτητών ακινήτων όσον αφορά τη συντήρηση των κτιρίων και των εγκαταστάσεων που τους ανήκουν, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης των ανελκυστήρων, των υδραυλικών συστημάτων και των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.
- Ο Ελληνικός Οικοδομικός Κανονισμός (Προεδρικό Διάταγμα 133/1987) καθορίζει πρότυπα για την κατασκευή και συντήρηση των κτιρίων,

συμπεριλαμβανομένων κανονισμών για την πυρασφάλεια, τον εξαιρετισμό και τα συστήματα φωτισμού.

- Ο ελληνικός περιβαλλοντικός νόμος (Ν. 4014/2011) θεσπίζει κανόνες για τη συντήρηση και τη διαχείριση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης της ρύπανσης και της παρακολούθησης των εκπομπών.
- Ο Ελληνικός Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας (Προεδρικό Διάταγμα 267/2002) θέτει πρότυπα για τη συντήρηση και την ασφάλεια των οχημάτων στο δρόμο, συμπεριλαμβανομένων κανονισμών για τις τακτικές επιθεωρήσεις και τη συντήρηση των αυτοκινήτων, των λεωφορείων και των φορτηγών.

Αυτά είναι μερικά μόνο παραδείγματα από τους διάφορους νόμους και κανονισμούς στην Ελλάδα που αφορούν τη συντήρηση σε διάφορους κλάδους και τομείς. Είναι σημαντικό για τις επιχειρήσεις και τους ιδιώτες να γνωρίζουν αυτούς τους κανονισμούς και να διασφαλίζουν ότι συμμορφώνονται με αυτούς, ώστε να εξασφαλίζουν την ασφάλεια των εργαζομένων, των πελατών και του περιβάλλοντος, καθώς και να αποφεύγουν νομικές κυρώσεις και ευθύνες. (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2022)

3.1.2 Ηθική

Η επιχειρηματική ή επαγγελματική ηθική είναι ένας τομέας μελέτης που επικεντρώνεται στις ηθικές αρχές και τα ηθικά ζητήματα που προκύπτουν στον εργασιακό χώρο. Εφαρμόζεται σε όλες τις πτυχές της επαγγελματικής συμπεριφοράς, συμπεριλαμβανομένων των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ατόμων, οργανισμών, προμηθευτών, πελατών και του ευρύτερου κοινού. Τα ηθικά ζητήματα στον εργασιακό χώρο μπορεί να περιλαμβάνουν συγκρούσεις συμφερόντων, διακρίσεις, παρενόχληση, δίκαιη μεταχείριση των εργαζομένων και υπεύθυνη χρήση των πόρων.

Όσον αφορά την ατομική συμπεριφορά, η επαγγελματική δεοντολογία μπορεί να περιλαμβάνει ζητήματα όπως η ειλικρίνεια, η ακεραιότητα και η υπευθυνότητα. Για τους οργανισμούς, τα ζητήματα ηθικής μπορεί να περιλαμβάνουν την υπεύθυνη διαχείριση των πόρων, τη συμμόρφωση με νόμους και κανονισμούς και τη λογοδοσία έναντι των ενδιαφερομένων μερών.

Τα ηθικά ζητήματα στις επιχειρήσεις μπορεί επίσης να έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο, όπως οι περιβαλλοντικές ανησυχίες, οι πρακτικές δίκαιου εμπορίου και η ηθική προμήθεια υλικών. Η μελέτη της επιχειρηματικής ηθικής αποσκοπεί στην ανάπτυξη ενός πλαισίου για την αντιμετώπιση αυτών των ηθικών ζητημάτων με δίκαιο και υπεύθυνο τρόπο.

Ο κώδικας δεοντολογίας των μηχανικών έχει αναπτυχθεί και δημοσιευθεί από την Εθνική Εταιρεία Επαγγελματιών Μηχανικών (NSPE), ενώ και άλλες επαγγελματικές εταιρείες μηχανικών, όπως οι μηχανολόγοι και οι πολιτικοί μηχανικοί, έχουν επίσης θεσπίσει το δικό τους κώδικα δεοντολογίας με θεμελιώδεις αρχές παρόμοιες με αυτές της NSPE. Η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανολόγων Μηχανικών (ASME) έχει

αναπτύξει τον Κώδικα Δεοντολογίας για Μηχανικούς, ο οποίος περιλαμβάνει τις ακόλουθες θεμελιώδεις αρχές:

- Οι μηχανικοί πρέπει να θεωρούν πρωταρχικής σημασίας την ασφάλεια, την υγεία και την ευημερία του κοινού και την προστασία του περιβάλλοντος.
- Οι μηχανικοί αναλαμβάνουν μόνο εργασίες που είναι ικανοί να εκτελέσουν και παρέχουν πλήρη γνωστοποίηση των προσόντων τους.
- Οι μηχανικοί αποφεύγουν τις συγκρούσεις συμφερόντων και γνωστοποιούν κάθε σύγκρουση που μπορεί να προκύψει.
- Οι μηχανικοί διατηρούν την εμπιστευτικότητα και προστατεύουν τις πληροφορίες ιδιοκτησίας.
- Οι μηχανικοί διατηρούν και βελτιώνουν τις επαγγελματικές τους γνώσεις και δεξιότητες μέσω της δια βίου μάθησης.
- Οι μηχανικοί υποστηρίζουν και προωθούν τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης.
- Οι μηχανικοί ενεργούν με ακεραιότητα, ειλικρίνεια και επαγγελματισμό στις συναλλαγές τους με τους άλλους.

Οι αρχές αυτές έχουν ως στόχο να καθοδηγήσουν την επαγγελματική συμπεριφορά των μηχανολόγων μηχανικών και να διασφαλίσουν ότι το έργο τους εκτελείται με ακεραιότητα και προς το συμφέρον της κοινωνίας. Οι επαγγελματίες συντηρητές δεν έχουν ειδικό κώδικα δεοντολογίας και συνεπώς εμπίπτουν στον γενικό κώδικα δεοντολογίας των μηχανικών.

Στο χώρο εργασίας, το προσωπικό συντήρησης εμπιστεύονται τόσο οι εργαζόμενοι όσο και οι ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων για την εξασφάλιση ενός ασφαλούς και υγιούς εργασιακού περιβάλλοντος, καθώς και για τη διατήρηση της αξίας του εξοπλισμού. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη οι εργασίες συντήρησης να εκτελούνται με απόλυτο επαγγελματισμό, ηθική συμπεριφορά και θετική στάση. Αναμένεται ότι το προσωπικό συντήρησης δίνει πάντα προτεραιότητα στο να κάνει ό,τι είναι απαραίτητο για να διασφαλίσει την ασφαλή και παραγωγική λειτουργία.

Η επαγγελματική συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τους επαγγελματίες συντηρητές είναι γνωστά ως επαγγελματικές αξίες, δεοντολογία και στάσεις. Αυτές αποτελούνται από ηθικές αρχές συμπεριφοράς που είναι ουσιώδεις για τον καθορισμό της επαγγελματικής συμπεριφοράς, συμπεριλαμβανομένης της αφοσίωσης στην τεχνική επάρκεια, της ηθικής συμπεριφοράς (όπως ακεραιότητα, εμπιστευτικότητα, ανεξαρτησία και αντικειμενικότητα), της επαγγελματικής συμπεριφοράς (όπως υπευθυνότητα, σεβασμός, ευγένεια, επικαιρότητα και αξιοπιστία), της επιδίωξης της αριστείας (όπως δέσμευση για δια βίου μάθηση και συνεχή βελτίωση) και της κοινωνικής ευθύνης (όπως ευαισθητοποίηση και ενδιαφέρον για το δημόσιο συμφέρον).

Η PAMA, η Professional Aviation Maintenance Association, έχει περιγράψει διάφορες ηθικές αρχές για τον κλάδο της συντήρησης, συμπεριλαμβανομένης της Αρχής του Σεβασμού, η οποία τονίζει ότι πρέπει να φέρεσαι στους άλλους όπως θα ήθελες να σου

φέρονται. Η Αρχή της μη κακόβουλης συμπεριφοράς απαιτεί την αποφυγή βλάβης στις ενέργειές μας, ενώ η Αρχή της καλοσύνης συνεπάγεται τη δράση για τη βελτίωση της ευημερίας των άλλων. Η Αρχή της Ακεραιότητας υπογραμμίζει τη σημασία της επαγγελματικής συμπεριφοράς, ενώ η Αρχή της Δικαιοσύνης απαιτεί δίκαιη μεταχείριση των ανθρώπων. Η Αρχή της Χρησιμότητας κατευθύνει τα άτομα να επιλέγουν ενέργειες που προάγουν το μεγαλύτερο καλό για το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων, ενώ η Αρχή του Διπλού Αποτελέσματος ωθεί τα άτομα να επιλέγουν ενέργειες με μεγαλύτερες θετικές επιδράσεις από ό,τι αρνητικές.

Οι κώδικες δεοντολογίας για το προσωπικό συντήρησης, όπως αυτοί που δημοσιεύονται από την Professional Aviation Maintenance Association και τη Aircraft Engineers International, έχουν κοινές αρχές. Οι αρχές αυτές περιλαμβάνουν την ευθύνη των επαγγελματιών συντηρητών απέναντι στο ευρύ κοινό, την προσδοκία διατήρησης ενημερωμένων γνώσεων και άσκησης ακεραιότητας και ειλικρίνειας στην εργασία τους, καθώς και την υποχρέωση να δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια έναντι του προσωπικού οφέλους. Οι επαγγελματίες συντηρητές αναμένεται επίσης να διεκδικούν την εξουσία τους και να μην εγκρίνουν αεροσκάφη ή εξοπλισμό ως αξιόπλοα, εάν υπάρχουν αμφισβητούμενες περιστάσεις ή εάν πιέζονται από τους ανωτέρους τους.

Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα βασικής ηθικής και επαγγελματικής συμπεριφοράς που σχετίζονται με τη συντήρηση:

- Η ακριβής αναφορά δεδομένων και πληροφοριών που σχετίζονται με την απόδοση του μηχανήματος είναι ζωτικής σημασίας. Η παράλειψη αυτή, για οποιονδήποτε λόγο, θα μπορούσε να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε οικονομικές απώλειες ή σε κινδύνους για την ασφάλεια και την υγεία.
- Η διεξαγωγή ερευνών βλαβών και ατυχημάτων με επαγγελματισμό και ειλικρίνεια είναι ζωτικής σημασίας. Η παραμέληση αυτής της ευθύνης αυξάνει τον κίνδυνο επανάληψης με σοβαρότερες συνέπειες.
- Η προσπάθεια εκτέλεσης άγνωστων εργασιών χωρίς να ζητηθεί βοήθεια ή κατάλληλη εκπαίδευση αποτελεί ανήθικη συμπεριφορά που θέτει τον εαυτό σας και τους συναδέλφους σας σε κίνδυνο σοβαρών και ενδεχομένως θανατηφόρων ατυχημάτων.
- Η διοίκηση που πιέζει τους επαγγελματίες συντήρησης να μειώσουν το χρόνο συντήρησης για χάρη της αύξησης της παραγωγής είναι ένα ηθικό παράπτωμα που μπορεί να εκθέσει τους εργαζόμενους στο εργοστάσιο σε διάφορους κινδύνους.
- Η αγορά ανταλλακτικών χαμηλής ποιότητας για τη μείωση του κόστους συντήρησης συμβάλλει στην απώλεια της αξίας των μηχανημάτων και, πιο σοβαρά, προκαλεί αιφνίδιες βλάβες, αποτελώντας πηγή κινδύνων για την υγεία και τη σωματική ακεραιότητα των εργαζομένων στη συντήρηση και των χειριστών των μηχανημάτων.

Οι επαγγελματικές εταιρείες δεν επικεντρώνονται μόνο στην επαγγελματική ανάπτυξη αλλά και στην προώθηση της ηθικής συμπεριφοράς. Δημιουργούν έναν κώδικα δεοντολογίας για να τον ακολουθούν τα μέλη τους. Οι εταιρείες μηχανικών, όπως οι πολιτικοί μηχανικοί, οι μηχανολόγοι μηχανικοί και οι χημικοί μηχανικοί, έχουν δημιουργήσει τους δικούς τους κώδικες δεοντολογίας. Ομοίως, οι κοινωνίες επιχειρήσεων και διοίκησης έχουν αναπτύξει τους δικούς τους κώδικες δεοντολογίας. Οι επαγγελματίες συντηρητές απαιτούν επίσης έναν ευρέως αποδεκτό κώδικα δεοντολογίας που διέπει την επαγγελματική τους συμπεριφορά, τις στάσεις και τη δέσμευσή τους για την επιτυχία του οργανισμού τους, καθώς και για τη βιωσιμότητα της κοινωνίας και του κόσμου. (Umar M. Al-Turki, 2014)

3.2 Κόστος-Όφελος

Η πρακτική της προληπτικής συντήρησης συνεπάγεται επένδυση πόρων και κεφαλαίων. Όπως συμβαίνει με κάθε επένδυση, τα οφέλη της προληπτικής συντήρησης αναμένεται να αντισταθμίσουν το κόστος. Για να καθοριστεί η πιο αποτελεσματική προσέγγιση της προληπτικής συντήρησης και να εξασφαλιστεί η οικονομική υποστήριξή της, είναι σημαντικό να υπάρχει μια βασική κατανόηση των σχετικών οικονομικών επιπτώσεων.

Κατά τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων για προληπτική συντήρηση, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η αξία των χρημάτων διαχρονικά. Ανεξάρτητα από το αν ο οργανισμός είναι κερδοσκοπικός, μη κερδοσκοπικός, ιδιωτικός, δημόσιος ή κυβερνητικός, όλοι οι πόροι έχουν χρηματικό κόστος. Για να αναλυθεί η απόσβεση μιας επένδυσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις διαστάσεις:

- Το χρηματικό ποσό που εμπλέκεται στην ταμειακή ροή
- Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιείται η ταμειακή ροή
- Το αναμενόμενο κόστος χρήματος κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις διαστάσεις, ένας οργανισμός μπορεί να καθορίσει εάν τα οφέλη της προληπτικής συντήρησης είναι μεγαλύτερα από την απαιτούμενη επένδυση και να λάβει τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την κατανομή των πόρων.

Κατά την αξιολόγηση των επιλογών προληπτικής συντήρησης, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η διαχρονική αξία των χρημάτων. Αυτό σημαίνει ότι τα χρήματα έχουν διαφορετική αξία ανάλογα με το πότε ξοδεύονται ή εξοικονομούνται. Επιπλέον, οι προβλέψεις είναι πιο αξιόπιστες βραχυπρόθεσμα από ό,τι μακροπρόθεσμα. Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους αυτούς τους παράγοντες. Η ανάλυση της προληπτικής συντήρησης συχνά περιλαμβάνει την επιλογή μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων και τη λήψη αποφάσεων "Ναι/Όχι". Αυτές οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων είναι :

- Payback (Αποπληρωμή)
- Percent rate of return (PRR) (Απόσβεση)
- Average return on investment (ROI) (Μέση επιστροφή επένδυσης)
- Internal rate of return (IRR) (Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης επένδυσης)
- Net present value (NPV) (Καθαρά παρούσα αξία)
- Cost–benefit ratio (CBR) (Λόγος κόστους-οφέλους)

3.2.1 Payback

Η μέθοδος payback είναι μια τεχνική οικονομικής αξιολόγησης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρόνου που απαιτείται για την ανάκτηση της αρχικής επένδυσης. Για παράδειγμα, εάν μια εταιρεία επενδύσει 50000 δολάρια σε ένα όργανο ελέγχου που αποφέρει εξοικονόμηση 25000 δολαρίων ετησίως μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και αυξάνοντας την παραγωγή, η περίοδος αποπληρωμής θα είναι:

$$\frac{\$50000}{\$25000} = 2 \text{ χρόνια}$$

Αν και η ανάλυση payback είναι μια απλή μέθοδος για τον προσδιορισμό του χρόνου που απαιτείται για την ανάκτηση της αρχικής επένδυσης, έχει τους περιορισμούς της. Η μέθοδος αυτή δεν λαμβάνει υπόψη την επίπτωση του πληθωρισμού, πράγμα που σημαίνει ότι η αξία των 25000 δολαρίων που θα αποκτηθούν το δεύτερο έτος μπορεί να είναι χαμηλότερη από την αξία που θα αποκτηθεί το πρώτο έτος. Επιπλέον, η ανάλυση αποπληρωμής υποθέτει μια ομοιόμορφη ροή αποπληρωμής, παραλείποντας να λάβει υπόψη τυχόν αποδόσεις μετά την καθορισμένη περίοδο αποπληρωμής. Η επιλεγμένη περίοδος αποπληρωμής μπορεί επίσης να μην έχει λογική βάση και συνήθως καθορίζεται από τους οικονομικούς κανόνες της εταιρείας. Επιπλέον, εάν η απλή περίοδος αποπληρωμής είναι αρνητική, τότε η επένδυση είναι πιθανό να μην αξίζει να γίνει.

3.2.2 Percent Rate of Return (PRR)

Το PRR σχετίζεται με τη μέθοδο payback αλλά είναι ουσιαστικά το αντίστροφο:

$$\frac{\$25000}{\$50000} = 0.5 \text{ ή } 50\% \text{ ποσοστό απόδοσης}$$

Ο ανωτέρω συντελεστής απόδοσης, γνωστός και ως απλός συντελεστής απόδοσης, ονομάζεται έτσι επειδή παραβλέπει τον αντίκτυπο του κόστους του χρήματος με την πάροδο του χρόνου, τα αποτελέσματα του ανατοκισμού και τη λογική του καθορισμού μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου για την απόσβεση.

3.2.3 Return on Investment (ROI)

Η απόδοση της επένδυσης (ROI) παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση σε σύγκριση με την απόσβεση και το ποσοστό απόδοσης, καθώς λαμβάνει υπόψη τον αντίκτυπο της απόσβεσης και των δαπανών διάσωσης, καθώς και όλες τις περιόδους ωφέλειας.

3.2.4 Internal Rate of Return (IRR)

Η IRR είναι μια ακριβέστερη μέθοδος αξιολόγησης από αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, διότι λαμβάνει υπόψη όλες τις περιόδους της διάρκειας ζωής του έργου, λαμβάνει υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος και αναγνωρίζει τις διαφορετικές ροές κόστους ή/και απόδοσης κατά τη διάρκεια του έργου. Ωστόσο, ο υπολογισμός απαιτεί τη χρήση μακροεντολής υπολογιστικού φύλλου ή χρηματοοικονομικού υπολογιστή.

3.2.5 Net Present Value (NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value (NPV)) είναι μια χρηματοοικονομική μέθοδος που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της IRR με ευκολία εφαρμογής. Για τον υπολογισμό της NPV, προσδιορίζουμε πρώτα την αναμενόμενη ροή οικονομικών οφελών σε μια μελλοντική περίοδο. Στη συνέχεια, εκτιμούμε το κόστος κεφαλαίου για την ίδια χρονική περίοδο και προεξοφλούμε τη ροή οφέλους με αυτό το επιτόκιο. Ο όρος "καθαρό" χρησιμοποιείται επειδή το αρχικό κόστος επένδυσης αφαιρείται από την παρούσα αξία της ροής οφέλους. Μια θετική NPV υποδηλώνει ότι τα οφέλη του έργου υπερτερούν του κόστους και το έργο πρέπει να αναληφθεί. Αντίθετα, μια αρνητική NPV υποδηλώνει ότι το κόστος του έργου υπερτερεί των οφελών και δεν πρέπει να συνεχιστεί.

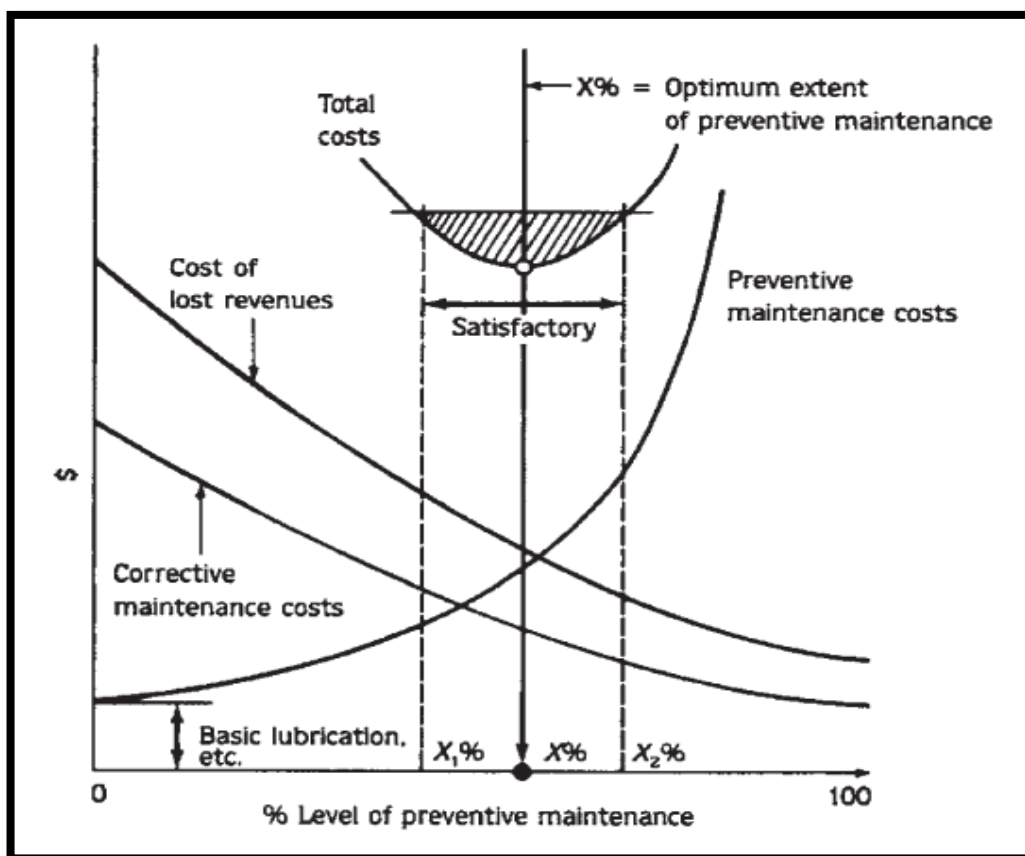
3.2.6 Cost-Benefit Ratio (CBR)

Ο λόγος κόστους-οφέλους (CBR) είναι μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας ενός έργου ή μιας επένδυσης. Υπολογίζεται διαιρώντας την παρούσα αξία των οφελών ενός έργου με την παρούσα αξία του κόστους. Το αποτέλεσμα είναι ένας λόγος που δείχνει τον αριθμό των δολαρίων σε οφέλη που λαμβάνονται για κάθε δολάριο κόστους που πραγματοποιείται. Ένας CBR μικρότερος του 1 υποδηλώνει ότι το κόστος υπερτερεί των ωφελειών, ενώ ένας CBR μεγαλύτερος του 1 υποδηλώνει ότι τα οφέλη υπερτερούν του κόστους. Ένα CBR ίσο με 1 υποδηλώνει ότι τα οφέλη και το κόστος είναι ίσα. Όπως και άλλες μέθοδοι χρηματοοικονομικής αξιολόγησης, η CBR λαμβάνει υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος και εξετάζει τη διάρκεια του έργου. Η CBR χρησιμοποιείται συχνά σε έργα του δημόσιου τομέα, όπως οι επενδύσεις σε υποδομές, όπου τα κοινωνικά οφέλη και το κόστος ενός έργου αξιολογούνται το ένα έναντι του άλλου.

Η εικόνα 6 απεικονίζει τις σχέσεις μεταξύ προληπτικής συντήρησης, διορθωτικής συντήρησης και χαμένων εσόδων παραγωγής. Το γράφημα έχει έναν κάθετο άξονα που

δείχνει το κόστος σε δολάρια και έναν οριζόντιο άξονα που αντιπροσωπεύει το ποσοστό της συνολικής συντήρησης που διατίθεται στην προληπτική συντήρηση. Η αριστερή τομή του γραφήματος αντιπροσωπεύει μηδενική προληπτική συντήρηση και η ακροδεξιά τομή αντιπροσωπεύει σχεδόν 100 τοις εκατό προληπτική συντήρηση.

Η καμπύλη στο γράφημα υποδεικνύει ότι πάντα θα υπάρχουν κάποιες βλάβες που απαιτούν διορθωτική συντήρηση και, ως εκ τούτου, η προληπτική συντήρηση δεν θα είναι ποτέ 100 τοις εκατό. Ωστόσο, όσο περισσότερες δραστηριότητες συντήρησης πραγματοποιούνται, τόσο υψηλότερο είναι το κόστος που συνδέεται με αυτές. Η κορυφή της καμπύλης αντιπροσωπεύει το βέλτιστο επίπεδο προληπτικής συντήρησης που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος συντήρησης, ενώ παράλληλα μειώνει το χαμένο κόστος παραγωγής λόγω βλαβών. Καθώς εκτελούνται περισσότερες εργασίες προληπτικής συντήρησης, το συνολικό κόστος συντήρησης αυξάνεται, αλλά το κόστος της διορθωτικής συντήρησης, του χρόνου διακοπής λειτουργίας και τα χαμένα έσοδα παραγωγής μειώνονται. Ωστόσο, το κόστος της προληπτικής συντήρησης αυξάνεται επίσης, καθώς καταλαμβάνει μεγαλύτερο ποσοστό των συνολικών δραστηριοτήτων συντήρησης.



Εικόνα 6: Η σχέση μεταξύ του κόστους και της ποσότητας της προληπτικής συντήρησης. Πηγή: (Moblely, 2002)

Στην παραπάνω εικόνα, το κόστος του χρόνου διακοπής λειτουργίας φαίνεται να είναι μεγαλύτερο από το κόστος προληπτικής ή διορθωτικής συντήρησης. Σε βιομηχανίες

όπως η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας και οι γραμμές παραγωγής όπου το κόστος διακοπής λειτουργίας υπερβαίνει τα 10000 δολάρια ανά ώρα, το κόστος του χρόνου διακοπής λειτουργίας υπερβαίνει κατά πολύ το κόστος της συντήρησης, της εργασίας ή των υλικών. Ως εκ τούτου, ο πρωταρχικός στόχος είναι να επανέλθει ο εξοπλισμός σε λειτουργία το συντομότερο δυνατό, ανεξάρτητα από το κόστος.

Σε γενικές γραμμές, η εκτέλεση περισσότερων εργασιών προληπτικής συντήρησης οδηγεί σε λιγότερες βλάβες, χαμηλότερο κόστος διορθωτικής συντήρησης και χαμηλότερο κόστος διακοπής λειτουργίας. Η πρόκληση είναι να βρεθεί το βέλτιστο σημείο ισορροπίας μεταξύ προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος.

Η εικόνα 6 δείχνει ότι είναι πιο πρακτική η λειτουργία σε μια ικανοποιητική περιοχή αντί της στόχευσης σε ένα ακριβές βέλτιστο σημείο. Με άλλα λόγια, δεν είναι απαραίτητο να βρεθεί το ακριβές σημείο ισορροπίας μεταξύ προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης για την ελαχιστοποίηση του κόστους. Το συνολικό κόστος σε οποιοδήποτε σημείο της καμπύλης αντιπροσωπεύει το άθροισμα του κόστους προληπτικής συντήρησης, του κόστους διορθωτικής συντήρησης και του κόστους απώλειας εσόδων.

Η τήρηση ακριβών στοιχείων κόστους για όλες τις προσπάθειες συντήρησης είναι απαραίτητη για την ορθή αξιολόγηση του οικονομικού κόστους και των οφελών τόσο της προληπτικής όσο και της διορθωτικής συντήρησης, καθώς και των τυχόν διαφυγόντων εσόδων λόγω διακοπών λειτουργίας. Ένα μηχανογραφημένο σύστημα πληροφοριών συντήρησης είναι ιδανικό για το σκοπό αυτό, αλλά οι μικρότεροι οργανισμοί μπορούν να διατηρούν τα δεδομένα με το χέρι. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν θα πρέπει να αναμένονται άμεσα αποτελέσματα και ενδέχεται να υπάρχουν αρχικές διακυμάνσεις στα δεδομένα. Η καθυστέρηση αυτή μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η αντίσταση στην αλλαγή που ενυπάρχει σε κάθε ηλεκτρομηχανικό σύστημα, οι καθυστερήσεις στην εφαρμογή λόγω ζητημάτων εκπαίδευσης και επικοινωνίας, το προσωπικό που συνεχίζει να ακολουθεί τις παλιές πρακτικές, οι στατιστικές διακυμάνσεις στην απόδοση του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων και οι ανακρίβειες στη συλλογή δεδομένων. (Mobley, 2002)

3.3 Ανάγκη: Λόγοι εκτέλεσης προληπτικής συντήρησης

Η εφαρμογή ενός προγράμματος προληπτικής συντήρησης είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση των εγκαταστάσεων. Εξασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός λειτουργεί αποτελεσματικά, ενισχύει την ασφάλεια των εργαζομένων και ελαχιστοποιεί την ανάγκη για δαπανηρές επισκευές στο μέλλον.

Με τη μετάβαση από μια αντιδραστική προσέγγιση στη διαχείριση των εγκαταστάσεων σε ένα πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης, μία εταιρεία έχει τη δυνατότητα να εξοικονομήσει σημαντικά χρηματικά ποσά. Η ακριβής εξοικονόμηση κόστους θα ποικίλλει ανάλογα με τους παράγοντες που αφορούν τον κάθε οργανισμό, όπως ο

κλάδος που βρίσκεται, ο εξοπλισμός και το μέγεθος των εγκαταστάσεων. Ωστόσο, είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι η αντιδραστική συντήρηση κοστίζει συνήθως τρεις έως τέσσερις φορές περισσότερο από την εφαρμογή μιας στρατηγικής προληπτικής συντήρησης. Η πραγματοποίηση της αλλαγής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οικονομικά οφέλη για μία εταιρεία.

Η εφαρμογή ενός προγράμματος προληπτικής συντήρησης προσφέρει πολλά οφέλη που συμβάλλουν στη βελτίωση της λειτουργίας και στην εξοικονόμηση κόστους για μια εταιρεία. Ακολουθούν μερικά βασικά πλεονεκτήματα:

- Αυξημένη αξιοπιστία εξοπλισμού: εξασφαλίζοντας ότι ο εξοπλισμός λειτουργεί αποτελεσματικά και αξιόπιστα. Αυτό ελαχιστοποιεί τον δαπανηρό χρόνο διακοπής της παραγωγής.
- Παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού: Η προληπτική συντήρηση του εξοπλισμού συμβάλλει στην παράταση της διάρκειας ζωής του. Με τον έγκαιρο εντοπισμό και την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων, γίνεται αποτροπή από περαιτέρω ζημιές και να αποφεύγεται η ανάγκη πρόωρης αντικατάστασης του εξοπλισμού, εξοικονομώντας κόστος αντικατάστασης.
- Ενισχυμένη ασφάλεια: Η προληπτική συντήρηση περιλαμβάνει επιθεωρήσεις και ελέγχους ασφαλείας, μειώνοντας την πιθανότητα ατυχημάτων ή επικίνδυνων καταστάσεων. Αυτό δίνει προτεραιότητα στην ευημερία των υπαλλήλων και μειώνει το ενδεχόμενο δαπανηρών τραυματισμών στο χώρο εργασίας και τις σχετικές υποχρεώσεις.
- Μείωση του κόστους: Η εφαρμογή ενός προγράμματος προληπτικής συντήρησης συμβάλλει στη μείωση του συνολικού κόστους συντήρησης. Οι τακτικά προγραμματισμένες δραστηριότητες και επιθεωρήσεις συντήρησης επιτρέπουν την αποτελεσματική χρήση πόρων και υλικών, καθώς και τη δυνατότητα αντιμετώπισης μικρών ζητημάτων πριν αυτά κλιμακωθούν σε σημαντικές και δαπανηρές επισκευές.
- Βελτιωμένη λειτουργική αποδοτικότητα: Ο καλά συντηρημένος εξοπλισμός λειτουργεί αποτελεσματικότερα, καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια και πόρους. Αυτό οδηγεί σε εξοικονόμηση κόστους σε υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και ενισχύει τη συνολική λειτουργική αποδοτικότητα, συμβάλλοντας στη βελτίωση της παραγωγικότητας.
- Κανονιστική συμμόρφωση: Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς και τα πρότυπα του κλάδου είναι απαραίτητη για πολλές επιχειρήσεις. Ένα πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης συμβάλλει στη διασφάλιση ότι ο εξοπλισμός πληροί τα απαιτούμενα πρότυπα ασφαλείας και περιβαλλοντικά πρότυπα,

αποφεύγοντας κυρώσεις ή νομικά ζητήματα που σχετίζονται με τη μη συμμόρφωση. (ABM, 2019)

3.4 Βασικές παράμετροι προληπτικής συντήρησης- Τεχνικές δειγματοληψίας και μέθοδοι δείγματος

Η προληπτική συντήρηση αποτελεί μια κρίσιμη πρακτική στον χώρο της βιομηχανικής συντήρησης και διαχείρισης εξοπλισμού. Αναφέρεται σε ένα σύνολο τεχνικών, διαδικασιών και μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο, την παρακολούθηση και τη συντήρηση εξοπλισμού και εγκαταστάσεων προληπτικά, με στόχο την πρόληψη προβλημάτων και τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας.

Στόχος της προληπτικής συντήρησης είναι η μείωση των αναπόφευκτων διακοπών της παραγωγής, η αύξηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού και η βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων. Για τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας, απαιτείται η συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων τα οποία να αντιπροσωπεύουν τη λειτουργική κατάσταση του εξοπλισμού. Αυτή η συλλογή δεδομένων μπορεί να βασίζεται από τις καταγραφές ημερολογίου του χειριστή έως την παρακολούθηση σημάτων από αισθητήρες. (Chan, 2023)

Επιπλέον, ο Selcuk (2017) διεξήγαγε μια μελέτη για να διερευνήσει τις τάσεις και τις τεχνικές στην προληπτική συντήρηση και την εφαρμογή της. Τα βασικά βήματα που εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία υλοποίησης περιλαμβάνουν την επιλογή των εξαρτημάτων, των παραμέτρων, των τεχνικών παρακολούθησης της κατάστασης και των θέσεων των αισθητήρων. Ακολουθεί ο συντονισμός του μοντέλου και η διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Η επίτευξη βελτιστοποιημένης απόδοσης μιας πολιτικής συντήρησης εξαρτάται από τη συνετή επιλογή του καταλληλότερου μείγματος τεχνολογιών και τεχνικών προληπτικής συντήρησης, προσαρμοσμένων στο επιχειρηματικό πλαίσιο μιας εταιρείας και υλοποιείται σε τρία επίπεδα:

- **Απόκτηση και ανάλυση δεδομένων:** Αυτό το επίπεδο αποτελεί τον πυρήνα ανάπτυξης μιας προγνωστικής μεθόδου. Περιλαμβάνει κρίσιμα στοιχεία, όπως ο καθαρισμός δεδομένων, η διάγνωση βλαβών και ο υπολογισμός της εναπομένουσας διάρκειας ζωής του εξοπλισμού ή των συστημάτων.
- **Διαχείριση γνώσεων:** Αυτό το επίπεδο επικεντρώνεται στην αποτελεσματική διαχείριση και αξιοποίηση της γνώσης και των γνώσεων που προκύπτουν από τη φάση απόκτησης και ανάλυσης δεδομένων.
- **Ανάλυση και απόφαση:** Με τη χρήση εργαλείων διεπαφής και οπτικοποίησης οι συντήρησης μπορούν να παρακολουθούν και να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τις γνώσεις που αποκτώνται από τα στοιχεία διαχείρισης δεδομένων και γνώσης.

Οι τεχνικές συντήρησης condition-based για βιομηχανικό εξοπλισμό και διεργασίες, κατηγοριοποιούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τη χρήση σημάτων από υπάρχοντες αισθητήρες διεργασιών, οι οποίοι θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν ανιχνευτές θερμοκρασίας αντίστασης (RTD), θερμοστοιχεία ή πομπούς πίεσης. Τα σήματα αυτά εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς:

- Επαλήθευση απόδοσης: Τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της απόδοσης των ίδιων των αισθητήρων. Η διασφάλιση της σωστής λειτουργίας των αισθητήρων είναι ζωτικής σημασίας, καθώς λανθασμένα δεδομένα αισθητήρων μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις συντήρησης.
- Διασύνδεση διεργασίας με αισθητήρα: Τα σήματα χρησιμοποιούνται επίσης για την αξιολόγηση της απόδοσης των διεπαφών μεταξύ των αισθητήρων και των διεργασιών που παρακολουθούν. Ζητήματα με αυτές τις διεπαφές μπορούν να εισάγουν ανακρίβειες στα δεδομένα του αισθητήρα.
- Προσδιορισμός προβλημάτων: Πέρα από την αξιολόγηση των αισθητήρων και των διεπαφών, τα σήματα αυτά αναλύονται για τον εντοπισμό προβλημάτων εντός της συνολικής διαδικασίας. Οι αποκλίσεις από τις αναμενόμενες ενδείξεις των αισθητήρων μπορεί να είναι ενδεικτικές ανωμαλιών της διεργασίας ή βλαβών του εξοπλισμού.

Αξιοποιώντας αυτά τα σήματα αισθητήρων, οι ομάδες συντήρησης μπορούν να παρακολουθούν προληπτικά την υγεία του εξοπλισμού, να εντοπίζουν πιθανά προβλήματα νωρίς και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για την αποφυγή δαπανηρών βλαβών και χρόνου διακοπής λειτουργίας. Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με την ευρύτερη έννοια της συντήρησης βάσει κατάστασης, όπου οι δραστηριότητες συντήρησης εκτελούνται βάσει της πραγματικής κατάστασης του εξοπλισμού και όχι βάσει σταθερών χρονοδιαγραμμάτων.

Η δεύτερη κατηγορία τεχνικών προληπτικής συντήρησης βασίζεται σε δεδομένα που λαμβάνονται από εξειδικευμένους αισθητήρες δοκιμών, όπως επιταχυνσιόμετρα, οι οποίοι τοποθετούνται στρατηγικά σε βιομηχανικό εξοπλισμό, ιδίως σε περιστρεφόμενα μηχανήματα. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν σχεδιαστεί για να μετρούν διάφορες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένου του πλάτους κραδασμών. Τα δεδομένα που συλλέγονται σχετικά με το πλάτος των κραδασμών αναλύονται στη συνέχεια με την πάροδο του χρόνου για τον εντοπισμό πρώιμων ενδείξεων υποβάθμισης του εξοπλισμού ή επικείμενης βλάβης.

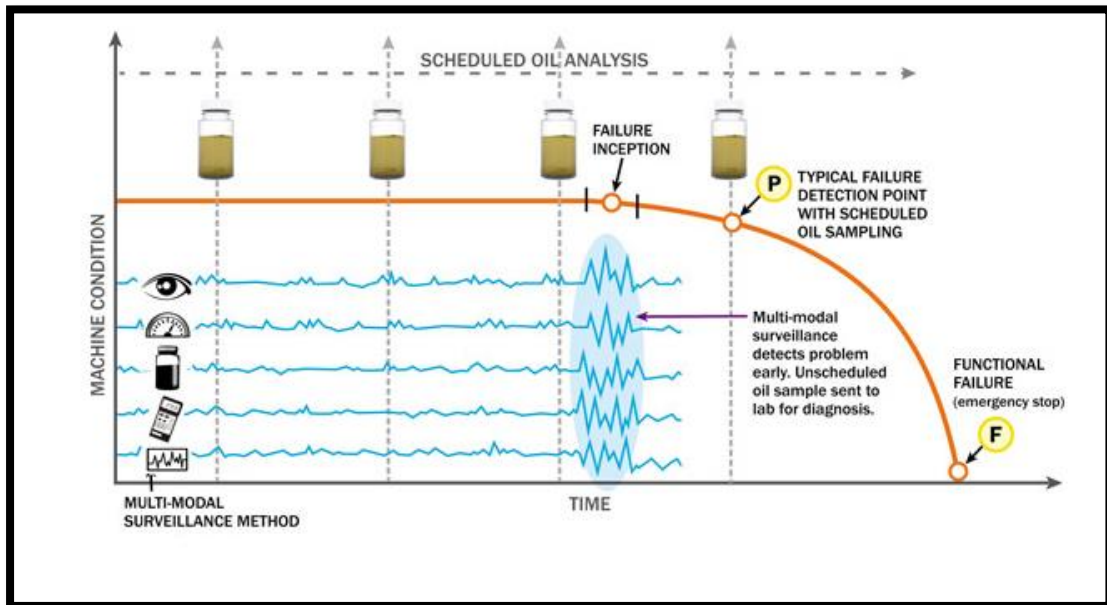
Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει επίσης τη χρήση ασύρματων αισθητήρων, οι οποίοι επεκτείνουν περαιτέρω τις δυνατότητες συλλογής δεδομένων. Αυτοί οι αισθητήρες επιτρέπουν στις εγκαταστάσεις να συλλέγουν δεδομένα για πολλαπλές παραμέτρους, που δεν περιορίζονται μόνο στο πλάτος των κραδασμών, αλλά περιλαμβάνουν επίσης παράγοντες όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η πίεση, η υγρασία και άλλα. Η ενσωμάτωση πρόσθετων παραμέτρων ενισχύει εκθετικά τις διαγνωστικές δυνατότητες,

επιτρέποντας μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της κατάστασης και της απόδοσης του εξοπλισμού.

Οι τεχνικές προληπτικής συντήρησης που συζητήθηκαν εμπίπτουν σε δύο παθητικές κατηγορίες, στις οποίες δεν εισάγεται καμία άμεση διαταραχή ή διαταραχή στον εξοπλισμό ή στην ελεγχόμενη διαδικασία. Ωστόσο, η τρίτη κατηγορία αντιπροσωπεύει μια ενεργητική προσέγγιση. Στην κατηγορία αυτή, εισάγεται ένα σκόπιμο σήμα δοκιμής στον εξοπλισμό, όπως αισθητήρες ή καλώδια, με πρωταρχικό στόχο τη μέτρηση της απόκρισης του εξοπλισμού. Αυτή η μετρούμενη απόκριση χρησιμοποιείται στη συνέχεια για διαγνωστικούς σκοπούς για την αξιολόγηση και την κατανόηση της απόδοσης του εξοπλισμού.

Για παράδειγμα, μια εφαρμογή της τρίτης κατηγορίας περιλαμβάνει τη μέτρηση του χρόνου απόκρισης αισθητήρων θερμοκρασίας, όπως RTD και θερμοζεύγη. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός βηματικού σήματος ρεύματος στον αισθητήρα και στη συνέχεια με την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο ο αισθητήρας ανταποκρίνεται σε αυτό το σήμα εισόδου. Παρομοίως, οι παρατυπίες ή ανωμαλίες των καλωδίων μπορούν να εντοπιστούν με τη χρήση μιας ανάλογης τεχνικής, γνωστής ως ανακλασομετρία στο πεδίο του χρόνου (TDR), η οποία περιλαμβάνει την έγχυση ενός σήματος στο καλώδιο και την αξιολόγηση των ανακλάσεων ή των αποκρίσεων που λαμβάνονται. Αυτή η ενεργητική προσέγγιση παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση και την ακεραιότητα του εξοπλισμού που παρακολουθείται. (H. M. Hashemian, 2011)

Παρόλη τη συντήρηση που εκτελείται, τα μηχανήματα εξακολουθούν να παρουσιάζουν βλάβες λόγω διαφόρων παραγόντων και ο χρόνος αυτών των βλαβών συχνά έχει ένα στοιχείο τυχαιότητας. Επιπλέον, η διάρκεια που απαιτείται για την ανάπτυξη αυτών των βλαβών είναι εξίσου αβέβαιη, με ορισμένα ζητήματα να εξελίσσονται σταδιακά σε διάστημα μηνών, ενώ άλλα εμφανίζονται ξαφνικά και χωρίς προειδοποίηση.



Εικόνα 7: Διάγραμμα P-F έγκαιρης προβλεπτικής συντήρησης. Πηγή: (Fitch, 2013)

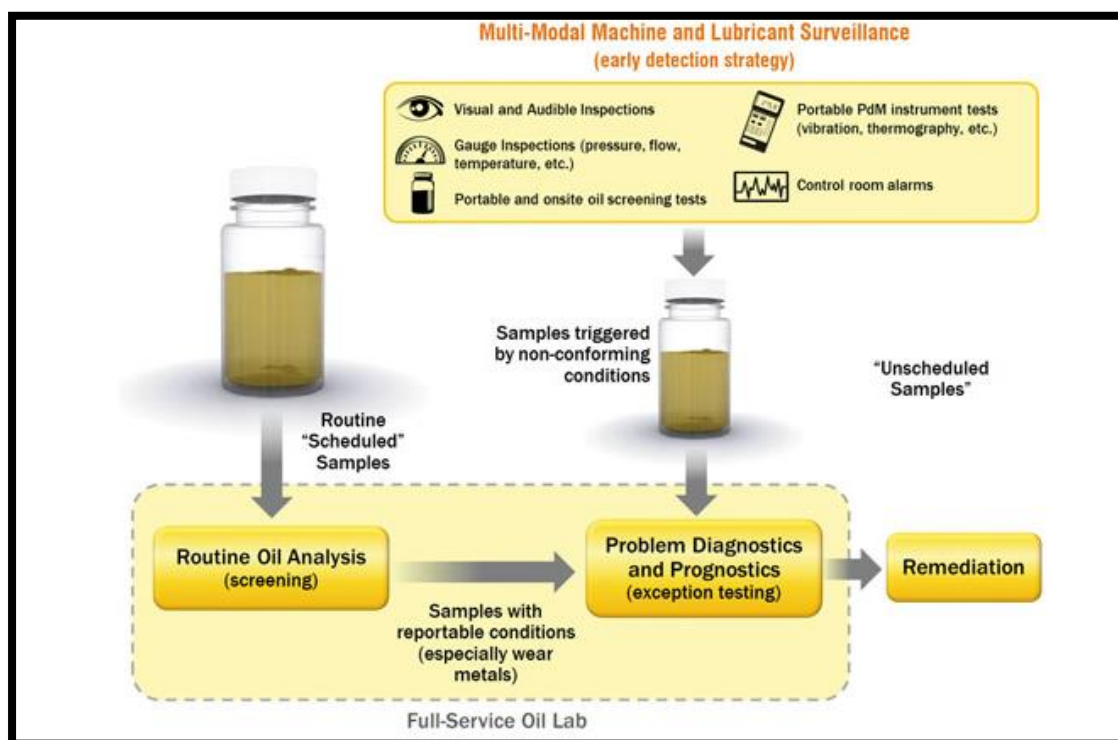
Οι βλάβες με σύντομες περιόδους ανάπτυξης τείνουν να περνούν απαρατήρητες όταν οι δοκιμές, όπως οι αναλύσεις δονήσεων και λαδιού, διεξάγονται σπάνια (ακόμη και οι μηνιαίες αναλύσεις θεωρούνται σπάνιες). Για να το κατανοήσουμε καλύτερα αυτό, μπορούμε να μελετήσουμε ένα διάγραμμα P-F όπως στην Εικόνα 7.

Σε αυτό το πλαίσιο, το "P" αντιπροσωπεύει το σημείο κατά το οποίο ανιχνεύεται αρχικά μια μη φυσιολογική κατάσταση φθοράς ή βλάβη, ενώ το "F" υποδηλώνει το λειτουργικό ή λειτουργικό τέλος του κύκλου βλάβης, που απαιτεί επισκευή ή αντικατάσταση. Η ανάλυση δειγμάτων ελαίου για παράδειγμα, θα ανιχνεύσει τη βλάβη στο χρόνο δειγματοληψίας που ενδεχομένως να έπεται ακόμη και του χρόνου τελικής αστοχίας (F). Αντίθετα, οι μέθοδοι που περιλαμβάνουν συχνή ανίχνευση όχι μόνο αναφέρουν μια αναπτυσσόμενη αστοχία, αλλά έχουν επίσης τη δυνατότητα να ανιχνεύσουν την απαρχή της σε πρώιμο ή αρχικό στάδιο.

Το σκεπτικό αυτό μπορεί να καταστήσει σημαντική μια στρατηγική "μη προγραμματισμένης" ανάλυσης ελαίου, η οποία μπορεί να υπαγορευτεί από άλλα δεδομένα που συλλέγονται συχνότερα. Η ανάλυση δειγμάτων ελαίου μπορεί να λειτουργήσει όχι μόνο σαν επιβεβαίωση της έναρξης της αστοχίας αλλά και να υποδείξει πιθανό εξάρτημα που έχει εμφανίσει το πρόβλημα.

"Μη προγραμματισμένα" δείγματα λαδιού μπορούν να σταλούν σε εργαστήριο για διεξοδική αντιμετώπιση προβλημάτων (διάγνωση και πρόγνωση). Πρόσθετα δείγματα από δευτερεύοντα σημεία δειγματοληψίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό της πηγής του προβλήματος. Στο εργαστήριο, μπορούν να διεξαχθούν εξειδικευμένες ποιοτικές και ποσοτικές δοκιμές για να χαρακτηριστεί η φύση της κατάστασης. Οι δοκιμές αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την ταυτοποίηση σωματιδίων

φθοράς μέσω μεθόδων όπως XRF, SEM-EDX, αναλυτική μεταλλογραφία και διάφορες άλλες. (Fitch, 2013)



Εικόνα 8: Συνδυασμός εργαστηριακών δεδομένων με δεδομένα επιτήρησης για μια πλήρη εικόνα της κατάστασης του μηχανήματος. Πηγή: (Fitch, 2013)

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι ο συνδυασμός μη προγραμματισμένων ελέγχων με δεδομένα υψηλής συχνότητας λήψης αποτελούν μια πρακτική που μπορεί να είναι όχι μόνο αποτελεσματική αλλά και αποδοτική για την επίτευξη της απαιτούμενης συντήρησης με τη μικρότερη διάθεση πόρων.

Τα συστήματα προληπτικής συντήρησης συχνά αξιοποιούν τη μηχανική μάθηση και την τεχνητή νοημοσύνη για να εξετάζουν λεπτομερώς τα δεδομένα αισθητήρων, τα ιστορικά αρχεία και άλλες μεταβλητές, επιτρέποντας την πρόβλεψη των απαιτήσεων συντήρησης.

Τα συγκεντρωμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μοντέλων που παράγουν αναμενόμενες τιμές παραμέτρων λειτουργίας και οι οποίες συγκρινόμενες με τις πραγματικές μπορούν να υποδηλώσουν έναρξη αστοχίας. Παράλληλα με τη συνεχή υποτύπωση χρόνων μεταξύ βλαβών σε συνάρτηση με τις παραμέτρους λειτουργίας μπορεί να εντοπιστεί ο βέλτιστος χρόνος διενέργειας της συντήρησης για την επίτευξη της μέγιστης διαθεσιμότητας για λειτουργία του εξοπλισμού στο χαμηλότερο κόστος.

3.5 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων-Τεχνικές ανάλυσης δεδομένων

Τα δεδομένα αισθητήρων αποτελούν βασικό συστατικό κάθε πρωτοβουλίας προγνωστικής συντήρησης. Οι αισθητήρες χρησιμεύουν ως μέσο για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων στο πλαίσιο της προληπτικής συντήρησης. Είναι καθοριστικοί για να μπορέσουν οι ομάδες συντήρησης να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες της προγνωστικής ανάλυσης συνδυάζοντας δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο με ιστορικά αρχεία και μοντέλα πρόβλεψης. Τέτοιοι αισθητήρες μπορεί να μετρούν θερμοκρασία, πίεση ή ροή σε μηχανήματα ή δίκτυα ρευστών.

Ειδικότερη περίπτωση αποτελούν οι αισθητήρες IoT(Internet of Things) οι οποίοι διασυνδέονται με το διαδίκτυο των πραγμάτων, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για διάφορες πτυχές της λειτουργίας του εξοπλισμού και των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Οι αισθητήρες IoT είναι αναπόσπαστο στοιχείο της προληπτικής συντήρησης, προσφέροντας δυνατότητες συλλογής και παρακολούθησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Είναι εξοπλισμένοι με ασύρματη συνδεσιμότητα και παρακολουθούν συνεχώς διάφορες παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία, η δόνηση και η υγρασία. Παρέχοντας δεδομένα κατάστασης σε πραγματικό χρόνο και επιτρέποντας την παρακολούθηση βάσει κατάστασης, οι αισθητήρες IoT διευκολύνουν την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών, επιτρέποντας τον προληπτικό προγραμματισμό συντήρησης. Οι αλγόριθμοι προγνωστικής ανάλυσης αναλύουν αυτά τα δεδομένα για να προβλέψουν τις βλάβες και τα πρότυπα του εξοπλισμού. Τα οφέλη των αισθητήρων IoT στην προγνωστική συντήρηση περιλαμβάνουν τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας, την εξοικονόμηση κόστους, τη βελτίωση της ασφάλειας, την απομακρυσμένη παρακολούθηση και την ενσωμάτωση με συστήματα διαχείρισης συντήρησης, τα οποία συμβάλλουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού και της λειτουργικής αποδοτικότητας. (OMRON, 2023)



*Εικόνα 9:
Αισθητήρας IoT.
Πηγή:*

(OMRON, 2023)

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε ορισμένες ειδικές τεχνικές και τεχνολογίες που αξιοποιούνται στην προληπτική συντήρηση:

3.5.1 Ανάλυση κραδασμών

Αισθητήρες παρακολουθούν τις δονήσεις σε περιστρεφόμενα μηχανήματα για να ανιχνεύσουν αποκλίσεις από τα τυπικά πρότυπα, σηματοδοτώντας πιθανά προβλήματα. Στον τομέα της προληπτικής συντήρησης, μια εξέχουσα τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων πραγματικού χρόνου ενσωματωμένων σε μηχανήματα ή φορητών αναλυτών που έχουν σχεδιαστεί για την παρακολούθηση των δονήσεων. Τα μηχανήματα παρουσιάζουν συνήθως σταθερά μοτίβα κραδασμών κατά τη βέλτιστη λειτουργία, γεγονός που καθιστά εφικτή την ανίχνευση ακανόνιστων μοτίβων

ενδεικτικών επικείμενων προβλημάτων. Ειδικότερα, οι αποκλίσεις στα μοτίβα κραδασμών εκδηλώνονται καθώς τα εξαρτήματα του εξοπλισμού, όπως τα ρουλεμάν και οι άξονες, υφίστανται φθορά. (PRUFTECHNIK, 2021)

Με τη συνεχή παρακολούθηση, ένα λογισμικό CMMS, όπως θα το περιγράψουμε στη συνέχεια, χρησιμοποιεί αλγόριθμους που εξετάζουν προσεκτικά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε σχέση με τους αναγνωρισμένους τρόπους βλάβης. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να διακρίνει τον βέλτιστο χρόνο για παρεμβάσεις συντήρησης. Η ανάλυση κραδασμών είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για περιστρεφόμενο εξοπλισμό υψηλών ταχυτήτων, παρέχοντας τη δυνατότητα να αποκαλύπτει ένα φάσμα προβλημάτων, όπως κακή ευθυγράμμιση, λυγισμένους άξονες, μη ισορροπημένα εξαρτήματα, χαλαρά μηχανικά στοιχεία και παρατυπίες του κινητήρα.

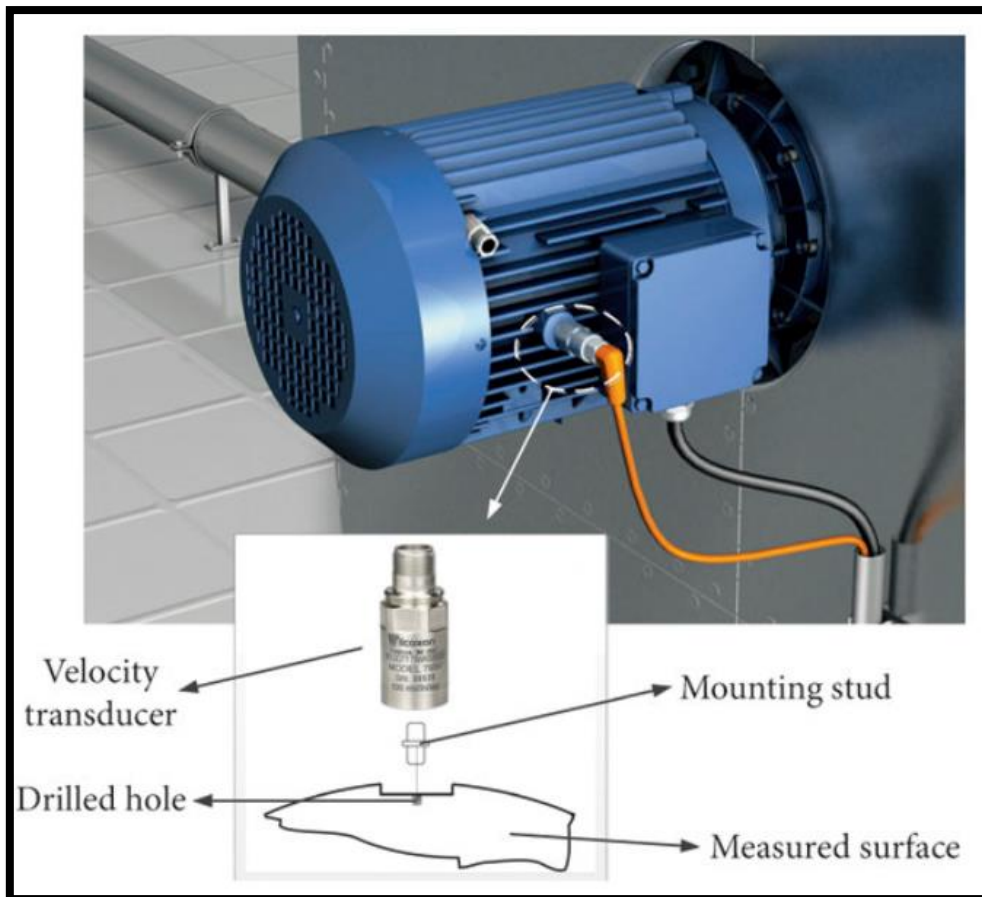


Εικόνα 10: Αισθητήρας κραδασμών. Πηγή: (PRUFTECHNIK, 2021)

Ωστόσο, η εφαρμογή αυτής της τεχνικής προληπτικής συντήρησης συνδέεται με υψηλότερο αρχικό κόστος σε σύγκριση με εναλλακτικές προσεγγίσεις τόσο λόγω των απαιτήσεων αισθητήρων ανά μηχανήμα όσο και του κόστους εγκατάστασης αυτών. Οι αισθητήρες κραδασμών διακρίνονται στους ακόλουθους τύπους:

3.5.1.1 Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες κραδασμών

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες κραδασμών είναι ένας τύπος αισθητήρων που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και την καταγραφή των μεταβολών των φυσικών παραμέτρων ή δυνάμεων, ιδίως των κραδασμών και της μηχανικής καταπόνησης. Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν με βάση το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, όπου μια εφαρμοζόμενη δύναμη, πίεση ή δόνηση δημιουργεί ηλεκτρικό φορτίο στο υλικό του αισθητήρα.



Εικόνα 11: Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας. Πηγή: (ResearchGate, 2021)

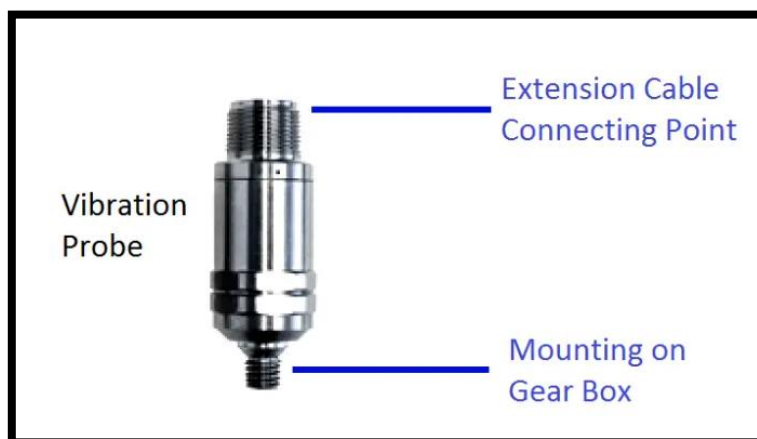
Το ηλεκτρικό φορτίο που παράγεται μετατρέπεται στη συνέχεια σε μετρήσιμα ηλεκτρικά σήματα που αντιπροσωπεύουν το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των δονήσεων ή της μηχανικής καταπόνησης. Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες κραδασμών εκτιμώνται για την ακρίβεια, την αξιοπιστία και την ικανότητά τους να λειτουργούν σε σκληρά και ανθεκτικά περιβάλλοντα, γεγονός που τους καθιστά δημοφιλή επιλογή σε βιομηχανικές εφαρμογές. (ResearchGate, 2021)

Ένα βασικό πλεονέκτημα των συγκεκριμένων αισθητήρων είναι η ικανότητά τους να λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, εξασφαλίζοντας σταθερή απόδοση σε διάφορες συνθήκες. Είναι επίσης γνωστοί για την ευαισθησία και το συμπαγές μέγεθός τους, καθιστώντας τους κατάλληλους για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μπορεί να καταναλώνουν σχετικά περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με ορισμένους άλλους τύπους αισθητήρων δόνησης.

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες κραδασμών χρησιμοποιούνται ευρέως στον βιομηχανικό τομέα για την παρακολούθηση και τη συντήρηση των μηχανημάτων, καθώς παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για την προληπτική συντήρηση, βοηθώντας στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση προβλημάτων πριν αυτά οδηγήσουν σε βλάβη του εξοπλισμού.

3.5.1.2 Αισθητήρες δονήσεων με επιταχυνσιόμετρο

Οι αισθητήρες δονήσεων με επιταχυνσιόμετρο είναι από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους αισθητήρες για την παρακολούθηση των δονήσεων σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών μηχανημάτων και του εξοπλισμού. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρηση των δυνάμεων επιτάχυνσης που ασκούνται σε ένα αντικείμενο και είναι αποτελεσματικοί στην καταγραφή τόσο των στατικών όσο και των δυναμικών δυνάμεων. (Tools, 2019)



Εικόνα 12: Αισθητήρες δονήσεων με επιταχυνσιόμετρο. Πηγή: (Tools, 2019)

Οι στατικές δυνάμεις, όπως η βαρύτητα, δρουν συνεχώς στα αντικείμενα. Οι δυναμικές δυνάμεις, στις οποίες περιλαμβάνονται οι δονήσεις, είναι δυνάμεις που ασκούνται στα αντικείμενα με ποικίλους ρυθμούς και πλάτη. Οι αισθητήρες δονήσεων με επιταχυνσιόμετρα λειτουργούν μετατρέποντας αυτές τις μηχανικές επιταχύνσεις σε ηλεκτρικά σήματα που είναι ανάλογα με τις δυνάμεις που μετρούν.

Τα επιταχυνσιόμετρα κυκλοφορούν σε διάφορους τύπους και έχουν διαφορετικές αντοχές και συνιστώμενες εφαρμογές. Ένας κοινός τύπος είναι το τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο, το οποίο είναι ικανό να μετρά την επιτάχυνση σε τρεις ορθογώνιες κατευθύνσεις ή άξονες. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να καταγράψει δονήσεις και κινήσεις κατά μήκος τριών κάθετων αξόνων, παρέχοντας ολοκληρωμένες πληροφορίες σχετικά με την κίνηση και τις δονήσεις ενός αντικειμένου ή συστήματος.

Η ευελιξία και η ευαισθησία των αισθητήρων δονήσεων με επιταχυνσιόμετρο τους καθιστούν ανεκτίμητους για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, ιδίως στην προληπτική συντήρηση. Βοηθούν στην παρακολούθηση και αξιολόγηση των μοτίβων δόνησης των μηχανημάτων και του εξοπλισμού, επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών και πιθανών προβλημάτων που μπορεί να οδηγήσουν σε βλάβη του εξοπλισμού. Τα τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα, ειδικότερα, προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των συνιστωσών δόνησης που επηρεάζουν ένα αντικείμενο, καθιστώντας τα πολύτιμο εργαλείο σε διάφορες βιομηχανίες.

3.5.1.3 Αισθητήρες δονήσεων δινορευμάτων

Οι αισθητήρες δονήσεων δινορευμάτων είναι συσκευές μη επαφής που προσφέρουν ευελιξία στη μέτρηση της μετατόπισης με βάση τις αρχές των δινορευμάτων. Τα

δινορεύματα είναι κυκλικοί βρόχοι ηλεκτρικού ρεύματος που δημιουργούνται μέσα σε αγωγούς όταν αυτοί εκτίθενται σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Στο πλαίσιο της παρακολούθησης των δονήσεων, οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της μετατόπισης των αξόνων.

Η ανίχνευση της λανθασμένης ευθυγράμμισης των αξόνων είναι μια κρίσιμη πτυχή της παρακολούθησης των δονήσεων, επειδή η λανθασμένη ευθυγράμμιση μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα μηχανικά προβλήματα. Οι αισθητήρες δονήσεων δινορευμάτων είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για μετρήσεις δονήσεων υψηλής ανάλυσης και υψηλής ταχύτητας, γεγονός που τους καθιστά πολύτιμα εργαλεία σε εφαρμογές προληπτικής συντήρησης.



Εικόνα 13: Αισθητήρες δονήσεων δινορευμάτων. Πηγή: (PRUFTECHNIK, 2021)

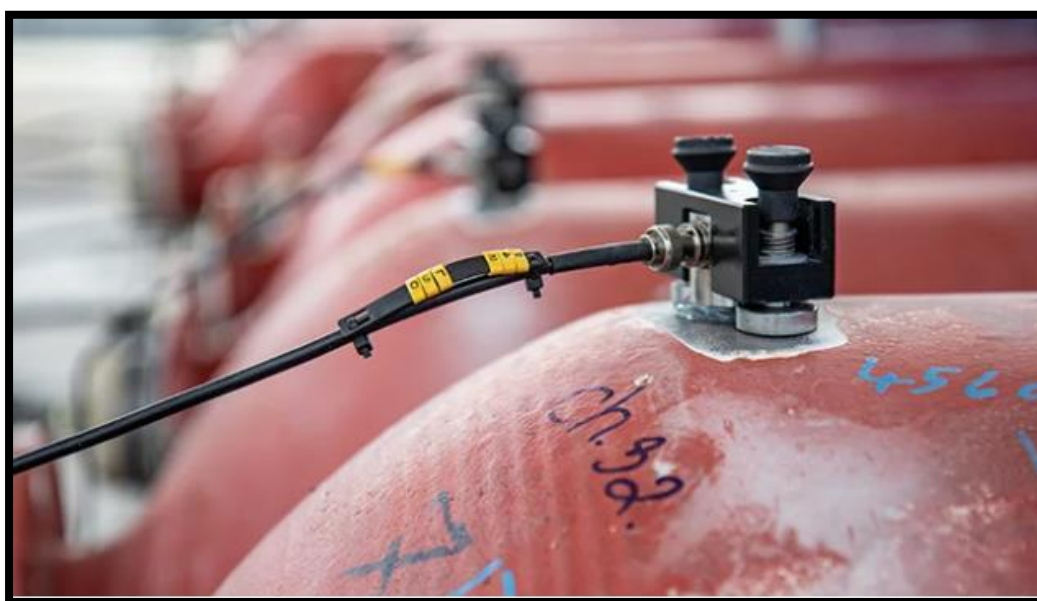
Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλοί αισθητήρες δονήσεων δινορευμάτων, η εγγύτητά τους μεταξύ τους θα πρέπει να γίνεται προσεκτικά. Εάν οι αισθητήρες αυτοί τοποθετηθούν πολύ κοντά μεταξύ τους, τα ηλεκτρομαγνητικά τους πεδία ενδέχεται να παρεμβάλλονται μεταξύ τους, μειώνοντας ενδεχομένως την ακρίβεια των μετρήσεων. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές θωράκισης για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών και τη διασφάλιση της ακρίβειας των συλλεγόμενων δεδομένων.

3.5.2 Παρακολούθηση ακουστικής ανάλυσης

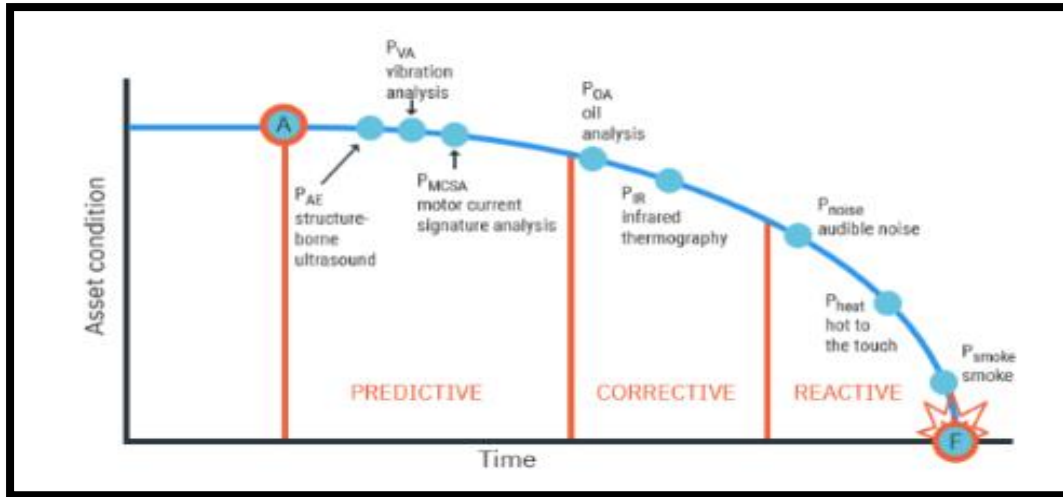
Η συγκεκριμένη τεχνική περιλαμβάνει την παρακολούθηση των ηχητικών συχνοτήτων που εκπέμπονται από μηχανήματα για τον εντοπισμό ανωμαλιών στη λειτουργική τους απόδοση και τον προσδιορισμό της πηγής τους. Τα περισσότερα μηχανήματα παράγουν ηχητικά κύματα κατά τη λειτουργία τους, ακόμη και αν τα κύματα αυτά δεν ακούγονται από το ανθρώπινο αυτί. Οι ακουστικοί αισθητήρες επιτρέπουν στους τεχνικούς να ανιχνεύουν την τριβή και την καταπόνηση στα περιστρεφόμενα μηχανήματα, παρέχοντας έγκαιρες ενδείξεις φθοράς. Οι ακουστικές τεχνολογίες επιτρέπουν επίσης

στις ομάδες συντήρησης να εντοπίζουν διαρροές, είτε πρόκειται για αέριο, υγρό ή κενό, που λειτουργούν σε ηχητικό ή υπερηχητικό επίπεδο. (Jagers, 2023)

Σε σύγκριση με ορισμένες εναλλακτικές λύσεις, όπως η τεχνολογία υπερήχων, αυτή η μέθοδος προληπτικής συντήρησης θεωρείται συχνά πιο αποδοτική. Ωστόσο, η εφαρμογή της είναι κάπως περιορισμένη. Η παρακολούθηση με ακουστική ανάλυση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για περιπτώσεις που αφορούν αγωγούς που μεταφέρουν υγρά ή αέρια. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν απαιτούν όλα τα μηχανήματα ειδικούς αισθητήρες ηχητικής συχνότητας- ορισμένα μηχανήματα παράγουν ήχους που είναι αρκετά δυνατοί ώστε το ανθρώπινο αυτί να μπορεί να ανιχνεύσει αλλαγές. Ενώ αυτή μπορεί να είναι μια οικονομικά αποδοτική επιλογή, έχει το μειονέκτημα ότι δεν αποθηκεύονται ιστορικά δεδομένα στο CMMS, γεγονός που εμποδίζει την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων.



Εικόνα 14: Ακουστικοί αισθητήρες. Πηγή: (Jagers, 2023)



Εικόνα 15: Καμπύλη παρακολούθησης της κατάστασης ενός στοιχείου εξοπλισμού.

Πηγή: (Jagers, 2023)

Η παραπάνω καμπύλη P-F απεικονίζει πώς η ακουστική ανάλυση συγκρίνεται με άλλες τεχνικές παρακολούθησης της κατάστασης όσον αφορά την ανίχνευση βλαβών προτού ένα στοιχείο του εξοπλισμού υποστεί βλάβη. Αυτή η συγκεκριμένη καμπύλη P-F αφορά την αστοχία ρουλεμάν σε ένα σύστημα παραγωγής. (Jagers, 2023)

3.5.3 Ανάλυση υπέρυθρης θερμογραφίας

Η υπέρυθρη θερμογραφία είναι μια τεχνική που αξιοποιεί τη δύναμη των υπέρυθρων (IR) καμερών για τον εντοπισμό αυξημένων θερμοκρασιών σε διάφορους τύπους εξοπλισμού. Αυτή η μέθοδος απεικόνισης είναι εφαρμόσιμη σε ένα ευρύ φάσμα εξοπλισμού, καθιστώντας την αποτελεσματική στον εντοπισμό ζητημάτων όπως η φθορά, η σκουριά, η αποκόλληση και οι αποσυνδέσεις που μπορεί να είναι ανεπαίσθητες με το ανθρώπινο μάτι.



Εικόνα 16: Υπέρυθρη κάμερα. Πηγή: (Trout, 2019)

Η τεχνολογία υπέρυθρων επιτρέπει επίσης στις ομάδες συντήρησης να δημιουργούν χάρτες επιφανειακής θερμοκρασίας, οι οποίοι είναι πολύτιμοι, για παράδειγμα, στη συντήρηση των συστημάτων θέρμανσης. Λειτουργεί με τον εντοπισμό θερμικών ανωμαλιών μέσα σε συστήματα που βασίζονται στη διατήρηση και τη μεταφορά θερμότητας.

Εξαρτήματα που έχουν φθαρεί ή αντιμετωπίζουν προβλήματα, όπως δυσλειτουργικά ηλεκτρικά κυκλώματα, συχνά εκπέμπουν υπερβολική θερμότητα, η οποία εκδηλώνεται ως θερμό σημείο σε μια θερμική εικόνα. Αυτό επιτρέπει στους τεχνικούς να εκτελούν έγκαιρη συντήρηση και να αποτρέπουν βλάβες του εξοπλισμού και δυνητικά σοβαρά ατυχήματα.

Η υπέρυθρη θερμογραφία αναγνωρίζεται ως μία από τις πιο ευέλικτες τεχνολογίες προληπτικής συντήρησης που είναι διαθέσιμες, ικανή να αναλύει μεμονωμένα εξαρτήματα μηχανημάτων, ολόκληρα συστήματα εγκαταστάσεων, ακόμη και ολόκληρες εγκαταστάσεις. (Trout, 2019)

Τα υπέρυθρα θερμομέτρα διακρίνονται στους ακόλουθους τύπους:

- Τα **σημειακά υπέρυθρα θερμομέτρα**, που συχνά αναφέρονται ως πυρόμετρα, μοιάζουν με τα φορητά όπλα ραντάρ. Εξυπηρετούν τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση της θερμοκρασίας σε ένα συγκεκριμένο σημείο μιας επιφάνειας. Τα σημειακά θερμομέτρα υπέρυθρων αποδεικνύονται ιδιαίτερα πολύτιμα για τη μέτρηση της θερμικής ακτινοβολίας σε σενάρια όπου η πρόσβαση στον εξοπλισμό είναι δύσκολη ή λειτουργεί υπό δύσκολες συνθήκες.
- Τα **συστήματα υπέρυθρης σάρωσης** έχουν σχεδιαστεί για να σαρώνουν πιο εκτεταμένες περιοχές. Συχνά βρίσκουν εφαρμογές σε εγκαταστάσεις παραγωγής που διαθέτουν μεταφορικές ταινίες ή διαδικτυακές διαδικασίες. Παραδείγματα χρήσης τους περιλαμβάνουν τη σάρωση αντικειμένων σε μια μεταφορική ταινία ή την παρακολούθηση φύλλων γυαλιού ή μετάλλου κατά την έξοδό τους από έναν φούρνο.
- Οι **υπέρυθρες κάμερες θερμικής απεικόνισης** αντιπροσωπεύουν μια προηγμένη κατηγορία συσκευών μέτρησης θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται για τη λήψη δεδομένων θερμοκρασίας σε πολλαπλά σημεία σε εκτεταμένες περιοχές και τη δημιουργία δισδιάστατων θερμογραφικών εικόνων. Σε αντίθεση με τα απλά σημειακά θερμομέτρα, οι κάμερες θερμικής απεικόνισης εξαρτώνται περισσότερο από το λογισμικό και το υλικό. Αυτές οι κάμερες



*Εικόνα 17:
Υπέρυθρο
θερμομέτρο. Πηγή:
(Trout, 2019)*

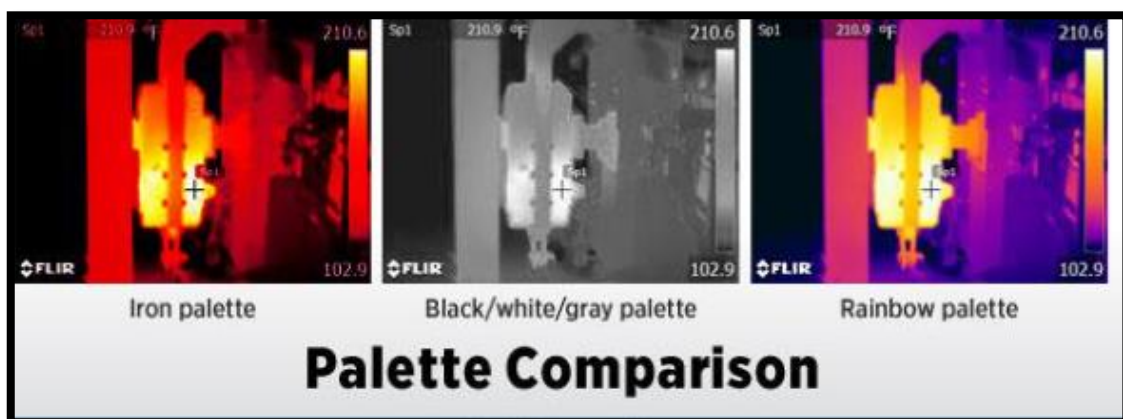
συχνά εμφανίζουν εικόνες σε πραγματικό χρόνο και μπορούν να συνδεθούν με εξειδικευμένο λογισμικό για ανάλυση σε βάθος, αυξημένη ακρίβεια και δημιουργία αναφορών. Επιπλέον, οι σύγχρονες κάμερες θερμικής απεικόνισης έχουν σχεδιαστεί για να είναι φορητές, παρέχοντας στους χρήστες την ευελιξία να εναλλάσσονται μεταξύ διαφορετικών χρωματικών παλετών, βοηθώντας στην ερμηνεία ποικίλων θερμοκρασιακών μεταβολών. Οι υπέρυθρες κάμερες θερμικής απεικόνισης προσφέρουν στους χρήστες τη δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ διαφόρων παλετών χρωμάτων, γεγονός που βοηθά στη διάκριση των διαφορών θερμοκρασίας:



Εικόνα 18: Υπέρυθρες κάμερες θερμικής απεικόνισης. Πηγή: (Trout, 2019)

- Η **παλέτα σιδήρου**, η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη, αναπαριστά διαφορετικές θερμοκρασίες με συγκεκριμένα χρώματα. Σε αυτή την παλέτα, οι ψυχρότερες περιοχές απεικονίζονται με μαύρο χρώμα, οι ελαφρώς θερμότερες περιοχές με μπλε ή μοβ χρώμα, οι μεσαίες θερμοκρασίες με αποχρώσεις του κόκκινου, του πορτοκαλί και του κίτρινου και οι θερμότερες θερμοκρασίες με λευκό χρώμα. Αυτό το χρωματικό σχήμα διευκολύνει την ερμηνεία και την ανάλυση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας σε ολόκληρη την παρατηρούμενη περιοχή.
- Η **ασπρόμαυρη παλέτα**, που συχνά αναφέρεται ως κλίμακα του γκρι, προσφέρει εξαιρετική απεικόνιση λεπτομερειών, καθώς αναπαριστά τα επίπεδα θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας διάφορες αποχρώσεις του γκρι, που κυμαίνονται από το μαύρο έως το λευκό. Αυτή η παλέτα χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπως η νυχτερινή όραση ή οι κάμερες ασφαλείας, λόγω της ικανότητάς της να αποδίδει αποτελεσματικά τις λεπτομέρειες. Ωστόσο, χρησιμοποιείται σπάνια στην απεικόνιση μηχανημάτων, επειδή παρουσιάζει τις μεταβολές της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας μόνο δύο χρώματα, καθιστώντας πιο δύσκολη τη διάκριση των διαφορών στη θερμοκρασία.

- Η **παλέτα ουράνιου τόξου** είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την απεικόνιση της θερμικής ευαισθησίας, καθώς αναπαριστά τις διαφορές θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας μια σειρά χρωμάτων. Όπως και η παλέτα σιδήρου, η παλέτα ουράνιου τόξου χρησιμοποιεί ένα ευρύτερο φάσμα χρωμάτων για να υποδηλώνει πιο σημαντικές διακυμάνσεις θερμοκρασίας.



Εικόνα 19: Σύγκριση παλετών χρωμάτων των διαφόρων θερμοκρασιών. Πηγή: (Trout, 2019)

3.5.3

Ανάλυση δειγμάτων ελαίου

Η ανάλυση λαδιού είναι μια άλλη μη επεμβατική τεχνική προληπτικής συντήρησης (PdM) γνωστή για την αποτελεσματικότητά της. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει την εξέταση δειγμάτων λαδιού για την αξιολόγηση της φθοράς του εξοπλισμού. Με την εξέταση διαφόρων χαρακτηριστικών των δειγμάτων λαδιού, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού και του μεγέθους των σωματιδίων, καθίσταται δυνατή η διάκριση της φθοράς των μηχανημάτων. Πέρα από τον αριθμό των σωματιδίων, ορισμένες δοκιμές ανάλυσης λαδιού μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το ιξώδες, την παρουσία νερού, τα μέταλλα φθοράς και παράγοντες όπως ο αριθμός οξέων ή ο αριθμός βάσεων.

Η ανάλυση λαδιού μπορεί να έχει εφαρμογή σε μηχανές εσωτερικής καύσης, υδραυλικά συστήματα, συστήματα κλιματισμού κ.α. Καθώς τα μηχανήματα υποβαθμίζουν σταδιακά τις συνθήκες λειτουργίας τους, το δείγμα λαδιού θα περιέχει υποπροϊόντα που προκύπτουν από την υπερθέρμανση και τη φθορά. Η ανάλυση αυτών των σωματιδίων μπορεί να αποκαλύψει μια σειρά πιθανών προβλημάτων, επιτρέποντας στις ομάδες συντήρησης να σχεδιάσουν λύσεις προληπτικά, αποτρέποντας έτσι προγραμματιστές διακοπές λειτουργίας.

Τα δείγματα ελαίου συλλέγονται συνήθως σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα. Στην περίπτωση μεγάλων μηχανημάτων, είναι σύνηθες να συλλέγονται δείγματα σε μηνιαία ή διμηνιαία βάση. Οι πρωτοβουλίες προληπτικής

συντήρησης βασίζονται σε αξιολογήσεις ρουτίνας της καθαρότητας, της ξηρότητας και της ποιότητας του λιπαντικού λαδιού.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της ανάλυσης ελαίου είναι η ικανότητά της να καθορίζει πρότυπα με την υποστήριξη ιστορικών δεδομένων. Οι αρχικές δοκιμές χρησιμεύουν για τη δημιουργία μιας βάσης για τα νέα μηχανήματα και τα αποτελέσματα αρχειοθετούνται σε μια βάση δεδομένων. Όταν εφαρμόζεται σωστά, η ανάλυση λαδιού αποδίδει πληθώρα πολύτιμων πληροφοριών που συμβάλλουν σημαντικά στην επιτυχία ενός σχεδίου διαχείρισης προληπτικής συντήρησης.

Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι βλάβες με σύντομες περιόδους ανάπτυξης τείνουν να περνούν απαρατήρητες όταν οι δοκιμές, όπως οι αναλύσεις λαδιού, διεξάγονται σπάνια (ακόμη και οι μηνιαίες αναλύσεις θεωρούνται σπάνιες).

3.5.4 Ανάλυση παραμέτρων κυκλώματος κινητήρα

Η ανάλυση κυκλώματος κινητήρα αξιοποιεί την ανάλυση ηλεκτρονικής υπογραφής (ESA) για τον εντοπισμό προβλημάτων και πιθανών βλαβών του εξοπλισμού, εξετάζοντας τα εξαρτήματα των ηλεκτροκινητήρων. Η ESA περιλαμβάνει τη μέτρηση της τάσης τροφοδοσίας και του ρεύματος λειτουργίας ενός κινητήρα για τον εντοπισμό προβλημάτων. Αυτή η τεχνική δίνει τη δυνατότητα στις ομάδες συντήρησης να αποκτήσουν ολοκληρωμένες γνώσεις σχετικά με την ηλεκτρική υγεία των κρίσιμων συστημάτων κινητήρων εντός του εξοπλισμού.

Η ανάλυση του κυκλώματος του κινητήρα είναι ικανή να ανιχνεύσει μια σειρά προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένων θεμάτων στο τύλιγμα του στάτη, προβλημάτων ρουλεμάν, ανωμαλιών του ρότορα, δυσκολιών ζεύξης, ανωμαλιών στα προσαρτημένα φορτία, προβλημάτων απόδοσης, ανωμαλιών φορτίου συστήματος και άλλων. Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αποτελεσματικότητά της- τα εργαλεία συντήρησης με αναλυτή κυκλωμάτων κινητήρα επιτρέπουν τη διεξαγωγή δοκιμών σε περίπου 2 λεπτά, ακόμη και ενώ οι κινητήρες βρίσκονται ακόμη σε λειτουργία.

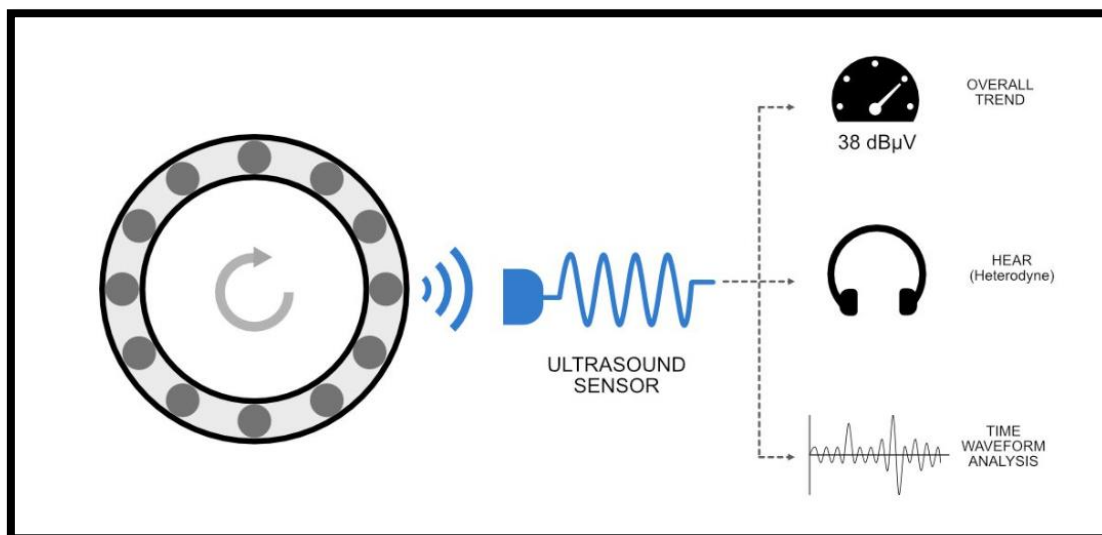
Επίσης είναι δυνατή η μόνιμη τοποθέτηση αναλυτών ισχύος (power analyzer) στις τροφοδοσίες κρίσιμων μηχανημάτων, η διασύνδεσή τους με ένα σύστημα παρακολούθησης (monitoring) το οποίο μπορεί να συλλέγει όλα τα δεδομένα ηλεκτρονικής υπογραφής, τα οποία αποθηκεύει, οπτικοποιεί και αναλύει με κατάλληλο λογισμικό. Η συνεχής, σε πραγματικό χρόνο λήψη μετρήσεων και η δυνατότητα ανάλυσης αυτών σε βάθος χρόνου μπορούν να ανιχνεύσουν έγκαιρα την απαρχή της αστοχίας. (ALL-TEST Pro, 2023)



Εικόνα 20: Συσκευή ανάλυσης κυκλώματος κινητήρα. Πηγή: (ALL-TEST Pro, 2023)

3.5.5 Ανάλυση υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων καταγράφουν ήχους υψηλής συχνότητας που εκπέμπονται από τον εξοπλισμό, με τις διακυμάνσεις στις εκπομπές υπερήχων να χρησιμεύουν ως δείκτες βλαβών.

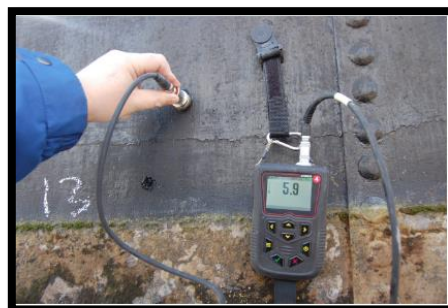


Εικόνα 21: Λειτουργία αισθητήρων υπερήχων. Πηγή: (Chandel, 2023)

Ο υπέρηχος είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την προληπτική συντήρηση και τη συντήρηση βάσει κατάστασης. Μπορεί να ανιχνεύσει διάφορα ζητήματα, όπως:

- Τριβή: Ο υπέρηχος μπορεί να εντοπίσει προβλήματα όπως η τριβή μηχανικών εξαρτημάτων μεταξύ τους, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε φθορά και βλάβη.
- Λίπανση: Βοηθά στην παρακολούθηση των επιπέδων λίπανσης και στον εντοπισμό του πότε ο εξοπλισμός χρειάζεται λίπανση.
- Διαρροές: Ο υπέρηχος μπορεί να εντοπίσει διαρροές αερίου και αέρα στον εξοπλισμό, οι οποίες μπορεί να είναι ιδιαίτερα κρίσιμες για την ασφάλεια και τη διατήρηση της ενέργειας.
- Βλάβες ρουλεμάν και οδοντωτών τροχών: Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στον εντοπισμό πρώιμων ενδείξεων βλαβών ρουλεμάν και οδοντωτών τροχών, αποτρέποντας δαπανηρές βλάβες.
- Ασφάλεια τόξου σε ηλεκτρικό εξοπλισμό: Ο υπέρηχος μπορεί να εντοπίσει ηλεκτρικά σφάλματα όπως τόξο, κορώνα και ιχνηλάτηση σε ηλεκτρικά συστήματα, γεγονός που συμβάλλει στην πρόληψη ηλεκτρικών βλαβών και πυρκαγιών. (Chandel, 2023)

Ειδική περίπτωση χρήσης των υπερήχων αποτελεί η μέτρηση πάχους. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του πάχους του υλικού και τον εντοπισμό της διάβρωσης. Οι αισθητήρες υπερήχων που έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρηση του πάχους είναι πολύτιμα εργαλεία σε διάφορες βιομηχανίες, ιδίως για μη καταστροφικές δοκιμές και εφαρμογές ελέγχου ποιότητας. Η βασική αρχή λειτουργίας περιλαμβάνει την εκπομπή υπερηχητικών παλμών προς την επιφάνεια του υλικού και τη μέτρηση του χρόνου που χρειάζονται τα ηχητικά κύματα για να αναπηδήσουν πίσω. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του ήχου στο υλικό, ο αισθητήρας μπορεί να υπολογίσει με ακρίβεια το πάχος του υλικού. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση του πάχους των επιστρώσεων, των χρωμάτων και των διαφόρων υλικών, εξασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τις προδιαγραφές και εντοπίζοντας τυχόν ελαττώματα ή παρατυπίες. Εφαρμόζονται σε τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική και οι κατασκευές για να διασφαλίζουν την ποιότητα και την ακεραιότητα των προϊόντων και των κατασκευών. Οι αισθητήρες πάχους υπερήχων εκτιμώνται για τη μη επεμβατική τους φύση και την ικανότητά τους να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις με ελάχιστη προετοιμασία της επιφάνειας. Παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της ασφάλειας και της απόδοσης κρίσιμων εξαρτημάτων και κατασκευών. (CYGNUS INSTRUMENTS, 2023)



Εικόνα 22: Μέτρηση του πάχους μέσω υπερήχων. Πηγή: (CYGNUS INSTRUMENTS, 2023)

3.6 Μέθοδοι προβλέψεων

Οι μέθοδοι προβλέψεων είναι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν μελλοντικά γεγονότα, συχνά σε σχέση με την προληπτική συντήρηση. Αυτές οι μέθοδοι συμβάλλουν στην πρόβλεψη προβλημάτων με τον εξοπλισμό, επιτρέποντας τη λήψη προληπτικών μέτρων για τη διατήρηση και την αποφυγή ακριβών βλαβών ή διακοπών. Ορισμένες από τις κύριες μεθόδους προβλέψεων περιλαμβάνουν:

- **Προβλέψεις με βάση την Ιστορική Απόδοση:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τα δεδομένα από την ιστορική απόδοση του εξοπλισμού για να προβλέψει μελλοντικές αποτυχίες. Αν από την παρατήρηση της απόδοσης προκύπτει ότι ο εξοπλισμός συχνά αποτυγχάνει μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, μπορούν να ληφθούν μέτρα προληπτικής συντήρησης.
- **Κατάσταση Παρακολούθησης:** Σε αυτήν τη μέθοδο, ο εξοπλισμός παρακολουθείται συνεχώς με τη χρήση αισθητήρων. Οποιαδήποτε απόκλιση από τις κανονικές λειτουργίες καταγράφεται και αξιολογείται.

- **Μέθοδοι Πρόβλεψης Δεδομένων:** Σε αυτήν την προσέγγιση χρησιμοποιούνται μοντέλα και αλγόριθμοι για να προβλέψουν μελλοντικές αποτυχίες με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα.
- **Τεχνητή Νοημοσύνη και Μηχανική Μάθηση:** Οι προηγμένες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μηχανική μάθηση (ML) χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν τα δεδομένα του εξοπλισμού και να προβλέψουν πιθανές αποτυχίες.
- **Πρόβλεψη με βάση την Κατάσταση:** Αυτή η μέθοδος εστιάζει στην παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού και τη χρήση μετρικών κατάστασης για να προβλέψει τις αποτυχίες.

Οι παραπάνω μέθοδοι επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να προβλέπουν τη συντήρηση που απαιτείται προκειμένου να αποφευχθούν οι απρόσμενες αποτυχίες και να διατηρηθεί η αποδοτικότητα του εξοπλισμού. (Simon Leohold, 2021)

Οι μέθοδοι πρόβλεψης για την προγνωστική συντήρηση μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν ως:

- μέθοδοι που βασίζονται σε δεδομένα,
- μέθοδοι που βασίζονται στην εμπειρία και
- μέθοδοι που βασίζονται στη φυσική.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός αυτών των μεθόδων για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας των στρατηγικών προγνωστικής συντήρησης.

3.6.1 Μοντέλα με βάση τα δεδομένα

Τα μοντέλα που βασίζονται σε δεδομένα είναι σημαντικά για την προληπτική συντήρηση. Αυτά τα μοντέλα δημιουργούν μια σύνδεση μεταξύ εισόδου και εξόδου, χρησιμοποιώντας στατιστική ανάλυση ή αλγορίθμους μηχανικής μάθησης. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα επικεντρώνεται σε προσεγγίσεις που βασίζονται στα δεδομένα για την ανίχνευση σφαλμάτων, την πρόβλεψη προβλημάτων και την εκτίμηση της υγείας των συστημάτων.

Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στην εντοπισμό των σφαλμάτων και την πρόβλεψη των ζητημάτων σε περιβάλλοντα όπου οι παραδοσιακές λύσεις δεν είναι αποτελεσματικές λόγω της πολυπλοκότητας. Αυτό ανοίγει νέες δυνατότητες στην προληπτική συντήρηση.

Ωστόσο, υπάρχουν πρακτικές προκλήσεις τις οποίες πρέπει να αντιμετωπίσουμε. Μία από αυτές είναι η ανάγκη για υψηλής ποιότητας επισημασμένα δεδομένα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των μοντέλων είναι ευαίσθητα σε ζητήματα όπως η απώλεια, ο πλεονασμός, η εσφαλμένη επισήμανση, η ανισορροπία των κλάσεων, η μη στασιμότητα και η παρουσία ετερογενών πληροφοριών. Αυτά τα ζητήματα επηρεάζουν την απόδοση των μοντέλων και μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπαρκή εκπαίδευση.

Οι προκλήσεις της προληπτικής συντήρησης που σχετίζονται με την ποιότητα των δεδομένων και την ιδιαίτερη φύση του εξοπλισμού καθιστούν δύσκολη την πλήρη αντιμετώπιση όλων αυτών των προβλημάτων. Μια μελέτη του Carvalho και των συνεργατών του το 2019 παρέχει μια εκτενή επισκόπηση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται σε διάφορες επιστημονικές δημοσιεύσεις, μαζί με σύντομες περιγραφές των σχετικών δεδομένων. Διαπίστωσαν μια γενική τάση αύξησης των εφαρμογών της μηχανικής μάθησης στην προγνωστική συντήρηση.

Ωστόσο, επιβεβαίωσαν επίσης τη συνεχιζόμενη ανάγκη για δεδομένα υψηλής ποιότητας, τονίζοντας τη σημασία της βελτίωσης των τεχνικών αισθητήρων για τη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων. Επιπλέον, τόνισαν ότι κάθε προσέγγιση μηχανικής μάθησης που συνάντησαν ήταν προσαρμοσμένη για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων τύπων εξοπλισμού ή ζητημάτων, καθιστώντας τις άμεσες συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών προσεγγίσεων προκλητικές λόγω της ιδιαιτερότητάς τους. (Simon Leohold, 2021)

3.6.2 Μοντέλα βασισμένα στην εμπειρία

Οι μέθοδοι που βασίζονται στην εμπειρία ή στη γνώση περιλαμβάνουν χειροκίνητα σχεδιασμένα σύνολα κανόνων και βασίζονται στην τεχνογνωσία των ειδικών συντηρητών. Αν και δεν καλύπτονται τόσο εκτενώς στην πρόσφατη βιβλιογραφία, εξακολουθούν να εφαρμόζονται ευρέως, ιδίως για την ανίχνευση και την πρόβλεψη ανωμαλιών, όπως υποδεικνύει μελέτη που διεξήχθη από τον Cao και τους συνεργάτες του το 2020. Στην έρευνά τους, παρουσιάζουν δύο μεθόδους βελτίωσης κανόνων με στόχο τη βελτιστοποίηση της βάσης κανόνων για την ανίχνευση σφαλμάτων. Τα πειράματά τους, που διεξήχθησαν με τη χρήση πραγματικών δεδομένων από τον τομέα της κατασκευής ημιαγωγών, αποδεικνύουν ότι αυτές οι τεχνικές βελτιστοποίησης κανόνων ενισχύουν την απόδοση των συστημάτων προληπτικής συντήρησης.

Οι μέθοδοι που βασίζονται στην εμπειρία προσφέρουν το πλεονέκτημα της δημιουργίας κανόνων που διαβάζονται από τον άνθρωπο και είναι εύκολα ερμηνεύσιμοι. Ωστόσο, αντιμετωπίζουν προκλήσεις καθώς αυξάνονται τα μεγέθη των βιομηχανικών δεδομένων, οδηγώντας σε ζητήματα ποιότητας κανόνων, όπως αντιφάσεις κανόνων, υπαγωγή ή πλεονασμός, όπως σημειώνουν ο Cao και οι συνεργάτες του στην εργασία τους. (Simon Leohold, 2021)

3.6.3 Μοντέλα βασισμένα στη φυσική

Οι μέθοδοι που βασίζονται στη φυσική στην προγνωστική συντήρηση βασίζονται σε μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τη φυσική συμπεριφορά μιας μηχανής ή των εξαρτημάτων της. Αυτές οι μέθοδοι είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για εξαρτήματα με συμβατικά μοντέλα αστοχίας, όπως η ανάπτυξη ρωγμών, όπως επισημαίνεται σε μελέτη των Liao και Kottig το 2014. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητάς τους και της ανάγκης σημαντικού αριθμού πειραμάτων για την επικύρωση αυτών των μοντέλων, τα

φυσικά μοντέλα αστοχίας συχνά συνδυάζονται με τη γνώση εμπειρογνομώνων ή με τεχνικές που βασίζονται σε δεδομένα ή με μεθόδους ρύθμισης παραμέτρων, όπως συζητήθηκε επίσης από τους Liao και Kottig στην έρευνά τους.

Σε μια μελέτη του Downey και των συνεργατών του το 2019, εισήγαγαν ένα πλαίσιο πρόγνωσης με βάση μοντέλα για την πρόβλεψη της εναπομένουσας ωφέλιμης ζωής μπαταριών ιόντων λιθίου. Η προσέγγισή τους κατέδειξε βελτίωση 97,5% σε σχέση με μια προσέγγιση βασισμένη στη χωρητικότητα στις περισσότερες περιπτώσεις.

Σε μια άλλη εργασία των Johansen και Nejad το 2019, διερεύνησαν τη χρήση ενός ψηφιακού διδύμου για την παρακολούθηση της κατάστασης ενός θαλάσσιου συστήματος μετάδοσης κίνησης και χρησιμοποίησαν ένα σύνολο απλών φυσικών μοντέλων. Τα αποτελέσματά τους αποκάλυψαν ότι ένα μοντέλο υψηλότερης πιστότητας είχε περισσότερες ανακρίβειες σε σύγκριση με ένα μοντέλο χαμηλότερης πιστότητας, αλλά το μοντέλο χαμηλής πιστότητας δεν πληρούσε τις απαιτήσεις ενός ψηφιακού διδύμου. Ανέφεραν επίσης ότι, ενώ τα μοντέλα που βασίζονται σε δεδομένα χρησιμοποιούνται συνήθως, δεν αποτελούσαν βιώσιμη επιλογή στη συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης τους λόγω της απουσίας επαρκών μεγάλων δεδομένων. (Simon Leohold, 2021)

4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ-ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

4.1 Συστήματα Διαχείρισης Συντήρησης (MMS)

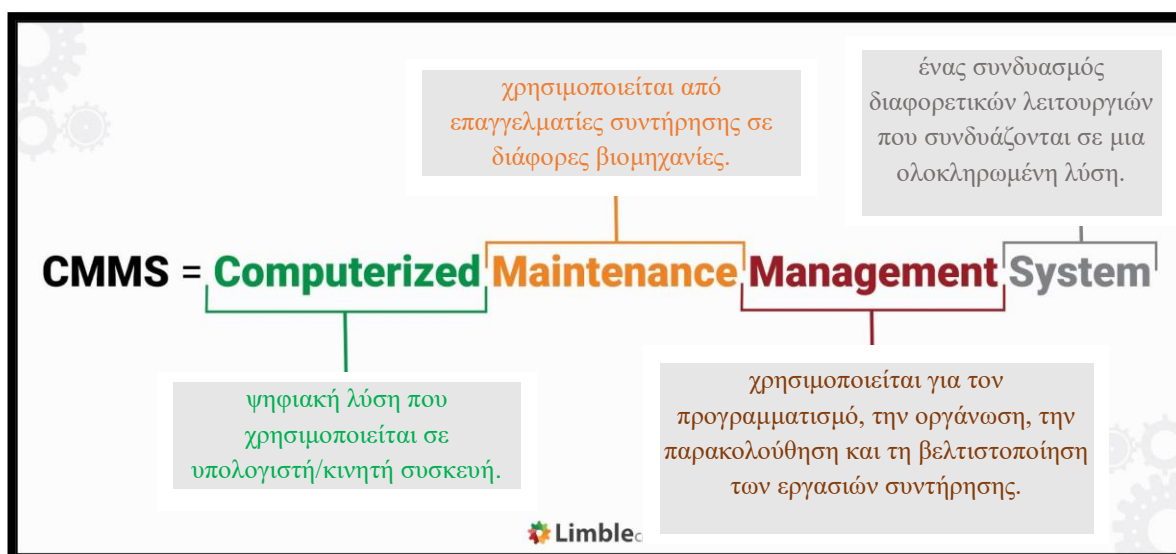
Τα συστήματα διαχείρισης συντήρησης (Maintenance Management Systems ή MMS) είναι εργαλεία λογισμικού που χρησιμοποιούνται από εταιρείες για τη διαχείριση και την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων συντήρησης του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεών τους. Τα MMS συμβάλλουν στον εξορθολογισμό των εργασιών συντήρησης, στην αύξηση του χρόνου διαθεσιμότητας του εξοπλισμού και στη μείωση του κόστους συντήρησης.

Ένα MMS τυπικά περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως διαχείριση εντολών εργασίας, προγραμματισμό προληπτικής συντήρησης, παρακολούθηση ιστορικού εξοπλισμού, διαχείριση αποθεμάτων και υποβολή εκθέσεων. Το σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες της εταιρείας και του εξοπλισμού της.

Με ένα MMS, οι εταιρείες μπορούν να παρακολουθούν το κόστος συντήρησης και τον χρόνο διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού, επιτρέποντας την καλύτερη λήψη αποφάσεων και τη βελτιστοποίηση των εργασιών συντήρησης. Επιτρέπει επίσης στις εταιρείες να διαχειρίζονται αποτελεσματικά το απόθεμα ανταλλακτικών και να παρακολουθούν τα προγράμματα συντήρησης, ώστε να διασφαλίζεται ότι η συντήρηση εκτελείται εγκαίρως και σε βέλτιστα χρονικά διαστήματα.

Τα MMS μπορούν να είναι αυτόνομα συστήματα ή να ενσωματωθούν σε άλλα συστήματα επιχειρηματικού λογισμικού, όπως συστήματα προγραμματισμού επιχειρησιακών πόρων (ERP) ή συστήματα ηλεκτρονικής διαχείρισης συντήρησης (CMMS). Ο απώτερος στόχος ενός MMS είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη και αποτελεσματική λύση για τη διαχείριση της συντήρησης του εξοπλισμού σε έναν οργανισμό. (Choudhary, FieldCircle, 2023)

4.2 CMMS



Εικόνα 23 : CMMS. Πηγή: (Christiansen, 2024)

Το CMMS, που σημαίνει ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης της συντήρησης (Computerized Maintenance Management System), είναι ένα εργαλείο λογισμικού που ενοποιεί τα δεδομένα που σχετίζονται με τη συντήρηση και βελτιώνει τις λειτουργίες συντήρησης. Έχει σχεδιαστεί για τη βελτιστοποίηση της χρήσης και της διαθεσιμότητας του φυσικού εξοπλισμού, όπως μηχανήματα, οχήματα, υποδομές εγκαταστάσεων και άλλα εξοπλισμούς. Αυτά τα συστήματα, γνωστά και ως συστήματα πληροφοριών ηλεκτρονικής διαχείρισης συντήρησης (CMMIS), χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η μεταποίηση, η παραγωγή ενέργειας, η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου, οι μεταφορές, οι κατασκευές και άλλες όπου η φυσική υποδομή είναι κρίσιμη.

Η βάση δεδομένων αποτελεί τη ραχοκοκαλιά ενός CMMS. Αποτελείται από ένα μοντέλο δεδομένων που οργανώνει συστηματικά πληροφορίες σχετικά με τον εξοπλισμό που ο οργανισμός συντηρεί καθώς και τον εξοπλισμό, τα υλικά και άλλους πόρους που είναι απαραίτητοι για την εκτέλεση των δραστηριοτήτων συντήρησης.

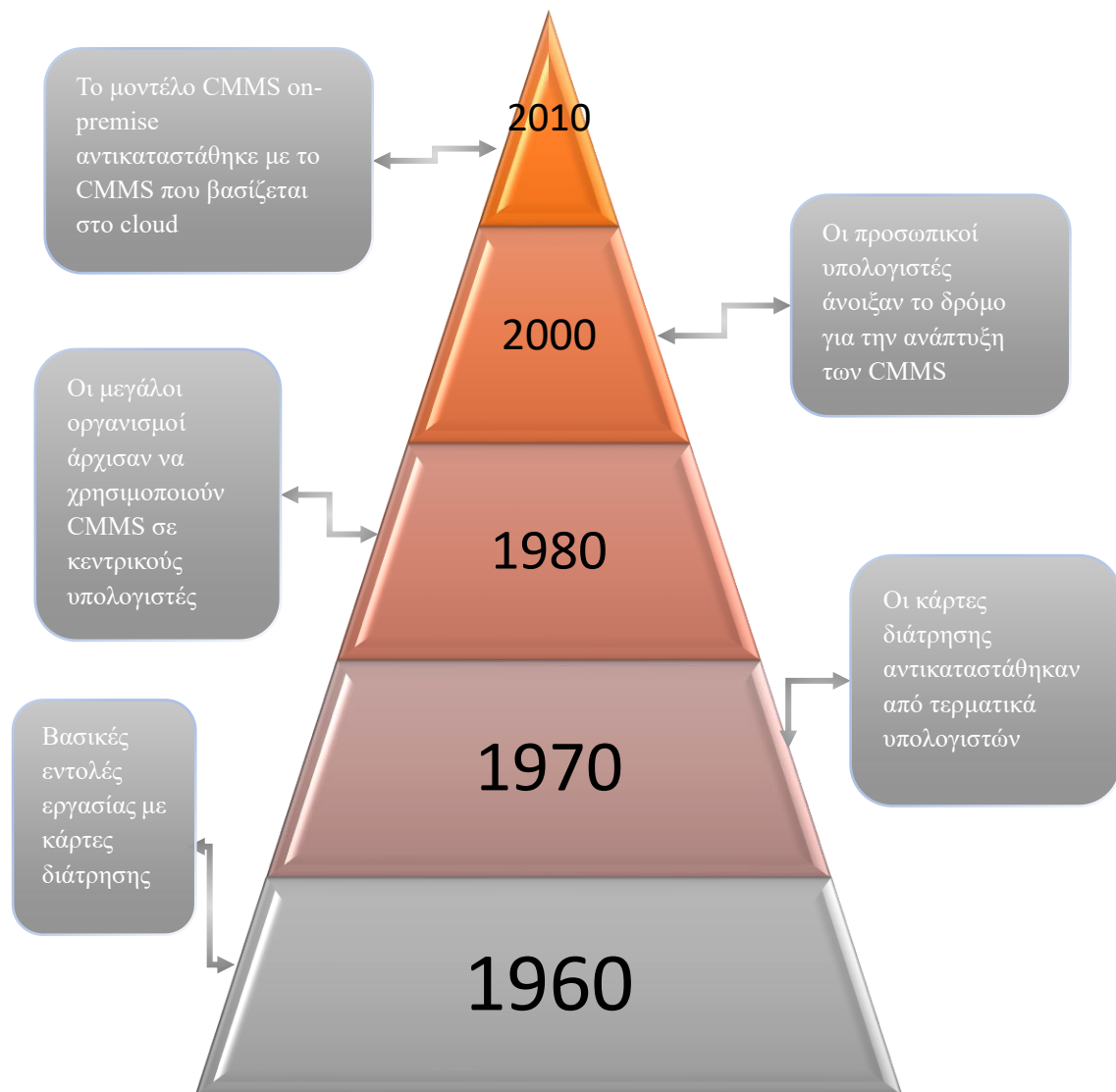
Οι πάροχοι υπηρεσιών συντήρησης στοχεύουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας με τη μεγιστοποίηση του χρόνου που διενεργείται συντήρηση στο πεδίο (wrench time) και την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας (downtime), ενώ παράλληλα διευκολύνουν τη διαχείριση ιδιαίτερα παραγωγικών ομάδων συντήρησης και την επίτευξη λειτουργικής αριστείας. Ο πρωταρχικός στόχος της εφαρμογής λογισμικού μηχανογραφικής διαχείρισης της συντήρησης είναι η απόκτηση μιας ολοκληρωμένης κατανόησης των λειτουργιών συντήρησης, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης αποθεμάτων, της διαχείρισης προμηθευτών, των αιτημάτων αγοράς και των εντολών αγοράς.

Το λογισμικό CMMS επιτρέπει την ολοκληρωμένη παρακολούθηση της διαχείρισης των εντολών εργασίας, ενισχύοντας και τη λογοδοσία στη διαδικασία συντήρησης. Το

λογισμικό μπορεί να αναλύει δεδομένα σε διάφορες μορφές, παρέχοντας στις ηγετικές ομάδες καλύτερη κατανόηση της συνολικής αποτελεσματικότητας του εξοπλισμού (Overall Equipment Effectiveness (OEE)), επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας, την αύξηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού, τη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας των ομάδων πεδίου και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. (Choudhary, FieldCircle, 2023) (IBM, 2023)

4.3 Η ιστορία των CMMS

Πριν από την εμφάνιση των CMMS, η επίτευξη κεντρικής ορατότητας σε πραγματικό χρόνο και αυτοματοποιημένης διαχείρισης των δραστηριοτήτων συντήρησης ήταν δύσκολη, καθώς τα δεδομένα συντήρησης αποθηκεύονταν παραδοσιακά σε έντυπα αρχεία ή λογιστικά φύλλα, γεγονός που καθιστούσε δύσκολη τη διαχείριση και την πρόσβαση σε αυτά. Οι πρώτες εκδόσεις των CMMS εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1960 και υιοθετήθηκαν κυρίως από μεγάλες εταιρείες. Εκείνη την εποχή, το προσωπικό συντήρησης χρησιμοποιούσε διάτρητες κάρτες και κεντρικούς υπολογιστές IBM για την ηλεκτρονική καταγραφή και παρακολούθηση των εργασιών συντήρησης. Στη δεκαετία του 1970, οι διάτρητες κάρτες αντικαταστάθηκαν από λίστες ελέγχου που καταχωρούνταν στο CMMS από τους τεχνικούς στο τέλος της βάρδιας τους. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1980 και του 90, τα CMMS διαδόθηκαν περισσότερο μεταξύ των μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων λόγω της μείωσης του κόστους και της αυξανόμενης διαθεσιμότητας μικρότερων και πιο συνδεδεμένων υπολογιστών. Η δεκαετία του 1990 σηματοδότησε μια περίοδο κατά την οποία τα CMMS άρχισαν να μοιράζονται πληροφορίες μέσω LAN. Στη δεκαετία του 2000, εμφανίστηκαν τα intranets και η συνδεσιμότητα μέσω διαδικτύου, γεγονός που οδήγησε στην επέκταση των δυνατοτήτων του CMMS σε μια ποικιλία κινητών συσκευών, επιχειρησιακών χώρων και εφαρμογών πεδίου. Η τελευταία έκδοση του CMMS είναι βασισμένη στο cloud και προσφέρει περισσότερες λειτουργίες με ταχύτερη υλοποίηση, ευκολότερη συντήρηση και βελτιωμένη ασφάλεια δεδομένων.



Σχήμα 2: Χρονολογική πυραμίδα των CMMS

Καθώς οι βιομηχανίες εξελίσσονταν, το ίδιο συνέβαινε και με τα CMMS, μεταβαίνοντας από ένα μοντέλο αγοράς ή υποστήριξης σε ένα μοντέλο λογισμικού ως υπηρεσία (SaaS). Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) έφερε δυνατότητες δικτύωσης υπολογιστών το 2010, ακολουθούμενη από ασύρματες και κυψελοειδείς τεχνολογίες που επέτρεψαν την καθιέρωση CMMS με βάση το cloud. Το μοντέλο on-premise CMMS αντικαταστάθηκε από το μοντέλο CMMS που βασίζεται στο cloud. Το mobile CMMS έχει γίνει όλο και πιο διαδεδομένο με το IoT (Internet of Things) και την τεχνητή νοημοσύνη ως σημαντικούς συντελεστές στην τεχνολογία Industry 4.0, επιτρέποντας στους χρήστες του συστήματος να τοποθετούν εντολές εργασίας από απόσταση, να παρακολουθούν την πρόοδο και να παραγγέλλουν ανταλλακτικά.

Ταυτόχρονα ενώ οι εταιρείες αναπτύσσονται και αντιμετωπίζουν αυξημένη πολυπλοκότητα, οι διευθυντές αισθάνονται την ανάγκη να λειτουργούν πιο αποδοτικά

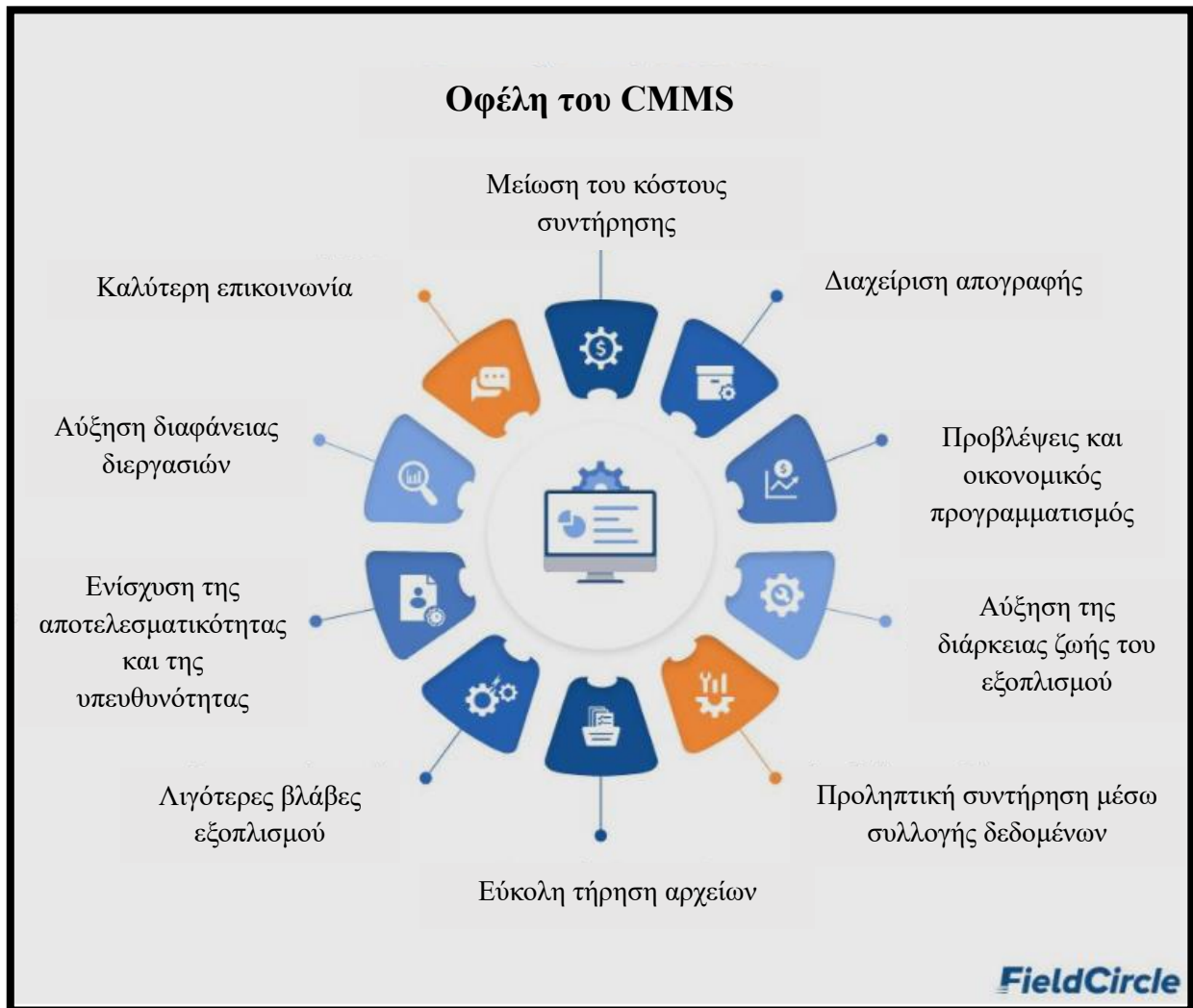
και αποτελεσματικά. Επιδιώκουν υψηλή απόδοση της επένδυσης με τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του χρόνου, τη μείωση του κόστους, την αποτελεσματικότερη διαχείριση της εργασίας και την παράταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού για τη βελτίωση της συνολικής λειτουργίας. Οι επιχειρήσεις έχουν συνειδητοποιήσει ότι η παραδοσιακή διαχείριση της συντήρησης με paper-based συστήματα υπολείπεται στην επίτευξη αυτών των στόχων.

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, το μέλλον του CMMS αναμένεται να είναι ακόμη πιο αποδοτικό και ισχυρό, με την πλήρη ενσωμάτωση του ψηφιακού μετασχηματισμού και, ενδεχομένως, την εφαρμογή δυνατοτήτων επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και εικονικής πραγματικότητας (VR). Η ανάγκη υπαγορεύεται από το γεγονός ότι οι επιχειρήσεις μετατοπίζουν την εστίασή τους από την αντιδραστική συντήρηση στην προληπτική συντήρηση, η οποία βασίζεται σε δεδομένα για την πρόβλεψη της κατάστασης του εξοπλισμού και των μετρήσεων χρήσης. Αυτή η προσέγγιση είναι πιο ακριβής και έξυπνη χάρη στις προηγμένες δυνατότητες του σύγχρονου λογισμικού CMMS. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στη διαχείριση της συντήρησης επιτρέπει ακόμη μεγαλύτερη διορατικότητα και αποτελεσματικότητα.

4.4 Οφέλη CMMS

Η εφαρμογή του λογισμικού CMMS σε έναν οργανισμό προσφέρει πολλά σημαντικά οφέλη, που δικαιολογούν την επένδυση. Το CMMS βοηθά στη μείωση του κόστους, ενισχύει την αποδοτικότητα του εξοπλισμού και βελτιώνει τη συνολική παραγωγή με την αποτελεσματική διαχείριση των εντολών εργασίας, της προληπτικής συντήρησης και των αποθεμάτων. Οι παραδοσιακές προκλήσεις της διαχείρισης και της παρακολούθησης του εξοπλισμού, οι οποίες μπορεί να είναι χρονοβόρες και επιρρεπείς σε ανθρώπινα λάθη, μετριάζονται από τις λύσεις CMMS. Το λογισμικό εξορθολογίζει τις διαδικασίες, αυξάνει τη συνολική αποτελεσματικότητα και συμβάλλει στη βελτίωση της τρίτης γραμμής (εσωτερικός έλεγχος) του οργανισμού. Ο χρόνος που εξοικονομείται μέσω της αυτοματοποίησης και του εξορθολογισμού των διαδικασιών είναι σημαντικός, καθιστώντας το CMMS ένα πολύτιμο περιουσιακό στοιχείο για τις επιχειρήσεις.

Τα βασικά οφέλη από τη χρήση του λογισμικού CMMS περιλαμβάνουν την εξοικονόμηση χρόνου, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη βελτίωση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας. Η εικόνα 24 εμφανίζει ορισμένα από τα οφέλη, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια:



Εικόνα 24 : Οφέλη του CMMS. Πηγή: (Choudhary, FiledCircle, 2023)

Μείωση του κόστους συντήρησης

Ένα από τα κύρια οφέλη της εφαρμογής ενός CMMS είναι η δυνατότητα μείωσης του κόστους συντήρησης. Το CMMS παρέχει πληροφορίες σχετικά με το χρόνο και τα χρήματα που διατίθενται για κάθε αίτημα επισκευής, επιτρέποντας την αποτελεσματική διαχείριση των δαπανών συντήρησης, εργασίας και αποθεμάτων. Αυτές οι λεπτομερείς πληροφορίες επιτρέπουν τον εντοπισμό προβλημάτων σε ολόκληρη την ομάδα, διευκολύνοντας τις προσαρμογές που όχι μόνο εξοικονομούν χρήματα, αλλά συμβάλλουν και στη βελτίωση του συνολικού αποτελέσματος του οργανισμού. Αξιοποιώντας τα δεδομένα που παρέχει το CMMS, οι οργανισμοί μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για τη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων και την ενίσχυση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας στις εργασίες συντήρησης.

Διαχείριση στοιχείων απογραφής

Η αποτελεσματική διαχείριση των αποθεμάτων είναι ένα βασικό πλεονέκτημα της χρήσης ενός CMMS. Πολλοί οργανισμοί αντιμετωπίζουν προκλήσεις που σχετίζονται με τα αποθέματα συντήρησης, συμπεριλαμβανομένων των ελλείψεων και του υψηλού κόστους. Το CMMS αντιμετωπίζει αυτά τα ζητήματα παρέχοντας ένα δομημένο σύστημα για τη διαχείριση των ανταλλακτικών. Με το CMMS, οι οργανισμοί μπορούν εύκολα να παρακολουθούν και να ελέγχουν κάθε στοιχείο του αποθέματός τους, οδηγώντας σε μείωση των ελλείψεων, αύξηση του αποθηκευτικού χώρου και μείωση του κόστους παραγγελίας. Το σύστημα επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση των ποσοτήτων, ενσωματώνει την απογραφή με τις εντολές εργασίας και διευκολύνει την άμεση παραγγελία μέσω του συστήματος, εξασφαλίζοντας μια καλά οργανωμένη και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση στη διαχείριση των αποθεμάτων.

Προβλέψεις και οικονομικός προγραμματισμός

Το CMMS διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην πρόβλεψη και τον οικονομικό προγραμματισμό των οργανισμών. Με τη δημιουργία δεδομένων κόστους για κάθε στοιχείο εξοπλισμού εντός της εγκατάστασης, το CMMS παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις συνολικές δαπάνες και τα έξοδα που σχετίζονται με την αγορά και τη συντήρηση του εξοπλισμού. Αυτές οι λεπτομερείς πληροφορίες είναι απαραίτητες για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και την πρόβλεψη, επιτρέποντας στους οργανισμούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την κατανομή του προϋπολογισμού, τη διαχείριση των πόρων και τις μελλοντικές επενδύσεις. Οι οικονομικές αναφορές που παράγονται από το CMMS συμβάλλουν σε μια πιο στρατηγική και προληπτική προσέγγιση του οικονομικού σχεδιασμού εντός του οργανισμού.

Αύξηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού

Η εφαρμογή επιθεωρήσεων ρουτίνας μέσω του λογισμικού συντήρησης εξοπλισμού που παρέχεται από ένα CMMS αποτελεί μια στρατηγική προσέγγιση για τους οργανισμούς προκειμένου να αποκτήσουν ολοκληρωμένη εικόνα της απόδοσης του εξοπλισμού και των περιουσιακών τους στοιχείων. Αυτή η προληπτική μέθοδος επιτρέπει στους οργανισμούς να εντοπίζουν τις ανάγκες συντήρησης, τις απαιτήσεις αντικατάστασης και τα πιθανά προβλήματα. Με τη συνεπή συντήρηση του εξοπλισμού, το λογισμικό συμβάλλει στην παράταση της διάρκειας ζωής τους, στη βελτιστοποίηση της λειτουργικής απόδοσης και στη μείωση της εμφάνισης απροσδόκητων βλαβών. Αυτό συμβάλλει σε μια πιο αξιόπιστη και βιώσιμη λειτουργία του εξοπλισμού, αυξάνοντας τελικά τη συνολική διάρκεια ζωής και την ικανότητα απόδοσής τους.

Προληπτική συντήρηση μέσω συλλογής δεδομένων

Σε ένα εργοστάσιο με γνώμονα τα δεδομένα, προτιμάται μια προληπτική προσέγγιση της προληπτικής συντήρησης, όπου το CMMS συλλέγει και αναλύει δεδομένα σχετικά με τη χρήση των αποθεμάτων, τις δραστηριότητες συντήρησης, τις επισκευές και τη

χρήση των αποθεμάτων. Αυτή η στρατηγική που βασίζεται στα δεδομένα επιτρέπει στο CMMS να προσδιορίζει τον βέλτιστο χρόνο για τα έργα συντήρησης, παρέχοντας εκ των προτέρων προειδοποιήσεις στις ομάδες συντήρησης για επικείμενα προβλήματα πριν αυτά εκδηλωθούν. Αυτή η προληπτική προσέγγιση ελαχιστοποιεί τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και διασφαλίζει ότι οι παρεμβάσεις συντήρησης στοχεύουν στην αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων και όχι ότι πραγματοποιούνται αποκλειστικά βάσει ενός προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος. Το αποτέλεσμα είναι μια πιο αποδοτική και αποτελεσματική στρατηγική συντήρησης που ευθυγραμμίζεται με τις πραγματικές ανάγκες του εξοπλισμού και των διαδικασιών παραγωγής.

Εύκολη τήρηση αρχείων

Η χρήση ενός CMMS για τη διαχείριση των αποθεμάτων διευκολύνει την παρακολούθηση του κόστους των ανταλλακτικών και επιτρέπει τη δημιουργία ολοκληρωμένων αναφορών για περαιτέρω ανάλυση. Αυτό ενισχύει την αποτελεσματικότητα της παραγγελίας και της χρήσης ανταλλακτικών. Επιπλέον, ένα CMMS απλουστεύει την παρακολούθηση των ελέγχων συμμόρφωσης με τον εξορθολογισμό της παρακολούθησης των δραστηριοτήτων συντήρησης και επισκευής. Συγκεντρώνει όλες τις βασικές προμήθειες, διευκολύνοντας τη συγκέντρωση και τη διαχείριση των απαραίτητων πόρων σε μια κεντρική τοποθεσία. Αυτή η εξορθολογισμένη προσέγγιση συμβάλλει στην καλύτερη οργάνωση και αποτελεσματικότητα των διαδικασιών διαχείρισης αποθεμάτων.

Λιγότερες βλάβες εξοπλισμού

Η τακτική παρακολούθηση των εργασιών προληπτικής συντήρησης σε ένα CMMS διασφαλίζει την αποτελεσματική λειτουργία του εξοπλισμού σας, οδηγώντας σε μείωση των μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας. Επιπλέον, το CMMS μπορεί να υπολογίσει τον μέσο χρόνο μεταξύ των βλαβών (MTBF) για κάθε εξοπλισμό που υφίσταται διακοπή λειτουργίας. Αυτή η λειτουργία βοηθά στην πρόβλεψη και την προετοιμασία για επερχόμενες βλάβες, επιτρέποντας την εφαρμογή προληπτικών μέτρων συντήρησης και συμβάλλοντας στη βελτίωση της συνολικής αξιοπιστίας του εξοπλισμού.

Ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και της υπευθυνότητας

Η συγκέντρωση όλων των εργασιών συντήρησης και εγκαταστάσεων μέσω ενός CMMS επιτρέπει στην ομάδα σας να κατανοήσει καλύτερα τις δραστηριότητες που έχουν προτεραιότητα και να κατανέμει τα σχέδια συντήρησης πιο αποτελεσματικά. Αυτή η συγκεντρωτική προσέγγιση ενισχύει την υπευθυνότητα και την αποτελεσματικότητα ολόκληρης της ομάδας, παρέχοντας σε κάθε μέλος ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με τις καθημερινές δραστηριότητές του και προσφέροντας πληροφορίες για την εργασία του. Ο διαχειριστής του CMMS αποκτά μια ολοκληρωμένη κατανόηση των δραστηριοτήτων σε κάθε εγκατάσταση, διευκολύνοντας τον καλύτερο συντονισμό και προγραμματισμό.

Αύξηση διαφάνειας διεργασιών

Οι διαχειριστές συντήρησης αντιμετωπίζουν συχνά προκλήσεις στην επίβλεψη διαφόρων δραστηριοτήτων συντήρησης, συμπεριλαμβανομένων των εντολών εργασίας, της προληπτικής συντήρησης και των χρονοδιαγραμμάτων συμβάντων. Ένα σύστημα CMMS συγκεντρώνει όλες αυτές τις εργασίες, προσφέροντας ολοκληρωμένες πληροφορίες για τις τρέχουσες δραστηριότητες και την απόδοση του προσωπικού σας. Αυτή η συγκεντρωτική προσέγγιση ενισχύει τη διαχειριστική ορατότητα, διευκολύνοντας τους διαχειριστές συντήρησης να παραμένουν ενημερωμένοι και να συντονίζουν αποτελεσματικά τις εργασίες συντήρησης.

Καλύτερη επικοινωνία

Τα χαρακτηριστικά του CMMS διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της επικοινωνίας εντός των ομάδων, μεταξύ των τμημάτων, ακόμη και με τους εξωτερικούς προμηθευτές. Εξασφαλίζοντας ότι όλοι οι εργαζόμενοι είναι ευθυγραμμισμένοι και στην ίδια σελίδα, το CMMS συμβάλλει στη βελτίωση του συντονισμού και της συνεργασίας. Αυτή η εξορθολογισμένη επικοινωνία μειώνει τη μη απαραίτητη εργασία, απελευθερώνοντας περισσότερο χρόνο για εργασίες με προτεραιότητα, προωθώντας έτσι την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα εντός της επιχείρησης.

Εξίσου σημαντικά οφέλη που δεν αναφέρονται στην παραπάνω εικόνα 24 είναι και τα ακόλουθα:

Αυξημένη παραγωγικότητα

Το διαισθητικό λογισμικό CMMS διευκολύνει την ταχεία υποβολή, παρακολούθηση και διαχείριση των αιτημάτων μίας ομάδα, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα. Μελέτες από αναλυτές του κλάδου και αμερόληπτες έρευνες δείχνουν ότι οι λύσεις CMMS μπορούν να ανακτήσουν από 10 έως 50 τοις εκατό της χαμένης παραγωγικότητας ετησίως. Με λιγότερο χρόνο που δαπανάται για την παρακολούθηση των αιτημάτων, το προσωπικό συντήρησης μπορεί να διαθέσει περισσότερο χρόνο για την εκτέλεση των καθηκόντων του. Οι οργανισμοί που υιοθετούν συστήματα CMMS για λειτουργίες διαχείρισης εγκαταστάσεων έχουν παρατηρήσει μείωση των χρόνων απόκρισης και επίλυσης εντολών εργασίας, συμβάλλοντας στη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας.

Βελτίωση της απόδοσης

Οι λύσεις CMMS προσφέρουν πολυάριθμα οφέλη στην αποδοτικότητα και την ασφάλεια, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς και να αποκτούν μια επισκόπηση των λειτουργιών τους σε πραγματικό χρόνο. Τα χαρακτηριστικά ασφαλείας στα CMMS επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση του εξοπλισμού και των συστημάτων, ειδοποιώντας τους διαχειριστές για τυχόν παρατυπίες. Η συνεχής παρακολούθηση παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση της εταιρείας, ακόμη και αν η άμεση δράση δεν είναι πάντα εφικτή.

Τα πλεονεκτήματα του CMMS περιλαμβάνουν τη δυνατότητα εντοπισμού μοτίβων, όπως η αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας, η χαμηλή απόδοση ή τα φθαρμένα εξαρτήματα. Όταν ενσωματώνεται με εργαλεία προληπτικής συντήρησης, το CMMS μπορεί να ειδοποιεί αυτόματα τους τεχνικούς όταν ένα εξάρτημα πλησιάζει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του, επιτρέποντας προληπτικά μέτρα πριν από την εμφάνιση βλάβης.

Οι εργαζόμενοι έχουν πρόσβαση σε λεπτομερείς αναφορές για κάθε ολοκληρωμένη εργασία, δίνοντας τη δυνατότητα στους διευθυντές να κατανοήσουν καλύτερα τη δυναμική της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων ομάδων. Τα ολοκληρωμένα δεδομένα που παρέχει το CMMS ενισχύουν τη λήψη αποφάσεων και συμβάλλουν στη συνολική βελτίωση της απόδοσης.

Καλύτερη επικοινωνία

Τα χαρακτηριστικά του CMMS συμβάλλουν στη βελτίωση της επικοινωνίας εντός των ομάδων, μεταξύ των τμημάτων και με τους εξωτερικούς προμηθευτές. Ευθυγραμμίζοντας όλους τους εργαζόμενους και τους ενδιαφερόμενους φορείς, το CMMS ενισχύει τη συνεργασία και διασφαλίζει ότι όλοι βρίσκονται στην ίδια σελίδα. Η εξορθολογισμένη επικοινωνία που διευκολύνεται από το CMMS όχι μόνο μειώνει τη μη απαραίτητη εργασία, αλλά και απελευθερώνει περισσότερο χρόνο για εργασίες κρίσιμες για την επιτυχία της επιχείρησης. Αυτή η βελτιωμένη αποδοτικότητα και επικοινωνία είναι απαραίτητες για τη διατήρηση ενός συνεκτικού και παραγωγικού εργασιακού περιβάλλοντος.

Τήρηση αρχείου του ιστορικού δεδομένων

Ένα CMMS χρησιμεύει όχι μόνο ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την παρακολούθηση των τρεχουσών εγκαταστάσεων και εργασιών συντήρησης, αλλά και ως η καλύτερη επιλογή για τη διατήρηση ενός ολοκληρωμένου αρχείου ιστορικών δεδομένων. Αυτές οι αρχειοθετημένες πληροφορίες περιλαμβάνουν ολοκληρωμένες εντολές εργασίας, δαπάνες συντήρησης, εργατοώρες, χρόνο διακοπής λειτουργίας και πολλά άλλα. Αυτά τα οφέλη του CMMS διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διευκόλυνση των ελέγχων των εγκαταστάσεων και στη βοήθεια του προγραμματισμού του προϋπολογισμού. Η πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα επιτρέπει στους οργανισμούς να αναλύουν τις τάσεις, να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να βελτιστοποιούν τις στρατηγικές συντήρησης για βελτιωμένη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα. (Choudhary, FiledCircle, 2023)

4.5 Χαρακτηριστικά CMMS

Προγραμματισμός Συντήρησης (Maintenance Scheduling)

Ο προγραμματισμός της συντήρησης είναι μια θεμελιώδης και κρίσιμη πτυχή του CMMS. Η λειτουργία αυτή χρησιμεύει ως πολύτιμο εργαλείο για τους διαχειριστές και τους τεχνικούς για την αποτελεσματική διαχείριση των εργασιών συντήρησης, ιδίως όταν πρόκειται για μεγάλο αριθμό εξοπλισμού που απαιτούν συντήρηση. Χωρίς ένα αυτοματοποιημένο σύστημα, μπορεί να είναι δύσκολο να παρακολουθείται ποια στοιχεία του εξοπλισμού έχουν ήδη συντηρηθεί και ποια εκκρεμούν ακόμη. Ωστόσο, με ένα πρόγραμμα CMMS, η ομάδα λαμβάνει έγκαιρες ειδοποιήσεις και υπενθυμίσεις σχετικά με τις επερχόμενες ανάγκες συντήρησης. Αυτό επιτρέπει στους τεχνικούς να προετοιμάζονται εκ των προτέρων και διασφαλίζει ότι οι εργασίες συντήρησης εκτελούνται άμεσα και αποτελεσματικά.

Φορητότητα (Mobile CMMS)

Η ενσωμάτωση λύσεων φορητότητας είναι ζωτικής σημασίας για ένα CMMS. Συνήθως, οι εφαρμογές συντήρησης για κινητά περιλαμβάνονται στο CMMS, επιτρέποντας στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες του CMMS μέσω εφαρμογών για κινητά σε συσκευές iOS ή Android. Τα δεδομένα που είναι προσβάσιμα μέσω των εφαρμογών συντήρησης για κινητά μπορούν να περιλαμβάνουν διάφορες πληροφορίες, όπως αναθέσεις εργασιών, προγράμματα προληπτικής συντήρησης, επερχόμενες ειδοποιήσεις, εγχειρίδια σέρβις, συμβάσεις, εγγυήσεις και ιστορικά δεδομένα. Αυτό επιτρέπει στους τεχνικούς να έχουν πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο ενώ βρίσκονται στο εργοτάξιο, επιτρέποντάς τους να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις.

Διαχείριση εντολών εργασίας (Managing work order)

Η αναποτελεσματική διαχείριση των εντολών εργασίας μπορεί να οδηγήσει σε μια προσέγγιση "first-in, first-out", όπου οι εργασίες ολοκληρώνονται με βάση τη σειρά παραλαβής τους, ανεξάρτητα από τον επείγοντα χαρακτήρα ή την προτεραιότητά τους. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει διάφορα ζητήματα, ιδίως όταν οι κρίσιμες εντολές εργασίας απαιτούν άμεση προσοχή. Χωρίς την κατάλληλη διαχείριση εντολών εργασίας, υπάρχει ο κίνδυνος να μην ολοκληρωθούν εγκαίρως σημαντικές εργασίες, με αποτέλεσμα να υπάρξουν καθυστερήσεις και πιθανές διακοπές στη λειτουργία.

Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, η αποτελεσματική διαχείριση εντολών εργασίας καθίσταται ζωτικής σημασίας στις εργασίες συντήρησης. Με την εφαρμογή ενός δομημένου συστήματος, όπως ένα CMMS, οι εντολές εργασίας μπορούν να ιεραρχηθούν και να διαχειριστούν κατάλληλα. Αυτό περιλαμβάνει την ανάθεση επιπέδων προτεραιότητας σε διάφορες εργασίες, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως ο επείγων χαρακτήρας, ο αντίκτυπος στις λειτουργίες και οι απαιτήσεις ασφαλείας. Με τη σωστή διαχείριση των εντολών εργασίας, οι κρίσιμες εργασίες μπορούν να εντοπιστούν και να επισπευσθούν, διασφαλίζοντας ότι λαμβάνουν την απαραίτητη προσοχή και τους απαραίτητους πόρους για να ολοκληρωθούν εγκαίρως.

Προσαρμογή-Εξατομίκευση (Customization)

Το σημερινό CMMS προσφέρει το πλεονέκτημα της ευελιξίας, επιτρέποντάς του να προσαρμόζεται στις μοναδικές ανάγκες κάθε οργανισμού, αντί ο οργανισμός να πρέπει να συμμορφώνεται με το λογισμικό. Αυτό σημαίνει ότι το λογισμικό μπορεί να προσαρμοστεί στις συγκεκριμένες απαιτήσεις των επιχειρήσεων, είτε πρόκειται για μεγάλες είτε για μικρές επιχειρήσεις, και μπορεί να εξελίσσεται και να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες του οργανισμού.

Η εισαγωγή του προγράμματος CMMS ως συστήματος διαχείρισης της συντήρησης προωθήθηκε από τις αλλαγές στην αγορά και την οικονομία. Το σύστημα αυτό έφερε επανάσταση στις προσεγγίσεις διαχείρισης της συντήρησης, οδηγώντας σε σημαντικές βελτιώσεις σε διάφορους οργανισμούς. Ο θετικός αντίκτυπος του λογισμικού είναι εμφανής στα αυξημένα κέρδη και την αποδοτικότητα πολλών οργανισμών που το έχουν υιοθετήσει.

Παρακολούθηση αποθεμάτων (Tracking inventory)

Παραδοσιακά, οι οργανισμοί βασίζονταν σε χειροκίνητες μεθόδους όπως τα λογιστικά φύλλα του Excel για την παρακολούθηση των αποθεμάτων, οι οποίες αποδείχθηκαν αναποτελεσματικές και επιρρεπείς σε σφάλματα. Αυτά τα λάθη στη διαχείριση των αποθεμάτων θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε διάφορα ζητήματα, όπως ελλείψεις αποθεμάτων, καθυστερήσεις στις εργασίες συντήρησης και επαναλαμβανόμενες διαδικασίες.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, οι οργανισμοί έχουν στραφεί στο λογισμικό CMMS για τον εξορθολογισμό και τη βελτίωση της διαχείρισης αποθεμάτων. Το CMMS παρέχει μια κεντρική πλατφόρμα για την αποτελεσματική παρακολούθηση και διαχείριση των αποθεμάτων. Εξαλείφει την ανάγκη για χειροκίνητη καταχώρηση δεδομένων και μειώνει τον κίνδυνο σφαλμάτων.

Με ένα CMMS, οι τεχνικοί έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες απογραφής σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντάς τους να εντοπίζουν και να προμηθεύονται τα απαιτούμενα ανταλλακτικά για τις εργασίες συντήρησης. Το λογισμικό συμβάλλει στην αποφυγή καθυστερήσεων και διακοπών, ειδοποιώντας τον διαχειριστή αποθεμάτων όταν τα επίπεδα αποθεμάτων είναι χαμηλά, επιτρέποντας την έγκαιρη παραγγελία και αναπλήρωση. Αυτό διασφαλίζει ότι οι τεχνικοί έχουν άμεσα διαθέσιμα τα απαραίτητα ανταλλακτικά, επιτρέποντάς τους να εκτελούν αποτελεσματικά τη συντήρηση χωρίς περιττό χρόνο διακοπής λειτουργίας.

Με την αξιοποίηση του CMMS για τη διαχείριση αποθεμάτων, οι οργανισμοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα επίπεδα αποθεμάτων, να ελαχιστοποιήσουν τις ελλείψεις αποθεμάτων, να μειώσουν το κόστος μεταφοράς αποθεμάτων και να βελτιώσουν τις συνολικές λειτουργίες συντήρησης.

Αναφορές και ανάλυση δεδομένων (Reports & analytics)

Οι εκθέσεις και τα δεδομένα ανάλυσης έχουν σημαντική σημασία για τους οργανισμούς όσον αφορά την αξιολόγηση της ανάπτυξης και της προόδου τους. Ένα αποτελεσματικό λογισμικό CMMS περιλαμβάνει μια ποικιλία αναφορών που καλύπτουν βασικούς τομείς όπως τα χρονοδιαγράμματα εργασιών, το ιστορικό εντολών εργασίας, η προληπτική συντήρηση, το ιστορικό εξοπλισμού, οι δεξιότητες εργασίας και άλλα. Αυτές οι αναφορές εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς, όπως ο προϋπολογισμός, η ανάλυση πληροφοριών και οι δραστηριότητες ελέγχου. Μελετώντας και ερμηνεύοντας αυτές τις αναφορές, οι οργανισμοί μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες πληροφορίες για τις δραστηριότητές τους, να εντοπίσουν μοτίβα και να παρακολουθήσουν βασικούς δείκτες απόδοσης (KPI) για να αξιολογήσουν τις δικές τους επιδόσεις. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών εργασίας και στον καθορισμό στόχων για συνεχή βελτίωση.

Διαχείριση εργασίας και πόρων (Labor and resource management)

Το CMMS επιτρέπει στους διαχειριστές συντήρησης να παρακολουθούν τις εργατοώρες που αφιερώνονται σε εργασίες συντήρησης. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αναφορών που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το κόστος εργασίας που συνδέεται με συγκεκριμένες εργασίες, εξοπλισμός ή εντολές εργασίας. Επιπλέον, το CMMS διευκολύνει τον προγραμματισμό και την αποστολή εργασιών συντήρησης στους εργαζόμενους στις αντίστοιχες τοποθεσίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να ενσωματωθεί με λογισμικό ωρομέτρησης για την ακριβή καταγραφή των ωρών εργασίας των εργαζομένων και τον εντοπισμό των διαθέσιμων εργαζομένων για σκοπούς προγραμματισμού. Η ενσωμάτωση αυτή βελτιώνει τη συνολική διαδικασία διαχείρισης του εργατικού δυναμικού, διασφαλίζοντας την αποδοτική αξιοποίηση των πόρων και τον αποτελεσματικό προγραμματισμό των δραστηριοτήτων συντήρησης. (Choudhary, FieldCircle, 2023)

4.6 CMMS στη βιομηχανία

Κατασκευαστικές βιομηχανίες

Οι κατασκευαστικές επιχειρήσεις έρχονται αντιμέτωπες με προκλήσεις όπως η έγκαιρη παράδοση, η διατήρηση άψογου εξοπλισμού και η διαχείριση των υπερωριών των εργαζομένων σε καθημερινή βάση. Ωστόσο, η χρήση μιας χειροκίνητης διαδικασίας συντήρησης δεν αποτελεί αποτελεσματική λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Η κατανομή των ανταλλακτικών και του εξοπλισμού σε πολλά εργοστάσια καθιστά δύσκολη τη συντήρηση από μια κεντρική τοποθεσία, ενώ το κόστος του εξοπλισμού κατασκευών δεν μπορεί να παρακολουθείται σωστά όταν χρησιμοποιείται ένα συμβατικό σύστημα. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, οι κατασκευαστικές επιχειρήσεις μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση λογισμικού

CMMS. Με τη βοήθεια του λογισμικού CMMS, οι κατασκευαστικές επιχειρήσεις μπορούν:

- Να παρακολουθούν αποτελεσματικά και με ακρίβεια όλο τον εξοπλισμό σε πολλαπλά εργοτάξια.
- Να προγραμματίζουν και να ιεραρχούν τις εργασίες συντήρησης, εξασφαλίζοντας την έγκαιρη ολοκλήρωση και την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού.
- Να λαμβάνουν ειδοποιήσεις και υπενθυμίσεις για να διασφαλίζουν ότι δεν θα παραλείπονται ή δεν θα μένουν ανεκτέλεστες εργασίες συντήρησης.
- Να βελτιστοποιούν τη χρήση του εξοπλισμού, διασφαλίζοντας ότι ο εξοπλισμός χρησιμοποιείται στο μέγιστο δυνατό βαθμό και μειώνοντας τις περιττές επισκευές ή αντικαταστάσεις.
- Να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα χρήσης εξοπλισμού και ιστορικά αρχεία συντήρησης για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.
- Να παρακολουθούν την απόδοση πολλαπλών εργοταξίων από μια κεντρική τοποθεσία, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη διαχείριση και επίλυση προβλημάτων.
- Να δημιουργούν πολύτιμες αναφορές και πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του εξοπλισμού και τις ανάγκες συντήρησης, βοηθώντας στην αποτελεσματική λήψη αποφάσεων.

Βιομηχανία μεταποίησης

Οι μεταποιητικές επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις, όπως ξαφνικές διακοπές λειτουργίας, αυξημένο λειτουργικό κόστος, απώλεια παραγωγικότητας και διακοπή παραγωγής. Η χρήση μιας χειροκίνητης διαδικασίας για τη συντήρηση μπορεί να περιπλέξει τις εργασίες και να αυξήσει τον κίνδυνο βλαβών μηχανών και εξοπλισμού, οδηγώντας σε απώλειες στην παραγωγή και την παραγωγικότητα. Επιπρόσθετα σε κρίσιμες εγκαταστάσεις όπως τα διυλιστήρια και οι χημικές βιομηχανίες οι κίνδυνοι βλαβών μπορεί να συνεπάγονται κινδύνους ασφάλειας όχι μόνο για την εγκατάσταση αλλά και για το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο.

Άλλες βιομηχανίες

Παρόλο που το λογισμικό CMMS συνδέεται συνήθως με τη μεταποιητική βιομηχανία, στην πραγματικότητα μπορεί να προσφέρει οφέλη σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών πέραν της μεταποιητικής βιομηχανίας. Με τον εξορθολογισμό και την αυτοματοποίηση των εργασιών συντήρησης, το λογισμικό CMMS μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα, να μειώσει τα σφάλματα και τελικά να εξοικονομήσει χρόνο και χρήμα. Παρακάτω τοποθετούνται μερικές από τις βιομηχανίες που μπορούν να επωφεληθούν περισσότερο από τη χρήση λογισμικού CMMS:

- Βιομηχανία λιανικού εμπορίου
- Ομοσπονδιακές, πολιτειακές και τοπικές κυβερνήσεις
- Σχολεία και πανεπιστήμια

- Εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας
- Διαχείριση ακίνητης περιουσίας
- Βιομηχανία καλωδίων και τηλεπικοινωνιών
- Βιομηχανία πληροφορικής
- Αεροδρόμια
- Δημοτικοί οργανισμοί
- Αθλητικά στάδια

(Rahman, 2020)

4.7 Προγράμματα CMMS: Διαθεσιμότητα και κόστος

Σήμερα, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα λύσεων λογισμικού για το σύστημα διαχείρισης ηλεκτρονικής συντήρησης (CMMS) που διατίθενται στην αγορά. Υπάρχουν λύσεις CMMS τόσο on-premise όσο και cloud-based που μπορούν να καλύψουν τις συγκεκριμένες ανάγκες ενός οργανισμού. Η διαθεσιμότητα διαφορετικών επιλογών λογισμικού CMMS έχει διευκολύνει τους οργανισμούς να βρουν ένα σύστημα που ανταποκρίνεται στις μοναδικές απαιτήσεις τους, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή τον κλάδο τους. Συνολικά, η ευρεία διαθεσιμότητα του λογισμικού CMMS έχει καταστήσει δυνατό για τους οργανισμούς όλων των τύπων να επωφεληθούν από τις εξορθολογισμένες λειτουργίες συντήρησης και τη βελτιωμένη διαχείριση εξοπλισμού. Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα από τα διαθέσιμα προγράμματα στην αγορά, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους :

Εταιρεία	Χαρακτηριστικά						
	Διαχείριση αποθεμάτων	Προγραμματισμός συντήρησης	Χρήση από κινητό	Διαχείριση εντολών εργασίας	Προσαρμογή-Εξατομίκευση	Διαχείριση εργασίας και πόρων	Αναφορές και ανάλυση
Fiix	x	x	x	x	x	x	x
UpKeep	x	x	x	x	x	x	x
MaintainX	x	x	x	x	x		
ManWinWin	x	x	x	x	x	x	x
emaint	x	x	x	x	x	x	x
AIMMS	x	x	x	x		x	x
Hippo CMMS	x	x	x	x		x	x
Wricer	x	x	x	x	x	x	x
Llumin	x	x	x	x		x	x
MaintiMizer		x					
60Hertz	x	x	x	x	x	x	x

ΠΙΝΑΚΑΣ II: Σύγκριση ιδιοτήτων

Εταιρεία	Τιμή ανά μήνα και χρήστη	
	Ελάχιστη	Μέγιστη
Fiix	Δωρεάν	75\$ (Professional)
UpKeep	Δωρεάν	75\$(Professional) 120\$ (Business Plus)
MaintainX	Δωρεάν	41\$ (Premium)
ManWinWin	Δωρεάν	599\$ (εφάπαξ)
emaint	Δωρεάν δοκιμή	85\$ (Professional)-120\$ (Enterprise)
AIMMS	Δωρεάν demo	
Hippo CMMS	35\$	75\$ (Pro)
Wricer	Δωρεάν για 1-5 χρήστες	24.80\$ (Business plan)
Llumin	45\$	
MaintiMizer	420\$ (ανά έτος)	
60Hertz	20\$	

ΠΙΝΑΚΑΣ III: Σύγκριση κόστους

Wrike

Το Wrike είναι ένα ευέλικτο λογισμικό διαχείρισης έργων που έχει σχεδιαστεί για να βελτιώνει τη συνεργασία και να εξορθολογίζει τις διαδικασίες εργασίας για ελεύθερους επαγγελματίες και επιχειρήσεις όλων των μεγεθών. Προσφέρει ολοκληρωμένες λειτουργίες για τη διαχείριση έργων σε διάφορες ομάδες, από το μάρκετινγκ έως τις επαγγελματικές υπηρεσίες. Ένα χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει είναι το Work Intelligence, το οποίο συνδυάζει την τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση για την ενίσχυση της παραγωγικότητας. Τα διαδραστικά διαγράμματα Gantt και οι πίνακες Kanban παρέχουν οπτική παρακολούθηση της προόδου των έργων. Το Wrike υποστηρίζει την ολοκλήρωση με περισσότερες από 400 εφαρμογές, όπως το Slack, το Salesforce, το Google Drive και το Microsoft Sharepoint.

Μερικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Wrike είναι τα ακόλουθα::

- Διευκόλυνση διορθώσεων: Το Wrike προσφέρει μια λειτουργία διορθώσεων που βελτιώνει τη διαδικασία ανατροφοδότησης και έγκρισης. Οι χρήστες μπορούν να παρέχουν ανατροφοδότηση, να μοιράζονται αρχεία και να δίνουν εγκρίσεις από μια κεντρική τοποθεσία, μειώνοντας την ανάγκη για ανταλλαγή μηνυμάτων.
- Ψηφιακές ευκολίες: Το Wrike περιλαμβάνει εργαλεία που απλοποιούν τη διαχείριση του συνόλου του εξοπλισμού μια εταιρείας απευθείας μέσα στην πλατφόρμα. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη εναλλαγής μεταξύ πολλαπλών εφαρμογών.
- Προσαρμοσμένες φόρμες αιτημάτων: Το Wrike δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να δημιουργούν προσαρμοσμένες φόρμες αιτημάτων με διάφορους τύπους πεδίων και μορφές ερωτήσεων. Σε αυτές τις φόρμες μπορεί να εφαρμοστεί έξυπνη αυτοματοποίηση, ενσωματώνοντας βήματα υπό όρους που προσαρμόζονται ανάλογα με τις απαντήσεις που παρέχονται.

Οι επιλογές τιμολόγησης περιλαμβάνουν ένα δωρεάν σχέδιο για έως και πέντε χρήστες, ένα σχέδιο Professional στα 9,80 δολάρια ανά χρήστη ανά μήνα, ένα επιχειρηματικό σχέδιο στα 24,80 δολάρια ανά χρήστη ανά μήνα και ένα σχέδιο Enterprise βάσει προσφοράς για μεγαλύτερους οργανισμούς.

Fiix

Το Fiix είναι ένα ευέλικτο λογισμικό συντήρησης που έχει σχεδιαστεί για επιχειρήσεις όλων των μεγεθών για τη βελτιστοποίηση των εργασιών συντήρησης. Δίνει τη δυνατότητα στους οργανισμούς να μειώνουν τον χρόνο διακοπής λειτουργίας που σχετίζεται με τον εξοπλισμό, να αυξάνουν την παραγωγή και να μειώνουν το κόστος εργασίας. Ένα ξεχωριστό χαρακτηριστικό του Fiix είναι οι δυνατότητες συντήρησης εξοπλισμού με τεχνητή νοημοσύνη, επιτρέποντας στους χρήστες να διαχειρίζονται τον εξοπλισμό, να δημιουργούν ολοκληρωμένες αναφορές και να μετατρέπουν τα οπτικοποιούν κατάλληλα τα δεδομένα ώστε να δίνουν χρήσιμη πληροφορία. Η λύση αυτή εξυπηρετεί μικρές και μεγάλες ομάδες σε περισσότερες από 90 χώρες και μπορεί

να συνεργασθεί απρόσκοπτα με άλλο λογισμικό, όπως το Storeroom Logix, τα συστήματα MAJiK και το MachineMetrics. Σημαντικά στοιχείο της είναι η εκτεταμένη συνδεσιμότητα μέσω του κόμβου ολοκλήρωσης και της ανταλλαγής εφαρμογών, με πάνω από χίλια τελικά σημεία.

Μερικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Fiix είναι τα ακόλουθα:

- **Fiix Foresight:** Αυτό το χαρακτηριστικό αξιοποιεί την τεχνητή νοημοσύνη για να παρέχει προηγμένες δυνατότητες συντήρησης. Επιτρέπει στους χρήστες να εντοπίζουν μοτίβα, να βελτιστοποιούν τις εργασίες και να προσαρμόζουν τα προγράμματα συντήρησης. Επιπλέον, το Fiix Foresight προσφέρει μια ασφαλή αποθήκη δεδομένων για την αποτελεσματική διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων συντήρησης.
- **Διαχείριση ανταλλακτικών και αποθεμάτων:** Το Fiix απλοποιεί τη διαχείριση αποθεμάτων, επιτρέποντας στους χρήστες να ορίζουν ελάχιστες ποσότητες ανταλλακτικών και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις όταν τα αποθέματα εξαντλούνται. Η πλατφόρμα απλοποιεί επίσης τη διαδικασία προμηθειών, διευκολύνοντας τη δημιουργία παραγγελιών αγοράς (PO), αιτήσεων προσφορών (RFQ) και αιτήσεων προτάσεων (RFP) μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.
- **Διαχείριση εντολών εργασίας με βάση το cloud:** Το Fiix εξαλείφει την ανάγκη για εντολές εργασίας σε χαρτί. Οι χρήστες μπορούν να υποβάλλουν αιτήματα εργασίας μέσω μιας πύλης και να εισάγουν εντολές εργασίας από αρχεία CSV. Αυτή η προσέγγιση που βασίζεται στο cloud ενισχύει την αποτελεσματικότητα και την οργάνωση στη διαχείριση των εντολών εργασίας.

Το Fiix προσφέρει μια σειρά από πακέτα, συμπεριλαμβανομένης μιας δωρεάν επιλογής, ενός βασικού πακέτου στα 45 δολάρια, ενός επαγγελματικού πακέτου στα 75 δολάρια και ενός πακέτου Enterprise με τιμολόγηση βάσει προσφορών.

eMaint

Το eMaint είναι μια ολοκληρωμένη λύση λογισμικού CMMS που έχει σχεδιαστεί για να βελτιώνει τις λειτουργίες συντήρησης για επιχειρήσεις σε διάφορους κλάδους. Η εστίαση του eMaint στη διαχείριση πολλαπλών χώρων, τη διαδραστική απεικόνιση και την προληπτική συντήρηση το τοποθετεί ως μια ευέλικτη και προοδευτική λύση CMMS για οργανισμούς που επιθυμούν να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες συντήρησης.

Ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- **Δυνατότητες εντολών εργασίας:** Το σύστημα διαχείρισης εντολών εργασίας του eMaint επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν αποτελεσματικά τον χρόνο εργασίας, να έχουν πρόσβαση σε ιστορικές μετρήσεις συντήρησης και να ενημερώνονται με πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις δραστηριότητες συντήρησης και επισκευής. Αυτό το χαρακτηριστικό βοηθά τις

επιχειρήσεις να ελαχιστοποιήσουν τον δαπανηρό χρόνο διακοπής λειτουργίας, να βελτιώσουν την αξιοπιστία του εξοπλισμού και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των περιουσιακών τους στοιχείων.

- Εφαρμογή για κινητά: Το eMaint προσφέρει μια εφαρμογή για κινητά που βοηθά τους τεχνικούς κατά την εργασία τους στο πεδίο. Αυτή η κινητή λειτουργία ενισχύει την ευελιξία και την αποτελεσματικότητα των ομάδων συντήρησης, επιτρέποντάς τους να έχουν πρόσβαση σε κρίσιμες πληροφορίες εν κινήσει.
- Επιλογές ενσωμάτωσης: Το eMaint παρέχει ένα API που επιτρέπει στους χρήστες να ενσωματωθούν με άλλες εφαρμογές λογισμικού, συμπεριλαμβανομένων δημοφιλών πλατφορμών όπως η Oracle, το SAP, το Jira και το ADP. Αυτή η ευελιξία διασφαλίζει την απρόσκοπτη συνεργασία με υπάρχοντα εργαλεία και συστήματα, καθιστώντας το eMaint κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών.
- Εργαλειοθήκη πολλαπλών τοποθεσιών: Το eMaint προσφέρει μια ισχυρή εργαλειοθήκη πολλαπλών τοποθεσιών, η οποία απλοποιεί τη διαχείριση της συντήρησης σε πολλές τοποθεσίες. Αυτή η εργαλειοθήκη επιτρέπει στους οργανισμούς να τυποποιούν πληροφορίες για διαφορετικές τοποθεσίες, διευκολύνοντας την αναφορά δεδομένων από διάφορες τοποθεσίες. Οι χρήστες μπορούν να ενοποιούν λογαριασμούς και να προωθούν εντολές εργασίας σε πολλαπλές τοποθεσίες, βελτιώνοντας τις διαδικασίες συντήρησης για γεωγραφικά διασκορπισμένες επιχειρήσεις.
- Διαδραστικά σχέδια: Η λειτουργία διαδραστικών σχεδίων του eMaint επιτρέπει στους χρήστες να απεικονίζουν δεδομένα μέσω κατόψεων, χαρτών χώρων και άλλων εικόνων. Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για τους διαχειριστές εγκαταστάσεων και ακινήτων, καθώς τους βοηθά να εντοπίζουν και να αναγνωρίζουν εύκολα τον εξοπλισμό εντός των κτιρίων ή σε διάφορες τοποθεσίες. Παρέχει μια σαφή οπτική αναπαράσταση του εξοπλισμού, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική διαχείριση της συντήρησης.
- Προβλεπτική συντήρηση: Το eMaint περιλαμβάνει δυνατότητες προβλεπτικής συντήρησης, οι οποίες είναι απαραίτητες για την αποφυγή απρογραμμάτιστων διακοπών λειτουργίας. Το σύστημα παρακολουθεί διάφορες παραμέτρους, όπως ο θόρυβος, η φθορά, η διάβρωση, η θερμοκρασία και άλλα δεδομένα που σχετίζονται με τον εξοπλισμό. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες, το λογισμικό χρησιμοποιεί προγνωστική ανάλυση για την πρόβλεψη πιθανών βλαβών του εξοπλισμού. Αυτή η προληπτική προσέγγιση της συντήρησης ελαχιστοποιεί τις διακοπές και παρατείνει τη διάρκεια ζωής των κρίσιμων εξοπλισμού.

Το eMaint προσφέρει μια σειρά τιμολογιακών πακέτων για να εξυπηρετεί επιχειρήσεις διαφορετικού μεγέθους και αναγκών. Τα πακέτα Team, Professional και Enterprise παρέχουν επιλογές στους οργανισμούς να επιλέξουν το επίπεδο χαρακτηριστικών και υποστήριξης που ταιριάζει καλύτερα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις συντήρησης.

Hippo CMMS

Το Hippo CMMS είναι ένα ολοκληρωμένο και φιλικό προς το χρήστη λογισμικό διαχείρισης συντήρησης που έχει σχεδιαστεί για να δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις όλων των τύπων να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τις εργασίες συντήρησης. Αυτή η λύση προσφέρει μια σειρά από χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στους οργανισμούς να βελτιώσουν τη διαχείριση των εντολών εργασίας, να προγραμματίσουν και να παρακολουθήσουν την προληπτική συντήρηση και να ελέγξουν αποτελεσματικά τα αποθέματά τους.

Το Hippo CMMS είναι ευέλικτο και μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες ανάγκες διαφόρων βιομηχανιών, όπως η μεταποίηση, τα τρόφιμα και τα ποτά, η υγειονομική περίθαλψη και άλλες. Μπορεί επίσης να ολοκληρωθεί με άλλες εφαρμογές λογισμικού μέσω του API του, ενισχύοντας τις δυνατότητες και την ευελιξία του. Το Hippo προσφέρει τρία πακέτα τιμολόγησης, καθιστώντας το προσιτό σε επιχειρήσεις διαφορετικών μεγεθών και αναγκών.

Οι βασικές πτυχές του Hippo CMMS περιλαμβάνουν:

- Προληπτική συντήρηση: Το Hippo απλοποιεί τη διαδικασία δημιουργίας προγραμμάτων προληπτικής συντήρησης (ΠΣ). Οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν και να διαχειρίζονται εργασίες PM χωρίς την ανάγκη γραφειοκρατίας ή απαρχαιωμένων συστημάτων υπολογιστικών φύλλων, διασφαλίζοντας ότι η συντήρηση αντιμετωπίζεται προληπτικά για την πρόληψη των βλαβών. Η λειτουργία προληπτικής συντήρησης στο Hippo CMMS επιτρέπει τη διατήρηση ενός ολοκληρωμένου ιστορικού συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού. Δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των χρονοδιαγραμμάτων συντήρησης του εξοπλισμού και διασφαλίζει ότι οι εντολές εργασίας είναι εφοδιασμένες με όλα τα απαραίτητα εργαλεία και πληροφορίες για να μπορούν οι τεχνικοί να εκτελούν εργασίες επί τόπου.
- Διαχείριση εντολών εργασίας: Η πλατφόρμα παρέχει ισχυρές δυνατότητες διαχείρισης εντολών εργασίας, επιτρέποντας στους οργανισμούς να ξεκινούν, να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται εντολές εργασίας με ευκολία. Αυτή η λειτουργία ενισχύει την επικοινωνία και την ορατότητα μεταξύ των ομάδων συντήρησης.
- Διαδραστικό σχέδιο ορόφου: Η Hippo προσφέρει μια διαδραστική λειτουργία κάτοψης, επιτρέποντας στους χρήστες να απεικονίζουν τις εγκαταστάσεις και τις διατάξεις του εξοπλισμού τους. Οι χρήστες μπορούν να κάνουν ζουμ σε σχέδια και χάρτες, καθιστώντας εύκολο τον ακριβή εντοπισμό της θέσης των ανοικτών εντολών εργασίας και την πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τον εξοπλισμό με λίγα μόνο κλικ. Τα διαδραστικά σχέδια κατόψεων ενισχύουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα στη διαχείριση εγκαταστάσεων.
- Διαχείριση εξοπλισμού: Το λογισμικό περιλαμβάνει εργαλεία για την αποτελεσματική διαχείριση του εξοπλισμού. Οι χρήστες μπορούν να

- παρακολουθούν την κατάσταση και την απόδοση του εξοπλισμού, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη λειτουργία τους και την έγκαιρη συντήρησή τους.
- Έλεγχος αποθεμάτων και ανταλλακτικών: Το Hippo CMMS επιτρέπει στους οργανισμούς να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τα αποθέματα και τα ανταλλακτικά τους. Αυτό διασφαλίζει ότι τα απαραίτητα εξαρτήματα είναι άμεσα διαθέσιμα όταν απαιτείται συντήρηση ή επισκευή.
 - Αναφορές συντήρησης: Η πλατφόρμα παράγει αναφορές συντήρησης, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις δραστηριότητες συντήρησης, την απόδοση του εξοπλισμού και τη συνολική αποτελεσματικότητα της συντήρησης.

Το Hippo προσφέρει 3 πακέτα, το Starter στα 35 δολάρια το μήνα, το Plus στα 55 δολάρια το μήνα και το Pro στα 75 δολάρια το μήνα.

UpKeep

Το UpKeep είναι ένα σύγχρονο Σύστημα Ηλεκτρονικής Διαχείρισης Συντήρησης (CMMS) που έχει σχεδιαστεί για να ενισχύει τις επιχειρήσεις όλων των μεγεθών με την αποτελεσματική διαχείριση της συντήρησης και της αξιοπιστίας του εξοπλισμού. Η πλατφόρμα αυτή προσφέρει μια σειρά από οφέλη, όπως μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας, εξορθολογισμό των διαδικασιών, αύξηση της παραγωγικότητας και πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Απευθύνεται σε ομάδες συντήρησης και παρακολούθησης λειτουργίας και αξιοπιστίας και μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να καλύπτει τις ειδικές ανάγκες διαφόρων κλάδων, όπως η γεωργία, η υγειονομική περίθαλψη και η διαχείριση ακινήτων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του UpKeep περιλαμβάνουν ισχυρή παρακολούθηση εντολών εργασίας, επιτρέποντας στους χρήστες να οργανώνουν τις εντολές εργασίας με διάφορα κριτήρια, όπως ο τεχνικός, η τοποθεσία, η κατάσταση, η ημερομηνία λήξης και η προτεραιότητα. Επιπλέον, το σύστημα είναι φιλικό προς τα κινητά, διευκολύνοντας τη διαχείριση εντολών εργασίας εν κινήσει. Το UpKeep υποστηρίζει επίσης την ολοκλήρωση με διάφορες εφαρμογές, όπως η Coupa, το FreshBooks, το Microsoft Azure, το Microsoft Teams και το Microsoft Excel.

Ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- Ασφάλεια και συμμόρφωση: UpKeep παρέχει στους χρήστες εύκολη πρόσβαση σε ιστορικά έγγραφα, εγχειρίδια ασφαλείας και κανονιστικές πληροφορίες. Αυτό το χαρακτηριστικό βοηθά σημαντικά στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς ασφαλείας και στον εξορθολογισμό των διαδικασιών ελέγχου.
- Διαχείριση εξοπλισμού: Οι δυνατότητες διαχείρισης εξοπλισμού του UpKeep προσφέρουν εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες εξοπλισμού και ιστορικό συντήρησης, είτε σε κινητές συσκευές είτε σε υπολογιστές. Το ταμπλό της

πλατφόρμας παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του εξοπλισμού, βοηθώντας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

- ο Αναφορές συντήρησης: Το UpKeep προσφέρει μια σειρά από προκατασκευασμένα ταμπλό και την ευελιξία δημιουργίας προσαρμοσμένων. Οι χρήστες μπορούν να εξάγουν αναφορές σε PDF, απλοποιώντας την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των μελών της ομάδας. Αυτό το χαρακτηριστικό ενισχύει τη διαφάνεια και διευκολύνει τις αποφάσεις συντήρησης με βάση τα δεδομένα.

Οι επιλογές τιμολόγησης κυμαίνονται από ένα δωρεάν πακέτο Community (\$0 per month per user) έως πιο προηγμένα επί πληρωμή πακέτα (Starter (\$45 per month per user), Professional (\$75 per month per user)) προσφέροντας ευελιξία για επιχειρήσεις όλων των κλιμάκων.

4.8 Παραδείγματα χρήσης CMMS στη βιομηχανία

Ardagh Group



Η Ardagh Group είναι μια εταιρεία που κατέχει ηγετική θέση παγκοσμίως στην κατασκευή συσκευασίας από γυαλί και μέταλλο. Διαθέτει 109 εγκαταστάσεις που κατασκευάζουν προϊόντα από γυαλί και μέταλλο σε 22 διαφορετικές χώρες. Η απουσία τυποποιημένων διαδικασιών συντήρησης στον όμιλο Ardagh οδήγησε σε ανεπαρκή συντονισμό, ασυνέπεια και κενά επικοινωνίας μεταξύ των ομάδων συντήρησης και μεταξύ των εγκαταστάσεων.

Ο όμιλος Ardagh αναγνώρισε την ανάγκη για λογισμικό CMMS για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων του και την αντιμετώπιση της αναποτελεσματικότητας. Η εταιρεία επέλεξε το Fiix και το εφάρμοσε αρχικά πιλοτικά σε τρία εργοστάσια και στη συνέχεια σε επτά εγκαταστάσεις. Η ομάδα συντήρησης της Ardagh Group ήταν σε θέση να παράγει λεπτομερείς αναφορές KPI (Key Performance Indicators) χρησιμοποιώντας το λογισμικό CMMS της Fiix, επιτρέποντάς τους να αναλύσουν και να βελτιστοποιήσουν τη στρατηγική προληπτικής συντήρησης. Ως αποτέλεσμα, πέτυχαν εξοικονόμηση κόστους 15% και μπόρεσαν να εξοικονομήσουν χρόνο και να εξαλείψουν τους πονοκεφάλους που σχετίζονται με τις χειροκίνητες διαδικασίες παρακολούθησης της συντήρησης.

Rambler Metals & Mining



Η Rambler Metals & Mining είναι μια εταιρεία που κατέχει το 100% του ορυχείου χαλκού-χρυσού Ming που βρίσκεται στο Baie Verte, Newfoundland and Labrador, Καναδάς. Η εταιρεία διαθέτει δύο εργοτάξια και απασχολεί 160 άτομα που εργάζονται σε 24ωρη βάση.

Η ομάδα συντήρησης της Rambler Metals & Mining χρησιμοποιούσε ένα συμβατικό σύστημα, το οποίο δεν είχε τυποποίηση και οδηγούσε σε αναποτελεσματικότητα. Αυτό το σύστημα έκανε την ομάδα να παραβλέπει προβλήματα που θα μπορούσαν να αποφευχθούν, να χάνει την αποτελεσματικότητα και να χάνει χρόνο ανακατασκευάζοντας πολλαπλά χειρόγραφα έγγραφα για να ιεραρχήσει τις εργασίες. Τα μέλη της ομάδας περνούσαν ώρες γράφοντας σημειώσεις και καθορίζοντας ποιο πρόβλημα έπρεπε να διορθωθεί πρώτο, αυξάνοντας την αναποτελεσματικότητα του συστήματος.

Η Rambler Metals & Mining διερεύνησε διάφορες λύσεις που βασίζονται στο cloud για να εκσυγχρονίσει τη διαδικασία εντολών εργασίας και να βελτιώσει την επικοινωνία μεταξύ των ομάδων. Υιοθέτησαν το CMMS της Fiix και είδε σημαντική βελτίωση της παραγωγικότητας. Η ομάδα συντήρησης μπόρεσε να αυξήσει το wrench time κατά 1,5 ώρα, που αντιστοιχεί σε αύξηση 15%. Η ομάδα ξόδεψε λιγότερο χρόνο για τη σύνταξη σημειώσεων και αναφορών και οι γνώσεις τους για τον εξοπλισμό βελτιώθηκαν.

Voltalia



Η Voltalia είναι μια διεθνής εταιρεία με εξειδίκευση στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την παροχή υπηρεσιών. Στόχος της Voltalia ήταν να διαθέτει ένα φορητό CMMS που θα μπορούσε να παρακολουθεί αποτελεσματικά τον εξοπλισμό, να διαχειρίζεται εργαλεία και αποθέματα και να τυποποιεί τις πρακτικές συντήρησης και τις αναφορές σε ολόκληρο τον οργανισμό.

Μετά την υιοθέτηση του λογισμικού CMMS της Fiix, η Voltalia μπόρεσε να αυξήσει την πρόσβαση σε KPIs και τη λογοδοσία. Ήταν επίσης σε θέση να προγραμματίσουν

πάνω από 14.000 γύρους προληπτικής συντήρησης, γεγονός που τους βοήθησε να μειώσουν το κόστος, να αυξήσουν τα έσοδα και να βελτιώσουν τα συνολικά αποτελέσματα. (Cousineau, 2018)

5. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

5.1 Ορισμός προβλήματος

Οι φρεγάτες τύπου MEKO 200 αποτελούν μια ιδιαίτερα πετυχημένη σχεδίαση πολεμικού πλοίου καθώς έχουν αποτελέσει επιλογή αρκετών κρατών για το Πολεμικό τους Ναυτικό όπως η Ελλάδα, η Τουρκία, η Νέα Ζηλανδία, η Αυστραλία, κ.α. Διαθέτουν για την πρόωσή τους 4 μηχανές, 2 αεριοστροβίλους LM2500 της GM και δύο μηχανές Diesel MTU 956 20V που αποδίδουν ισχύ σε δύο άξονες σε διάταξη CODOG (Combination of Diesel or Gas). Στη διάταξη αυτή, σε κάθε άξονα είναι συνδεδεμένος ένας αεριοστρόβιλος και μία μηχανή diesel που επιλέγονται προς χρήση κατά περίπτωση. Έτσι για μικρές ταχύτητες και οικονομία καυσίμου επιλέγεται η μηχανή diesel και για μεγάλες ταχύτητες ο αεριοστρόβιλος.

Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή οι μηχανές Diesel MTU 956 20V εκτελούν εργασίες γενικής επισκευής (overhaul) κάθε 15000 ώρες λειτουργίας ή 18 έτη. Με βάση δημοσιευμένα στοιχεία από την κατακυρωτική απόφαση σε διαγωνισμό της Γενικής Διεύθυνσης Αμυντικών Εξοπλισμών και Επενδύσεων (ΓΔΑΕΕ) του ΥΠΕΘΑ, το κόστος γενικής επισκευής μιας μηχανής (εργασία και ανταλλακτικά) ανέρχεται στο 1.550.000 Ευρώ.

Η υπόθεση εργασίας συνίσταται στη μελέτη του κέρδους στο κόστος κύκλου ζωής μιας μηχανής τύπου MTU 956 20V με τη μετάβαση από την πολιτική συντήρησης βάσει του χρόνου και των ωρών λειτουργίας σε μια πολιτική συντήρησης βάσει της κατάστασής της η οποία θα μπορούσε να επιτρέψει την παράταση του χρόνου μεταξύ επισκευών. Η μελέτη εξετάζει το όφελος σε κόστος και διαθεσιμότητα από την εφαρμογή προβλεπτικής συντήρησης μόνον όσον αφορά το κομμάτι των γενικών επισκευών. Είναι δεδομένο ότι αντίστοιχο όφελος θα υπάρχει και στην αναθεώρηση μικρότερη εκτάσεως συντήρησης. (Wikipedia, 2024) (DEFENCE, 2019)

5.2 Παραδοχές

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο χρόνος που αντιστοιχεί στον κύκλο ζωής μιας μηχανής χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός του αναμενόμενου κύκλου ζωής ενός πλοίου σε συνάρτηση με το χρόνο μεταξύ επισκευών των μηχανών ήτοι τα 18 έτη. Εκτιμήθηκε ότι είναι μια πιθανή τεχνικά επιλογή ο κύκλος ζωής της μηχανής να είναι πολλαπλάσιο των 18 ετών, ήτοι 18, 36, 54 κοκ. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά το σύνηθες η διάρκεια ζωής των πολεμικών πλοίων δεν ξεπερνά τα 40 έτη θεωρήθηκε ως πλέον αποδεκτή η υιοθέτηση ενός χρόνου κύκλου ζωής της μηχανής τα 36 έτη.

Οι εργασίες συντήρησης επιπέδου W6 περιλαμβάνουν πλήρη αποσυναρμολόγηση της μηχανής μέχρι επιπέδου σώματος. Όλα τα επιμέρους τμήματα ελέγχονται και αντικαθίστανται εφόσον δεν πληρούν τις προδιαγραφές του κατασκευαστή ενώ μεγάλο μέρος αυτών, όπως για παράδειγμα οι τριβείς αντικαθίσταται ως απαίτηση του

Overhaul. Είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία η οποία ανά ζεύγος μηχανών έχει προδιαγραφεί ότι διαρκεί 10 μήνες. Αν υπολογιστεί και ένα χρονικό διάστημα 2 μηνών για την εξαγωγή και τοποθέτηση των μηχανών στο πλοίο συνεπάγεται ότι η γενική επισκευή της μηχανής τη θέτει εκτός διαθεσιμότητας για ένα περίπου έτος. Σημειώνεται ότι δεν μπορεί να γίνει αναγωγή του χρόνου ανά μηχανή καθώς οι χρόνοι επισκευής συνδυάζουν επικάλυψη εργασιών. Δηλαδή η μια μηχανή μόνη της θα χρειαζόταν χρόνο επισκευής μεταξύ 5 και 10 μηνών (εκτιμάται της τάξεως των 8 μηνών). Επειδή όμως ούτως ή άλλως η όλη διαδικασία γίνεται ανά ζεύγη ο χρόνος των 12 μηνών κρίνεται ως ο πλέον κατάλληλος σαν χρόνος μη διαθεσιμότητας της μηχανής.

5.3 Ανάλυση

Για την μετάβαση σε ένα μοντέλο προβλεπτικής συντήρησης με βάση την κατάσταση της μηχανής απαιτείται η καταγραφή και ανάλυση σειράς λειτουργικών στοιχείων. Αυτά περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Θερμοκρασίες
 - Αέρα εισαγωγής προ και μετά turbo
 - Εξαγωγής καυσαερίων ανά κύλινδρο και συνολικά
 - Νερού ψύξης (προ και μετά μηχανής)
 - Ελαίου (προ και μετά μηχανής)
- Πιέσεις
 - Ελαίου
 - Νερού ψύξης
 - Αέρα turbo
 - Καύσεως
 - Συμπιέσεις
- Στροφές μηχανής και turbo
- Ροπή
- Ισχύς
- Κατανάλωση
- Ανάλυση δειγμάτων ελαίου, νερού
- Θερμογραφία

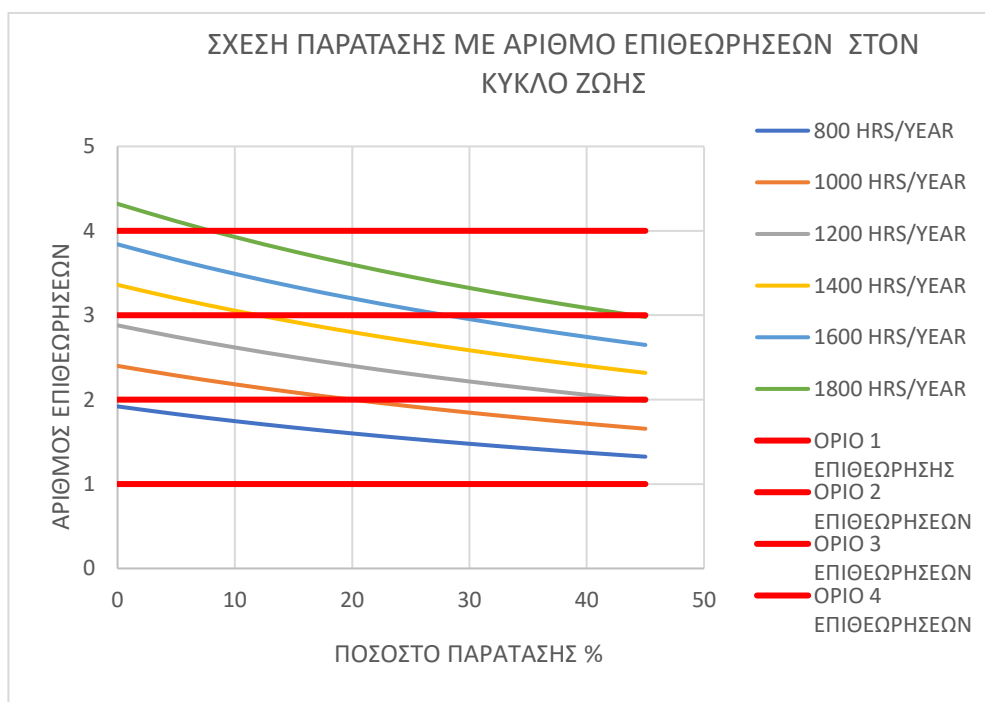
Από την εξέταση των ανωτέρω, τόσο με τις τιμές αναφοράς όσο και με ιστορικά στοιχεία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα. Για παράδειγμα συνολική αύξηση στη θερμοκρασία καυσαερίων υποδηλώνει ρύπανση στο κύκλωμα αέρα ή καυσαερίων ενώ αύξηση θερμοκρασίας καυσαερίων σε έναν κύλινδρο υποδηλώνει πρόβλημα στους καυστήρες ή στη συμπίεση άρα ελατήρια συμπίεσης ή βαλβίδες. Με τον έλεγχο των πιέσεων καύσης και της συμπίεσης μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός.

Αντίστοιχα με την ανάλυση δειγμάτων ελαίου μπορεί να γίνει διάγνωση σε φθορές στο κύκλωμα λίπανσης με έμφαση στους τριβείς, η φθορά των οποίων θα εμφανισθεί με τη

μορφή μεταλλικών στοιχείων στο δείγμα. Επίσης με τη μέτρηση της κατανάλωσης, της ισχύος και των στροφών και τη σύγκρισή τους με τις τιμές αναφοράς από τις δοκιμές πέδης είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη σταδιακή μείωση της απόδοσης της μηχανής. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί και με τον υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης από τις μετρήσεις ισχύος και κατανάλωσης.

Εφόσον από την ανάλυση των δεδομένων αποκαλύπτονται επιμέρους μικρής έκτασης προβλήματα (πχ σε ένα καυστήρα ή ελατήρια σε έναν κύλινδρο) εκτελείται διορθωτική συντήρηση, που και σε κόστος και σε χρόνο είναι ασύγκριτα μικρότερα από το overhaul. Εφόσον με αυτή την πρακτική διατηρούνται όλες οι λειτουργικές παράμετροι εντός ορίων δίδονται σταδιακές παρατάσεις λειτουργίας κατά 5%. Η πολιτική αυτή μπορεί να αποφέρει σημαντικό όφελος στο κόστος συντήρησης της μηχανής στη διάρκεια του κύκλου ζωής της.

Το όφελος που μπορεί να προκύψει εξαρτάται από το ρυθμό χρήσης της μηχανής, δηλαδή τον ετήσιο αριθμό ωρών λειτουργίας. Στα πλαίσια της μελέτης επιλέχθηκε ένα εύρος λειτουργίας από 800 έως 1800 ώρες ανά έτος με βήμα 200 ωρών. Οι ώρες λειτουργίας ανάλογα με τον χρόνο μεταξύ επιθεωρήσεων που θα επιτευχθεί με μια ενδεχόμενη παράταση έχει σαν αποτέλεσμα να μεταβάλλεται ο αριθμός των γενικών επιθεωρήσεων που μια μηχανή θα πρέπει να εκτελέσει κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της.



Διάγραμμα 1: Σχέση παράτασης με αριθμό επιθεωρήσεων στον κύκλο ζωής

Η μεταβολή αυτή αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 1. Καθώς ο αριθμός των επισκευών είναι ακέραιος στο σχήμα εμφανίζονται τα όρια της μεταβολής του. Αυτό απεικονίζεται καλύτερα στον Πίνακα IV.

ΕΤΗΣΙΕΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	800	1000	1200	1400	1600	1800
ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΑΡΑΤΑΣΗΣ %	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΓΕΝΙΚΩΝ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ					
0	1	2	2	3	3	4
5	1	2	2	3	3	4
10	1	2	2	3	3	3
15	1	2	2	2	3	3
20	1	2	2	2	3	3
25	1	1	2	2	3	3
30	1	1	2	2	2	3
35	1	1	2	2	2	3
40	1	1	2	2	2	3
45	1	1	1	2	2	2

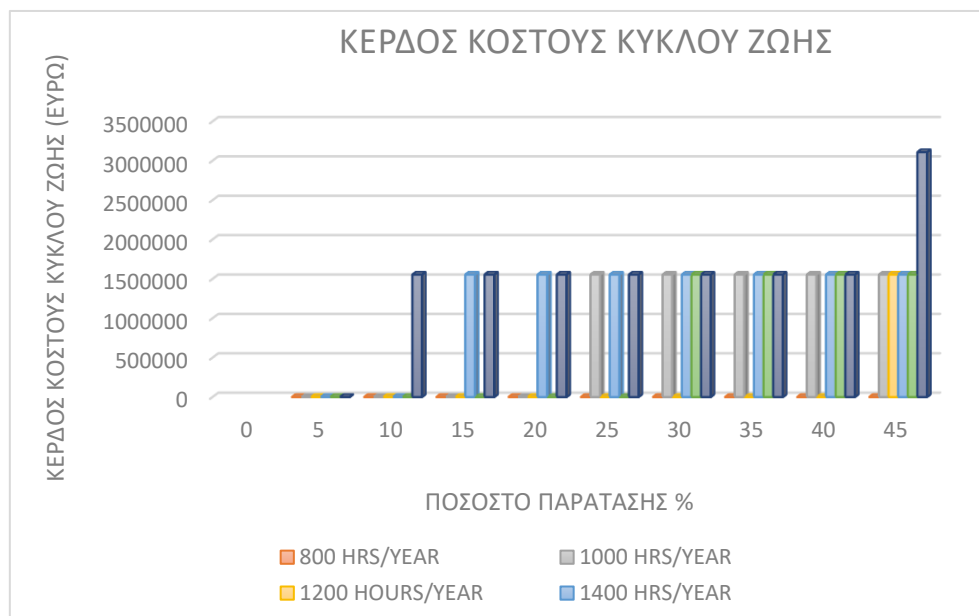
ΠΙΝΑΚΑΣ IV: Αριθμός απαιτούμενων γενικών επιθεωρήσεων στον κύκλο ζωής

Παρατηρούμε ότι αναλόγως του ετήσιου χρόνου λειτουργίας της μηχανής και ανάλογα με το ποσοστό παράτασης ο αριθμός των επισκευών στη διάρκεια ζωής μπορεί να είναι 1 ή 2 ή 3 ή 4. Η συσχέτιση δεν είναι αναλογική και αυτό αναδεικνύει σημεία βελτιστοποίησης και σημεία όπου ενδεχόμενη παράταση δεν προσφέρει μείωση του αριθμού επισκευών.

Το κόστος που αντιστοιχεί στον κύκλο ζωής της μηχανής είναι ο αριθμός των επισκευών επί το 1555000 Ευρώ. Αφαιρώντας σε κάθε περίπτωση το κόστος που αντιστοιχεί χωρίς παράταση μπορεί να υποτυπωθεί το κέρδος που είναι δυνατόν να προκύψει από τις ενδεχόμενες παρατάσεις. Αυτό αποτυπώνεται στον Πίνακα V και το Διάγραμμα 2.

ΕΤΗΣΙΕΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	800	1000	1200	1400	1600	1800
ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΑΡΑΤΑΣΗΣ %	ΚΕΡΔΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (ΕΥΡΩ)					
0						
5	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1555000
15	0	0	0	1555000	0	1555000
20	0	0	0	1555000	0	1555000
25	0	1555000	0	1555000	0	1555000
30	0	1555000	0	1555000	1555000	1555000
35	0	1555000	0	1555000	1555000	1555000
40	0	1555000	0	1555000	1555000	1555000
45	0	1555000	1555000	1555000	1555000	3110000

Πίνακας V: Κέρδος κόστους κύκλου ζωής

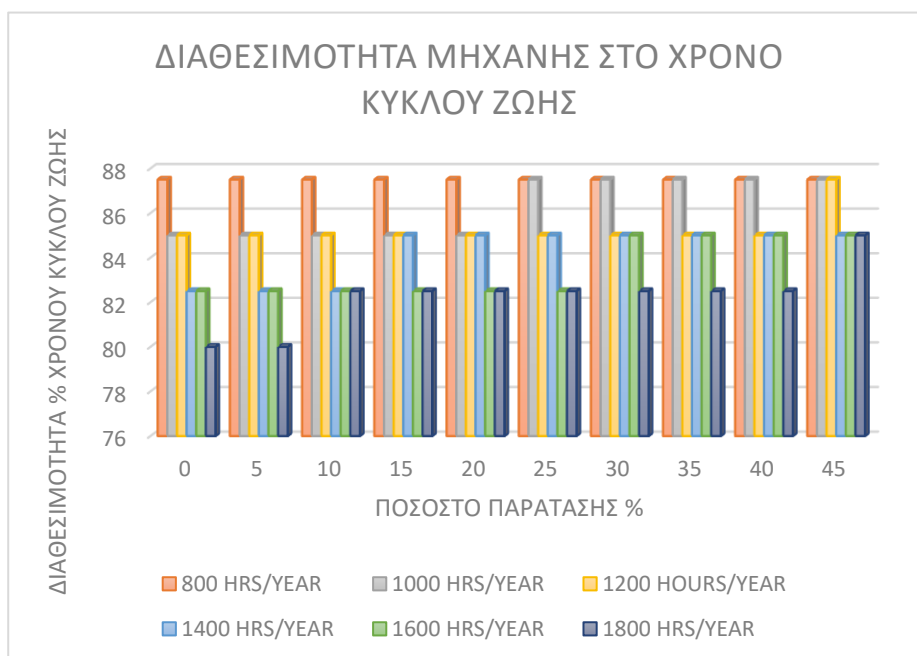


Διάγραμμα 2: Κέρδος κόστους κύκλου ζωής

Παρατηρούμε ότι μπορεί να γίνει σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων στη διάρκεια ζωής της μηχανής. Σημαντική όμως παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι η

βηματιστική μεταβολή του κόστους (σε κάθε γενική επισκευή) αναδεικνύει περιοχές όπου η ενδεχόμενη αύξηση της παράτασης που μπορεί να ενέχει αυξημένη ανάληψη ρίσκου δεν έχει οικονομικό αποτέλεσμα.

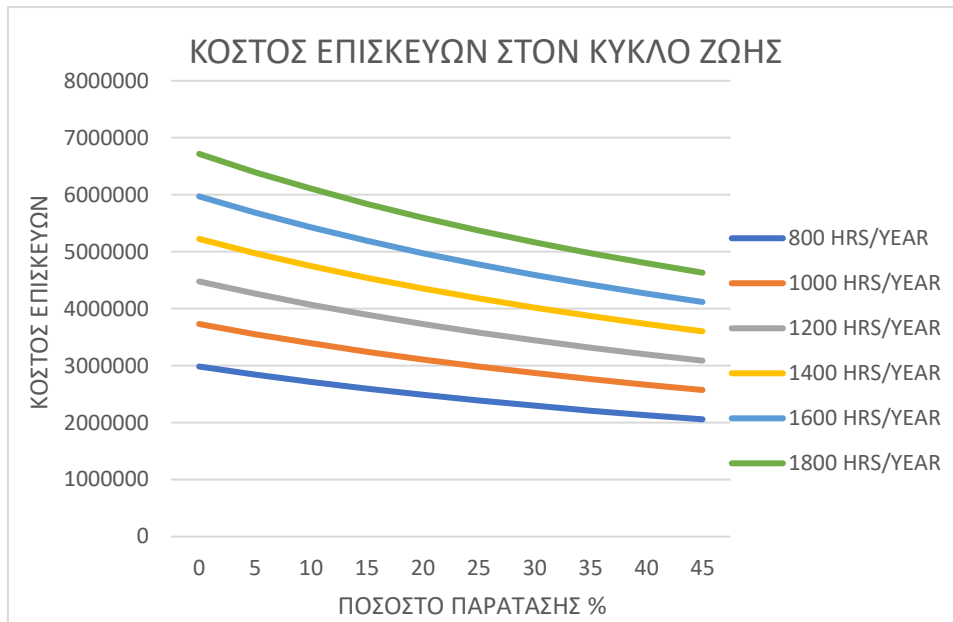
Αντίστοιχα με το κόστος, όφελος υπάρχει και στη διαθεσιμότητα της μηχανής κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής όπως εμφανίζονται στο Διάγραμμα 3.



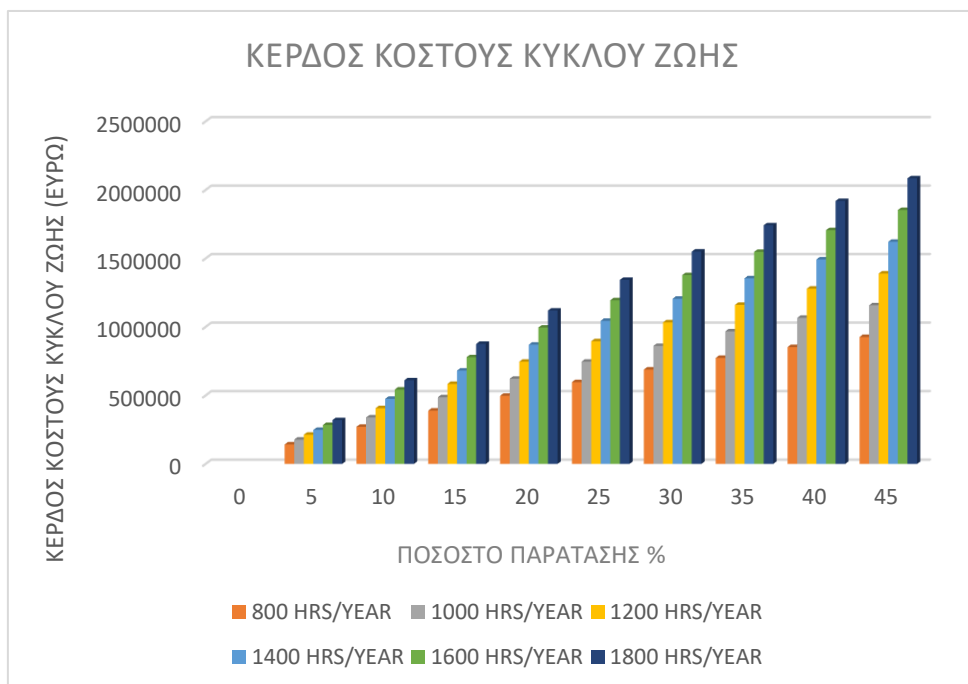
Διάγραμμα 3: Διαθεσιμότητα μηχανής στο χρόνο κύκλου ζωής

Η προσέγγιση αυτή είναι πλέον δόκιμη από τον υπολογισμό του κόστους ανά ώρα λειτουργίας. Αν για παράδειγμα εξετάζονταν τυχόν οφέλη από την παράταση κάνοντας μόνο αναγωγή του κόστους επισκευής ανά ώρα λειτουργίας θα βλέπαμε μια αναλογική μεταβολή όπως στο Διάγραμμα 4 και ένα αναλογικό όφελος όπως στο Διάγραμμα 5. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στο λάθος συμπέρασμα ότι σε κάθε περίπτωση η παράταση θα έχει όφελος, το οποίο όμως όπως βλέπουμε στον Πίνακα V δεν ισχύει.

Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή MTU υπέρβαση του χρόνου μεταξύ γενικών επισκευών ενέχει αύξηση της πιθανότητας βλάβης άρα και ανάληψη κάποιου ρίσκου. Για την ελαχιστοποίηση του ρίσκου αυτού αποτελεί προϋπόθεση η συλλογή και ανάλυση ικανού αριθμού αξιόπιστων δεδομένων και η υιοθέτηση σύγχρονων και αποδοτικών μεθόδων ανάλυσης.



Διάγραμμα 4: Κόστος επισκευών στον κύκλο ζωής με επιμερισμό κόστους overhaul ανά ώρα λειτουργίας



Διάγραμμα 5: Κέρδος κόστους κύκλου ζωής με επιμερισμό κόστους overhaul ανά ώρα λειτουργίας

Ένα σύγχρονο σύστημα CMMS συνδεδεμένο με ένα σύστημα καταγραφής όλων των λειτουργικών χαρακτηριστικών και με δυνατότητα εισαγωγής στοιχείων από εξωτερικές μετρήσεις (πχ αναλύσεις δειγμάτων) και των στοιχείων αναφοράς μπορεί να πετύχει το στόχο αυτό. Με κατάλληλο προγραμματισμό το σύστημα δύναται να

συγκρίνει αυτόματα τις λαμβανόμενες τιμές με τις τιμές αναφοράς να αναγνωρίζει φθορά επιμέρους εξαρτημάτων και πιθανές αστοχίες. Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιεί τα ιστορικά στοιχεία για την εκπαίδευση κατάλληλων μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης που όχι μόνο θα βελτιώνουν τα στοιχεία αναφορά που θα χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της φθοράς αλλά θα δύνανται να εκτελέσουν και πρόγνωση σε ικανό βάθος χρόνου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Η εφαρμογή προβλεπτικής συντήρησης με βάση την κατάσταση μπορεί να διευρύνει το χρόνο μεταξύ γενικών επισκευών μιας μηχανής και να επιτευχθεί σημαντική μείωση του κόστους κύκλου ζωής. Το κέρδος συναρτήσει του ετήσιου χρόνου λειτουργίας και του ποσοστού παράτασης μεταβάλλεται βηματιστικά, οπότε απαιτείται ανάλυση προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη εξοικονόμηση κόστους με την ελάχιστη ανάληψη πρόσθετου ρίσκου.

Ένα σύγχρονο σύστημα CMMS με data monitoring και ειδικούς αλγορίθμους ανάλυσης μπορεί να ελαχιστοποιήσει το ρίσκο που μια παράταση μπορεί να ενέχει. Η πολιτική αυτή με αντίστοιχη ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε μηχανή ή μηχανολογική εγκατάσταση που εκτελεί overhauls μεγάλου κόστους και χρόνου.

Η παρούσα μελέτη εξετάζει το αναμενόμενο όφελος από παρατάσεις του χρόνου μεταξύ γενικών επιθεωρήσεων σε μία μηχανή Diesel. Σε μία μηχανή όμως εκτελούνται και ενδιάμεσες επιθεωρήσεις, οι οποίες αν και μικρότερης εκτάσεως και κόστους μπορεί, αν αφορούν στόλο μηχανών, να συμβάλλουν σημαντικά στο κόστος του κύκλου ζωής του συνόλου. Το ενδεχόμενο όφελος θα μπορούσε να μελετηθεί αντίστοιχα.

Από την άλλη ένα σημείο ενδιαφέροντος για μελέτη θα ήταν η αντικατάσταση της γενικής επισκευής με μικρότερου επιπέδου επιθεώρηση όπου ο έλεγχος μέρους των εξαρτημάτων δειγματοληπτικά, θα μπορούσε να συμβάλει στην αξιολόγηση της κατάστασης της μηχανής ώστε τυχόν παράταση να δίδεται με μικρότερο ρίσκο.

Οι ανωτέρω μελέτες απαιτούν πληροφορίες για το πρόγραμμα συντήρησης που δεν ήταν διαθέσιμες.

Συνίσταται η εξέταση της μεθοδολογίας και σε άλλο τύπου μηχανολογικών εγκαταστάσεων. Είναι ευνόητο ότι αποτελεί προϋπόθεση το να μην υπάρχει ρητή πρόβλεψη σε κανονισμούς ή νομοθεσία για την περιοδικότητα μεταξύ επιθεωρήσεων, το οποίο σαφώς δεν μπορεί να αγνοηθεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ABM. (2019). *ABM*. Ανάκτηση από <https://www.abm.com/wp-content/uploads/2019/03/The-Importance-of-Preventive-Maintenance-Updated-1.pdf>
2. ALL-TEST Pro. (2023, December 12). Ανάκτηση από <https://alltestpro.com/motor-circuit-analysis/>
3. BUSINESS QUALITY CERTIFICATION. (χ.χ.). *BQC Αρχική Σελίδα*. Ανάκτηση από <https://bqc.gr/nomothetiko-plaisio-fsma>
4. Camilleri, L. (χ.χ.). GETTING TO THE CORE OF ENGINE VALUE: UNDERSTANDING LIFECYCLE COSTS FOR LONG-TERM SAVINGS. *ROLLS ROYCE*, σσ. 01-04.
5. Chan, J. (2023, September 18). *Limble*. Ανάκτηση από <https://limblecmms.com/blog/predictive-maintenance-techniques/>
6. Chandel, A. (2023, July 22). *sensegrow*. Ανάκτηση από <https://www.sensegrow.com/blog/iot-solutions/ultrasound-monitoring-for-predictive-maintenance>
7. Choudhary, B. (2023, May 8). *FieldCircle*. Ανάκτηση από <https://www.fieldcircle.com/articles/ultimate-guide-to-cmms/>
8. Choudhary, B. (2023, March 1). *FieldCircle*. Ανάκτηση από <https://www.fieldcircle.com/articles/history-of-cmms/>
9. Choudhary, B. (2023, April 5). *FieldCircle*. Ανάκτηση από <https://www.fieldcircle.com/articles/reasons-to-use-cmms/>
10. Christian Krupitzera, T. W. (2020, February 5). A Survey on Predictive Maintenance for Industry 4.0. σσ. 1-16.
doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.08224>
11. Christiansen, B. (2024, January 23). *Limble*. Ανάκτηση από <https://limblecmms.com/cmms/>
12. CIA, C. I. (2004). *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*. US: Joint chiefs of staff.
13. Cousineau, M. (2018, August 28). *Fiix*. Ανάκτηση από <https://www.fiixsoftware.com/blog/how-five-companies-found-cmms-success/>
14. CYGNUS INSTRUMENTS. (2023). *CYGNUS INSTRUMENTS*. Ανάκτηση από <https://cygnus-instruments.com/ultrasonic-sensor-thickness-measurement/>
15. DEFENCE, M. O. (2019, February). *GENERAL DIRECTORATE FOR DEFENSE INVESTEMENTS AND ARMAMENTS (GDDIA)*. Ανάκτηση από

- <https://www.gdaee.mil.gr/en/tender-03-17-general-inspection-w-6-level-main-engines-diesel-mtu-20v-956-tb82-frigate-meko-class-attachments-in-greek/>
16. Dhillon, B. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. London, New York, Washington: CRC PRESS.
 17. EU-OSHA. (χ.χ.). *EU-OSHA*. Ανάκτηση από <https://osha.europa.eu/en>
 18. Fitch, J. (2013, June 11). *Machinery Lubrication*. Ανάκτηση από <https://www.machinerylubrication.com/Read/29398/unscheduled-oil-analysis>
 19. FMHOUSE. (2014, June). *FMHOUSE*. Ανάκτηση από <https://www.fm-house.com/en/what-is-maintenance-and-why-do-we-do-it/>
 20. H. M. Hashemian, W. C. (2011, October). State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, σσ. 3480-3492.
 21. IBM. (2023). Ανάκτηση από <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-cmms>
 22. Jagers, S. (2023, October 20). *Samotics*. Ανάκτηση από <https://samotics.com/blog/acoustic-emission-analysis>
 23. MaintMaster. (2023). *MaintMaster*. Ανάκτηση από <https://maintmaster.com/maintenance-manual/preventive-maintenance>
 24. Mobley, R. K. (2002). *AN INTRODUCTION TO PREDICTIVE MAINTENANCE Second Edition*. USA: BUTTERWORTH HEINEMANN.
 25. Mounia Achouch, M. D. (2022, August 12). On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges. *MDPI*, σσ. 1-22. doi:<https://doi.org/10.3390/app12168081>
 26. OMRON. (2023). *OMRON*. Ανάκτηση από <https://www.ia.omron.com/products/category/sensors/pressure-sensors/>
 27. OSHA. (2010, August 9). *United States Department of Labor*. Ανάκτηση από <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926.1429>
 28. PRUFTECHNIK. (2021, November 4). *PRUFTECHNIK*. Ανάκτηση από <https://blog.pruftechnik.com/many-types-of-vibration-sensors/>
 29. R. Keith Mobley, L. R. (2008). *Maintenance Engineering Handbook-7th edition*. US: Mc-GRAW-HILL.
 30. Rahman, M. (2020, February 11). *CloudApper*. Ανάκτηση από <https://www.cloudapper.com/workplace-safety/top-12-industries-where-a-cmms-software-is-a-must/>

31. ResearchGate. (2021). *ResearchGate*. Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/figure/Vibration-measurement-using-a-piezoelectric-accelerometer-by-means-of-adhesive-mounting_fig4_354531618
32. Rockwell Automation. (2022, June 1). *Fiix*. Ανάκτηση από <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/condition-based-maintenance/>
33. SafetyCulture. (2023, April 21). *SafetyCulture*. Ανάκτηση από <https://safetyculture.com/topics/maintenance/>
34. Simon Leohold, H. E. (2021). Prognostic Methods for Predictive Maintenance: A generalized Topology. *ELSEVIER*, σσ. 629-634.
35. Tools, I. (2019, June 16). Ανάκτηση από <https://instrumentationtools.com/accelerometer-vibration-probe-principle/>
36. ToolSense. (2022). *ToolSense*. Ανάκτηση από <https://toolsense.io/maintenance/the-6-types-of-maintenance-definitions-benefits-examples/#preventive-maintenance>
37. Trout, J. (2019, July 2). *RELIABLEPLANT*. Ανάκτηση από <https://www.reliableplant.com/infrared-thermography-31572>
38. Umar M. Al-Turki, T. A. (2014). *Integrated Maintenance Planning in Manufacturing Systems*. Springer.
39. Wikipedia. (2023, March 29). *Wikipedia*. Ανάκτηση από <https://en.wikipedia.org/wiki/Maintenance>
40. Wikipedia. (2024). *Wikipedia*. Ανάκτηση από https://en.wikipedia.org/wiki/Hydra-class_frigate
41. Yongyi Ran, X. Z. (2019, December 12). A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, σσ. 1-36. doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.07383>
42. ΕΛΙΝΥΑΕ. (2022). *ΕΛΙΝΥΑΕ*. Ανάκτηση από <https://www.elinyae.gr/index.php/en/node/74319>