



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
“ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ”**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΕ ΜΙΑ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

**ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ , Α.Μ. Δ1420**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

**Δρ. ΔΕΔΟΥΣΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ , ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Δρ. ΒΩΣΣΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ , ΕΞ.Τ. ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ, 2016**



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες μου ευχαριστίες στον Δρ. Ιωάννη Βώσσο για την ευχάριστη συνεργασία μας, τις χρήσιμες και ουσιαστικές υποδείξεις του και τη γενικότερη συμβολή και βοήθεια του κατά τη συγγραφή της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κύριο Βασίλειο Δεδούση για την πολύτιμη συνδρομή του και τη υποστήριξη στο πρόσωπο μου ώστε να συγγραφεί η παρούσα διατριβή, βοηθώντας ουσιαστικά και απλόχερα στην αντιμετώπιση των όποιων δυσκολιών παρουσιάστηκαν.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες και σε όλους τους υπόλοιπους καθηγητές του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών όπου παρακολούθησα, καθώς μου έδωσαν πολύτιμες γνώσεις, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, οι οποίες με βοήθησαν σε μεγάλο βαθμό, όχι μόνο στην υλοποίηση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής αλλά και στην γενικότερη επαγγελματική μου πορεία.



## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή, υλοποιήθηκε στα πλαίσια λειτουργίας του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «*Διοίκηση Έργου και Ανάπτυξη Προϊόντων*» του τμήματος *Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας*, του *Πανεπιστημίου Πειραιώς*, με σκοπό την κάλυψη των απαιτήσεων για την κτήση του τίτλου Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Για την συγγραφή της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής, αξιοποιήθηκε πλήθος επιστημονικών συγγραμμάτων, επιστημόνων τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού. Σε κάθε τμήμα της Μεταπτυχιακής Διατριβής αυτής όπου χρησιμοποιείται επιστημονική γνώση ή αυτούσιο τμήμα προερχόμενα από επιστημονικό σύγγραμμα, αυτά αναφέρονται ευκρινώς στο αντίστοιχο πεδίο και σε καμία περίπτωση δεν επιχειρείται οικειοποίηση πνευματικής ιδιοκτησίας τρίτου.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε ένα διαρκώς αναπτυσσόμενο επιχειρησιακό περιβάλλον όπου η βελτιστοποίηση των διαδικασιών αποτελεί βασική απαίτηση, ο τεχνολογικός εξοπλισμός παρά τη συνεχή εξέλιξη του είναι αδύνατο να λειτουργεί και να αποδίδει συνεχώς και για όλη τη διάρκεια της ζωής του στο προβλεπόμενο επίπεδο χωρίς τη χρήση μεθόδων επίβλεψης και συντήρησης. Η τελευταία αποτελεί τον ενδεδειγμένο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της παραγωγικής μονάδας σε συνεχή λειτουργία και χωρίς την εμφάνιση αστοχιών

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, αυτή η αδυναμία του τεχνολογικού εξοπλισμού για συνεχή και χωρίς την ύπαρξη αστοχιών λειτουργία, οδήγησε στην ανάγκη για εισαγωγή της έννοιας της αξιοπιστίας του τεχνολογικού εξοπλισμού, που αποσκοπεί στο να είναι δυνατός ο καθορισμός του βαθμού ακρίβειας αυτού και επομένως στην αυξημένη ικανότητα από την πλευρά των παραγωγικών επιχειρήσεων για βέλτιστη δυνατή επιλογή τεχνολογίας σε σχέση με τον προορισμό της στο πλαίσιο των παραγωγικών διαδικασιών.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η υιοθέτηση δράσεων με προσανατολισμό στη συντήρηση και αξιοπιστία του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, αποτελεί σήμερα αδιαπραγμάτευτη ανάγκη για τις βιομηχανικές επιχειρήσεις προκειμένου αυτές να αποφύγουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει μια πιθανή διακοπή της παραγωγικής δραστηριότητας.





## ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υιοθέτηση δράσεων με προσανατολισμό στη συντήρηση και αξιοπιστία του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, αποτελεί σήμερα αδιαπραγμάτευτη ανάγκη για τις βιομηχανικές επιχειρήσεις προκειμένου αυτές να αποφύγουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει μια πιθανή διακοπή της παραγωγικής δραστηριότητας.

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν, αφού προβεί σε μια αναλυτική προσέγγιση των εννοιών της συντήρησης και της αξιοπιστίας, να προτείνει ένα πλάνο συντήρησης για μια τυπική βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων.

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων είναι λιγότερο κοστοβόρο να συντηρηθεί προληπτικά ο τεχνολογικός εξοπλισμός, παρά να προκληθεί βλάβη με αποτέλεσμα να λάβει χώρα διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας, καταδείχτηκε ότι η προληπτική συντήρηση αποτελεί τον ενδεδειγμένο τύπο συντήρησης για το συγκεκριμένο τύπο βιομηχανίας.



## EXECUTIVE SUMMARY

Adopting actions oriented to maintenance and reliability of equipment, is today a non-negotiable requirement for industrial enterprises with a view to avoid the unpleasant consequences can arise from a possible interruption of production activity.

The purpose of this study was, after conducting a comprehensive approach to the concepts of maintenance and reliability, to propose the most appropriate maintenance plan for a typical industry produces plastic objects.

Considering the fact that in a plastic manufacturing industry is less costly to maintain proactively the technological equipment, than a damage results in interruption of the production process occur, it demonstrated that preventive maintenance is the appropriate maintenance formula for this type of industry.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	3
1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ .....	3
1.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	4
1.2.1 ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	5
1.2.2 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ .....	7
1.2.3 ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	16
1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ .....	18
1.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ.....	18
1.3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ .....	20
1.4 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	23
1.4.1 Ο ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ .....	23
1.4.2 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ 5S .....	25
1.4.3 Ο ΚΥΚΛΟΣ P.D.C.A. ....	28
1.4.4 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO.....	30
1.4.5 Η ΧΡΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ .....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	35
2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ .....	35
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ .....	37
2.3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ.....	43
2.3.1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ .....	44
2.3.2 ΡΥΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ.....	46
2.3.3 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΓΙΑ ΒΛΑΒΗ .....	46
2.3.4 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΒΛΑΒΩΝ .....	47
2.3.5 ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	48
2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ.....	49
2.4.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ .....	51
2.4.2 ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ .....	54
2.4.3 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ .....	56
2.4.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΑΜΑ .....	57
2.4.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ .....	64
3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	64
3.2 Η ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	71
3.2.1 Η ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ .....	71
3.2.2 Η ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ .....	74
3.2.3 Η ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	79
3.2.4 Η ΕΠΙΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ .....	97
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ.....	99
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	103



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον επιτάσσει για τις επιχειρήσεις την υιοθέτηση δράσεων προς την κατεύθυνση της μεγιστοποίησης της αποδοτικότητας του εξοπλισμού προς βελτίωση της παραγωγικότητας, εστιασμένων στο σύνολο του κύκλου ζωής αυτού.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η υιοθέτηση δράσεων με προσανατολισμό στη συντήρηση και αξιοπιστία του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, αποτελεί σήμερα αδιαπραγμάτευτη ανάγκη για τις βιομηχανικές επιχειρήσεις προκειμένου αυτές να αποφύγουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει μια πιθανή διακοπή της παραγωγικής δραστηριότητας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι, αφού προβεί σε μια αναλυτική προσέγγιση των εννοιών της συντήρησης και της αξιοπιστίας, να προτείνει ένα πλάνο συντήρησης για μια τυπική βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων.

Για την επιτέλεση αυτού του σκοπού, το σύγγραμμα απαρτίζεται από τρία κύρια κεφάλαια. Τα δύο πρώτα κεφάλαια αποτελούν μια αναλυτική περιγραφή των εννοιών και των συνιστωσών της συντήρησης και της αξιοπιστίας, με το τρίτο κεφάλαιο να αποτελεί την καταγραφή των προτεινόμενων μεθόδων συντήρησης για μια τυπική βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων.





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

## 1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Σε ένα περιβάλλον συνεχούς παραγωγής, όπου ο τεχνολογικός εξοπλισμός παρά τη συνεχή εξέλιξη του είναι αδύνατο να λειτουργεί και να αποδίδει συνεχώς και για όλη τη διάρκεια της ζωής του στο προβλεπόμενο επίπεδο χωρίς τη χρήση μεθόδων επίβλεψης και συντήρησης, η τελευταία αποτελεί τον ενδεδειγμένο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της παραγωγικής μονάδας σε συνεχή λειτουργία και χωρίς την εμφάνιση αστοχιών

Εν γένει, μια διαδικασία συντήρησης περιλαμβάνει το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται για τη διατήρηση και την αποκατάσταση του τεχνολογικού εξοπλισμού ενός συστήματος στην κατάσταση λειτουργίας που ορίζεται ως επιθυμητή, καθώς και τη συνεχή αποτίμηση της κατάστασης των δομικών μονάδων αυτού υιοθετώντας μέτρα και δράσεις όπως, ο έλεγχος, οι δοκιμές, οι μετρήσεις, οι αντικαταστάσεις και οι ρυθμίσεις του εξοπλισμού [8].

Εισάγοντας της έννοια της λειτουργίας συντήρησης, σε αυτή περιλαμβάνεται οποιαδήποτε ενέργεια που αφορά στην προσπάθεια για διατήρηση ή αποκατάσταση ενός τεχνολογικού συστήματος σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο ήδη προκαθορισμένων συνθηκών με σκοπό να μπορεί να επιτελέσει τη λειτουργία για την οποία προορίζεται στη μέγιστη δυνατή ικανότητα [8].

Όσον αφορά στους βασικούς στόχους μιας διαδικασίας συντήρησης, αυτοί μπορούν να συγκεκριμενοποιηθούν στους ακόλουθους τέσσερις σκοπούς [4]:

- Εξασφάλιση της απαιτούμενης αποδοτικότητας του συστήματος σε σχέση με τις συνιστώσες της διαθεσιμότητας, της αποδοτικότητας καθώς και της ποιότητας του προϊόντος που προκύπτει από την παραγωγική διαδικασία.
- Επίτευξη της διάρκειας ωφέλιμης ζωής του συστήματος σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή.
- Εξασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων στο χώρο παραγωγής και λειτουργίας του συστήματος.
- Επίτευξη της μέγιστης δυνατής ευεξίας του ανθρώπινου δυναμικού προς αύξηση της αποδοτικότητας αυτού.

## 1.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

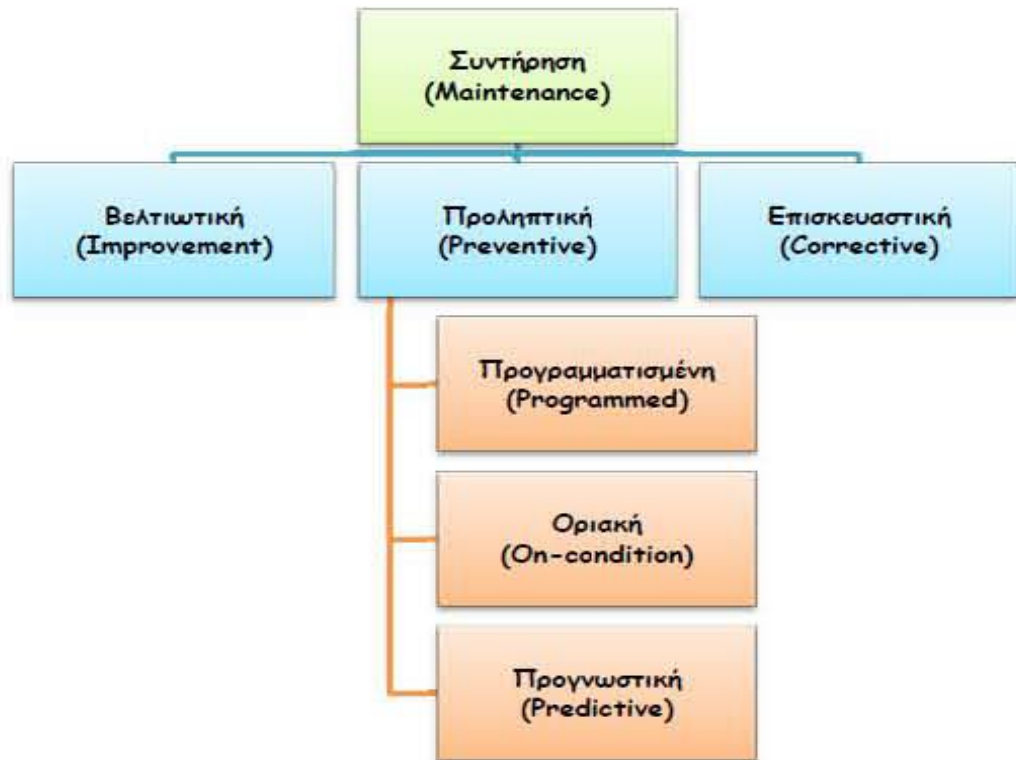
Οι κυριότεροι τύποι συντήρησης που υιοθετούνται σήμερα στις διάφορες παραγωγικές διαδικασίες για τη διατήρηση των αντίστοιχων τεχνολογικών συστημάτων σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο συνθηκών λειτουργίας είναι [7] , [13]:

- Η βελτιωτική συντήρηση [Improvement maintenance].
- Η προληπτική συντήρηση [Preventive maintenance], καθώς και
- Η επισκευαστική συντήρηση.

Η προληπτική συντήρηση με τη σειρά της διακρίνεται σε [7] , [13]:

- Προγραμματισμένη συντήρηση (Programmed maintenance).
- Οριακή συντήρηση [On – condition maintenance].
- Προγνωστική συντήρηση [Predictive maintenance].

Σχηματικά:



**Σχήμα 1.1** Οι τύποι της συντήρησης του εξοπλισμού [7].

### 1.2.1 ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Η βελτιωτική συντήρηση έχει ως κύριο στόχο την ελάττωση ή την εξάλειψη, εφόσον αυτό είναι δυνατό, των βλαβών που απαντώνται στον τεχνολογικό εξοπλισμό αναφοράς οι οποίες οφείλονται στις συνθήκες λειτουργίας αυτού [13].

Με την εφαρμογή διαδικασιών βελτιωτικής συντήρησης σε ένα περιβάλλον παραγωγής, η έννοια της συντήρησης αποκτά δυναμικό χαρακτήρα εντός αυτού και αποσκοπεί κύρια στην πρόληψη και όχι στη διόρθωση, με αποτέλεσμα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, να παραλείπονται δράσεις που σχετίζονται με την έρευνα και αναζήτηση των αιτίων που οδηγούν στις βλάβες [13].

Η βελτιωτική συντήρηση σχετίζεται άμεσα με την έννοια της αξιοπιστίας του εξοπλισμού που όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής, αποσκοπεί στο να ανιχνεύσει η δεσμευμένη πιθανότητα, με συγκεκριμένο βαθμό εμπιστοσύνης, το εξάρτημα, η μηχανική διάταξη ή ο τεχνολογικός εξοπλισμός να λειτουργήσει ικανοποιητικά, χωρίς αστοχίες και σε συγκεκριμένα πλαίσια απόδοσης σύστοιχα με τις αρχικές προδιαγραφές, σε δοσμένη ηλικία και για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, όταν αποδίδει για το σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε, σε κατάλληλο περιβάλλον λειτουργίας και με την επιβολή συγκεκριμένων φορτίσεων σε αυτό σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή [21].

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, μπορεί να καταδειχτεί ότι η εφαρμογή ενός συστήματος βελτιωτικής συντήρησης δεν επιδρά πάνω στη λειτουργία του εξοπλισμού αλλά πάνω στην αξιοπιστία που χαρακτηρίζει αυτό.

Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου η βελτιωτική συντήρηση αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου προγράμματος συντήρησης, τότε η έννοια της συντήρησης λαμβάνει χώρα σε ευρύτερα όρια ενεργειών, περιλαμβάνοντας μετατροπές του εξοπλισμού, κατασκευές ανταλλακτικών, επανασχεδιασμό διατάξεων, μετακατασκευές δομικών στοιχείων εξοπλισμού κτλ. με σκοπό τη γενικότερη βελτίωση του εξοπλισμού σύστοιχα με τους στόχους της συντήρησης για διατήρηση αυτού στα αρχικά όρια λειτουργίας και για συνεχή τεχνολογική βελτίωση [13].

Κατηγορία απωλειών	Τύπος απώλειας
Απώλειες που εμποδίζουν την αποδοτικότητα του εξοπλισμού	1. Απώλειες από αστοχίες – Απώλειες από σταματήματα 2. Απώλειες λόγω ρύθμισης των μηχανών 3. Ελάττωμα πτερυγίου 4. Απώλειες λόγω ξεκινήματος μηχανής 5. Δευτερεύουσες διακοπές/ Απώλειες λόγω μικρών σταματημάτων 6. Απώλειες λόγω λειτουργίας σε γαμηλές ταχύτητες 7. Απώλειες λόγω ατελειών και επανάλιψης εργασιών 8. Σχεδιασμένη απώλεια χρόνου λόγω διακοπής
Απώλειες που εμποδίζουν την αποδοτικότητα της ανθρώπινης εργασίας.	9. Απώλεια Διοίκησης 10. Απώλεια λειτουργικών κινήσεων 11. Απώλεια λόγω της ελλιπούς οργάνωσης των γραμμών παραγωγής 12. Απώλεια στην εφοδιαστική αλυσίδα 13. Απώλεια μετρήσεων και ρυθμίσεων
Απώλειες που εμποδίζουν την αποδοτική χρήση των πόρων παραγωγής.	14. Απώλεια Ενέργειας 15. Απώλεια λόγω καταστροφής εργαλείου 16. Απώλεια Παραγωγής

**Πίνακας 1.1** Κατηγορίες απωλειών που πρέπει να λάβει υπόψη μια βελτιωτική συντήρηση στα πλαίσια ενός ευρύτερου προγράμματος συντήρησης [12].

### 1.2.2 ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Η προληπτική συντήρηση στηρίζεται στη διενέργεια συστηματικών ελέγχων στα εξαρτήματα και στα τεχνολογικά συστήματα, με σκοπό να προκύψουν στοιχεία διάγνωσης και πρόβλεψης αυτών, με απώτερο στόχο την πρόληψη καταστάσεων που δύναται να οδηγήσουν σε βλάβες [13].

Βασική αρχή της προληπτικής συντήρησης, αποτελεί η άποψη ότι είναι λιγότερο κοστοβόρο να συντηρηθεί προληπτικά ένας τεχνολογικός εξοπλισμός ακόμα και αν κάποια εξαρτήματα μπορεί να αντικατασταθούν πριν εξαντληθούν τα θεωρητικά όρια της αξιόπιστης και απρόσκοπτης λειτουργίας τους, παρά να προκληθεί βλάβη σε κάποιο από τα δομικά εξαρτήματα αυτού, με αποτέλεσμα να λάβει χώρα διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας. Αποτελεί άλλωστε αποδεδειγμένο γεγονός, ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η αξία της ποσότητας παραγωγής προϊόντος που χάνεται από μια διακοπή λόγω βλάβης

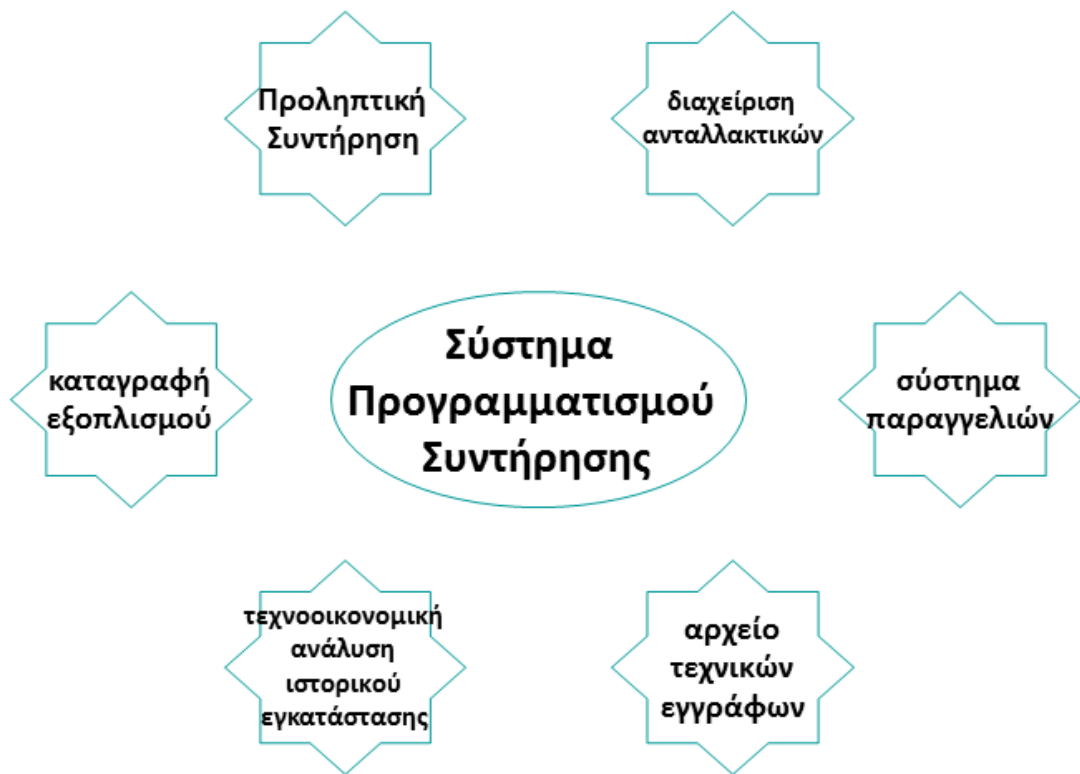
είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τα τυχόν επιπρόσθετα κόστη που μπορεί να προκληθούν από την υιοθέτηση μιας διαδικασίας προληπτικής συντήρησης [13].

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, μέσω της προληπτικής συντήρησης μπορούν να καταρτιστούν μακροχρόνια προγράμματα στηριζόμενα στη συλλογή στατιστικών στοιχείων, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ‘τυποποίηση’ της διαδικασίας πρόληψης και η περαιτέρω μείωση του κόστους αυτής [13].

Σε κάθε περίπτωση, μεγάλη σημασία θα πρέπει να αποδίδεται στην επιλογή του καταλληλότερου προσωπικού για την εφαρμογή του προγράμματος καθώς και στην στοχευμένη εκπαίδευση αυτού. Η εξοικείωση των τεχνικών όχι μόνο με τις αρχές της προληπτικής συντήρησης αλλά και με το εκάστοτε τεχνολογικό εξοπλισμό, αποτελεί παράγοντα μείζονος σημασίας για την επιτυχία μιας διαδικασίας προληπτικής συντήρησης [13].

Τέλος, σύστοιχα με την βελτιωτική συντήρησα, και η προληπτική συντήρηση μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός ευρύτερου συστήματος προγραμματισμού συντήρησης το οποίο επιπρόσθετα μπορεί να περιλαμβάνει [7]:

- Τη διαχείριση των ανταλλακτικών.
- Το σύστημα παραγγελιών.
- Το αρχείο τεχνικών εγγράφων.
- Την τεχνοοικονομική ανάλυση του ιστορικού εγκατάστασης.
- Την καταγραφή του εξοπλισμού



Σχήμα 1.2 Ολοκληρωμένο σύστημα προγραμματισμού συντήρησης εξοπλισμού [7].

### Προγραμματισμένη προληπτική συντήρηση

Ο ρόλος της προγραμματισμένης προληπτικής συντήρησης είναι η δημιουργία ενός πλαισίου δράσης που θα οδηγεί στην εξάλειψη μη προγραμματισμένων διακοπών της παραγωγικής διαδικασίας μέσω της ανάπτυξης ενός οικονομικά αποδοτικού συστήματος προγραμματισμένης συντήρησης το οποίο μπορεί να λάβει χώρα μέσω [5]:

- Της ενίσχυσης των ικανοτήτων του προσωπικού και της εφαρμογής συστημάτων προγραμματισμένης συντήρησης στο σύνολο των σταδίων οργάνωσης της διαδικασίας συντήρησης.
- Της ενσωμάτωσης των χειριστών παραγωγής στη διαδικασία.

Εν γένει, τα απαιτούμενα βήματα για τη δημιουργία ενός συστήματος προγραμματισμένης συντήρησης είναι τα ακόλουθα [7].

Προγραμματισμένη Συντήρηση	Βήμα 1 <sup>ο</sup> : Αξιολόγηση εξοπλισμού και κατανόηση παρούσας κατάστασης			
	Βήμα 2 <sup>ο</sup> : Αποκατάσταση επιδείνωσης και βελτίωση αδυναμιών	καθιέρωση διορθωτικής συντήρησης		Βήμα 6 <sup>ο</sup> : Αξιολόγηση Συστήματος Προγραμματισμένης Συντήρησης
	Βήμα 3 <sup>ο</sup> : Δημιουργία συστήματος διαχείρισης πληροφορίας	καθιέρωση περιοδικής συντήρησης		
		Βήμα 4 <sup>ο</sup> : Δημιουργία συστήματος περιοδικής συντήρησης		Δομημένο Σύστημα Προγραμματισμένης Συντήρησης
			Βήμα 5 <sup>ο</sup> : Δημιουργία συστήματος προβλεπτικής συντήρησης	

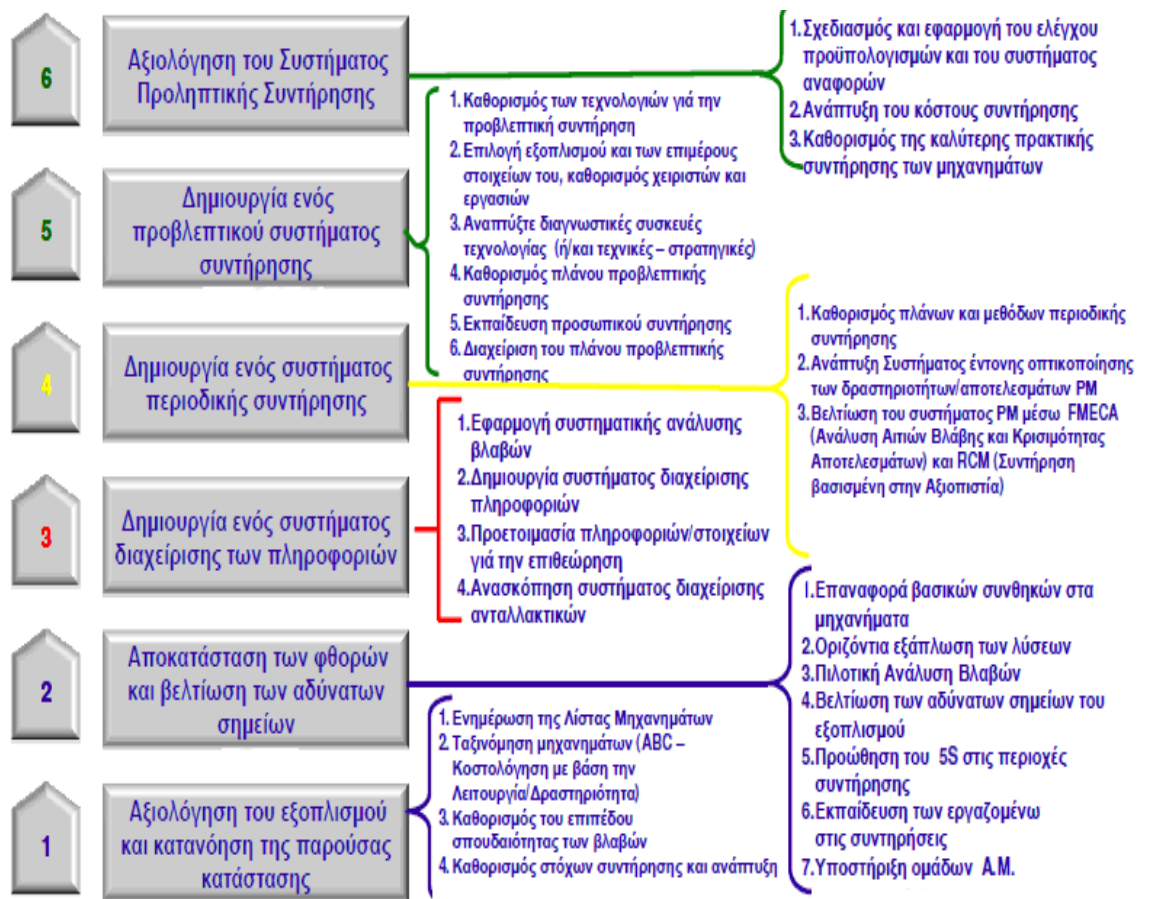
**Σχήμα 1.3** Βήματα για τη δημιουργία ενός συστήματος προγραμματισμένης συντήρησης [8].

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα προγραμματισμένης συντήρησης περιλαμβάνει και επιμέρους συστήματα με κυριότερα [7]:

- Το σύστημα ημερησίου ελέγχου.
- Το σύστημα διαχείρισης λιπαντικών.
- Το σύστημα διαχείρισης ανταλλακτικών.
- Το σύστημα διαχείρισης του κόστους συντήρησης και,
- Το σύστημα ενίσχυσης της τεχνολογίας και των ικανοτήτων του προσωπικού.

Τα εν λόγω υποσυστήματα διαδραματίζουν σημαίνοντα ρόλο στην ανάπτυξη και εφαρμογή μιας δράσης προγραμματισμένης συντήρησης η οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι απαρτίζεται από έξι κύρια βήματα.





Σχήμα 1.4 Ανάπτυξη δράσης προγραμματισμένης συντήρησης σε έξι στάδια [8].

Τέλος, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού, μια διαδικασία προγραμματισμένης συντήρησης μπορεί να λάβει χώρα μέσω [7]:

- Ομοιόμορφης συντήρησης ή
- Συντήρησης βάσει προδιαγραφών.

#### Ομοιόμορφη συντήρηση:

Μέσω της ομοιόμορφης συντήρησης, εφαρμόζεται περιοδικά μια τυποποιημένη διαδικασία η οποία εξασφαλίζει τις βασικές απαιτήσεις συντήρησης και αξιοπιστίας του τεχνολογικού εξοπλισμού μέσω της έκδοσης

ενός συνόλου οδηγιών που επαναλαμβάνονται ανά τακτά προκαθορισμένα διαστήματα χωρίς την απαίτηση για έκδοση συμπληρωματικών δράσεων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση προγραμματισμένης προληπτικής συντήρησης, δε λαμβάνονται υπόψη οι λεπτομέρειες που προκύπτουν από τον κατασκευαστή αλλά εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος βαθμός αξιοπιστίας του εξοπλισμού μέσω της ίδιας της παραγωγικής διαδικασίας.

Βασικά πλεονεκτήματα του εν λόγω τύπου συντήρησης αποτελούν [7]:

- Η απλότητα όσον αφορά στις διαδικασίες οργάνωσης και εφαρμογής του.
- Η απαίτηση για ελάχιστη βοηθητική ή εξωτερική εργασία.
- Η επίτευξη ικανοποιητικού βαθμού πρόληψης με σχετικά μικρή δέσμευση πόρων.

Από την άλλη, η ομοιόμορφη συντήρηση [7]:

- Αποτελεί μη ικανοποιητική λύση για περιπτώσεις μεγάλων μονάδων εξοπλισμού.
- Δεν παρέχει τη δυνατότητα για συλλογή αξιόλογων δεδομένων συμπεριφοράς του μηχανολογικού εξοπλισμού με αποτέλεσμα να μην οδηγεί στη δημιουργία αξιόπιστου υποβάθρου.

Επιλογικά, η υιοθέτηση μιας διαδικασίας ομοιόμορφης συντήρησης αποτελεί ενδεδειγμένη λύση για την περίπτωση μηχανημάτων μικρότερης σημασίας, παραγωγικών μονάδων όμοιων χαρακτηριστικών και εξοπλισμού που δρα σε συγκεκριμένα στάδια μιας παραγωγικής διαδικασίας.

### Συντήρηση βάσει προδιαγραφών:

Η συντήρηση βάσει προδιαγραφών, σε αντίθεση με την ομοιόμορφη συντήρηση, λαμβάνει υπόψη στο έπακρο τις οδηγίες του κατασκευαστή προκειμένου να πιστοποιήσει τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία και αποδοτικότητα του εξοπλισμού.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, ο εν λόγω τύπος συντήρησης προϋποθέτει την έκδοση λεπτομερών οδηγιών και καταγραφή στοιχείων και αποτελεσμάτων για κάθε τεχνική δράση και επέμβαση που λαμβάνει χώρα, καθώς και την εκτεταμένη αξιολόγηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων, βοηθώντας προς την κατεύθυνση της δημιουργίας ενός αξιόπιστου υποβάθρου [7].

Ο τύπος προγραμματισμένης προληπτικής συντήρησης που βασίζεται στις προδιαγραφές, αποτελεί την καταλληλότερη λύση για μεμονωμένες μονάδες εξοπλισμού, για διατάξεις ομοειδών εξαρτημάτων, για βοηθητικούς εξοπλισμούς και τέλος για μηχανήματα που δεν παρέχουν άμεση υποστήριξη στην παραγωγική διαδικασία.

### **Οριακή προληπτική συντήρηση**

Η οριακή προληπτική συντήρηση εκτελείται όταν αυτό κριθεί αναγκαίο και πάντα μετά από λεπτομερειακό έλεγχο της τεχνολογικής μονάδας από ειδικούς. Επιπρόσθετα, ο εν λόγω τύπος συντήρησης απαιτεί τη χρήση ειδικών οργάνων μέτρησης.

Για την αποδοτική εφαρμογή μιας διαδικασίας οριακής προληπτικής συντήρησης, είναι απαραίτητος ο καθορισμός των ορίων ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας του εξοπλισμού, τα οποία θα αποτελούν το μέτρο

σύγκρισης με τις ανακύπτοντες μέσω των οργάνων μέτρησης τιμές και προφανώς θα αποτελούν την οριακή γραμμή πέραν της οποίας ο εξοπλισμός θα θεωρείται ότι εμφανίζει προβληματική λειτουργία.

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο σε σχέση με την προληπτική οριακή συντήρηση, αποτελεί το γεγονός ότι οι διαδικασίες ελέγχου και μετρήσεων δεν πρέπει να οδηγούν σε καμία περίπτωση σε παρεμβατικές δράσεις αν πρώτα δεν έχει εντοπιστεί επακριβώς η αιτία που οδηγεί στην μη αποδοτική λειτουργία του εξοπλισμού [13].

Εν γένει, οι γενικές αρχές που διέπουν την εφαρμογή της οριακής προληπτικής συντήρησης είναι οι επόμενοι [8].

- Απαραίτητος έλεγχος του συνόλου των κρίσιμων σημείων του εξοπλισμού.
- Θεώρηση της ασφαλούς λειτουργίας ως βασικού στοιχείου επίτευξης.
- Στοιχείο που λειτουργεί σωστά δεν 'δέχεται' καμία παρεμβατική δράση.
- Δεν υιοθετείται καμία παρεμβατική δράση αν πρώτα δεν έχει εντοπιστεί επακριβώς η αιτία που οδηγεί στην μη ασφαλή και αποδοτική λειτουργία του εξοπλισμού.

## Προγνωστική προληπτική συντήρηση

Η προγνωστική προληπτική συντήρηση αποτελεί κατεξοχήν μέθοδο που στηρίζεται στην υιοθέτηση στατιστικών μεθόδων και δεικτών προκειμένου να προσδιοριστεί ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών βλαβών και επομένως αντικαταστάσεων κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής εξαρτημάτων και εξοπλισμού.

Ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (Mean Time Between Failure – MTBF), ορίζεται ως η μέση τιμή της διάρκειας των χρονικών διαστημάτων που μεσολαβούν μεταξύ διαδοχικών βλαβών του εξαρτήματος ή του εξοπλισμού για συγκεκριμένη περίοδο της ζωής του [8].

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του συγκεκριμένου δείκτη λαμβάνει χώρα μέσω του υπολογισμού του πηλίκου του συνολικού χρόνου λειτουργίας του εξαρτήματος ή του εξοπλισμού προς το συνολικό αριθμό των παρατηρούμενων βλαβών. Δηλαδή:

$$MTBF = \frac{T(t)}{r}$$

Όπου,

T(t): ο συνολικός χρόνος λειτουργίας με τη συνάρτηση t να δηλώνει μεταβαλλόμενο ρυθμό βλαβών.

r: ο συνολικός αριθμός βλαβών που παρατηρήθηκαν κατά την χρονική περίοδο αναφοράς.

Επιπρόσθετα, ένα πρόγραμμα προγνωστικής προληπτικής συντήρησης, κατά κανόνα περιλαμβάνει και τη χρήση οργάνων και διατάξεων συνεχούς παρακολούθησης της λειτουργίας του εξοπλισμού, με σκοπό να ελέγχεται η

κατάσταση λειτουργίας και φθοράς των διαφόρων δομικών μερών και διατάξεων αυτού κατά τον πραγματικό χρόνο λειτουργίας τους. Μέσω μιας τέτοιας δράσης, είναι περισσότερο εφικτή και ακριβής η δυνατότητα για προσδιορισμό του υπολειπόμενου ωφέλιμου χρόνου ζωής των εξαρτημάτων και δομικών διατάξεων και επομένως η έγκυρη αντικατάστασή τους προκειμένου να μη λαμβάνουν χώρα φαινόμενα διακοπής της παραγωγικής διαδικασίας.

### **1.2.3 ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

Η επισκευαστική συντήρηση δεν αποτελεί ένα εκτεταμένο σύστημα συντήρησης που αποσκοπεί και στην αποτροπή εμφάνισης φαινομένων αστοχιών στον εξοπλισμό, αλλά κυρίως σε περιπτώσεις όπου οι διαδικασίες προληπτικής συντήρησης απουσιάζουν ή είναι μικρής έκτασης καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της διαδικασίας συντήρησης στα πλαίσια μιας παραγωγικής μονάδας [13].

Βασικό μέλημα των υπευθύνων συντήρησης, θα πρέπει να αποτελεί η υιοθέτηση της επισκευαστικής συντήρησης ως μέρος ενός ευρύτερου προγραμματισμού για τη συντήρηση και όχι απλά ως μέσο αντιμετώπισης αστοχιών και έκτακτων αναγκών που πολλές φορές οδηγούν σε διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας και σε μεγάλη απώλεια εσόδων [13].

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η μετάβαση σε βελτιωμένα προγράμματα συντήρησης, μειώνει σημαντικά το κόστος και το χρόνο επισκευής των βλαβών δίνοντας ταυτόχρονα μεγαλύτερη δυνατότητα για έλεγχο και μελέτη φαινομένων και αιτιών αστοχιών [13].

Επίσης, όσον αφορά σε εξοπλισμό καίριας σημασίας για την παραγωγική διαδικασία, αστοχία του οποίου οδηγεί άμεσα σε διακοπή αυτής, θα πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει έστω και μια υποτυπώδης δράση πρόβλεψης

προκειμένου να υπάρχει μια ‘υποψία’ όσον αφορά στο χρόνο που μπορεί να χρειαστεί η υιοθέτηση μιας επισκευαστικής δράσης. Η χρήση δεικτών όπως ο ρυθμός βλάβης και ο μέσος χρόνος για βλάβη αποτελούν κινήσεις προς αυτή την κατεύθυνση [8].

Ο ρυθμός βλάβης (Failure Ratio – FR) ορίζεται ως το πηλίκο του συνολικού αριθμού των παρατηρούμενων βλαβών προς τον ολικό χρόνο λειτουργίας του συστήματος ή του εξαρτήματος κατά την περίοδο αναφοράς.

Με βάση τον παραπάνω ορισμό, ο ρυθμός βλάβης ( $\lambda$ ) ενός τεχνολογικού εξοπλισμού για μια συγκεκριμένη περίοδο παρατήρησης (T) υπολογίζεται σε μονάδες αντίστροφου χρόνου μέσω της ακόλουθης σχέσης [13]:

$$\lambda = \frac{r}{T}$$

Όσον αφορά στο μέσο χρόνο για βλάβη (Mean Time to Failure – MTTF) αποτελεί το χρόνο στον οποίο αναμένεται να εμφανιστεί βλάβη στον τεχνολογικό εξοπλισμό.

Ο εν λόγω δείκτης υπολογίζεται μέσω του επόμενου μαθηματικού τύπου [13]:

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt$$

Όπου,

f(t): Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας βλάβης του εξοπλισμού όπως θα δούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

## 1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

### 1.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

Οι κυριότερες μέθοδοι συντήρησης που χρησιμοποιούνται σήμερα στην πράξη στις διάφορες παραγωγικές διαδικασίες είναι οι επόμενες [13], [7]:

- Συντήρηση βασισμένη στη βλάβη.
- Περιοδική συντήρηση.
- Συντήρηση ανάλογα με την κατάσταση του εξοπλισμού.
- Συντήρηση οριακού σημείου βασιζόμενη σε δείκτες απόδοσης.

#### **Συντήρηση βασισμένη στη βλάβη**

Η συντήρηση βασισμένη στη βλάβη έχει ως κύριο χαρακτηριστικό ότι δεν λαμβάνει χώρα κανενός είδους προληπτική συντήρηση. Υπό αυτό το πρίσμα, ο τεχνολογικός εξοπλισμός εγκαθίσταται χωρίς πρόβλεψη για έξοδα συντήρησης, υπόκειται στην λειτουργική φθορά και αντικαθίσταται εξολοκλήρου όταν λάβει χώρα μια αστοχία.

Ο συγκεκριμένος τύπος συντήρησης αποτελεί ενδεδειγμένη λύση όταν [7]:

- Το κόστος απόκτησης και αντικατάστασης του εξαρτήματος είναι μικρότερο του κόστους συντήρησής του.
- Η αστοχία του εξαρτήματος δεν αποτελεί κίνδυνο για την παραγωγική διαδικασία και την ασφάλεια αυτής, ενώ σε περίπτωση αστοχίας, η προμήθεια του προϊόντος αντικατάστασης και η διαδικασία αντικατάστασης μπορούν να λάβουν χώρα άμεσα.



- Όταν η διάρκεια ζωής του εξαρτήματος είναι περιορισμένη και δεν υπάρχει ούτε δυνατότητα ούτε πρόθεση για περαιτέρω επιμήκυνση αυτής.

### **Περιοδική συντήρηση**

Σε αντίθεση με τη συντήρηση βασισμένη στη βλάβη, ένα πρόγραμμα περιοδικής συντήρησης υιοθετεί δράσεις προληπτικής συντήρησης οι οποίες λαμβάνουν χώρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα χρήσης του εξοπλισμού [13].

Βασικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου συντήρησης, αποτελεί το γεγονός ότι η ύπαρξη προληπτικής συντήρησης αυξάνει τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων αλλά, από την άλλη, η ύπαρξη αυτή, δεν μπορεί να αναιρέσει το γεγονός ότι η διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων εξαρτάται στο μεγαλύτερο βαθμό από το βαθμό χρήσης τους [13].

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις υιοθέτησης της περιοδικής συντήρησης, τόσο η υπάρχουσα νομοθεσία όσο και οι κανονισμοί ασφαλείας απαιτούν την ύπαρξη αποδείξεων της προληπτικής συντήρησης.

### **Συντήρηση ανάλογα με την κατάσταση του εξοπλισμού**

Σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους συντήρησης στην πράξη, η συντήρηση ανάλογα με την κατάσταση του εξοπλισμού επιτρέπει σε μεγαλύτερο βαθμό την επίτευξη της βέλτιστης διάρκειας ζωής του εξοπλισμού με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Βασική αρχή της μεθόδου αποτελεί η άποψη ότι εργασίες συντήρησης λαμβάνουν χώρα μόνο όταν η φθορά του εξοπλισμού φθάσει σε ένα συγκεκριμένο και προκαθορισμένο επίπεδο.

Τέλος, την κυριότερη προϋπόθεση για την αποδοτική εφαρμογή της συντήρησης ανάλογα με την κατάσταση του εξοπλισμού, αποτελεί η ακριβής αποτύπωση της πραγματικής λειτουργίας του εξοπλισμού μέσω κανονικών επιθεωρήσεων.

### **Συντήρηση οριακού σημείου βασιζόμενη σε δείκτες απόδοσης**

Στη συγκεκριμένη μέθοδο γίνεται χρήση συγκεκριμένων κριτηρίων προκειμένου να καθοριστούν υπό – περιοχές συντήρησης του εξοπλισμού τα αποτελέσματα των οποίων θα συγκρίνονται τόσο με υπάρχοντα πρότυπα του φορέα όσο και με αντίστοιχα άλλων φορέων και κυρίως του ηγέτη της αγοράς (benchmarking) [16].

Για την κάλυψη των απαιτήσεων εφαρμογής της συντήρησης οριακού σημείου λαμβάνει χώρα χρήση δεικτών απόδοσης του εξοπλισμού οι σημαντικότεροι των οποίων καταγράφονται στο επόμενο χωρίο της παρούσας εργασίας.

#### **1.3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Τις σύγχρονες μεθόδους διοίκησης της συντήρησης αποτελούν [7]:

- Η συντήρηση επικεντρωμένη στην αξιοπιστία (Reliability Centered Maintenance – RCM), και
- Η ολική παραγωγική συντήρηση (Total Productive Maintenance, TPM)

## **Συντήρηση επικεντρωμένη στην αξιοπιστία (RCM)**

Ο τύπος της συντήρησης που είναι επικεντρωμένος στην αξιοπιστία ασχολείται με δύο πεδία:

- Τις βλάβες του τεχνολογικού συστήματος, και
- Τα κόστη που προκύπτουν από αυτές και τους τρόπους με τους οποίους αυτά μπορούν να μειωθούν ή και να αποφευχθούν.

Βασικός σκοπός της συντήρησης που είναι επικεντρωμένη στην αξιοπιστία είναι, μέσω της υιοθέτησης κατάλληλων μεθόδων ανάλυσης και αξιολόγησης του κινδύνου, να δώσει τις κατάλληλες υποδείξεις για το πότε οι εργασίες της προληπτικής συντήρησης μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερα κόστη σε σχέση με μια βλάβη του συστήματος και τα αποτελέσματά της.

Η σκοπιμότητα της προληπτικής συντήρησης αποκτά μεγαλύτερη σημασία στην περίπτωση χρήσης πλεονάζοντος τεχνολογικού εξοπλισμού ο οποίος μπορεί και να παρακαμφθεί με αυτές τις περιπτώσεις παραγωγικής διαδικασίας να αποτελούν το κύριο πεδίο εφαρμογής της RCM [9].

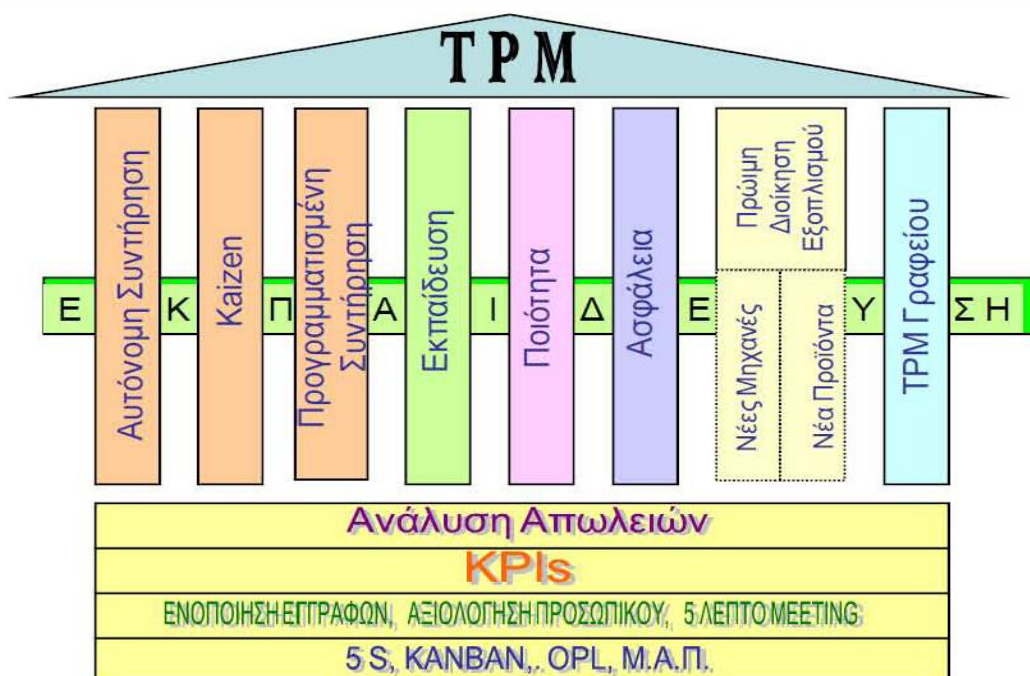
## **Ολική παραγωγική συντήρηση (TPM)**

Η ολική παραγωγική συντήρηση [9], αποτελεί περισσότερο μια προσέγγιση παρά μια μέθοδο συντήρησης, η οποία καταδεικνύει την αξία του ανθρώπινου δυναμικού για την επίτευξη της βέλτιστης συντήρησης του εξοπλισμού [13].

Σύμφωνα με τη βασική αρχή της προσέγγισης, οι χειριστές είναι οι απολύτως εξουσιοδοτημένοι φορείς για την πραγματοποίηση της συντήρησης έτσι ώστε οι γραμμές παραγωγής να λειτουργούν συνεχώς και να είναι αποτελεσματικές και αποδοτικές [13].

Το κύριο χαρακτηριστικό της TPM, είναι ότι μεταφέρει την ευθύνη της συντήρησης από τα τμήματα συντήρησης στους χειριστές των μηχανημάτων, ενώ ταυτόχρονα ανάγει τη διαδικασία της συντήρησης από βοηθητική λειτουργία σε πρωτεύουσα, μιας και πλέον στη βελτίωση της διαδικασίας συντήρησης λαμβάνει μέρος αποφασιστικά το ανθρώπινο δυναμικό [13].

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η εκπαίδευση του προσωπικού αποτελεί τον κεντρικό πυλώνα της TPM και αποκτά βαρύνουσα σημασία έτσι ώστε να επιτευχθεί ο διαχωρισμός μεταξύ λειτουργίας και συντήρησης της μηχανής που σύμφωνα με την TPM, πραγματοποιούνται από τον ίδιο χειριστή [13].



Σχήμα 1.5 Η εκπαίδευση ως βασικός πυλώνας της TPM και λοιπές συνιστώσες [19].

## 1.4 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Τα σημαντικότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα για την επίτευξη της εφαρμογής των τύπων και των μεθόδων συντήρησης είναι [13], [10]:

- Ο τύπος της εκτίμησης της έκτασης των βλαβών.
- Η προσέγγιση 5S.
- Ο κύκλος P.D.C.A.
- Η ανάλυση Pareto.
- Η χρήση δεικτών επίδοσης.

### 1.4.1 Ο ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Για την εκτίμηση της έκτασης των βλαβών που λαμβάνουν χώρα σε μια παραγωγική διαδικασία και κατ' επέκταση για την πολιτική συντήρησης που θα ακολουθηθεί, χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:

$$\text{Καθυστερήσεις λόγω βλαβών} = \text{πλήθος βλαβών} \times \text{μέσος χρόνος επισκευής}$$

Το πλήθος των βλαβών αποτελεί μια συνιστώσα που εξαρτάται από την αξιοπιστία του εξοπλισμού και πιο συγκεκριμένα [10]:

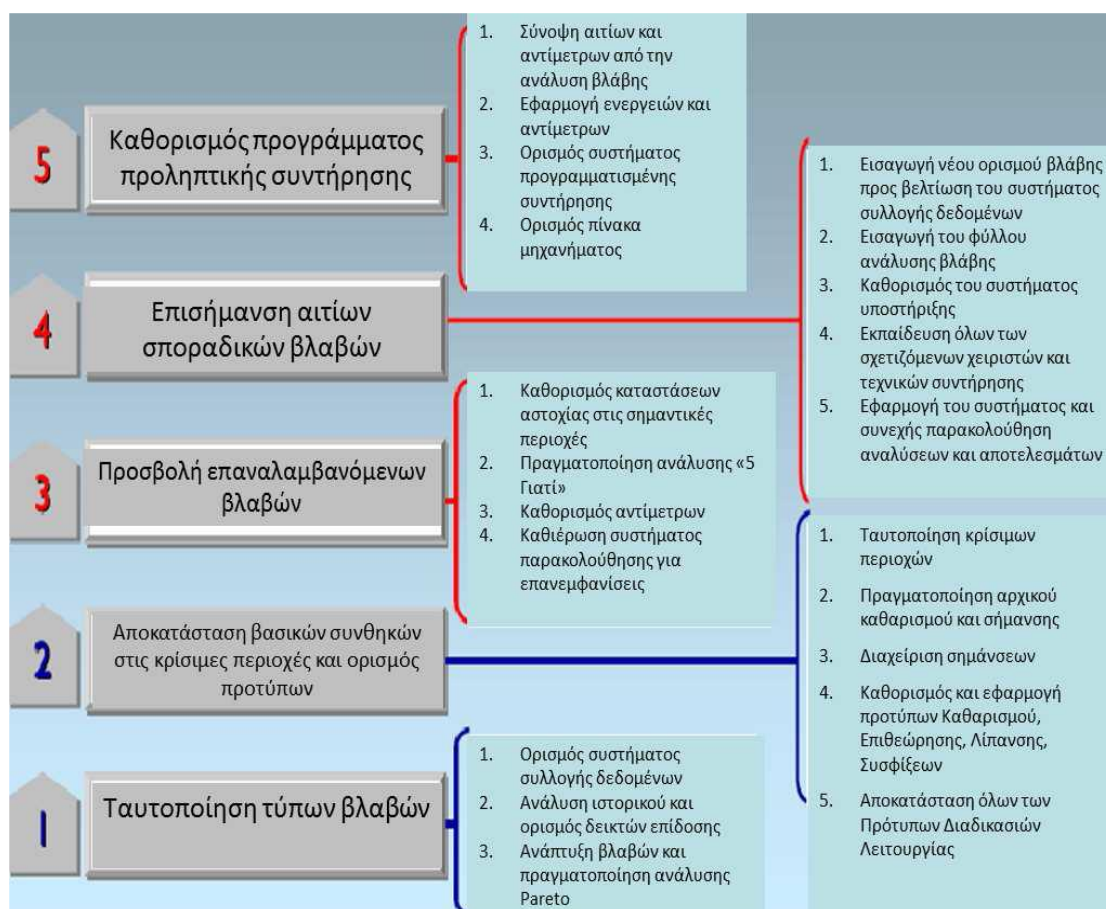
- Από τη συχνότητα εμφάνισης των βλαβών.
- Από τους χρόνους αναμονής για συντήρηση.
- Από τους χρόνους αναμονής για ανταλλακτικά.
- Από τυχόν επισκευαστικές δράσεις.
- Από την ύπαρξη δοκιμών.
- Από τον αριθμό των επανεκκινήσεων που λαμβάνουν χώρα στη μονάδα του χρόνου.

Από την άλλη, όσον αφορά στο μέσο χρόνο επισκευής [10]:

- Υπάρχει άμεση εξάρτηση από το βαθμό οργάνωσης τόσο της παραγωγικής διαδικασίας όσο και του συστήματος συντήρησης.
- Δεν υπάρχει άμεση εξάρτηση από τον τύπο της βλάβης που λαμβάνει χώρα.

Στην περίπτωση που διαπιστωθεί αυξημένο πλήθος βλαβών, τότε σαν πρώτη προτεραιότητα καθίσταται η εξεύρεση τρόπων για την ελάττωση αυτού του πλήθους. Στη συνέχεια, και εφόσον πρώτα έχει επιτευχθεί ο στόχος της μείωσης του αριθμού των βλαβών, λαμβάνει χώρα μέριμνα για τη μείωση των απαιτούμενων χρόνων επισκευής του εξοπλισμού, κύρια μέσω της καλύτερης οργάνωσης των διαδικασιών συντήρησης.

Τα παραπάνω βήματα αποτυπώνονται εποπτικά ως ακολούθως:



Σχήμα 1.6 Επίπεδα ανάπτυξης της χρήσης του εργαλείου της εκτίμησης βλαβών [20].

### 1.4.2 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ 5S

Η προσέγγιση 5S αποτελεί μέρος της προσέγγισης TPM όπως αυτή περιεγράφηκε προηγουμένως και στηρίζεται στην αρχή ότι για να γίνουν αντιληπτά τα προβλήματα του εξοπλισμού αποτελεί βασική προϋπόθεση η βελτίωση του εργασιακού περιβάλλοντος καθώς και η δημιουργία και διατήρηση ενός οργανωμένου και αποδοτικού χώρου εργασίας.

Εν γένει, το εργαλείο 5S δεν αποτελεί τίποτα άλλο παρά μια συστηματική δράση για την καλύτερη οργάνωση του χώρου εργασίας αλλά και τη διατήρηση αυτού στη νέα βελτιωμένη κατάσταση.

Στο πίνακα που ακολουθεί, απεικονίζονται οι βασικοί όροι που περιλαμβάνει το εργαλείο 5S καθώς και η επεξήγηση αυτών.

Ιαπωνικός όρος	Αγγλικός Όρος	Αντίστοιχος όρος με "S"	Ελληνική μετάφραση
<i>Seiri</i>	Organization	Sort	Εξχώρισε
<i>Seiton</i>	Tidiness	Systematize	Αποθήκευσε – Δώσε όρια
<i>Seiso</i>	Cleaning	Sweep	Γυάλισε το χώρο σου
<i>Seiketsu</i>	Standardization	Standardize	Καθόρισε Standards
<i>Shitsuke</i>	Discipline	Self - Discipline	Συνέχισε – Ακολούθησε τους κανόνες

**Πίνακας 1.2** Βασικοί όροι εργαλείου 5S καθώς και επεξήγηση αυτών.  
[19].

Ο όρος Seiri [ Ξεχώρισε]:

Ο όρος ‘Ξεχώρισε’ προάγει την αποσαφήνιση της αξίας του αντικειμένου με βάση τη χρησιμότητα και όχι το κόστος, με τελικό στόχο την ελάττωση των χρόνων αναζήτησης.

Σε ένα πιο συγκεκριμένο πλαίσιο, τονίζεται η ανάγκη για κατηγοριοποίηση των αντικειμένων σε μια κλίμακα που εκτείνεται από ‘κρίσιμα αντικείμενα’ έως ‘αντικείμενα που δεν είναι αναγκαία’. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, τα κρίσιμα αντικείμενα πρέπει να τοποθετούνται σε θέσεις άμεσης πρόσβασης, ενώ τα αντικείμενα που δεν είναι αναγκαία προς το παρόν, σε αποθηκευτικούς χώρους που μπορεί να μην εξασφαλίζουν άμεση πρόσβαση στο εγγύς μέλλον.

Ο όρος Seiton [Αποθήκευσε – Δώσε όρια]:

Η συγκεκριμένη παράμετρος δηλώνει ρητά ότι σε κάθε αντικείμενο αντιστοιχεί μία και μόνο θέση, και μετά από οποιαδήποτε χρήση, αυτό θα πρέπει να επιστρέφει αποκλειστικά και μόνο σε αυτή.

Επιπρόσθετα, ο συγκεκριμένος όρος προάγει τη χρήση ετικετών και ονομάτων προκειμένου να είναι ευκολότερος ο προσδιορισμός και ο εντοπισμός των αντικειμένων, ενώ ταυτόχρονα προτείνει την τοποθέτηση των βαρέων αντικειμένων στις χαμηλότερες θέσεις των αποθηκευτικών χώρων.

Ο όρος Seiso [Γυάλισε το χώρο σου]:

Ο όρος ‘Seiso’ καθορίζει ως σημαντική απαίτηση τον συνεχή καθαρισμό του χώρου εργασίας από τυχόν λάδια, πετρέλαιο, απόβλητα μηχανών καθώς και



από οποιοδήποτε άλλο είδος απορριμμάτων, ενώ επιπρόσθετα καταδεικνύει την ανάγκη να μην υπάρχουν αιωρούμενα καλώδια στους χώρους όπου λαμβάνει χώρα η παραγωγική διαδικασία.

Ο όρος Seiketsu [Καθόρισε standards]:

Ο καθορισμός των standards περιλαμβάνει τον καθορισμό των προτύπων για τη διατήρηση των χώρων εργασίας, του εξοπλισμού και των χώρων διακίνησης σε πλήρη οργάνωση και σε συνθήκες καθαριότητας. Ο συγκεκριμένος όρος τονίζει την ανάγκη οι ίδιοι οι υπάλληλοι να συζητήσουν και να αποφασίσουν για τον καθορισμό των προτύπων προς αυτή την κατεύθυνση, σύστοιχα και με τις αρχές της TPM.

Ο όρος Shitsuke [Συνέχισε – Ακολούθησε τους κανόνες]:

Ο όρος Shitsuke περιλαμβάνει σε σημαντικό βαθμό την έννοια της αυτοπειθαρχίας μιας και τονίζει την ανάγκη το σύνολο των υπαλλήλων να εκλαμβάνει τα 5S ως τρόπο ζωής εντός του πλαισίου της επιχείρησης, πειθαρχώντας πλήρως προς αυτά.

Με άλλα λόγια, ο συγκεκριμένος όρος απαιτεί προσήλωση στις διαδικασίες εργασίας και παραγωγής με στόχο την ακρίβεια της παραγωγικής εργασίας, και σε ένα γενικότερο πλαίσιο, την αφοσίωση του εργατικού δυναμικού στην εταιρία εντός της οποίας παράγουν και εργάζονται.

### 1.4.3 Ο ΚΥΚΛΟΣ P.D.C.A.

Ο κύκλος P.D.C.A [Plan – Do – Check – Act] ή αλλιώς γνωστός και ως κύκλος Deming αποσκοπεί στη συνεχή προσπάθεια για εξεύρεση λύσεων και υιοθέτηση αλλαγών, με προσανατολισμό στην ελάττωση του 'χάσματος' μεταξύ των αναγκών της παραγωγικής διαδικασίας και της απόδοσης του εξοπλισμού [13], [19].



Σχήμα 1.7 Ο κύκλος P.D.C.A ή Deming [19].

#### Ο όρος Σχεδιάσε [Plan]:

Η διαδικασία του σχεδιασμού περιλαμβάνει τη μελέτη και ανάλυση της παροντικής κατάστασης του τεχνολογικού εξοπλισμού μέσω:

- Της συλλογής δεδομένων από την υπάρχουσα λειτουργία.
- Τον προσδιορισμό του προβλήματος.
- Την ανάλυση των αιτιών που προκαλούν αυτό.
- Την ανάπτυξη σχεδίων και δράσεων προς επίλυση του προβλήματος.

Ο όρος Εφάρμοσε [Do]:

Ο συγκεκριμένος όρος σχετίζεται με την ανάγκη για εφαρμογή της προτεινόμενης λύσης σε δοκιμαστικό επίπεδο, συνήθως εντός των εργαστηριακών ορίων ή με την υιοθέτηση ενός πιλοτικού προγράμματος, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την αποτελεσματικότητα αυτής. Η τεκμηρίωση των δεδομένων που συλλέγονται αποτελεί βασική επιταγή του εν λόγω σταδίου.

Ο όρος Έλεγξε [Check]:

Στο εν λόγω στάδιο, μέσω της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το προηγούμενο στάδιο, αποσαφηνίζεται αν η δοκιμαστική λύση λειτουργεί επαρκώς καθώς και η αναγκαιότητα να συνυπολογιστούν ή όχι και άλλα ζητήματα για τον τελικό καθορισμό της αποτελεσματικότητας αυτής.

Σε πολλές περιπτώσεις, η προτεινόμενη λύση μπορεί να χρήζει τροποποίησης ή ακόμα και να απορριφθεί με αποτέλεσμα η διαδικασία να επιστρέφει στη φάση της εφαρμογής στην πρώτη περίπτωση και στη φάση σχεδιασμού στη δεύτερη.

Ο όρος Πράξε [Act]:

Στο στάδιο αυτό η τελική λύση πλέον έχει επιλεγεί, ενώ έχουν λάβει χώρα και οι τελευταίες βελτιώσεις προκειμένου αυτή να καταστεί η βέλτιστη πρακτική σε παρόντικό επίπεδο. Η γνωστοποίησή της σε όλες τις βαθμίδες του φορέα αποτελεί το τελικό βήμα.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να καταδειχτεί ότι όπως αποδεικνύεται από το Σχήμα 1., ο κύκλος P.D.C.A. οδηγεί σε μια ατέρμονη διαδικασία συνεχούς αναζήτησης των βέλτιστων λύσεων, με τη δράση του να μη σταματά με την επιλογή της τελικής λύσης, αλλά να επεκτείνεται συνεχώς και δυναμικά στην προσπάθεια για συνεχή βελτίωση αυτής.

#### **1.4.4 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO**

Το διάγραμμα Pareto αποσκοπεί στο διαχωρισμό των σημαντικών πλευρών ενός προβλήματος από τις ασήμαντες, στηριζόμενο στην παρατήρηση ότι το 80% της εμφάνισης αστοχιών συγκεντρώνεται σε ένα ποσοστό 20% αιτιών (κανόνας 80 / 20) [19].

Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται προκειμένου να καταστρωθεί ένα διάγραμμα Pareto είναι τα επόμενα [19]:

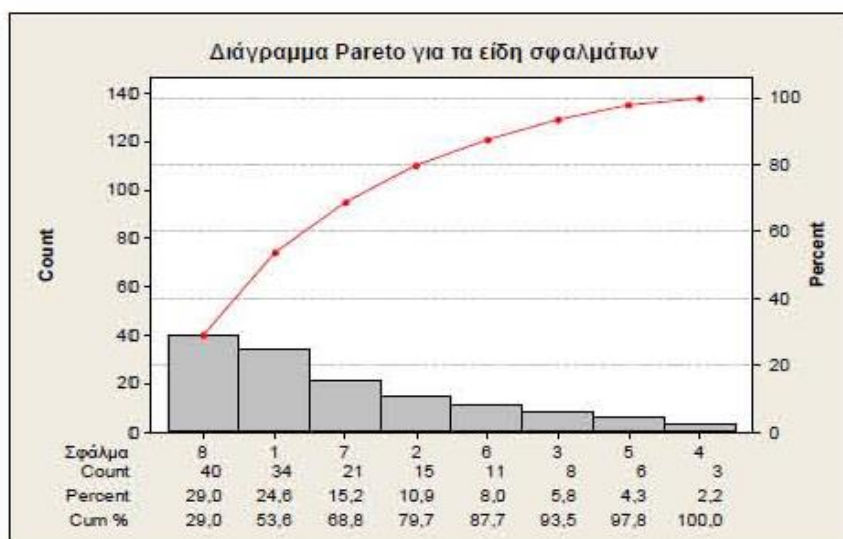
- Καταγραφή των στοιχείων αναφοράς.
- Πραγματοποίηση των μετρήσεων.
- Διάταξη των στοιχείων σε πίνακες.
- Υπολογισμός αθροιστικών κατανομών.
- Σχεδίαση διαγράμματος Pareto.
- Ερμηνεία διαγράμματος.

Θεωρώντας ότι έχουμε τις ακόλουθες αθροιστικές συχνότητες ανά είδος σφαλμάτων:

Διάταξη σφαλμάτων ως προς τη συχνότητα εμφάνισής των	Συχνότητα	Ποσοστό	Αθροιστικές συχνότητες	Αθροιστικό ποσοστό
8	40	28.99	40	28.99
1	34	24.64	74	53.62
7	21	15.22	95	68.84
2	15	10.87	110	79.71
6	11	7.97	121	87.68
3	8	5.80	129	93.48
5	6	4.35	135	97.83
4	3	2.17	138	100.00
Σύνολο	138	100		

**Πίνακας 1.3** Διατεταγμένες σε πίνακα αθροιστικές συχνότητες ανά είδος σφαλμάτων [10].

Το αντίστοιχο διάγραμμα Pareto σχεδιάζεται με τον ακόλουθο τρόπο:



**Διάγραμμα 1.1** Διάγραμμα Pareto για το είδος των σφαλμάτων [10].

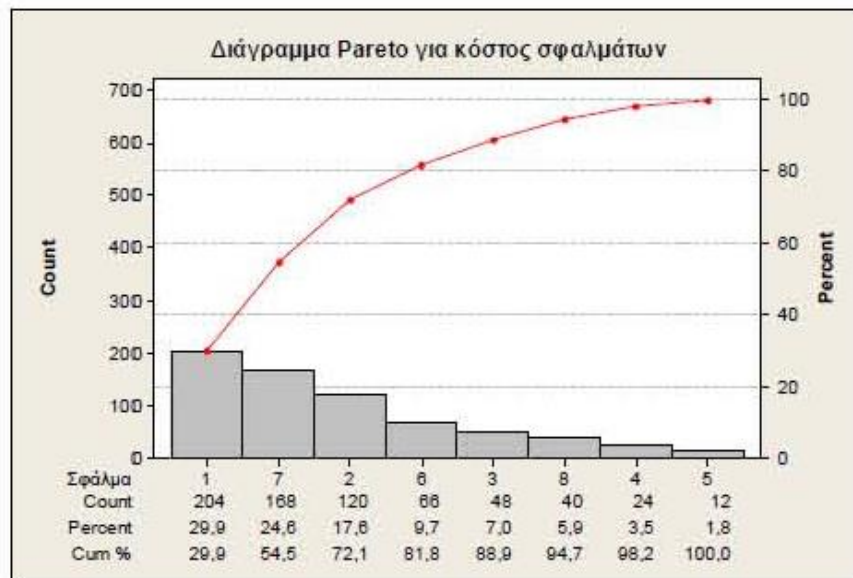
Προχωρώντας, μια ανάλυση Pareto μπορεί να δώσει πληροφορίες, εκτός από το είδος των σφαλμάτων, και για το βαθμό στον οποίο αυτά συντελούν στο συνολικό κόστος σφαλμάτων.

Θεωρώντας ότι έχουμε τις ακόλουθες αθροιστικές συχνότητες για το κόστος των σφαλμάτων:

Διάταξη σφαλμάτων ως προς το συνολικό κόστος τους	Κόστος	Ποσοστό	Αθροιστικό κόστος	Αθροιστικό ποσοστό
1	204	29.91	204	29.91
7	168	24.63	372	54.55
2	120	17.60	492	72.14
6	66	9.68	558	81.82
3	48	7.04	606	88.86
8	40	5.87	646	94.72
4	24	3.52	670	98.24
5	12	1.76	682	100.00
Σύνολο	682	100		

**Πίνακας 1.4** Διατεταγμένες σε πίνακα αθροιστικές συχνότητες για το κόστος σφαλμάτων [10].

Το αντίστοιχο διάγραμμα Pareto είναι το επόμενο:



**Διάγραμμα 1.2** Διάγραμμα Pareto για το κόστος των σφαλμάτων [10].

### 1.4.5 Η ΧΡΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Οι βασικοί δείκτες επίδοσης που χρησιμοποιούνται είναι [13], [3]:

Δείκτης λειτουργικής απόδοσης [Operational Performance Indicator - O.P.I]:

$$O.P.I = \frac{\text{Θεωρητικός χρόνος παραγωγής}}{\text{Επανδρωμένος χρόνος}} \times 100 (\%)$$

Όπου:

$$\text{Επανδρωμένος χρόνος} = \text{Συνολικός χρόνος} - \text{Μη χρησιμοποιούμενος χρόνος}$$

Δείκτης διαθεσιμότητας:

$$\text{Διαθεσιμότητα} = \frac{\text{Χρόνος λειτουργίας}}{\text{Επανδρωμένος χρόνος}} \times 100 (\%)$$

Δείκτης επίδοσης:

$$\text{Επίδοση} = \frac{\text{Χρόνος παραγωγής}}{\text{Χρόνος λειτουργίας}} \times 100 (\%)$$

Δείκτης ποιότητας:

$$\text{Ποιότητα} = \frac{\text{Θεωρητικός χρόνος παραγωγής}}{\text{Θεωρητικός χρόνος παραγωγής} + \text{Απορρίψεις} + \text{Επανεργασία}} \times 100 (\%)$$

Δείκτης αποτελεσματικότητας:

$$\text{Αποτελεσματικότητα} = \frac{\text{Διαθέσιμος χρόνος παραγωγής}}{\text{Επανδρωμένος χρόνος}} \times 100 (\%)$$

Δείκτης αποδοτικότητας:

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Θεωρητικός χρόνος παραγωγής}}{\text{Διαθέσιμος χρόνος παραγωγής}} \times 100 (\%)$$

Δείκτης αναλογίας μονάδων συντήρησης:

$$\text{Αναλογία ομάδων συντήρησης} = \frac{\text{Λειτουργικός χρόνος εργασίας}}{\text{Επανδρωμένος χρόνος}} \times 100 (\%)$$



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

### 2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Στις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές, η αδυναμία του χρησιμοποιούμενου τεχνολογικού εξοπλισμού και των αντίστοιχων συστημάτων να λειτουργούν και να αποδίδουν με βάση τις προβλεπόμενες προδιαγραφές, επιφέρει άμεσες οικονομικές συνέπειες οι οποίες σχετίζονται κύρια με [13], [5]:

- Το κόστος για την αποκατάσταση των αστοχιών του εξοπλισμού.
- Τις άμεσες και έμμεσες δαπάνες που σχετίζονται με το ανθρώπινο δυναμικό του οποίου η εργασία σχετίζεται με τον εν λόγω τεχνολογικό εξοπλισμό, στην περίοδο μη χρήσης του εξαιτίας της αστοχίας ή της αδυναμίας του να επιτελέσει την λειτουργία του καλύπτοντας πλήρως τις αρχικά τιθέμενες προδιαγραφές.
- Την απώλεια κέρδους το οποίο θα λάμβανε χώρα για την επιχείρηση στην περίπτωση που ο τεχνολογικός εξοπλισμός λειτουργούσε πλήρως αποδοτικά, παράγοντας προϊόντα εντός των ορίων ποιότητας.

Οι παραπάνω επιπτώσεις κόστους οδήγησαν στην ανάγκη για εισαγωγή της έννοιας της αξιοπιστίας του τεχνολογικού εξοπλισμού, που αποσκοπεί στο να είναι δυνατός ο καθορισμός του βαθμού ακρίβειας αυτού και επομένως στην αυξημένη ικανότητα από την πλευρά των παραγωγικών επιχειρήσεων για βέλτιστη δυνατή επιλογή τεχνολογίας σε σχέση με τον προορισμό της στο πλαίσιο των παραγωγικών διαδικασιών.

Ο πιο περιεκτικός ορισμός της διεθνούς βιβλιογραφίας για την έννοια της αξιοπιστίας είναι ο ακόλουθος:

Ως αξιοπιστία ενός εξαρτήματος, μιας μηχανικής διάταξης ή γενικότερα ενός τεχνολογικού εξοπλισμού ή συστήματος, ορίζεται η δεσμευμένη πιθανότητα, με συγκεκριμένο βαθμό εμπιστοσύνης, το εξάρτημα, η μηχανική διάταξη ή ο τεχνολογικός εξοπλισμός να λειτουργήσει ικανοποιητικά, χωρίς αστοχίες και σε συγκεκριμένα πλαίσια απόδοσης σύστοιχα με τις αρχικές προδιαγραφές, σε δοσμένη ηλικία και για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, όταν αποδίδει για το σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε, σε κατάλληλο περιβάλλον λειτουργίας και με την επιβολή συγκεκριμένων φορτίσεων σε αυτό σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή [21].

Με βάση τον παραπάνω ορισμό, εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι η έννοια της αξιοπιστίας χαρακτηρίζεται από τέσσερις βασικές συνιστώσες.

Η πρώτη συνιστώσα σχετίζεται με την έννοια της πιθανότητας και ουσιαστικά αποτελεί τον πρώτο δείκτη λειτουργικής επάρκειας του τεχνολογικού εξοπλισμού, αποτελώντας το δεδομένο εισόδου σε κάθε σύστημα ανάλυσης αξιοπιστίας ενός τεχνολογικού συστήματος ή διάταξης.

Τις υπόλοιπες τρεις συνιστώσες αποτελούν η απαιτούμενη λειτουργία, το χρονικό διάστημα λειτουργίας καθώς και οι καθορισμένες από τον κατασκευαστή συνθήκες λειτουργίας. Το σύνολο των συνιστωσών αυτών, σε αντίθεση με τη συνιστώσα της πιθανότητας η οποία αφορά στο στάδιο πριν την εφαρμογή λειτουργίας, σχετίζονται με τη φύση της λειτουργίας του τεχνολογικού εξοπλισμού και επομένως και με το δυναμικό συντήρησης το οποίο θα πρέπει να εξετάσει λεπτομερώς το σύνολο των τύπων βλαβών που μπορεί να ανακύψει σε κάθε δομική διάταξη του συνολικού τεχνολογικού συστήματος.

## 2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ

Τα τεχνολογικά συστήματα διακρίνονται από διαφορετικές προδιαγραφές λειτουργίας με αποτέλεσμα να απαντώνται και διαφορετικές κατηγορίες βλαβών σε αυτά. Οι σημαντικότερες εξ' αυτών είναι οι επόμενες [14]:

<b><u>Κριτήριο:</u></b>	<b><u>Αιτία της βλάβης</u></b>
1.	Βλάβη εξαιτίας της συνεχούς λειτουργίας.
2.	Βλάβη καταπόνησης.
3.	Βλάβη από κακή χρήση..
4.	Βλάβη από φθορά.
5.	Βλάβη από κακή συντήρηση ή από έλλειψη συντήρησης.

**Πίνακας 2.1** Τύποι βλαβών με κριτήριο την 'Αιτία της βλάβης'.

<b><u>Κριτήριο:</u></b>	<b><u>Τρόπος εκδήλωσης της βλάβης</u></b>
1.	Άμεση βλάβη.
2.	Βλάβη που εξελίσσεται σε διαδοχικά στάδια.

**Πίνακας 2.2** Τύποι βλαβών με κριτήριο τον 'Τρόπο εκδήλωσης της βλάβης'.

<b><u>Κριτήριο:</u></b>	<b><u>Επίπτωση της βλάβης</u></b>
1.	Βλάβη που οδηγεί στην καταστροφή του εξοπλισμού.
2.	Βλάβη που προκαλεί διακοπή λειτουργίας.
3.	Βλάβη που οδηγεί σε μερική απώλεια της δυναμικότητας.

**Πίνακας 2.3** Τύποι βλαβών με κριτήριο την 'Επίπτωση της βλάβης'.

<b><u>Κριτήριο:</u></b>	<b><u>Επίπτωση της βλάβης στον εξοπλισμό</u></b>
1.	Πολύ σοβαρή βλάβη.
2.	Σοβαρή βλάβη.
3.	Απλή βλάβη.

**Πίνακας 2.4** Τύποι βλαβών με κριτήριο το ‘Χαρακτηρισμό της βλάβης’.

Ο υψηλός βαθμός διασποράς που διακρίνει τις βλάβες που σχετίζονται με μηχανολογικούς εξοπλισμούς, οδήγησε στη δημιουργία πιο πρακτικών κατηγοριών κατάταξης αυτών, με τις κατηγορίες αυτές να αποτυπώνονται ως ακολούθως [14]:

- Βλάβες που προκαλούνται από φαινόμενα υπερφόρτωσης του εξοπλισμού.
- Βλάβες που προκαλούνται από φαινόμενα κόπωσης και διάβρωσης λόγω διάβρωσης.
- Βλάβες εξαιτίας φαινομένων διάβρωσης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι βλάβες υπερφόρτωσης εμφανίζονται κατά κανόνα στη διαδικασία φόρτισης της διάταξης του εξοπλισμού, ενώ οι βλάβες εξαιτίας φαινομένων κόπωσης και διάβρωσης διακρίνονται από πιο πολύπλοκη φύση και απαιτούν ιδιαίτερη ανάλυση και ακριβέστερους χειρισμούς.

Τέλος, οι βλάβες που απαντώνται σε μηχανολογικές διατάξεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και με βάση τους τύπους που απαντώνται κατά την πραγματοποίηση των δοκιμών αξιοπιστίας, σύμφωνα με τα ακόλουθα [14]:

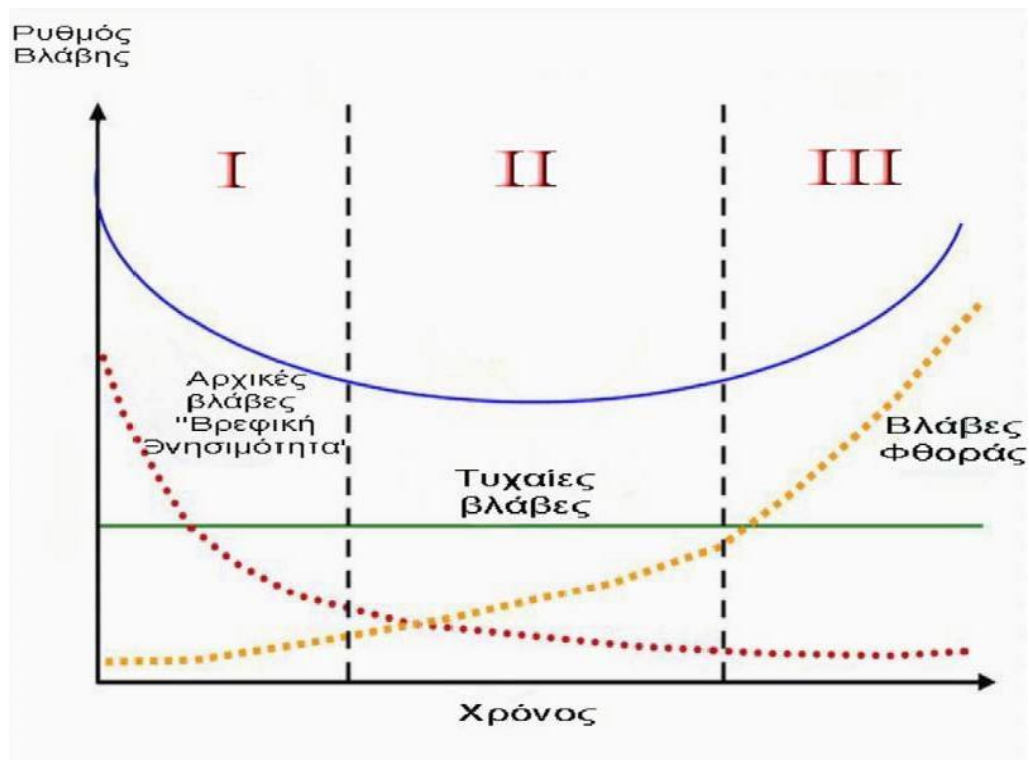
<u>Χαρακτηρισμός βλάβης:</u>	<u>‘Σχετική’</u>
1.	Βλάβες εξαιτίας κακού σχεδιασμού.
2.	Βλάβες εξαιτίας αστοχίας εξαρτημάτων εξοπλισμού.
3.	Βλάβες πολλαπλού χαρακτήρα.
4.	Εικονικές βλάβες που σχετίζονται κυρίως με δυσλειτουργίες των συστημάτων ασφαλείας.

**Πίνακας 2.5** Κατάταξη βλαβών ως ‘Σχετικές’ κατά τις δοκιμές αξιοπιστίας.

<u>Χαρακτηρισμός βλάβης:</u>	<u>‘Μη Σχετική’</u>
1.	Ακατάλληλη επιλογή διαδικασίας δοκιμής.
2.	Βλάβες εξαιτίας αστοχίας του εξοπλισμού δοκιμής.
3.	Λάθη ανάγνωσης της διαδικασίας από την πλευρά του χειριστή.
4.	Βλάβες εξαιτίας της χρήσης απαρχαιωμένου εξοπλισμού.
5.	Βλάβες που απαντώνται κατά τις περιόδους επισκευής και εγκατάστασης του εξοπλισμού.

**Πίνακας 2.6** Κατάταξη βλαβών ως ‘Μη Σχετικές’ κατά τις δοκιμές αξιοπιστίας.

Κάθε μια από τις βλάβες που ανήκουν στις προαναφερθείσες κατηγορίες απαντάται στα διάφορα στοιχεία του τεχνολογικού εξοπλισμού τα οποία με τη σειρά τους εμφανίζουν αστοχίες οι οποίες ποιοτικά ακολουθούν την επόμενη καμπύλη.



**Σχήμα 2.1** Καμπύλη ρυθμού βλάβης στοιχείων τεχνολογικού εξοπλισμού [8].

Από την παραπάνω καμπύλη προκύπτουν τρεις περιόδοι παρατήρησης βλαβών καθεμία εκ των οποίων χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα γνωρίσματα.

### Περίοδος I: Αρχικών βλαβών

Το βασικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης περιόδου αποτελεί ο αυξημένος ρυθμός βλαβών, με τις περισσότερες εξ' αυτών να εμφανίζονται στα αρχικά στάδια της λειτουργίας του εξοπλισμού και να οφείλονται σε αστοχίες του κατασκευαστή. Με την πάροδο του χρόνου ο ρυθμός βλαβών ελαττώνεται.

Με τη χρήση της μεθόδου της τεχνητής γήρανσης κατά την οποία λαμβάνει χώρα δοκιμαστική λειτουργία του εξαρτήματος αναφοράς για χρονικό διάστημα τέτοιο ώστε:

$$\text{Κόστος βλαβών} + \text{Κόστος δοκιμαστικής λειτουργίας} \rightarrow \min$$

είναι δυνατό να μειωθούν οι επιδράσεις του παρατηρούμενου αυξημένου αριθμού βλαβών κατά την κανονική λειτουργία του εξαρτήματος.

Τα κυριότερα αίτια βλαβών όσον αφορά στην Ι περίοδο αποτελούν [8]:

- Η ακολουθία μη ενδεδειγμένων τεχνικών κατασκευής και συναρμολόγησης του εξοπλισμού.
- Η διενέργεια ανεπαρκών διαδικασιών ποιοτικού ελέγχου.
- Απουσία ή μη επάρκεια περιόδου δοκιμών προς ανίχνευση πρώιμων βλαβών.
- Απουσία χρήσης μεθόδων και τεχνικών για τον έλεγχο της στιβαρότητας της κατασκευής μετά την περίοδο δοκιμής (π.χ. μέθοδος των δονήσεων για ανίχνευση τυχόν αστοχιών στα σημεία συγκόλλησης).
- Χρήση εξαρτημάτων, υλικών και ανταλλακτικών κακής ποιότητας ή μη προβλεπόμενων από τον κατασκευαστή.
- Ανθρώπινο σφάλμα κυρίως κατά την εγκατάσταση του εξοπλισμού.
- Κακή εφαρμογή της διαδικασίας εκκίνησης του εξοπλισμού.

## **Περίοδος II: Τυχαίων βλαβών**

Κατά την περίοδο των τυχαίων βλαβών, ο ρυθμός βλαβών είναι ανεξάρτητος του χρόνου και εμφανίζεται σταθερός, με τις βλάβες να εμφανίζονται με τυχαίο τρόπο. Εντός της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου τα εξαρτήματα, εφόσον ακολουθείται η ενδεδειγμένη συντήρηση, δεν έχουν

εισέλθει σε κατάσταση προχωρημένης φθοράς και παραμένουν στη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής τους, με αποτέλεσμα μια βλάβη να λαμβάνει χώρα μόνο όταν εξαιτίας απρογραμμάτιστων ή απρόβλεπτων γεγονότων τα εξαρτήματα αναγκάζονται να λειτουργήσουν πάνω από τα όρια αντοχής τους.

Όσον αφορά στην περίοδο II, τα κυριότερα αίτια βλαβών είναι τα επόμενα [8]:

- Υιοθέτηση ανεπαρκών συντελεστών ασφαλείας.
- Εμφάνιση φορτίσεων υψηλότερων των προβλεπόμενων.
- Ύπαρξη ελαττωμάτων που δεν ανιχνεύθηκαν από την υιοθέτηση ακόμα και των ενδεδειγμένων μεθόδων.
- Ανθρώπινα σφάλματα κατά τη λειτουργία του εξοπλισμού ή μη ενδεδειγμένη χρήση σύστοιχα με τις επιταγές του κατασκευαστή.
- Αίτια που οφείλονται σε εξωγενείς καταστάσεις όπως ακραία καιρικά φαινόμενα.
- Λοιπά απροσδιόριστα αίτια.

### **Περίοδος III: Βλαβών λόγω φθοράς**

Στην εν λόγω περίοδο παρατηρείται αυξανόμενος ρυθμός βλαβών με την πάροδο του χρόνου, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι πλέον τα εξαρτήματα έχουν περιέλθει στην ωφέλιμη διάρκεια ζωής τους με αποτέλεσμα όσο αυξάνεται



η χρήση τους να εμφανίζουν αστοχίες ακόμα και αν έχουν κατασκευαστεί πλήρως ενδεδειγμένα.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η εφαρμογή πολιτικών αντικατάστασης των εξαρτημάτων πριν την εμφάνιση βλαβών αποτελεί την ενδεδειγμένη προσέγγιση προκειμένου να μειωθεί η επίδραση του παρατηρούμενου αυξανόμενου ρυθμού βλαβών.

Τα κυριότερα αίτια βλαβών όσον αφορά στην ΙΙΙ περίοδο αποτελούν [8]

- Τα εμφανιζόμενα φαινόμενα φθοράς και κόπωσης.
- Η παρατηρούμενη πτώση του βαθμού απόδοσης του εξοπλισμού κάτω από το κατώτατο επιτρεπτό όριο σύμφωνα με τον κατασκευαστή.
- Διαρροή υλικού κατασκευής του εξοπλισμού.
- Παραμένουσες τάσεις από τη λειτουργία της διάταξης.
- Σχεδιασμός του εξοπλισμού με μικρή διάρκεια ζωής.

## **2.3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ**

### 2.3.1 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Αν ορίσουμε ως συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας βλάβης του χρόνου λειτουργίας του τεχνολογικού εξοπλισμού την  $f(t)$ , τότε η πιθανότητα να πάθει βλάβη ο εξοπλισμός μεταξύ των χρόνων  $t$  και  $t_1 = t + dt$  είναι [3], [7], [13], [14]:

$$G(t) = \int_t^{t_1} f(t) dt$$

Η πιθανότητα να πάθει βλάβη ο εξοπλισμός μέχρι το χρονικό σημείο  $t$  ισούται προφανώς με την αθροιστική πιθανότητα:

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

Παραγωγίζοντας την προηγούμενη σχέση, υπεισέρχεται η συνάρτηση αθροιστικής θνησιμότητας  $F(t)$  σύμφωνα με τα επόμενα:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t)$$

Τη διαφορά  $1 - F(t)$  την αποκαλούμε αξιοπιστία  $[R(t)]$  του τεχνολογικού εξοπλισμού γιατί μας παρέχει την πιθανότητα να μην πάθει βλάβη αυτός μέχρι το χρόνο  $t$ . Επομένως:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Κυρίως στις περιπτώσεις ηλεκτρονικών εξαρτημάτων τα οποία εμφανίζουν σταθερό ρυθμό βλαβών ( $\lambda$ ), χρησιμοποιείται εναλλακτικά η γενική συνάρτηση αξιοπιστίας η οποία εκφράζεται ως ακολούθως:

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(t) dt}$$

Όπου,

$h(t)$ : η συνάρτηση που καθορίζει το ρυθμό βλαβών.

Στην περίπτωση σταθερού ρυθμού βλαβών, η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται σημαντικά παίρνοντας τη μορφή:

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

Σε ένα τεχνολογικό σύστημα, εκτός από τη συνάρτηση αξιοπιστίας, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν επιπρόσθετα και κάποιοι δείκτες έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια πλήρης εικόνα τόσο για την αξιοπιστία του εξοπλισμού όσο και για τις διαδικασίες που θα πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου αυτή να διατηρηθεί καθ' όλη τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του. Οι σημαντικότεροι εξ' αυτών των δεικτών είναι [13], [8]:

- Ο ρυθμός βλάβης.
- Ο μέσος χρόνος για βλάβη.
- Ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών.
- Οι δείκτες σύνδεσης αξιοπιστίας - συντήρησης.

### 2.3.2 ΡΥΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ

Ο ρυθμός βλάβης (Failure Ratio – FR) ορίζεται ως το πηλίκο του συνολικού αριθμού των παρατηρούμενων βλαβών προς τον ολικό χρόνο λειτουργίας του συστήματος ή του εξαρτήματος κατά την περίοδο αναφοράς.

Με βάση τον παραπάνω ορισμό, ο ρυθμός βλάβης ( $\lambda$ ) ενός τεχνολογικού εξοπλισμού για μια συγκεκριμένη περίοδο παρατήρησης ( $T$ ) υπολογίζεται σε μονάδες αντίστροφου χρόνου μέσω της ακόλουθης σχέσης [13]:

$$\lambda = \frac{r}{T}$$

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, ο ρυθμός εκφράζεται σε ποσοστό % ενός επιπέδου αναφοράς που αντιστοιχεί σε 1000 ώρες ή σε ένα ημερολογιακό ετών (= 8760 ώρες) λειτουργίας.

### 2.3.3 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΓΙΑ ΒΛΑΒΗ

Ο μέσος χρόνος για βλάβη (Mean Time to Failure – MTTF) αποτελεί το χρόνο στον οποίο αναμένεται να εμφανιστεί βλάβη στον τεχνολογικό εξοπλισμό.

Ο εν λόγω δείκτης υπολογίζεται μέσω του επόμενου μαθηματικού τύπου [13]:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \left[ -\frac{dR(t)}{dt} \right] dt$$

Ολοκληρώνοντας:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Ο μέσος χρόνος για βλάβη χρησιμοποιείται κυρίως για στοιχεία ηλεκτρονικών και μηχανικών διατάξεων, όπως τα τρανζίστορ και τα ρουλεμάν, τα οποία δεν εμφανίζουν αυξημένες δυνατότητες για επισκευή και συνήθως με την εκδήλωση αστοχίας σε αυτά λαμβάνει χώρα και η αντικατάστασή τους.

### 2.3.4 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΒΛΑΒΩΝ

Ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (Mean Time Between Failure – MTBF), ορίζεται ως η μέση τιμή της διάρκειας των χρονικών διαστημάτων που μεσολαβούν μεταξύ διαδοχικών βλαβών του εξαρτήματος ή του εξοπλισμού για συγκεκριμένη περίοδο της ζωής του.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του συγκεκριμένου δείκτη λαμβάνει χώρα μέσω του υπολογισμού του πηλίκου του συνολικού χρόνου λειτουργίας του εξαρτήματος ή του εξοπλισμού προς το συνολικό αριθμό των παρατηρούμενων βλαβών. Δηλαδή [13]:

$$MTBF = \frac{T(t)}{r}$$

Όπου,

T(t): ο συνολικός χρόνος λειτουργίας με τη συνάρτηση t να δηλώνει μεταβαλλόμενο ρυθμό βλαβών.

r: ο συνολικός αριθμός βλαβών που παρατηρήθηκαν κατά την χρονική περίοδο αναφοράς.

Στην περίπτωση όπου ο ρυθμός βλάβης είναι σταθερός τότε ισχύει:

$$MTBF = \frac{T}{r} \rightarrow r = \frac{T}{MTBF}$$

Όπως ήδη έχει καταδειχτεί όσον αφορά στο ρυθμό βλάβης:

$$\lambda = \frac{r}{T}$$

Με βάση την προηγούμενη σχέση, η τελευταία σχέση γίνεται:

$$\lambda = \frac{T/MTBF}{T}$$

Όποτε τελικά προκύπτει:

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

Ο δείκτης του μέσου χρόνου μεταξύ βλαβών, σε αντίθεση με το δείκτη του μέσου χρόνου για βλάβη, χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για εξαρτήματα και συστήματα που εμφανίζουν υψηλή επισκευασιμότητα.

### 2.3.5 ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η συγκεκριμένη κατηγορία δεικτών συνδέει τις συνιστώσες της αξιοπιστίας με τις αντίστοιχες συνιστώσες της συντήρησης και αναφέρεται στις περιπτώσεις εξαρτημάτων και διατάξεων που επιδέχονται παρεμβάσεις συντήρησης.

Οι κυριότεροι δείκτες σύνδεσης αξιοπιστίας - συντήρησης είναι οι επόμενοι [13]:

- Χρόνος ως την ανάγκη για επισκευή του εξαρτήματος ή του εξοπλισμού (Time to Repair).
- Βαθμός συντηρισιμότητας (Maintainability).
- Ρυθμός επισκευής (Rate of Repair).
- Μέσος χρόνος διάρκειας επισκευής (Mean Time to Repair).

Στον επόμενο πίνακα αποτυπώνεται η αντιστοιχία μεταξύ των δεικτών αξιοπιστίας και συντήρησης σε μια διαδικασία για τη διατήρηση της λειτουργικότητας και της αποδοτικότητας ενός τεχνολογικού εξοπλισμού. Από τα περιεχόμενα του πίνακα εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι η αξιοπιστία και η συντήρηση αποτελούν αλληλένδετους παράγοντες η ορθή χρήση των οποίων μπορεί να επιδράσει τα βέλτιστα στην απρόσκοπτη λειτουργία του τεχνολογικού εξοπλισμού καθ' όλη τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του.

<u>Δείκτες αξιοπιστίας</u>	<u>Δείκτες συντήρησης</u>
Χρόνος αποτυχίας	Χρόνος επισκευής
Αξιοπιστία	Συντηρησιμότητα
Ποσοστό αποτυχίας	Ποσοστό επισκευής
Μέσος χρόνος βλαβών	Μέσος χρόνος επισκευής

**Πίνακας 2.7** Αντιστοιχία δεικτών αξιοπιστίας και συντήρησης [14].

## 2.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ

Η διαδικασία του προσδιορισμού του καταλληλότερου μοντέλου αξιοπιστίας απαιτεί τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων που σχετίζονται με τις βλάβες του εξοπλισμού. Αφού λάβει χώρα το συγκεκριμένο αρχικό στάδιο, η προσέγγιση του επόμενου σταδίου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω δύο εναλλακτικών μεθόδων.

Η πρώτη μέθοδος αφορά στην εφαρμογή μιας ήδη υπάρχουσας θεωρητικής στατιστικής κατανομής με βάση τα δεδομένα βλαβών που έχουν συλλεχθεί, ενώ η δεύτερη έγκειται στην κατάστρωση μιας καθαρά εμπειρικής συνάρτησης αξιοπιστίας ή ρυθμού βλαβών που προέρχεται απ' ευθείας από τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η πρώτη μέθοδος προτιμάται σε σχέση με τη δεύτερη για τους ακόλουθους λόγους [2]:

- Το εμπειρικό μοντέλο αδυνατεί να παράσχει γενικευμένες πληροφορίες μιας και σχετίζεται αποκλειστικά με τη μικρή και απομονωμένη περιοχή του υπό εξέταση δείγματος.
- Σκοπός της διαδικασίας είναι να προσδιορίσει ποσοστιαία τη συνολική πορεία εμφάνισης της βλάβης, με αποτέλεσμα να είναι ανεπαρκές ένα πολύ μικρό, τυχαία επιλεγμένο δείγμα του πληθυσμού των χρόνων βλάβης σαν αυτό που χρησιμοποιείται στην εμπειρική προσέγγιση.
- Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η διαδικασία εμφάνισης της βλάβης ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη υπάρχουσα στατιστική κατανομή για την οποία υπάρχουν εκτεταμένα στοιχεία ανάλυσης και συμπεριφοράς της. Ως εκ τούτου, ο προσδιορισμός μιας νέας κατανομής η οποία στηρίζεται σε ένα μικρό δείγμα και για την οποία δεν υπάρχουν αποδεδειγμένες προσεγγίσεις, αφαιρεί τη δυνατότητα για αποκόμιση πολύ ισχυρότερων αποτελεσμάτων βασιζόμενων στις ιδιότητες της θεωρητικής κατανομής.

Για τον προσδιορισμό της καταλληλότερης προς εφαρμογή στατιστικής κατανομής με βάση τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων βλαβών, λαμβάνει χώρα αρχικά ο σχεδιασμός της καμπύλης του ρυθμού βλαβών. Από το εν λόγω γράφημα είναι δυνατόν να παρατηρηθεί αν ο ρυθμός βλαβών είναι αύξοντα, φθίνει ή παραμένει σταθερός.

Σταθερός ρυθμός βλαβών οδηγεί στη χρήση της εκθετικής κατανομής, ενώ φθίνων ρυθμός βλαβών προσεγγίζεται αποδοτικότερα μέσω της κατανομής Weibull ή της κατανομής Γάμα. Στην περίπτωση αύξοντα ρυθμού βλαβών, ενδεδειγμένες λύσεις αποτελούν τόσο η κανονική και η λογαριθμική κανονική κατανομή όσο και η κατανομή Γάμα [2].



Αναλύοντας με βάση το σχήμα 2.1 προκύπτει πως σε κάθε περίοδο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές στατιστικές κατανομές σύμφωνα με τα προηγούμενα. Προς βέλτιστη προσέγγιση, για την περίοδο I ενδείκνυται η κατανομή Γάμα ή η κατανομή Weibull, για την περίοδο II η εκθετική κατανομή και τέλος για την περίοδο III, τις προτεινόμενες κατανομές αποτελούν η κανονική κατανομή και η κατανομή Γάμα.

#### **2.4.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ**

Η κανονική κατανομή αν και αποτελεί τη σημαντικότερη και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη κατανομή στο πεδίο της στατιστικής, όσον αφορά στον τομέα της αξιοπιστίας τεχνολογικού εξοπλισμού στην πλειονότητα των περιπτώσεων υπολείπεται των άλλων κατανομών.

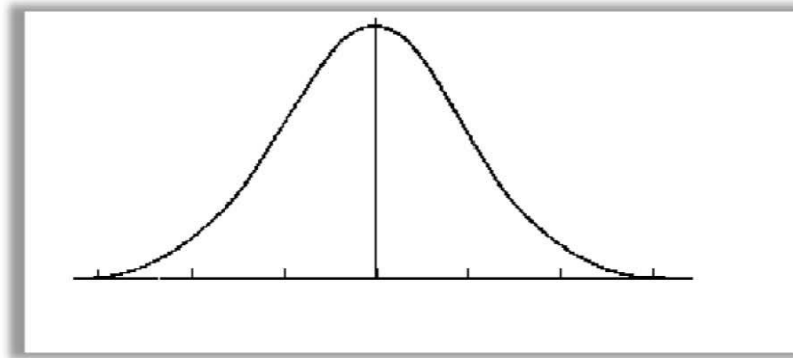
Εντούτοις, σήμερα απαντώνται δύο πολύ σημαντικές εφαρμογές της κανονικής κατανομής στον εν λόγω τομέα.

Η μια εφαρμογή σχετίζεται με την ανάλυση των στοιχείων και εξαρτημάτων που παθαίνουν βλάβη εξαιτίας της χρήσης τους. Η κατανομή των βλαβών λόγω χρήσης είναι αρκετά κοντά στην κανονική κατανομή με αποτέλεσμα η χρησιμότητα αυτής για την πρόβλεψη και τον καθορισμό της αξιοπιστίας των σχετιζόμενων στοιχείων και εξαρτημάτων να θεωρείται σημαντική. Η δεύτερη εφαρμογή της κανονικής κατανομής στο πεδίο της αξιοπιστίας σχετίζεται με τη δυνατότητα για ανάλυση της κατασκευής των εξαρτημάτων και τον έλεγχο για την ικανοποίηση των τιθέμενων προδιαγραφών από αυτά.

Εν γένει, η συνάρτηση της πυκνότητας πιθανότητας της κανονικής κατανομής έχει ως μοναδικές παραμέτρους τη μέση τιμή  $\mu$  και την τυπική απόκλιση  $\sigma$  και δίδεται από την ακόλουθη σχέση [13]:

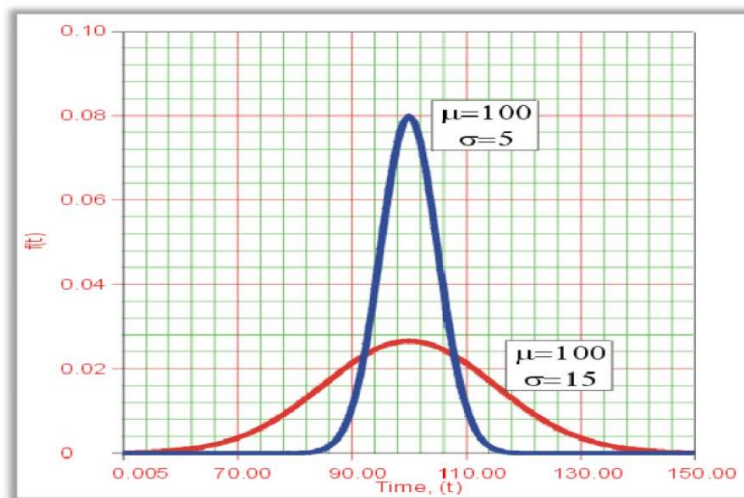
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Το γράφημα της κανονικής κατανομής που προκύπτει από την παραπάνω σχέση είναι συμμετρικό περί τη μέση τιμή και απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



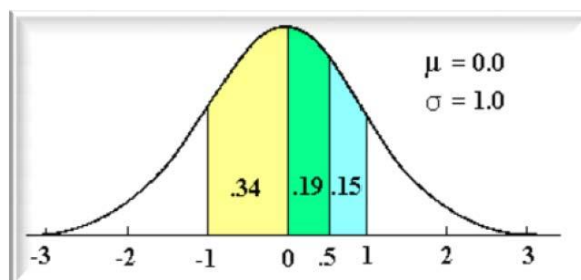
Σχήμα 2.2 Γράφημα κανονικής κατανομής [1].

Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει η μεταβολή της τυπικής απόκλισης τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας σε μια κανονική κατανομή όπου η μέση τιμή είναι σταθερή, απεικονίζεται ακολούθως.



Σχήμα 2.3 Μεταβολή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας σε μια κανονική κατανομή όπου η μέση τιμή παραμένει σταθερή, με τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης [1].

Για την απλοποίηση των υπολογισμών, η αντιμετώπιση των προβλημάτων αξιοπιστίας, όπως και των περισσότερων προβλημάτων που χρησιμοποιούν την κανονική κατανομή, λαμβάνει χώρα μέσω της πινακοποίησης των επιφανειών που βρίσκονται κάτω από την καμπύλη.



**Σχήμα 2.4** Πινακοποίηση διαγράμματος κανονικής κατανομής [1].

Για την πραγματοποίηση αυτού του τρόπου προσέγγισης, ορίζεται η αδιάστατη ανηγμένη μεταβλητή:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας λαμβάνει τώρα τη μορφή:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

Η μεταβλητή  $z$  ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1, δηλ.  $N(\mu, \sigma^2) = (0, 1)$ .

Ο υπολογισμός των επιθυμητών πιθανοτήτων λαμβάνει χώρα μέσω της σχέσης:

$$P(z \leq \frac{t - \mu}{\sigma}) = \Phi(\frac{t - \mu}{\sigma})$$

Όπου,

$\Phi$ : Η πιθανότητα της στοχαστικής μεταβλητής  $z$  αντιστοιχούσα σε εμβαδό κάτω από την καμπύλη της αντίστοιχης κανονικής κατανομής.

## 2.4.2 ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η λογαριθμοκανονική κατανομή χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση της αξιοπιστίας ημιαγωγών αλλά και για τον προσδιορισμό της καταπόνησης μηχανολογικών εξαρτημάτων τα οποία επιδέχονται επισκευή. Όπως προκύπτει από τη συγκεκριμένη παρατήρηση, ο εν λόγω τύπος κατανομής δεν ενδείκνυται για μελέτες αξιοπιστίας συστημάτων τα οποία δεν δύναται να δεχτούν παρεμβάσεις επισκευής.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της λογαριθμοκανονικής κατανομής δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

με

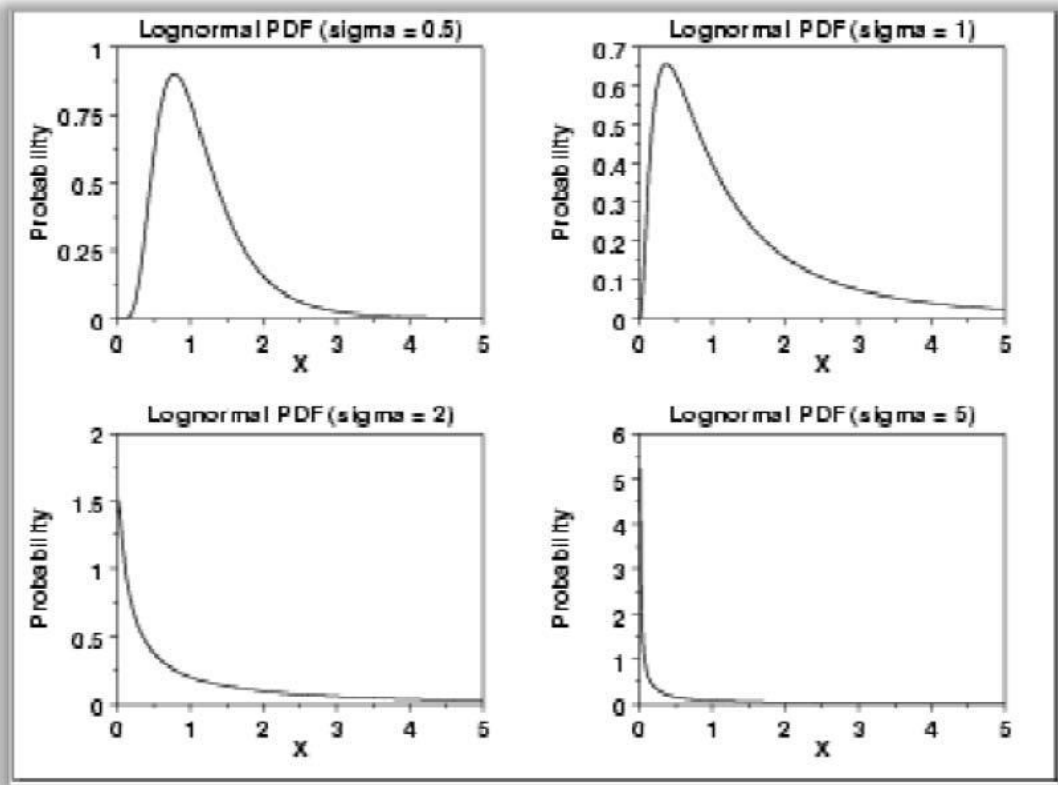
$$t \geq 0$$

Η μέση τιμή και τη τυπική απόκλιση της εν λόγω κατανομής δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Μέση τιμή} = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\text{Τυπική απόκλιση} = \sqrt{e^{2\mu + 2\sigma^2} - e^{2\mu + \sigma^2}}$$

Η επίδραση της παραμέτρου  $\sigma$  στα αποτελέσματα της λογαριθμοκανονικής κατανομής αποτυπώνεται στα επόμενα διαγράμματα:



**Σχήμα 2.5** Επίδραση της παραμέτρου  $\sigma$  στα αποτελέσματα της λογαριθμοκανονικής κατανομής [1].

Όσον αφορά στη συνάρτηση πιθανότητας, αυτή υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, όμοια με την περίπτωση της κανονικής κατανομής, μπορεί να λάβει χώρα χρήση της στοχαστικής μεταβλητής  $z$  και στην περίπτωση της λογαριθμοκανονικής κατανομής. Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση πιθανότητας γίνεται:

$$F(t) = \int_{-\infty}^{(\ln t - \mu)/\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

με

$$z = \frac{\ln t - \mu}{\sigma}$$

Είναι προφανές ότι η συνάρτηση αξιοπιστίας θα δίνεται από τη σχέση:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

ή

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Στην περίπτωση χρήσης της στοχαστικής μεταβλητής  $z$  θα είναι:

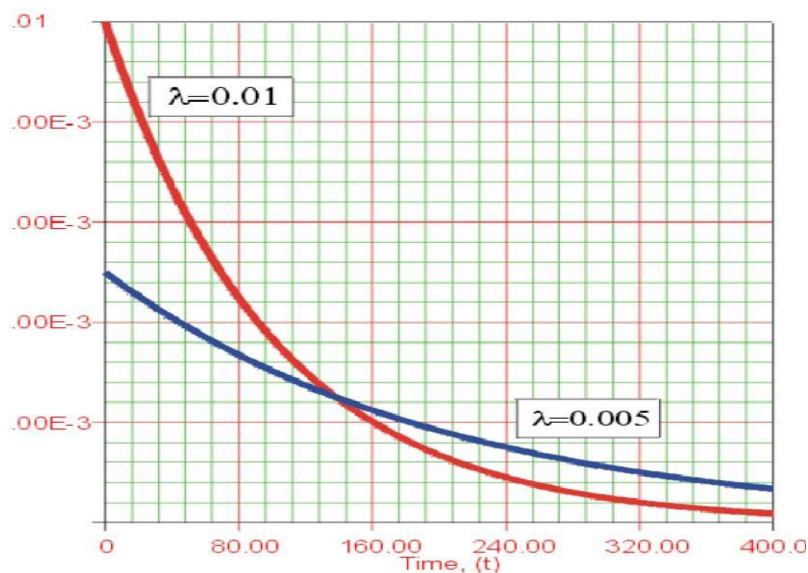
$$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^{(\ln t - \mu)/\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

### 2.4.3 ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η εκθετική κατανομή αποτελεί την πιο σημαντική και ευρέως χρησιμοποιούμενη κατανομή στο πεδίο της ανάλυσης αξιοπιστίας εξαρτημάτων και συστημάτων με τη χρήση της να συνδέεται σχεδόν αποκλειστικά με δράσεις πρόβλεψης της αξιοπιστίας ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, η εκθετική κατανομή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για την ωφέλιμη ζωή ενός εξαρτήματος ή την κανονική περίοδο λειτουργίας αυτού μιας και απαιτείται ο ρυθμός βλάβης  $\lambda$  να είναι σταθερός.

Η επίδραση του ρυθμού βλάβης στα αποτελέσματα της εκθετικής κατανομής σε μια μελέτη αξιοπιστίας αποτυπώνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



**Σχήμα 2.6** Επίδραση του ρυθμού βλάβης  $\lambda$  στα αποτελέσματα της εκθετικής κατανομής σε μια μελέτη αξιοπιστίας [1].

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της εκθετικής κατανομής έχει τη μορφή:

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

Τέλος, όσον αφορά στη συνάρτηση αξιοπιστίας που χρησιμοποιείται σε μια ανάλυση ενός στοιχείου, αυτή λαμβάνει την επόμενη μορφή:

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

#### 2.4.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΑΜΑ

Η κατανομή Γάμα ενδείκνυται για περιπτώσεις εξαρτημάτων και συστημάτων στα οποία μπορεί να λάβει χώρα μερική βλάβη. Σε αυτή τη βάση, η συγκεκριμένη κατανομή χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγράψει την αστοχία ενός εξαρτήματος το οποίο υφίσταται συνεχιζόμενα και επαναλαμβανόμενα φαινόμενα κρούσης ή ταλάντωσης.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας σε μια κατανομή Γάμα δίνεται από τη μαθηματική έκφραση:

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t}$$

Όπου:

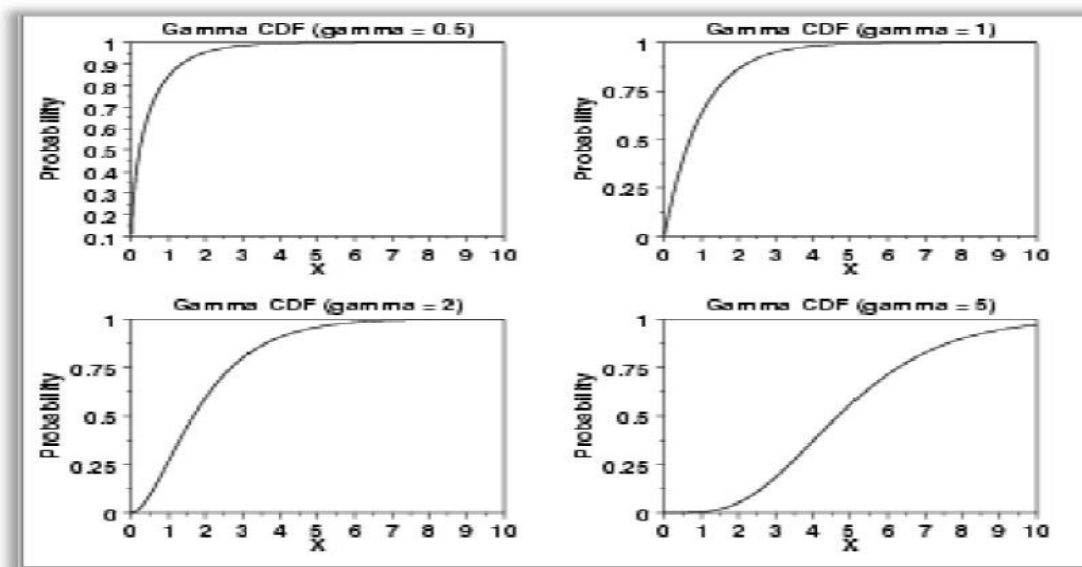
- $\alpha$ : Ο αριθμός των μερικών βλαβών που οδηγούν σε ολική αστοχία και των γεγονότων που παράγουν τη βλάβη, με:

$$\alpha > 0$$

- $\lambda$ : Ο ρυθμός βλάβης σύμφωνα με τα προηγούμενα, με:

$$\lambda > 0$$

Η επίδραση του συντελεστή  $\lambda$  στα αποτελέσματα της κατανομής Γάμα απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 2.7 Επίδραση του ρυθμού βλάβης  $\lambda$  στα αποτελέσματα της κατανομής

Γάμα [1].

- $\Gamma(\alpha)$ : Η συνάρτηση Γάμα η οποία ορίζεται από τη σχέση:



$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

Στην περίπτωση όπου από την τιμή της παράστασης  $[\alpha-1]$  προκύπτει θετικός ακέραιος αριθμός, τότε η συνάρτηση Γάμα παίρνει την επόμενη μορφή η οποία αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή χρήσης της κατανομής όσον αφορά στο πεδίο των αναλύσεων αξιοπιστίας:

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)!$$

Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας λαμβάνει τη μορφή:

$$f(t) = \frac{\lambda}{(\alpha - 1)!} (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t}$$

Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Αν  $\alpha = 1$  τότε η κατανομή παίρνει τη μορφή εκθετικής.
- Αν  $\alpha \rightarrow$  ακέραιος τότε η συνάρτηση της αθροιστικής κατανομής γίνεται:

$$F(t) = \int \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\lambda t} dt$$

Το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης δίνει:

$$F(t) = \sum_a^{\infty} \frac{\lambda t^k}{K!} e^{-\lambda t}$$

Επομένως, η συνάρτηση αξιοπιστίας θα δίνεται από τη σχέση:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

ή

$$R(t) = 1 - \sum_a^{\infty} \frac{\lambda t^k}{K!} e^{-\lambda t}$$

Όσον αφορά στον ειδικό ρυθμό εμφάνισης των βλαβών, αυτός θα ισούται με:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

με τις συναρτήσεις  $f(t)$  και  $R(t)$  να αντικαθίστανται σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις.

#### 2.4.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Η κατανομή Weibull αποτελεί τη βέλτιστη λύση για τη μελέτη της αξιοπιστίας πολύπλοκων τεχνολογικών συστημάτων τα οποία αποτελούνται από πλήθος δομικών συνιστωσών και στηρίζει τη χρησιμότητά της στην παρατήρηση ότι όμοια εξαρτήματα μπορούν να αστοχήσουν σε διαφορετικούς, απροσδιόριστους, χρόνους εφόσον λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, σύμφωνα με το περιεχόμενο της κατανομής Weibull για την ανάλυση της αξιοπιστίας εξαρτημάτων, η διάρκεια ζωής ενός στοιχείου ή ενός εξαρτήματος μετρούμενη με βάση κάποια χρονική αφετηρία αναφοράς, αποτελεί στοχαστική μεταβλητή  $t$  η οποία ακολουθεί τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull η οποία είναι:

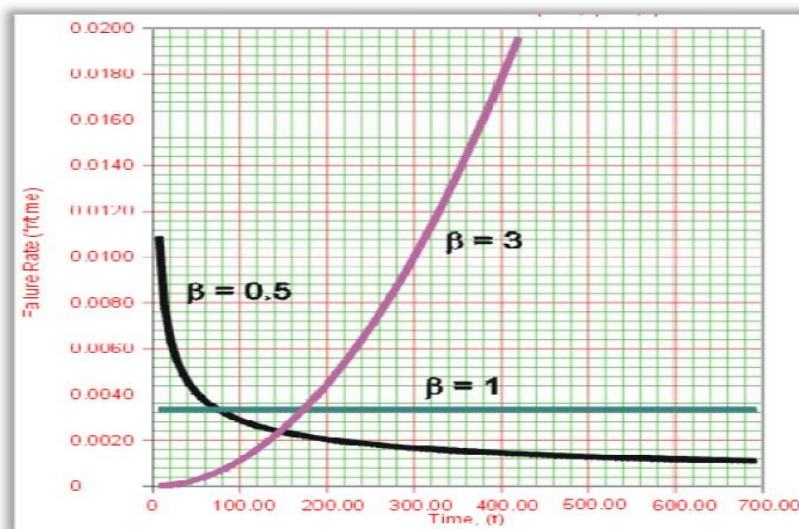
$$f(t) = \frac{\beta}{n} \left(\frac{t - \gamma}{n}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^\beta}$$

Στην παραπάνω σχέση, η παράμετρος  $\beta$  σχετίζεται με το σχήμα του προς μελέτη εξαρτήματος, με τον τρόπο επίδρασής της στα αποτελέσματα της κατανομής Weibull για σταθερές τιμές των υπολοίπων παραμέτρων, να απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



**Σχήμα 2.8** Επίδραση της παραμέτρου  $\beta$  στα αποτελέσματα της κατανομής Weibull [1].

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, η παράμετρος  $\beta$  επηρεάζει άμεσα και το ρυθμό βλάβης του εξαρτήματος, με την επίδραση αυτή για επίσης σταθερές τιμές των υπολοίπων παραμέτρων, να απεικονίζεται ακολούθως:

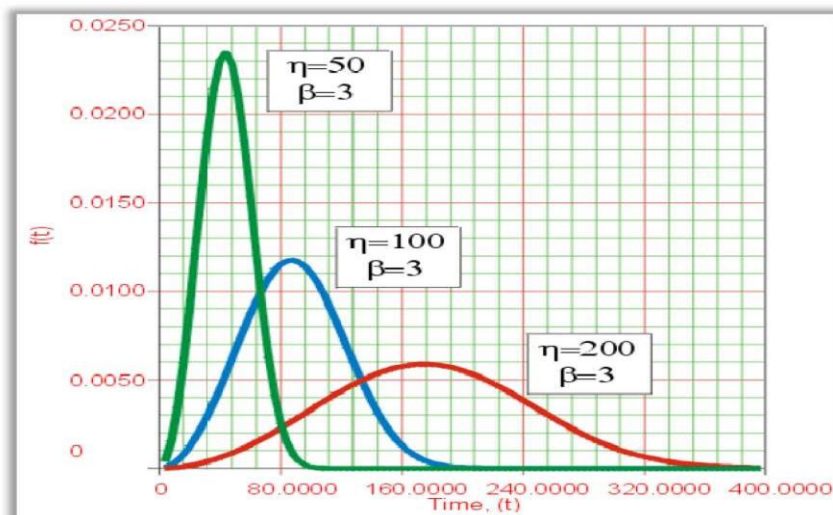


**Σχήμα 2.9** Επίδραση της παραμέτρου  $\beta$  στο ρυθμό βλάβης του εξαρτήματος Weibull [1].

Οι μορφές των καμπυλών της κατανομής Weibull που προκύπτουν για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου  $\beta$  αποτυπώνουν:

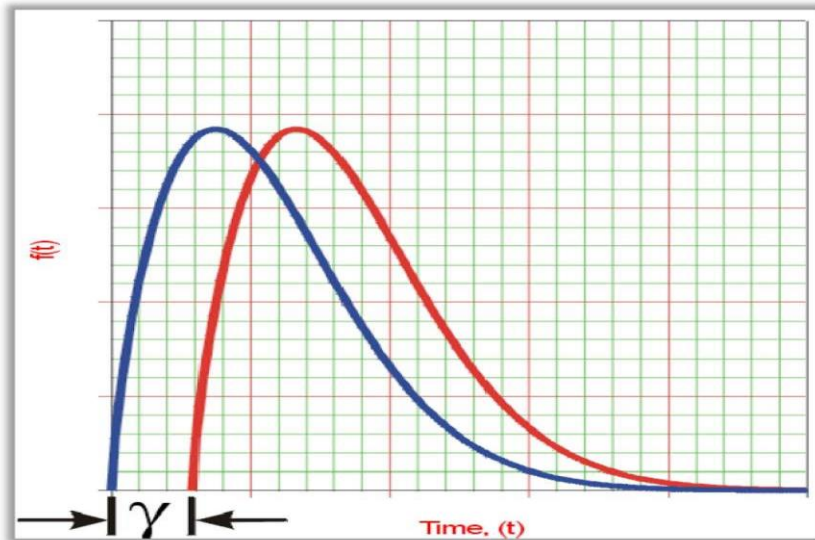
- Για  $\beta < 1$ : Την περίοδο αρχικών βλαβών με μειούμενο ρυθμό βλάβης.
- Για  $\beta = 1$ : Την περίοδο κανονικής ζωής με σταθερό ρυθμό βλάβης.
- Για  $\beta > 1$ : Την περίοδο φθοράς με αυξανόμενο ρυθμό βλάβης.

Όσον αφορά στην παράμετρο  $n$  η οποία απαντάται στη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull, αυτή αποτελεί μια παράμετρο κλίμακας η οποία για σταθερή τιμή της μεταβλητής  $\beta$  επιδρά στα αποτελέσματα της κατανομής Weibull σύμφωνα με το ακόλουθο διάγραμμα:



**Σχήμα 2.10** Επίδραση της παραμέτρου  $n$  στα αποτελέσματα της κατανομής Weibull [1].

Τέλος, σε σχέση με την παράμετρο  $\gamma$  η οποία επίσης απαντάται στη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull, αυτή αποτελεί μια παράμετρο θέσης η οποία επιδρά στα αποτελέσματα της κατανομής Weibull ως ακολούθως:



**Σχήμα 2.11** Επίδραση της παραμέτρου  $\gamma$  στα αποτελέσματα της κατανομής Weibull [1].

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις μελετών αξιοπιστίας εξαρτημάτων με τη χρήση της κατανομής Weibull η παράμετρος  $\gamma$  λαμβάνει την τιμή 0. Τότε, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας λαμβάνει τη μορφή:

$$f(t) = \frac{\beta}{n} \left(\frac{t}{n}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{n}\right)^\beta}$$

Όσον αφορά στη συνάρτηση αξιοπιστίας, αυτή θα δίνεται πλέον από την ακόλουθη σχέση:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{n}\right)^\beta}$$

Τέλος, ο ρυθμός βλαβών θα προσδιορίζεται μέσω της εξίσωσης:

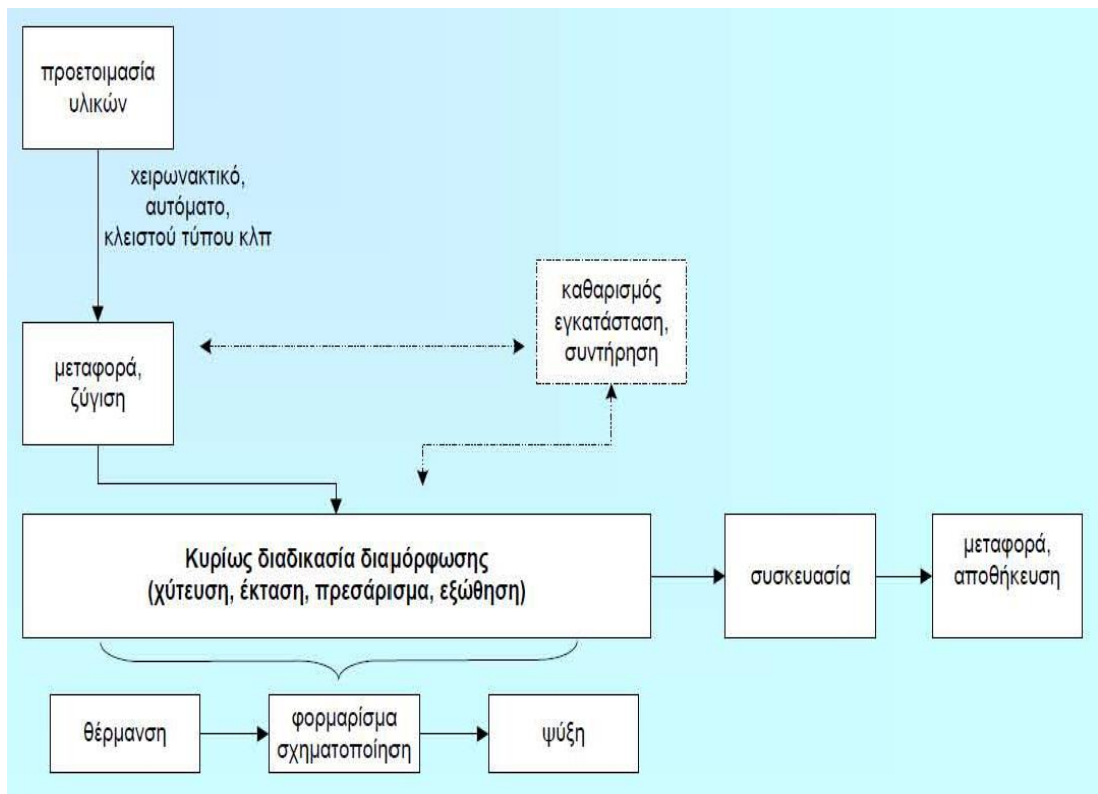
$$h(t) = \frac{\beta}{n} \left(\frac{t}{n}\right)^{\beta-1}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

### 3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Σε μία βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, η συντήρηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού παίζει καθοριστικό ρόλο καθώς αυτός αποτελεί και την καρδιά του εργοστασίου. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η συντήρηση του εξοπλισμού, κρίνεται απαραίτητο πρώτα να προβούμε στην επιλογή του εξοπλισμού που απαιτεί συντήρηση, έπειτα στην ομαδοποίηση αυτού βάσει των αναγκών και το μέγεθος του, έπειτα στην σχεδίαση και προγραμματισμού του πλάνου συντήρησης, συναρτήσει του τμήματος παραγωγής και τέλος στην δρομολόγηση των διαδικασιών συντήρησης.

Η βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, αξιοποιεί τον υπάρχον εξοπλισμό της με σκοπό την παραγωγή των αντικειμένων, βάσει της αλγοριθμικής διαδικασίας που απαιτείται για την παραγωγή των αντικειμένων. Επομένως όλος ο εξοπλισμός της βιομηχανίας, λαμβάνει χώρα σε ένα ή περισσότερα στάδια, αυτής της αλγοριθμικής διαδικασίας. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την λήψη της πρώτης ύλης πλαστικού, την διαμόρφωση αυτής στο επιθυμητό αντικείμενο με αξιοποίηση των εξειδικευμένων μηχανών παραγωγής, τη δημιουργία του προϊόντος και τέλος την αποθήκευση του. Το τυπικό διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραγωγής πλαστικών αντικειμένων από το στάδιο της προετοιμασίας των υλικών έως την τελική συσκευασία και αποθήκευση απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα:



**Σχήμα 3.1** Τυπικό διάγραμμα ροής της διαδικασίας παραγωγής πλαστικών αντικειμένων από το στάδιο της προετοιμασίας των υλικών έως την τελική συσκευασία και αποθήκευση [11].

Εν γένει, σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, ο κύκλος δημιουργίας του προϊόντος ακολουθεί συνοπτικά τα επόμενα βήματα [11]:

- Τροφοδότηση της μηχανής παραγωγής πλαστικών με την πρώτη ύλη.
- Τήξη της πρώτης ύλης στον φούρνο της μηχανής.
- Έγχυση υπό πίεση της τηγμένης πρώτης ύλης στην μήτρα διαμόρφωσης.
- Πλήρωση της μήτρας με πρώτη ύλη και διαμόρφωση αντικειμένου.
- Ψύξη του προκύπτοντος αντικειμένου εντός της μήτρας.
- Εξαγωγή αντικειμένου από τη μήτρα.
- Εκκίνηση νέου κύκλου παραγωγής.

Όσον αφορά στο βασικό τεχνολογικό εξοπλισμό που απαντάται σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, αυτός περιλαμβάνει [11]:

Τις μηχανές παραγωγής:

Σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων συνήθως χρησιμοποιούνται οι κύριοι τύποι μηχανών παραγωγής:

- Injection Molding
- Blow Molding
- Extrusion Molding
- Stretch Molding
- Reaction Molding
- Liquid Molding
- Structural Molding
- Sandwich Molding
- Thermoforming – Vacuum Forming

Οι αρχές λειτουργίας όλων των παραπάνω μηχανών παραγωγής είναι σχετικά οι ίδιες με μικρές διαφοροποιήσεις ως προς τον τρόπο διαμόρφωσης τα παραχθέντος αντικειμένου. Επομένως, οι προδιαγραφές και τα πλάνα συντήρησης που καλούμαστε να εφαρμόσουμε σε μία βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, εφαρμόζονται με τον ίδιο τρόπο για κάθε τύπο μηχανής από τους παραπάνω.



### Το βαρέλι ανάδευσης:

Βασικός σκοπός του βαρελιού ανάδευσης, είναι μέσω της περιστροφικής κίνησης η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός τυπικού περιστροφικού κινητήρα, να προκαλέσει την ανάμιξη της πρώτης ύλης και της ύλης χρωματισμού στο εσωτερικό του.

### Το ψυκτικό μέσο:

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, χρησιμοποιείται τυπικό βιομηχανικό ψυκτικό το οποίο προκαλεί την ψύξη του παραγόμενου αντικειμένου εντός της μήτρας μέσω της διαδικασίας της υδρόψυξης με τη βοήθεια σωληνώσεων μεταφοράς.

### Τον αφυγραντήρα:

Ο αφυγραντήρας ουσιαστικά αποτελεί ένα φούρνο υψηλής θερμοκρασίας, εντός του οποίου προθεμαίνεται η πρώτη ύλη πριν διοχετευθεί και εισαχθεί στη μηχανή παραγωγής, με σκοπό την αφαίρεση της υγρασίας από αυτή.

### Τον μύλο κοπής:

Σκοπός του μύλου κοπής, είναι ο τεμαχισμός των ελαττωματικών προϊόντων και η εξαγωγή αυτών σε μορφή powder / pellets προκειμένου να χρησιμοποιηθούν εκ νέου ως πρώτη ύλη.

#### Το σιλό αποθήκευσης:

Το σιλό αποθήκευσης αποτελεί ουσιαστικά τον αποθηκευτικό χώρο της πρώτης ύλης σε μορφή powder ή pellets.

#### Τους vacuum loaders:

Σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, η μεταφορά της πρώτης ύλης λαμβάνει χώρα μέσω διατάξεων vacuum loaders και των αντίστοιχων σωληνώσεων μεταφοράς, όπου μέσω της τεχνικής αναρρόφησης με τη χρήση υπο-πίεσης, η πρώτη ύλη αποστέλλεται στην επιθυμητή σωλήνωση μεταφοράς.

#### Τους θαλάμους εισαγωγής πρώτης ύλης:

Οι θάλαμοι εισαγωγής πρώτης ύλης εδράζονται στις εισόδους των μηχανών παραγωγής και αποσκοπούν στην εισαγωγή της πρώτης ύλης σε αυτές.

#### Διαχωριστές μετάλλων:

Οι διαχωριστές μετάλλων βρίσκονται εντός των θαλάμων εισαγωγής της πρώτης ύλης και αποσκοπούν στην απομάκρυνση μεταλλικών προσμίξεων από την πρώτη ύλη πριν αυτή εισαχθεί στην κυρίως παραγωγική διαδικασία η οποία θα οδηγήσει στο τελικό προϊόν.

### Γραμμή συσκευασίας προϊόντων:

Αποτελεί το τμήμα της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα μετά το πέρας της κύριας διαδικασίας παραγωγής του προϊόντος και στο οποίο λαμβάνει χώρα η συσκευασία αυτού προκειμένου να είναι έτοιμο προς διανομή στην αγορά. Κατά τη διαδικασία αυτή, συνήθως *Pick-n'-Place SCARA Robots* συσκευάζουν μαζικά τα παραχθέντα προϊόντα.

### Συστήματα υποστήριξης και ελέγχου:

Είναι προφανές, ότι για την υποστήριξη της παραγωγικής διαδικασίας σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών, η χρήση ηλεκτρολογικών πινάκων αυτοματισμού και ισχύος καθώς και υδραυλικών και πνευματικών κυκλωμάτων αποτελεί παράμετρο αυξημένης σημασίας για την αποδοτικότητα και την ασφάλεια των διαδικασιών.

Έτσι, αναφορικά με τις μηχανές παραγωγής και τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό που απαιτεί συντήρηση, στην περίπτωση μελέτης που εξετάζουμε, συναντάμε τον παρακάτω εξοπλισμό με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά και ανάγκες συντήρησης, ο οποίος περιλαμβάνει τόσο τις μηχανές παραγωγής, οι οποίες αποτελούν τον κορμό της παραγωγικής διαδικασίας, όσο και τα μηχανήματα υποστήριξης της παραγωγικής διαδικασίας.

A/A	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ Α	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ Β
1	Μηχανή Παραγωγής Injection Molding IMM01	Μεσαίο	Μηνιαία	Εξαμηνιαία
2	Μηχανή Παραγωγής Injection Molding IMM02	Μεγάλο	Μηνιαία	Εξαμηνιαία
3	Μηχανή Παραγωγής Injection Molding IMM03	Μεσαίο	Τριμηνιαία	Εξαμηνιαία
4	Μηχανή Παραγωγής Injection Molding IMM04	Μεγάλο	Τετραμηνιαία	Εξαμηνιαία
5	Μηχανή Παραγωγής Injection Blow IBM01	Μεσαίο	Τριμηνιαία	Εξαμηνιαία
6	Μηχανή Παραγωγής Injection Blow IBM02	Μεγάλο	Τετραμηνιαία	Εξαμηνιαία
7	Μηχανή Παραγωγής Injection Forming IFM01	Μεσαίο	Μηνιαία	Εξαμηνιαία
8	Μηχανή Παραγωγής Injection Forming IFM02	Μεγάλο	Μηνιαία	Εξαμηνιαία
9	Μηχανή Παραγωγής Injection Forming IFM03	Μεγάλο	Τριμηνιαία	Εξαμηνιαία
10	Μηχανή Παραγωγής Injection Extrusion IEM01	Μεσαίο	Μηνιαία	Εξαμηνιαία
11	Μηχανή Παραγωγής Injection Extrusion IEM02	Μεγάλο	Μηνιαία	Εξαμηνιαία
12	Μηχανή Παραγωγής Injection Extrusion IEM03	Μεσαίο	Τετραμηνιαία	Εξαμηνιαία
13	Μηχανή Παραγωγής Injection Extrusion IEM04	Μεγάλο	Τετραμηνιαία	Εξαμηνιαία
14	Ψυκτική Μονάδα CM01	Μεγάλο	Τετραμηνιαία	Εξαμηνιαία
15	Ψυκτική Μονάδα CM02	Μεγάλο	Τετραμηνιαία	Εξαμηνιαία
16	Ψυκτική Μονάδα CM03	Μεγάλο	Τριμηνιαία	Εξαμηνιαία
17	Μύλος Κοπής CM01	Μεσαίο	Τετραμηνιαία	Ετήσια
18	Μύλος Κοπής CM02	Μεσαίο	Τετραμηνιαία	Ετήσια
19	Μύλος Κοπής CM03	Μεσαίο	Τετραμηνιαία	Ετήσια
20	Βαρέλια Ανάδευσης MB01	Μεγάλο	Τριμηνιαία	Ετήσια
21	Βαρέλια Ανάδευσης MB02	Μεσαίο	Τετραμηνιαία	Ετήσια
22	Φούρνος Αφύγρανσης DM01	Μεσαίο	Τετραμηνιαία	-
23	Φούρνος Αφύγρανσης DM02	Μεσαίο	Τετραμηνιαία	-

**Πίνακας 3.1** Μηχανολογικός εξοπλισμός της βιομηχανίας που εξετάζεται

## 3.2 Η ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

### 3.2.1 Η ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Κατά το στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, μόλις κάποιος εξοπλισμός τεθεί εκτός λειτουργίας λόγω αιφνίδιας βλάβης, τότε ξεκινάει άμεσα και η διαδικασία επιδιόρθωσης, γνωστή και ως *trouble call*. Αυτή περιλαμβάνει:

α) Την ενημέρωση του εκάστοτε υπεύθυνου τεχνικού βάρδιας σχετικά με την φύση της βλάβης, τον τρόπο πρόκλησης, την ακριβή ώρα πρόκλησης, τα στοιχεία του αιτούντα και το αναγνωριστικό της μηχανής παραγωγής.

β) Την συμπλήρωση του δελτίου βλαβών από τον τεχνικό βάρδιας και την ενημέρωση του τεχνικού διευθυντή.

γ) Την έγκριση του τεχνικού διευθυντή για την εντολή ελέγχου και την αποστολή του δελτίου εντολής ελέγχου στο τμήμα συντήρησης για τον άμεσο έλεγχο και επισκευή της μηχανής.

δ) Το τμήμα συντήρησης, ξεκινάει τις διαδικασίες ελέγχου για την ανίχνευση της βλάβης, και μόλις αυτή ανιχνευθεί ενημερώνεται ο τεχνικός βάρδιας και εν συνεχεία ο τεχνικός διευθυντής για το είδος της βλάβης, τον εξοπλισμό που θα απαιτηθεί προς αντικατάσταση και τις εκτιμώμενες εργατοώρες.

ε) Ο τεχνικός διευθυντής εκδίδει την έγκριση, προμήθειας εξοπλισμού (εφόσον δεν είναι διαθέσιμος) και παράλληλα εκδίδει την εντολή αποκατάστασης του μηχανήματος, μόλις ο νέος εξοπλισμός είναι διαθέσιμος.

στ) Το τμήμα συντήρησης, εφόσον πραγματοποιήσει την επισκευή της μηχανής παραγωγής, συμπληρώνει το βιβλίο ιστορικού επισκευής του μηχανήματος.

Για την επιτάχυνση των ανωτέρω διαδικασιών, το τμήμα συντήρησης του εργοστασίου έχει καταρτίσει φάκελο τεκμηρίωσης ανά μηχανήμα στον οποίο βρίσκονται:

α) Τα εγχειρίδια λειτουργίας. Τα ηλεκτρολογικά σχέδια και τα datasheets του μηχανήματος.

β) Η λίστα των ανταλλακτικών του με τον πλήρη τύπο τους και τα στοιχεία του τοπικού προμηθευτή.

γ) Το βιβλίο ιστορικού επισκευής του μηχανήματος.

Σε πολλές περιπτώσεις, ανάλογα το είδος του μηχανήματος ή του εξοπλισμού που έχει παρουσιάσει προβληματική λειτουργία, οι εργασίες ελέγχου και επισκευής της διορθωτικής συντήρησης, δεν εκτελούνται απευθείας από το τμήμα συντήρησης, άλλα από κάποιο εξειδικευμένο συνεργείο εξωτερικού συνεργάτη, όπου έχει συναφθεί και η αντίστοιχη συμφωνία είτε στο πλαίσιο κάποιας εξάμηνης ή ετήσιας σύμβασης παροχής υπηρεσιών, είτε με άμεση αποστολή αιτήματος και εξυπηρέτηση βάσει διαθεσιμότητας του συνεργάτη.

### ΕΝΤΥΠΟ ΒΛΑΒΗΣ (TROUBLE CALL) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΛΑΒΗΣ

ΕΓΙΝΕ	ΑΚΥΡΟ	<b>ΩΡΕΣ ΤΕΧΝΙΤΩΝ</b>			
		ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΜΗΤΡΩΟ	ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ	ΧΡΟΝΟΣ
ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ					
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΙΤΙΑΣ					
<b>ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΑ- PARTS USED</b>					
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ - P/N			ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ - DESCRIPTION		
ΥΠΟΓΡΑΦΗ		ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		DOWN ΤΙΜΕΜΗΧΑΝΗΣ	
		Ι.Βώσσης			

Σχήμα 3.2 Το έντυπο καταγραφής βλάβης της διαδικασίας *trouble call* [13].

### ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Α' ΤΡΙΜΗΝΟ

ΑΠΟ : 1/1/		ΕΩΣ : 31/3/		<b>ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ : 14</b>																	
Α/Α	Αριθμ.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Συν. Πρ. Περίοδου	ΩΡΕΣ ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ / ΩΡΕΣ - Εβδομάδα Έτους														ΩΡΕΣ Ε.Ε. ΠΕΡΙΟΔ.	% Ε.Ε. ΠΕΡΙΟΔ.	ΣΥΝΟΛ. ΩΡ. Ε.Ε. ΕΤΟΥΣ	ΜΕΣ.ΟΡ Ε.Ε. % ΕΤΟΥΣ
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
1																	0	0,00%	0	0,00%	
2																	0	0,00%	0	0,00%	
3																	0	0,00%	0	0,00%	
4																	0	0,00%	0	0,00%	
5																	0	0,00%	0	0,00%	
6																	0	0,00%	0	0,00%	
7																	0	0,00%	0	0,00%	
8																	0	0,00%	0	0,00%	
9																	0	0,00%	0	0,00%	
10																	0	0,00%	0	0,00%	
11																	0	0,00%	0	0,00%	
12																	0	0,00%	0	0,00%	
13																	0	0,00%	0	0,00%	
14																	0	0,00%	0	0,00%	
15																	0	0,00%	0	0,00%	
16																	0	0,00%	0	0,00%	
17																	0	0,00%	0	0,00%	
18																	0	0,00%	0	0,00%	
<b>ΓΕΝ. ΣΥΝΟΛΟ ΩΡΩΝ Ε.Ε. ΠΕΡΙΟΔΟΥ</b>				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>

Σχήμα 3.3 Έντυπο τριμηνιαίας ποσοτικής καταγραφής χρόνου όπου οι μηχανές παραγωγής έμειναν εκτός λειτουργίας λόγω συντήρησης [13].

### 3.2.2 Η ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Σε μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, είναι λιγότερο κοστοβόρο να συντηρηθεί προληπτικά ο τεχνολογικός εξοπλισμός ακόμα και αν κάποια εξαρτήματα μπορεί να αντικατασταθούν πριν εξαντληθούν τα θεωρητικά όρια της αξιόπιστης και απρόσκοπτης λειτουργίας τους, παρά να προκληθεί βλάβη σε κάποιο από τα δομικά εξαρτήματα αυτού, με αποτέλεσμα να λάβει χώρα διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας. Αποτελεί άλλωστε αποδεδειγμένο γεγονός για τις βιομηχανίες πλαστικών, ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η αξία της ποσότητας παραγωγής προϊόντος που χάνεται από μια διακοπή λόγω βλάβης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τα τυχόν επιπρόσθετα κόστη που μπορεί να προκληθούν από την υιοθέτηση μιας διαδικασίας προληπτικής συντήρησης.

Η διαδικασία σχεδίασης του ετήσιου πλάνου προληπτικής συντήρησης του εξοπλισμού, δύναται να πραγματοποιηθεί εφόσον γνωρίζουμε τον εξοπλισμό που απαιτείται να συντηρηθεί, την συχνότητα των συντηρήσεων που πρέπει να λάβει, και τους πόρους που θα απαιτηθούν γι' αυτό.

Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να προχωρήσουμε στις παρακάτω απαιτούμενες ενέργειες, οι οποίες θα μας βοηθήσουν στην κατάρτιση του ετήσιου πλάνου συντήρησης του εξοπλισμού.

α) Ομαδοποίηση του εξοπλισμού που χρειάζεται να συντηρηθεί ως προς το είδος του (φασεολόγιο).

β) Ανάλυση του εξοπλισμού ανά μηχανήμα που απαιτεί συντήρηση, και προσδιορισμός της συχνότητας απαιτούμενης συντήρησης ανά εξοπλισμό ή εξάρτημα.



γ) Συνεργασία με το τμήμα παραγωγής για την επιλογή της κατάλληλης περιόδου εφαρμογής των ενεργειών συντήρησης και κατάρτιση του χρονοδιαγράμματος.

δ) Έγκριση και έκδοση των εντολών συντήρησης του εξοπλισμού.

ε) Οργάνωση της ομάδας συντήρησης και του απαιτούμενου εξοπλισμού.

Επομένως, έχοντας προσδιορίσει τις όποιες απαιτήσεις και έχοντας ολοκληρώσει τις παραπάνω ενέργειες, μπορούμε να προχωρήσουμε στην οργάνωση του ετήσιου πλάνου συντήρησης.

Τα εξαρτήματα και τα μέρη που καλούμαστε να συντηρήσουμε στα μηχανήματα μιας βιομηχανίας παραγωγής πλαστικών αντικειμένων είναι:

α) Συμπλήρωση λαδιών σε αντλίες, δεξαμενές και λιπαντήρες.

β) Γρασαρίσματα κινητών μερών.

γ) Ηλεκτρονόμοι, μετασχηματιστές, καλωδιώσεις και λοιπού ηλ. υλικού.

δ) Κινητήρες και αντλίες.

ε) Μπουτόν, διακοπών, τερματικών, αισθητηρίων και PLC.

στ) Ηλεκτροβάλβιδες, υδραυλικό κύκλωμα, σωληνώσεις.

ζ) Λεπίδες κοπής, αντιστάσεις, μονώσεις επαφών.

η) Σύσφιξη βιδών – παξιμαδιών.

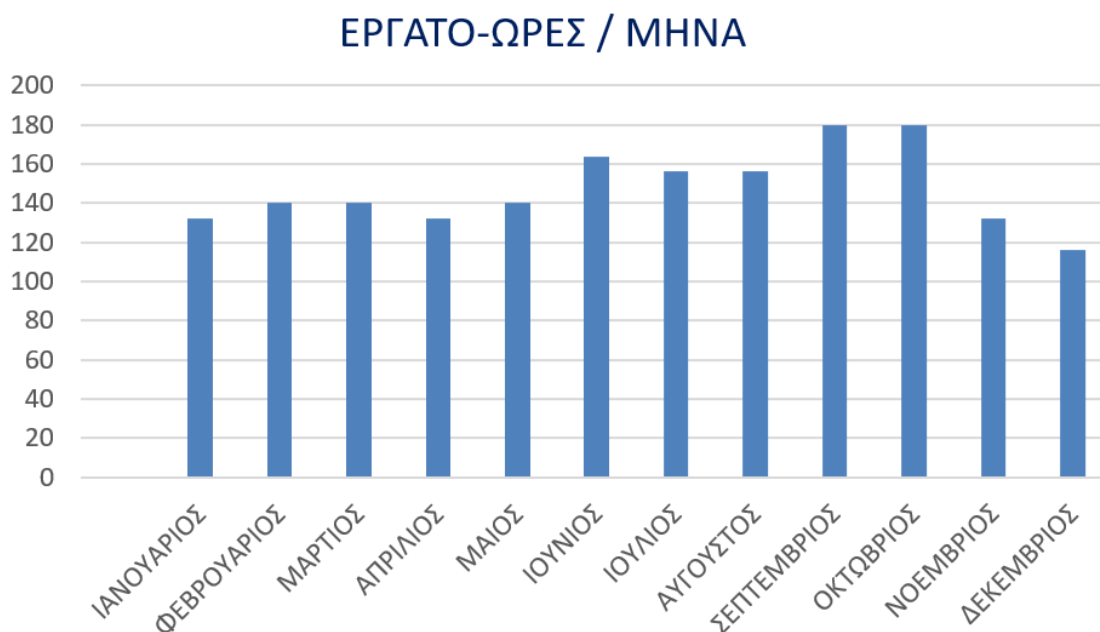
θ) Ρύθμιση - καλιμπράρισμα διατάξεων μετρήσεων και απεικόνισης.

Στην επόμενη σελίδα διακρίνεται το ετήσιο πλάνο προληπτικής συντήρησης, για κάθε μηχανή παραγωγής και κάθε μηχανήμα υποστήριξης.

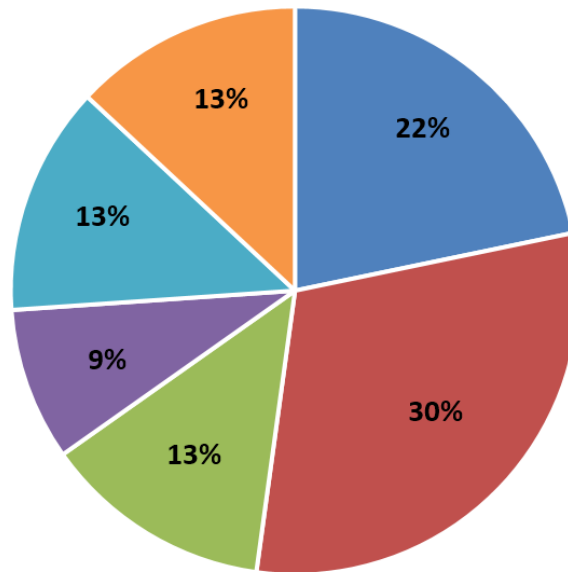


Όπως διακρίνουμε από το παραπάνω πλάνο, στον ετήσιο προγραμματισμό και προϋπολογισμό του εργοστασίου, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και 1.768 εργατοώρες για την εκτέλεση όλων των απαιτούμενων ενεργειών και διαδικασιών προληπτικής συντήρησης των μηχανών παραγωγής και του βοηθητικού εξοπλισμού.

Επομένως, με εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου μπορούμε να έχουμε μία σαφή εικόνα σχετικά με τις απαιτήσεις πόρων του εκάστοτε εξοπλισμού ώστε να γίνει εφικτή η συντήρηση του. Ακόμα, μας δίνεται και η δυνατότητα να προβούμε σε ποσοτική ανάλυση των παραπάνω δεδομένων και να καταλήξουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα, όπως για παράδειγμα την μηνιαία απαίτηση εργατοωρών για τη συντήρηση του υπάρχοντος εξοπλισμού ή η ποσοστιαία απαίτηση πόρων συντήρησης ανά ομάδα εξοπλισμού.



**Σχήμα 3.4** Η μηνιαία απαίτηση σε εργατοώρες για την συντήρηση του εξοπλισμού του εργοστασίου.



- ΤΕΤΡΑΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
- ΤΕΤΡΑΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΣΑΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
- ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
- ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΣΑΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
- ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ
- ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΣΑΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ

**Σχήμα 3.5** Η ποσοστιαία ετήσια απαίτηση πόρων συντήρησης, ανά κατηγορία εξοπλισμού και συντήρησης.

Συνεπώς, με την σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός καλά μελετημένου πλάνου συντήρησης εξοπλισμού, αποφεύγεται κατά το μέγιστο δυνατό η αστοχία του εξοπλισμού και παράλληλα έχουμε στα χέρια μας πολύτιμα εργαλεία με τα οποία μπορούμε να προχωρήσουμε βέλτιστη κατανομή αξιοποίησης πόρων, χρονοπρογραμματισμού εργασιών και μελέτης στατιστικών στοιχείων, εργαλεία που αδιαμφισβήτητα δίνουν μία ισχυρή ώθηση στη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα της βιομηχανίας.

### **3.2.3 Η ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

Μία πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση στην συντήρηση του εξοπλισμού σε μία βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, αποτελεί και η προβλεπτική συντήρηση, κατά την οποία μέσα από συνεχείς και προγραμματιζόμενες επιθεωρήσεις της κατάστασης του εξοπλισμού, και συναρτήσει των αποδεκτών ορίων λειτουργίας αυτού, ο εξοπλισμός συντηρείται απροβλημάτιστα.

Για την εφαρμογή της προβλεπτικής συντήρησης του εξοπλισμού μίας βιομηχανίας παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, αξιοποιούνται πολλές σύγχρονες τεχνικές οι οποίες μας δίνουν σαφή εικόνα της κατάστασης του εξοπλισμού, που σε άλλη περίπτωση δεν θα ήταν δυνατό να έχουμε την εικόνα της κατάστασης αυτού.

Επομένως, αφού ομαδοποιήσουμε τον εξοπλισμό και τα μηχανήματα που υφίστανται στην βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, ως προς τις ηλεκτρομηχανολογικές τους διατάξεις, μπορούμε να εφαρμόσουμε και τις πλέον σύγχρονες και ενδεδειγμένες μεθόδους προβλεπτικής συντήρησης.

#### **Συντήρηση σωληνώσεων, διατάξεων μεταφοράς και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού**

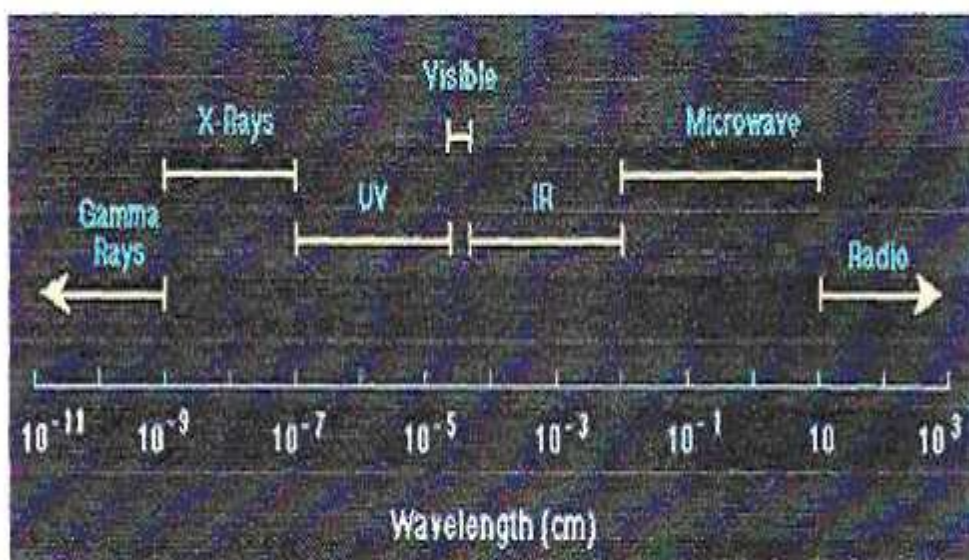
Για τη συντήρηση των σωληνώσεων, των διατάξεων μεταφοράς αλλά και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού προτείνεται η μέθοδος της προβλεπτικής συντήρησης η οποία στηρίζεται στη μέθοδο της θερμογράφησης.

Η συγκεκριμένη μέθοδος, μέσω της χρήσης ειδικού εξοπλισμού, αποσκοπεί στην παρακολούθηση της εκπομπής υπέρυθρης ενέργειας (συνήθως

μέσω της θερμοκρασίας) προκειμένου να αξιολογήσει την κατάσταση λειτουργίας του εξαρτήματος. Η ανακάλυψη θερμικών ανωμαλιών, όπως για παράδειγμα η ύπαρξη περιοχών που εμφανίζουν υψηλότερες ή χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις αναμενόμενες, αποτελεί απόδειξη για την ύπαρξη πιθανών προβλημάτων και αστοχιών του τεχνολογικού εξοπλισμού στις συγκεκριμένες περιοχές.

Εν γένει, η τεχνική της θερμογράφησης βασίζεται στο γεγονός ότι όλα τα αντικείμενα σε θερμοκρασίες πάνω από το απόλυτο μηδέν εκπέμπουν ποσότητες ενέργειας ή ακτινοβολίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος, μετρά την ένταση της εκπεμπόμενης από το αντικείμενο υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία αποτελεί συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του αντικειμένου [6].

Οι τύποι ακτινοβολίας καθώς και οι τρόποι που αυτοί μπορούν να ανιχνευθούν για τα διάφορα μήκη κύματος, απεικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



**Σχήμα 3.6** Τύποι ακτινοβολίας και τρόποι που αυτοί μπορούν να ανιχνευθούν για τα διάφορα μήκη κύματος [6].

Για την ορθή εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι δράσεις που αλλοιώνουν την κατάσταση της επιφάνειας του αντικειμένου, όπως βαφές και προστατευτικές επικαλύψεις, μπορεί να επηρεάσουν άμεσα τον πραγματικό συντελεστή εκπομπής ακτινοβολίας του εξοπλισμού. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ατμόσφαιρα του περιβάλλοντος εντός του οποίου λαμβάνει χώρα η διαδικασία της θερμογράφησης μιας και η συνεχής μεταβολή αυτού, για παράδειγμα με την εισροή σκόνης ανά διαστήματα, μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις σε σχέση με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Προς αυτή την κατεύθυνση, τα περισσότερα όργανα καταγραφής και μέτρησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας διαθέτουν φίλτρα για την αποφυγή ανεπιθύμητων επιδράσεων εξαιτίας του περιβάλλοντος.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στις σωληνώσεις και στις διατάξεις ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, προτείνεται η χρήση θερμομέτρου υπέρυθρων το οποίο παρέχει τη δυνατότητα για ακριβή και στοχευμένη μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας σε συγκεκριμένα σημεία, τα οποία αποτελούν πιθανές εστίες αστοχίας.



**Σχήμα 3.7** Τυπική απεικόνιση θερμομέτρου υπέρυθρων [6].



Αντίθετα, για την περίπτωση των διατάξεων μεταφοράς ισχύος, προτείνεται η χρήση συστημάτων απεικόνισης καμερών τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα για καταγραφή των υπέρυθρων εκπομπών σε όλη την επιφάνεια σύνδεσης και μεταφοράς σε δισδιάστατη εικόνα με αποτέλεσμα μια πιο εποπτική προσέγγιση.

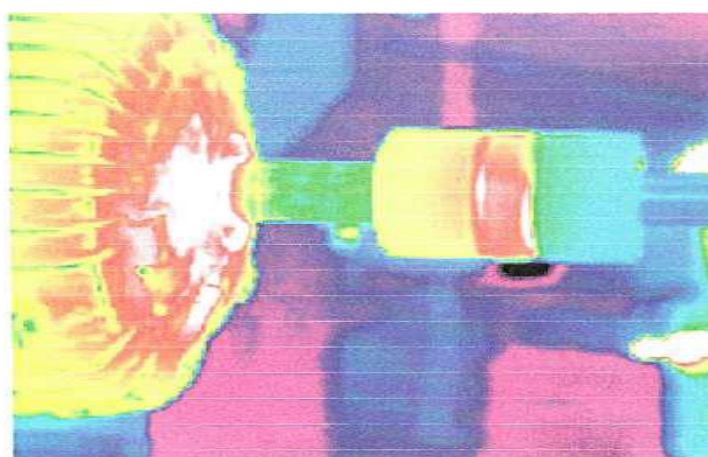


Κάμερα απεικόνισης υπέρυθρων.



Κάμερα απεικόνισης υπέρυθρων.

**Σχήμα 3.8** Τυπικές μορφές καμερών απεικόνισης υπέρυθρων [6].



**Σχήμα 3.9** Δισδιάστατη εικόνα στο σύνδεσμο μεταφοράς ισχύος [6].



## Συντήρηση και εξασφάλιση λειτουργικής επάρκειας μηχανών παραγωγής και βοηθητικών μηχανών

Για την εξασφάλιση της λειτουργικής επάρκειας των μηχανών μέσω διαδικασιών προβλεπτικής συντήρησης σε ένα περιβάλλον βιομηχανίας παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, προτείνεται η υιοθέτηση της μεθόδου παρακολούθησης των κραδασμών.

Είναι γνωστό ότι όλες οι μηχανές κατά τη λειτουργία τους παράγουν κραδασμούς, ενώ μόνο σε μια κατάσταση ιδεατούς λειτουργίας το ποσοστό των κραδασμών μπορεί να είναι μηδενικό ή ελάχιστο ως προς την ανίχνευσή του. Σε καταστάσεις πρακτικής λειτουργίας, οι κραδασμοί αποτελούν ένα υπαρκτό φαινόμενο του οποίου η ένταση αυξάνεται όταν προκύπτουν βλάβες ή όταν εξελίσσονται αστοχίες εντός των πλαισίων του μηχανολογικού εξοπλισμού αναφοράς.

Για την ανίχνευση μεταβολών όσον αφορά στους κραδασμούς ενός μηχανήματος, χρησιμοποιούνται διατάξεις αισθητήρων των οποίων η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μετατροπή του φυσικού μεγέθους μηχανικού τύπου που συνεπάγεται ο κραδασμός σε ένα αντίστοιχο ηλεκτρικό μέγεθος, που μπορεί να είναι ρεύμα ή τάση, το οποίο εν συνεχεία συλλέγεται μέσω κατάλληλης ηλεκτρονικής διάταξης με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία του [15].

Τα βασικά μηχανικά μεγέθη τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση των κραδασμών ενός μηχανολογικού εξοπλισμού αποτελούν:

- Η μετατόπιση.
- Η ταχύτητα, και,
- Η επιτάχυνση.

Τα παραπάνω μεγέθη, σε θεωρητικό επίπεδο, παράγουν στοιχεία όμοιας αξιοπιστίας και δεν μπορούν να διαχωριστούν ως προς την ακρίβεια και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που παράγουν [17].

Στην πράξη, το μέγεθος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την τεχνολογία του αισθητήρα που θα λάβει χώρα στη δράση με σκοπό την αύξηση της ικανότητας μέτρησης αυτού.

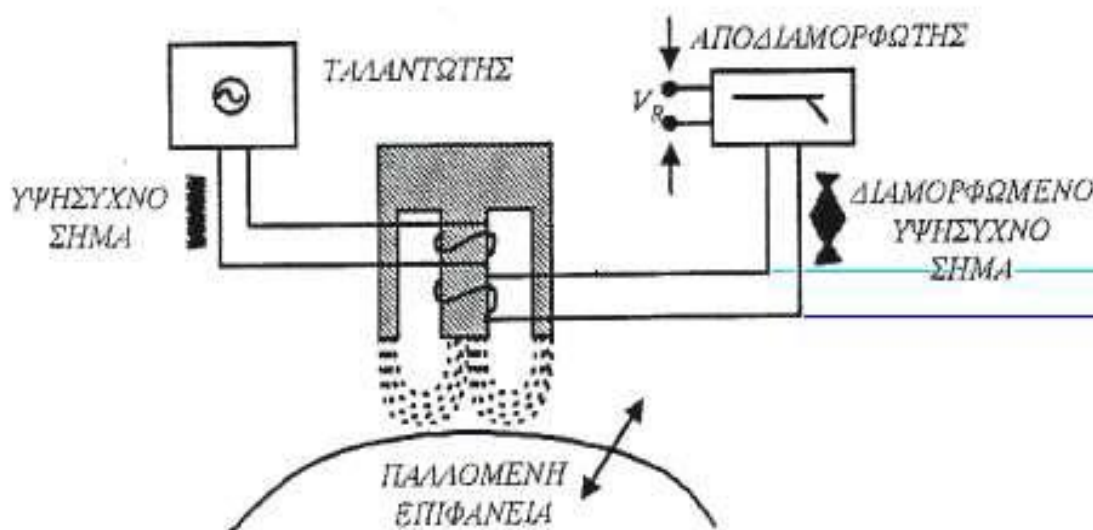
Σήμερα, οι πιο διαδεδομένοι τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση κραδασμών σε μηχανολογικά συστήματα είναι οι επόμενοι [15]:

- Γραμμικοί μετρητές μεταβλητού διαφορικού.
- Αισθητήρες προσέγγισης.
- Αισθητήρες ανίχνευσης ταχύτητας μεταβολής της επαγωγής.
- Επιταχυνσιόμετρα.
- Οπτικοί και ηλεκτρονικοί αισθητήρες.
- Αδρανειακά συστήματα πλοήγησης.

#### Μηχανήματα μικρού μεγέθους:

Σε ένα περιβάλλον βιομηχανίας παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, για τα μηχανήματα μικρού μεγέθους, προτείνεται η χρήση αισθητήρων προσέγγισης κελύφους.

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου τύπου αισθητήρων, ένας ταλαντωτής τροφοδοτεί με υψηύχνο εναλλασσόμενο ρεύμα το πρωτεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή. Η μετατόπιση της μεταλλικής επιφάνειας που προκαλείται εξαιτίας αυτής της δράσης, προκαλεί μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο οι οποίες οδηγούν στη διαμόρφωση της κατάστασης του ρεύματος στο δευτερεύον πηνίο του μετασχηματιστή. Εν συνεχεία, το ρεύμα (σήμα) αυτό διαμορφώνεται εκ νέου με απομάκρυνση της φέρουσας συχνότητας του υψηύχνου σήματος με αποτέλεσμα να μεταπίπτει σε μια κατάσταση όπου αυτό είναι πλέον ανάλογο μόνο της μετατόπισης η οποία και τελικά μετράται.

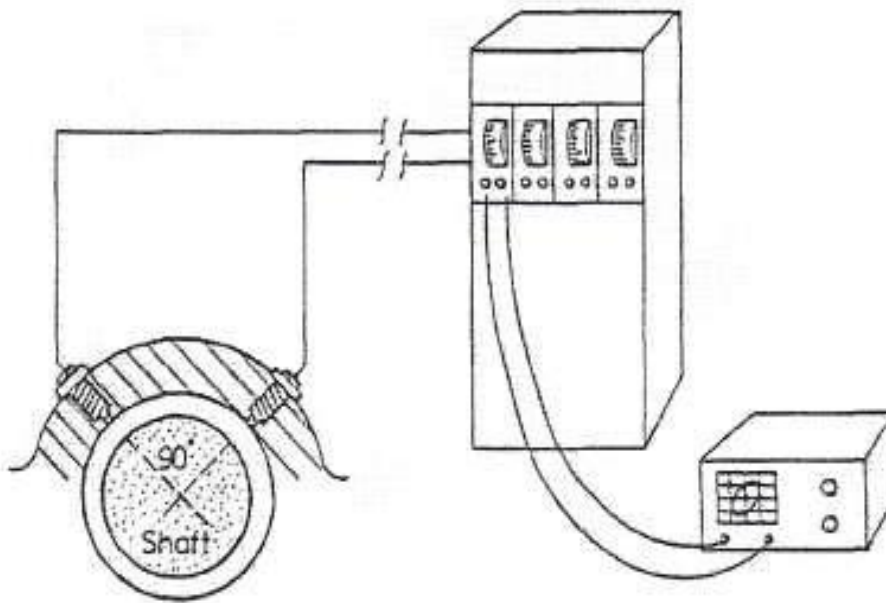


**Σχήμα 3.10** Τυπική μορφή και δομικά στοιχεία αισθητήρα προσέγγισης κελύφους [17].

### Μηχανήματα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους:

Για τη μέτρηση των κραδασμών μηχανημάτων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους εφόσον υπάρχουν σε μια βιομηχανία πλαστικών, προτείνεται η χρήση επίσης αισθητήρων προσέγγισης οι οποίοι όμως θα μετρούν στους κραδασμούς στον άξονα εμφανίζοντας μικρότερους δυναμικούς περιορισμούς σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

Στη βάση της λειτουργίας ενός αισθητήρα προσέγγισης άξονα, ένα ζευγάρι μεταλλικών άκρων το οποίο βρίσκεται συνεχώς συνδεδεμένο με ένα ανιχνευτή κραδασμών ο οποίος βρίσκεται στο θάλαμο ελέγχου της διαδικασίας, ανιχνεύει τη μετατόπιση του άξονα σε σχέση με σταθερό σημείο αναφοράς σύστοιχα με το επόμενο σχήμα.



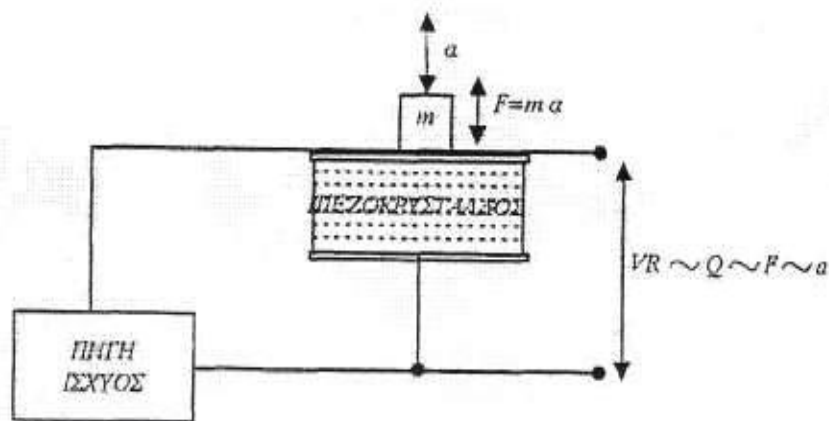
**Σχήμα 3.11** Τυπική μορφή και δομικά στοιχεία αισθητήρα προσέγγισης άξονα

[17].

### Αντλίες:

Για τη μέτρηση των κραδασμών στις αντλίες προτείνεται η χρήση πιεζοηλεκτρικών επιταχυνσιόμετρων τα οποία εμφανίζουν μεγάλες δυναμικές περιοχές σύστοιχα με τις ανάγκες μιας διάταξης αντλίας [15].

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός πιεζοηλεκτρικού επιταχυνσιόμετρου έγκειται στην αποτύπωση που περιλαμβάνεται στο επόμενο σχήμα:



**Σχήμα 3.12** Αρχή λειτουργίας πιεζοηλεκτρικού επιταχυνσιόμετρου [15].

Στο πλαίσιο λειτουργίας του πιεζοηλεκτρικού επιταχυνσιομέτρου, όταν η μάζα  $m$  υπόκειται σε επιταχύνσεις, προκαλεί μια αδρανειακή δύναμη η οποία είναι ανάλογη της επιτάχυνσης. Η δύναμη αυτή με τη σειρά της προκαλεί την καταπόνηση ενός πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, ο οποίος παράγει ένα ηλεκτρικό φορτίο το οποίο είναι ανάλογο της δύναμης αυτής. Εν συνεχεία, μέσω της χρήσης κατάλληλης ηλεκτρονικής διάταξης, λαμβάνει χώρα μετατροπή του φορτίου σε τάση ανάλογη της επιτάχυνσης η οποία και αποτελεί τελικά το μέγεθος αναφοράς του αισθητήρα το οποίο και μετράται.

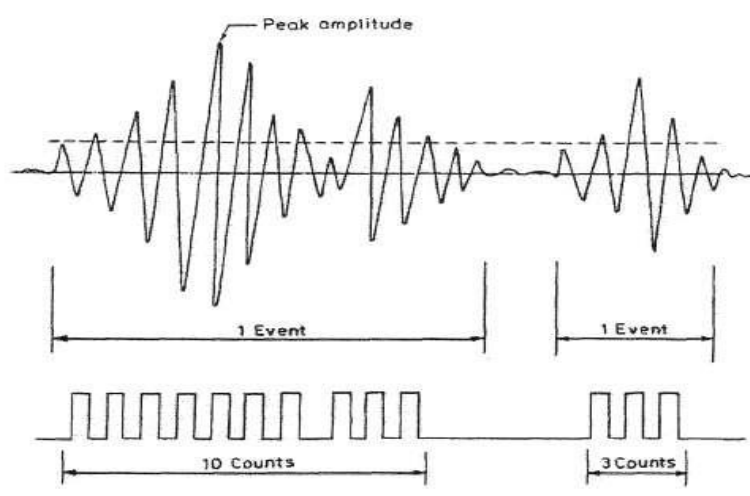
## Συντήρηση και εξασφάλιση έγκαιρης ανίχνευσης ρωγμών

Για την εξασφάλιση της έγκαιρης ανίχνευσης ρωγμών τόσο του μηχανολογικού εξοπλισμού όσο και του εξοπλισμού μεταφοράς υλικών και φορτίων, προτείνεται η μέθοδος της ακουστικής επιθεώρησης.

Το πλεονέκτημα της εν λόγω μεθόδου έναντι της προαναφερθείσας μεθόδου παρακολούθησης των κραδασμών, για την έγκαιρη ανίχνευση ρωγμών, έγκειται στο γεγονός ότι αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό ρωγμών ακόμα και κάτω από την επιφάνεια των υλικών, σε αντίθεση με τη μέθοδο των κραδασμών η οποία επιτρέπει τον εντοπισμό τους μόνο σε επιφανειακό επίπεδο.

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το σήμα των ακουστικών εκπομπών που λαμβάνονται υπόψη κατά την εφαρμογή της μεθόδου εκπέμπεται στο πεδίο των υψηλών συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από εκπομπές και εκλύσεις ενέργειας που προέρχονται από γειτονικά εξαρτήματα.

Εν γένει, το τυπικό σήμα των ακουστικών εκπομπών της μεθόδου απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα:



**Σχήμα 3.13** Τυπικό σήμα ακουστικών εκπομπών της μεθόδου της ακουστικής επιθεώρησης [15].

Η δυνατότητα για εφαρμογή της μεθόδου της ακουστικής επιθεώρησης παρέχεται από το γεγονός ότι στα σημεία εμφάνισης αστοχιών λαμβάνουν χώρα δραστηριότητες απώλειας ενέργειας οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν ηχητικά κύματα ευρείας ζώνης των οποίων οι συνιστώσες που ανήκουν στο εύρος των υψηλών συχνοτήτων είναι εύκολο να εντοπιστούν από τους λεγόμενους αισθητήρες ακουστικών εκπομπών [15].

Ένα τυπικό όργανο μέτρησης ακουστικών εκπομπών περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά δομικά στοιχεία [17]:

- Μετατροπέα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων πιεζοηλεκτρικού τύπου.
- Προενισχυτή σήματος.
- Μονάδα επεξεργασίας σήματος με απόκριση συνηχητικού τύπου.

Για την καλύτερη αποδοτικότητά του, ένα όργανο μέτρησης ακουστικών εκπομπών μπορεί επιπρόσθετα να διαθέτει [17]:

- Συνηχητικούς αισθητήρες προς μεγιστοποίηση της ευαισθησίας της διάταξης σε αντίστοιχες δραστηριότητες και ταυτόχρονη ελάττωση της ευαισθησίας σε δραστηριότητες χαμηλών συχνοτήτων που αντιστοιχούν σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας.
- Φίλτρο στον προενισχυτή για τον καλύτερο έλεγχο του εύρους ζώνης των σημάτων των ακουστικών εκπομπών.

Μια τυπική απεικόνιση ενός οργάνου μέτρησης ακουστικών εκπομπών υψηλών συχνοτήτων είναι η ακόλουθη:



**Σχήμα 3.14** Τυπική απεικόνιση οργάνου μέτρησης ακουστικών εκπομπών υψηλών συχνοτήτων [15].

### **Συντήρηση υδραυλικών συστημάτων**

Για τη συντήρηση των υδραυλικών διατάξεων μέσω διαδικασιών προληπτικής συντήρησης προτείνεται η χρήση της μεθόδου της ανάλυσης του λιπαντικού ελαίου και συγκεκριμένα η τεχνική X-Ray Fluorescence Spectroscopy.

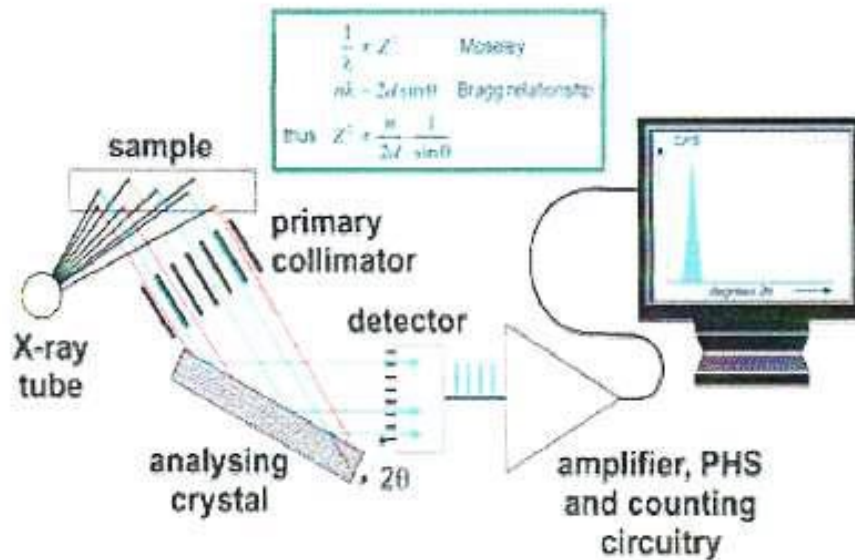
Η εφαρμογή της εν λόγω τεχνικής στηρίζεται στη χρήση φίλτρων και στη συλλογή σωματιδίων μέσω αυτών με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η τυχαία δειγματοληψία. Τη συλλογή των σωματιδίων ακολουθεί η χημική ανάλυση αυτών μέσω φθορισμού με διέγερση από ακτίνες X. Με άλλα λόγια, λαμβάνει χώρα βομβαρδισμός των ατόμων με ακτίνες X σε ένα εύρος που ανταποκρίνεται στη συγκέντρωση των σωματιδίων που έχουν συλλεχθεί μέσω του φίλτρου.





**Σχήμα 3.15** Συλλογή σωματιδίων μέσω της μεθόδου X-Ray Fluorescence Spectroscopy [18].

Οι χρησιμοποιούμενες διατάξεις για την εφαρμογή της μεθόδου X-Ray Fluorescence διεγείρουν την εξωτερική ηλεκτρονική στοιβάδα των ατόμων μέσω της πρόκλησης ηλεκτρικών εκκενώσεων. Με την επιστροφή των ατόμων στην κανονική τους κατάσταση, το ενεργειακό πλεόνασμα που είχε δημιουργηθεί εκπέμπεται με τη μορφή φωτός, με κάθε στοιχείο να εκπέμπει φως σε διαφορετική συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται σε κάθε συχνότητα μετράται μέσω διατάξεων φασματόμετρων τα οποία μπορούν εύκολα να ρυθμίζονται ώστε να καταγράφουν συγκεντρώσεις ακόμα και σε κλίμακα ppm, με την ποσότητα αυτή να αντιπροσωπεύει το βαθμό αστοχίας του στοιχείου.



**Σχήμα 3.16** Τυπικός εξοπλισμός της μεθόδου X-Ray Fluorescence Spectroscopy [18].

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι επιτρέπει την ανίχνευση της βλάβης στα πολύ αρχικά στάδια εκδήλωσης αυτής, ενώ ταυτόχρονα δεν παρεμβαίνει στην κυκλοφορία του ελαίου με αποτέλεσμα να συνεχίζεται απρόσκοπτα η παραγωγική δραστηριότητα.

### **Πλάνο προβλεπτικών επιθεωρήσεων μηχανών παραγωγής**

Ένα από τα βασικότερα στάδια της προβλεπτικής συντήρησης σε μία βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, αποτελεί και η κατάρτιση πλάνου προληπτικών ελέγχων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, και κυρίως του πυρήνα αυτού, των μηχανών παραγωγής.

Έτσι, ο προγραμματισμός και η εφαρμογή τακτικού προληπτικού ελέγχου στα ηλεκτρομηχανολογικά τμήματα των μηχανών παραγωγής, δύναται να συντελέσει ενεργά στον εντοπισμό της οποιασδήποτε αστοχίας υλικού άμεσα.

Ένα μεγάλο μέρος του ελέγχου αυτού, δεν πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικών αισθητήρων ή συσκευών απεικόνισης, όπως αναλύθηκε παραπάνω, άλλα με την εφαρμογή του συμβατικού οπτικού και ακουστικού ελέγχου που πραγματοποιούν οι τεχνικοί.

Οι έλεγχοι αυτοί είναι συγκεκριμένοι ανά εξοπλισμό / μηχανή παραγωγής και πραγματοποιούνται στα μέρη με τη συχνότητα που ορίζει ο κατασκευαστής του εξοπλισμού.

Ακολούθως, θεωρώντας πως όλες η μηχανές παραγωγής του εργοστασίου που εξετάζουμε έχουν τις ίδιες ηλεκτρομηχανολογικές προδιαγραφές και ανάγκες ελέγχου, το πλάνο προγραμματιζόμενων ελέγχων των μηχανών παραγωγής, θα μπορούσε να είναι το παρακάτω:

#### Ημερήσιος Έλεγχος Μηχανής:

- 1) Έλεγχος αν το Emergency Stop Button βρίσκεται σε κανονική θέση (normally open).
- 2) Έλεγχος αν η μηχανή παραγωγής, παράγει κάποιον ασυνήθιστο θόρυβο.
- 3) Έλεγχος αν οι μηχανικές, ηλεκτρικές και υδραυλικές ασφάλειες της πόρτας είναι σε καλή κατάσταση δοκιμάζοντας την ενεργοποίησή τους (με άνοιγμα της πόρτας κατά 20-30 mm) σε κάθε είδος λειτουργίας (χειροκίνητο, ημιαυτόματο και αυτόματο. Παράλληλος έλεγχος και στην ορθή κίνηση / ακινητοποίηση του συστήματος injection molding συναρτήσει της καταστάσεως της πόρτας.

- 4) Έλεγχος αν η στάθμη του ελαίου εντός της δεξαμενής υδραυλικού συστήματος βρίσκεται πάνω από την μέση και αν παρατηρείται η οποιαδήποτε διαρροή.
- 5) Έλεγχος αν η ποσότητα του μέσου λίπανσης (γράσο) στις κινητές επιφάνειες της μηχανής, βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα.
- 6) Έλεγχος αν η ασκούμενη πίεση του υδραυλικού συστήματος είναι πολύ υψηλή.
- 7) Έλεγχος αν η θερμοκρασία του λαδιού αυξάνει πολύ απότομα και αν η παροχή νερού ψύξεως πραγματοποιείται κανονικά.
- 8) Έλεγχος αν η θερμοκρασία του φούρνου τήξεως είναι κανονική και αν ο ελεγκτής της θερμοκρασίας μετράει κανονικά.
- 9) Έλεγχος αν το σύστημα injection παραμένει σταθερό.
- 10) Έλεγχος αν η κάθε παράμετρος λειτουργίας της μηχανής είναι η επιθυμητή.
- 11) Έλεγχος αν η οθόνη διεπαφής χρήστη παρουσιάζει κάποιο μήνυμα σφάλματος.
- 12) Έλεγχος αν ο Λογικός Ελεγκτής της μηχανής φέρει αναμμένη τη λυχνία σφάλματος.

#### Εβδομαδιαίος Έλεγχος Μηχανής:

- 1) Έλεγχος αν η καλωδίωση κάθε διακόπτη, τερματικού διακόπτη, επιλογικού διακόπτη, αντιστάσεων και θερμοζεύγων, λοιπόν αισθητηρίων και κινητήρων είναι σε καλή κατάσταση.
- 2) Έλεγχος αν παρουσιάζεται οποιοδήποτε φαινόμενο διαρροής από το υδραυλικό σύστημα. Αν παρουσιάζεται θα πρέπει να ελεγχθούν διεξοδικά οι σωληνώσεις, οι σύνδεσμοι, οι δακτύλιοι στεγανοποίησης κτλ.

#### Μηνιαίος Έλεγχος Μηχανής:

- 1) Έλεγχος αν ο κοχλίας παραμένει σφικτά βιδωμένος στο σώμα της μηχανής και αν παραμένουν σφικτά βιδωμένα και τα καρύδια κάθε μηχανικού εξοπλισμού της μηχανής.
- 2) Έλεγχος αν στο στόμιο του κοχλίου έχει δημιουργηθεί κάποιο νήμα ή κόκκος πρώτης ύλης και καθαρισμός αυτού.
- 3) Έλεγχος αν υπάρχει κάποια διάβρωση στο εσωτερικό της δεξαμενής ελαίου και στην εξωτερική επιφάνεια του φούρνου τήξεως υλικού.

#### Ετήσιος Έλεγχος Μηχανής:

- 1) Έλεγχος αν το έλαιο το υδραυλικού συστήματος έχει υποβαθμιστεί και χρειάζεται αντικατάσταση.
- 2) Έλεγχος αν οι καλωδιώσεις έχουν παλαιωθεί και χρήζουν αντικατάστασης.
- 3) Έλεγχος αν το κολλάρο του κοχλίου, η βάση του κοχλίου και η κεφαλή πρόσμιξης εφάπτονται.

## Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής της μεθόδου προβλεπτικής συντήρησης

Από την εφαρμογή της μεθόδου προβλεπτικής συντήρησης στη βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, γίνεται άμεσα αντιληπτό ένα μεγάλο πλήθος πλεονεκτημάτων που λαμβάνονται. Τα κυριότερα αυτών είναι [22]:

α) Η μείωση της πιθανότητας βλάβης ή καταστροφής του υπάρχοντος εξοπλισμού.

β) Η Ελάττωση των απρόσκοπτων διακοπών της παραγωγικής δραστηριότητας λόγω βλάβης του εξοπλισμού.

γ) Η αύξηση της αποδοτικότητας του τεχνικού προσωπικού αφού θα διαθέτει περισσότερο χρόνο για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής δραστηριότητας.

δ) Η βελτίωση και ο καλύτερος έλεγχος της ποιότητας των παραγόμενων αντικειμένων.

ε) Η μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος της βιομηχανίας και η αποφυγή άμεσων ή έμμεσων διαρροών ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των έγκαιρων

στ) Η μείωση του κόστους διοίκησης αποθεμάτων, καθώς μπορεί να προβλεφθεί ο όγκος ανταλλακτικών που θα χρειαστούν άμεσα, χωρίς να απαιτείται προμήθεια και αποθήκευση ανταλλακτικών που δεν θα αξιοποιηθούν άμεσα.

θ) Η συμμόρφωση λειτουργίας του εξοπλισμού σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και τους αντίστοιχους φορείς.

ι) Η μεγάλη αύξηση των δεικτών αξιοπιστίας του εξοπλισμού.

### 3.2.4 Η ΕΠΙΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Ο τύπος της συντήρησης αυτής αποσκοπεί στη μείωση του ολικού κόστους συντήρησης, διατηρώντας την αποδοτικότητα, την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία στα ίδια επίπεδα, αφού πρωτίστως πραγματοποιηθεί η αποτίμηση του κόστους συντήρησης.

Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση της απόδοσης συντήρησης, κάτι που συνιστά την επιμέρους αξιολόγηση του κόστους παύσης της παραγωγικής διαδικασίας, του κόστους προληπτικής συντήρησης, του κόστους προβλεπτικής συντήρησης κτλ. Η παραπάνω ανάλυση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί διεξοδικά για κάθε μηχανή παραγωγής και εξοπλισμό.

Σε επόμενο στάδιο θα πρέπει να αναλυθεί η διαδικασία εργασίας για την συντήρηση, οι τύποι των συνήθων βλαβών, η κατηγοριοποίηση τους κατά τη σπουδαιότητα τους, η ανάλυση των βλαβών οι οποίες δύναται να αντιμετωπιστούν από το τμήμα συντήρησης και των βλαβών που απαιτούν εξωτερικά συνεργεία και την προσπάθεια εκτίμησης του χρόνου επισκευής.

Έπειτα απαιτείται η κατηγοριοποίηση των βλαβών με την ταυτόχρονη αποτίμηση των δαπανηθέντων ωρών ανά κατηγορία βλάβης. Παράλληλα, εφαρμόζουμε συντελεστή δυσκολίας της βλάβης ώστε να μπορέσουμε να αντιληφθούμε το πραγματικό μέγεθος της.

Η παραπάνω ανάλυση, σαφώς θα πρέπει να λάβει υπόψιν και το κομμάτι της διοίκησης αποθεμάτων. Αρχικά απαιτείται η καταγραφή των προϊόντων της αποθήκης, η εκτίμηση της τιμής απογραφής κάθε χρόνου καθώς και η εκτίμηση της αναλωσιμότητας των ανταλλακτικών. Έτσι, με βάση τα στοιχεία αυτά είναι δυνατή η επανεκτίμηση των αναγκών αποθεματικής βάσης και να προχωρήσουμε στην περαιτέρω μείωση αυτής.

Επομένως, μέσα από τη συστηματική καταγραφή και ανάλυση όλων των παραπάνω ενεργειών, δίνεται η δυνατότητα να σχεδιαστεί το πλάνο της επιβελτιωτικής συντήρησης το οποίο θα εξοικονομήσει πολύτιμους πόρους για την βιομηχανία και θα αυξήσει τον βαθμό βιωσιμότητας της.



## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Από την παραπάνω μελέτη, γίνεται σαφές ότι η υιοθέτηση των αρχών και μεθόδων συντήρησης του εξοπλισμού σε μία βιομηχανία, μπορεί να προσδώσει άμεσα και ορατά αποτελέσματα στην καταπολέμηση των προβλημάτων που προέρχονται από την αποδοτικότητα του εξοπλισμού.

Ωστόσο, πέραν της εφαρμογής των παραπάνω μεθόδων και εργαλείων συντήρησης, σε μία βιομηχανία παραγωγής πλαστικών, συνιστάται και η εφαρμογή των παρακάτω προτάσεων.

α) Λεπτομερής και συχνός έλεγχος των καλωδιώσεων μέσης και υψηλής τάσης, των ηλεκτρονόμων και των διακοπών.

β) Εγκατάσταση σύγχρονων ηλεκτρολογικών πινάκων, που φέρουν επιτηρητές τάσης και σταθεροποιητές.

γ) Εγκατάσταση συστήματος μέτρησης, ανάλυσης και καταγραφής ηλεκτρικής ενέργειας, σε κάθε εξοπλισμό μέσης και υψηλής τάσης. Το παραπάνω σύστημα παράλληλα δύναται να προκαλέσει αντιστάθμιση τάσης, προστασία από υπερτάσεις, βυθίσεις και αρμονικές. Τέλος, μα παρέχει μία πολύ καλή ποσοτική ανάλυση σχετικά με τις άσκοπες ενεργειακές καταναλώσεις του εξοπλισμού μας λόγω κακής ποιότητας ή ελλιπούς συντήρησης.

δ) Εγκατάσταση ρυθμιστών στροφών πριν από κάθε κινητήρα, οι οποίοι προστατεύουν τον κινητήρα από την μεγάλη καταπόνηση που του ασκεί το φορτίο, ενώ παράλληλα μας παρέχουν τον βέλτιστο έλεγχο αυτού και την αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

ε) Αντικατάσταση των συμβατικών αυτοματισμών με σύγχρονο σύστημα αυτοματισμού με PLC και απαραίτητη διατήρηση δεύτερου και προγραμματισμένου PLC, στις αποθήκες της βιομηχανίας.

στ) Αντικατάσταση των καλωδιακών συνδέσεων σημάτων του PLC, με βιομηχανικό δίκτυο.

ζ) Εκπαίδευση του προσωπικού με εξειδικευμένα σεμινάρια πάνω σε θέματα συντήρησης των μηχανών που διαθέτει η βιομηχανία, από τον ίδιο τον κατασκευαστή τους.

η) Σύναψη συμβολαίων εξάμηνης και ετήσιας προβλεπτικής συντήρησης με εξειδικευμένες εταιρείες του χώρου, αναλόγως το είδος του εξοπλισμού.

θ) Ανάπτυξη και εγκατάσταση συστήματος ERP με στόχο την πλήρη μηχανοργάνωση της βιομηχανίας.

ι) Ανάπτυξη και εγκατάσταση συστήματος MES με σκοπό την σύνδεση των PLC και των βιομηχανικών δικτύων με το ERP και την πλήρη μηχανοργάνωση όλων των σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας.

κ) Βελτίωση των συνθηκών αποθήκευσης εξοπλισμού, καθώς και των συνθηκών του εργοταξίου (θερμοκρασία, υγρασία, χημικά αέρια, ακτινοβολία κτλ) από εξειδικευμένα συνεργεία.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον επιτάσσει για τις επιχειρήσεις την υιοθέτηση δράσεων προς την κατεύθυνση της μεγιστοποίησης της αποδοτικότητας του εξοπλισμού προς βελτίωση της παραγωγικότητας, εστιασμένων στο σύνολο του κύκλου ζωής αυτού.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η υιοθέτηση δράσεων με προσανατολισμό τη συντήρηση και αξιοπιστία του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, αποτελεί σήμερα αδιαπραγμάτευτη ανάγκη για τις βιομηχανικές επιχειρήσεις προκειμένου αυτές να αποφύγουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει μια πιθανή διακοπή της παραγωγικής δραστηριότητας.

Μια διαδικασία συντήρησης περιλαμβάνει το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται για τη διατήρηση και την αποκατάσταση του τεχνολογικού εξοπλισμού ενός συστήματος στην κατάσταση λειτουργίας που ορίζεται ως επιθυμητή, καθώς και τη συνεχή αποτίμηση της κατάστασης των δομικών μονάδων αυτού υιοθετώντας μέτρα και δράσεις όπως, ο έλεγχος, οι δοκιμές, οι μετρήσεις, οι αντικαταστάσεις και οι ρυθμίσεις του εξοπλισμού.

Ακόμα, με την εφαρμογή και αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνικών επιθεώρησης εξοπλισμού, δίνεται η δυνατότητα επιθεώρησης και προβλεπτικής συντήρησης εξοπλισμού, που ήταν αδύνατο κατά τα παλαιότερα χρόνια. Παράλληλα η εγκατάσταση σύγχρονου εξοπλισμού για αυτοματισμού και μηχανοργάνωσης, δίνει σημαντική ώθηση, τόσο στη συντήρηση του εξοπλισμού, όσο και στη γενικότερη παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας.

Όσον αφορά στις διαδικασίες με προσανατολισμό στην αξιοπιστία του τεχνολογικού εξοπλισμού, αυτές αποσκοπούν στο να είναι δυνατός ο καθορισμός του βαθμού ακρίβειας του εξοπλισμού και επομένως στην αυξημένη ικανότητα από την πλευρά των παραγωγικών επιχειρήσεων για βέλτιστη δυνατή επιλογή τεχνολογίας σε σχέση με τον προορισμό της στο πλαίσιο των παραγωγικών διαδικασιών.

Επομένως, μέσα από τη θέσπιση και εφαρμογή των μεθόδων και εργαλείων συντήρησης και ελέγχου αξιοπιστίας του εξοπλισμού από μία βιομηχανία παραγωγής πλαστικών αντικειμένων, όχι μόνο αποφεύγονται οι δυσάρεστες επιπτώσεις της διακοπής της παραγωγικής διαδικασίας, άλλα η βιομηχανία αυτή αυτομάτως καθίσταται πολύ πιο ανταγωνιστική στο περιβάλλον της, εξασφαλίζοντας την βιωσιμότητα της.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ayyub, B.M, & McCuen, R.H., (2011), *Probability, Statistics and Reliability for Engineers and Scientists*, 3<sup>rd</sup> edition, CRC Press.
- [2] Bain, L.J., & Engelhardt, M., (1991), *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models*, 2<sup>nd</sup> edition, Marcel Dekker, New York.
- [3] Barringer, P., (1997), *Availability, Reliability, Maintainability and Capability*, Triplex Chapter of the Vibration Institute.
- [4] Dekker, R., (1996), Applications of maintenance optimization models: A review and analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 51.
- [5] Feinberg, A., (2009), *Introducing Reliability Economics: Safeguarding the Economy in the Same Way Do Products*, Part of the IEEE Reliability Society 2009 Annual Technology Report.
- [6] Maldague, X., (2002), *Introduction to NDT by Active Infrared Thermography*, Materials Evaluation.
- [7] Mishra, R.C., (2006), *Reliability and Maintenance Engineering*, New Age International.
- [8] Mobley, R.K., (2014), *Maintenance Engineering Handbook*, 8<sup>th</sup> edition, McGraw – Hill.
- [9] Pomorski, T., (2004), *Total Productive Maintenance TPM: Concepts and Literature Review*, Principal Consulting Engineering Books Automation, Inc.
- [10] Thomas, P. R., (2000), *Statistical Methods for Quality Improvement*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc.

- [11] Richardson, T.L., & Lokensgard, E., (2004), *Industrial Plastics: Theory and Applications*, Cengage Learning.
- [12] Shirose, K. (1992), *TPM for Operators*. Portland, OR, Productivity Press.
- [13] Ι. Βώσσοσ, *Σημειώσεις διαλέξεων 2015 Συστημάτων Οργάνωσης και Συντήρησης Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού*, Πανεπιστήμιο Πειραιά.
- [14] Διαλυνάς, Ε., (1998), *Ανάλυση Αξιοπιστίας Τεχνολογικών Συστημάτων*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- [15] Αντωνιάδης, Ι., (2006), *Δυναμική Μηχανών*, Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
- [16] Γιαννάτος, Γ., & Αγγελετόπουλος Β., (2011), *Business Management*, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.
- [17] Κανάραχος, Α., (2001), *Μηχανισμοί και Ρομποτικά Συστήματα*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- [18] Μανωλάκος, Δ., (2010), *Κατεργασίες Ι*, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [19] Μπλέσιος. Ν., (2006), *Διοίκηση Ολικής Ποιότητας*, Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πειραιά.
- [20] Ταγαράς, Γ., (2001), *Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας*, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα.
- [21] Tobias P. & Trindade C. (2011), *Applied Reliability 3<sup>rd</sup> Edition*, CRC Press
- [22] Ξαγοράρης Χριστόφορος (2007), *Οργάνωση Συντήρησης σε Χαρτοβιομηχανία*, Πανεπιστήμιο Πειραιά



