



---

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ "ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ  
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ"**

**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: LOGISTICS**

---

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΜΟΣΧΟΥΡΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

---

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Ν. ΑΝΔΡΕΑΣ/ ΜΠΛ 0350**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2005

*Ευχαριστίες:*

*Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σωκράτη Μοσχούρη για την αμέριστη συμπαράσταση στην εκπόνηση αυτής της εργασίας, τα υπόλοιπα μέλη της ακαδημαϊκής οικογένειας του Πα.Πει. που είχα την τύχη να γνωρίσω στα πλαίσια του Μ.Π.Σ και ιδιαίτερα τον κ. Νικόλαο Μπλέσιο για τις πολύτιμες συμβουλές και το χρόνο του*

*Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον Προϊστάμενο του Τομέα Διοίκησης Προγραμμάτων της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας (ΕΑΒ) κ. Κοσμά Βλάχο καθώς και το υπόλοιπο τεχνικό και διοικητικό προσωπικό της ΕΑΒ που με βοήθησε σε όλη τη διάρκεια παραμονής μου εκεί.*

*Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Διευθυντή Διεύθυνσης Διοίκησης Έργων στην ΕΑΒ, κ. Ιωάννη Βώσσο, που χάρη στην προτροπή και τη βοήθειά του έγινε εφικτή η εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.*

*‘Η απλότητα είναι προϋπόθεση για την αξιοπιστία.’*

*Edsger Dijkstra*

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

*Αφιερώνεται στις αναξιόπιστες.*

Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> Τα logistics στη σύγχρονη εποχή.....	6
1.1 Το πλαίσιο των logistics. ....	6
1.2 Τα logistics στον κύκλο ζωής ενός συστήματος. ....	8
1.3 Το γενικό πλαίσιο της συντήρησης. ....	8
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> Συντήρηση και αξιοπιστία.....	10
2.1 Βασικοί τύποι συντήρησης .....	10
2.2 Μέτρηση παραγωγικότητας της συντήρησης. ....	11
2.3 Αξιοπιστία. ....	12
2.3.1 Γενικότητες.....	12
2.3.2 Αξιοπιστία δικτύων.....	13
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> Συντήρηση Προσανατολισμένη στην Αξιοπιστία (ΣΠΑ) 17	
3.1 Γενικότητες .....	17
3.2 Η ιστορική εξέλιξη της ΣΠΑ.....	17
3.3 Τα επτά βασικά ερωτήματα για την ΣΠΑ.....	21
3.3.1 Λειτουργίες και προδιαγραφές επίδοσης.....	22
3.3.2 Λειτουργικές βλάβες.....	23
3.3.3 Αιτίες βλάβης. ....	23
3.3.4 Αποτελέσματα βλάβης.....	24
3.3.5 Συνέπειες βλάβης.....	24
3.3.6 Διορατικές ενέργειες.....	26
3.3.7 Προκαθορισμένες ενέργειες.....	29
3.4 Η κριτική της ΣΠΑ .....	30
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> Προβλεπτική συντήρηση.....	32
4.1 Πιθανές βλάβες και συντήρηση .....	32
4.2 Το μεσοδιάστημα Π-Λ.....	33
4.3 Τεχνική εφικτότητα εργασιών προβλεπτικής συντήρησης.....	36
4.4 Κατηγορίες τεχνικών προβλεπτικής συντήρησης. ....	37
4.4.1 Παρακολούθηση κατάστασης λειτουργίας. ....	37
4.4.2 Διακύμανση στην ποιότητα των προϊόντων.....	38
4.4.3 Τεχνικές παρακολούθησης πρωτεύοντων επιδράσεων.....	39
4.4.4 Οι ανθρώπινες αισθήσεις. ....	39
4.5 Επιλέγοντας την κατάλληλη τεχνική προβλεπτικής συντήρησης.....	40
4.6 Τα μειονεκτήματα των τεχνικών προβλεπτικής συντήρησης.....	42
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> Θερμογραφία .....	44
5.1 Γενικότητες .....	44
5.2 Η θερμογραφία από Φυσική σκοπιά.....	44
5.3 Οι θερμικοί απεικονιστές στην προβλεπτική συντήρηση.....	48
5.4 Έλεγχοι ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.....	48
5.4.1 Έλεγχος κατάστασης λειτουργίας με υπέρυθρη κάμερα. ....	49
5.4.2 Θερμογραφία ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. ....	51
5.4.3 Πηγές θερμοκρασιακών διαφορών. ....	51
5.4.4 Εφαρμογές της θερμογραφίας. ....	53
5.4.5 Πλεονεκτήματα των θερμογραφικών ελέγχων σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.....	54
5.5 Έλεγχοι μηχανολογικού εξοπλισμού.....	55
5.5.1 Εφαρμογές της θερμογραφίας σε μηχανολογικό εξοπλισμό.....	55
Κινητήρες και γεννήτριες. ....	57
Ρουλεμάν. ....	57

Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> Μελέτη περίπτωσης στη Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (ΕΑΒ) .....	59
6.1 Η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία .....	59
6.2 Η θερμογραφία στην ΕΑΒ. ....	61
6.2.1 Γενικότητες.....	61
6.2.2 Ο θερμογραφικός εξοπλισμός και το έμψυχο υλικό.....	61
6.3 Θερμογράφιση στην ΕΑΒ.....	62
6.4 Βελτιώνοντας την αξιοπιστία στην ΕΑΒ.....	71
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> Αντί επιλόγου .....	73
7.1 Ανασκόπηση.....	73
7.2 Αξιοπιστία και προβλεπτική συντήρηση: η Χίμαιρα και ο Βελλερεφόντης των σύγχρονων συστημάτων.....	74
7.3 Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	76
Έντυπη βιβλιογραφία .....	76
Ηλεκτρονική βιβλιογραφία.....	76

# Κεφάλαιο 1° Τα logistics στη σύγχρονη εποχή

## 1.1 Το πλαίσιο των logistics.

Πολλοί ορισμοί έχουν δοθεί για τα logistics, ιστορικά όμως η έννοιά τους πηγάζει από τη στρατιωτική και βιομηχανική διοίκηση.

Η Αμερικανική Πολεμική Αεροπορία ορίζει τα logistics ως την επιστήμη που σχεδιάζει και υποστηρίζει τη ροή και τη συντήρηση των στρατιωτικών δυνάμεων. Ειδικότερα, έχουν σχέση με τις παρακάτω στρατιωτικές διαδικασίες (α) σχεδιασμός και ανάπτυξη, απόκτηση, αποθήκευση, μεταφορά, διανομή, συντήρηση, εκκένωση και διάταξη των υλικών (β) μεταφορά, εκκένωση και φιλοξενία του προσωπικού (γ) απόκτηση ή κατασκευή, συντήρηση, λειτουργία και διαρρύθμιση των εγκαταστάσεων (δ) απόκτηση ή βελτίωση υπηρεσιών.

Στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα τα logistics αναφέρονται ως business logistics ή industrial logistics και περιλαμβάνουν τη ροή των υλικών, τη διανομή των προϊόντων, τη μεταφορά, τις προμήθειες και τη διαχείριση αποθέματος, την αποθήκευση, την εξυπηρέτηση του πελάτη. Το Συμβούλιο των Logistics Management δίνει τον ακόλουθο ορισμό: logistics είναι η διαδικασία σχεδιασμού που ολοκληρώνει, ελέγχει αποδοτικά και αποτελεσματικά όσον αφορά το κόστος, τη ροή και την αποθήκευση των α' υλών, το απόθεμα, τα τελικά προϊόντα και τις πληροφορίες που τα συνοδεύουν, από την αρχή έως το σημείο που αναλώνονται με σκοπό τη συμμόρφωση στις απαιτήσεις του πελάτη.

Αν και οι προσανατολισμοί διαφέρουν, ο όρος logistics δεν περιορίζεται στις επιχειρήσεις ή στο στρατό. Πολλές από τις δραστηριότητες των logistics εφαρμόζονται τόσο στον ιδιωτικό όσο και στο δημόσιο τομέα. Αυτές είναι η διαχείριση υλικών, ο φυσικός εφοδιασμός και διανομή, η αποθήκευση και η διαχείριση αποθέματος και η μεταφορά.

Στο παρελθόν οι δραστηριότητες logistics καθοδηγούνταν από τον παραγωγό, που έδινε έμφαση, στις λειτουργίες της παραγωγής και στη φυσική διανομή των προϊόντων και των υπηρεσιών. Από την άλλη μεριά το στρατιωτικό περιβάλλον δίνει έμφαση στην υποστήριξη του συνεχόμενου κύκλου ζωής του συστήματος ή του προϊόντος κατά τη διάρκεια χρήσης του. Και στις δυο περιπτώσεις τα logistics είναι μια προσπάθεια «προς τα κάτω» ενώ το σύνολο των απαιτήσεων σε logistics δεν έχουν καθοριστεί ή ολοκληρωθεί πλήρως.

Τελευταίως, τα logistics αντιμετωπίζονται με μεγαλύτερη ευρύτητα και το πεδίο τους μεγαλώνει ταχύτατα βοηθούμενο από τις τεχνολογικές, κοινωνικές και οικονομικές τάσεις που επικρατούν παγκοσμίως. Καθώς η τεχνολογία προχωρά τα συστήματα και τα προϊόντα γίνονται πολυπλοκότερα και οι απαιτήσεις των logistics αυξάνονται εν γένει. Τα σχετικά κόστη, με την απόκτηση ενός συστήματος ή προϊόντος, έχουν αυξηθεί ανησυχητικά καθώς και τα κόστη για την υποστήριξη σε επίπεδο logistics. Την ίδια στιγμή, η μείωση των προϋπολογισμών σε συνδυασμό με τις πληθωριστικές πιέσεις αποκόπτουν τα διαθέσιμα κεφάλαια για την απόκτηση νέων συστημάτων και για τη συντήρηση και υποστήριξη των ήδη υπαρχόντων.

Η απαίτηση για αύξηση της παραγωγικότητας σε περιβάλλοντα με περιορισμένους πόρους κάνει επιτακτική τη διερεύνηση σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής (ΚΖ) ενός προϊόντος και τα logistics πια παίζουν μεγάλο ρόλο όπως και η έρευνα, ο σχεδιασμός, η παραγωγή. Επιπρόσθετα, το κόστος του κύκλου ζωής εξαρτάται σημαντικά από το αρχικό στάδιο σχεδιασμού του προϊόντος και γι' αυτό οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε αυτό το στάδιο επηρεάζουν τις υπόλοιπες φάσεις του ΚΖ. Με δεδομένες τις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος και του γεγονότος ότι κόστη logistics είναι σημαντικά, οι δραστηριότητες των logistics πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού ενός συστήματος ή προϊόντος.

Στην ουσία, τα logistics που περιλαμβάνουν την ολοκλήρωση πολλών δραστηριοτήτων και στοιχείων, έχουν γίνει σημαντικά σε ό-

λες τις φάσεις του κύκλου ζωής. Οι απαιτήσεις τους, πρέπει αρχικά να σχεδιασθούν και μετά να ενοποιηθούν στη διαδικασία σχεδιασμού του συστήματος. Αντικειμενικός σκοπός είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος που να έχει βέλτιστη υποστήριξη σε logistics όντας αποτελεσματικό και αποδοτικό.

Συμπερασματικά, το πεδίο των logistics έχει διευρυνθεί από το φάσμα πολλών δραστηριοτήτων που ήταν σε ένα φάσμα λειτουργιών που διατρέχει τον κύκλο ζωής ενός συστήματος ή προϊόντος.

### **1.2 Τα logistics στον κύκλο ζωής ενός συστήματος.**

Τα logistics τοποθετούμενα στο γενικό πλαίσιο του ΚΖ ενός συστήματος σχετίζονται με τη μελέτη, την ανάλυση και το σχεδιασμό, τον έλεγχο, την παραγωγή, τη διανομή και την συνεχόμενη υποστήριξη ενός συστήματος ή ενός προϊόντος κατά τη διάρκεια της χρήσης του. Τα logistics περιλαμβάνουν την οικονομική υποστήριξη μεγάλων συστημάτων που αναπτύχθηκαν για καταναλωτική χρήση και μεγάλο εύρος χρόνου, καθώς και την υποστήριξη προϊόντων από την σκοπιά της διακίνησης αλλά και της παραγωγής τους.

Γίνεται αντιληπτό ότι τα logistics είναι συνυφασμένα και με τη φάση συντήρησης ενός προϊόντος η οποία είναι και η πιο κοστοβόρα από όλες τις φάσεις του.

### **1.3 Το γενικό πλαίσιο της συντήρησης.**

Εν γένει η συντήρηση είναι μια λειτουργία της επιχείρησης με σκοπό τη διατήρηση των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού στις προδιαγεγραμμένες του επιδόσεις, τη προστασία της ασφάλειας και υγιεινής του προσωπικού και των πελατών από τη χρήση του εξοπλισμού και την προστασία του περιβάλλοντος, με το χαμηλότερο δυνα-



τό κόστος. Η συντήρηση λοιπόν ασχολείται με το σχεδιασμό, την οργάνωση και τον έλεγχο ούτως ώστε να επιτευχθούν τα παραπάνω.

Η συντήρηση όμως εμπεριέχει την έννοια του κόστους γεγονός που κάνει επιτακτική την ύπαρξη μια στρατηγικής γι' αυτήν. Αυτή η στρατηγική πρέπει να υλοποιεί τους παρακάτω στόχους:

(α) Επανασχεδιασμός του πλάνου συντήρησης με έμφαση στην πρόληψη και στη σχεδιασμένη διορθωτική εργασία.

(β) Επιλογή και ολοκλήρωση μηχανογραφημένης συντήρησης και συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων.

(γ) Αύξηση των δυνατοτήτων του βράχυ-, μέσο- και μακροπρόθεσμου προγραμματισμού της συντήρησης .

Απ' αυτά διαφαίνεται ότι η συντήρηση δεν είναι θέμα μόνο των τεχνικών, όπως άλλοτε, αλλά αποτελεί πεδίο προβληματισμού και για το τμήμα logistics της επιχείρησης.

## Κεφάλαιο 2° Συντήρηση και αξιοπιστία

### 2.1 Βασικοί τύποι συντήρησης

Οι τύποι της συντήρησης εξοπλισμού είναι οι εξής : διορθωτική, επιβελτιωτική, προληπτική, ευκαιριακή και προβλεπτική.

Η *διορθωτική συντήρηση* ορίζεται ως η αποκατάσταση βλάβης που εμφανίζεται τις περισσότερες φορές αιφνίδια στον εξοπλισμό και προκαλεί την μερική ή και ολική ακινησία του. Συντελείται με την αντικατάσταση εξαρτημάτων ή και με επισκευή, ενώ η πιο σημαντική παράμετρος της είναι η διάγνωση της αιτίας της βλάβης και κατ' επέκταση του εξαρτήματος του εξοπλισμού που την προκάλεσε.

Η *προληπτική συντήρηση* περιλαμβάνει διαδικασίες περιοδικής επιθεώρησης, καθαρίσματος, λίπανσης, μικρορυθμίσεων, αντικαταστάσεων και άλλων διαδικασιών πρόληψης βλαβών. Συνήθως έχει παράμετρους χρόνου ή χρήσης όπως χιλιόμετρα, κύκλοι μηχανής, ώρες εργασίας. Επιπροσθέτως, κρατούνται στοιχεία για την παρατηρούμενη κατάσταση του εξοπλισμού για περαιτέρω ανάλυση και είναι συνηθισμένα στις βιομηχανίες τροφίμων, χαρτοπολτού και χημικών όπου τα σημάδια της φθοράς και της διάβρωσης είναι ορατά.

Η *επιβελτιωτική συντήρηση* ορίζεται ως η τροποποίηση και αναβάθμιση του λειτουργούντος παραγωγικού εξοπλισμού και εγκαταστάσεων. Με την ευρύτερη έννοια περιλαμβάνει και την ολική αντικατάσταση του υπάρχοντος εξοπλισμού όταν αυτό κρίνεται οικονομοτεχνικά αναγκαίο. Εν γένει συντελείται με αντικατάσταση ή και προσθήκη εξαρτημάτων κατόπιν σχετική μελέτης και επανασχεδίασης.

Η *προβλεπτική συντήρηση* είναι η συντήρηση που συντελείται με συστηματική επιτήρηση της κατάστασης του εξοπλισμού μέσω περιοδικών επιθεωρήσεων, μετρήσεων και αντικατάσταση εξαρτημάτων λίγο πριν αστοχήσουν. Αυτές οι μετρήσεις αφορούν τις δονήσεις ή

ταλαντώσεις, τη θερμοκρασία και την χημική σύνθεση (λ.χ. των λιπαντικών).

Τέλος, από το συνδυασμό της προληπτικής και διορθωτικής προκύπτει ουσιαστικά η *ευκαιριακή συντήρηση* που μπορεί να είναι χρήσιμη όταν ένα αναπάντεχο σταμάτημα δίνει στους συντηρητές πρόσβαση στον εξοπλισμό για να εκτελέσουν ελέγχους ή και συντήρηση.

## 2.2 Μέτρηση παραγωγικότητας της συντήρησης.

Η παραγωγικότητα είναι γενικά ο λόγος των εκροών προς τις εισροές. Εκροή στη συντήρηση αποτελεί η σωστή λειτουργία του εξοπλισμού ενώ η εισροή είναι τα χρήματα που δαπανώνται γι' αυτήν. Προφανώς, αυτός ο λόγος είναι αρκετά θεωρητικός και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρακτικά. Γι' αυτό έχουν εισαχθεί διάφοροι λόγοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της απόδοσης του εξοπλισμού. Τέτοιοι λόγοι είναι οι κάτωθι:

*Διαθεσιμότητα* είναι η πιθανότητα ενός συστήματος να λειτουργεί το σύστημα στο χρόνο  $t$  που εξετάζεται.

*Αξιοπιστία* είναι η πιθανότητα μηδενικής αστοχίας ενός συστήματος στην εκτέλεση προδιαγεγραμμένης εργασίας του για καθορισμένο χρονικό διάστημα και δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον. Συνήθως εκφράζεται ως συνάρτηση του μέσου χρόνου μεταξύ βλαβών (MTBF: mean time between failures).

*Συντηρησιμότητα* ή μέσος χρόνος επισκευής ενός εξαρτήματος (MTTR: mean time to repair) είναι το γινόμενο του χρόνου που απαιτείται για να εκτελεστεί κάθε προσδοκώμενη επισκευή επί τη σχετική συχνότητα με την οποία θα εμφανισθεί. Η συντηρησιμότητα εκφράζει την χρονική απόκριση του εξοπλισμού να γίνει διαθέσιμος μετά την βλάβη.

*Λόγος επεξεργασίας.* Αυτός εκφράζει την δυνατότητα του συστήματος να λειτουργεί σε μία στάνταρτ ταχύτητα ή κύκλο και δίδεται από το λόγο του ιδανικού κύκλου προς τον πραγματικό κύκλο.

*Λόγος ποιότητας.* Ο λόγος αυτός εκφράζει τη δυνατότητα ενός εξοπλισμού να παράγει με σταθερή ποιότητα και δίδεται από το λόγο του αριθμού των ποιοτικών προϊόντων προς τον αριθμό των συνολικών προϊόντων.

Η *αποτελεσματικότητα εξοπλισμού* είναι ένα εποπτικό μέγεθος που λαμβάνει υπόψη την χρόνο λειτουργίας, την ταχύτητα και την ακρίβεια. Μαθηματικά εκφράζεται από το γινόμενο της διαθεσιμότητας, του λόγου επεξεργασίας και του λόγου ποιότητας.

Η αξία αυτών των μετρήσεων εξαρτάται από τον τρόπο που έχει σχεδιασθεί και κατασκευασθεί ο εξοπλισμός. Επίσης η καλύτερη μέθοδος αξιοποίησης αυτών μεγεθών είναι η δειγματοληψία τους σε εύρος χρόνου και παρατήρηση της διακύμανσής τους.

## **2.3 Αξιοπιστία.**

### **2.3.1 Γενικότητες.**

Η συχνότητα συντήρησης εξοπλισμού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αξιοπιστία του. Με άλλα λόγια όσο η αξιοπιστία μειώνεται τόσο αυξάνεται η συχνότητα της συντήρησης και αυτό γιατί τα συστήματα με χαμηλή αξιοπιστία απαιτούν επισταμένη συντήρηση και γενικά ανάλωση πόρων. Η αξιοπιστία  $R(t)$  υπολογίζεται με δεδομένο το MTBF και μάλιστα ισχύει :  $R(t) = e^{-t/MTBF}$  (2.1)

Όπου  $t$  η χρονική περίοδος όπου εξετάζουμε την αξιοπιστία και MTBF ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών που υπολογίζεται από την σχέση :

$$MTBF = \frac{\text{συνολικός χρόνος λειτουργίας}}{\text{αριθμός βλαβών}} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.2)$$

όπου  $\lambda$  ο ρυθμός βλαβών

Για την καλύτερη κατανόηση των όρων αυτών παρατίθεται το παρακάτω παράδειγμα: Ένας Μηχανολόγος Μηχανικός έχοντας συνάψει πενταετή σχέση με μια συνάδελφο Μηχανικό σκέπτεται σοβα-

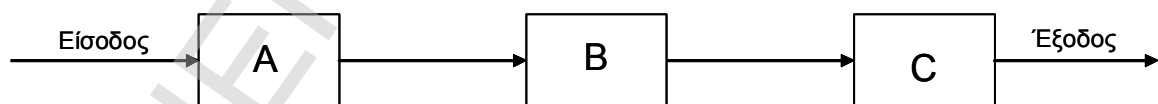
ρά το ενδεχόμενο να την παντρευτεί. Μέσα σε αυτά τα πέντε έτη η γυναίκα του έχει φλερτάρει μια φορά, οπότε θα ήθελε να υπολογίσει την αξιοπιστία της μετά από επτά χρόνια γάμου. Σε αυτήν την περίπτωση το MTBF είναι  $5/1=5$  ενώ η αξιοπιστία της δίδεται από τον τύπο  $R(7)=e^{-7/5}=24,7\%$ . Η αξιοπιστία της γυναίκας κρίνεται αρκετά χαμηλή για το δεδομένο χρονικό διάστημα πράγμα που θα οδηγήσει τον Μηχανικό σε αναθεώρηση απόψεων περί γάμου.

### 2.3.2 Αξιοπιστία δικτύων.

Όπως γίνεται αντιληπτό στην πράξη συνήθως συναντώνται δίκτυα συστημάτων τα οποία έχουν την ίδια ή διαφορετική αξιοπιστία. Γενικά υπάρχουν τα δίκτυα εν σειρά, τα παράλληλα καθώς και ο συνδυασμός των δύο. Ζητούμενο είναι συνήθως ο υπολογισμός της αξιοπιστίας του δικτύου αλλά και ο τρόπος με τον οποίο θα αυξηθεί η αξιοπιστία με κατάλληλη αναδιάταξη του δικτύου, αν αυτό είναι εφικτό.

#### Δίκτυα εν σειρά.

Σε δίκτυο εν σειρά όλα τα επιμέρους συστήματα πρέπει να λειτουργούν για να λειτουργεί και το δίκτυο. Έστω το παρακάτω δίκτυο:



Σχήμα 2. 1: Δίκτυο τριών υποσυστημάτων εν σειρά

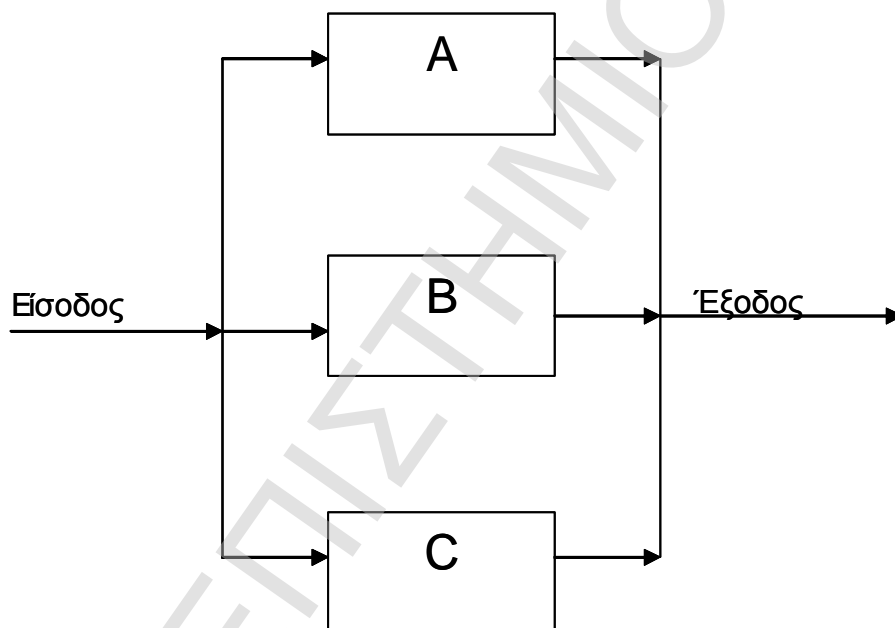
Η αξιοπιστία του δικτύου ( $R_{net}$ ) αυτού είναι ίση με το γινόμενο της αξιοπιστίας ( $R_A, R_B, R_C$ ) των επιμέρους συστημάτων A, B, C. Και ισχύει  $R_{net} = R_A R_B R_C$

Γενικά η αξιοπιστία ενός δικτύου εν σειρά με  $n$  υποσυστήματα δίδεται ως το γινόμενο της αξιοπιστίας των επιμέρους  $n$  υποσυστημάτων:  $R_{net} = R_1 R_2 \dots R_n$ . (2.3)

Η αξιοπιστία ενός τέτοιου δικτύου είναι το πολύ ίση με την μικρότερη αξιοπιστία των υποσυστημάτων του. Αυτό σημαίνει ότι αν η αξιοπιστία του υποσυστήματος A και B είναι 99% και του C 80% η αξιοπιστία του δικτύου θα είναι  $R_{net}=0.99*0.99*0.80=0.78$ . Γι' σε αυτά τα δίκτυα επιβάλλεται η πολύ επισταμένη συντήρηση ούτως ώστε να διατηρούνται υψηλά τα επίπεδα της αξιοπιστίας των επιμέρους υποσυστημάτων και άρα του δικτύου.

### Παράλληλα δίκτυα

Όταν ένα δίκτυο σταματά να λειτουργεί όταν σταματούν να λειτουργούν όλα τα επιμέρους του υποσυστήματα τότε χαρακτηρίζεται ως παράλληλο. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2. 2: Παράλληλο δίκτυο τριών υποσυστημάτων

Στο παραπάνω δίκτυο ισχύει για την αξιοπιστία του δικτύου:

$$R_{net} = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B)(1 - R_C) \quad (2.4)$$

Αν η αξιοπιστία των υποσυστημάτων είναι ίδια και ίση με R τότε η παραπάνω σχέση γίνεται  $R_{net} = 1 - (1 - R)^3$

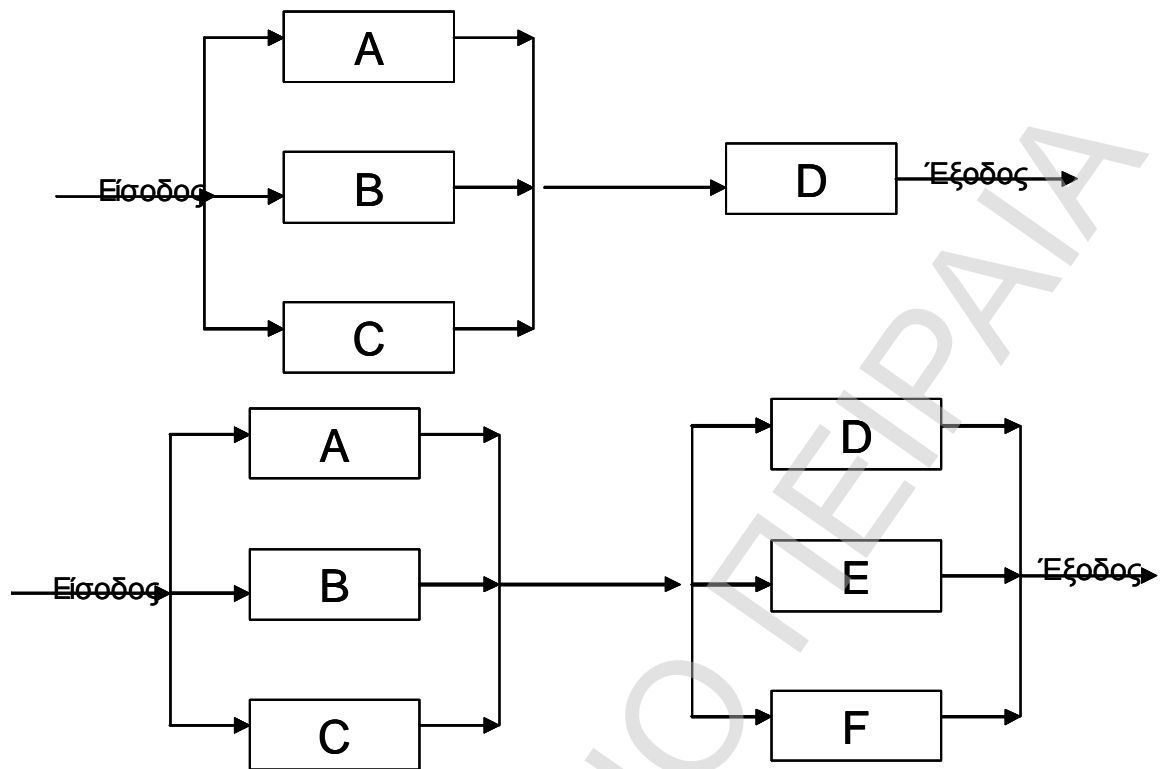
Για ένα δίκτυο με n υποσυστήματα ίδιας αξιοπιστίας ισχύει:

$$R_{net} = 1 - (1 - R)^n \quad (2.5)$$

Από τις σχέσεις (2.4) και (2.5) προκύπτει μαθηματικά ότι τα παράλληλα δίκτυα ίδιων στοιχείων (άρα και ίδιας αξιοπιστίας) αυξάνουν την αξιοπιστία του δικτύου. Αυτά λέγονται και συστήματα πλεονασμού. Για παράδειγμα έστω ότι υπάρχει ένα σύστημα ελέγχου της γωνίας πρόνευσης σε ένα αεροσκάφος με αξιοπιστία 80%. Για να αυξήσουν την αξιοπιστία τοποθετούν σε παράλληλη συνδεσμολογία άλλα δυο ίδια συστήματα οπότε συνολικά το δίκτυο έχει αξιοπιστία  $R_{net} = 1 - (1 - 0.80)^3 = 0.99$ . Οπότε έχουμε αύξηση της αξιοπιστίας σε 99% δαπανώντας όμως και παραπάνω οικονομικούς πόρους.

### **Συνδυασμός παράλληλων δικτύων και εν σειρά.**

Με το συνδυασμό παράλληλων και εν σειρά δικτύων μπορούν να επιτευχθούν συνδυασμοί με πολλά διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας. Η αξιοπιστία του δικτύου υπολογίζεται εύκολα με την άλγεβρα που αναπτύχθηκε προηγουμένως, ξεκινώντας με τον υπολογισμό των παραλλήλων δικτύων και μετά με τον υπολογισμό των ισοδύναμων που βρίσκονται εν σειρά. Τέτοια δίκτυα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2. 3: Δίκτυα συνδυασμού εν σειρά και παράλληλων δικτύων



## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Συντήρηση Προσανατολισμένη στην Αξιοπιστία (ΣΠΑ)**

### **3.1 Γενικότητες**

Τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει ριζικά ο τρόπος και η φιλοσοφία με την οποία γίνεται η συντήρηση, τουλάχιστον στις ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες. Αυτό συμβαίνει γιατί έχει αυξηθεί ο αριθμός και η ποικιλία των εξοπλισμών και των εγκαταστάσεων, ο σχεδιασμός τους είναι πιο πολύπλοκος ενώ έχουν αλλάξει και οι τεχνικές συντήρησης.

Επίσης η συντήρηση είναι επιφορτισμένη με νέες επιτακτικές ανάγκες όπως η σωστή διαχείριση των βλαβών του εξοπλισμού ούτως ώστε να είναι φιλική προς το περιβάλλον, η σύνδεση συντήρησης και ποιότητας στα προϊόντα καθώς και η αυξημένη διαθεσιμότητα με περιορισμό του κόστους.

Εξαιτίας αυτών των αλλαγών οι περισσότεροι μάνατζερ, τεχνικοί και μη, προσπαθούν να διερευνήσουν νέες προσεγγίσεις στη συντήρηση αποφεύγοντας όμως ανέφικτες λύσεις. Επιζητούν μια στρατηγική που συνθέτει τις νέες εξελίξεις σε ένα στιβαρό πρότυπο, που θα τους δώσει τη δυνατότητα να τις αξιολογήσουν σωστά και να τις εφαρμόσουν προσθέτοντας αξία στις επιχειρήσεις τους. Τέτοια στρατηγική μπορεί να αποτελέσει και η συντήρηση προσανατολισμένη στην αξιοπιστία (ΣΠΑ).

### **3.2 Η ιστορική εξέλιξη της ΣΠΑ**

Η συντήρηση από το 1930 και έπειτα μπορεί να χωρισθεί σε τρεις γενιές. Η ΣΠΑ ίσως αποτελεί των ακρογωνιαίο λίθο της τρίτης γενιάς. Αυτή γενιά όμως μπορεί να εμπεδωθεί με αντιπαραβολή των άλλων δύο.

## **Πρώτη γενιά συντήρησης.**

Η πρώτη γενιά καλύπτει την περίοδο από την δεκαετία του '30 έως και τα τέλη της δεκαετίας του '40. Εκείνες τις μέρες ο βαθμός αυτοματοποίησης ήταν σχετικά μικρός οπότε ο χρόνος εκτός λειτουργίας δεν έπαιζε τόσο σημαντικό ρόλο. Η πρόληψη των βλαβών ήταν ασήμαντη και ουσιαστικά ήταν η περίοδος της διορθωτικής συντήρησης. Ο εξοπλισμός ήταν σχεδιασμένος πολύ απλά και ουσιαστικά δεν υπήρχε λόγος συστηματικής συντήρησης.

## **Δεύτερη γενιά συντήρησης.**

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου είχε αυξηθεί η ζήτηση σε αγαθά χωρίς όμως να υπάρχει το απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό. Αυτό οδήγησε στην αυτοματοποίηση του εξοπλισμού με αποτέλεσμα οι μηχανές να γίνονται ολοένα και πιο πολύπλοκες.

Η βιομηχανία άρχισε να εξαρτάται από τις μηχανές οπότε άρχισε να παίζει ρόλο και ο χρόνος εκτός λειτουργίας των μηχανών. Αυτό οδήγησε στην ιδέα ότι οι βλάβες μπορούν αλλά και θα έπρεπε να προληφθούν εγκαθιδρύοντας την προληπτική συντήρηση. Η προληπτική συντήρηση συνήθως αποτελούνταν από γενικές επιθεωρήσεις και επισκευές σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Όμως το κόστος της συντήρησης άρχισε να αυξάνεται ιδιαίτερα σε σχέση με τα λειτουργικά κόστη οπότε έγινε επιτακτική η ανάγκη για συστήματα προγραμματισμού και ελέγχου.

Τέλος, επειδή οι επενδύσεις σε πάγιο εξοπλισμό αύξησαν το κόστος κεφαλαίου άρχισε να διερευνάται ο τρόπος με τον οποίο θα αυξανόταν ο χρόνος ζωής των παγίων αυτών.

### **Τρίτη γενιά συντήρησης.**

Στα μέσα της δεκαετίας του '70 οι αλλαγές στον τομέα της συντήρησης διαχωρίστηκαν υπό το πρίσμα των νέων προσδοκιών, της πρωτοποριακής έρευνας και των νέων τεχνικών.

*Νέες προσδοκίες:* Ο χρόνος εκτός λειτουργίας του εξοπλισμού ή μιας εγκατάστασης επηρεάζει την παραγωγική ικανότητά τους μειώνοντας την παραγωγή, αυξάνοντας τα λειτουργικά κόστη και επηρεάζοντας την εξυπηρέτηση του πελάτη. Αυτό στη δεκαετία του '60 και '70 απασχόλησε ιδιαίτερα τη βιομηχανία μεταποίησης, εξόρυξης και τους μεταφορικούς τομείς. Οι συνέπειες του χρόνου εκτός λειτουργίας επιδεινώθηκε καθώς τα περισσότερα παραγωγικά συστήματα οδηγούνται στην υιοθέτηση της φιλοσοφίας *just-in-time*. Σε αυτήν την περίπτωση τα μικρά αποθέματα υλικών στην εφοδιαστική αλυσίδα οδηγούν στη μη σωστή λειτουργία του εξοπλισμού και της εγκατάστασης όταν παρουσιασθούν ακόμα και κάποιες μικροβλάβες. Επιπρόσθετα, ο βαθμός μηχανοποίησης καθιστά την αξιοπιστία και την διαθεσιμότητα πολύ σημαντικές σε τομείς όπως στην υγεία, στην επεξεργασία δεδομένων, στις τηλεπικοινωνίες και στη διαχείριση κτιριακών εγκαταστάσεων.

Επίσης, εξαιτίας της υψηλής αυτοματοποίησης οι πολλές βλάβες επηρεάζουν την ικανότητα της παραγωγής να ικανοποιήσει τα πρότυπα ποιότητας, πράγμα το οποίο συμβαίνει και στον τομέα των υπηρεσιών.

Συνάμα, οι ολοένα και αυξανόμενες βλάβες έχουν σοβαρές περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις όταν η νομοθεσία γίνεται πιο αυστηρή. Σε κάποια σημεία του κόσμου μάλιστα οι διάφορες κρατικές οργανώσεις μπορούν να σταματήσουν και τη λειτουργία της εγκατάστασης γεγονός που πιέζει σε σωστά συντηρημένο εξοπλισμό για την επιβίωση της επιχείρησης.

Την ίδια στιγμή, αυξάνεται το κόστος για την απόκτηση και τη λειτουργία ενός εξοπλισμού. Για να διασφαλισθεί λοιπόν η απόδοση

της επένδυσης πρέπει ο εξοπλισμός να λειτουργεί σωστά για το χρονικό διάστημα που απαιτείται. Τέλος, το κόστος της συντήρησης αυξάνεται και σε αρκετές βιομηχανίες είναι το δεύτερο ή ακόμη και πρώτο από τα λειτουργικά έξοδα.

*Πρωτοποριακή έρευνα:* Αυτή άλλαξε πολλές απόψεις για τις βλάβες και τη γήρανση του εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, πρακτικά δεν υπάρχει ένα πρότυπο γήρανσης που είναι η καμπύλη «bathtub» αλλά έξι. Επίσης, η έρευνα έδειξε ότι πολλές από τις παραδοσιακές εργασίες συντήρησης όσο σωστά και αν προγραμματισθούν δεν προσφέρουν κάτι ενώ αντίθετα μπορούν να είναι αντιπαραγωγικές, ακόμα και επικίνδυνες. Αυτό ισχύει κυρίως για τις εργασίες της προληπτικής συντήρησης αφού αρκεί να φανταστεί κάποιος το λύσιμο ενός κινητήρα αυτοκινήτου για επισταμένους και εξονυχιστικούς ελέγχους χωρίς να έχει κάποιο ουσιαστικό πρόβλημα. Γι' αυτό συχνά παρατηρείται στη βιομηχανία να γίνεται σωστά η δουλειά ενώ ουσιαστικά χρειάζεται να γίνει η σωστή δουλειά.

*Νέες τεχνικές:* Στην τρίτη γενιά υπήρξε μια εκρηκτική ανάπτυξη σε ιδέες και τεχνικές. Αναπτύχθηκαν εκατοντάδες ιδέες τα τελευταία είκοσι χρόνια και ακόμα περισσότερες αναδύονται. Οι νέες εξελίξεις περιλαμβάνουν i) εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων, όπως μελέτες επικινδυνότητας, ανάλυση αιτιών και αποτελεσμάτων των βλαβών και έμπειρα συστήματα. ii) νέες μεθόδους συντήρησης, όπως η παρακολούθηση υπό κατάσταση λειτουργίας. iii) σχεδιασμό του εξοπλισμού με έμφαση στην αξιοπιστία και τη συντηρησιμότητα. iv) στροφή της εταιρικής φιλοσοφίας προς την ομαδικότητα, τη συμμετοχή και την ευελιξία.

Αυτό που προέχει είναι αυτοί που ασχολούνται με τη συντήρηση όχι μόνο να μάθουν για τις νέες τεχνικές αλλά και να αποφασίσουν ποιες από αυτές έχουν αξία να εφαρμοσθούν στην επιχείρησή τους. Αν γίνουν οι σωστές επιλογές τότε μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση του υπάρχοντος εξοπλισμού περιορίζοντας ή και μειώνοντας τα κόστη για τη συντήρηση.

Η πρώτη βιομηχανία που αντιμετώπισε αυτές τις προκλήσεις συστηματικά ήταν η αεροπορική βιομηχανία. Συνειδητοποίησαν ότι όση προσπάθεια χρειάζεται για να εκτελούν οι συντηρητές την σωστή δουλειά άλλη τόση προσπάθεια χρειάζεται για να εκτελούν σωστά τις εργασίες. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη της νέας μεθόδου λήψης αποφάσεων που είναι γνωστή στην αεροπορική ορολογία ως MSG3 που αποτελεί την Συντήρηση Προσανατολισμένη στην Αξιοπιστία (ΣΠΑ).

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποια άλλη τεχνική που να αναγνωρίζει τις αληθινές και ελάχιστες εργασίες που πρέπει να γίνουν για να λειτουργεί σωστά ο εξοπλισμός και ιδιαίτερα σε κρίσιμες και επικίνδυνες καταστάσεις.

Τέλος, ένας ορισμός για την ΣΠΑ δίδεται παρακάτω: *ΣΠΑ είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των διεργασιών που πρέπει να γίνουν ούτως ώστε κάθε εξοπλισμός να συνεχίσει να λειτουργεί με βάση τις προδιαγραφές που έχουν θέσει οι χρήστες του.*

### **3.3 Τα επτά βασικά ερωτήματα για την ΣΠΑ**

Η ΣΠΑ ουσιαστικά θέτει κάποια ερωτήματα σχετικά με τον εξοπλισμό ή το σύστημα για το οποίο θα εφαρμοσθεί και είναι τα ακόλουθα:

- Ποιες είναι οι λειτουργίες και οι σχετιζόμενες προδιαγραφές επίδοσης του εξοπλισμού στο τωρινό τους, πλαίσιο λειτουργίας.
- Με ποιον τρόπο ο εξοπλισμός αποτυγχάνει να πραγματοποιήσει τις προκαθορισμένες του λειτουργίες.
- Τι προκαλεί την καθεμιά από τις λειτουργικές βλάβες.
- Τι συμβαίνει ακριβώς όταν εμφανίζεται μια βλάβη.
- Ποια είναι η σημαντικότητα της κάθε βλάβης.
- Τι μπορεί να γίνει για να προλάβουμε ή να προβλέψουμε την βλάβη.

- Τι πρέπει να γίνει αν δεν μπορεί να ευρεθεί προληπτική ή διορατική ενέργεια.

### **3.3.1 Λειτουργίες και προδιαγραφές επίδοσης**

Πριν είναι εφικτό να εφαρμοσθεί μια διαδικασία για τον καθορισμό αυτών που πρέπει να γίνουν για να συνεχίσει ένα φυσικό πάγιο να λειτουργεί εντός των προδιαγραφών του πρέπει να γίνουν τα εξής:

- Καθορισμός, από τους χρήστες, όσον αφορά τις λειτουργίες του παγίου.
- Εξασφάλιση ότι το πάγιο είναι ικανό να εκπληρώσει τις απαιτήσεις των χρηστών του, εν γένει.

Γι' αυτό και το πρώτο βήμα στην ΣΠΑ είναι ο καθορισμός των λειτουργιών του εξοπλισμού μαζί με τις προδιαγραφές επίδοσης. Οι αναμενόμενες, από τους χρήστες, λειτουργίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Πρωτεύουσες λειτουργίες, οι οποίες συνοψίζουν τον λόγο για τον οποίο αγοράσθηκε ο εξοπλισμός. Αυτή η κατηγορία καλύπτει λειτουργίες όπως η ταχύτητα, η απόδοση, η μεταφορική ή αποθηκευτική χωρητικότητα, ποιότητα και εξυπηρέτηση του πελάτη.
- Δευτερεύουσες λειτουργίες, οι οποίες υπενθυμίζουν ότι ο εξοπλισμός αναμένεται να ικανοποιεί κι άλλες λειτουργίες εκτός των πρωτευουσών. Οι χρήστες έχουν απαιτήσεις στους τομείς της ασφάλειας, του ελέγχου, του περιορισμού, της άνεσης, της δομικής ακεραιότητας, της οικονομίας, της προστασίας, της αποδοτικής λειτουργίας, της συμμόρφωσης με τα περιβαλλοντικά πρότυπα και της εμφάνισης του εξοπλισμού.

Οι χρήστες του εξοπλισμού συνήθως είναι οι καταλληλότεροι άνθρωποι για να γνωρίζουν τη σπουδαιότητα του εξοπλισμού που χειρίζονται. Γι' αυτό και πρέπει να έχουν ενεργό ρόλο στην διαδικασία σχεδιασμού της ΣΠΑ. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξοικονομηθεί το

ένα τρίτο του χρόνου που χρειάζεται για μια ανάλυση ΣΠΑ. Μάλιστα με αυτόν τον τρόπο όλα τα μέλη που ασχολούνται με την ανάλυση μαθαίνουν πάρα πολλά για το πως λειτουργεί πραγματικά ο εξοπλισμός που χειρίζονται.

### **3.3.2 Λειτουργικές βλάβες.**

Αντικειμενικός σκοπός της συντήρησης είναι η σωστή λειτουργία του εξοπλισμού εντός των προδιαγραφών του. Το μόνο που θα μπορούσε να διακόψει αυτή τη σωστή λειτουργία είναι μια βλάβη. Οπότε η συντήρηση είναι δυνατό να επιτύχει τον σκοπό της με τη σωστή διαχείριση των βλαβών. Όμως προτού εφαρμοσθεί μια πλειάδα τεχνικών διαχείρισης βλαβών πρέπει να αναγνωρισθούν οι βλάβες που μπορούν να προκύψουν. Η ΣΠΑ επιτυγχάνει αυτήν την αναγνώριση σε δύο επίπεδα:

- Πρώτιστα, με την αναγνώριση των συνθηκών που προκαλούν μια κατάσταση βλάβης.
- Με την αναγνώριση των γεγονότων που οδήγησαν τον εξοπλισμό στην κατάσταση βλάβης.

Αυτές οι καταστάσεις βλάβης λέγονται και λειτουργικές βλάβες γιατί όταν συμβούν ο εξοπλισμός δεν μπορεί να λειτουργήσει στα πλαίσια του προκαθορισμένων απαιτήσεων του χρήστη. Αυτός ο ορισμός περιλαμβάνει και τις βλάβες του εξοπλισμού που δεν το θέτουν σε ακινησία αλλά σε μια κατάσταση επίδοσης μη αποδεκτής από τους χρήστες λ.χ. μειωμένης ποιότητας ή ακρίβειας. Όλα αυτά προϋποθέτουν βέβαια ότι έχουν καθορισθεί σαφώς οι λειτουργίες και οι προδιαγραφές επίδοσης του εξοπλισμού.

### **3.3.3 Αιτίες βλάβης.**

Όπως προαναφέρθηκε, όταν αναγνωρισθεί μια βλάβη τότε πρέπει να αναγνωρισθούν και τα γεγονότα που πιθανώς οδήγησαν στην κατάσταση αστοχίας. Αυτά τα γεγονότα λέγονται και αιτίες βλάβης. Οι πιθανές αιτίες βλάβης περιλαμβάνουν αυτές που συμβαί-

νουν σε ίδιο ή παρόμοιο εξοπλισμό που λειτουργεί υπό τις ίδιες συνθήκες, βλάβες που αντιμετωπίζονται προληπτικά από το υπάρχον σύστημα συντήρησης και βλάβες που δεν έχουν συμβεί αλλά είναι πολύ πιθανό να συμβούν.

Οι παραδοσιακές αιτίες βλαβών σχετίζονται με την γήρανση ή την φυσική φθορά. Όμως στις αιτίες βλαβών πρέπει να συμπεριληφθούν οι βλάβες που προκαλούνται από ανθρώπινα λάθη και από λάθη στον αρχικό σχεδιασμό του εξοπλισμού. Είναι σημαντική η αναγνώριση της αιτίας που προκάλεσε την κάθε βλάβη με λεπτομέρειες ούτως ώστε να μην χαραμίζεται χρόνος και προσπάθεια στην αντιμετώπιση των συμπτωμάτων της βλάβης.

#### **3.3.4 Αποτελέσματα βλάβης.**

Το τέταρτο βήμα στην ΣΠΑ περιλαμβάνει την ταξινόμηση των αποτελεσμάτων βλάβης, τα οποία περιγράφουν τι ακριβώς συμβαίνει όταν υπάρξει μια αιτία βλάβης. Αυτή η ταξινόμηση πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για τη σωστή αξιολόγηση των συνεπειών της βλάβης όπως:

- τι αποδείξεις υπάρχουν ότι συνέβη η βλάβη.
- με ποιον τρόπο η βλάβη ενέχει κινδύνους για την ασφάλεια των εργαζομένων ή για το περιβάλλον.
- με ποιον τρόπο επηρεάζει την παραγωγή ή τις διαδικασίες.
- τι φυσική ζημία προκαλεί η βλάβη.
- τι πρέπει να γίνει για να διορθωθεί η βλάβη.

#### **3.3.5 Συνέπειες βλάβης.**

Μια λεπτομερής ανάλυση σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον μπορεί να αποκαλύψει από τρεις έως και δέκα χιλιάδες αιτίες βλάβης. Καθεμία από αυτές επηρεάζει την επιχείρηση με διαφορετικό τρόπο. Μπορεί να επηρεάσει τις διαδικασίες, την ποιότητα παραγωγής, την εξυπηρέτηση του πελάτη, την ασφάλεια ή το περιβάλλον. Σίγουρα όμως θα απορροφήσουν πόρους για να επισκευασθούν. Αυτές τις



συνέπειες ουσιαστικά προσπαθεί να προλάβει η συντήρηση, και αυτό γιατί όσο πιο σημαντική είναι μια συνέπεια τόσο προσπαθούμε να την αποφύγουμε. Από την άλλη αν η συνέπεια δεν είναι σημαντική απλώς πρέπει να αποφασίσουμε αν θα γίνει και άλλη εργασία εκτός από τον καθαρισμό και την λίπανση.

Η μεγάλη δύναμη της ΣΠΑ είναι ότι αναγνωρίζει ότι οι συνέπειες των βλαβών είναι περισσότερο σημαντικές από τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Στην ΣΠΑ οι διορατικές ενέργειες γίνονται για να αποφευχθούν οι συνέπειες της βλάβης και όχι καθ' αυτές οι βλάβες. Οι συνέπειες αυτές κατηγοριοποιούνται ως κάτωθι:

*Μη εμφανείς συνέπειες βλάβης:* Αυτές οι συνέπειες δεν έχουν κάποιο άμεσο αντίκτυπο παρόλ' αυτά είναι επικίνδυνες για την επιχείρηση και κυρίως έχουν σχέση με μηχανισμούς προστασίας οι οποίοι παρουσιάζουν και αυτοί βλάβη.

*Συνέπειες στην ασφάλεια και στο περιβάλλον:* Μια βλάβη έχει συνέπεια στην ασφάλεια γιατί μπορεί να προκαλέσει τον τραυματισμό ή και το θάνατο ενός ανθρώπου. Επίσης μπορεί να προκαλέσει συνέπεια στο περιβάλλον όταν αντιβαίνει σε κάποιο περιβαλλοντολογικό νόμο ή πρότυπο.

*Λειτουργικές συνέπειες:* Μια βλάβη έχει λειτουργικές συνέπειες όταν επηρεάζει την απόδοση, την ποιότητα των προϊόντων, την εξυπηρέτηση του πελάτη, τα λειτουργικά έξοδα καθώς και τα έξοδα συντήρησης.

*Μη λειτουργικές συνέπειες:* Αυτές δεν επηρεάζουν την παραγωγή ή τις διαδικασίες και κυρίως έχουν σχέση με το άμεσο κόστος της συντήρησης.

Αυτή η κατηγοριοποίηση αποτελεί τη βάση για το στρατηγικό πλαίσιο που οδηγεί στη λήψη αποφάσεων στην ΣΠΑ. Αυτό γιατί πιέζοντας προς μια δομημένη ανασκόπηση των συνεπειών της κάθε αιτίας βλάβης ολοκληρώνονται οι λειτουργικοί, περιβαλλοντικοί και οι αντικειμενικοί σκοποί που έχουν σχέση με την ασφάλεια, της συντήρησης.

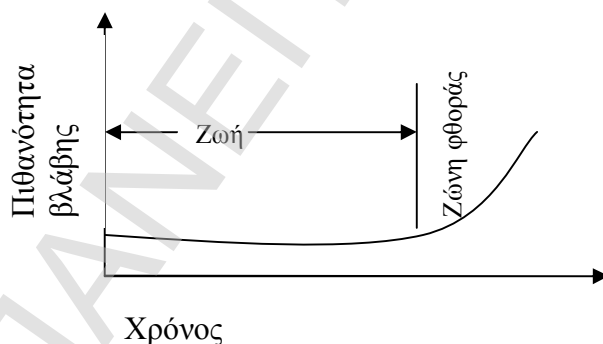
### 3.3.6 Διορατικές ενέργειες

Η αξιολόγηση των συνεπειών δείχνει ότι τελικά δεν υπάρχει λόγος όλες οι βλάβες να έχουν προληφθεί. Αντιθέτως, δίνει έμφαση στις εργασίες της συντήρησης που έχουν την καλύτερη επίδραση στην επιχείρηση. Επίσης, ενθαρρύνει νέους τρόπους για την αντιμετώπιση των βλαβών εκτός της προληπτικής συντήρησης. Οι τεχνικές διαχείρισης βλαβών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

*Διορατικές ενέργειες:* Τέτοιες ενέργειες γίνονται πριν μια βλάβη συμβεί με σκοπό ο εξοπλισμός να μην περιέλθει σε μια κατάσταση βλάβης. Αυτές παραδοσιακά είναι οι τεχνικές προληπτικής και προβλεπτικής συντήρησης.

*Προκαθορισμένες ενέργειες:* Αυτές γίνονται όταν ο εξοπλισμός βρίσκεται σε κατάσταση βλάβης και επιλέγονται όταν δεν μπορεί να ευρεθεί μια διορατική ενέργεια. Τέτοιες είναι η εύρεση βλάβης, ο επανασχεδιασμός και η λειτουργία μέχρι τη βλάβη.

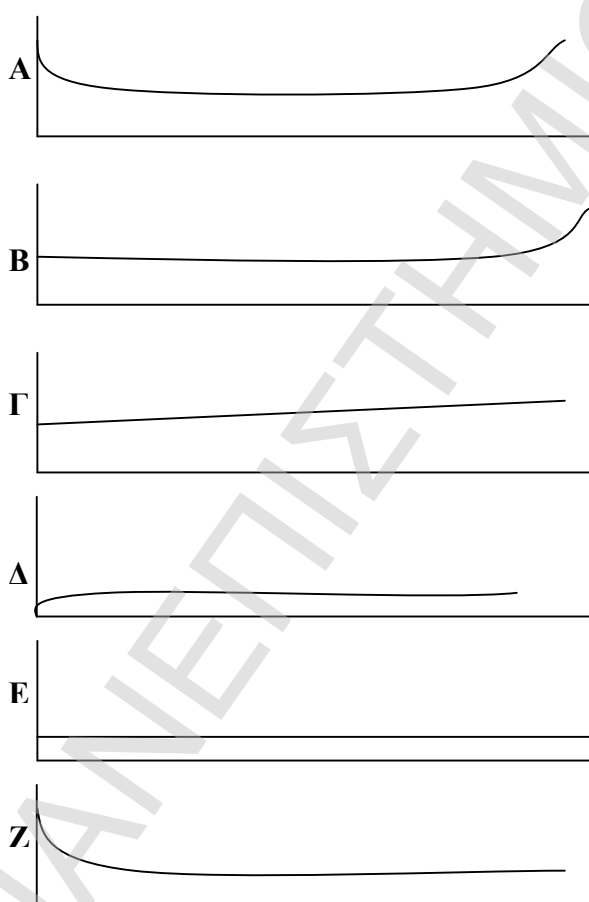
Παλαιότερα υπήρχε η άποψη ότι ο καλύτερος τρόπος να βελτιστοποιηθεί η διαθεσιμότητα μια εγκατάστασης ήταν η συστηματική εκτέλεση διορατικών ενεργειών. Η Δεύτερη Γενιά υπέδειξε ότι πρέπει να αποτελείται από επιθεωρήσεις ή αντικαταστάσεις εξαρτημάτων σε σταθερές περιόδους. Το σχήμα 3.1 δείχνει τη σταθερή περίοδο μεταξύ βλαβών.



Σχήμα 3. 1 Κλασσική μορφή βλάβης

το σχήμα 3.1 στηρίζεται στην υπόθεση ότι τα περισσότερα αντικείμενα λειτουργούν με αξιοπιστία για συγκεκριμένη περίοδο της ζωής τους και μετά φθείρονται. Οπότε λογικό θα ήταν να δράσουμε προληπτικά λίγο πριν αυτό φθαρεί. Αυτό το μοντέλο επαληθεύεται για κάποιους τύπους απλού εξοπλισμού και συνθετότερου που έχει επικρατούσες αιτίες βλαβών. Πιο συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά φθοράς βρίσκονται εύκολα όταν ο εξοπλισμός έρχεται σε άμεση επαφή με τα προϊόντα. Οι σχετιζόμενες με την ηλικία βλάβες συνδέονται με την κόπωση, της διάβρωση, την τριβή και την εξάτμιση.

Γενικά, ο εξοπλισμός είναι πιο σύνθετος από ότι ήταν πριν είκοσι χρόνια. Αυτό οδήγησε στον επαναπροσδιορισμό των προτύπων βλαβών και γήρανσης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3. 2 Έξι πρότυπα βλαβών

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η πιθανότητα βλάβης σε σχέση με το χρόνο λειτουργίας για πλειάδα ηλεκτρομηχανολογικών εξαρτημάτων. Μελέτες στην πολιτική αεροπορία έδειξαν ότι το 4% ακολουθεί το πρότυπο Α, 2% το Β, 5% το Γ, 7% το Δ, 14% το Ε και 68% το Ζ. Γενικά στη βιομηχανία και όσο πολυπλοκότεροι είναι οι εξοπλισμοί εμφανίζεται το πρότυπο Ε και Ζ.

Τα ευρήματα αυτά αντιφάσκουν με την ιδέα ότι υπάρχει πάντα μια σχέση μεταξύ αξιοπιστίας και χρόνου λειτουργίας. Αυτή η ιδέα είχε οδηγήσει στην πίστη ότι όσο πιο συχνά επιθεωρείται ένα εξάρτημα τόσο πιο απίθανο είναι να παρουσιάσει βλάβη. Σήμερα αυτό συμβαίνει σπάνια. Μάλιστα οι προγραμματισμένες επιθεωρήσεις μπορούν κάλλιστα να αυξήσουν το ρυθμό βλαβών με το να θέτουν τα σταθερά συστήματα εκ νέου, στην περίοδο της παιδικής θνησιμότητας.

Εξαιτίας αυτών, πολλές επιχειρήσεις απέρριψαν την προσέγγιση των διορατικών ενεργειών και ιδιαίτερα για βλάβες με ασήμαντες συνέπειες. Όμως όταν οι συνέπειες είναι σημαντικές η ανάγκη για τέτοιες ενέργειες γίνεται επιτακτική. Στο ευρύτερο πλαίσιο της ΣΠΑ οι διορατικές ενέργειες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: προγραμματισμένες επισκευές αποκατάστασης, προγραμματισμένες εργασίες απόρριψης και προγραμματισμένες εργασίες υπό κατάσταση λειτουργίας.

*Προγραμματισμένες επισκευές αποκατάστασης και προγραμματισμένες εργασίες απόρριψης:* Η προγραμματισμένη αποκατάσταση συνεπάγεται την επανακατασκευή ενός εξαρτήματος ή την επιθεώρηση της συναρμολόγησης πριν από ένα όριο ηλικίας άσχετα με την κατάσταση του εξαρτήματος. Παρόμοια, η προγραμματισμένη απόρριψη συνεπάγεται την απόρριψη ενός εξαρτήματος πριν από μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο του, ανεξάρτητα πάλι από την κατάστασή του. Αυτές οι δύο μέθοδοι αποτελούν την προληπτική συντήρηση.

*Εργασίες υπό κατάσταση λειτουργίας:* Η πλειοψηφία αυτών των εργασιών ή τεχνικών στηρίζεται στο ότι πριν από τις περισσότε-

ρες βλάβες υπάρχει ένα προειδοποιητικό σήμα πριν εμφανισθούν. Αυτά τα σήματα είναι γνωστά και ως πιθανές βλάβες και ορίζονται ως οι αναγνωρίσιμες φυσικές συνθήκες που δείχνουν ότι μια λειτουργική βλάβη θα εμφανισθεί ή βρίσκεται στη διαδικασία εμφάνισής της.

Αυτές οι τεχνικές λοιπόν εντοπίζουν πιθανές βλάβες ούτως ώστε να εκτελεσθούν οι απαραίτητες ενέργειες και να αποφευχθούν οι συνέπειες που θα οδηγήσουν σε λειτουργικές βλάβες. Ονομάζονται υπό κατάσταση λειτουργίας γιατί ο εξοπλισμός λειτουργεί σε κατάσταση τέτοια που συνεχίζει να εκπληρώνει τις προδιαγραφές των χρηστών. Η συντήρηση υπό κατάσταση λειτουργίας περιλαμβάνει την προβλεπτική συντήρηση, την παρακολούθηση κατάστασης και την συντήρηση στηριγμένη στην κατάσταση λειτουργίας.

### **3.3.7 Προκαθορισμένες ενέργειες**

Η ΣΠΑ αναγνωρίζει τρεις κατηγορίες προκαθορισμένων ενεργειών:

- Εύρεση βλάβης: Η εύρεση βλάβης σχετίζεται με τον έλεγχο κρυμμένων λειτουργιών περιοδικά, για να καθορισθεί αν έχουν αποτύχει.
- Επανασχεδιασμός: Ο επανασχεδιασμός περιλαμβάνει αλλαγές στην υπάρχουσα ικανότητα του συστήματος. Τέτοιες αλλαγές είναι οι τροποποιήσεις στον φυσικό εξοπλισμό και τις διαδικασίες.
- Μη προγραμματισμένη συντήρηση: Αυτή η συντήρηση λαμβάνει χώρα όταν ο εξοπλισμός έχει τεθεί πια σε ακινησία λόγω βλάβης.

### 3.4 Η κριτική της ΣΠΑ

Γενικά, η συντήρηση προσανατολισμένη στην αξιοπιστία είναι μια φιλοσοφία που έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των κλασικών μεθόδων συντήρησης. Πιο συγκεκριμένα προσφέρει:

-Μεγαλύτερη ασφάλεια και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί η ΣΠΑ πρώτα εξετάζει την ασφάλεια και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν οι αιτίες βλαβών και ύστερα προσμετρά τον αντίκτυπο στις λειτουργίες. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται προσπάθεια για τον περιορισμό των κινδύνων όσον αφορά την ασφάλεια και το περιβάλλον, αν όχι η εξάλειψή τους. Εξάλλου, στη ΣΠΑ η ασφάλεια είναι σημαντικό κριτήριο στην λήψη αποφάσεων σχετικά με τη συντήρηση.

-Βελτιωμένες λειτουργικές επιδόσεις. Η ΣΠΑ αναγνωρίζει ότι όλες οι τεχνικές συντήρησης έχουν κάποια αξία και διαμορφώνει τους κανόνες για την επιλογή της βέλτιστης τεχνικής, ανάλογα με την κατάσταση. Έτσι διασφαλίζεται ότι για κάθε εξοπλισμό επιλέγονται οι πιο αποτελεσματικές τεχνικές συντήρησης, ενώ στις περιπτώσεις που η συντήρηση δεν βοηθά, επιλέγονται οι κατάλληλες ενέργειες (τροποποιήσεις, απόρριψη).

Η ΣΠΑ αναπτύχθηκε για να επιτρέψει στις αεροπορικές εταιρίες να σχεδιάσουν προγράμματα συντήρησης για νέους τύπους αεροσκαφών που δεν είχαν χρησιμοποιήσει. Οπότε είναι και η ιδεατή μέθοδος για το σχεδιασμό προγραμμάτων για καινούριο εξοπλισμό που είναι πολύπλοκος και δεν υπάρχει επαρκές ιστορικό βλαβών. Αυτό περιορίζει και τη φιλοσοφία δοκιμής και λάθους η οποία εφαρμόζεται σε νέα προγράμματα συντήρησης και βέβαια είναι κοστοβόρος όσον αφορά τα λάθη και χρονοβόρος όσον αφορά τις δοκιμές.

-Μεγαλύτερη αποδοτικότητα στα κόστη που απορροφά η συντήρηση. Η ΣΠΑ προσανατολίζεται στις εργασίες συντήρησης που έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στις επιδόσεις της εγκατάστασης. Αυτό σημαί-

νει ότι οι πόροι που δαπανούνται για τη συντήρηση είναι οι ελάχιστοι δυνατοί.

Επιπρόσθετα, όταν η ΣΠΑ εφαρμοσθεί σωστά μειώνει σημαντικά το ποσοστό των εργασιών ρουτίνας από 40% έως και 70%. Τέλος, ένα νέο πρόγραμμα συντήρησης που στηρίζεται στην ΣΠΑ είναι πιο ισορροπημένο από άποψη φόρτου εργασίας σε σχέση με την κλασική συντήρηση.

-Μεγαλύτερη χρήσιμη ζωή των ακριβών αντικειμένων(εξοπλισμών) εξαιτίας της έμφασης που δίδεται στις τεχνικές συντήρησης υπό κατάσταση λειτουργίας.

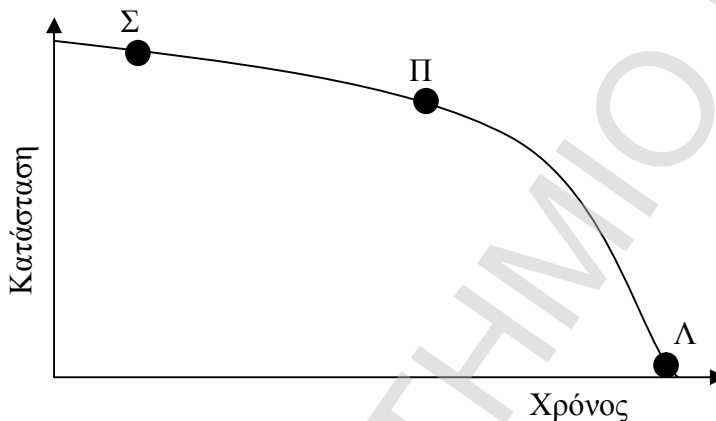
-Περιεκτική βάση δεδομένων. Μια αξιολόγηση στα πλαίσια της ΣΠΑ δίδει μια πολύ περιεκτική βάση δεδομένων για τις απαιτήσεις σε συντήρηση όλων των αντικειμένων της επιχείρησης. Αυτό σημαίνει ότι είναι εφικτό να προσαρμοσθεί στις διάφορες εναλλαγές (αλλαγή σε βάρδιες του προσωπικού ή στην τεχνολογία) χωρίς να επαναπροσδιορισθούν όλες οι πολιτικές για τη συντήρηση από την αρχή. Επίσης υποδεικνύει στους χρήστες του εξοπλισμού ότι η συντήρηση έχει στηριχθεί σε λογικές διαδικασίες. Τέλος, μειώνονται τα μειονεκτήματα της ανάγκης εξειδικευμένου προσωπικού αφού οι πληροφορίες που βρίσκονται αποθηκευμένες στα φύλλα εργασίας μιας ΣΠΑ απαιτούν μικρό βαθμό εμπειρίας και εξοικείωσης για να κατανοηθούν.

## Κεφάλαιο 4° Προβλεπτική συντήρηση

### 4.1 Πιθανές βλάβες και συντήρηση

Αν και πολλές αιτίες βλαβών δεν σχετίζονται με την ηλικία, πολλές από αυτές δίδουν μια προειδοποίηση όταν βρίσκονται στη διαδικασία να εμφανισθούν. Αν υπάρχουν αποδείξεις ότι κάτι βρίσκεται στα τελευταία στάδια πριν τη εμφάνιση βλάβης, είναι δυνατό να γίνουν ενέργειες για να αποφευχθεί η βλάβη ή οι συνέπειές της.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τι συμβαίνει πριν εμφανισθεί μια βλάβη:



Σχήμα 4. 1 Καμπύλη Π-Λ

Αυτή η καμπύλη λέγεται Π-Λ γιατί δείχνει μια βλάβη πότε αρχίζει (σημείο Σ), πώς επιδεινώνεται έως το σημείο που μπορεί να εντοπισθεί (σημείο Π, υποδηλώνει Πιθανή Βλάβη) και πότε φτάνει στο σημείο της λειτουργικής βλάβης (σημείο Λ, υποδηλώνει Λειτουργική Βλάβη) όταν βέβαια δεν εντοπίσθηκε ή δεν έγιναν οι απαραίτητες διεργασίες για να επισκευασθεί. Πιθανή βλάβη είναι μια αναγνωρίσιμη κατάσταση που υποδεικνύει την εμφάνιση μια βλάβης. Στην πράξη υπάρχουν πολλοί τρόποι για να βρεθεί αν μια βλάβη είναι στη διαδικασία του να συμβεί. Παραδείγματα πιθανών βλαβών είναι τα θερμά σημεία που δείχνουν φθορά στις υψικαμίνους ή στις ηλεκτρικές μονώσεις, οι ταλαντώσεις που υποδεικνύουν επικείμενες βλάβες στα ρουλεμάν, μικρορωγμές που δείχνουν μεταλλική κόπωση, συστατικά

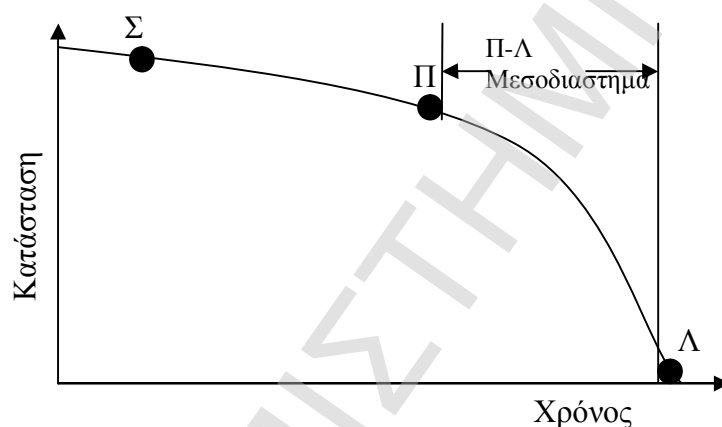


στα λάδια των κιβωτίων ταχυτήτων που δείχνουν επικείμενες φθορές στα γρανάζια.

Όταν εντοπισθεί μια πιθανή βλάβη μεταξύ των σημείων Π και Λ είναι δυνατό να προληφθεί ή και να αποφευχθεί μια λειτουργική βλάβη ή συνέπειες της. Εργασίες που σχεδιάζονται για τον εντοπισμό πιθανών βλαβών είναι γνωστές ως εργασίες υπό κατάσταση λειτουργίας. Αυτές είναι γνωστές και ως προβλεπτική συντήρηση.

#### 4.2 Το μεσοδιάστημα Π-Λ

Πέρα από την πιθανή βλάβη είναι σημαντική παράμετρος και ο χρόνος ή ο αριθμός των κύκλων φόρτισης μεταξύ του σημείου που εμφανίζεται μια πιθανή βλάβη (σημείο Π) και του σημείου που εμφανίζεται μια λειτουργική βλάβη (σημείο Λ).



Σχήμα 4. 2 Π-Λ Μεσοδιάστημα

Αυτό το μεσοδιάστημα λέγεται Π-Λ μεσοδιάστημα και υποδεικνύει πόσο συχνά πρέπει να γίνονται οι εργασίες προβλεπτικής συντήρησης. Για να εντοπισθεί μια πιθανή βλάβη πριν γίνει λειτουργική πρέπει το μεσοδιάστημα μεταξύ των ελέγχων να είναι μικρότερο από το μεσοδιάστημα Π-Λ.

Το μεσοδιάστημα Π-Λ είναι μια προειδοποιητική περίοδος, μια περίοδος ανάπτυξης της βλάβης. Μπορεί να μετρηθεί με διάφορες μονάδες, που παρέχουν ενδείξεις για τις φορτίσεις, όπως χρόνος λει-

τουργίας, μονάδες απόδοσης, κύκλος έναρξης-διακοπής, αλλά για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης ο χρόνος.

Συνήθως οι εργασίες προβλεπτικής συντήρησης που γίνονται σε χρονικά διαστήματα που είναι μεγαλύτερα από το μεσοδιάστημα Π-Λ μπορούν να αποτύχουν στην αναγνώριση μια αιτίας βλάβης. Όμως και από την άλλη μεριά αν τα χρονικά διαστήματα μεταξύ της συντήρησης είναι πολύ μικρά σε σχέση με το μεσοδιάστημα Π-Λ τότε θα σπαταληθούν πόροι.

Στην πράξη το επαρκές διάστημα είναι ίσο με το μισό του μεσοδιαστήματος Π-Λ. Αυτό διασφαλίζει ότι ο έλεγχος θα εντοπίσει τις πιθανές βλάβες ενώ θα υπάρχει και το απαιτούμενο χρονικό διάστημα για να γίνουν διορθωτικές ενέργειες για την αποφυγή της ενδεχόμενης λειτουργικής βλάβης. Αυτό οδηγεί στην έννοια του καθαρού μεσοδιαστήματος Π-Λ.

### **Το καθαρό μεσοδιάστημα Π-Λ.**

Το καθαρό μεσοδιάστημα είναι το ελάχιστο δυνατό μεσοδιάστημα μεταξύ του εντοπισμού μιας πιθανής βλάβης και την εξέλιξή της σε λειτουργική. Ισούται με τη διαφορά του μεσοδιαστήματος Π-Λ και του μεσοδιαστήματος ελέγχου. Επί παράδειγμα αν το μεσοδιάστημα Π-Λ είναι εννιά μήνες και ο χρόνος ελέγχου (ή επιθεώρησης) είναι ένας μήνας τότε το καθαρό μεσοδιάστημα Π-Λ είναι οκτώ μήνες. Δηλαδή, οι διορθωτικές ενέργειες, λ.χ. επισκευή, πρέπει να γίνουν μέσα σε αυτό το διάστημα των οκτώ μηνών. Στην περίπτωση όμως που το διάστημα ελέγχου ήταν έξι μήνες τότε το καθαρό μεσοδιάστημα Π-Λ θα ήταν τρεις μήνες. Αυτό σημαίνει ότι για στη δεύτερη περίπτωση το διάστημα ελέγχου είναι μεγαλύτερο (λιγότεροι πόροι για τον έλεγχο) είναι πιο μικρή η περίοδος για την αντιμετώπιση της πιθανής βλάβης.

Το καθαρό μεσοδιάστημα Π-Λ δείχνει το διαθέσιμο χρόνο για την αντιμετώπιση ή την εξάλειψη μιας βλάβης και των συνεπειών της.

Ανάλογα, με το πλαίσιο λειτουργίας του εξοπλισμού υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την αποφυγή των συνεπειών τους στους παρακάτω τομείς:

- Χρόνος εκτός λειτουργίας. Σε αυτόν το χρόνο μπορεί να σχεδιασθούν οι διορθωτικές ενέργειες. Η ευκαιρία που παρουσιάζεται για το σωστό σχεδιασμό της διορθωτικής δράσης την κάνει πιο εφικτή. Λόγου χάριν όταν ένα ηλεκτρικό αντικείμενο βρεθεί να υπερθερμαίνεται πριν καεί ολοκληρωτικά τότε μπορεί να αντικατασταθεί πιο εύκολα όταν ο εξοπλισμός είναι ανενεργός. Πρέπει να σημειωθεί ότι με αυτόν τον τρόπο δεν προλαμβάνεται η αντιμετώπιση της βλάβης, αφού το ηλεκτρικό αντικείμενο θα αστοχήσει, αλλά προλαμβάνονται οι συνέπειες της βλάβης που είναι η διακοπή λειτουργίας του εξοπλισμού που μπορεί βέβαια να είναι καταστρεπτική για την επιχείρηση.
- Κόστη επισκευής. Οι χρήστες συνήθως μπορούν να αποτρέψουν δευτερεύουσες ζημιές που προκαλούνται από απρόσμενες βλάβες. Αυτό μειώνει αισθητά το χρόνο εκτός λειτουργίας και τα κόστη επισκευής. Για παράδειγμα ένα προειδοποιητικό σήμα μπορεί να οδηγήσει τους χρήστες να σταματήσουν μια μηχανή πριν αυτή διαλυθεί από ένα χαλασμένο ρουλεμάν.
- Ασφάλεια. Η προειδοποίηση για μια βλάβη δίδει χρόνο για την κλείσιμο της εγκατάστασης πριν η κατάσταση γίνει επικίνδυνη για του ανθρώπους ή για το περιβάλλον.

Για να είναι τεχνικά εφικτή η συντήρηση υπό κατάσταση λειτουργίας πρέπει το καθαρό μεσοδιάστημα Π-Λ να είναι μεγαλύτερο από το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για τις ενέργειες αποτροπής των συνεπειών της βλάβης.

Γενικά, το μεγάλο μεσοδιάστημα Π-Λ είναι επιθυμητό για δίδεται ο απαραίτητος χρόνος για το σχεδιασμό δράσης αλλά και γιατί

απαιτούνται λιγότεροι έλεγχοι υπό κατάσταση λειτουργίας. Αυτό εξηγεί και το γεγονός ότι γίνεται μεγάλη προσπάθεια για την εύρεση μεθόδων προβλεπτικής συντήρησης που έχουν μεγάλο μεσοδιάστημα Π-Λ. Όμως αυτό δεν σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται και τα πολύ μικρά μεσοδιαστήματα Π-Λ.

### **Συνοχή μεσοδιαστήματος Π-Λ.**

Το μεσοδιάστημα Π-Λ δεν είναι σταθερό πάντοτε για δεδομένη βλάβη και μπορεί να έχει σχετικά μεγάλο χρονικό εύρος. Λ.χ. όταν σχετίζεται με την αλλαγή στα επίπεδα θορύβου σε μια μηχανή μπορεί να είναι από δύο εβδομάδες έως και έξι μήνες. Γι' αυτό λοιπόν όταν το εύρος είναι μικρό επιλέγεται ένα καθαρό μεσοδιάστημα Π-Λ μικρότερο από το μικρότερο άκρο του εύρους. Όταν όμως το εύρος είναι μεγάλο τότε ίσως είναι αντισυμβατική η λύση της προβλεπτικής συντήρησης.

### **4.3 Τεχνική εφικτότητα εργασιών προβλεπτικής συντήρησης.**

Οι προγραμματισμένες εργασίες προβλεπτικής συντήρησης είναι τεχνικά εφικτές όταν:

- Είναι δυνατό να καθορισθεί ξεκάθαρα η πιθανή κατάσταση βλάβης.
- Το μεσοδιάστημα Π-Λ έχει μεγάλη συνοχή (μικρό εύρος).
- Είναι πρακτική η παρακολούθηση του εξοπλισμού σε χρονικά διαστήματα μικρότερα του μεσοδιαστήματος Π-Λ.
- Το καθαρό μεσοδιάστημα Π-Λ είναι αρκετά μεγάλο για να μπορούν να γίνουν διορθωτικές επεμβάσεις.

#### **4.4 Κατηγορίες τεχνικών προβλεπτικής συντήρησης.**

Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες τεχνικών προβλεπτικής συντήρησης:

- Οι τεχνικές παρακολούθησης της κατάστασης λειτουργίας που περιλαμβάνουν τη χρήση ειδικού εξοπλισμού (αισθητήρες ταλαντώσεων, θερμογραφική κάμερα) για την παρακολούθηση της κατάστασης άλλου εξοπλισμού.
- Τεχνικές που βασίζονται στη διακύμανση της ποιότητας των προϊόντων.
- Τεχνικές παρακολούθησης πρωτευόντων επιδράσεων, που περιλαμβάνουν την ευφυή χρήση των υπάρχοντων οργάνων μέτρησης και την παρακολούθηση του εξοπλισμού παραγωγής.
- Τεχνικές επιθεώρησης που βασίζονται στις ανθρώπινες αισθήσεις.

##### **4.4.1 Παρακολούθηση κατάστασης λειτουργίας.**

Οι πιο ευαίσθητες τεχνικές προβλεπτικής συντήρησης είναι αυτές που περιλαμβάνουν την χρήση εξοπλισμού που ανιχνεύει τις πιθανές βλάβες και ονομάζονται τεχνικές παρακολούθησης λειτουργίας.

Τέτοιες έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες και είναι εκατοντάδες. Όλες έχουν σχεδιασθεί για να εντοπίζουν τα αποτελέσματα της βλάβης και για την ακρίβεια τα αποτελέσματα των πιθανών βλαβών όπως αλλαγές στις δονήσεις, αλλαγές στη θερμοκρασία, συστατικά τα λάδια λίπανσης. Οπότε διαχωρίζονται με βάση τα δυναμικά, χημικά, φυσικά, θερμοκρασιακά, ηλεκτρικά και μοριακά αποτελέσματα που προκαλεί η πιθανή βλάβη.

Αυτές είναι ουσιαστικά πιο ευαίσθητες από τις ανθρώπινες αισθήσεις και μάλιστα μπορούν να προειδοποιήσουν μήνες ή και χρόνια για μια βλάβη. Όμως σχεδόν όλες οι συσκευές παρακολούθησης

παρακολουθούν μία και μόνο κατάσταση γεγονός που καθιστά κάποιες από αυτές αντισυμβατικές.

Τα μεσοδιαστήματα Π-Λ που σχετίζονται με αυτές τις τεχνικές είναι από λίγα λεπτά έως και μήνες. Επίσης διαφορετικές τεχνικές δείχνουν κάποια βλάβη με διαφορετικό βαθμό ακρίβειας. Και οι δύο αυτοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη στην αξιολόγηση της σκοπιμότητας κάθε τεχνικής.

Εν γένει, οι τεχνικές παρακολούθησης της κατάστασης λειτουργίας μπορεί να είναι θεαματικά αποτελεσματικές όταν είναι κατάλληλες, ενώ όταν είναι ακατάλληλες είναι δαπανηρές και χρονοβόρες. Συμπερασματικά, πριν εφαρμοσθούν πρέπει να αξιολογηθούν τα κριτήρια επιλογής της τεχνικής εφικτότητας των προβλεπτικών εργασιών.

#### **4.4.2 Διακύμανση στην ποιότητα των προϊόντων.**

Σε πολλές βιομηχανίες η διαχείριση της ποιότητας είναι μια σημαντική πηγή για την εξόρυξη πληροφοριών σε σχέση με τις πιθανές βλάβες. Συχνά ένα ελάττωμα σε παραγόμενο προϊόν συνδέεται άμεσα με αιτία βλάβης στη μηχανή που το παρήγαγε. Πολλά από αυτά τα ελαττώματα αναδύονται βαθμιαία και παρέχουν χρόνο για τον εντοπισμό των πιθανών βλαβών. Αν μάλιστα υπάρχουν οι μηχανισμοί συλλογής πληροφοριών και αξιολόγησης τότε εύκολα και οικονομικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προειδοποιούν για βλάβες στον εξοπλισμό.

Μια τέτοια τεχνική είναι ο στατιστικός ποιοτικός έλεγχος (ΣΠΕ) που μετρώνται διάφορα χαρακτηριστικά των προϊόντων όπως διαστάσεις, επίπεδα πλήρωσης όγκου ή βάρους, και χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη σταθερότητα της διαδικασίας. Τα διαγράμματα ελέγχου που εξάγονται μετρούν την διακύμανση στην παραγωγική διαδικασία. Όταν, λοιπόν, οι διακυμάνσεις αυτές μπορούν να συνδεθούν άμεσα με κάποιες πηγές βλαβών

τότε τα διαγράμματα αυτά συνεισφέρουν στις εργασίες της προβλεπτικής συντήρησης.

#### **4.4.3 Τεχνικές παρακολούθησης πρωτευόντων επιδράσεων.**

Οι πρωτεύουσες επιδράσεις όπως η ταχύτητα, η απόδοση, η πίεση, η θερμοκρασία είναι άλλη μια πηγή πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση του εξοπλισμού. Οι επιδράσεις αυτές μπορούν να παρακολουθηθούν χειροκίνητα ή με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Οι πληροφορίες αυτές συγκρίνονται με τις πληροφορίες αναφοράς ούτως ώστε παραχθούν κάποια συμπεράσματα για πιθανές βλάβες. Αυτό όμως προϋποθέτει τα εξής:

- Ο άνθρωπος που παίρνει τις μετρήσεις πρέπει να ξέρει πότε όλα βαίνουν καλώς και πότε παρουσιάζεται πιθανή ή λειτουργική βλάβη.
- Οι μετρήσεις συλλέγονται με συχνότητα που είναι μικρότερη από το μεσοδιάστημα Π-Λ.
- Το όργανο μέτρησης πρέπει να συντηρείται για να διατηρεί την ακρίβειά του.

Η διαδικασία της συλλογής μετρήσεων μπορεί να απλοποιηθεί όταν τα όργανα μέτρησης είναι μαρκαρισμένα ή χρωματισμένα με βάση την ορθή ή μη λειτουργία του εξοπλισμού που μετρούν.

#### **4.4.4 Οι ανθρώπινες αισθήσεις.**

Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές προβλεπτικής συντήρησης βασίζονται στις ανθρώπινες αισθήσεις. Όμως υπάρχουν δυο βασικά μειονεκτήματα στο εντοπισμό πιθανών βλαβών με τις αισθήσεις:

- Όταν είναι εφικτό να εντοπισθούν οι βλάβες από τις ανθρώπινες αισθήσεις τότε η φθορά του εξοπλισμού έχει προχωρήσει αρκετά. Αυτό σημαίνει ότι το μεσοδιάστημα Π-Λ είναι μικρό

και οι έλεγχοι πρέπει να είναι συχνοί και ανταπόκριση σε πιθανή βλάβη γρήγορη.

- Η όλη διαδικασία είναι υποκειμενική οπότε είναι δύσκολα να αναπτυχθούν ακριβή κριτήρια επιθεώρησης ενώ οι παρατηρήσεις εξαρτώνται πολύ από την εμπειρία και την οξυδέρκεια του παρατηρητή.

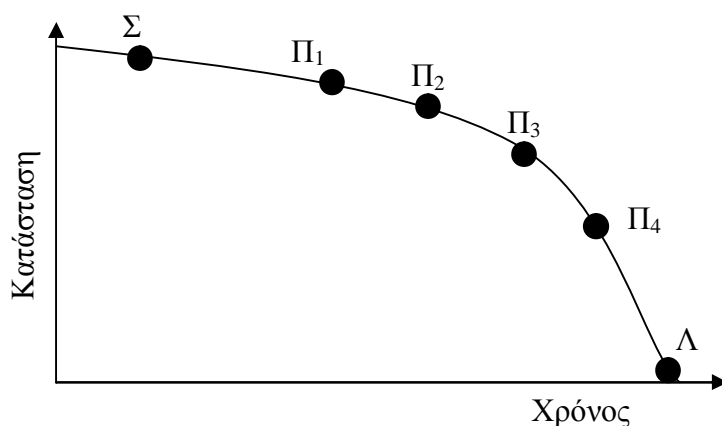
Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι ο άνθρωπος είναι αρκετά εύστροφος και μπορεί να εντοπίζει ένα μεγάλο εύρος βλαβών σε σχέση με τις συσκευές που εντοπίζουν μόνο μια πιθανή βλάβη, ενώ είναι και αρκετά οικονομικό αφού γίνεται από ανθρώπους που είναι κοντά στον εξοπλισμό και ούτως η άλλως αποτελεί και καθήκον τους. Τέλος ο άνθρωπος μπορεί να κρίνει την κρισιμότητα της κατάστασης και να λάβει την απαιτούμενη δράση ενώ μια συσκευή θα στείλει μόνο ένα προειδοποιητικό σήμα.

#### **4.5 Επιλέγοντας την κατάλληλη τεχνική προβλεπτικής συντήρησης.**

Πολλές αιτίες βλαβών σχετίζονται με πολλές διαφορετικές πιθανές βλάβες γι' αυτό και είναι πιθανό να είναι απαραίτητες παραπάνω από μία τεχνικές. Καθεμιά από αυτές θα έχουν διαφορετικό μεσοδιάστημα Π-Λ.

Έστω, ένα ρουλεμάν του οποίου η λειτουργική βλάβη είναι η εμπλοκή λόγω φυσιολογικής φθοράς. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι η βλάβη έπεται ύστερα από μια πλειάδα πιθανών βλαβών που μπορούν να εντοπισθούν με διαφορετικές τεχνικές προβλεπτικής συντήρησης.





Σχήμα 4.3 Διαφορετικές πιθανές βλάβες σε ένα ρουλεμάν

Στο σημείο  $\Pi_1$  εμφανίζονται αλλαγές στις δονήσεις που μπορούν να εντοπισθούν από ανάλυση δονήσεων με μεσοδιάστημα Π-Λ ίσο με ένα έως εννιά μήνες. Στο σημείο  $\Pi_2$  εμφανίζονται μόρια φθαρμένου υλικού στα λάδια λίπανσης με μεσοδιάστημα Π-Λ ίσο με ένα έως έξι μήνες. Στο σημείο  $\Pi_3$  εμφανίζεται ακουστικός θόρυβος με μεσοδιάστημα Π-Λ ίσο με ένα έως τέσσερις μήνες ενώ τέλος στο σημείο  $\Pi_4$  εμφανίζεται θερμοκρασία που εντοπίζεται με την αφή με μεσοδιάστημα Π-Λ ίσο με μία έως πέντε μέρες.

Αυτό δε σημαίνει ότι όλα τα ρουλεμάν θα παρουσιάσουν όλες αυτές τις πιθανές βλάβες αλλά και ούτε το ότι τα μεσοδιαστήματα θα είναι όπως τα παραπάνω. Η επιλογή της τεχνικής θα εξαρτηθεί από το λειτουργικό πλαίσιο του ρουλεμάν. Για παράδειγμα το ρουλεμάν μπορεί να είναι τόσο βαθιά τοποθετημένο στη μηχανή που είναι αδύνατο να ελεγχθούν οι δονήσεις ή μπορεί να είναι αδύνατο να προσδιορισθεί η βλάβη μέσω ανάλυσης λαδιών όταν το σύστημα λίπανσης είναι ενιαίο και για άλλους εξοπλισμούς.

Για την ακρίβεια οι τεχνικές της προβλεπτικής συντήρησης εντοπίζουν 25-35% των πηγών βλάβης. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι τεχνικές δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αλλά το ότι πρέπει να αναπτυχθούν παράλληλα στρατηγικές για τη διαχείριση των υπόλοιπων βλαβών.

#### **4.6 Τα μειονεκτήματα των τεχνικών προβλεπτικής συντήρησης.**

Όταν εκτιμάται η τεχνική σκοπιμότητα μια μεθόδου προβλεπτικής συντήρησης πρέπει να ληφθεί υπόψη η διάκριση πιθανών και λειτουργικών βλαβών καθώς και η διάκριση μεταξύ πιθανής βλάβης και ηλικίας του εξοπλισμού.

##### *Πιθανές και λειτουργικές βλάβες.*

Στην πράξη υπάρχει έντονη σύγχυση μεταξύ πιθανών και λειτουργικών βλαβών. Αυτό συμβαίνει γιατί κάποια κατάσταση λειτουργία μπορεί να εκληφθεί ως πιθανή ή ως λειτουργική βλάβη ιδωμένη υπό διαφορετικό πρίσμα. Αυτό γίνεται συνήθως με τις διαρροές. Λόγου χάριν μια διαρροή σε ένα σύνδεσμο σωλήνων που ρέει νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως πιθανή βλάβη. Οπότε η εργασία που πρέπει να γίνει είναι ο έλεγχος των συνδέσμων για διαρροές. Η συχνότητα αυτής της εργασίας εξαρτάται από τον χρόνο που χρειάζεται μια μικρή διαρροή να γίνει μη αποδεκτή ούτως ώστε να επισκευασθεί. Στην περίπτωση όμως που ο αγωγός αυτός διαρέεται από τοξικές ουσίες η μικρή διαρροή χαρακτηρίζεται ως λειτουργική χρειάζεται οπωσδήποτε επισκευή αλλά και τροποποίηση για να μην συμβεί ξανά. Πολλές φορές μάλιστα κάποιες βλάβες εντέλει αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον είτε με άλλους εξοπλισμούς και εκ του αποτελέσματος κρίνονται ως λειτουργικές ενώ όταν παρατηρούνται από το χρήστη ως πιθανές.

##### *Το μεσοδιάστημα Π-Λ και η λειτουργική ζωή.*

Όταν εφαρμόζεται για πρώτη φορά η ΣΠΑ δημιουργείται μία σύγχυση μεταξύ μεσοδιαστήματος και λειτουργικής ζωής. Αυτό οδηγεί στο να επιλέγονται οι συχνότητες των προβλεπτικών εργασιών με βάση την πραγματική ή την ιδεατή ζωή του αντικειμένου. Η ζωή εί-

ναί ένα χρονικό διάστημα πολλές φορές μεγαλύτερο από το μεσοδιάστημα Π-Λ και έτσι οι εργασίες είναι πρακτικά ανούσιες. Η ζωή ενός αντικειμένου προσμετράται από τη στιγμή που μπαίνει σε λειτουργία ενώ το μεσοδιάστημα Π-Λ πριν από την λειτουργική βλάβη, οπότε αυτές οι δύο έννοιες συχνά δεν συνδέονται. Η διάκριση αυτή είναι σημαντική γιατί οι βλάβες που δεν εξαρτώνται από τη γήρανση, οι τυχαίες βλάβες δηλαδή, μπορούν να δώσουν ένα προειδοποιητικό σήμα πριν συμβούν. Η τυχαιότητα των βλαβών επιβάλλει την έναρξη των περιοδικών ελέγχων από την αρχή λειτουργίας του εξοπλισμού αφού η τυχαία βλάβη μπορεί να εμφανισθεί στην αρχή της ζωής του.

## **Κεφάλαιο 5° Θερμογραφία**

### **5.1 Γενικότητες**

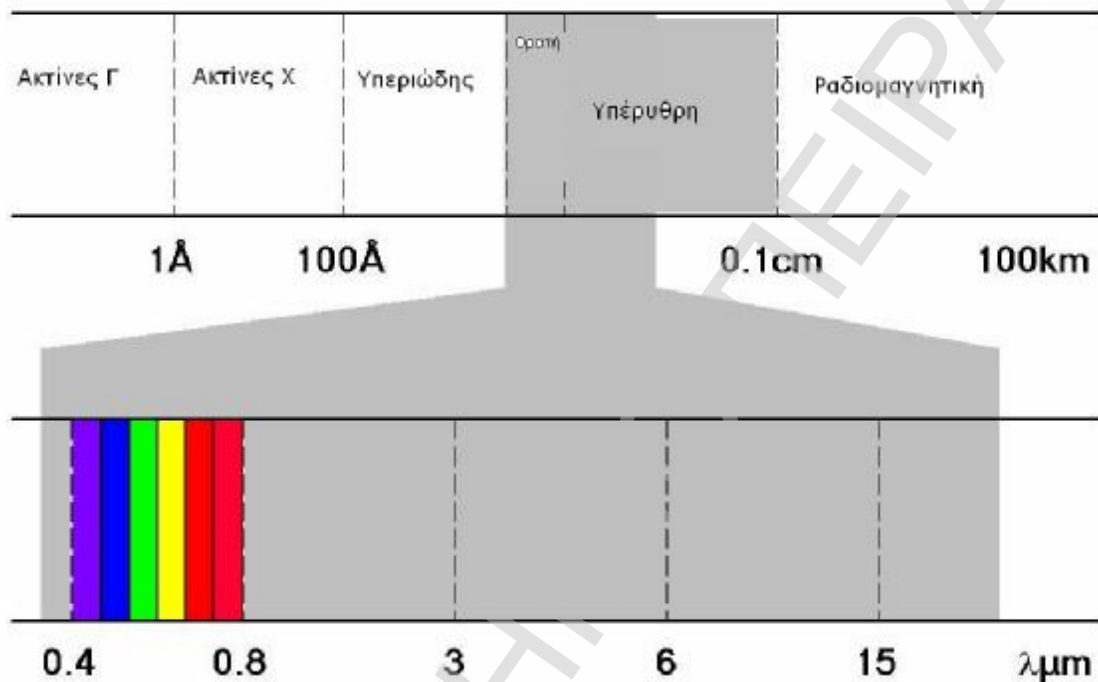
Η θερμογραφία είναι μια μέθοδος ελέγχου ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού που στηρίζεται στις φωτογραφίες κατανομής θερμότητας. Αυτή η μέθοδος είναι εφικτή εξαιτίας του ότι τα περισσότερα αντικείμενα εμφανίζουν μια αύξηση στη θερμοκρασία τους όταν δυσλειτουργούν. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε ένα ηλεκτρολογικό εξοπλισμό μπορεί να οφείλεται στην χαλάρωση της συνδεσμολογίας ενώ στην περίπτωση μιας μηχανής στην φθορά ενός ρουλεμάν. Με την παρακολούθηση των υποδειγμάτων θερμότητας στα λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος μπορούν να εντοπισθούν διάφορες βλάβες και να εκτιμηθεί η σημαντικότητά τους.

Οι έλεγχοι από του θερμογράφους γίνονται με θερμικούς απεικονιστές (θερμογραφική κάμερα ή βιντεοκάμερα). Αυτές οι συσκευές μετρούν την ακτινοβολία της υπέρυθρης ακτινοβολίας ενός θερμασμένου αντικειμένου και παράγουν μια θερμογραφική απεικόνιση. Οι μοντέρνες συσκευές είναι συνήθως φορητές και αυτόνομες σε σχέση με τις συσκευές που υπήρχαν στα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα οι οποίες προσαρμόζονταν στις μηχανές αυτόματης εμφάνισης της Polaroid. Επειδή δεν χρειάζεται η επαφή με το σύστημα οι έλεγχοι μπορούν να γίνουν σε πλήρη λειτουργία χωρίς να υφίστανται απώλειες στην παραγωγή.

### **5.2 Η θερμογραφία από Φυσική σκοπιά.**

Όταν ένα αντικείμενο θερμανθεί εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αντικειμένου. Ο θερμικός απεικονιστής προσδιορίζει τη θερμοκρασία του αντικειμένου, χωρίς να έρχεται σε επαφή με αυτό, μετρώντας την εκπεμπόμενη ενέργεια.

Η ενέργεια που ακτινοβολεί ένα θερμό αντικείμενο μπορεί να βρίσκεται σε διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ενέργεια ακτινοβολείται σε μήκη υπέρυθρης ακτινοβολίας.

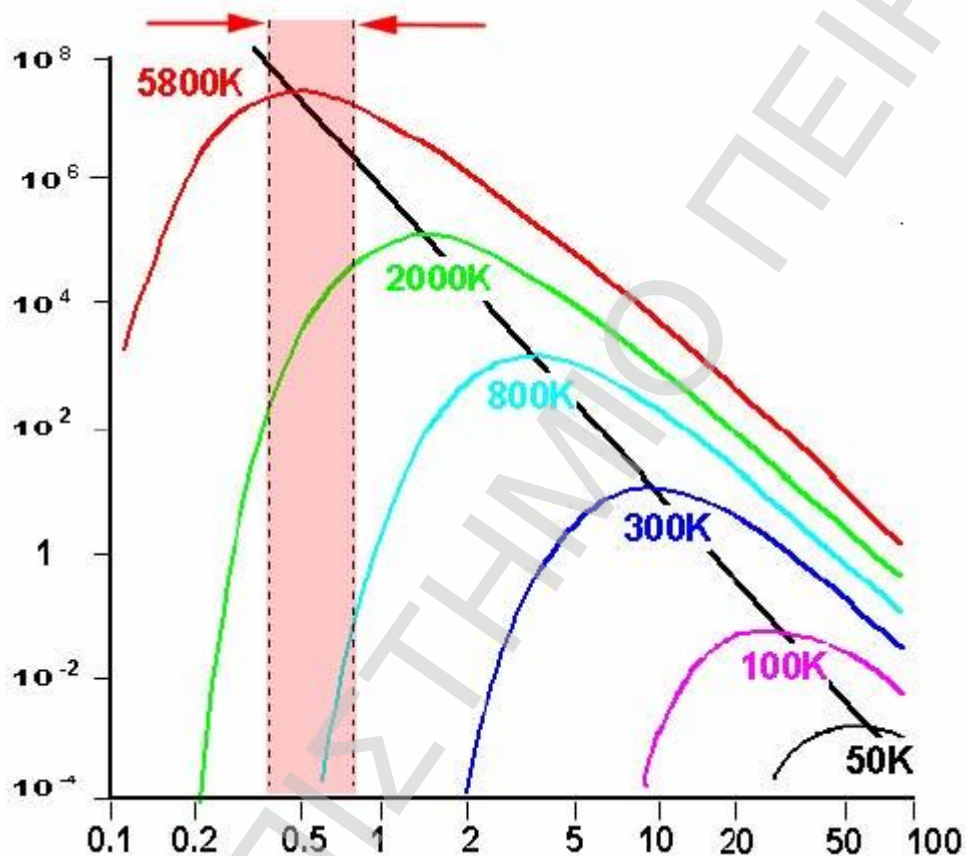


Σχήμα 5. 1 Το υπέρυθρο κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται οι διάφορες μορφές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως οι ακτίνες Γ, οι ακτίνες Χ, η υπεριώδης, η υπέρυθρη και η ραδιομαγνητική ακτινοβολία. Όλες εκπέμπονται με τη μορφή κύματος με διαφορετικά μήκη όμως. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να διακρίνει κυματομορφές από 0.4 έως και 0.75 μικρόμετρα. Το μεγαλύτερο εύρος μετρήσεων θερμοκρασίας με βάση την υπέρυθρη ακτινοβολία γίνεται στο εύρος από 0.2 έως και 20 μικρόμετρα. Γι' αυτό οι περισσότερες εκπομπές υπέρυθρης ακτινοβολίας αποτυπώνονται όχι με απλή φωτογραφική κάμερα αλλά με θερμικό απεικονιστή. Αυτό συμβαίνει γιατί η ενέργεια εστιάζεται μέσω ενός οπτικού συστήματος σε ένα ανιχνευτή που μετατρέπει την υπέρυθρη ενέργεια σε ηλεκτρικό σήμα που ύστερα από ενίσχυση και

πολύπλοκη επεξεργασία κύματος, διαμορφώνει τη θερμική απεικόνιση.

Το σχήμα 5.2 δείχνει την ενέργεια που εκπέμπει ένα σώμα σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες το επιμέρους μέγιστο της ενεργειακής στάθμης εμφανίζεται υψηλότερα. Το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο επιμέρους μέγιστο γίνεται μικρότερο με την αύξηση της θερμοκρασίας.



Σχήμα 5.2 Κατανομή υπέρυθρης ενέργειας σε σχέση με το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Το ποσό της ενέργειας που ακτινοβολεί ένα σώμα εξαρτάται από την θερμοκρασία και από τον συντελεστή ικανότητας εκπομπής. Ένα σώμα που έχει την ιδιότητα να ακτινοβολεί τη μέγιστη δυνατή ενέργεια όταν έχει μια συγκεκριμένη θερμοκρασία λέγεται μέλαν σώμα. Σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής ισούται με τη μονάδα αλλά τέτοιο σώμα δεν υπάρχει στη φύση και αυτό γιατί καθώς η θερμότητα μεταφέρεται από το εσωτερικό του

σώματος προς το περιβάλλον πάντα το ίδιο το σώμα απορροφά κάποιο ποσό αυτής. Ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής  $\epsilon$  δίδεται από τον

τύπο:

$$\epsilon = \frac{\text{ακτινοβολία που εκπέμπει το σώμα σε θερμοκρασία } T}{\text{ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μέλαν ό σώμα σε θερμοκρασία } T}$$

Ο συντελεστής  $\epsilon$  λοιπόν είναι μια έκφραση της ικανότητας ενός αντικειμένου να εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία.

Όταν δυο υλικά με υψηλό και χαμηλό συντελεστή  $\epsilon$  αντίστοιχα τοποθετηθούν σε ένα φούρνο και θερμανθούν στην ίδια θερμοκρασία τότε το υλικό με το χαμηλότερο  $\epsilon$  θα φαίνεται με το μάτι πιο θολό. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτό το υλικό φαίνεται ψυχρότερο από το άλλο εξαιτίας του ότι ακτινοβολεί σε διαφορετικά επίπεδα. Ένας θερμικός απεικονιστής λειτουργεί κάπως έτσι και παράγει ένα λάθος στη μέτρηση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία του αντικειμένου δεν μπορεί να προσδιορισθεί μόνο από την εκπεμπόμενη υπέρυθη ενέργεια αλλά πρέπει να είναι γνωστός και ο συντελεστής  $\epsilon$  του αντικειμένου.

Ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής  $\epsilon$  ενός σώματος μπορεί να καθορισθεί είτε με έρευνα στη βιβλιογραφία των κατασκευαστών είτε με εργαστηριακές μεθόδους. Για να υπερπηδηθεί εμπόδιο του καθορισμού του συντελεστή υπάρχουν δύο μέθοδοι: α) Μαθηματική διόρθωση της θερμοκρασίας που μετρήθηκε. Αυτό γίνεται συνήθως στον επεξεργαστή σήματος του θερμικού απεικονιστή. Οι περισσότεροι απεικονιστές έχουν μια αντισταθμιστική λειτουργία που ρυθμίζεται από το χρήστη. β) Μπορεί να είναι δυνατή η βαφή της επιφάνειας με ένα φιλμ υλικού με υψηλό συντελεστή  $\epsilon$ .

Όταν γίνονται οι θερμογραφικοί έλεγχοι τα λάθη μπορούν εύκολα να ανιχνευθούν με τη σύγκριση των προτύπων θερμότητας σε παρόμοια υλικά τα οποία λειτουργούν υπό παρόμοιες φορτίσεις. Αυτό αποτελεί μια εναλλακτική πρόταση στην ακριβή πρόβλεψη του συντελεστή  $\epsilon$  για κάθε αντικείμενο και της απόλυτης θερμοκρασίας του.

### 5.3 Οι θερμικοί απεικονιστές στην προβλεπτική συντήρηση.

Στις σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις απαιτείται η ελαχιστοποίηση των απρογραμμάτιστων βλαβών λειτουργίας και των οικονομικών ζημιών που συνεπάγεται η παύση της παραγωγής. Γι' αυτό και έχουν προταθεί πολλά πλάνα προβλεπτικής συντήρησης.

Η θερμογραφία όσον αφορά τις εργασίες της προβλεπτικής συντήρησης στηρίζεται στο ότι τα περισσότερα αντικείμενα δείχνουν μια αύξηση στη θερμοκρασία τους πριν εμφανίσουν κάποια βλάβη. Οι θερμικοί απεικονιστές που χρησιμοποιούνται για συντήρηση έχουν τα παρακάτω οφέλη:

- Οι έλεγχοι μπορούν να γίνουν με τον εξοπλισμό να βρίσκεται σε λειτουργία χωρίς την παύση της παραγωγής.
- Επιμήκυνση της ζωής του εξοπλισμού.
- Μείωση του χρόνου εκτός λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Αύξηση της αξιοπιστίας της εγκατάστασης.
- Σωστός προγραμματισμός των επιδιορθώσεων.
- Είναι δυνατός ο έλεγχος της ποιότητας των εργασιών επισκευής.

Οι θερμικοί απεικονιστές χρησιμοποιούνται κυρίως για την προβλεπτική συντήρηση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, μηχανολογικού εξοπλισμού και μη επισκευάσιμων κατασκευών.

### 5.4 Έλεγχοι ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

Οι πιο κρίσιμοι παράγοντες στην αξιοπιστία μιας διαδικασίας ή μιας εγκατάστασης είναι η θερμοκρασία και η θερμική συμπεριφορά της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, του εξοπλισμού διανομής της και των βιομηχανικών ηλεκτρολογικών συστημάτων. Η θερμοκρασία ήταν ανέκαθεν η πιο μετρήσιμη ποσότητα στο βιομηχανικό περιβάλλον. Γι' αυτούς του λόγους η παρακολούθηση της θερμικής συμπε-



ριφοράς όταν λειτουργεί ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός είναι και το κλειδί στην αύξηση της αξιοπιστίας.

Η θερμογραφία ως τεχνική προβλεπτικής συντήρησης χρησιμοποιείται για τη συλλογή θερμοκρασιακών πληροφοριών για όλα τα ηλεκτρολογικά στοιχεία του συστήματος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έως και τον τελικό χρήστη. Αυτό συμβαίνει διότι όλοι οι εξοπλισμοί όταν λειτουργούν υπό κανονικές συνθήκες έχουν μια συγκεκριμένη θερμική συμπεριφορά. Η θερμογραφία ουσιαστικά ανιχνεύει τη θερμική υπογραφή ενός εξοπλισμού η οποία χρησιμοποιείται και ως σημείο αναφοράς. Όταν καταγραφεί το σημείο αυτό τότε οι φωτογραφίες μπορούν να αποκαλύψουν τις θερμοκρασιακές διαφοροποιήσεις. Αυτή η τοπική διαφοροποίηση μπορεί να έχει προκληθεί από υπερθέρμανση ή μη σωστή θέρμανση. Οι πληροφορίες αυτές εξετάζονται και παίρνονται αποφάσεις για την επισκευή ή την παρακολούθηση του εξοπλισμού σε επιλεγμένο χρονικό ορίζοντα. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να αποθηκευθούν και αναλυθούν πλήρως, μετέπειτα, παρέχοντας έτσι δυνατότητες προβλεπτικής συντήρησης με την υποστήριξη πληροφοριακών συστημάτων.

Η θερμογραφία αναπτύσσεται πολύ γρήγορα αφού ολοένα και περισσότεροι βιομηχανικοί τομείς την υιοθετούν. Ο λόγος είναι γιατί το προσωπικό των επιχειρήσεων αντιλαμβάνεται τη σπουδαιότητα μιας μη καταστροφικής μεθόδου που ανιχνεύει τα φθαρμένα αντικείμενα πριν προκαλέσουν μια καταστροφική βλάβη.

#### **5.4.1 Έλεγχος κατάστασης λειτουργίας με υπέρυθρη κάμερα.**

Πρέπει να τονισθεί ότι κανένας ηλεκτρολογικός εξοπλισμός δεν δουλεύει αποδοτικά 100%. Η ηλεκτρική ροή σε ένα ηλεκτρολογικό σύστημα παράγει μικρά ποσά θερμότητας εξαιτίας της θερμικής αντίστασης. Με τον καιρό τα στοιχεία και οι επιφάνειες επαφής ενός ηλεκτρικού συστήματος αρχίζουν να φθείρονται. Εξαιτίας αυτής της φθοράς αυξάνεται η θερμική αντίσταση του εξοπλισμού και τα ποσά

θερμότητας που εκλύονται λόγω αυτής, έως ότου επέλθει μια λειτουργική βλάβη. Η ταχύτητα φθοράς στα ηλεκτρικά αντικείμενα αυξάνεται από τα κυμαινόμενα ή υψηλά φορτία, από τις δονήσεις, από την κόπωση, τη γήρανση καθώς και από το λειτουργικό περιβάλλον που μπορεί να έχει υψηλή θερμοκρασία, ρεύματα αέρα, χημική διάβρωση και σκόνη.

Παγκοσμίως η ηλεκτρική βιομηχανία αποδέχεται τη θερμοκρασία ως εξαιρετο δείκτη της λειτουργικής κατάστασης του εξοπλισμού, άρα και της αξιοπιστίας και της μακροζωίας του. Διάφοροι οργανισμοί και κατασκευαστές δημοσιεύουν πρότυπα και χαρακτηριστικά όρια θερμοκρασίας για ηλεκτρικά στοιχεία. Βέβαια η ζωή αυτών των στοιχείων μειώνεται δραστικά όταν οι θερμοκρασίες τους αυξάνονται.

Η παρακολούθηση της λειτουργίας του εξοπλισμού με θερμογραφία αποκαλύπτει την ύπαρξη μια ανωμαλίας διαμέσου της απεικόνισης της θερμοκρασιακής κατανομής που προκαλεί η ανωμαλία στην επιφάνεια του ηλεκτρικού στοιχείου. Η ανωμαλία προφανώς θα αλλάξει την θερμική υπογραφή της επιφάνειας λόγω της αλλαγής του ποσού θερμότητας που παράγεται και της αλλαγής των ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας του ηλεκτρικού στοιχείου. Για τα ηλεκτρικά αντικείμενα η θερμοκρασιακή κατάσταση αναφοράς λαμβάνεται όταν το σύστημα λειτουργεί σε φυσιολογικές λειτουργικές συνθήκες και υπό φυσιολογική φόρτιση.

Μόλις υπάρξει μια πλήρης και καθαρή εικόνα για τις κανονικές θερμικές υπογραφές για πολλές ηλεκτρολογικές συσκευές και στοιχεία ο Θερμογράφος είναι σε θέση να αναγνωρίσει γρήγορα μια ανωμαλία. Για μεγαλύτερα και πιο κρίσιμα αντικείμενα όπως μετασχηματιστές και πυκνωτές οι φωτογραφίες αναφοράς θα αποθηκευθούν και θα συγκριθούν με νέα δεδομένα που θα συλλεχθούν από κάθε μεσοδιάστημα ελέγχου. Είναι δουλειά του Θερμογράφου να αναγνωρίσει, να καταγράψει και να διαγνώσει ενδείξεις μη σωστής μεταφοράς θερμότητας στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

Είναι σημαντικό η συλλογή δεδομένων να είναι ακριβής, επαναλαμβανόμενη και σωστά αναλυμένη. Αυτό θα εξαρτηθεί από την κατανόηση του θερμογράφου όσον αφορά το θερμικό απεικονιστή που χρησιμοποιείται, τη θεωρία μεταφοράς θερμότητας και από το βαθμό εμπειρίας του.

#### **5.4.2 Θερμογραφία ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.**

Η κύρια εφαρμογή της θερμογραφίας είναι στον έλεγχο των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Η θερμογραφία υπέρυθρης ακτινοβολίας ήταν ένα εργαλείο ελέγχου πριν ακόμα εμφανισθούν οι όροι της προβλεπτικής συντήρησης. Το 1965 η Σουηδική Εταιρεία Ενέργειας έλεγξε πάνω από 150000 αντικείμενα. Σήμερα η θερμογραφία αποτελεί παράγοντα αύξησης της αξιοπιστίας και μείωση του χρόνου εκτός λειτουργίας.

Το ενδιαφέρον για τη θερμογραφία μεγαλώνει αφού κάθε ασχολούμενος με τη συντήρηση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ξέρει ότι στην εγκατάστασή του αρχίζει η φθορά, η οποία μπορεί συχνά να οδηγήσει σε καταστροφική βλάβη, μη προγραμματισμένη παύση λειτουργίας και σε απώλειες στην παραγωγή.

#### **5.4.3 Πηγές θερμοκρασιακών διαφορών.**

Η θερμότητα που παράγεται από ένα ηλεκτρικό αντικείμενο είναι ανάλογη του τετραγώνου της έντασης του ρεύματος και της αντίστασής του. Το αντικείμενο αυτό με την πάροδο του χρόνου φθείρεται και μεγαλώνει η αντίστασή του εκλύοντας μεγαλύτερα ποσά θερμότητας. Όσο αυξάνεται όμως η θερμοκρασία τόσο αυξάνεται και η αντίσταση και εκλύεται ακόμη περισσότερη θερμότητα. Αυτή η διαδικασία είναι δυνατό να συνεχισθεί μέχρι τη μικρότερη θερμοκρασία τήξεως των διαφόρων υλικών του αντικειμένου. Με τη θερμογραφία γίνεται έλεγχος του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και τα στοιχεία που

δεν λειτουργούν σωστά ανιχνεύονται και κατατάσσονται με βάση βαθμό μη σωστής λειτουργίας του.

Όταν συντελείται μια θερμογραφία σε ένα σύστημα είναι αναγκαία η κατανόηση του ότι η ακτινοβολία από την επιφάνεια που εξετάζουμε δεν οφείλεται μόνο στην θερμοκρασία της επιφάνειας. Γι' αυτό οι πηγές υποδειγμάτων θερμικών διαφορών χωρίζονται στις : *Πραγματικές θερμοκρασιακές μεταβολές*. Αυτές προκαλούνται μόνο από την υπέρυθη ακτινοβολία που εκλύεται από την επιφάνεια του αντικειμένου.

*Φαινομενικές θερμοκρασιακές μεταβολές*. Αυτές προκαλούνται από άλλους παράγοντες πέραν της επιφάνειας του αντικειμένου.

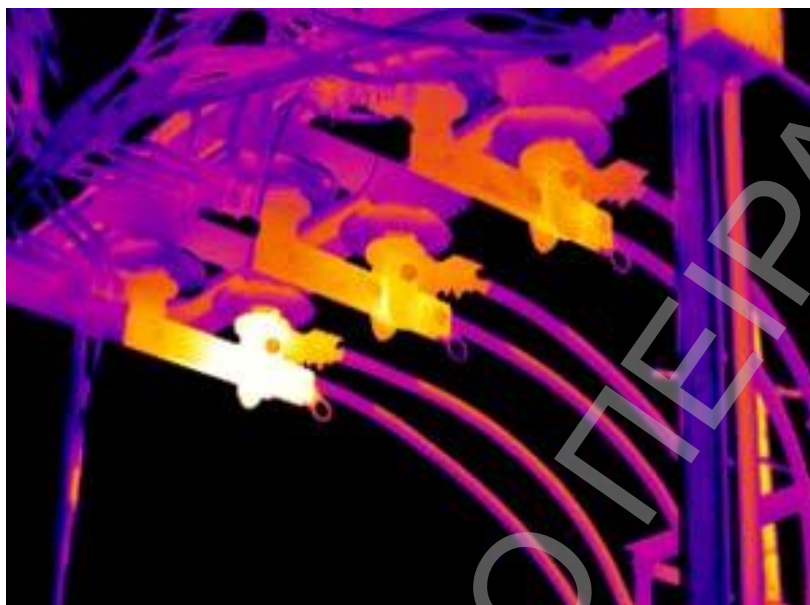
Διάφορες πηγές θερμοκρασιακών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Πραγματικές</b>	<b>Φαινομενικές</b>
Θερμικές Απώλειες -Αυξημένη αντίσταση -Διακύμανση φορτίου	Εκπομπή
Αρμονικές	Αντανάκλαση
Προκαλούμενη θέρμανση	Γεωμετρία της επιφάνειας
Μετάδοση θερμότητας με αγωγή	Απορρόφηση
Θερμοχωρητικότητα	
Εξάτμιση	

**Πίνακας 5. 1** Πηγές θερμοκρασιακών μεταβολών

Από τις πραγματικές πηγές αυτές που συνδέονται με πιθανές λειτουργικές βλάβες είναι οι θερμικές απώλειες, οι αρμονικές και η προκαλούμενη θέρμανση. Οι άλλες τρεις πηγές θα αλλάξουν τη θερμοκρασία της εξεταζόμενης επιφάνειας αλλά δεν συνδέονται με κάποια πιθανή λειτουργική βλάβη. Μάλιστα μπορούν να προκαλέσουν σύγχυση και στην εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων από τον θερμογράφο. Οι θερμοκρασιακές αλλαγές δεν συμβαίνουν κατ' ανάγκη από ελάττωμα στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, αλλά και από εξωγενείς

παράγοντες. Γι' αυτό και είναι πολύ εύκολο να ξεγελαστεί κάποιος από κάποια θερμά σημεία που θα εμφανισθούν σε μια φωτογραφία.



Σχήμα 5. 3 Έλεγχος συστήματος ενέργειας

#### 5.4.4 Εφαρμογές της θερμογραφίας.

Η θερμογραφία μπορεί να εφαρμοσθεί σε πάρα πολλά είδη εξοπλισμού και διαδικασιών, από στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και σε πλακέτες εργαλειομηχανών. Οι εφαρμογές αυτές υποπίπτουν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Παραγωγή ενέργειας: Υδροηλεκτρική, θερμική και πυρηνική.
- Διανομή ενέργειας: Μεταφορά, Πίνακες σταθμών ισχύος, υποσταθμοί, και διανομή
- Βιομηχανικοί καταναλωτές: Σε όλες τις διαδικασίες και στη κατασκευή των βιομηχανιών.
- Εμπορικοί καταναλωτές: Αποθήκες, κτίρια γραφείων, τράπεζες και λοιπά κτίρια.

Για παράδειγμα η επιχείρηση αερίου και ηλεκτρικού της Βαλτιμόρης πραγματοποιεί θερμογραφικούς ελέγχους στις γραμμές 40000 μιλίων και σε περισσότερους από 175 υποσταθμούς με στόχο όπως

υποστηρίζει την αυξημένη αξιοπιστία την οποία καρπώνεται ο τελικός καταναλωτής της.

#### **5.4.5 Πλεονεκτήματα των θερμογραφικών ελέγχων σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.**

Τα δύο βασικά πλεονεκτήματα της θερμογραφία είναι

1. Η μείωση στην αποσυναρμολόγηση, επανακατασκευή και επιδιόρθωση των στοιχείων που λειτουργούν σωστά. Αυτός ο τύπος συντήρησης είναι κοστοβόρος και επιπλέον μπορεί να μειώσει την παραγωγή έως και 30%. Επίσης κανείς δεν εγγυάται ότι το στοιχείο που επιδιορθώθηκε ή αλλάχθηκε θα είναι σε καλύτερη κατάσταση αφού δεν εντοπίσθηκε η αιτία της βλάβης. Αντίθετα με τη θερμογραφία θα επισκευασθεί μόνο ότι έχει παρουσιάσει μια πιθανή βλάβη.
2. Τα προβλήματα που υπάρχουν μπορούν να αναγνωρισθούν γρήγορα δίνοντας τον απαιτούμενο χρόνο για την επιδιόρθωση. Με την αναγνώριση μια πραγματικής ανωμαλίας, προγραμματίζοντας την επιδιόρθωση και εξαλείφοντας την πραγματική αιτία που την προκάλεσε ουσιαστικά εξασφαλίζεται ο αποδοτικός και οικονομικός τρόπος συντήρησης του συστήματος και αύξησης της αξιοπιστίας του.

Επίσης υπάρχουν και άλλα πλεονεκτήματα της θερμογραφίας που έπονται των δύο βασικών:

1. Ασφάλεια. Η βλάβη ηλεκτρολογικών στοιχείων μπορεί να είναι καταστροφική τόσο για το περιβάλλον όσο και για το προσωπικό.
2. Μεγαλύτερα έσοδα. Με λιγότερο χρόνο εκτός λειτουργίας, λόγω βλαβών, τα έσοδα μεγιστοποιούνται. Με λιγότερη συντήρηση σε εξοπλισμό με σωστή λειτουργία και γρηγορότερες επιδιορθώσεις ελαττωματικού εξοπλισμού μειώνονται τα κόστη της συντήρησης.
3. Μείωση κόστους παύσης λειτουργίας της εγκατάστασης. Το κόστος όταν σταματά να λειτουργεί μια εγκατάσταση μπορεί να είναι δέκα φορές μεγαλύτερο από το κόστος προβλεπτικής συντήρησης.

4. Μείωση του αποθέματος σε ανταλλακτικά. Με προηγμένες τεχνικές ελέγχου η βλάβη γίνεται πολύ νωρίτερα ανιχνεύσιμη και λιγότερα ανταλλακτικά απαιτούνται στην αποθήκη. Αυτό φυσικά μειώνει το κόστος logistics τόσο από πλευράς αποθέματος αλλά και από πλευράς απόκρισης του σε μια ζήτηση που έχει εκτιμηθεί και υπάρχει ο χρόνος να ικανοποιηθεί έγκαιρα.

5. Βελτιωμένη και λιγότερο δαπανηρή συντήρηση. Οι προσπάθειες για συντήρηση επικεντρώνονται στην επιδιόρθωση του προβλήματος παρά στην ανίχνευση της αιτίας του ενώ επιδιορθώνονται μόνο τα εξαρτήματα που είναι έτοιμα να αστοχήσουν.

### **5.5 Έλεγχοι μηχανολογικού εξοπλισμού.**

Συνήθως ο εξοπλισμός που ελέγχεται είναι περιστροφικός. Οι αυξημένες επιφανειακές θερμοκρασίες αποτελούν ένδειξη για εσωτερικές πιθανές βλάβες. Μπορεί να παραχθεί υπερβολική θερμότητα από ελαττωματικά ρουλεμάν, από κακή ευθυγράμμιση ή από ανεπαρκή λίπανση.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων στηρίζεται στη σύγκριση με άλλα αντικείμενα που λειτουργούν σε παρόμοιες συνθήκες ή με ανάλυση τάσεων.

#### **5.5.1 Εφαρμογές της θερμογραφίας σε μηχανολογικό εξοπλισμό.**

Ο εξοπλισμός που ελέγχεται με τη θερμογραφία είναι συνήθως ρουλεμάν, γρανάζια, ιμάντες κίνησης, συζεύξεις, άξονες και αντλίες.

Συνήθως, στο μηχανολογικό εξοπλισμό η θερμογραφία χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει την περιοχή που παρουσιάζεται το πρόβλημα και όχι για την αιτία που το δημιούργησε. Τη θερμότητα την παράγει ένα εξάρτημα που δεν είναι ορατό με την κάμερα. Η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή μέσα στο υλικό έως την εξωτερική επι-

φάνεια του την οποία καταγράφει η θερμογραφική κάμερα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η θερμογραφία λειτουργεί επικουρικά αφού ο εξοπλισμός ελέγχεται μετά με άλλες μεθόδους όπως ανάλυση δονήσεων, ανάλυση λαδιών και με υπέρηχο.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μια πιο λεπτομερής αναφορά του εξοπλισμού και των καταστάσεων που ελέγχεται με τη θερμογραφία.

Εφαρμογή	Κατάσταση που ανιχνεύεται
Οδηγοί/Ιμάντες, Κουζινέτα, Σύνδεσμοι, Γρανάζια, Ιμάντες μετάδοσης, Τροχαλίες, Άξονες	Υπερθερμασμένα ρουλεμάν, έλλειψη ευθυγράμμισης σε άξονες, κακή λίπανση λόγω ανόμοιας πίεσης
Κινητήρες	Υπερθέρμανση περιέλιξης και ρουλεμάν, τριβή, φραγή στα ψυχρά κύματα αέρα, αποσβέσεις στα πλάτη ταλαντώσεις, παραμόρφωση στα υλικά
Αντλίες, συμπιεστές, ανεμιστήρες, φυσοσούνες	Υπερθερμασμένα ρουλεμάν, θέρμανση των λαδιών λίπανσης, σπάσιμο των βαλβίδων
Μηχανές εσωτερικής καύσης	Βλάβες στις βαλβίδες και στην έγχυση, φραγή στο ψυκτικό σύστημα, υψηλές θερμοκρασίες στο ψυγείο της μηχανής
Εξοπλισμός υψηλού φόρτου, λάστιχα, ρουλεμάν, φρένα, φούρνοι, κυλινδρόμυλοι	Υπερθερμασμένα φρένα, λάστιχα, τροχαλίες, ρουλεμάν και εμπλοκές στο υδραυλικό σύστημα
Μηχανικές τουρμπίνες, αεριοστρόβιλοι, σωλήνες εξάτμισης	Υψηλή θερμοκρασία στα λάδια και στα ρουλεμάν, λανθασμένη παύση λειτουργίας στις βαλβίδες, φθορά στους θαλάμους καύσης
Φούρνοι, Σωλήνες	Εντοπισμός και ταξινόμηση της ζημιάς που έχει επέλθει στη μόνωση, εντοπισμός διαρροών ατμού
Βαλβίδες	Διαρροές, Αποφράξεις

Πίνακας 5. 2 Εφαρμογές θερμογραφίας σε μηχανολογικό εξοπλισμό

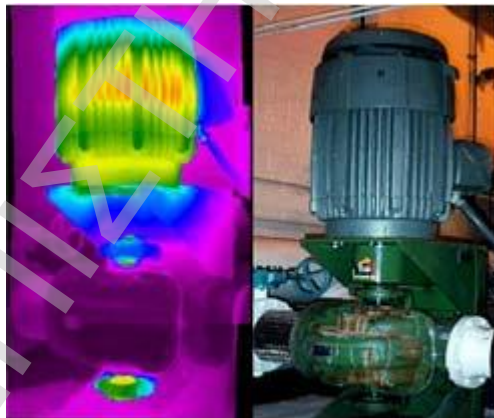


## Κινητήρες και γεννήτριες.

Η θερμική συμπεριφορά ηλεκτροκινητήρων και γεννητριών είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την υλοποίηση ενός προγράμματος προβλεπτικής συντήρησης. Όλοι οι κινητήρες έχουν μια θερμική υπογραφή όταν λειτουργούν φυσιολογικά καθώς και μια μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία. Αυτή η θερμοκρασία συνήθως αναγράφεται στην πινακίδα του κινητήρα και είναι διαφορετική σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Καταστάσεις όπως ανεπαρκής ροή αέρα, μερική αποφόρτιση, βυθίσεις ηλεκτρική τάσης και βλάβη στη μόνωση μπορούν να ανιχνευθούν με τη θερμογραφία.

## Ρουλεμάν.

Οι πιθανές βλάβες στα ρουλεμάν ανιχνεύονται συνήθως, με συγκρίσεις στις θερμοκρασίες επιφανειών όμοιων με αυτά. Η υπερθέρμανση εμφανίζεται ως θερμό σημείο στη θερμοφωτογραφία.



Σχήμα 5. 4 Θερμογραφικός έλεγχος σε ρουλεμάν

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μια αυτοκινητοβιομηχανία είχε συνεχή προβλήματα με τους κινητήρες και τις αντλίες της. Αστοχούσαν τα ρουλεμάν των αντλιών. Ο θερμογραφικός έλεγχος επιβεβαίωσε ότι το ρουλεμάν της βάσης ήταν πιο θερμό από τα υπόλοιπα. Περαιτέρω ανάλυση έδειξε ότι το μηχάνημα ήταν σχεδιασμένο για να λει-

τουργεί σε οριζόντια θέση αλλά λόγω έλλειψης χώρου το τοποθέτησαν κάθετα με αποτέλεσμα να φορτίζεται παραπάνω το ρουλεμάν και να αστοχεί. Μια τέτοια βλάβη κοστίζει περίπου \$15000 για να επισκευασθεί ενώ το κόστος ευκαιρίας για το εργοστάσιο ήταν \$30000 το λεπτό.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

## **Κεφάλαιο 6° Μελέτη περίπτωσης στη Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (ΕΑΒ)**

### **6.1 Η Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία**

Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ Α.Ε. (ΕΑΒ) η οποία ιδρύθηκε το 1975 είναι η μεγαλύτερη κρατική αμυντική βιομηχανία της χώρας. Κύρια αποστολή της είναι η παροχή υπηρεσιών και προϊόντων προς υποστήριξη των πτητικών μέσων των Ελληνικών Ενόπλων Δυνάμεων, ιδιαίτερα της Πολεμικής Αεροπορίας, καθώς και προς άλλους πελάτες του εσωτερικού και εξωτερικού.

Συγκεκριμένα, οι τομείς στους οποίους δραστηριοποιείται η ΕΑΒ καλύπτουν την:

- Εργοστασιακή συντήρηση και βελτιώσεις όπως εκσυγχρονισμό, αναβάθμιση, κλπ. αεροσκαφών, κινητήρων, των παρελκομένων και ηλεκτρονικών τους συστημάτων.
- Ανάπτυξη, σχεδίαση και κατασκευή ηλεκτρονικών, οπτικοηλεκτρονικών και τηλεπικοινωνιακών προϊόντων για στρατιωτική και πολιτική χρήση καθώς και τμημάτων πυραυλικών οπλικών συστημάτων.
- Σχεδίαση και κατασκευή δομικών τμημάτων στρατιωτικών και πολιτικών αεροσκαφών και κινητήρων.
- Τεχνική εκπαίδευση και επαγγελματική κατάρτιση σε όλο το φάσμα των αεροπορικών ειδικοτήτων.
- Διακρίβωση, επισκευή και πιστοποίηση συσκευών ελέγχου και μετρήσεων, μετρονόμων καθώς και ειδικών εργαλείων.

Οι εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός της ΕΑΒ είναι από τους πλέον σύγχρονους ενώ οι μέθοδοι παραγωγής και το ποιοτικό σύστημα που εφαρμόζει εγγυώνται απόλυτη ποιότητα και αξιοπιστία σε ολόκληρη τη γκάμα των υπηρεσιών και προϊόντων της.

Βασικός συντελεστής φυσικά είναι το ανθρώπινο δυναμικό της εταιρείας το οποίο με τη μακροχρόνια απασχόληση και την άριστη

κατάρτισή του συγκαταλέγεται στο πλέον ικανό και έμπειρο σε παγκόσμια κλίμακα.

Οι εγκαταστάσεις της EAB καλύπτουν μία έκταση 1.800.000μ<sup>2</sup> στην περιοχή της Τανάγρας. Οι αξιοποιημένοι χώροι καλύπτουν 650.000μ<sup>2</sup> από τους οποίους τα 150.000μ<sup>2</sup> είναι οι στεγασμένοι χώροι παραγωγής.

Σε σύντομο χρόνο από την έναρξη της λειτουργίας της, η EAB επέτυχε να αναπτύξει πλήρεις δυνατότητες υποστήριξης των πτητικών μέσων των Ενόπλων Δυνάμεων (Ε.Δ.) και κυρίως βέβαια της Πολεμικής Αεροπορίας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα μια ουσιαστική συμβολή στην επιχειρησιακή ετοιμότητα και αποτελεσματικότητα των Ε.Δ. μέσα από την απεξάρτησή τους από πηγές υποστήριξης του εξωτερικού.

Η διεθνής αναγνώριση και εμπιστοσύνη που έχουν κερδίσει οι δραστηριότητες της εταιρείας πιστοποιείται από το μεγάλο αριθμό επιχειρηματικών συνεργασιών και πελατών ανάμεσα στους οποίους συγκαταλέγονται και ορισμένοι από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές της παγκόσμιας αεροπορικής βιομηχανίας όπως η Dassault Aviation, Lockheed Martin, Boeing, Raytheon, EADS, Airbus, SNECMA, General Electric και Allison.

Οι αγορές της εταιρείας σήμερα περιλαμβάνουν κατασκευαστές επιβατικών και γενικής χρήσης αεροσκαφών, αεροπορικές εταιρείες, χρήστες επιχειρηματικών αεροσκαφών (business jets operators), μεγάλους εργολήπτες της πολιτικής και στρατιωτικής αεροπορικής βιομηχανίας, όπως επίσης και πολεμικές αεροπορίες άλλων χωρών.

Συνοπτικά, η φιλοσοφία της EAB είναι επικεντρωμένη στην ικανοποίηση του πελάτη με την παροχή υψηλών προδιαγραφών, αξιόπιστων προϊόντων και υπηρεσιών, ανταγωνιστικών τιμών και έγκαιρων παραδόσεων.

## **6.2 Η θερμογραφία στην ΕΑΒ.**

### **6.2.1 Γενικότητες.**

Πριν από μερικά χρόνια, στα πλαίσια προγραμμάτων δράσης για την αύξηση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού, η ΕΑΒ άρχισε να προσεγγίζει τη φιλοσοφία της προβλεπτικής συντήρησης με απώτερο στόχο την αύξηση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού της. Η αξιοπιστία στην ΕΑΒ είναι πολύ σημαντική μιας και οι περισσότεροι πελάτες της είναι εταιρείες του αεροναυπηγικού τομέα ο οποίος επιτάσσει υψηλή αξιοπιστία σε όλες τις διαδικασίες και τα προϊόντα.

Στα πλαίσια λοιπόν αυτού το προγράμματος αποφασίσθηκε ο έλεγχος των εγκαταστάσεων με θερμογραφία. Στη μελέτη σκοπιμότητας που είχε εκπονηθεί υπήρχε το σενάριο για μίσθωση υπηρεσιών θερμογραφικού ελέγχου από εταιρεία του είδους η οποία όμως κρίθηκε αντιοικονομική εξαιτίας του πλήθους των αντικειμένων που θα έπρεπε να ελεγχθούν άρα και των απαιτούμενων εργατωρών. Γι' αυτό επιλέχθηκε η λύση για θερμογραφικό έλεγχο από την ίδια την ΕΑΒ. Για τους σκοπούς αυτούς αγοράσθηκε μια θερμογραφική κάμερα ενώ εκπαιδεύθηκε και ένα στέλεχος από την ΕΑΒ σε θέματα θερμογραφίας.

### **6.2.2 Ο θερμογραφικός εξοπλισμός και το έμπυχο υλικό.**

Η ΕΑΒ κατέχει μια θερμογραφική κάμερα IR SnapShot™ (Model 525) της αμερικάνικης εταιρείας Infrared Solutions, Inc.

Η κάμερα αυτή είναι φορητός απεικονιστής που βγάζει θερμογραφικές φωτογραφίες μετρώντας την υπέρυθρη ακτινοβολία του στόχου. Το λογισμικό που δίδει η εταιρεία μαζί με την κάμερα κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις και μετατρέπει τις εικόνες αυτές σε ποσοτικοποιημένα θερμογραφήματα που πλησιάζουν τη θερμοκρασιακή κατανομή του στόχου. Ένα από τα πλεονεκτήματα της κάμερας είναι

ότι μπορεί να καταγράψει ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών θερμοκρασιών στην ίδια εικόνα.

Η κάμερα είναι σχεδιασμένη με φιλικότητα στο χρήστη. Παίρνει ενέργεια από κοινή μπαταρία του εμπορίου ενώ οι εικόνες εμφανίζονται στην τεσσάρων ιντσών οθόνη υγρών κρυστάλλων. Οι διαφοροποιήσεις στα χρώματα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των θερμοκρασιακών αλλαγών.

Οι φωτογραφίες μπορούν να αποθηκευθούν σε κάρτα μνήμης για την περαιτέρω επεξεργασία τους σε Η/Υ. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται προσφέρει ανάλυση, εκτύπωση και αποθήκευση των θερμογραφήματων καθώς και υποστήριξη στη σύνταξη αναφορών για αυτά. Επίσης με αυτό το λογισμικό γίνεται και η αναγνώριση μη φυσιολογικών θερμοκρασιών στα θερμογραφήματα με βάση σημεία τα οποία επιλέγουμε να παρακολουθούμε σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Για το χειρισμό της θερμογραφικής κάμερας εκπαιδεύτηκε ο κ. Κοσμάς Βλάχος στην Αμερική. Μάλιστα πήρε και τη σχετική πιστοποίηση ως Θερμογράφος από το σχετικό πρόγραμμα το οποίο είναι αναγνωρισμένο από τον αμερικάνικο οργανισμό μη καταστροφικών ελέγχων. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η ΕΑΒ επέλεξε το θερμογραφικό έλεγχο σε πίνακες κυρίως χαμηλής τάσης και στα δομικά στοιχεία αυτών προσπαθώντας να αυξήσει την αξιοπιστία των ηλεκτρολογικών τις εγκαταστάσεων. Σταδιακά ο θερμογραφικός έλεγχος θα εφαρμοσθεί και σε εργαλειομηχανές οι οποίες είναι κρίσιμες για την παραγωγή και πιθανή βλάβη θα προκαλούσε παύση της παραγωγικής διαδικασίας.

### **6.3 Θερμογράφιση στην ΕΑΒ**

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και υπό την επίβλεψη του Διευθυντή Διεύθυνσης Διοίκησης Έργων (ΔΔΕ) της ΕΑΒ, κ. Γ. Βώσου, καθώς και του Προϊστάμενου του Τομέα Διοίκησης Προγραμμά-

των κ. Κ. Βλάχου πάρθηκαν θερμοφωτογραφίες ώστε να αναλυθούν και να εμπεδωθεί η χρησιμότητα της θερμογραφίας.

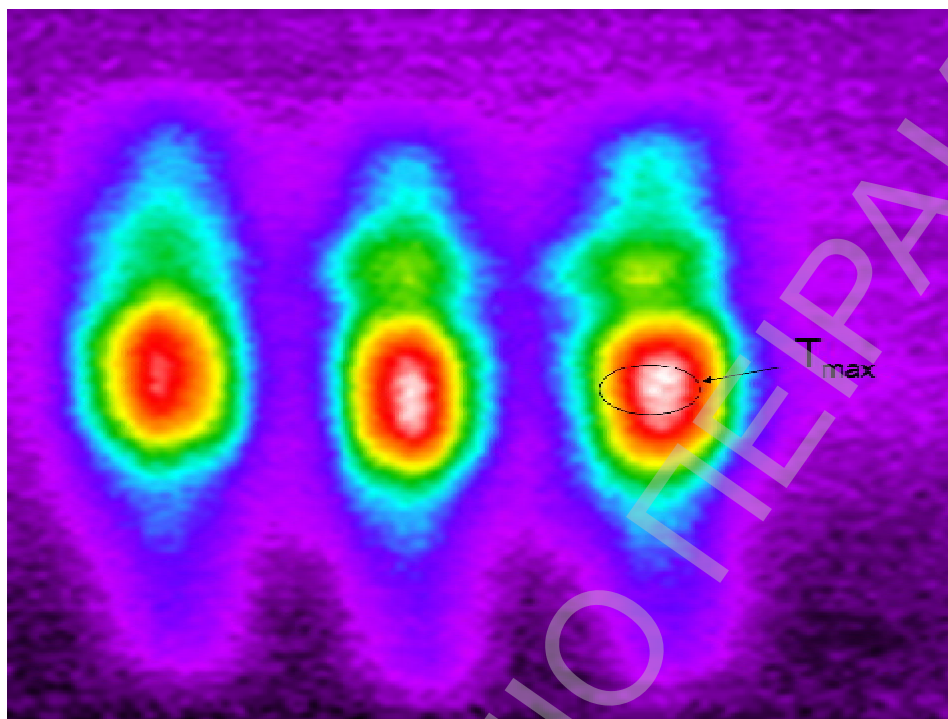
Η χρήση της θερμογραφικής κάμερας είναι αρκετά εύκολη αφού είναι φορητή ενώ οι δυσκολίες κυρίως προκύπτουν στον καθορισμό των παραμέτρων που είναι ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής (ΣΙΕ) και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτές οι τιμές πρέπει να εισαχθούν στην κάμερα πριν τη φωτογράφιση ως είσοδοι.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί εύκολα να μετρηθεί με ένα θερμόμετρο πλησίον του αντικειμένου-στόχου. Πολλές φορές αυτό δεν είναι εφικτό όπως για παράδειγμα σε ένα μετασχηματιστή υψηλής τάσης που δεν επιτρέπεται να πλησιάσουμε κοντά. Σε αυτές τις περιπτώσεις κάνουμε μια εκτίμηση της θερμοκρασίας με βάση τις ενδείξεις από το εγγύτερο περιβάλλον.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται και στην επιλογή του ΣΙΕ πριν τη θερμογράφιση. Συνήθως το αντικείμενο-στόχος αποτελείται από πολλά υλικά των οποίων ο ΣΙΕ βρίσκεται από τους σχετικούς πίνακες. Οπότε για παράδειγμα όταν φωτογραφίζεται ένα καλώδιο επιλέγουμε τον ΣΙΕ του πλαστικού δηλαδή του μονωτήρα και όχι του χαλκού μιας και η βλάβη μπορεί να προβλεφθεί παρατηρώντας τη θερμοκρασία του μονωτήρα και όχι των χάλκινων καλωδίων. Επίσης για πιο σωστή ανάλυση των αποτελεσμάτων της θερμογραφίας υπάρχει το κατάλληλο λογισμικό το οποίο για δεδομένη θερμογράφιση μπορεί να μεταβάλλει εκ των υστέρων και τον ΣΙΕ και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος δίνοντας μας έτσι την πραγματική θερμοκρασιακή κατανομή.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες θερμικές φωτογραφίες από την ΕΑΒ καθώς και ένα υποτυπώδες σχολιασμός με βάση το υποδείγματα αναφορών θερμογραφικού ελέγχου:

## Μπάρες χαμηλής τάσης.

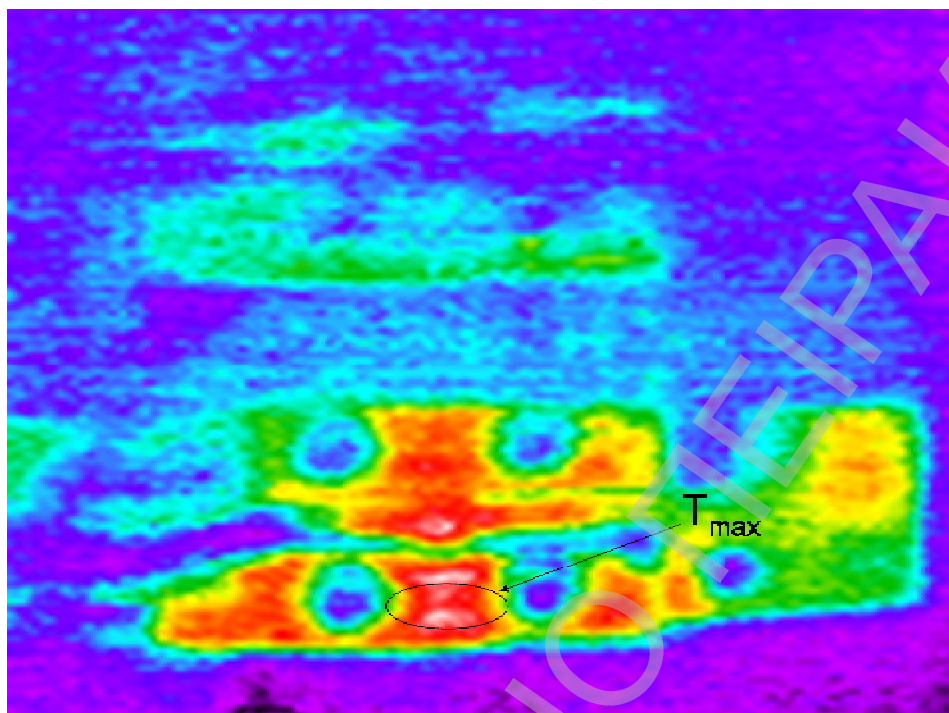


Σχήμα 6. 1Μπάρες χαμηλής τάσης

Η παραπάνω φωτογραφία είναι από μπάρες χαμηλής τάσης. Η μέγιστη θερμοκρασία  $T_{max}$  είναι ίση με  $35,7^{\circ}\text{C}$  και φαίνεται στο σχήμα ενώ ελάχιστη είναι  $21,8^{\circ}\text{C}$  οπότε η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  είναι  $13,9^{\circ}\text{C}$ . Αυτά ισχύουν για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $25^{\circ}\text{C}$  και ΣΙΕ 0,95. Από το παρών θερμογράφημα δεν υπάρχει καμία ένδειξη πιθανής βλάβης.



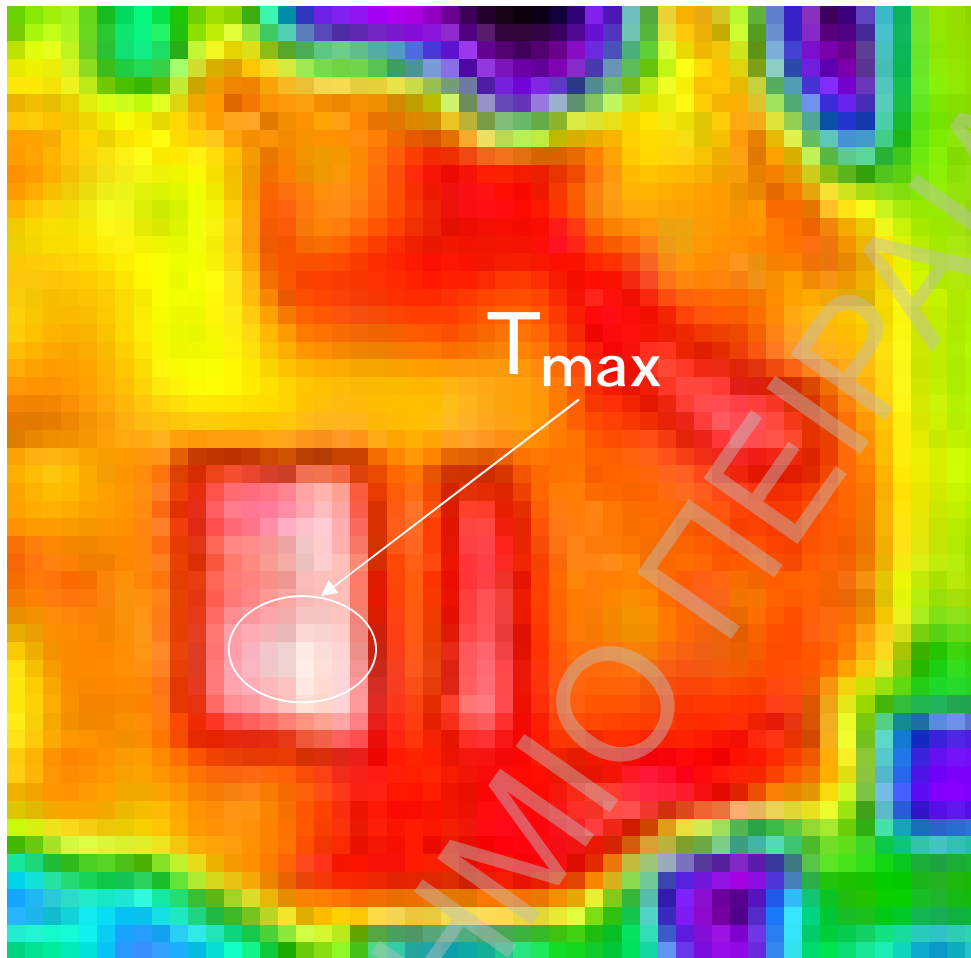
## Ασφάλεια μετασχηματιστή μέσης τάσης.



Σχήμα 6. 2 Ασφάλεια μετασχηματιστή μέσης τάσης

Η παραπάνω φωτογραφία είναι από μια ασφάλεια μετασχηματιστή μέσης τάσης. Η μέγιστη θερμοκρασία  $T_{max}$  είναι ίση με  $33,1^{\circ}\text{C}$  ενώ ελάχιστη είναι  $26,1^{\circ}\text{C}$  οπότε η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  είναι  $7^{\circ}\text{C}$ . Αυτά ισχύουν για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $23^{\circ}\text{C}$  και ΣΙΕ  $0,78$ . Από το παρών θερμογράφημα φαίνεται μια πολύ μικρή διαφορά θερμοκρασίας στη μεσαία τάση που εξηγείται από την ύπαρξη πηνίου γύρω από αυτή. Αντίθετα οι άλλες φάσεις είναι μονωμένες και έχουν γι' αυτό το λόγω μικρότερη θερμοκρασία. Και σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει υπόνοια για πιθανή βλάβη.

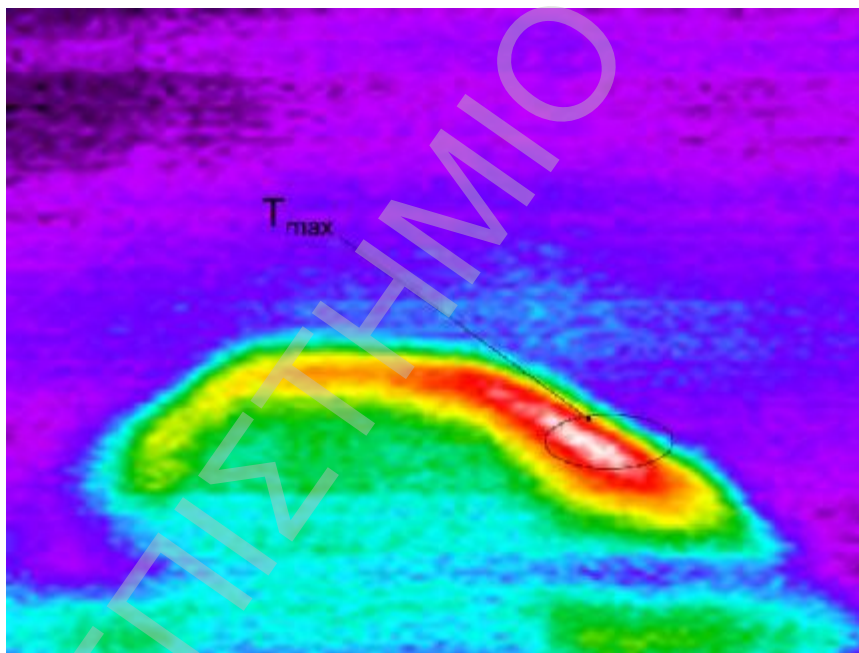
### Φυγοκεντρική αντλία εργαλειομηχανής.



Σχήμα 6.3 Φυγοκεντρική αντλία εργαλειομηχανής

Η παραπάνω φωτογραφία είναι από μια φυγοκεντρική αντλία εργαλειομηχανής. Η μέγιστη θερμοκρασία  $T_{max}$  είναι ίση με  $59^{\circ}\text{C}$  και φαίνεται στο σχήμα ενώ ελάχιστη είναι  $36^{\circ}\text{C}$  οπότε η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  είναι  $23^{\circ}\text{C}$ . Αυτά ισχύουν για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $22^{\circ}\text{C}$  και ΣΙΕ 0,82. Από το παρών θερμογράφημα παρατηρείται διαφορά  $\Delta T$  παραπάνω από  $20^{\circ}\text{C}$ . Αυτή λοιπόν η αντλία πρέπει να παρακολουθηθεί από το συντηρητή με περισσότερη προσοχή αν και η μέγιστη θερμοκρασία της δεν δίνει ενδείξεις για πιθανή βλάβη μιας και είναι αποδεκτή για τέτοιο εξοπλισμό.

### Καλώδιο μετασχηματιστή.

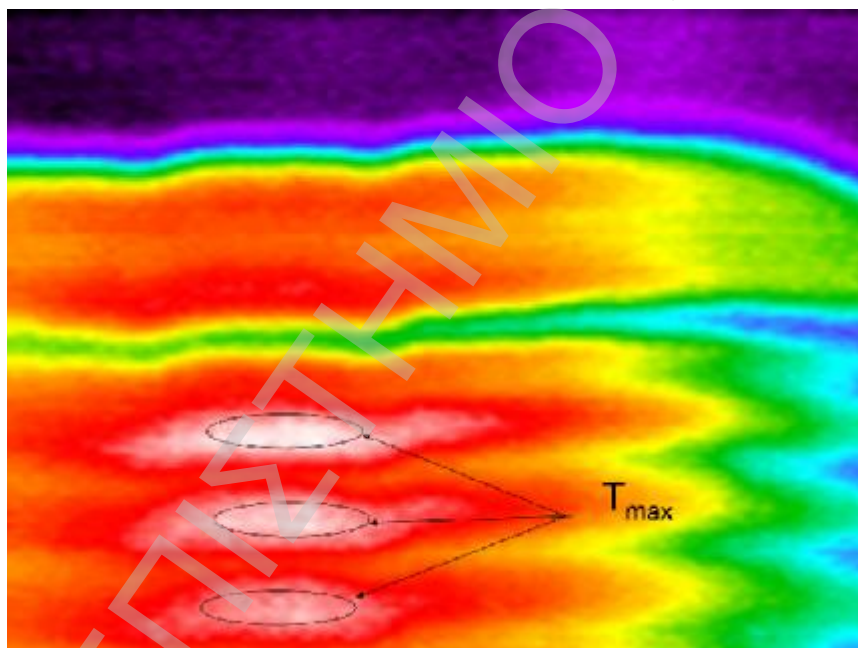


Σχήμα 6. 4 Καλώδιο μετασχηματιστή

Η παραπάνω φωτογραφία είναι από καλώδιο μετασχηματιστή. Η μέγιστη θερμοκρασία  $T_{max}$  είναι ίση με  $47,2^{\circ}\text{C}$  και φαίνεται στο σχήμα ενώ ελάχιστη είναι  $39^{\circ}\text{C}$  οπότε η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  είναι  $8,2^{\circ}\text{C}$ . Αυτά ισχύουν για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $22^{\circ}\text{C}$  και ΣΙΕ  $0,90$ . Από το παρών θερμογράφημα προκύπτει ότι το καλώδιο λειτουργεί σωστά αλλά και δεν δείχνει ουδεμία πιθανή βλάβη. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να ελεγχθούν και άλλα καλώδια τα οποία είναι

παλαιωμένα και συνδέονται με κρίσιμο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό και μάλιστα κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους και χωρίς επαφή.

### Ηλεκτροκινητήρας εργαλειομηχανής.

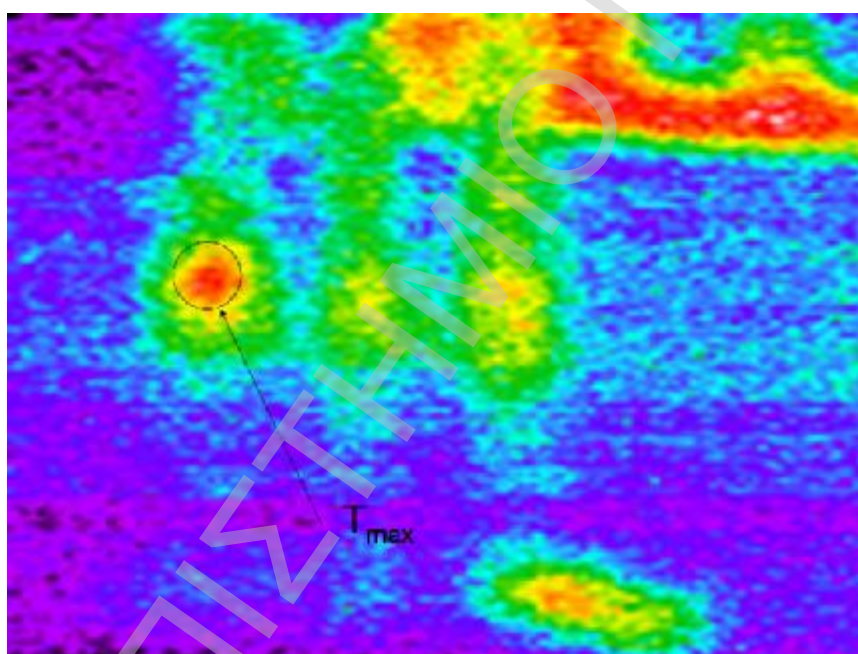


Σχήμα 6. 5 Ηλεκτροκινητήρας εργαλειομηχανής

Η παραπάνω φωτογραφία είναι από έναν ηλεκτροκινητήρα εργαλειομηχανής. Η μέγιστη θερμοκρασία  $T_{max}$  είναι ίση με  $58^{\circ}\text{C}$  και φαίνεται στο σχήμα, στους οπλισμούς του ηλεκτροκινητήρα, ενώ ελάχιστη είναι  $39^{\circ}\text{C}$  οπότε η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  είναι  $19^{\circ}\text{C}$ . Αυτά ισχύουν για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $22^{\circ}\text{C}$  και ΣΙΕ 0,82. Με αυτήν τη θερμογραφία είναι δυνατό να ελεγχθεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός

που είναι κρίσιμος για τη λειτουργία της εργαλειομηχανής. Ο συγκεκριμένος ηλεκτροκινητήρας έχει μια αποδεκτή κατανομή θερμοκρασιών οπότε δεν χρειάζεται περαιτέρω έλεγχος για την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του.

### Ασφάλεια 380Volt.

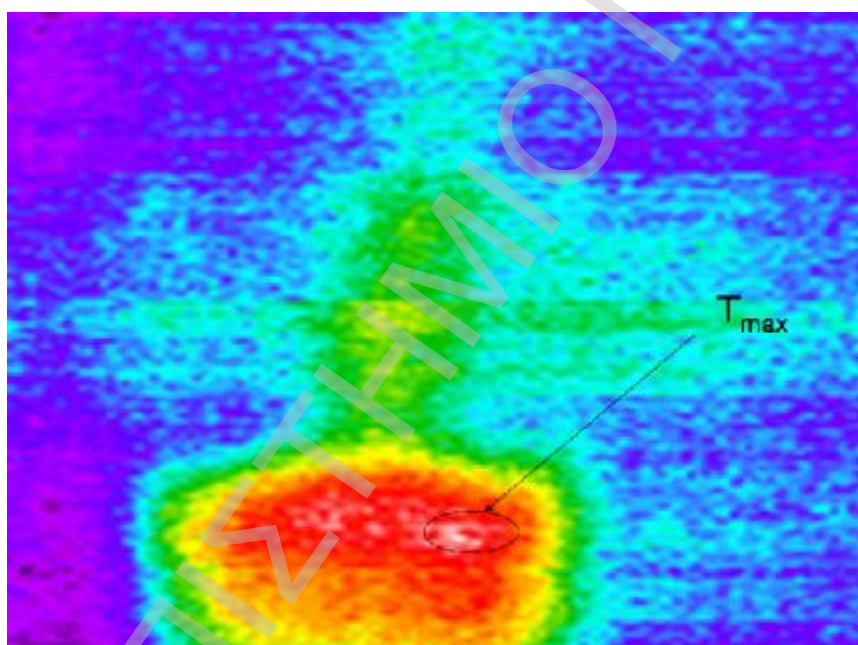


Σχήμα 6. 6 Ασφάλεια 380Volt

Η παραπάνω φωτογραφία είναι από μια ασφάλεια 380Volt. Η μέγιστη θερμοκρασία  $T_{max}$  είναι ίση με  $31,7^{\circ}\text{C}$  και φαίνεται στο σχήμα, αριστερή φάση, ενώ ελάχιστη είναι  $24,7^{\circ}\text{C}$  οπότε η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  είναι  $7^{\circ}\text{C}$ . Αυτά ισχύουν για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $23^{\circ}\text{C}$  και ΣΙΕ 0,78. Από το θερμογράφημα αυτό φαίνεται μια πολύ μικρή διαφορά θερμοκρασίας στην αριστερή φάση. Σίγουρα όμως η θερμοκρασία δεν είναι αρκετά υψηλή για να υποτεθεί πιθανή βλάβη. Παρόλ' αυτά πρέπει να ελεγχθεί η ασφάλεια για πιθανή χα-

λάρωση στην επαφή με το καλώδιο και πιθανή αντικατάσταση της βίδας που τα συγκρατεί.

### Πυκνωτής διόρθωσης συνημιτόνου.



Σχήμα 6. 7 Πυκνωτής διόρθωσης συνημιτόνου

Η παραπάνω φωτογραφία είναι από πυκνωτή διόρθωσης συνημιτόνου. Η μέγιστη θερμοκρασία  $T_{max}$  είναι ίση με  $33,3^{\circ}\text{C}$  ενώ ελάχιστη είναι  $26,3^{\circ}\text{C}$  οπότε η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$  είναι  $7^{\circ}\text{C}$ . Αυτά ισχύουν για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $20^{\circ}\text{C}$  και ΣΙΕ  $0,88$ . Το συγκεκριμένο θερμογράφημα απλώς επιβεβαιώνει την ομαλή λειτουργία του πυκνωτή και μπορεί να καταχωρηθεί στο αρχείο παρακολούθησής του.

#### 6.4 Βελτιώνοντας την αξιοπιστία στην EAB.

Η EAB κατέχει ένα πολυπληθή ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό τόσο σε αριθμό όσο και σε εύρος. Κάποιος εξοπλισμός χαρακτηρίζεται κρίσιμος όπως π.χ. μετασχηματιστές, ασφάλειες, διακόπτες υψηλής τάσης. Εξαιτίας, αυτής της κρισιμότητας έχει αποφασισθεί και η αγορά και εφεδρικού εξοπλισμού που τίθεται σε λειτουργία όταν παρουσιασθεί βλάβη στον πρωτεύων. Κάτι τέτοιο προσεγγίζει τη φιλοσοφία του πλεονασμού στον εξοπλισμό που αφενός αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος αλλά και εντέλει το κόστος για την επιχείρηση.

Όσον αφορά τον αυστηρά μηχανολογικό εξοπλισμό, όπως είναι οι εργαλειομηχανές, είναι πολύ πιο δύσκολο και κοστοβόρο να έχει δύο ολόιδιες πενταξονικές εργαλειομηχανές για την περίπτωση που η μία παρουσιάσει βλάβη. Αυτό σημαίνει, λοιπόν, ότι πρέπει να βρεθούν οι κατάλληλες πρακτικές για την αύξηση της αξιοπιστίας με το βέλτιστο οικονομικό τρόπο.

Για αυτό η EAB εισήγαγε τη θερμογραφία ως ένα εργαλείο αύξησης της αξιοπιστίας του εξοπλισμού της η οποία μετακυλιέται και στους πελάτες της με την παροχή προϊόντων και υπηρεσιών υψηλής προστιθέμενης αξίας. Η θερμογραφία το επιτυγχάνει αυτό με το να εντοπίζει τις πιθανές βλάβες πριν αυτές γίνουν λειτουργικές. Και βέβαια αυτός ο εντοπισμός δίδει τη δυνατότητα στους συντηρητές να επιδιορθώσουν ή να αντικαταστήσουν τον εξοπλισμό με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συνολικός αριθμός βλαβών που παρουσιάζει το μηχάνημα όταν λειτουργεί. Όταν ο αριθμός βλαβών μειώνεται όμως αυξάνεται το MTBF του εξοπλισμού και εντέλει η αξιοπιστία του.

Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι η ανίχνευση μια πιθανής βλάβης με τη θερμογραφία βελτιώνει την αποδοτικότητα όλων των λειτουργιών logistics αφού με αυτόν τον τρόπο υπάρχει ο απαιτούμενος χρόνος απόκρισης. Άλλωστε, τα περισσότερα τμήματα logistics απο-

ζητούν τέτοιους τρόπους πρόβλεψης ακραίων γεγονότων όπως είναι μια βλάβη μειώνοντας το ρίσκο στη λήψη μιας απόφασης. Βέβαια η ορθή λειτουργία ενός συστήματος και η υψηλή του αξιοπιστία εντέλει αυξάνει τα επίπεδα εξυπηρέτησης του πελάτη.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ



## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> Αντί επιλόγου

### 7.1 Ανασκόπηση

Στο πρώτο κεφάλαιο δόθηκε ο ορισμός των *logistics* και το πώς αυτά τοποθετούνται στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Μέσα από αυτό προκύπτει ότι τα *logistics* δρουν υποστηρικτικά στη φάση συντήρησης ενός προϊόντος, για την οποία δόθηκε ένα γενικό πλαίσιο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύθηκε περισσότερο η έννοια της συντήρησης και οι διάφορες τεχνικές που υπάρχουν στο τωρινό περιβάλλον. Παράλληλα αναλύθηκε η αξιοπιστία των συστημάτων και πώς αυτή αυξάνεται με τη συντήρηση ή με την τεχνική του πλεονασμού (*redundancy*).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το γενικό πλαίσιο της Συντήρησης Προσανατολισμένης στην Αξιοπιστία (ΣΠΑ) και αναλύθηκαν οι κύριοι άξονές της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν οι τεχνικές προβλεπτικής συντήρησης καθώς η φιλοσοφία εφαρμογής τους στην πράξη.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύχθηκε πιο ειδικά η τεχνική της Θερμογραφίας η οποία εφαρμόζεται ευρέως τα τελευταία χρόνια στο εξωτερικό, και συνδέθηκε με την αύξηση της αξιοπιστίας στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης από την Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία η οποία χρησιμοποιεί τη Θερμογραφία στο πρόγραμμα συντήρησης της.

## **7.2 Αξιοπιστία και προβλεπτική συντήρηση: η Χίμαιρα και ο Βελλερεφόντης των σύγχρονων συστημάτων.**

Τις τελευταίες δεκαετίες η αξιοπιστία είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται συχνά πυκνά σε τεχνικά ή μη περιβάλλοντα. Σε τεχνικό επίπεδο η αξιοπιστία συνδέεται με το ρυθμό βλαβών ο οποίος εξαρτάται και από τη συντήρηση του εξοπλισμού. Ένας καλά συντηρούμενος εξοπλισμός έχει μικρότερη πιθανότητα να παρουσιάσει βλάβη και άρα έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία από έναν άλλον που δεν συντηρείται.

Η βλάβη όμως κάποια στιγμή θα συμβεί και όσο καλά και γρήγορα επισκευασθεί, πάλι θα έχουν δημιουργηθεί αρκετά κόστη μιας και η πολυπλοκότητα του σύγχρονου εξοπλισμού επιβάλλει αρκετή προσπάθεια τόσο για τη διάγνωση όσο για την αποκατάσταση της βλάβης. Μάλιστα, η προληπτική συντήρηση που εφαρμόστηκε κατά κόρον στο παρελθόν δεν μπόρεσε να μειώσει σε ικανοποιητικό βαθμό το πλήθος των βλαβών ενώ πολλές φορές τον αύξησε εξαιτίας του μηχανισμού επαναφοράς του εξοπλισμού στην περίοδο παιδικής θνησιμότητας.

Εξαιτίας αυτών άρχισε να χρησιμοποιείται η τεχνική της προβλεπτικής συντήρησης. Με αυτήν είναι εφικτός ο έλεγχος του εξοπλισμού σε προκαθορισμένα διαστήματα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Τεχνικές όπως η ανάλυση δονήσεων-κραδασμών και η θερμογραφία μπορούν να ανιχνεύσουν μια πιθανή βλάβη πριν αυτή εξελιχθεί σε λειτουργική και τεθεί σε ακινησία ο εξοπλισμός. Έτσι ανοίγεται ένα χρονικό παράθυρο για την αντιμετώπιση της φθοράς του εξοπλισμού προτού καταστραφεί ή προκαλέσει την ακινησία του συστήματος. Αυτό όμως είναι και το ζητούμενο για την επιχείρηση μιας και κάτι τέτοιο θα εξοικονομήσει τα τεράστια κόστη μια παύσης λειτουργίας ή άλλων αποτελεσμάτων βλάβης. Σημαντική όμως είναι και

η αξία για τον πελάτη αφού η αξιοπιστία μεταφράζεται ως παγιωμένη απόκριση στις απαιτήσεις του, μειώνοντας το ρίσκο.

Συνάμα η προβλεπτική συντήρηση μειώνει το κόστος logistics των ανταλλακτικών μιας και σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει το απαιτούμενο χρονικό περιθώριο για την αγορά τους, από τη στιγμή που θα ανιχνευθεί το πρόβλημα. Αυτό προφανώς έχει ιδιαίτερη σημασία σε βιομηχανίες που έχουν πληθώρα κωδικών ανταλλακτικών ή πολύ ακριβά ανταλλακτικά.

### **7.3 Συμπεράσματα-Προτάσεις**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η ανίχνευση της αύξησης της αξιοπιστίας μέσω της προβλεπτικής συντήρησης.

Η φιλοσοφία που προσεγγίζει τη συντήρηση από την οπτική της αξιοπιστίας είναι η ΣΠΑ. Βέβαια, ένας πρακτικός τρόπος για την αύξηση της αξιοπιστίας είναι η χρησιμοποίηση των τεχνικών προβλεπτικής συντήρησης. Με αυτή τη συλλογιστική λειτούργησε και η ΕΑΒ όταν αποφάσισε να χρησιμοποιήσει τη Θερμογραφία για την περαιτέρω αύξηση της αξιοπιστίας του κρίσιμου εξοπλισμού της.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι το τελευταίο καιρό δραστηριοποιούνται στην ελληνική αγορά νέες εταιρείες εμπορίας θερμογραφικών απεικονιστών ενώ υπάρχει και μια που δραστηριοποιείται στην παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών όσον αφορά τη θερμογράφηση. Επίσης, τη θερμογράφηση προσπαθούν να εντάξουν και κάποιες εταιρίες συντήρησης υποσταθμών οι οποίες θέλουν να αυξήσουν την αξία που προσφέρουν στον πελάτη μέσω των υπηρεσιών του.

Συμπερασματικά, η προβλεπτική συντήρηση και η θερμογραφία χρήζει της προσοχής τόσο των τεχνικών όσο και των διοικητικών στελεχών μια επιχείρησης αφού προσφέρει δυνατότητες για αύξηση της αξιοπιστίας και μείωση στα κόστη που προκαλούν οι βλάβες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Έντυπη βιβλιογραφία**

- ❖ Blancard BS, *Logistics Engineering and Management*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1990
- ❖ Campbell J.D., *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management*, Portland, Oregon, Productivity Press, 1995
- ❖ Moubray J., *RCM II: Reliability-centered Maintenance*, 200 Madison Avenue, New York, 1997
- ❖ Βώσσος Ιωάννης, *Σημειώσεις Μαθήματος Συντήρηση Εξοπλισμού*, Πειραιάς, 2005

### **Ηλεκτρονική βιβλιογραφία**

- ❖ <http://www.infaredelectrical.com>
- ❖ <http://www.flirthermography.com/>
- ❖ <http://www.infraredguide.com/>
- ❖ <http://www.hai.gr/>