

**ΕΚΤΑΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ**

Η εργασία υποβάλλεται για τη μερική κάλυψη των απαιτήσεων με
στόχο την απόκτηση του διπλώματος



00140635

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΙΣ.	40635
ΣΟΜΑΤ.	27542
ΤΑΞΙΝ.	65B 562 ΚΑΡ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ:
ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
(LOGISTICS)**

από

ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΚΑΡΑΦΥΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ 2001

Έκταση Χρήσης Στατιστικών Μεθόδων Αξιοπιστίας και Συντήρησης στην Ελληνική Βιομηχανία

Ιωάννης Καραφύλλης

Λέξεις Κλειδιά: Προληπτική, Διορθωτική Συντήρηση, Παραγωγικότητα, Αξιοπιστία, FMEA, Weibull, Ανάλυση Βιωσιμότητας, Ημιτελή Δεδομένα, Έλεγχος Τάσης, Διαθεσιμότητα.

Περίληψη

Ο καθένας γνωρίζει τι εννοούμε όταν χρησιμοποιούμε την έννοια αξιοπιστία. Όταν κάποιος αγοράζει ένα φθινό προϊόν από ένα κατάστημα λιανικής ή αγοράζει ένα σύνθετο μηχάνημα για μια βιομηχανία προσδοκά μ' αυτό να κάνει τη δουλειά του όταν το θελήσει. Στη σημερινή εποχή η κοινή γνώμη είναι ενημερωμένη για τα προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά και τις δυνατότητές τους και μπορεί να συγκρίνει παρόμοια προϊόντα μεταξύ τους σε σχέση με την τιμή τους και τις δυνατότητές τους όπως αυτές σχεδιάστηκαν ή παρουσιάζονται. Έτσι λοιπόν εξοργίζεται από προϊόντα που δεν κάνουν τη δουλειά τους όπως θα έπρεπε και τα καταγγέλλει στις ενώσεις καταναλωτών και στον τύπο.

Η έλλειψη αξιοπιστίας κοστίζει σε χρήμα και –σε μερικές περιπτώσεις- σε ανθρώπινες ζωές (Εξηπρές Σάμινα). Αντίθετα παράδειγμα υψηλής αξιοπιστίας αλλά και αντικείμενο έρευνας αποτελεί το αεροπλανοφόρο Νίμιτς.

Η αξιοπιστία και η συντήρηση πρέπει να κοστολογούνται. Ποια είναι η τιμή που πρέπει να πληρώσουμε προκειμένου να πετύχουμε αξιοπιστία; Η τυχαία

αποτυχία που οδηγεί σε αναξιοπιστία είναι η μεταβλητότητα τόσο στην αντοχή του αντικειμένου που μας απασχολεί όσο και το φορτίο το οποίο είναι το προκείμενο. Η μελέτη της μεταβλητότητας προϋποθέτει τη στατιστική η οποία είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για τη μελέτη της αξιοπιστίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται για πρώτη φορά μια αποτύπωση της έκτασης χρήσης στατιστικών μεθόδων αξιοπιστίας και συντήρησης στην Ελληνική Βιομηχανία.

Η σημασία της αξιοπιστίας στην Ελληνική Βιομηχανία θα αυξηθεί και μαζί με την ποιότητα και την ανταγωνιστικότητα της Ελληνικής Οικονομίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), θα είναι σημαντικές για την αύξηση του ΑΕΠ και την καλύτερη διαβίωση των Ελλήνων.

Όμως παρόλα αυτά οι μηχανικοί συντήρησης στην Ελληνική Βιομηχανία αντεπεξέρχονται στα προβλήματα συντήρησης χωρίς να αναζητούν να ενεργήσουν με ένα βέλτιστο τρόπο. Πολλές τακτικές προληπτικής συντήρησης τίθενται σε λειτουργία μόνο με μια ποσοτική προσέγγιση στην τακτική, με αποτέλεσμα κανείς να μην είναι σίγουρος για το ποια είναι η καλύτερη συχνότητα επιθεώρησης ή τι θα πρέπει να επιθεωρηθεί με αποτέλεσμα να ακυρώνεται η προληπτική συντήρηση γιατί λέγεται ότι κοστίζει πάρα πολύ. Γι' αυτό πρέπει να αξιολογείται από τους διευθυντές και να προκύπτει μια ισορροπία ανάμεσα στη συχνότητα επιθεώρησης, τις προληπτικές αντικαταστάσεις και τα αντισταθμιστικά οφέλη που αναμένονται απ' αυτές.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Α. Καθηγητή κύριο Μποχώρη Γεώργιο που με καθοδήγησε στην επιλογή ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές για τη συγγραφή αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος Logistics, ιδιαίτερος τον καθηγητή κύριο Λάμπρο Λάιο, καθώς και τη γραμματεία του τμήματος.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Περιεχόμενα

	Σελίδα
Κατάσταση Πινάκων	I
Κατάσταση Διαγραμμάτων	V
Κατάσταση Σχημάτων	VI
Ακρωνύμια	VIII
1 Βασικές Έννοιες Αξιοπιστίας	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Συλλογή(collect) και διαταξινόμηση (collation) της εμπειρίας του χρήστη	4
1.3 Ημιτελή Δεδομένα (Censored Data)	7
1.4 Ανάλυση Βιωσιμότητας (Survival Analysis)	8
1.5 Έλεγχος τάσης (Trend Testing)	9
1.6 Είδη Σφαλμάτων. Επιπτώσεις και Ανάλυση Κρισιμότητας (FME(C)A)	13
1.6.1 Δραστηριότητες για την Αξιοπιστία κατά το Στάδιο Σχεδιασμού	13
1.6.2 Τύποι Αστοχιών, Αποτελέσματα και Ανάλυση κρισιμότητας (FME(C)A)	13
1.7 Επιδιορθώσιμα – Μη Επιδιορθώσιμα Εξαρτήματα	14

1.7.1	Τύποι Αντικαταστάσεων	16
1.8	Φθορά Εξαρτημάτων – Συστημάτων	17
1.8.1	Γενικά	17
1.8.2	Διαδικασία Φθοράς	18
1.8.3	Καμπύλη Bathtub	26
1.8.4	Διαθεσιμότητα	28
2	Κατανομές	36
2.1	Συναρτήσεις Κατανομών (Distribution Functions)	36
2.2	Στατιστικές Κατανομές (Lifetime Distributions)	38
2.2.1	Κανονική κατανομή	39
2.2.2	Εκθετική κατανομή	43
2.2.3	Η κατανομή Weibull	46
2.2.3.1	Γενικά χαρακτηριστικά της κατανομής Weibull	46
2.2.3.2	Αναπαράσταση των μοντέλων αστοχίας από κατανομές Weibull	49
3	Αποφάσεις Αξιοπιστίας (Reliability Decisions)	52
3.1	Εισαγωγή	52
3.2	Σειριακή Διαμόρφωση	53
3.3	Παράλληλη διαμόρφωση	53

4	Συντήρηση	55
	4.1 Γενικά	55
	4.2 Προβλήματα συντήρησης	62
	4.3 Συντηρησιμότητα	65
	4.4 Συνδυασμένη Βελτιστοποίηση Αξιοπιστίας και Κόστους (RCM)	65
	4.5 Τι χρειάζεται για να γίνει η RCM;	67
	4.6 Συνολική Συντήρηση Παραγωγής (Total Productive Maintenance – TPM)	70
	4.7 Συσχετίσεις TPM και RCM	72
5	Ο Σκοπός και το Πλαίσιο της Έρευνας	76
	5.1 Γενικά	76
	5.2 Φάσεις του Ενεργητικού Έργου και Τεχνικές της Έρευνας	76
	5.3 Η ταυτότητα του δείγματος.	77
	5.4 Το Ερωτηματολόγιο	79
	5.5 Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων	80
6	Ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας	82
7	Συμπεράσματα – Προτάσεις	103
	Βιβλιογραφία	108
	Παράρτημα “Α”	112
	Παράρτημα “Β”	115

Πίνακας 6.1α Επιχειρήσεις που κάνουν επιμερισμό στη συντήρηση σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	82
Πίνακας 6.1β Επιχειρήσεις που κάνουν επιμερισμό στη συντήρηση σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	82
Πίνακας 6.1γ Επιχειρήσεις που κάνουν επιμερισμό στη συντήρηση	83
Πίνακας 6.2α Τήρηση Αρχείων Βλαβών και Εσωτερικών Δεδομένων Αξιοπιστίας για τον Προγραμματισμό της Συντήρησης σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	84
Πίνακας 6.2β Τήρηση Αρχείων Βλαβών και Εσωτερικών Δεδομένων Αξιοπιστίας για τον Προγραμματισμό της Συντήρησης σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	84
Πίνακας 6.2γ Τήρηση Αρχείων Βλαβών και Εσωτερικών Δεδομένων Αξιοπιστίας για τον Προγραμματισμό της Συντήρησης σε σχέση με το είδος της επιχείρησης	85
Πίνακας 6.3α Επιχειρήσεις που κάνουν αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	85
Πίνακας 6.3β Επιχειρήσεις που κάνουν αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας σε σχέση με το προσωπικό που χρησιμοποιούν	86
Πίνακας 6.3γ Επιχειρήσεις που κάνουν αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας σε σχέση με το είδος τους	86
Πίνακας 6.4α Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	87

Πίνακας 6.4β Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	88
Πίνακας 6.4γ Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με το είδος τους	88
Πίνακας 6.5α Επιχειρήσεις που τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	89
Πίνακας 6.5β Επιχειρήσεις που τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	89
Πίνακας 6.5γ Επιχειρήσεις που τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους σε σχέση με το είδος τους	90
Πίνακας 6.6α Καταγραφή ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας στις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	90
Πίνακας 6.6β Καταγραφή ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας στις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	91
Πίνακας 6.6γ Καταγραφή ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας στις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους	91
Πίνακας 6.7α Ποσοστό επί του κόστους συντήρησης που αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων στις επιχειρήσεις ανάλογα με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	92

Πίνακας 6.7β Ποσοστό επί του κόστους συντήρησης που αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων στις επιχειρήσεις ανάλογα με το προσωπικό που απασχολούν	93
Πίνακας 6.7γ Ποσοστό επί του κόστους συντήρησης που αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων στις επιχειρήσεις ανάλογα με το είδος τους	93
Πίνακας 6.8α Εύρεση βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης από τις επιχειρήσεις με τη μέθοδο RCMσε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	94
Πίνακας 6.8β Εύρεση βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης από τις επιχειρήσεις με τη μέθοδο RCMσε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	95
Πίνακας 6.8γ Εύρεση βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης από τις επιχειρήσεις με τη μέθοδο RCMσε σχέση με το είδος τους	95
Πίνακας 6.9α Χρήση FME(c)A από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	96
Πίνακας 6.9β Χρήση FME(c)A από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	96
Πίνακας 6.9γ Χρήση FME(c)A από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους	97
Πίνακας 6.10α Ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	97

Πίνακας 6.10β Ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που χρησιμοποιούν	98
Πίνακας 6.10γ Ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους	98
Πίνακας 6.11α Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	99
Πίνακας 6.11β Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	100
Πίνακας 6.11γ Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους	100
Πίνακας 6.12α Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις, σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	101
Πίνακας 6.12β Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις, σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν	101
Πίνακας 6.12γ Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις, σε σχέση με το είδος τους	102

Κατάσταση Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5.3α Κατηγορίες Βιομηχανιών που συμμετείχαν στην έρευνα με βάση τον τομέα που δραστηριοποιούνται	77
Διάγραμμα 5.3β Ποσοστό επιχειρήσεων που συμμετείχαν στην έρευνα με βάση το προσωπικό που απασχολούν	78
Διάγραμμα 5.3γ Ποσοστό επιχειρήσεων που συμμετείχαν στην έρευνα με βάση τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999	79

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Κατάσταση Σχημάτων

1. Διάγραμμα Ρυθμού Εμφάνισης Αστοχίας ROCOF	10
2. Ελάχιστο Όριο Ασφαλείας για Ενδογενή Αξιοπιστία	19
3. Ρυθμός Επικινδυνότητας – Καμπύλη Ορίου Ασφαλείας για μη Διατηρήσιμα Εξαρτήματα	20
4. Διαγραμματική αναπαράσταση του ρυθμού επικινδυνότητας του ολικού χρόνου ζωής όταν χειροτερεύει η ισχύς αλλά η τυπική του απόκλιση παραμένει η ίδια	21
5. Ρυθμός επικινδυνότητας – Καμπύλες ηλικίας για διάφορες τιμές σκληρότητας για εξαρτήματα των οποίων η ισχύς χειροτερεύει γραμμικά με το χρόνο.	22
6. Μεταβολή της αξιοπιστίας και η αντίστοιχη συνάρτηση πυκνότητας για αστοχία	25
7. Ποιοτική συμπεριφορά του ρυθμού επικινδυνότητας (Bathtub Curve)	26
8. Επίδραση της αξιοπιστίας στο κόστος	31
9. Γραφική αναπαράσταση του ρυθμού επικινδυνότητας	33
10. Πυκνότητα πιθανότητα – Ρυθμός επικινδυνότητας – Αθροιστική αστοχία για την κανονική κατανομή	41
11. Πυκνότητα πιθανότητας – Ρυθμός επικινδυνότητας – Αθροιστική αστοχία για την αρνητική εκθετική κατανομή	44
12. Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας – πιθανότητας της κατανομής Weibull για $n=1$ και διάφορες τιμές της παραμέτρου β	48
13. Εξαρτήματα εν σειρά	52
14. Εξαρτήματα εν σειρά με ύπαρξη εναλλακτικού	53

15. Εξαρτήματα σε παράλληλη διαμόρφωση	54
16. Ανάπτυξη ενός σταθερού ρυθμού επικινδυνότητας όταν η αστοχία επισκευάζεται και το εξάρτημα επιστρέφει στο service	59
17. Τακτική συντήρησης	64
18. Τα 7 βήματα της RCM	69

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Ακρωνύμια

CDF	Cumulative Distribution Function (Αθροιστική Συνάρτηση Κατανομής)
CHF	Cumulative Hazard Function (Αθροιστική Συνάρτηση Επικινδυνότητας)
FME(C)A	Failure Modes Effects and (Critically) Analysis (Είδη Σφαλμάτων, Επιπτώσεων και Ανάλυση Κρισιμότητας)
HF	Hazard Function (Συνάρτηση Επικινδυνότητας)
HPP	Homogeneous Poisson Process (Ομογενής Διαδικασία Poisson)
IID	Independent and Identically Distributed (Ανεξάρτητα και Ομοειδώς Κατανεμημένα)
MTBF	Mean Time Between Failure (Μέσος Χρόνος Μεταξύ Αστοχιών)
MTTF	Mean Time To Failure (Μέσος Χρόνος Έως Την Αστοχία)
RCM	Reliability Centered Maintenance
ROCOF	Rate of Occurrence Of Failure (Ρυθμός Εμφάνισης Αστοχιών)
PDF	Probability Destiny Function (Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας)

Κεφάλαιο 1 Βασικές Έννοιες Αξιοπιστίας

1.1 Εισαγωγή

Η αξιοπιστία ενός προϊόντος είναι η προβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του στο χρόνο ή, όπως συχνά λέγεται, η πρώτη παράγωγος της ποιότητάς του ως προς το χρόνο. Η υψηλή ποιότητα είναι αναγκαία, απαραίτητη και απαιτητή από το χρήστη ενός προϊόντος. Περισσότερο όμως σημαντική είναι η αξιοπιστία του προϊόντος, η ικανότητα του δηλαδή να διατηρεί τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά με την πάροδο του χρόνου, όταν τίθεται σε λειτουργία και χρησιμοποιείται. Η αξιοπιστία είναι μια έννοια δυναμική και αυτό το χαρακτηριστικό της έρχεται να συμπληρώσει την στατική έννοια της ποιότητας και να τονίσει τη διαφορά μεταξύ του παραδοσιακού ποιοτικού ελέγχου (που αναμφισβήτητα είναι σημαντικός και απαραίτητος και συμβάλει ουσιαστικά στη διατήρηση και βελτίωση της αξιοπιστίας ενός προϊόντος) και της περισσότερο σύγχρονης προσέγγισης της αξιοπιστίας. Η πρόθεση κάθε χρήστη ενός προϊόντος (ειδικά εάν πρόκειται για εξοπλισμό) είναι η καμπύλη αξιοπιστίας να ταυτίζεται με την καμπύλη ποιότητας ή τουλάχιστο να τείνει να ταυτιστεί με αυτή κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος.

Το ενδιαφέρον της αξιοπιστίας επικεντρώνεται στις αστοχίες ενός στοιχείου κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του. Ένα στοιχείο αστοχεί όταν, σε κάποια χρονική στιγμή, η φόρτιση / τάση (load) που υφίσταται υπερβαίνει την ισχύ του (strength).

Μια απαραίτητη αξίωση σε κάθε μια λογική προσέγγιση του θέματος είναι ένα παραδεκτό λεξιλόγιο και ορισμοί. Για μια επιστημονική προσέγγιση οι ορισμοί πρέπει να είναι ακριβείς. Ένας ορισμός της αξιοπιστίας είναι:

«Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ενός εξοπλισμού να φέρνει σε πέρας μια προκαθορισμένη λειτουργία για ορισμένο χρονικό διάστημα και σε συγκεκριμένο περιβάλλον». [1]

Ο ορισμός περιλαμβάνει τέσσερις σημαντικούς όρους:

- λειτουργία
- περιβάλλον
- χρόνος
- πιθανότητα

Επίσης ως αξιοπιστία ενός συστήματος μπορεί να θεωρηθεί το γινόμενο της αξιοπιστίας των εξαρτημάτων του.

Είναι φανερό ότι η αξιοπιστία μπορεί να λάβει μια διακριτή αριθμητική τιμή η οποία μπορεί να αποδοθεί σε ένα εξοπλισμό, χρησιμοποιώντας τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά. Η αξιοπιστία εξαρτάται από (είναι συνάρτηση του) τον τρόπο σχεδιασμού και κατασκευής του εξοπλισμού, τη λειτουργία και τη συντήρησή του.

- Ευρωπαϊκός Οργανισμός για Έλεγχο Ποιότητας – European Organization for Quality Control (1965)

Η μέτρηση της ικανότητας ενός προϊόντος να λειτουργεί επιτυχημένα όταν χρειάζεται για την περίοδο που χρειάζεται σ' ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Μετριέται ως πιθανότητα.

- U.S. (Στρατιωτικό Εγχειρίδιο) - Military Handbook (1970)

Η πιθανότητα ότι ένα αντικείμενο θα εκτελέσει τις λειτουργίες του κάτω από καθορισμένες συνθήκες χρήσης και συντήρησης για μια καθορισμένη μέτρηση της μεταβλητής (variable) (χρόνος, απόσταση).

- Βρετανικό Ινστιτούτο Προτύπων – British Standards Institution (1971)

Η ικανότητα ενός αντικειμένου να εκτελέσει μια απαιτούμενη λειτουργία κάτω από καθορισμένες συνθήκες για μια συγκεκριμένη περίοδο.

- U.K. Υπουργείο Αμύνης – Ministry of Defense, Def. Stan. 00-5 (Part I) Issue 3 (1979)

Η ικανότητα ενός αντικειμένου να εκτελεί, ή να είναι ικανό να εκτελέσει τις απαιτούμενες λειτουργίες χωρίς αστοχία κάτω από καθορισμένες συνθήκες για μια καθορισμένη περίοδο χρόνου ή μονάδα λειτουργίας. Μπορεί να εκφραστεί ως μια πιθανότητα.

Προσδιορίζοντας την αξιοπιστία ως πιθανότητα, είναι πολύ ελκυστικό γιατί μας επιτρέπει να ποσοτικοποιήσουμε την αξιοπιστία. Δεχόμαστε την πιθανότητα σαν μια πρώτη τάξεως μέτρηση της αξιοπιστίας. Το κάνουμε αυτό πρωταρχικά για να προσδιορίσουμε την αξιοπιστία. Έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχουν τέσσερα χαρακτηριστικά σε αυτούς και σε άλλους ορισμούς της αξιοπιστίας:

- (1) Αναμένεται μια ορισμένη απόδοση
- (2) Αναμένεται μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες χρήσεως
- (3) Κάτω από ορισμένη περίοδο χρόνου
- (4) Η αξιοπιστία εκφράζεται ως μια στατιστική πιθανότητα

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εμφανίζονται σε μια φαινομενική σειρά αυξανόμενης ευπειθείας (tractability), αλλά κάθε μια είναι ανοιχτή σε διαφορετικές ερμηνείες.

Επιπλέον, διαφορές στη συνολική έννοια της αξιοπιστίας πηγαινούν κόντρα στη διαφορετική έμφαση που δίνεται σε αυτά τα χαρακτηριστικά.

Ενδογενής / Εγγενής Αξιοπιστία – Ορίζεται ως η μέγιστη αξιοπιστία που μπορεί να επιτύχει ένας εξοπλισμός και βασίζεται στο σχεδιασμό και τη διαδικασία

κατασκευής του. Προυποθέτει ένα ιδεατό περιβάλλον συντήρησης και λειτουργίας εντός των προβλεπόμενων σχεδιαστικών παραμέτρων.[1]

Η διαφορά μεταξύ αξιοπιστίας και εγγενούς αξιοπιστίας, είναι ότι η συντήρηση μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία ενός στοιχείου αλλά όχι και την εγγενή αξιοπιστία του. Η συντήρηση μπορεί να διαβεβαιώσει ότι η εγγενής αξιοπιστία ενός εξοπλισμού είναι εφικτή αλλά δεν μπορεί να υπερκερασθεί.

1.2 Συλλογή(collect) και διαταξινόμηση (collation) της εμπειρίας του χρήστη

Πριν να μπορέσει να συμβουλέψει το σχεδιαστή, ο χρήστης πρέπει να συλλέξει και να διαταξινομήσει (collate) όλες τις διαθέσιμες σ' αυτόν πληροφορίες πάνω στην αξιοπιστία. Διάφορες μέθοδοι είναι δυνατοί σ' αυτόν:

- (1) ειδικοί μηχανικοί υπηρεσίας μπορούν ν' αναπτυχθούν στο πεδίο ώστε να σημειώνουν και να εκτιμούν όλες τις αποτυχίες στις περιοχές τους.
- (2) ο χρήστης στο πεδίο μπορεί ν' αναφέρει σε μια κεντρική πηγή, οποιαδήποτε αστοχία την οποία συναντά μέσω των διαφόρων ελαττωμάτων.
- (3) οι δουλειές που αναλαμβάνονται από εργαστήρια επισκευής, μπορούν να εξεταστούν ώστε να παρέχουν δεδομένα αστοχίας.

Οι παραπάνω μέθοδοι έχουν δοθεί προκειμένου να υπάρχει αυξανόμενη ευθύνη στην αυτοματοποίηση, αλλά και ελαττούμενη εσωτερική επαγγελματική εκτίμηση (built-in professional evaluation). Η πρώτη μέθοδος έχει το πλεονέκτημα της «επί τόπου» εξέτασης (on the spot investigation), εκτίμησης και υπολογισμού από ένα επαγγελματικά ικανό μηχανικό. Παρ' όλα αυτά, δεν υπάρχει καμιά εγγύηση ότι ο μηχανικός θα εξετάσει και θα κοινοποιήσει όλες τις αποτυχίες στην περιοχή του. Επιπλέον, όταν κάνει οποιαδήποτε εξέταση θα μπορούσε να αγνοεί είτε αν

καταπιάνεται με μια εκτός τύπου αστοχία είτε αν πρόκειται για ένα επαναλαμβανόμενο σφάλμα. Το δεύτερο σύστημα εφαρμόζεται με ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό και στηρίζεται στο χρήστη ν' αναφέρει οποιαδήποτε αστοχία. Οποιαδήποτε «επί τόπου» εκτίμηση, εξαλείφεται από αυτό το σύστημα, αλλά θεωρητικά όλες οι αποτυχίες αναφέρονται. Μια στατιστική εκτίμηση γι' αυτό θα πρέπει να είναι δυνατή και χρησιμοποιώντας ειδικά ετοιμασμένα έντυπα που ν' απαιτούν μόνο απλές ερωτήσεις για ν' απαντηθούν. Είναι δυνατόν να επιτευχθεί μια σημαντική ποσότητα τεχνικών δεδομένων, ενώ ο χρήστης που συμπληρώνει το έντυπο μπορεί και να μην είναι τεχνικός. Αυτό είναι ένα σχετικά φτηνό σύστημα μιας και μπορεί να πραγματοποιηθεί με μη εξειδικευμένο προσωπικό και να είναι προσαρμόσιμο σε μια ευρεία κλίμακα και ποικιλία λειτουργιών. Η αδυναμία του συστήματος είναι η απροθυμία του χρήστη να γεμίσει ένα ακόμη έντυπο! Συγκεκριμένα, οι χρήστες δεν συγκεντρώνουν αναφορές ελαττωμάτων από μικρές επαναλαμβανόμενες αποτυχίες, έτσι ώστε τα καταγραφόμενα στο κεντρικό σημείο δεδομένα μπορεί να είναι λανθασμένα. Θα φαινόταν ότι αυτό το σύστημα δεν φανερώσει τους ουσιώδεις λόγους που δημιουργούν τις πολλές «πολύ γνωστές» αποτυχίες, απλά επειδή οι αποτυχίες γίνονται τόσο «πολύ γνωστές», που να μην αξίζει ν' αναφερθούν! Αυτό το ελάττωμα προσπερνιέται από την τρίτη μέθοδο, η οποία αναλύει όλη τη λαμβανόμενη πληροφορία από πρότυπη (ή μόνο ελαφρώς διαφοροποιημένη) εργαστηριακή πληροφορία, όπως για παράδειγμα οι κάρτες εργασίας (job cards).

Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας (άρα και οι συναρτήσεις αξιοπιστίας, κινδύνου και αθροιστικής κατανομής που προκύπτουν από τις προηγούμενες), αληθινών δεδομένων, συνήθως ταιριάζουν σε μια μαθηματική συσχέτιση, της

οποίας τα χαρακτηριστικά είναι γνωστά στους μηχανικούς αξιοπιστίας. Αυτές οι γνωστές κατανομές περιλαμβάνουν την εκθετική, τη Weibull, την κανονική – λογαριθμική και την κανονική κατανομή. Μπορούν δε να περιγραφούν πλήρως, αν μπορεί κανείς να εκτιμήσει τις παραμέτρους τους. Για παράδειγμα η Συνάρτηση Αθροιστικής Κατανομής (CDF) Weibull είναι:

$$f(t) = 1 - e^{-((t/n)^\beta)} \quad (1.1)$$

όπου $t \geq 0$

Οι παράμετροι β και n μπορούν να υπολογιστούν από τα δεδομένα, με τη χρήση διαφόρων μεθόδων που θα περιγραφούν παρακάτω. Μολονότι είναι μια από τις συνήθεις κατανομές, μόλις υπολογιστούν με ακρίβεια οι παράμετροι της μπορούμε να υπολογίσουμε τα δεδομένα αστοχίας και αντικατάστασης. Γενικά αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει με επεξεργασία των στατιστικών συναρτήσεων που θα αναφερθούν παρακάτω, προκειμένου να:

α. Κατανοήσουμε το πρόβλημά μας.

β. Προβλέψουμε αστοχίες και να αναλύσουμε το πιθανό ρίσκο και να πάρουμε σωστότερες αποφάσεις. Αυτές οι αποφάσεις θα επιδράσουν τη συχνότητα αντικατάστασης, επισκευής, ή ελέγχου ενός εξοπλισμού. Επίσης θα συνεισφέρουν στη βελτιστοποίηση άλλων παραμέτρων και αποφάσεων που αφορούν την αξιοπιστία.

Η όλη διαδικασία έχει τρεις παραμέτρους:

(1) Τη συλλογή καλών δεδομένων

(2) Την επιλογή της κατάλληλης συνάρτησης για την απεικόνιση του δικού μας προβλήματος και τον υπολογισμό των παραμέτρων του συστήματος.

(3) Να εκτιμήσουμε το επίπεδο εμπιστοσύνης του μοντέλου που προκύπτει.

1.3 Ημιτελή Δεδομένα (Censored Data)

Σε μια ολοκληρωμένη παρατήρηση η τιμή κάθε δείγματος παρακολουθείται μέχρι το καταληκτικό γεγονός. Ένα ουσιαστικό όμως πρόβλημα στην ανάλυση των δεδομένων είναι ότι δεν αστοχούν όλα τα εξαρτήματα την ώρα που τα παρατηρούμε και τα αναλύουμε ή κατά τη διάρκεια του χρόνου παρατήρησης. Έχουμε δηλαδή στοιχεία για ένα μέρος του κύκλου ζωής των εξαρτημάτων που εξετάζουμε. Ουσιαστικά έχουμε σαν δεδομένο ότι το εξάρτημα είχε διάρκεια ζωής τουλάχιστο ίση με ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Υπάρχει δηλαδή μερική μόνο πληροφόρηση για τη διάρκεια ζωής αυτών των εξαρτημάτων, η οποία βρίσκεται πέραν των συνήθων χρόνων λειτουργίας. Η ύπαρξη ημιτελών παρατηρήσεων σε ένα σύνολο δεδομένων βιωσιμότητας, αυξάνει τη μεταβλητότητα των δεδομένων, μειώνει την απόδοση και την ακρίβεια της ανάλυσης, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί απαιτήσεις για τη χρήση ιδιαίτερων στατιστικών τεχνικών και μεθόδων για τη μελέτη τους [2,3]. Όμως σε καμιά περίπτωση δεν μπορούν να αγνοηθούν από τον αναλυτή, αφού είναι σημαντικές παρατηρήσεις της λειτουργίας του εξαρτήματος [4]. Δυο βασικά σημεία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη χρήση των ημιτελών δεδομένων:

(1) Τα ημιτελή δεδομένα είναι τυχαία

(2) Οι παρατηρήσεις αστοχίας και οι ημιτελείς παρατηρήσεις πρέπει να είναι ανεξάρτητες.

Αυτές οι δυο παραδοχές είναι αναγκαίες για να μπορεί να είναι εφαρμόσιμη κάποια τεχνική [5]. Η πιστοποίηση των παραπάνω παραδοχών είναι ιδιαίτερα δύσκολη, ειδικά σε πραγματικές εφαρμογές.

1.4 Ανάλυση Βιωσιμότητας (Survival Analysis)

Ο όρος Ανάλυση Βιωσιμότητας χρησιμοποιείται για να καθοριστεί το σύνολο των στατιστικών μεθόδων που είναι διαθέσιμες για την ανάλυση δεδομένων βιωσιμότητας (survival data) ή των δεδομένων χρόνου ζωής (lifetime data).

Τα δεδομένα αυτά αποτελούνται από μια μεταβλητή η οποία μετράει τη διάρκεια του χρόνου ζωής μέχρι να λάβει χώρα ένα συγκεκριμένο καταληκτικό γεγονός. Ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να είναι μονάδες προϊόντος, διανυθέντα χλμ, κ.λ.π. Όμως σε κάθε περίπτωση η μεταβλητή είναι πάντα μη αρνητική. Το καταληκτικό γεγονός στην αξιοπιστία είναι η βλάβη του υπό παρατήρηση εξαρτήματος / συστήματος.

Η αλματώδης ανάπτυξη της Ανάλυσης Βιωσιμότητας παρουσιάστηκε τα τελευταία 50 χρόνια, όταν προτάθηκαν σημαντικές στατιστικές αναλύσεις δεδομένων από το χώρο της ιατρικής. Στον τομέα της αξιοπιστίας είχε δοθεί μεγάλη έμφαση στην κατανομή Weibull, μια παραμετρική μέθοδο, ενώ στη βιοϊατρική επικεντρώνονταν σε μη παραμετρικές μεθόδους, όπως το Μοντέλο των Αναλογικών Κινδύνων (Proportional Hazards Model) [6,7]. Τα τελευταία χρόνια μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη βιοϊατρική, σταδιακά, άρχισαν να υιοθετούνται και να βρίσκουν εφαρμογή και στην αξιοπιστία.

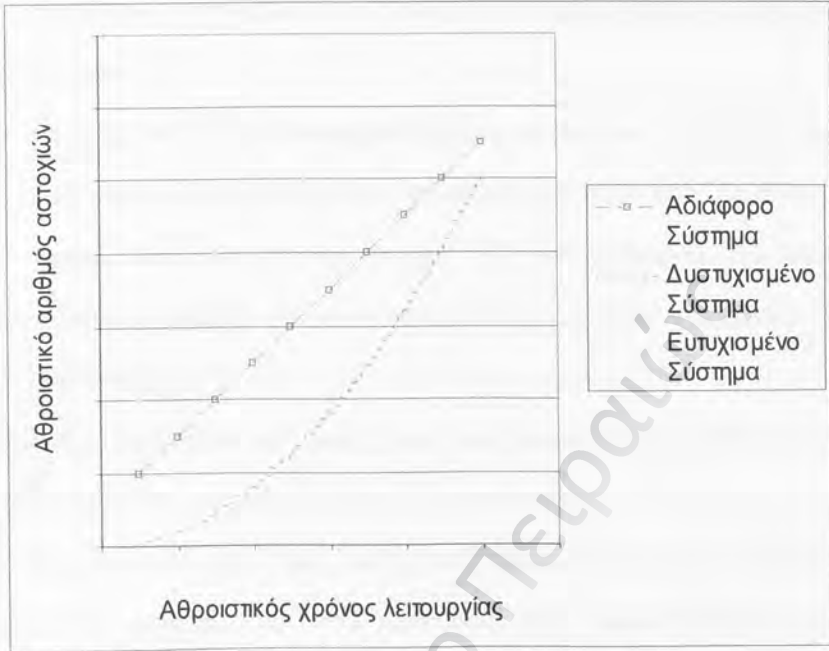
Η ανάλυση βιωσιμότητας παρόλο που είναι μια ευρύτατη περιοχή αναπτύσσεται συνεχώς. Διάφορες πηγές είναι τα βιβλία των Kalbfleish & Prentice (1980) [8],

Lawless (1982) [9], Lee (1980) [10], Elandt Johnson & Johnson (1980) [11], Miller (1981) [5] και Cox & Oakes (1984) [12].

1.5 Έλεγχος τάσης (Trend Testing)

Κατά την ανάλυση δεδομένων ενός επισκευάσιμου συστήματος πρέπει να εξετάζουμε αν ο ρυθμός αστοχιών είναι κατά προσέγγιση σταθερός, οπότε και η διαδικασία εμφάνισης των αστοχιών είναι στάσιμη / στατική ή αν οι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αστοχιών παρουσιάζουν κάποια συγκεκριμένη τάση αύξησης ή μείωσης.

Ο καλύτερος τρόπος αυτού του ελέγχου είναι ο γραφικός (αθροιστικός) αριθμός αστοχιών ως προς τον αθροιστικό χρόνο λειτουργίας του συστήματος. Το διάγραμμα που προκύπτει είναι γνωστό ως Διάγραμμα Ρυθμού Εμφάνισης Αστοχιών (ROCOF) και στη γενική του μορφή είναι όπως στο σχήμα 1.



Σχήμα 1 Διαγράμμα Ρυθμού Εμφάνισης Αστοχιών (ROCOF)

- Αν ο ρυθμός αστοχιών είναι –κατά προσέγγιση- σταθερός τότε τα σημεία του διαγράμματος που προκύπτουν θα είναι σχετικά στοιχημένα γύρω από μια ευθεία γραμμή και η σταθερή κλίση θα αποτελεί το σταθερό ρυθμό αστοχιών του συστήματος. Μπορεί να θεωρηθεί στην περίπτωση αυτή ότι τα δεδομένα είναι ανεξάρτητα και ομοειδώς κατανομημένα (IDD) και είναι δυνατή η αναδιάταξη τους κατά μέγεθος πριν γίνει η στατιστική τους ανάλυση. Η ευθεία γραμμή του Διαγράμματος Ρυθμού Εμφάνισης Αστοχιών (ROCOF) χαρακτηρίζει τα «αδιάφορα συστήματα» (noncommittal systems)[2].
- Αν οι χρόνοι μεταξύ των διαδοχικών αστοχιών μειώνονται, η καμπύλη περιγραφής των σημείων του διαγράμματος θα στρέφει τα κοίλα προς τα άνω (concave up). Αυτό θα αποδεικνύει τη φθίνουσα αξιοπιστία του συστήματος

(reliability deterioration) και χαρακτηρίζει τα «δυστυχημένα συστήματα» («sad systems»)[2].

- Αν οι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αστοχιών αυξάνονται, η καμπύλη περιγραφής των σημείων του διαγράμματος θα στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω (concave down). Αυτό θα αποδεικνύει την αύξουσα αξιοπιστία του συστήματος (reliability growth) και χαρακτηρίζει τα «ευτυχημένα συστήματα» («happy systems»)[2].

Εκτενής παρουσίαση των υπάρχοντων στατιστικών ελέγχων τάσης γίνεται από τους Ascher και Feingold [2] και Cox and Lewis [13].

Ο στατιστικός έλεγχος τάσης που αναπτύχθηκε από τον Laplace (1773) ξεχωρίζει για την απλότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που δίνει. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της μηδενικής (null) υπόθεσης της Ομογενούς Διαδικασίας Poisson (HPP) μέσω του τύπου 1.2.

$$u = \sqrt{12} n \left[\frac{\sum_{i=1}^n t_i - 0,5}{nt_0} \right] \quad (1.2)$$

όπου n είναι το πλήθος των αστοχιών του συστήματος και t_i είναι ο χρόνος (αφιξεως) της i -αστοχίας.

Ανάλογα με την τιμή του u μπορούμε να ελέγξουμε την αρχική υπόθεση μη ύπαρξης τάσης στα δεδομένα τα οποία έχουν κατανεμηθεί με χρονολογική σειρά. Συγκρίνουμε την τιμή του u με την τιμή της τυπικής κανονικής μεταβλητής t_i . Αν

για μονόπλευρο έλεγχο και επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=5\%$, το $u > 1,70 > 1,645 = z_{1-\alpha}$ τότε η αρχική υπόθεση μη ύπαρξης τάσης απορρίπτεται.[14]

Ο Bates [15] έδειξε ότι όταν ο αριθμός των αστοχιών είναι μικρότερος από 3, η δειγματική κατανομή του u είναι κανονική.

Η λογική ανάπτυξης αυτού του τεστ βασίζεται στα ακόλουθα: Όταν υφίσταται χειροτέρευση (βελτίωση) της αξιοπιστίας του συστήματος, οι χρόνοι t_i θα τείνουν να εντοπίζονται μετά (πριν) από τη μέση τιμή του εξεταζόμενου χρόνου. Όταν υπάρχει χειροτέρευση (βελτίωση) το άθροισμα αυτών των χρόνων θα τείνει να μεγαλώσει (μικρύνει) και θα είναι μεγαλύτερο (μικρότερο) από το μισό του γινομένου nt_0 .

Στατιστικά σημαντικές θετικές (αρνητικές) τιμές της u αποτελούν σημαντικές ενδείξεις απόρριψης της αρχικής υπόθεσης ανεξαρτήτων και ομοειδών κατανεμημένων χρόνων μεταξύ αστοχιών και αποδοχής της υφιστάμενης φθοράς του συστήματος, συνεπώς χειροτέρευσης (βελτίωσης) της αξιοπιστίας του και τελικά μη – σταθερού ρυθμού αστοχιών.

Ο έλεγχος τάσης σε δεδομένα αξιοπιστίας και συντήρησης θα πρέπει να προηγηθεί οποιασδήποτε προσπάθειας ανάλυσης των δεδομένων και εξαγωγής συμπερασμάτων, προκειμένου να ανιχνευθούν τυχόν συσχετίσεις και συγκεκριμένα πρότυπα που οι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αστοχιών παρουσιάζουν. Απώτερος σκοπός είναι η βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας των προγραμμάτων συντήρησης των επιδιορθώσιμων συστημάτων. Η εφαρμογή του ελέγχου τάσης είναι απλή και συνάμα ιδιαίτερα σημαντική. Αποτελεί διαδικασία πρωταρχικής σημασίας, αφού τα αποτελέσματα της θα καθοδηγήσουν τον

αναλυτή στην επιλογή του ορθότερου μοντέλου περιγραφής των διαθέσιμων δεδομένων[7].

1.6 Είδη Σφαλμάτων. Επιπτώσεις και Ανάλυση Κρισιμότητας (FME(C)A)

1.6.1 Δραστηριότητες για την Αξιοπιστία κατά το Στάδιο Σχεδιασμού

Είναι βασικό η αξιοπιστία να μελετάται σε όλα τα στάδια ενός project. Όταν ο αναλυτής ξεκινάει τη δουλειά του στο σχεδιαστήριο ή και νωρίτερα πρέπει να έχει υπόψη του τον παράγοντα αξιοπιστία. Αν οι αναλύσεις έχουν γίνει κανονικά, στον κατάλληλο χρόνο, από τους σωστούς ανθρώπους και με αρχείο που κρατείται συνεχώς ενημερωμένο, τότε οι δυνητικές αδυναμίες του σχεδίου έχουν πολύ υψηλότερη πιθανότητα ανίχνευσης και διόρθωσης νωρίς στο project. Επίσης η διοίκηση και / ή ο πελάτης μπορούν να λάβουν διαβεβαιώσεις ότι η αξιοπιστία έχει αναλυθεί σωστά και έτσι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα υψηλής αξιοπιστίας ή ικανοποίησης των κριτηρίων αξιοπιστίας.

Μια αλλαγή που θα κοστίσει 1000 δρχ. αν γίνει κατά το αρχικό στάδιο μπορεί να κοστίσει 100.000 δρχ. για να ενσωματωθεί στον εξοπλισμό όταν αυτός έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί.

1.6.2 Τύποι Αστοχιών, Αποτελέσματα και Ανάλυση Κρισιμότητας (FME(C)A)

Το FME(c)A είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό και την πιστοποίηση -βάσει κανόνων- των λειτουργιών, των λειτουργικών αστοχιών, των τύπων αστοχιών και των επιπτώσεων τους. Παρέχει επίσης και ένα μέσο για τον καθορισμό της σημασίας των λειτουργικών αστοχιών

όσον αφορά την ασφάλεια, το περιβάλλον, τις λειτουργίες και τις οικονομικές επιπτώσεις. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω το FME(c)A είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ανεύρεση σχεδιαστικών αδυναμιών που πρέπει να λάβει υπόψη ο υπεύθυνος του project, για να μπορέσει να το διεκπεραιώσει σωστά. Θεωρητικά είναι μια ομαδική προσπάθεια που περιλαμβάνει σχεδιαστές μαζί με τα τμήματα συντήρησης, πώλησης και ένα τμήμα βοήθειας με εξειδικευμένο προσωπικό σε θέματα αξιοπιστίας. Αν ο αναλυτής τηρεί αρχεία, αυτά θα πρέπει να αποτελέσουν τη βάση της πρώτης ανάλυσης. Συχνά ονομάζεται «Ανάλυση Bottom – Up» και εξετάζει εξαρτήματα χαμηλού επιπέδου ή λειτουργικές ομαδοποιήσεις εξαρτημάτων και θεωρεί τις αστοχίες του συστήματος σαν αποτέλεσμα όλων των τύπων αστοχίας. Η ανάλυση θα πρέπει να τροποποιείται τακτικά ανάλογα με την πρόοδο και τις μεταβολές στο σχεδιασμό, καθιστώντας την έτσι συνεχώς ανανεωμένη / ενημερωμένη ώστε να αντανakλά την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος. Για να είναι όσο το δυνατό πιο χρήσιμη η παραπάνω ανάλυση θα πρέπει να είναι ενημερωμένη για κάθε αλλαγή, παρά από το να γραφεί στο τέλος του project. Τα πρότυπα που ασχολούνται με αυτή την τεχνική είναι το BS 5760 και US-MIL STD 1629.

1.7 Επιδιορθώσιμα – Μη Επιδιορθώσιμα Εξαρτήματα

Οι Ascher & Feingold [2] πρότειναν τους παρακάτω – γενικά αποδεκτούς-ορισμούς σχετικά με το χαρακτηρισμό ενός εξαρτήματος / συστήματος ως επιδιορθώσιμου ή μη επιδιορθώσιμου.

Επιδιορθώσιμο εξάρτημα (σύστημα) είναι κάθε εξάρτημα το οποίο αφού αστοχήσει σε μια από τις λειτουργίες του, επαναφέρεται στην αρχική λειτουργική του

κατάσταση με διορθωτική συντήρηση. Η αξιοπιστία του εκφράζεται από τη συνάρτηση επικινδυνότητας $h(t)$, από το μέσο χρόνο μεταξύ αστοχιών (MTBF) και από την πιθανότητα μη εμφάνισης αστοχίας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Ένα επιδιορθώσιμο στοιχείο (ή σύστημα) είναι δυνατό να αστοχήσει αρκετές φορές στη διάρκεια της ζωής του, χωρίς όμως να είναι απαραίτητο οι αστοχίες αυτές (μαζί και οι χρόνοι μεταξύ αστοχιών) να είναι ανεξάρτητες και ομοειδώς καταναμημένες. Ο στόχος της Διοίκησης Αξιοπιστίας (Reliability Management) είναι οι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αστοχιών ενός συστήματος να μην είναι ανεξάρτητοι και ομοειδώς καταναμημένοι, αλλά να παρουσιάζουν συνεχώς αυξητική τάση, πράγμα το οποίο θα αποδεικνύει και τη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος (reliability growth).

Μη επιδιορθώσιμο εξάρτημα είναι κάθε στοιχείο που σταματάει να χρησιμοποιείται μετά την πρώτη και μοναδική αστοχία που παρουσιάζει. Η στιγμιαία πιθανότητα να λάβει χώρα η πρώτη και μοναδική αστοχία ενός τέτοιου στοιχείου καλείται ρυθμός επικινδυνότητας (hazard rate). Άλλα μεγέθη, όπως η μέση διάρκεια ζωής ή το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένα συγκεκριμένο ποσοστό (π.χ. το 10%) παρόμοιων στοιχείων αναμένεται να έχει αποτύχει, αποτελούν χαρακτηριστικά της αξιοπιστίας μη επιδιορθώσιμων στοιχείων. Επειδή τα μη επιδιορθώσιμα στοιχεία (συνήθως εξαρτήματα) είναι δυνατό να αποτύχουν μια μόνο φορά, η διενέργεια στατιστικής ανάλυσης απαιτεί τη διαθεσιμότητα δεδομένων (χρόνων αστοχιών – times to failure) από ένα δείγμα παρόμοιων στοιχείων, αφού κάθε στοιχείο είναι σε θέση να δώσει ένα και μόνο δεδομένο. Επιπρόσθετα, τα στοιχεία ενός δείγματος είναι ομοίως καταναμημένα (τα χαρακτηριστικά του υπόκεινται μόνο σε μικρές στατιστικές διακυμάνσεις οφειλόμενες στην μεταβλητότητα της παραγωγικής

διαδικασίας από την οποία προήλθαν και στην μεταβλητότητα της φόρτισης την οποία υφίστανται) με αποτέλεσμα οι χρόνοι αστοχίας των στοιχείων του δείγματος να μπορούν να θεωρηθούν ως ανεξάρτητα και ομοειδώς καταμεμημένα δεδομένα (independent and identically distributed data – IID data) και επομένως να είναι δυνατή και ορθή η Ανάλυση Βιωσιμότητάς τους (Survival Analysis) και η περιγραφή ή μοντελοποίησή τους με μια στατιστική κατανομή, όπως η εκθετική κατανομή (Exponential distribution) ή η κατανομή Weibull (Weibull distribution), που παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το ίδιο στοιχείο μπορεί να θεωρηθεί ως επιδιορθώσιμο και ως μη επιδιορθώσιμο.

Στη βιβλιογραφία γίνεται συνεχής αναφορά των μη επιδιορθώσιμων στοιχείων (συστημάτων) και προτείνεται η μελέτη της αξιοπιστίας και της συντήρησης τους με στατιστικές κατανομές. Επισημαίνεται όμως η ορθή χρήση των μεθόδων ανάλυσης αξιοπιστίας και συντήρησης για την εξαγωγή των σωστών συμπερασμάτων.

1.7.1 Τύποι Αντικαταστάσεων

Όταν κάποιο εξάρτημα αστοχεί σε ένα σύστημα, αντικαθίσταται από κάποιο άλλο παρόμοιο το οποίο δεν θα πρέπει να έχει ξαναχρησιμοποιηθεί και θα πρέπει να είναι πανομοιότυπο του εξαρτήματος που αντικαθίσταται (ούτε καλύτερο ούτε υποδεέστερό του). Αυτό το είδος αντικατάστασης θεωρείται ως «καλή – σαν – καινούργια» αντικατάσταση (“good – as – new” replacement).

Όμως σε κάποιες περιπτώσεις το εξάρτημα που αντικαθίσταται είτε έχει χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν και έχει αποσυρθεί πριν αστοχήσει είτε έχει

αστοχήσει, επισκευαστεί και από λειτουργικής απόψεως είναι «καλό – σαν – καινούργιο». Παρόλα αυτά το εξάρτημα δεν είναι εφάμιλλο του παλαιού, αλλά υποδεέστερό του και η αντικατάσταση θεωρείται «κακή – σαν – παλιά» αντικατάσταση ("bad – as – old" replacement).

Η «καλή – σαν – καινούργια» αντικατάσταση σχετίζεται με την αξιοπιστία του συστήματος και όχι με την ικανότητα του να εκτελεί κάποιες συγκεκριμένες και προκαθορισμένες λειτουργίες. Δηλαδή η επισκευή ενός συστήματος έχει σαν αποτέλεσμα την επαναφορά του στην αρχική – επιθυμητή λειτουργική κατάσταση και γι' αυτό μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμο με ένα καινούργιο σύστημα από λειτουργικής σκοπιάς και μόνο. Η αξιοπιστία όμως του συστήματος είναι διαφορετική μετά από κάθε επισκευή συγκριτικά με την αξιοπιστία του τη στιγμή που για πρώτη φορά τέθηκε σε λειτουργία. Αυτό είναι συνέπεια της διαφορετικότητας μιας «καλής – σαν – καινούργιας» και μιας «κακής – σαν – παλιάς» αντικατάστασης. Η πρώτη προκαλεί μια ανανέωση στη ζωή του συστήματος σε αντίθεση με τη δεύτερη που δεν μπορεί, με αποτέλεσμα η «ηλικία» του συστήματος να υπολογίζεται από τη στιγμή που αυτό τέθηκε για πρώτη φορά σε λειτουργία.

1.8 Φθορά Εξαρτημάτων – Συστημάτων

1.8.1 Γενικά

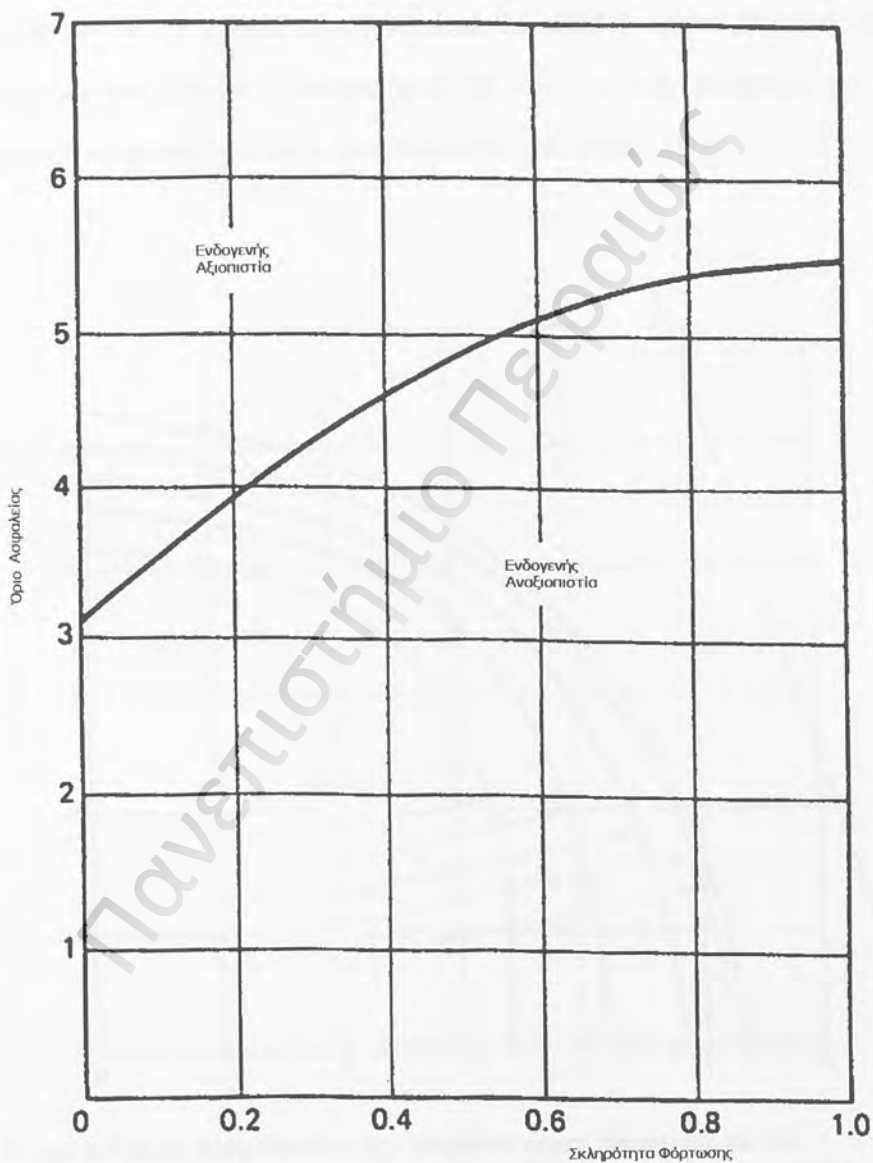
Κάποια μορφή φθοράς λαμβάνει χώρα σχεδόν σε όλα τα πραγματικά μηχανικά εξαρτήματα / συστήματα. Η φθορά μπορεί από φυσική άποψη να είναι ένα

φαινόμενο που ανταποκρίνεται στην καθημερινή χρήση του όρου, στην οποία το υλικό φθείρεται έτσι ώστε τα ελεύθερα διάκενα ή οι «πιέσεις» (stresses) να γίνονται πολύ μεγάλες για ικανοποιητική χρήση. Επιπλέον, μπορεί να είναι λόγω γήρανσης, ή λόγω σκωρίασης, διάβρωσης και ούτω καθεξής. Αλλιώς, η φθορά μπορεί να είναι λόγω της καταπόνησης του υλικού που οδηγεί σε αστοχία, ή λόγω ολίσθησης (creep) που οδηγεί σε απώλεια ακρίβειας (loss of clearance) ή πιθανή διακοπή-ρήξη (rupture). Ο όρος φθορά συμπεριλαμβάνει έτσι μια ευρεία ποικιλία φαινομένων των οποίων το κοινό χαρακτηριστικό είναι η μείωση της αξιοπιστίας. Επίσης χρησιμοποιείται για να δηλώσει οποιαδήποτε χειροτέρευση (deterioration) στην ισχύ (strength), όπως κι αν εκτιμάται, ενός εξαρτήματος.

1.8.2 Διαδικασία Φθοράς

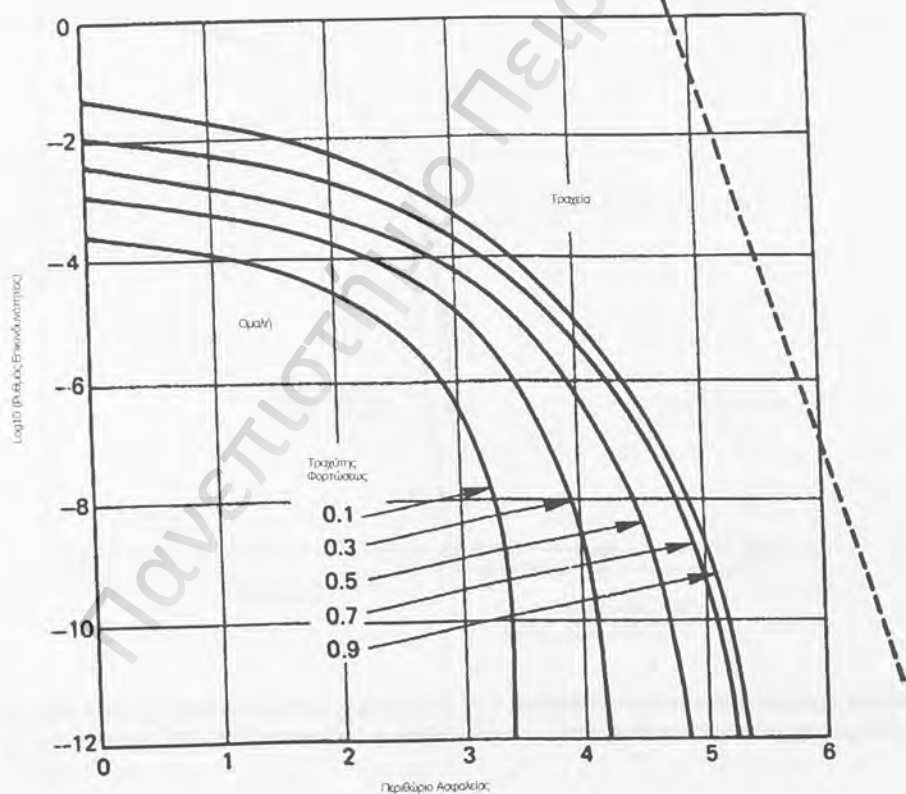
Η διαδικασία φθοράς χαρακτηρίζεται από μια γραμμική μείωση στη μέση ισχύ ενός εξαρτήματος σε σχέση με την ηλικία, ενώ η τυπική απόκλιση παραμένει αμετάβλητη. Υποθέτουμε ότι ένα κομμάτι που φθείρεται μ' αυτό τον τρόπο, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι αρχικά ενδογενώς αξιόπιστο, δηλαδή το όριο ασφαλείας να είναι μεγαλύτερο από τις τιμές που αναφέρονται στο σχήμα 2 [16].

Σε ένα τέτοιο σύστημα αρχικά η αξιοπιστία θα είναι ουσιαστικά 100% και ο ρυθμός επικινδυνότητας μηδέν. Καθώς προχωρά ο χρόνος, η ισχύς θα



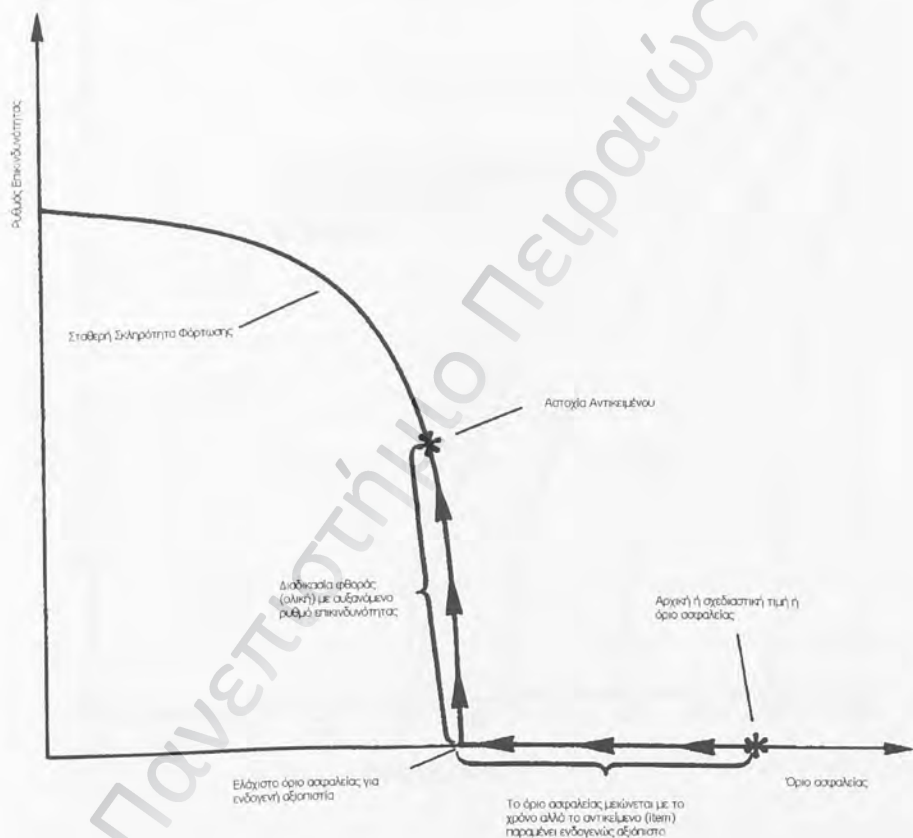
Σχήμα 2 Ελάχιστο όριο ασφαλείας για ενδογενή αξιοπιστία

ελαττώνεται μέχρι τη στιγμή που το στιγμιαίο όριο ασφαλείας είναι ακριβώς ίσο με την τιμή που παρίσταται γραφικά στο σχήμα 2. Καθώς το κομμάτι γερνάει το στιγμιαίο όριο ασφαλείας θα πέσει κάτω από την ελάχιστη τιμή για την ενδογενή αξιοπιστία και ο ρυθμός επικινδυνότητας θα αυξηθεί ανταποκρινόμενος στην καμπύλη του ρυθμού επικινδυνότητας ως προς το όριο ασφαλείας για την κατάλληλη σκληρότητα, όπως αυτά δείχνονται στο σχήμα 3 [16].



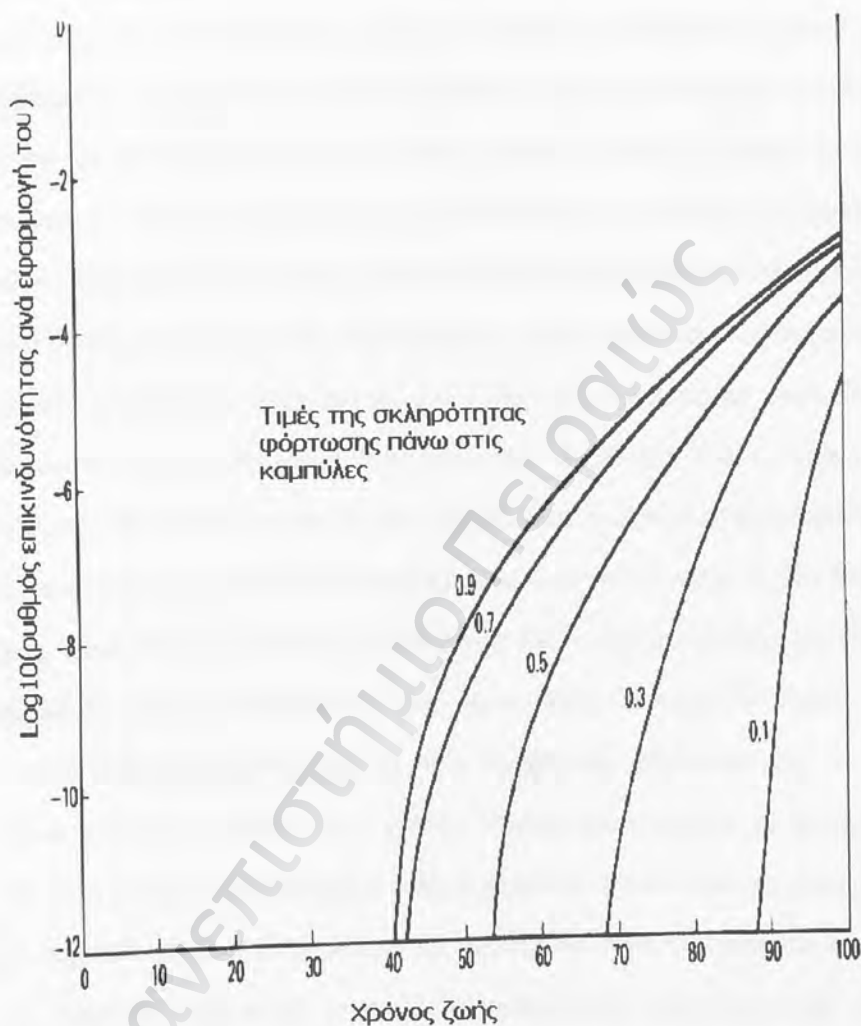
Σχήμα 3 Ρυθμός επικινδυνότητας – Καμπύλη ορίου ασφαλείας για μη διατηρήσιμα εξαρτήματα των οποίων η ισχύς δεν χειροτερεύει με το χρόνο

Κάποιος θα ανέμενε να αυξάνει ο ρυθμός επικινδυνότητας πολύ γρήγορα με το χρόνο καθώς θα συνέχιζε να μειώνεται το αποτελεσματικό στιγμιαίο όριο ασφαλείας. Η διαδικασία δείχνεται διαγραμματικά πάνω σ' ένα σκελετό ρυθμού επικινδυνότητας – ορίου ασφαλείας, στο σχήμα 4 [16].



Σχήμα 4 Διαγραμματική αναπαράσταση του ρυθμού επικινδυνότητας του ολικού χρόνου ζωής όταν χειροτερεύει η ισχύς αλλά η τυπική του απόκλιση παραμένει η ίδια

Το μοντέλο αστοχίας που συνάγεται ποιοτικά παραπάνω, επιβεβαιώνεται από τις καμπύλες στο σχήμα 5 [16].



Σχήμα 5 Ρυθμός επικινδυνότητας – Καμπύλες ηλικίας για διάφορες τιμές σκληρότητας για εξαρτήματα των οποίων η ισχύς χειροτερεύει γραμμικά με το χρόνο.

Αυτές έχουν υπολογιστεί πάνω στη βάση ότι η μέση ισχύς χειροτερεύει γραμμικά από ένα αρχικό όριο ασφαλείας 7 σ' ένα όριο ασφαλείας 3, σε πλήρη χρόνο ζωής. Η τυπική απόκλιση εκλήφθηκε να είναι ανεξάρτητη της ισχύος και παρέμεινε

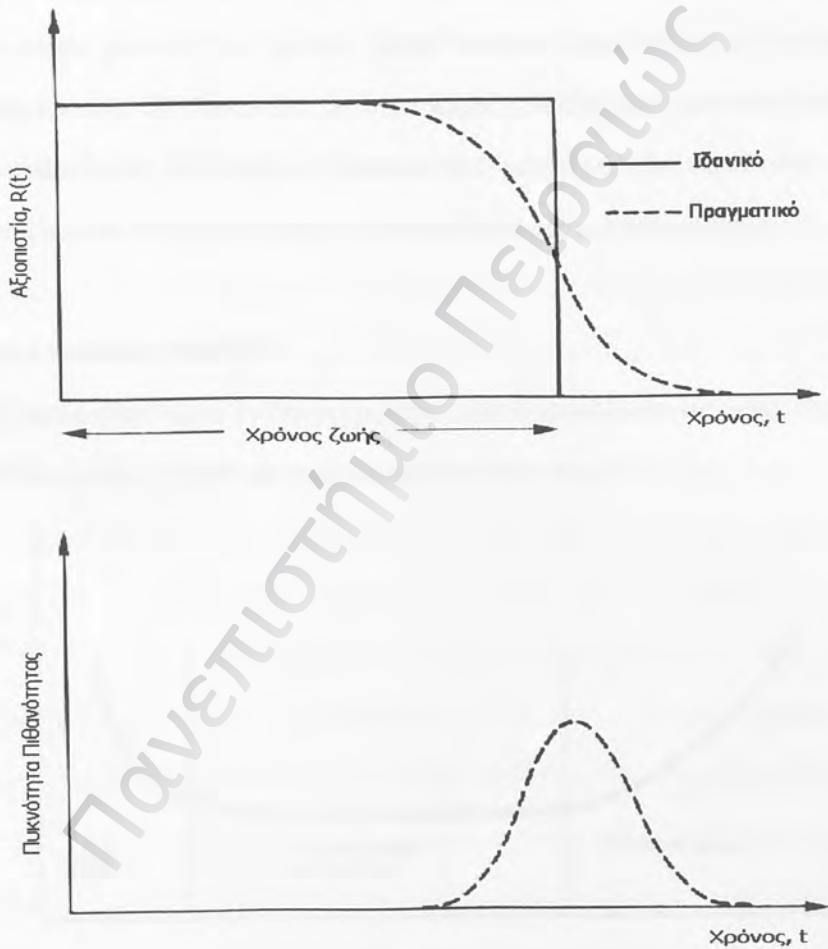
σταθερή, ξεχωριστά από οποιαδήποτε στρέβλωση που προκαλείται από τις ίδιες τις αποτυχίες. Το υπολογιζόμενο μοντέλο αστοχίας, συναγόμενο ποιοτικά, το επιβεβαιώνει. Η έναρξη της φθοράς δηλαδή η ζωή της ενδογενούς αστοχίας, μπορεί να εκτιμηθεί πάνω σε μια βάση σχεδόν – σταθερής ισχύος, αν είναι γνωστός ο νόμος που αναπαριστά τη χειροτέρευση της ισχύος με το χρόνο. Σε πολλές περιπτώσεις, στην πράξη αυτό είναι όλο που επιθυμούμε να κάνουμε, μιας και ο ρυθμός επικινδυνότητας αυξάνει γρήγορα με τον χρόνο και μετά απ' αυτά το κομμάτι αποσύρεται. Ακόμη κι έτσι, μπορεί να είναι επιθυμητό για οικονομικούς λόγους να θέσουμε το χρόνο ζωής κατά κάτι υψηλότερα από το χρόνο για ενδογενή αξιοπιστία. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, είναι αμφίβολο το αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οποιαδήποτε υπολογιζόμενες τιμές για την εκτίμηση του χρόνου ζωής, αφού δεν είναι έγκυρο να υποθέσουμε ότι η τυπική απόκλιση της ισχύος παραμένει σταθερή, αναφέροντας μόνο μια υπόθεση. (Κάποιος θα περίμενε ότι όσο πιο αδύναμα είναι τα κομμάτια τόσο πιο γρήγορα φθείρονται, έτσι ώστε η τυπική απόκλιση να αυξάνει με το χρόνο). Το μόνο που μπορούμε να δηλώσουμε είναι ότι ο ρυθμός επικινδυνότητας αυξάνει ταχύτατα. Έχουν γίνει υπολογισμοί για μια ευρεία σειρά ρυθμών χειροτέρευσης της ισχύος. Ακολουθώντας την περίοδο της ενδογενούς αξιοπιστίας, ο ρυθμός επικινδυνότητας αυξάνει συνεχώς με το χρόνο, όντας πάντα υψηλός, μολονότι φυσικά όσο πιο γρήγορη η απώλεια της ισχύος τόσο υψηλότερος ο ρυθμός με τον οποίο αυξήθηκε ο ρυθμός επικινδυνότητας.

Χωρίς να υπάρχει μια στέρεη θεωρητική βάση πάνω στην οποία να χτίσουμε, πρέπει ν' αναζητήσουμε μια πιο συνολική εμπειρική προσέγγιση στην απλή διαδικασία φθοράς. Ιδεατά, θα επιθυμούσαμε οποιοδήποτε κομμάτι εξοπλισμού να

είναι 100% αξιόπιστο (ενδογενώς αξιόπιστο) μέχρι μια δεδομένη στιγμή και τότε η αξιοπιστία θα μπορούσε να πέσει στο μηδέν ή ο ρυθμός επικινδυνότητας να γίνει άπειρος: δηλ., οι καμπύλες στο σχήμα 5 θα ήταν κάθετες ευθείες γραμμές στον καθορισμένο χρόνο ζωής. Αυτή είναι η προσέγγιση "One - Hoss Shay" που περιγράφηκε από τον Oliver Wendell Holmes. Στην πράξη μπορούμε να περιμένουμε ότι η πτώση στην αξιοπιστία δεν θα είναι στιγμιαία, αλλά θα κατανέμεται σε μια πιο πεπερασμένη περίοδο χρόνου, όπως δείχνεται στο σχήμα 6.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Λαμβάνοντας υπόψη τους πάρα πολλούς παράγοντες που προκαλούν απομάκρυνση από το ιδανικό, θα ήταν παράλογο να υποθέσουμε ότι οι αποτυχίες θα κατανέμονταν λίγο-πολύ «κανονικά». Δεν είναι δυνατό να υπολογίσουμε τις



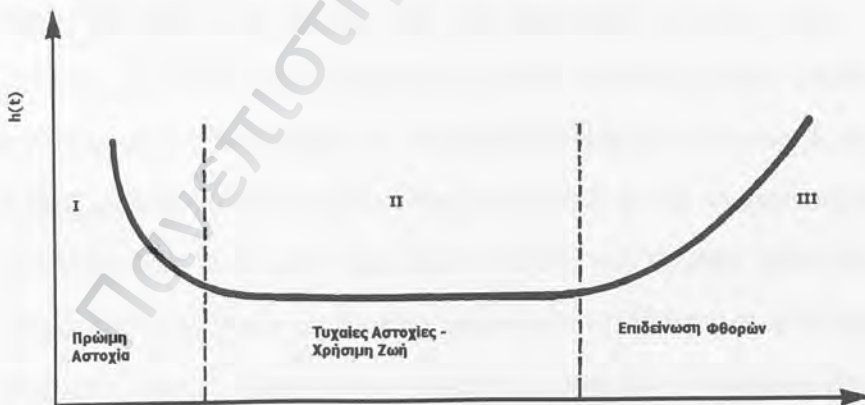
Σχήμα 6 Μεταβολή της αξιοπιστίας και η αντίστοιχη συνάρτηση πυκνότητας για αστοχία

παραμέτρους που ορίζουν αυτή την κατανομή και πρέπει να τονιστεί ότι το μοντέλο φθοράς πρέπει να εδραιωθεί εμπειρικά από στοιχεία πεδίου. Παρόλα αυτά, αυτό είναι ένα επεξεργάσιμο μοντέλο για την απλή διαδικασία φθοράς, που εμπλέκει το ελάχιστο των εμπειρικών παραγόντων.

Αν ένα εξάρτημα φθείρεται με μια ουσιαστικά γραμμική χειροτέρευση της ισχύος, το ολικό μοντέλο του χρόνου ζωής αστοχίας ενός ενδογενώς αξιόπιστου εξαρτήματος, θα αποτελείται από μια αρχική περίοδο ενός μηδενικού ρυθμού επικινδυνότητας, του οποίου η έκταση(extent) μπορεί να υπολογιστεί πάνω σε μια βάση σχεδόν σταθερής ισχύος, που ακολουθείται από μια φάση φθοράς.

1.8.3 Καμπύλη Bathtub

Για πολλά εξαρτήματα το διάγραμμα του ρυθμού επικινδυνότητας συναρτήσει του χρόνου μοιάζει ποιοτικά με αυτό που φαίνεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7 Ποιοτική συμπεριφορά του ρυθμού επικινδυνότητας (Bathtub Curve)

Λόγω του σχήματος του διαγράμματος ονομάζεται καμπύλη «μπανιέρα» (bathtub curve).

Ας θεωρήσουμε αρχικά ένα απλό μη επισκευάσιμο τμήμα / εξάρτημα. Σε μια μεγάλη παρτίδα τέτοιων εξαρτημάτων θα βρίσκονται μερικά που θα παρουσιάζουν βλάβη ή αδυναμία όσο καλός και αν είναι ο έλεγχος ποιότητας, οι διεργασίες ελέγχου κλπ. Έστω ότι αυτά τα εξαρτήματα θα αστοχήσουν νωρίς δίνοντας έναν υψηλό αρχικό ρυθμό αστοχίας. Με το που αποσυρθούν αυτά τα εξαρτήματα, ο ρυθμός επικινδυνότητας θα μείνει χαμηλός και σχεδόν σταθερός. Αυτή η περίοδος λέγεται χρήσιμη περίοδος ζωής. Περιστασιακά, οι διαδικασίες γήρανσης θα κάνουν αισθητή την παρουσία τους και ο ρυθμός επικινδυνότητας θα αυξηθεί. Αυτή είναι η περίοδος κατά την οποία τα εξαρτήματα θα πρέπει να αρχίσουν να αντικαθίστανται πριν αρχίσουν οι βλάβες. Στην I περιοχή ο χρόνος ονομάζεται και "μη χρήσιμος" και είναι αυτός που απαιτείται για να "στρώσει" το εξάρτημα.

Για ένα πιο πολύπλοκο επισκευάσιμο εξάρτημα η ιστορία είναι η ίδια. Κατασκευαστικά σφάλματα σε ορισμένα εξαρτήματα θα δώσουν υψηλό αρχικό ρυθμό αστοχιών. Μόλις αρχίσει ένας αποτελεσματικός χειρισμός αυτών των αστοχιών, ο ρυθμός τους ελαττώνεται και λίγο ή πολύ παραμένει σταθερός. Μπορεί να τεθεί το ερώτημα: αν το εξάρτημα μπορεί να επισκευαστεί, γιατί ο ρυθμός αστοχιών αρχίζει να αυξάνει; Μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα ο ρυθμός θα κατασταλάξει σε ένα επίπεδο σχεδόν σταθερό, αλλά περνάει μέσα από ένα αριθμό κύκλων αυξήσεων και μειώσεων πριν φτάσει το εξάρτημα σ' αυτή τη φάση (σταθερή). Αυτό το μοντέλο είναι σύμφωνο με ένα όριο ασφάλειας κάτω από εκείνο για ενδογενή αξιοπιστία. Η καμπύλη που παράγεται για το ενδογενώς αξιόπιστο συστατικό με απλή φθορά και η κλασική καμπύλη μπανιέρας (bathtub curve) είναι ουσιαστικά οι ίδιες όπου η πρώτη είναι μια ειδική περίπτωση της δεύτερης προκύπτοντας από την επιλογή του ορίου ασφαλείας.

Ο πρώτος (κύκλος) θα λάβει χώρα στο στάδιο όπου πολλά εξαρτήματα θα αρχίσουν να χαλάνε. Αυτό το σημείο στο διάγραμμα φαίνεται σαν «μπανιέρα». Είναι προς το συμφέρον μας να αποκόψουμε την καμπύλη στον πρώτο κύκλο. Όταν υπολογίζονται τα κόστη αγοράς και επισκευής και σταθμιστούν για όλη τη διάρκεια ζωής, αυτή η στάθμιση (μέσος όρος) φτάνει σ' ένα ελάχιστο στην αρχή της περιόδου που πρέπει να γίνει η αντικατάσταση του εξαρτήματος. Αυτό διότι το κόστος ενός εφεδρικού εξαρτήματος όπως και το κόστος της προσαρμογής του είναι υψηλότερο από το αρχικό κόστος αυτού του εξαρτήματος για τον παραγωγό (Για παράδειγμα η κατασκευή ενός αυτοκινήτου από τα επιμέρους κομμάτια του θα κόστιζε πολύ περισσότερο απ' ότι ένα έτοιμο αυτοκίνητο). Ο Carter (1986) [16] παρουσιάζει μια λεπτομερειακή ανάλυση αυτού του φαινομένου περιλαμβάνοντας και ένα αριθμητικό παράδειγμα.

1.8.4 Διαθεσιμότητα

Θα έπρεπε επίσης ν' αναγνωρισθεί εξ αρχής ότι η υψηλή αξιοπιστία (ή χαμηλός ρυθμός επικινδυνότητας) αυτή καθεαυτή είναι σπανίως ο πρωτεύων στόχος. Σε μια μεγαλύτερη ή μικρότερη έκταση μια χαμηλή αξιοπιστία μπορεί να αντισταθμίζεται από εύκολη και φθηνή συντήρηση. Παραμένει να δούμε κατά πόσο είναι αυτό δυνατό, αλλά μπορούν να επινοηθούν άλλα κριτήρια ποιότητας για να αναπαραστήσουν αυτή την άποψη. Ένα απ' αυτά τα κριτήρια είναι η διαθεσιμότητα (availability), η οποία ορίζεται ως ακολούθως:

Διαθέσιμο: Η κατάσταση ενός κομματιού(item) τέτοιου που να μπορεί να εκτελεί τη λειτουργία του κάτω από

δεδομένες συνθήκες χρήσης και συντήρησης στον απαιτούμενο τόπο.

Διαθεσιμότητα: Η πιθανότητα ότι ένα κομμάτι, σε οποιαδήποτε στιγμή στο χρόνο, θα είναι διαθέσιμο.

Ως επακόλουθο αυτών των ορισμών, είναι δυνατό να υπολογιστεί η διαθεσιμότητα ως:

διαθεσιμότητα = ενεργός χρόνος (up time) / ενεργός χρόνος + χρόνος αργίας (down time)

όπου «ενεργός χρόνος» είναι ο χρόνος που είναι διαθέσιμο το κομμάτι όπως ορίζεται παραπάνω και «χρόνος αργίας» είναι ο ολικός χρόνος επισκευής συμπεριλαμβανομένου οποιουδήποτε χρόνου που ξοδεύεται σε «εμπλεκόμενες» διοικητικές διαδικασίες, χρόνου που ξοδεύεται σε αναμονή για ανταλλακτικά, σε μεταφορά και ούτω καθεξής, όπως επίσης και του δραστικού χρόνου επισκευής. Μερικές φορές παραθέεται μια περαιτέρω ποσότητα, η «έμφυτη διαθεσιμότητα».

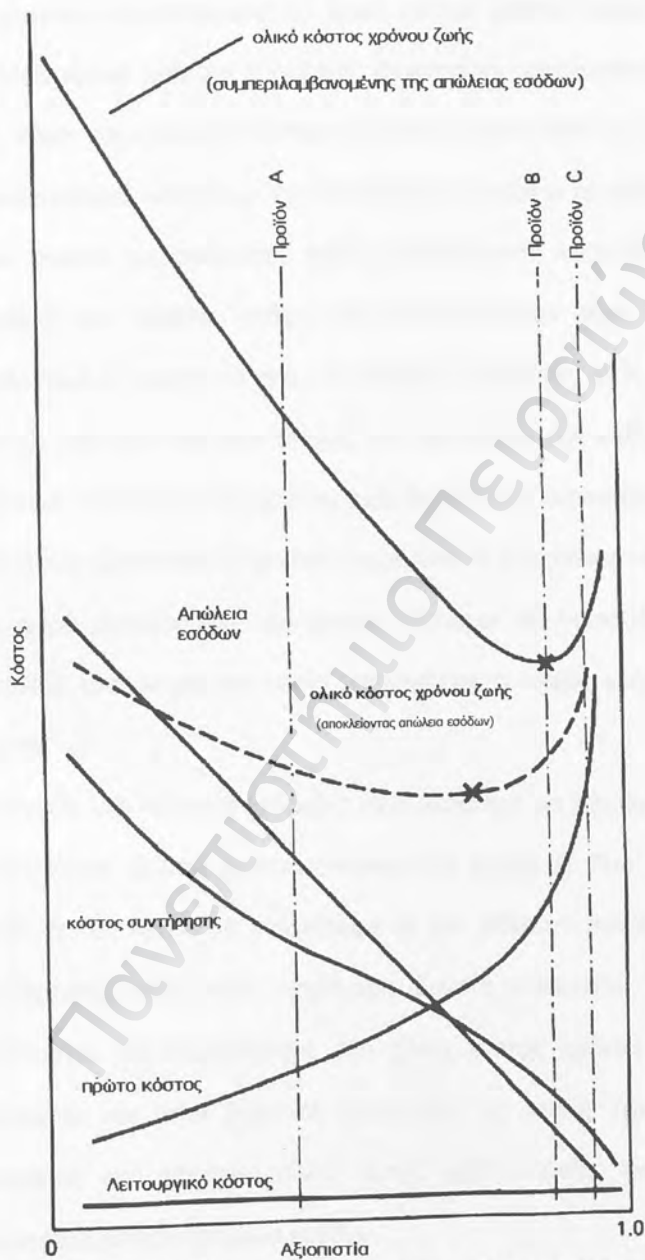
Ορίζεται ως εξής:

έμφυτη διαθεσιμότητα = ενεργός χρόνος (up time) / (ενεργός χρόνος + δραστικός χρόνος active repair time). [16]

Σ' αυτό τον ορισμό του δραστικού χρόνου επισκευής (active repair time) λαμβάνεται να είναι αυτό που όντως ξοδεύεται πάνω στην εργασία, και αποκλείει κάθε χρόνο διοίκησης, μεταφοράς παραμονής, κλπ. Αυτό είναι σαφώς πιο σχετικό σε μια μηχανολογική εκτίμηση (engineering appraisal). Χρησιμοποιείται από μεγάλες βιομηχανίες με ποικίλες διαδικασίες σε περιπτώσεις όπου έχει ήδη αναληφθεί μεγάλη δαπάνη κεφαλαίου, και η διαθεσιμότητα είναι τότε ένα μέτρο

της ικανότητας της επιχείρησης να ικανοποιεί μια απαίτηση. Το ύστατο κριτήριο φυσικά πρέπει να είναι το κόστος.

Θα πρέπει να είναι αυτονόητο ότι η υψηλή αξιοπιστία πρέπει να πληρώνεται και για το σχέδιο και για την παραγωγή. Από την άλλη πλευρά ο μικρότερος αριθμός αποτυχιών στο service θα απαιτεί λιγότερες ενέργειες συντήρησης και θα χρειάζονται λιγότερα ανταλλακτικά. Το ολικό κόστος συντήρησης θα μειωθεί με αυξανόμενη αξιοπιστία. Αυτό έχει παρουσιαστεί στο σχήμα 8, το οποίο δείχνει τη μεμονωμένη προμήθεια και τα λειτουργικά κόστη που παρίσταται γραφικά ως προς την αξιοπιστία.



x δηλώνει το βέλτιστο προϊόν που βασίζεται στο ελάχιστο ολικό κόστος του χρόνου ζωής

Σχήμα 8 Επίδραση της αξιοπιστίας στο κόστος

Επίσης δείχνεται σ' αυτή την καμπύλη ότι το άθροισμα των μεμονωμένων κομματιών, το αναπαριστά το ολικό κόστος χρόνου ζωής του εξοπλισμού. Οι φράσεις «ολικό κόστος» ή «κόστος ιδιοκτησίας» χρησιμοποιούνται μερικές φορές στη θέση του «ολικού κόστους χρόνου ζωής». Αυτή η καμπύλη δείχνει ένα χαρακτηριστικό ελάχιστο σ' ένα σημείο όπου τα κόστη προμήθειας και συντήρησης είναι σωστά ισορροπημένα. Επίσης παριστάνεται γραφικά στο σχήμα 8 μια καμπύλη που λαμβάνει υπόψη την απώλεια εσόδων λόγω έλλειψης αξιοπιστίας, υπολογισμένο συμβατικά από υποτιθέμενα έσοδα του 15% του ολικού κόστους χρόνου ζωής στο βέλτιστο σημείο, και που αγνοεί την καλή διάθεση. Και οι δύο καμπύλες ολικού κόστους χρόνου ζωής δείχνουν το χαρακτηριστικό ελάχιστο, αλλά η τιμή της αξιοπιστίας στην οποία συμβαίνει το ελάχιστο είναι διαφορετική. Ακόμη μια φορά χρειαζόμαστε να είμαστε σίγουροι σε οποιαδήποτε εφαρμογή του ακριβούς τρόπου με τον οποίο υπολογίζεται ο ολικός χρόνος ζωής ή το ολικό κόστος.

Δυστυχώς λίγα πρακτικά δεδομένα είναι διαθέσιμα για την κατασκευή πραγματικών γραφημάτων που να ανταποκρίνονται στο σχήμα 8. Παρ' όλα αυτά, βλέπουμε όντως ότι θα πρέπει να στοχεύουμε σε ένα βέλτιστο συνδυασμό αξιοπιστίας και συντήρησης παρά στην υψηλότερη δυνατή αξιοπιστία. Όπως το θέμα μας εξελίσσεται, θα αναφερθούμε στο ολικό κόστος χρόνου ζωής όπως ορίζεται παραπάνω και στην βέλτιστη αξιοπιστία, ως εκείνη την αξιοπιστία η οποία προκύπτει στα ελάχιστα ολικά κόστη χρόνου ζωής, ενώ έχει υποθεθεί ότι συμπεριλαμβάνεται απώλεια εσόδων.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της αστοχίας δίνεται από την

$$f(t) = dF(t)/dt \quad (1.3)$$

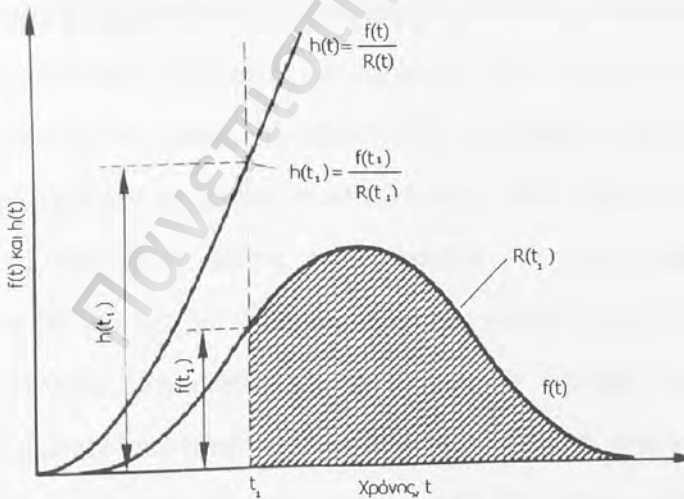
και είναι ένας όρος μαθηματικά προσδιορισμένος. Το προσδοκώμενο συνολικό ποσοστό αστοχίας το οποίο είναι η αθροιστική αστοχία από το διάστημα T_1 ως T_2 δίδεται από τον τύπο:

$$\int_{T_1}^{T_2} \left\{ dF(t) / dt \right\} dt \quad (1.4)$$

ή

$$\int_{T_1}^{T_2} f(t) dt \quad (1.5)$$

Ως επιπλέον βοήθεια στη φυσική σημασία αυτού του μέτρου της αναξιοπιστίας οι παραπάνω τύποι παρουσιάζονται σχηματικά στο σχήμα 9.



Σχήμα 9 Γραφική αναπαράσταση του ρυθμού επικινδυνότητας

Η κατανομή της αστοχίας έχει θεωρηθεί ως κανονική αν και φυσικά κάθε κατανομή είναι πιθανή και ο δείκτης αστοχίας μπορεί να αυξηθεί όπως έχει ήδη φανεί ή να μειωθεί με το χρόνο ή ακόμη και ένας συνδυασμός των δύο. Το συνολικό ποσοστό αστοχίας στο t_1 θα είναι η περιοχή πάνω από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της αστοχίας $f(t)$ μέχρι το χρόνο t_1 και η περιοχή πέρα απ' αυτή, - που δείχνεται σκιασμένη - αναπαριστά το μη αποτυχημένο ποσοστό του πληθυσμού, δηλαδή, την αξιοπιστία.

Έτσι ισχύει:

$$\text{ρυθμός επικινδυνότητας} = h(t) = \{dF(t)/dt\} / R(t) = f(t) / R(t) \quad (1.6)$$

επιτυγχάνοντας τη στατιστική ερμηνεία αλλά και τη γραφική αναπαράσταση όπως φαίνεται στο σχήμα 9.

Υπάρχουν και άλλοι μέθοδοι προσδιορισμού του $h(t)$. Πολλοί παίρνουν ως σύνολο όλες τις αποτυχίες και τις διαιρούν με τον ολικό λειτουργικό χρόνο, παρόλο που τα νούμερα συσχετίζονται με διαφορετικά πρότυπα κατασκευής και πιθανώς με τροποποιημένες μονάδες. Η ποσότητα αυτή καλείται αρκετές φορές ως «αθροιστικός ρυθμός επικινδυνότητας» (cumulative hazard rate). Αυτό είναι ανεφάρμοστο σε πρωτοποριακό σχεδιασμό, αφού περιέχει δεδομένα από παλαιά κομμάτια. Άλλοι εργάτες απλώς διαιρούν τον ολικό αριθμό αποτυχιών που συμβαίνουν σε ένα δεδομένο διάστημα χρόνου με αυτό το διάστημα ώστε επιτευχθεί ένας ρυθμός επικινδυνότητας. Αν διαιρεθεί με τον ολικό αριθμό κομματιών στον πληθυσμό ίσως φαίνεται να είναι μια πρακτική προσέγγιση, αλλά αν ο πληθυσμός αποτελείται από κομμάτια διαφορετικής ηλικίας και διαφορετικά πρότυπα κατασκευής, τα οποία ίσως να υπόκεινται σε διαφορετική συντήρηση, η συσχέτιση μπορεί να είναι πολύ ελάχιστη. Γι' αυτό πρέπει να ληφθεί κάποια

μέριμνα ώστε να εξασφαλιστεί ότι ο ρυθμός επικινδυνότητας είναι ορθώς ορισμένος σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη περίπτωση.

3.2 Διαφορικός Κανονισμός Διαφορίων (Differential Equations)

Το διαφορικό εξίσωση είναι μια σχέση που περιγράφει τον ρυθμό αλλαγής μιας μεταβλητής ως συνάρτηση της μεταβλητής ως δόσμου. Είναι ως εκ τούτου μια εξίσωση με το παρακάτω σχήμα: $y' = f(x, y)$. Αυτός ο κανονισμός είναι ένας τύπος της εξίσωσης $y' = f(x, y)$.

- Διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης (first-order differential equation) είναι μια εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό αλλαγής μιας μεταβλητής ως συνάρτηση της μεταβλητής ως δόσμου. Είναι ως εκ τούτου μια εξίσωση με το παρακάτω σχήμα: $y' = f(x, y)$.
- Το διαφορικό εξίσωση πρώτης τάξης είναι η απλούστερη εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό αλλαγής μιας μεταβλητής ως συνάρτηση της μεταβλητής ως δόσμου. Είναι ως εκ τούτου μια εξίσωση με το παρακάτω σχήμα: $y' = f(x, y)$.

$$y' = f(x, y) \tag{1.1}$$

Ολοκληρωτική εξίσωση (integral equation) είναι μια εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό αλλαγής μιας μεταβλητής ως συνάρτηση της μεταβλητής ως δόσμου. Είναι ως εκ τούτου μια εξίσωση με το παρακάτω σχήμα: $y = \int f(x, y) dx + C$.

- Το ολοκληρωτικό εξίσωση είναι η απλούστερη εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό αλλαγής μιας μεταβλητής ως συνάρτηση της μεταβλητής ως δόσμου. Είναι ως εκ τούτου μια εξίσωση με το παρακάτω σχήμα: $y = \int f(x, y) dx + C$.

$$y = \int f(x, y) dx + C \tag{1.2}$$

- Η ολοκληρωτική εξίσωση είναι η απλούστερη εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό αλλαγής μιας μεταβλητής ως συνάρτηση της μεταβλητής ως δόσμου. Είναι ως εκ τούτου μια εξίσωση με το παρακάτω σχήμα: $y = \int f(x, y) dx + C$.

Κεφάλαιο 2 Κατανομές

2.1 Συναρτήσεις Κατανομών (Distribution Functions)

Από ένα δείγμα δεδομένων επιβίωσης μπορεί να εκτιμηθεί ένας αριθμός χρονικών συναρτήσεων. Αυτό επιτρέπει στις πιθανότητες να μελετηθούν ως δεδομένα έχοντας ως αποτέλεσμα μια πιο κατανοητή περιγραφή των δεδομένων. Αυτές οι συναρτήσεις και οι έννοιες τους έχουν ως εξής:

- Συναρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function, pdf), $f(t)$: Αντιπροσωπεύει την πιθανότητα αστοχίας ενός εξαρτήματος μεταξύ ενός χρονικού διαστήματος $[t, t+\delta t]$, όπου το δt τείνει στο 0.
- Το ολοκλήρωμα της pdf μέσα στο διάστημα $[0, t]$ ορίζει την αθροιστική /

$$F(t) = \int_0^t f(u) du \quad (2.1)$$

συσσωρευτική συνάρτηση κατανομής (cumulative distribution function, cdf), $F(t)$.

- Το συμπλήρωμα της τελευταίας συνάρτησης είναι η συνάρτηση αξιοπιστίας (Reliability Function) $R(t)$, η οποία συχνά καλείται συνάρτηση επιβίωσης και αντιστοιχεί στην πιθανότητα επιβίωσης ενός στοιχείου για μια χρονική διάρκεια t .

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.2)$$

- Μια σημαντική ποσότητα στη θεωρία της αξιοπιστίας είναι η συνάρτηση επικινδυνότητας (hazard function, hf) $h(t)$. Προκύπτει από τη σχέση:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

και ορίζεται ως η υπό όρους πιθανότητα ενός στοιχείου να επιβιώσει μεταξύ $[t, t+\delta t]$ έχοντας επιβιώσει μέχρι χρόνο t , δηλαδή να αστοχήσει ένα εξάρτημα μέσα σε ένα διάστημα $(t, t+\delta t)$ όταν έχει επιβιώσει ήδη για χρόνο t .

- Το ολοκλήρωμα της $h(t)$ στο $[0, t]$ ορίζει την αθροιστική συνάρτηση επικινδυνότητας (cumulative hazard function, chf), $H(t)$.

$$H(t) = \int_0^t h(u) du \quad (2.4)$$

Σαν μέγεθος δεν έχει φυσική σημασία αλλά χρησιμοποιείται για υπολογιστικούς σκοπούς διότι υπολογίζεται εύκολα από τα δεδομένα βιωσιμότητας.

Οι ως άνω συναρτήσεις είναι αλληλένδετες. Μερικές από τις πλέον σημαντικές συσχετίσεις είναι οι ακόλουθες:

$$H(t) = -\ln R(t) = -\ln[1 - F(t)] \quad (2.5)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-H(t)} \quad (2.6)$$

Είναι συνήθως πρακτικό να εκφράζουμε τη συνάρτηση επικινδυνότητας ως ένα μέρος του υπάρχοντος πληθυσμού στον οποίο το $h(t)$ αναφέρεται. Αυτό γίνεται γιατί το απόλυτο μέγεθος της αστοχίας έχει μικρή σημασία αν δεν είναι

συνδεδεμένο με τον πληθυσμό και στην πραγματικότητα ο πληθυσμός είναι άγνωστος.

Σημειώνεται ότι τόσο τα $h(t)$, $R(t)$ όσο και το $F(t)$ είναι μια ποσότητα που διαφέρει ανάλογα με το χρόνο. Το σύμβολο (t) δίνει έμφαση ακριβώς σε αυτό μετατρέποντας κάθε μια από τις ποσότητες σε λειτουργίες του χρόνου. [7, 16, 17].

2.2 Στατιστικές Κατανομές (Lifetime Distributions)

Ένας αριθμός στατιστικών κατανομών χρησιμοποιούνται με το χρόνο στη μελέτη της αξιοπιστίας. Η κατανομή που χρησιμοποιείται πιο εκτεταμένα είναι ίσως η αρνητική εκθετική κατανομή (negative exponential distribution). Κάθε περίοδος του σταθερού δείκτη αστοχίας $h(t)$ μπορεί να παρουσιαστεί με αυτή την κατανομή. Στη συνέχεια ακολουθεί σύντομη μελέτη της κανονικής κατανομής μαζί με την εκθετική κατανομή. Παρ' όλα αυτά έχει περιορισμένη εφαρμογή, ειδικότερα για μηχανολογικά προϊόντα. Πολλές πραγματικές κατανομές δεν ανταποκρίνονται στην αρνητική εκθετική και σημαντικά λάθη ανακύπτουν, υπό την πίεση να μουν σ' αυτή. Έτσι χρειαζόμαστε κάτι περισσότερο ευκίνητο. Η κατανομή Weibull εκπληρώνει την προϋπόθεση αυτή αρκετά καλά ίσως καλύτερα απ' ότι θα μπορούσε κανείς να ελπίζει, διότι συμπληρωματικά είναι πολύ κοντά στην κανονική κατανομή. Είναι επίσης πολύ σημαντικό στην περίπτωση της αρνητικής εκθετικής κατανομής ότι πολλές πραγματικές κατανομές με επιφανειακές ομοιότητες σε σχέση με την κανονική κατανομή είναι στη πραγματικότητα αρκετά διαφορετικές, έτσι ώστε να αποκλείεται η χρήση τους. Εφόσον μπορεί να αντικαταστήσει τόσο την αρνητική εκθετική όσο και την κανονική κατανομή, η κατανομή Weibull είναι δημοφιλής στους αναλυτές αξιοπιστίας.

Πρώτον πρέπει να συνειδητοποιηθεί ότι όλες οι κατανομές είναι εμπειρικές και ότι δεν υπάρχει θεμελιακός λόγος γιατί θα πρέπει η μια να είναι καλύτερη από την άλλη. Δεύτερον τα στοιχεία σχετικά με την αξιοπιστία είναι πενιχρά και η ωφέλεια του ταιριάσματος σε ένα περιορισμένο σύνολο είναι μικρή εγγύηση για γενική εφαρμογή.

2.2.1 Κανονική κατανομή

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) της κανονικής κατανομής δίνεται από τον τύπο

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-t^2/2\sigma^2\right\} \quad (2.5)$$

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής δίνεται από τον τύπο

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left\{-t^2/2\sigma^2\right\} dt \quad (2.6)$$

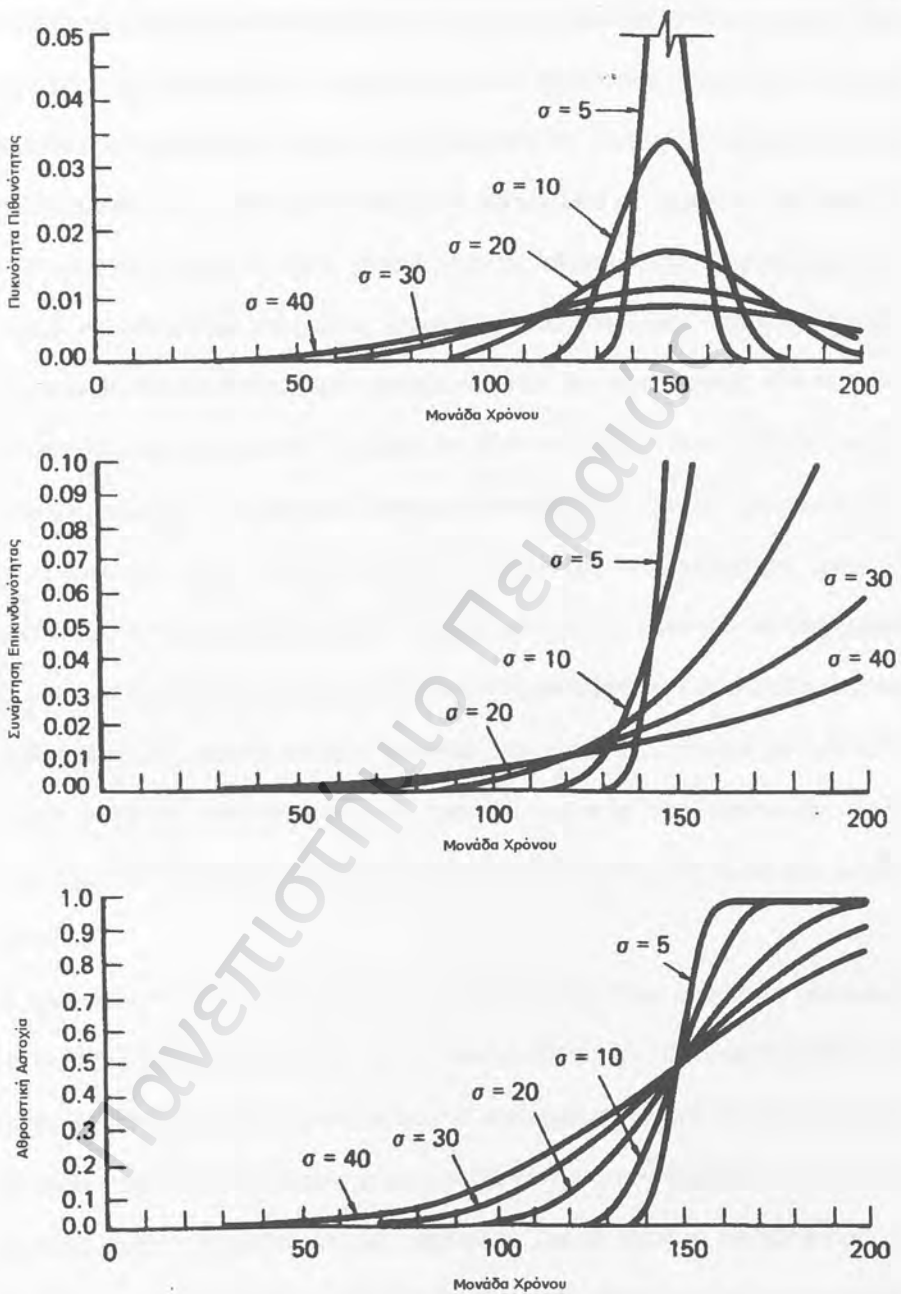
Ο τύπος της αξιοπιστίας είναι:

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left\{-t^2/2\sigma^2\right\} dt \Rightarrow h(t) = \frac{\exp\left\{-t^2/2\sigma^2\right\}}{\sigma\sqrt{2\pi} - \int_{-\infty}^t \exp\left\{-t^2/2\sigma^2\right\} dt} \quad (2.7)$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf), αξιοπιστίας, και η συνάρτηση επικινδυνότητας $h(t)$, που παρουσιάζονται στις παραπάνω εξισώσεις έχουν

σχηματιστεί διαγραμματικά (σε σχέση με το χρόνο) για τυπικές αποκλίσεις 5,10,20,30,40, στο σχήμα 10. Ένα σημαντικό γνώρισμα της κατανομής που παρουσιάζεται στο σχεδιάγραμμα, είναι ότι όταν χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει στοιχεία αστοχίας αυξάνεται διαρκώς με το χρόνο για όλες τις τιμές της τυπικής απόκλισης. [2]

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



Σχήμα 10 Πυκνότητα πιθανότητας – Ρυθμός επικινδυνότητας – Αθροιστική αστοχία για την κανονική κατανομή

Η κανονική κατανομή γενικώς θεωρείται ως η πιο σημαντική στη στατιστική. Αυτό προκύπτει πρακτικά διότι οι αποκλίσεις που λαμβάνουν χώρα είναι γενικώς κανονικά κατανεμημένες. Αυτό έχει εφαρμογή σε βιολογικά φαινόμενα αλλά ισοδύναμα και στις ιδιότητες των φυσικών υλικών. Όσο πιο φυσικές είναι τόσο πιο πολύ αληθινές μπορεί να είναι, αλλά ο έλεγχος ποιότητας από χειροποίητα υλικά μπορεί να προκαλέσει αποκλίσεις. Αποκλίσεις στις διαδικασίες παραγωγής γενικά ακολουθούν κανονική κατανομή, πράγμα που δεν προκαλεί έκπληξη εάν το λάθος σε ορισμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα είναι το σύνολο των αριθμών μικρών τυχαίων λαθών. Έτσι η κανονική κατανομή είναι συνήθως η καλύτερη παρουσίαση της απόκλισης. Κάθε τυχαία μεταβλητή σχηματίζει ένα ανεξάρτητο γραμμικό συνδυασμό κανονικά κατανεμημένο, τυχαίες μεταβλητές κανονικά κατανεμημένες θα γίνουν κανονικά κατανεμημένες, έτσι ώστε η ποιότητα που συνθέεται από ένα αριθμό βασικών χαρακτηριστικών, τα οποία είναι κανονικά κατανεμημένα, θα είναι επίσης κανονικά κατανεμημένη. Η πρακτική σημασία της κατανομής συχνά απορρέει από το γεγονός ότι προκαλείται από μόνη της και από το ότι έχει μεγάλη εφαρμογή.

Η κανονική κατανομή παρόλα αυτά δεν διαδραματίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην παρουσίαση των στοιχείων της μηχανολογικής αξιοπιστίας όσο διαδραματίζει στην γενική στατιστική. Παρόλα αυτά μπορεί να παρουσιάσει μερικά πρότυπα αστοχίας και είναι φυσικά η πρώτη επιλογή για την παρουσίαση των ιδιοτήτων των υλικών, για τους λόγους που αναφερθήκαμε παραπάνω. Πρέπει όμως να υιοθετηθεί μια πιο σκεπτική άποψη σε σχέση με την καθολικότητα της. Τα υλικά δεν έχουν αρνητική ισχύ όπως έχει αποδειχθεί από την κανονική κατανομή το οποίο είναι εντελώς αβάσιμο όπως διατυπώνεται. Μια απλουστευτική γνώμη για την κανονική κατανομή μπορεί να οδηγήσει σε λάθος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατανομές

φορτίου. Η μαθηματική σημασία της κανονικής κατανομής δεν υπονοεί ότι ο πραγματικός κόσμος πρέπει να προσαρμόζεται.

Η κανονική κατανομή είναι μια λειτουργία με δυο παραμέτρους, πλήρως προσδιορισμένες, το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση.

2.2.2 Εκθετική κατανομή

Η πιο απλή στατιστική κατανομή είναι η Εκθετική Κατανομή [6, 18] στην οποία η συνάρτηση επικινδυνότητας είναι σταθερή, ανεξάρτητη του χρόνου, ίση με h . Αυτό υποδηλώνει ότι ένα εξάρτημα δεν φθείρεται με το χρόνο κάτι που φυσικά δεν ισχύει στην πραγματικότητα. Αυτός ο σταθερός κίνδυνος υπονοεί ότι ένα χρησιμοποιημένο εξάρτημα είναι ισοδύναμο με ένα καινούργιο.

Από την εξίσωση

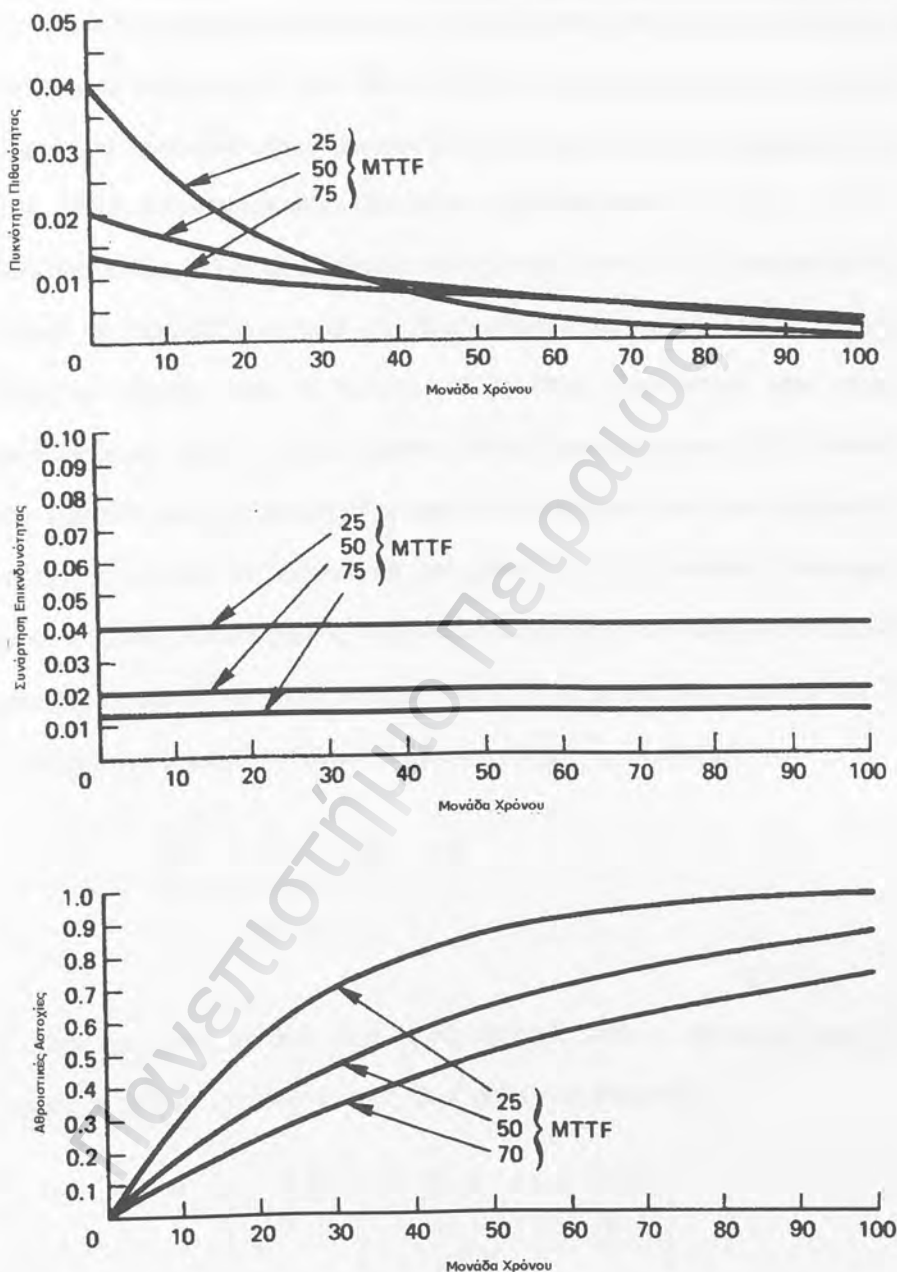
$$R(t)=e^{-ht} \Rightarrow F(t)=1- e^{-ht} \quad (2.8)$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(t)$ δίνεται από τον τύπο

$$f(t)=he^{-ht} \quad (2.9)$$

Οι εξισώσεις (2.8) και (2.9) προσδιορίζουν την αρνητική εκθετική κατανομή. Οι συναρτήσεις $f(t)$ και $F(t)$ παριστάνονται γραφικά σε σχέση με το χρόνο στο σχήμα 11. Ο μέσος όρος χρόνου ζωής, δίνεται από τον τύπο (2.10)

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt}{\int_0^{\infty} f(t) dt} = \frac{\int_0^{\infty} ht \cdot e^{-ht} dt}{\int_0^{\infty} h \cdot e^{-ht} dt} = \frac{1}{h} \cdot [ht \cdot e^{-ht} + e^{-ht}]_0^{\infty} \cdot [-e^{-ht}]_0^{\infty} = \frac{1}{h}$$



Σχήμα 11 Πυκνότητα πιθανότητας – Ρυθμός επικινδυνότητας – Αθροιστική αστοχία για την αρνητική εκθετική κατανομή

Η σταθερή συνάρτηση επικινδυνότητας περιορίζει τη χρήση της σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα, ενώ δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μηχανολογικά εξαρτήματα αφού ελάχιστα υπακούουν σε αυτό το μοντέλο. Όμως χρησιμοποιείται λόγω της απλότητας της και του θεωρητικού της υπόβαθρου.

Είναι συχνά πρακτικό να σημειώνουμε την αξία του $1/h$ από ότι το h καθαυτό. Έχει φυσικά τις διαστάσεις χρόνου και είναι γνωστός ως μέσος χρόνος μέχρι ν' αστοχήσει (mean time to failure) MTTF. Άλλη παράμετρος που συχνά χρησιμοποιείται είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ αστοχιών (mean time between failure) MTBF. Αυτή η ποσότητα μπορεί να υπολογιστεί από την κυριολεκτική σημασία επικεντρωμένη αρχικώς σε ένα μοναδικό, αλλά αυθαίρετα επιλεγμένο χρόνο t . Έπειτα ο μέσος χρόνος ανάμεσα σε μια αστοχία που συμβαίνει στο χρόνο t και σε μια οποιαδήποτε άλλη αστοχία είναι ο μέσος χρόνος που μετριέται από το t . Ενεργώντας όπως στην εξίσωση 2.10 αυτό μπορεί να γραφτεί ως

$$\frac{\int_0^{\infty} [t - t'] \cdot f(t) dt}{\int_0^{\infty} f(t) dt} \quad (2.11)$$

Ο μέσος όρος ζωής ανάμεσα σε όλες τις αποτυχίες είναι το άθροισμα όλων των παραπάνω τρόπων για όλες τις τιμές του t' από 0 έως άπειρο δηλ

$$\text{MTBF} = \frac{\int_0^{\infty} \left\{ \frac{\int_0^{\infty} [t - t'] \cdot f(t) dt}{\int_0^{\infty} f(t) dt} \right\} dt'}{\int_0^{\infty} f(t') dt'} \quad (2.12)$$

Ο μέσος χρόνος αστοχίας (MTTF) για μη επισκευάσιμα εξαρτήματα ή ο μέσος χρόνος μεταξύ αστοχιών (MTBF) για επισκευάσιμα συστήματα είναι ο μέσος χρόνος που μπορεί να χρησιμοποιήσει τον εξοπλισμό ένας χειριστής πριν αυτός χαλάσει. Ας σημειωθεί ότι είναι ένας μέσος όρος και άρα μερικά εξαρτήματα θα κρατήσουν περισσότερο ενώ άλλα λιγότερο. Δεν αποτελεί εγγυημένα ελάχιστο.

Μπορεί να δειχθεί ότι για την αρνητική εκθετική κατανομή MTBF ισούται με τον MTTF.

$$MTBF = 1/h = MTTF \quad (2.13)$$

Δεν ισχύει για άλλες κατανομές. Η μη προσεκτική μελέτη χρησιμοποιεί τον MTBF και τον MTTF εναλλάξ για την αρνητική εκθετική κατανομή, και επειδή αυτή η κατανομή είναι τόσο γενική, γίνεται πιστευτό μερικές φορές ότι ισχύει πάντα αυτή η ισότητα.

2.2.3 Η κατανομή Weibull

2.2.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά της κατανομής Weibull

Τα χαρακτηριστικά της συνάρτησης επικινδυνότητας - ηλικίας μπορεί να αυξάνονται ή να μειώνονται από το να παραμένουν σταθερά. Μια στατιστική κατανομή που λαμβάνει υπόψη της το χρόνο λειτουργίας ενός εξαρτήματος είναι η κατανομή Weibull.

Το 1951 ο Weibull πρότεινε ότι η απλούστερη εμπειρική έκφραση που αναπαριστά μια μεγάλη ποικιλία πραγματικών δεδομένων θα μπορούσε να βρεθεί:

$$\int h(t)dt = \left(\frac{t-t_0}{n} \right)^\beta \quad (2.14)$$

έτσι ώστε:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{n}\right)^\beta\right] \quad (2.15)$$

Έχει βρεθεί από τότε ότι πάρα πολλά πραγματικά μοντέλα αξιοπιστίας μπορούν να περιγραφούν από αυτή την εξίσωση και εφαρμόζονται πολύ εύκολα στην καθημερινή ζωή. Η κατανομή Weibull εκφράζεται συνήθως ως αθροιστική κατανομή

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{n}\right)^\beta\right] \quad (2.16)$$

έχοντας μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

$$f(t) = \frac{\beta}{n} \left(\frac{t-t_0}{n}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{n}\right)^\beta\right] \quad (2.17)$$

Η συνάρτηση επικινδυνότητας γι' αυτή την κατανομή είναι :

$$h(t) = \frac{\beta}{n} \left(\frac{t-t_0}{n}\right)^{\beta-1} \quad (2.18)$$

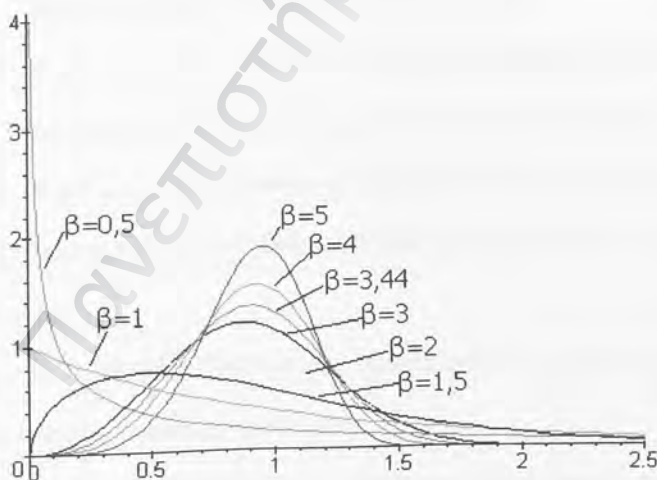
Οι εξισώσεις (2.15), (2.16) και (2.17) εφαρμόζονται μόνο σε τιμές με $(t-t_0)$ μεγαλύτερες ή ίσες από το μηδέν. Για $(t-t_0)$ μικρότερο του μηδενός $f(t)$ και $h(t)$ είναι μηδέν. Οι σταθερές που εμφανίζονται στις παραπάνω εκφράσεις μπορούν να έχουν η καθεμία και μια φυσική ερμηνεία.

(1) t_0 : ορίζει το σημείο έναρξης, ή αρχής, ή κατανομής. n : ονομάζεται παράμετρος θέσης / κλίμακας (scale parameter) και μας δίνει την κατακόρυφη θέση της κατανομής ως προς τον οριζόντιο άξονα των χρόνων. Όταν το $(t-t_0)$ είναι ίσο με το n , η αξιοπιστία δίνεται από τον τύπο:

$$R(t)=e^{-(1)t^\beta}=e^{-1}=0.368 \quad (2.19)$$

Έτσι η σταθερά μπορεί ακόμη να αναπαριστά το χρόνο, που μετριέται από $t_0=0$ από το οποίο 63,2% του πληθυσμού μπορεί να αναμένεται να αποτύχει, οτιδήποτε τιμή κι αν δίνεται στο β . Για αυτό το λόγο συχνά αναφέρεται και ως χαρακτηριστική ζωή.

β : είναι μια παράμετρος σχήματος (shape parameter) που ελέγχει πρωτίστως το σχήμα της καμπύλης. Οι $f(t)$, $F(t)$, $h(t)$ παρουσιάζονται σε γραφική παράσταση ως προς το χρόνο στο σχήμα 12 για διαφορετικές τιμές του β . Με $\beta=3,44$ η κατανομή Weibull προσεγγίζει την κανονική κατανομή. Η τιμή του $\beta=3,44$ είναι αυτή που κάνει το μέσο ίσο με το μέσο όρο για την κατανομή Weibull όπως και για την κανονική κατανομή.



Σχήμα 12 Γραφική παράσταση της συνάρτησης πυκνότητας – πιθανότητας της κατανομής Weibull για $n=1$ και διάφορες τιμές της παραμέτρου β

2.2.3.2 Αναπαράσταση των μοντέλων αστοχίας από κατανομές Weibull

Οι κατανομές Weibull μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαριστούν τα περισσότερα από τα μοντέλα αστοχίας. Η ανάλυση είναι σχετικά απλή, και όταν έρχεται σε πέρας μας καθιστά ικανούς να συνάγουμε πολλά συμπεράσματα γύρω από το μηχανισμό αστοχίας. Κάνοντας με προσοχή ένα συνδυασμό των παραμέτρων Weibull μπορούμε να προσδιορίσουμε κάποιους συγκεκριμένους μηχανισμούς αστοχίας.[16]

(α) $t_0=0$. Το εξάρτημα δεν έχει χρόνο ζωής εγγενούς αξιοπιστίας, και

(i) αν $\beta < 1$, ο ρυθμός επικινδυνότητας μειώνεται με την ηλικία χωρίς να φτάνει το μηδέν, ώστε να μπορούμε να "υποπτευθούμε" ένα χαρακτηριστικό πρόωρου χρόνου ζωής, που προκύπτει ένα χαμηλό όριο ασφάλειας, δίνοντας αυξητικές τάσεις σε απότομη αστοχία.

(ii) αν $\beta = 1$, ο ρυθμός επικινδυνότητας είναι σταθερός για όλες τις ηλικίες που αναπαριστούν ένα τυχαίο ή ψευδο-τυχαίο χαρακτηριστικό.

ή (iii) αν $\beta > 1$, ο ρυθμός επικινδυνότητας αυξάνει με την ηλικία σε όλες τις ηλικίες, το οποίο είναι ενδεικτικό έναρξης φθοράς όσο πιο γρήγορα είχε γίνει service στο εξάρτημα.

(β) $t_0 > 0$. Το κομμάτι είναι εγγενώς αξιόπιστο από το χρόνο που ήρθε στο service μέχρι $t=t_0=B_0$, ακολουθούμενο από

(i) αν $\beta < 1$, μια καταπόνηση ή παρομοίου είδους φθορά στην οποία ο ρυθμός επικινδυνότητας μειώνεται με την ηλικία μετά από μια ξαφνική αύξηση στο t_0 : χαμηλές τιμές του β ($\sim 0,5$) μπορεί να συνδέονται με καταπονήσεις

χαμηλού κύκλου και υψηλότερες τιμές ($\sim 0,8$) με καταπόνηση υψηλού κύκλου.

ή (ii) αν $\beta > 1$, μια διάβρωση ή όμοια φθορά στην οποία η σταθερά χρόνου ζωής φορτίου (constant load life) συνεχώς μειώνεται με αυξανόμενο φορτίο (increasing load) 'χαμηλότερες τιμές του β προτείνουν, ένα σταθερό χρόνο ζωής φορτίου, ο οποίος είναι πιο εξαρτημένος απ' το φορτίο απ' ό,τι θα ήταν στην περίπτωση υψηλότερων τιμών.

(c) $t_0 < 0$. Αυτό δείχνει ότι το κομμάτι χρησιμοποιήθηκε ή υπέφερε από αστοχίες πριν τη συλλογή των δεδομένων, αλλιώς

(i) αν $\beta < 1$, θα μπορούσε να είναι τρόπος αστοχίας πρόωρου χρόνου ζωής, που ξεκίνησε πριν το εξάρτημα έρθει στο service, προκύπτοντας από ένα όριο χαμηλής ασφαλείας.

ή (ii) αν $\beta > 1$, η φθορά (wear-out) από σταθερή μείωση της δύναμης (strength) που ξεκίνησε πριν το εξάρτημα έρθει στο service, για παράδειγμα περιορισμένο ατομικό χρόνο ζωής, ο οποίος έχει λήξει ή ήταν ανεπαρκής.

Όταν $1 < \beta < 2$ η συνάρτηση επικινδυνότητας αυξάνεται με μειούμενο ρυθμό, για $\beta = 2$ η συνάρτηση επικινδυνότητας αυξάνεται με σταθερό ρυθμό και για $\beta > 2$ η συνάρτηση επικινδυνότητας αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό

Έτσι με κατάλληλη επιλογή του t_0 , n και β η εξίσωση Weibull μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει μια ευρεία σειρά κατανομών συμπεριλαμβανομένων των πρακτικά σημαντικών, τυχαίων και κανονικών κατανομών. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να αναπαριστά κατανομές που διαφέρουν ελαφρώς από αυτές τις βασικές κατανομές. Έτσι, όταν καμία από τις βασικές κατανομές δεν ταιριάζει καλά, η κατανομή Weibull ταιριάζει. Αυτή είναι μια από τις μεγάλες αρετές της. Μολονότι η εμπειρία έχει δείξει ότι η Weibull μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για την μεγαλύτερη πλειονότητα των μοντέλων αστοχίας, είναι ουσιαστικό να σημειωθεί ότι είναι μια εμπειρική συνάρτηση και μπορεί να μην είναι ικανή να περιγράψει κάποιες συγκεκριμένες κατανομές που συναντούνται στην πράξη.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Κεφάλαιο 3 Αποφάσεις Αξιοπιστίας (Reliability Decisions)

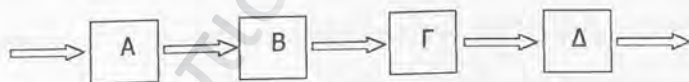
3.1 Εισαγωγή

Ο τρόπος με τον οποίο συμβαίνει η οικοδόμηση του εξοπλισμού εντός ενός συστήματος ή τα συστατικά εντός ενός εξοπλισμού, επηρεάζει την αξιοπιστία του συστήματος ή του εξοπλισμού. Έτσι, όταν εξετάζεται η διαμόρφωση του εξοπλισμού χρειάζεται να ληφθούν δύο όψεις:

(α) Η αλληλεξάρτηση του εξοπλισμού μέσα σε ένα σύνολο

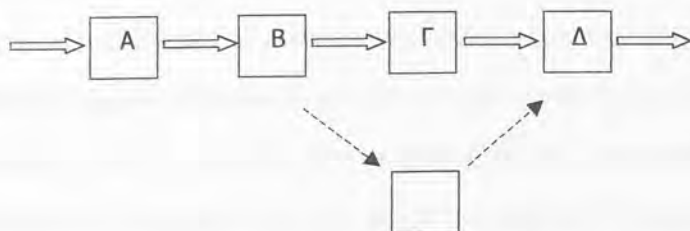
(β) Η φυσική δομή ενός απλού εξοπλισμού / εξαρτήματος [19]

Ο εξοπλισμός (όπως μηχανές) εντός ενός συστήματος (όπως ένα σύστημα παραγωγής) είναι αλληλεξαρτώμενα επειδή το καθένα εξαρτάται από την επιτυχή λειτουργία των άλλων πριν να μπορέσει να «παράγει» και να έχει αποτέλεσμα στην ολική λειτουργία του συστήματος. Για παράδειγμα, σε μια σειρά διαμορφώσεων, όπως στο σχήμα 13, το κομμάτι εργασίας περνάει μέσω μηχανών Α, Β, Γ, και Δ.



Σχήμα 13 Εξαρτήματα εν σειρά

Αν οποιαδήποτε απ' αυτά τα εξαρτήματα είναι μη-λειτουργικά υπάρχει μια πιθανή πηγή απώλειας παραγωγής. Για να μειωθεί αυτή η πιθανή πηγή απώλειας μπορούν να τεθούν μηχανές παράλληλα με τις κρίσιμες μηχανές, όπως δείχνεται στη σειριακή/ παράλληλη διαμόρφωση του σχήματος 14. Έτσι, αν η μηχανή Γ, είναι η κρίσιμη μηχανή, τότε βάζοντας δύο μηχανές παράλληλα, η μια θα ενεργεί ως εφεδρεία και θα μειώνει την πιθανότητα να συμβούν απώλειες παραγωγής.



Σχήμα 14 Εξαρτήματα εν σειρά με ύπαρξη εναλλακτικού

Ένας απλός εξοπλισμός γενικά θα συντεθεί από διάφορα υποσυστήματα, τα οποία μπορεί να είναι αλληλεξαρτημένα, σε σειριακή και σε παράλληλη μορφή, όπως δείχνεται παραπάνω.

Εναλλακτικές διαμορφώσεις εξοπλισμού μπορούν να έχουν σαν συνέπεια διαφορετικά κόστη, αξιοπιστίες, απαιτήσεις χώρου, επίπεδα ασφαλείας κλπ.

3.2 Σειριακή Διαμόρφωση

Εάν όλες οι αστοχίες είναι ανεξάρτητες τότε $R_s = (R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n)$, όπου R_s είναι η αξιοπιστία του συστήματος (συνόλου) και R_i είναι η αξιοπιστία του i εξαρτήματος / συστατικού. Αυτό ισχύει περισσότερο για ηλεκτρονικά συστήματα από ότι για μηχανικά. Επίσης $h_s = h_1 + h_2 + \dots + h_n$, όπου h είναι η συνάρτηση επικινδυνότητας. Κι εδώ οι αστοχίες πρέπει να είναι ανεξάρτητες. Μπορεί να λεχθεί ότι η αξιοπιστία του συστήματος είναι προϊόν της αξιοπιστίας των συστατικών / εξαρτημάτων και η συνάρτηση επικινδυνότητας του συστήματος είναι το άθροισμα των συναρτήσεων επικινδυνότητας του συστήματος [20].

3.3 Παράλληλη διαμόρφωση

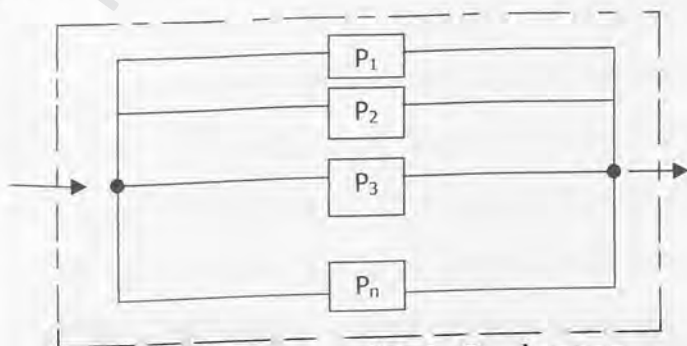
Στη παράλληλη διαμόρφωση (ή περίσσεια) υποθέεται ότι μόνο ένα συστατικό λειτουργεί σε οποιοδήποτε χρόνο και συνεχίζει να λειτουργεί μέχρι που

αποτυγχάνει, όταν το σύστημα μεταφέρεται στο να χρησιμοποιήσει το επόμενο συστατικό παράλληλα, το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι που αποτυγχάνει, και ούτω καθεξής, μέχρι που αποτυγχάνουν και τα n συστατικά (σχήμα 15). Μόνο τότε το σύστημα δεν θα εκτελέσει την απαιτούμενη του λειτουργία. Ο παραπάνω υπολογισμός αξιοπιστίας υποθέτει ακόμη ότι άπαξ και ένα συστατικό αποτύχει, παραμένει αποτυχημένο και δεν επισκευάζεται ούτε επιστρέφεται στο σύστημα.

Η παράλληλη περίσσεια παράγει υψηλότερη συντηρησιμότητα και έτσι υψηλότερη διαθεσιμότητα, αλλά η αξιοπιστία του εξοπλισμού παραμένει ίδια. Σαφώς το πλεόνασμα έχει ένα ρόλο να παίξει και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και να εκμεταλλευθεί στο έπακρο, όποτε είναι πρώτη απαιτήση πολύ υψηλή αξιοπιστία και δεν μπορεί να επιτευχθεί από ένα σειριακό σύστημα.

Μεγαλύτερη πρόοδος προς βελτίωση αξιοπιστίας θα επιτευχθεί προσπαθώντας να κατανοήσουμε πως είναι κατανοημένη η ισχύς, πως οι μηχανισμοί αστοχίας προκαλούν αστοχία ή άλλη δυσλειτουργία, και τι φορτία όντως εφαρμόζονται στα μηχανικά μέρη. Η κατάλληλη ενέργεια – προδιαγραφή, σχεδιασμός, εξέλιξη, συντήρηση – μπορεί τότε να εκτιμηθεί.

Αν R_i είναι η αξιοπιστία καθενός από τα εξαρτήματα του συστήματος και το σύστημα θα λειτουργεί όσο τουλάχιστο θα λειτουργεί ένα εξάρτημα, τότε η αξιοπιστία αυτού του συστήματος είναι $R_s = 1 - (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)$.



Σχήμα 15 Εξαρτήματα σε παράλληλη διαμόρφωση

Κεφάλαιο 4 Συντήρηση

4.1 Γενικά

Γενικά τα συστατικά οποιουδήποτε μηχανολογικού εξοπλισμού είναι αντικείμενα φθοράς, διάβρωσης και καταπόνησης. Όσο η υποβάθμιση της ποιότητάς τους αυξάνει τόσο η αξιοπιστία του εξοπλισμού ελαττώνεται. Οι βλάβες είναι δυσάρεστες καταστάσεις οι οποίες οφείλουν να μελετούνται υπό το πρίσμα των αναγκών του χρήστη. Μια απόκλιση / παρέκκλιση από τις προδιαγραφές λειτουργίας που δεν ικανοποιεί τον χρήστη του μηχανήματος / εξοπλισμού θα πρέπει να θεωρείται αστοχία. Πλην όμως, η διαφορά μεταξύ ικανοποιητικής και μη λειτουργίας εξαρτάται από το είδος του εξοπλισμού και το περιβάλλον λειτουργίας. Παραδοσιακά, η συντήρηση έχει παρατηρήσει, ανιχνεύσει και διορθώσει πολλές βλάβες. Αυτό έγινε μέσω επιθεωρήσεων και επιδιορθώσεων σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Προκειμένου να προληφθεί η γήρανση σε βαθμό που τα υλικά να έχουν αυξημένες πιθανότητες αστοχίας, αντικαθίστανται ή εξετάζονται λεπτομερώς σε προκαθορισμένους χρόνους. Αυτό το χρονοδιάγραμμα συχνά δεν είχε σχέση με την πραγματική κατάσταση της μηχανής. Απλά γίνονται στο τέλος μιας προκαθορισμένης περιόδου.

Όμως οι περισσότερες βλάβες είναι πιθανότερο να συμβούν όσο ο εξοπλισμός υπόκειται σε γήρανση. Άρα τα προγράμματα συντήρησης που βασίζονται σε περιοδικά service ή αντικαταστάσεις συστατικών ή λεπτομερείς επιθεωρήσεις είναι ξεπερασμένα. Στην πράξη οι λεπτομερείς εξετάσεις μπορεί να επαναφέρουν ορισμένους απ' τους παράγοντες που προκαλούν "θνησιμότητα" στον εξοπλισμό.

Επιπλέον είναι πιο αποτελεσματικό από άποψη κόστους να προσπαθήσουμε να βελτιώσουμε τον τρόπο λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού και να

επιδιώξουμε τον επανασχεδιασμό του. Η τελευταία λύση θα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο αν οι καλύτερες συνθήκες λειτουργίας και συντήρησης δεν επιφέρουν αποτέλεσμα στη λειτουργία του εξοπλισμού.

Κατ' αρχήν ας σημειωθεί ότι με την έννοια της συντήρησης μπορούμε να συμπεριλάβουμε την αντικατάσταση συστατικών που έχουν ή αναμένεται να αστοχήσουν σύντομα. Πριν λάβει χώρα όμως η παραπάνω διαδικασία θα θεωρηθεί ότι το ανταλλακτικό που αντικαθίσταται δεν έχει υποστεί καμιά τροποποίηση (πλην της φθοράς λόγω χρήσης). Άρα είμαστε σε θέση να εφαρμόσουμε την ανάλυση που έγινε μέχρι τώρα για ένα μη συντηρημένο εξάρτημα / ανταλλακτικό πριν από τη διαδικασία συντήρησης του και πάλι στο νέο εξάρτημα / ανταλλακτικό μετά την εγκατάστασή του. Ας σημειωθεί ότι η ηλικία του παρόντος εξοπλισμού και η ηλικία του συντηρημένου δεν θα είναι η ίδια. Επιπρόσθετα υπάρχει και μια δεύτερη μορφή συντήρησης στην οποία γίνονται μόνο τροποποιήσεις στο συστατικό, ώστε π.χ. να καταστεί χρήσιμο. Ένα καλό παράδειγμα είναι ο καθαρισμός και η ρύθμιση των μπουζί του κινητήρα του αυτοκινήτου.

Αρχικά, ας υποθεθεί ότι κάθε διαδικασία συντήρησης φέρει τον εξοπλισμό στην κατάσταση που βρισκόταν ακριβώς πριν από την συντήρηση, οπότε θεωρητικά μπορεί να προσομοιωθεί με ανταλλακτικό. Προφανώς υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός επαναλήψεων της εν λόγω παραδοχής και διεργασίας. Επίσης τονίζεται ότι η προηγούμενη παραδοχή γίνεται καθαρά για λόγους απλότητας για την αξιολόγηση του ευρύτερου φάσματος των επιπτώσεων που προκύπτουν από την συντήρηση. Πάντα όμως οι παραδοχές πρέπει να αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα. Παρά το γεγονός ότι μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες σε συγκεκριμένες περιπτώσεις δεν επηρεάζει την γενική μας προσέγγιση, διότι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάθε μηχάνημα μπορεί να σπάσει σε μικρότερα

κομμάτια μη συντηρήσιμα αλλά αντικαταστάσιμα. Έτσι μένουμε αποκλειστικά με το πρόβλημα της μελέτης των επιπτώσεων της αντικατάστασης.

Παρόλο που τα εξαρτήματα απαιτούν αντικατάσταση δεν συμβαίνει το ίδιο με το σύστημα, το οποίο μπορεί να λειτουργεί επ' αόριστο ακόμα κι αν με την πάροδο του χρόνου και με τις συνεχείς αντικαταστάσεις απόμειναν ελάχιστα κομμάτια απ' αυτά του αρχικού εξοπλισμού.

Από την άλλη μεριά όμως ο εξοπλισμός μπορεί να ξεπεραστεί και να γίνει αντισυμβαλλόμενος στη λειτουργία του.

Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατό η επιθυμητή αξιοπιστία να καθοριστεί από τον πελάτη. Εναλλακτικά η συντήρηση και η αξιοπιστία μπορεί να θεωρηθούν και ως μέρη ενός πιο αναβαθμισμένου ποιοτικού μοντέλου που επιβάλλεται από το χρήστη / χειριστή.

Αυτή η ποιότητα μπορεί να σημαίνει κόστος ή διαθεσιμότητα ή και τα δύο. Αναγκαστικά λοιπόν θα επιλέξουμε. Η συντήρηση και η αξιοπιστία συχνά πάνε μαζί και αποτελούν εναλλακτικές του αυτού σκοπού.

Η συντήρηση μπορεί να διαχωριστεί σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Προσχεδιασμένη συντήρηση (προληπτική).
- Έκτακτη συντήρηση η οποία μπορεί να χωριστεί ακόμα παραπέρα.
 - ◆ Επισκευαστική συντήρηση
 - ◆ Προβλεπτική συντήρηση

Αυτή η κατηγοριοποίηση δίνει και τις τρεις βασικές πολιτικές συντήρησης βάσει των οποίων καταρτίζονται όλα τα σχέδια συντήρησης στην πράξη. Οι τρεις πολιτικές μπορούν να καθοριστούν ως ακολούθως:

- 1) Η προληπτική ή προσχεδιασμένη συντήρηση είναι μια στρατηγική συντήρησης του εξοπλισμού βασισμένη στην αντικατάσταση επιθεώρηση ή ανακατασκευή

ενός υλικού σε ένα σταθερό διάστημα ανεξαρτήτως της κατάστασης του στο χρόνο προκειμένου να κρατηθεί ο εξοπλισμός σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο λειτουργίας.

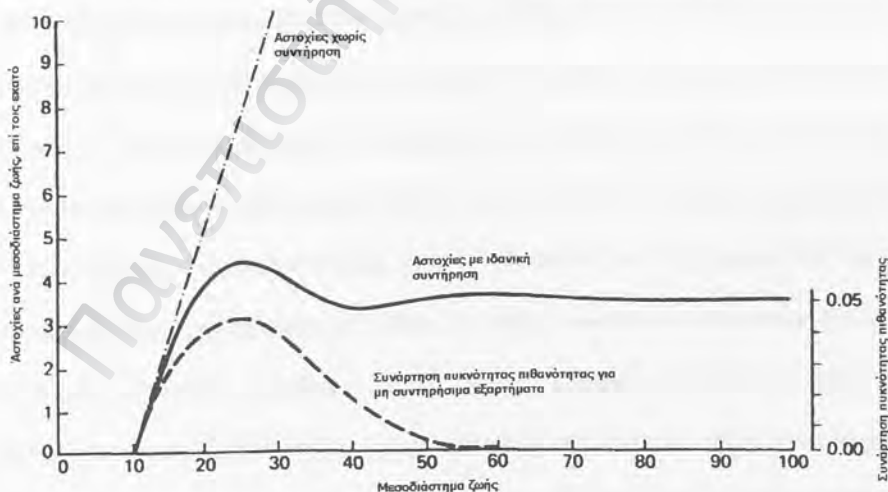
- 2) Η επισκευαστική συντήρηση λαμβάνει χώρα σε μη προσχεδιασμένη βάση προκειμένου να επαναφέρει ένα εξάρτημα σε ικανοποιητική κατάσταση μέσω της ταχείας επιδιόρθωσης της αστοχίας.
- 3) Η προβλεπτική συντήρηση είναι μια στρατηγική συντήρησης εξοπλισμού βασισμένη στη μέτρηση των συνθηκών του εξοπλισμού με σκοπό να αξιολογήσει αν θα αποτύχει κατά τη διάρκεια μιας μελλοντικής περιόδου και μετά η ανάληψη των κατάλληλων ενεργειών για να αποφευχθούν οι συνέπειες αυτής της αποτυχίας. Η παρακολούθηση του εξοπλισμού πρέπει να γίνεται χρησιμοποιώντας condition monitoring τεχνικές Στατιστικού Ελέγχου με την παρακολούθηση της απόδοσης του εξοπλισμού ή διάμεσο της χρήσης των Ανθρώπινων αισθήσεων. Οι όροι condition – based Maintenance, On Condition Maintenance & Predictive Maintenance μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά.

Η προληπτική συντήρηση τραβά πιο πολύ την προσοχή της βιομηχανικής και ακαδημαϊκής έρευνας όμως, σε μεγάλο βαθμό, η επιλογή μιας πολιτικής ή ενός συνδυασμού πολιτικών είναι οικονομικής φύσης. Υπάρχουν όμως και τεχνικοί περιορισμοί. Αν ένα στοιχείο είναι από τη φύση του αξιόπιστο, η επιλογή είναι άνευ περιορισμού. Κάποιος θα μπορούσε να περιμένει μέχρι το στοιχείο να αστοχήσει και κατόπιν να το αντικαταστήσει, ή να το συντηρήσει βάσει σχεδιασμένου προγράμματος που επιτρέπει τη χρήση του στοιχείου μέχρι αυτό να πάψει να είναι αξιόπιστο, ή τέλος να το αντικαταστήσει μετά την πάροδο συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Η επιλογή είναι οικονομικής φύσης. Αν το στοιχείο δεν είναι εγγενώς

αξιόπιστο οπότε συμβαίνουν τυχαίες αστοχίες, τότε ούτε προληπτική ούτε προβλεπτική συντήρηση είναι εφικτές.

Με άλλα λόγια η πολιτική της επισκευαστικής συντήρησης είναι η μόνη λύση άσχετα με τις οικονομικές παραμέτρους. Η απαιτούμενη επισκευαστική συντήρηση προκειμένου να ελαττωθούν οι τυχαίες αστοχίες καθορίζεται από την αξιοπιστία του εξοπλισμού και είναι πολύ ευαίσθητη στο φορτίο λειτουργίας της συσκευής. Δεν υπάρχει τρόπος να ρυθμιστεί / ελεγχθεί μια διαδικασία τυχαίων / απρογραμμάτιστων αστοχιών μέσω της συντήρησης. Η αξιοπιστία, η πολιτική συντήρησης καθώς και το επίπεδο της συντήρησης καθορίζονται από τον σχεδιασμό και δεν απαιτούνται παραπέρα μελέτες και αναλύσεις.

Αυτό φαίνεται στο σχήμα 16 [16] το οποίο δείχνει την πυκνότητα πιθανότητας του περιγράμματος / υποδείγματος της αστοχίας και τον συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό βλαβών ενός στοιχείου που δεν υπόκειται σε συντήρηση.



Σχήμα 16 Ανάπτυξη ενός σταθερού ρυθμού επικινδυνότητας όταν η αστοχία επισκευάζεται και το εξάρτημα επιστρέφει στο service

Η καμπύλη των αστοχιών ανά μονάδα χρόνου υπό συνθήκες ιδεατής επισκευαστικής συντήρησης φαίνεται στο ίδιο σχήμα. Μετά την αρχική μετάβαση ο ρυθμός αστοχιών σταθεροποιείται γύρω από μια σταθερή τιμή. Τέτοιο υπόδειγμα υπόκειται σε προγραμματισμένη ή μη προβλεπτική συντήρηση. Η ισχύς / ένταση / δυναμική έχει περιοριστεί / υποβάθμιση από τη χρήση και μπορεί να επανέλθει στην αρχική κατάσταση. Για να είμαστε απολύτως κατανοητοί θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο «ψευδο-τυχαία» για να αναφερθούμε σ' αυτόν τον τύπο αστοχιών που προκαλούν μια σταθερή εμφάνιση αστοχιών σε μορφές φθοράς. Θα περιορίσουμε την περιγραφή «τυχαίο» στην ύπαρξη αστοχιών που προκαλούνται από απaráλλακτα κατανεμημένα φορτία. Τότε και η προγραμματισμένη αλλά και η προβλεπτική συντήρηση είναι εφικτές.

Σε ένα άκρο, όλες οι αστοχίες θα μπορούσαν να απαλειφθούν μέσω προγραμματισμένης αντικατάστασης πριν λήξει η περίοδος εγγενούς αξιοπιστίας του στοιχείου. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό μπορεί και να γίνει. Όταν είναι μικρό το κόστος των αντικαθιστούμενων στοιχείων και μεγάλη η ζημιά η οποία μπορεί να συμβεί αν δεν τα αλλάξουμε, είναι προφανές ότι η βέλτιστη οικονομική λύση είναι η αντικατάσταση. Σε άλλες περιπτώσεις όμως δεν είναι καθόλου προφανής. Υπό τέτοιες συνθήκες ακόμα απαιτούμε εγγενή αξιοπιστία των στοιχείων ώστε να μην αντιμετωπίσουμε ανεξέλεγκτες βλάβες και κόστη επισκευών. Μπορούμε όμως να συνεχίσουμε να λειτουργούμε αυτά τα εγγενώς αξιόπιστα συστατικά πέραν των ορίων της εγγενούς αξιοπιστίας τους οπότε είναι αναμενόμενες ορισμένες βλάβες. Ο αριθμός τους εξαρτάται από τις ενδιάμεσες συντηρήσεις ή αλλιώς το πρόγραμμα αντικατάστασης. Είναι επόμενο ότι με εγγενώς αξιόπιστα συστατικά, η αξιοπιστία του εξοπλισμού εξαρτάται από τη συντήρηση. Άρα η συντήρηση είναι ένας παράγοντας μέγιστης σημασίας και ο καθορισμός του επιπέδου της συντήρησης

ώστε να βελτιστοποιηθούν τα κόστη ή να επιτύχουμε δεδομένο βαθμό αξιοπιστίας του εξοπλισμού ή διαθεσιμότητας ενός αντικειμένου είναι κάτι το οποίο απαιτεί πολύ μελέτη.

Πρέπει στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι τα τμήματα παραγωγής και συντήρησης έχουν σαν κύριο στόχο την παραγωγή του σωστού υλικού στο σωστό χρόνο. Όμως και τα δύο αυτά τμήματα βρίσκονται διαρκώς σε μια σύγκρουση [21]. Σε πολλές περιπτώσεις για να μην υπάρχει πρόβλημα σύγκρουσης μεταξύ των τμημάτων σχεδιασμού, παραγωγής και συντήρησης, κάθε φορά που εμφανίζεται κάποια βλάβη, για το ποιος είναι υπεύθυνος για τη βλάβη αυτή, η συντήρηση ανατίθεται στα ίδια άτομα που είναι υπεύθυνα για το χειρισμό και τη λειτουργία των συστημάτων. Τυπικά τα τμήματα παραγωγής δεν αφήνουν εύκολα τον εξοπλισμό για προληπτική συντήρηση και πολύ τακτικά γίνεται επισκευαστική συντήρηση. Γι' αυτό και η βελτιστοποίηση της λήψης απόφασης συντήρησης μπορεί να οριστεί ως προσπάθεια για την επίλυση των συγκρούσεων σε μια κατάσταση λήψης απόφασης με τέτοιο τρόπο ώστε οι υπό έλεγχο μεταβλητές του λαμβάνοντος την απόφαση να πάρουν τις καλύτερες δυνατές τιμές. Το 42% των υπευθύνων συντήρησης των εργοστασίων θεωρούν ότι οι προγραμματισμένες ενέργειες συντήρησης είναι ένα από τα τρία μεγαλύτερα προβλήματα [22]. Τα κόστη συντήρησης υπολογίζονται ανάμεσα στο 15% έως 40% του κόστους παραγωγής [23] και η τάση προς αυτοματοποίηση ωθεί τους διευθυντές να δίνουν πιο πολύ προσοχή στη συντήρηση.

Η τάση που επικρατεί για αυτοματοποίηση ωθεί τους διευθυντές να δίνουν μεγάλη προσοχή στην συντήρηση. Έχουν δε υπολογίσει ότι η συντήρηση με το υψηλό κόστος της και τη χαμηλή αποδοτικότητα είναι ένα από τα τελευταία πεδία μείωσης κόστους στη διοίκηση. [24]

4.2 Προβλήματα συντήρησης

Η πρωταρχική λειτουργία του τμήματος συντήρησης είναι να ελέγχει την κατάσταση του εξοπλισμού. Μερικά από τα προβλήματα που συνδέονται μ' αυτό περιλαμβάνουν προσδιορισμό των παρακάτω:

- Συχνότητα επιθεώρησης (inspection frequencies)
- Βάθος επιθεώρησης (inspection depth)
- Διαστήματα επιθεώρησης (overhaul intervals), δηλαδή μέρος μιας προληπτικής πολιτικής συντήρησης.
- Απόφαση για επισκευή, δηλ. μια πολιτική συντήρησης βλάβης ή όχι.
- Κανόνες αντικατάστασης για εξαρτήματα.
- Κανόνες αντικατάστασης για κύριο εξοπλισμό – ίσως λαμβάνοντας υπόψη την τεχνολογική αλλαγή.
- Απόφαση για τροποποίηση ή μη του εξοπλισμού.
- Εκτιμήσεις αξιοπιστίας.
- Μέγεθος προσωπικού συντήρησης.
- Σύνθεση των μηχανών σ' ένα εργοστάσιο.
- Κανόνες τροφοδοσίας ανταλλακτικών.
- Κανόνες αλληλουχίας (sequence rules) για εργασίες κάποιας μορφής έργου συντήρησης.
- Προγραμματισμός των χρόνων έναρξης για τις «συστατικές» εργασίες ενός σχεδίου συντήρησης.

Τα προβλήματα μέσα σ' αυτές τις «περιοχές» μπορούν να καταταγούν σε δύο κατηγορίες: Σε αποικρατικά (deterministic) και πιθανοκρατικά (probabilistic). Τα αποικρατικά είναι εκείνα όπου οι συνέπειες μιας ενέργειας υποθέτουμε ότι δεν είναι

τυχαίες (non-random). Για παράδειγμα μετά από μια επιθεώρηση(overhaul) η μελλοντική τάση (trend) στο κόστος λειτουργίας είναι γνωστή. Ένα πιθανοκρατικό πρόβλημα είναι εκείνο όπου η έκβαση της ενέργειας συντήρησης είναι τυχαία(random). Για παράδειγμα, για ένα εξάρτημα υποκείμενο σε ξαφνική αστοχία, μπορεί να πρέπει να αποφασίσουμε ή να το αντικαταστήσουμε ενώ είναι σε μια κατάσταση λειτουργίας ή μόνο στην αστοχία του ή να αντικαταστήσουμε όμοια συστατικά σε ομάδες(groups) όταν ένα ίσως έχει αποτύχει, κλπ. Έτσι φαίνεται ότι η λειτουργία του τμήματος συντήρησης αφορά σε ένα μεγάλο βαθμό την ταυτοποίηση της καταλληλότητας ποικίλων αποφάσεων για τον έλεγχο της κατάστασης του εξοπλισμού για να είναι σε συμφωνία με τους στόχους του οργανισμού(organization).

Τα αποτελέσματα των παραπάνω ενεργειών έχουν σοβαρή επίδραση σε πολλές μονάδες ενός εργοστασίου, όπως είναι αυτή της μονάδας παραγωγής. Αν για παράδειγμα δεν γίνει οποιαδήποτε προληπτική συντήρηση και γίνει μόνο επισκευή, θα μειωθούν μεν τα έξοδα συντήρησης αλλά πιθανόν θα προκληθεί σοβαρή μείωση της παραγωγής. Γι' αυτό απαιτούνται επιδέξιες τεχνικές για να μπορεί να ληφθεί η πιο συμφέρουσα λύση από το διευθυντή συντήρησης.

Στην πραγματικότητα υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να μπορεί να ληφθεί μια απόφαση για το είδος της συντήρησης που θα γίνεται σε μια επιχείρηση. Απαιτείται η χρήση μαθηματικών και στατιστικών σχέσεων για να μπορεί να γίνει μια ποσοτική προσέγγιση των αποφάσεων που λαμβάνονται και των συνεπειών που προκύπτουν.

Το σχήμα 16 δείχνει τον τύπο της προσέγγισης που λαμβάνεται μέσω της χρησιμοποίησης ενός μαθηματικού μοντέλου για τον προσδιορισμό της βέλτιστης συχνότητας επιθεώρησης ενός εξαρτήματος βιομηχανικής εγκατάστασης, με την

εξισορρόπηση της εισαγωγής (κόστος συντήρησης) της πολιτικής συντήρησης ως προς την απόδοσή της (μείωση στο χρόνο αργίας).



Σχήμα 17 Τακτική συντήρησης

Όπως φαίνεται η βέλτιστη πολιτική(τακτική-policy) που παρουσιάζεται στο σχήμα 17 δεν συμβαίνει στο σημείο τομής των δύο συναντόμενων καμπυλών. Συνήθως όταν σχεδιάζονται τέτοιες καμπύλες, το ελάχιστο σχεδιάζεται ώστε να συμπίπτει με τα σημεία τομής.

4.3 Συντηρησιμότητα

Η συντηρησιμότητα του εξοπλισμού μπορεί να οριστεί ως η πιθανότητα που ο εξοπλισμός θα επισκευαστεί σε καθορισμένες συνθήκες μέσα σε μια δεδομένη περίοδο χρόνου T όταν η ενέργεια συντήρησης εκτελείται σε συμφωνία με καθορισμένες διαδικασίες και μέσα. Έτσι, αν $f(t)$, είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των χρόνων που απαιτούνται για να πραγματοποιήσουν την ενέργεια (επισκευή, επιθεώρηση, αντικατάσταση), τότε η συντηρησιμότητα του ορίζεται ως:

$$\int_0^T f(t) dt$$

Όταν τα συστήματα παραγωγής σχεδιάζονται έτσι ώστε να «τρέχουν» με ένα τρόπο ελεύθερο προβλημάτων και να μπορούν εύκολα να διορθωθούν όταν είναι απαραίτητο, λέγεται ότι έχουν μια υψηλή συντηρησιμότητα. Σαφώς, η συντηρησιμότητα σχετίζεται με τον πρότυπο σχεδιασμό του εξοπλισμού.[19]

Στην πράξη, η λογαριθμοκανονική κατανομή είναι συχνά μια καλή αναπαράσταση των χρόνων διενέργειας της συντήρησης.[25]

4.4 Συνδυασμένη Βελτιστοποίηση Αξιοπιστίας και Κόστους (RCM)

Η Συνδυασμένη Βελτιστοποίηση Αξιοπιστίας και Κόστους (Reliability Centered Maintenance, RCM) είναι μια αναλυτική διαδικασία καθορισμού των αναγκών προληπτικής συντήρησης. Ο πρωταρχικός στόχος της RCM είναι η ταυτοποίηση / καθορισμός μεθόδων προς αποφυγή ή ελάττωση των επιπτώσεων ή σφαλμάτων τα οποία σε περίπτωση που συμβούν θα επηρεάσουν την ασφάλεια του προσωπικού, το περιβάλλον, την ικανότητα της εταιρίας να διεκπεραιώσει την αποστολή της και τα οικονομικά της.

Δεν μπορούμε να πετύχουμε αξιοπιστία υψηλότερη από αυτή που σχεδιάστηκε για ένα σύστημα. Κάθε εξάρτημα έχει τους δικούς του μοναδικούς τρόπους και ρυθμούς αστοχίας. Κάθε συνδυασμός εξαρτημάτων είναι μοναδικός και μια αστοχία ενός εξαρτήματος μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία κι άλλα εξαρτήματα. Κάθε σύστημα λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από περιοχή, υψόμετρο, πίεση, θερμοκρασία κ.α. Κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες μπορεί να επηρεάσει το ενδεχόμενο αστοχίας ορισμένων εξαρτημάτων καθιστώντας τα καθοριστικά για τη λειτουργία των άλλων. Τα τεχνικά εγχειρίδια λαμβάνουν υπόψη, όσο μπορούν, τις διαφορές περιβάλλοντος λειτουργίας και προτείνουν προγράμματα συντήρησης εξοπλισμού. Όμως αυτό είναι κάτι γενικό και δεν λαμβάνει υπόψη το περιβάλλον εγκατάστασης και προτείνουν μόνο ένα πρόγραμμα συντήρησης.

Οι κύριες προσπάθειες καθώς και οποιαδήποτε προτεραιότητα που αποσκοπεί στον καθορισμό της κατάλληλης μεθόδου για την ελάττωση των επιπτώσεων μιας αστοχίας σε ένα επίπεδο αποδεκτό από το χρήστη, εξαρτάται από τη σφοδρότητα των επιπτώσεων της ζημιάς. Για παράδειγμα, μια αστοχία της οποίας οι επιπτώσεις αποσκοπούν σε μια επικίνδυνη κατάσταση για το προσωπικό, προηγείται μιας ζημιάς με οικονομικές μόνο επιπτώσεις.

Η προληπτική συντήρηση είναι μια μόνο μέθοδος για να μετριάσουν οι επιπτώσεις μιας αστοχίας. Μια ενέργεια / διαδικασία προληπτικής συντήρησης θα έπρεπε να λαμβάνει χώρα όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες αλλά με κανένα τρόπο η προληπτική συντήρηση δεν είναι η βέλτιστη λύση για κάθε περίπτωση. Η ανάλυση RCM για παράδειγμα θα μπορούσε να υποδείξει ότι η προσφορότερη λύση είναι η διενέργεια διορθωτικής συντήρησης σ' ένα μηχάνημα αφού αυτό αστοχήσει. Σε άλλες περιπτώσεις, η ανάλυση μπορεί να δείξει ότι μια διαδικασία όπως ο

επανασχεδιασμός ενός στοιχείου ή μια τροποποίηση στη μεθοδολογία χειρισμού και συντήρησης ή ένας μεγάλος αριθμός άλλων ενεργειών μπορεί να ελαττώσει τις επιπτώσεις μιας αστοχίας σε σημαντικά μικρότερο βαθμό.[27]

Το RCM επιτρέπει να χαράξει κανείς τη δική του πολιτική συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους που αφορούν την επιχείρησή του και μόνο.

4.5 Τι χρειάζεται για να γίνει η RCM;

Η RCM πρέπει να γίνει κατανοητό από όλους για να μπορεί να γίνει όσο πιο ωφέλιμη γίνεται. Η εφαρμογή της RCM προϋποθέτει:

- Επιλογή κατάλληλης και πρόθυμης ομάδας εργασίας
- Εκπαίδευση στην RCM
- Γνωστοποίηση σε άλλους που εμπλέκονται στη συντήρηση και λειτουργία της μονάδας τι ακριβώς είναι η RCM και τι μπορεί να επιτύχει.
- Επιλογή ενός πιλοτικού project προκειμένου να βοηθηθεί η ομάδα, ενώ μέσω αυτού θα επιδειχθούν οι δυνατότητες της RCM
- Διασπορά του project σε άλλα συστήματα της μονάδας.

Σύμφωνα με τα στάνταρ του νέου SAE θα πρέπει η RCM να απαντά σε ερωτήματα οι απαντήσεις των οποίων δίνονται μέσα από τα 7 βασικά βήματα της RCM[1, 31, 32].

1. Ταυτοποιήστε τον εξοπλισμό / σύστημα, τα όρια του και η κατάσταση που είναι προς ανάλυση
2. Καθορίστε τις λειτουργίες του
3. Καθορίστε τι αποτελεί αστοχία σ' αυτές τις λειτουργίες
4. Καθορίστε τους λόγους πρόκλησης αυτών των αστοχιών
5. Καθορίστε τις επιπτώσεις αυτών των αστοχιών

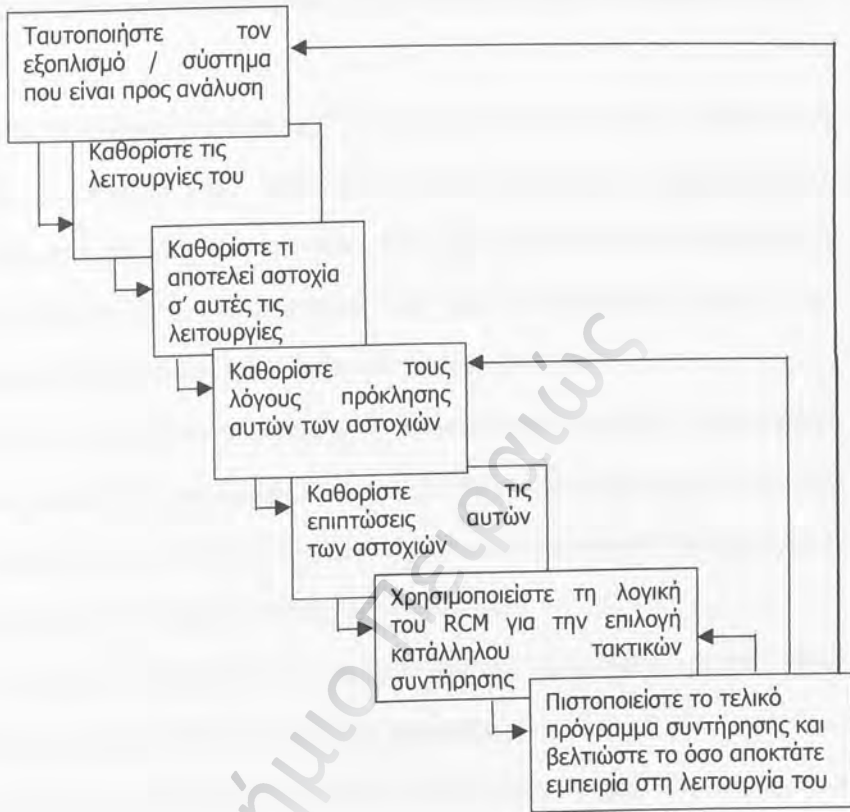
6. Χρησιμοποιείστε τη λογική της RCM για την επιλογή κατάλληλων τακτικών συντήρησης
7. Πιστοποιείστε το τελικό πρόγραμμα συντήρησης και βελτιώστε το όσο αποκτάτε εμπειρία στη λειτουργία του

Αυτά τα 7 βήματα οφείλουν να απαντήσουν στις 7 ερωτήσεις που θέτουν τα στάνταρ του νέου SAE. Το σχήμα 18 δείχνει όλη τη διαδικασία RCM.

Στο πρώτο βήμα ο εφαρμοστής του RCM πρέπει να αποφασίσει τι θα αναλύσει. Τα πιο κρίσιμα στοιχεία απαιτούν τη μεγαλύτερη προσοχή. Υπάρχουν πολλά κριτήρια και μερικά υποδεικνύονται εδώ:

- Ασφάλεια Προσωπικού
- Συμβατότητα με το Περιβάλλον
- Δυναμικότητα Παραγωγής
- Ποιότητα Παραγωγής
- Κόστος Παραγωγής
- Δημόσια Εικόνα

Το κόστος για να γίνει μια έρευνα (συλλογή δεδομένων) είναι πολύ υψηλό και γίνεται ακόμα υψηλότερο όσο πιο περιεκτικά είναι τα δεδομένα. Για να κρατηθεί χαμηλά το κόστος συλλογής των δεδομένων θα πρέπει να γίνει μια ανάλυση Pareto, για να επισημανθούν οι περιοχές εκείνες (εξαρτήματα / συστήματα) που χρειάζονται την πιο λεπτομερή έρευνα και στα οποία θα δαπανηθεί το μεγαλύτερο μέρος του διατιθέμενου ποσού. Το επίπεδο λεπτομέρειας στην έρευνα μπορεί να το κρίνει ο μηχανικός συντήρησης. Επίσης θα πρέπει τα δεδομένα που θα ληφθούν να είναι αυτά που απαιτούνται από τη μέθοδο ανάλυσης που έχει επιλεγεί.



Σχήμα 18 Τα 7 βήματα της RCM

Υπάρχουν όμως και ορισμένες αδυναμίες του RCM οι οποίες ως επί το πλείστον οφείλονται σε εμπειρικούς τεχνικούς. Π.χ. θεωρεί ότι καθ' όσον υπάρχουν διαθέσιμα back up & ανταλλακτικά για το σύστημα, η λειτουργία του μέχρι βλάβης είναι κάτι αποδεκτό αν δεν υπάρχουν επιπτώσεις στην λειτουργία του συστήματος. Αυτό όμως θα μπορούσε να είναι παρακινδυνευμένο διότι έτσι θα μπορούσε να δημιουργηθεί βλάβη σε παρελκόμενο εξοπλισμό και έτσι να οδηγηθούμε σε αυξημένα κόστη συντήρησης.

4.6 Συνολική Συντήρηση Παραγωγής (Total Productive Maintenance – TPM).

Η συνολική συντήρηση παραγωγής (Total Productive Maintenance – TPM) είναι μια στρατηγική βελτίωση της παραγωγής μέσω βελτιωμένης συντήρησης και βελτιωμένων παρελκόμενων πρακτικών. Είναι ένα εξαιρετικό μέσο βελτίωσης της παραγωγικότητας, της δυναμικότητας και των συνεργασιών μέσα σε μια επιχείρηση, ελαττώνοντας την ανάγκη για επιπλέον επένδυση.

Η ελάττωση των εξόδων συντήρησης πάντα φαίνεται να αποτελεί την βασικότερη επιδίωξη. Αυτό είναι μια ατυχής θεώρηση μια και οι συνέπειες μιας πλημμελούς συντήρησης μπορεί να είναι καταστροφικές. Όλες οι στρατηγικές συντήρησης που βασίζονται μόνο στο χαμηλό κόστος είναι ατελείς διότι:

- Τα θέματα παραγωγής και περιβαλλοντικής προστασίας συχνά έχουν προτεραιότητα σε σχέση με τα κόστη συντήρησης.
- Τα κόστη κύκλων ζωής, των οποίων τα κόστη συντήρησης είναι μέρος, είναι ένα αληθινό μέτρο του κόστους διαχείρισης των περιουσιακών στοιχείων.
- Άλλα μέτρα αξίζουν επίσης προσοχής και περιλαμβάνουν θέματα ποιότητας, ευρυθμίας της διεργασίας, αξίας περιουσιακών στοιχείων, όπως φαίνεται και στο σχέδιο.

Όπου είναι εφικτό οι στόχοι της συντήρησης καθώς και η στρατηγική της θα πρέπει να ευθυγραμμίζονται με τα επιχειρηματικά σχέδια. Οι διευθυντές των επιχειρήσεων θα πρέπει να πειστούν ότι είναι αναγκαία η σύνδεση των εφικτών (έστω και με κόστος) στόχων συντήρησης και επιχειρηματικών μέτρων.

Επίσης αποτελεί καλό σχεδιασμό, οι στόχοι της συντήρησης να καθορίζονται σε συνεργασία με αυτούς που διεξάγουν τη συντήρηση ή με αυτούς που εγγυώνται γι' αυτήν.

Αυτοί με την εμπειρία τους και τις καθημερινές τους ενέργειες παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων [28].

Η TPM αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία από τον Seiich Nakajima [29]. Δεδομένης της Ιαπωνικής φιλοσοφίας, η TPM δίνει μεγάλη έμφαση στη συνεργασία και ομαδική εργασία, στο πνεύμα αλληλεγγύης, υπευθυνότητας και συνεχούς βελτίωσης. Δομείται πάνω στην κουλτούρα ότι καθένας κατανοεί το ρόλο του και πράττει ανάλογα με το πρωτόκολλο. Επιτυγχάνεται έτσι καλύτερη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού, υψηλότερη ποιότητα προϊόντος και ελαττωμένα εργατικά.

Η συνολική συντήρηση παραγωγής (TPM) στοχεύει στην αύξηση της διαθεσιμότητας του υπάρχοντος εξοπλισμού σε μια δεδομένη κατάσταση, ελαττώνοντας έτσι την ανάγκη για επιπλέον επένδυση κεφαλαίου. Εργαλεία αυτής της επιτυχίας είναι η επένδυση στο ανθρώπινο δυναμικό που έχει ως συνέπεια την καλύτερη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού, την υψηλότερη ποιότητα προϊόντος και ελαττωμένα εργατικά. Σύμφωνα με τον Takahashi ορισμένα *κίνητρα για την εφαρμογή / λειτουργία του TPM είναι εν γένει τα ακόλουθα:*

- Αυξημένη παραγωγικότητα μέσω ενός ενεργού εργατικού δυναμικού. Στο TPM οι χειριστές αναπτύσσουν τις δραστηριότητες τους και έτσι ελαττώνουν την μονοτονία και επαναληψιμότητα της εργασίας τους.
- Η κατανόηση και αποδοχή της προσέγγισης κύκλου ζωής (εφ όρου ζωής) προσέγγισης για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του εξοπλισμού. Τα τεχνικά θέματα του TPM θέτουν μέτρα για την αξιολόγηση της απόδοσης του εξοπλισμού. Επίσης δίνουν έμφαση στο σχεδιασμό υψηλής αξιοπιστίας και ευκολοσυντήρητου εξοπλισμού έχοντας λάβει υπόψη παράγοντες όπως η ασφάλεια και λειτουργικότητα. Η εξοικείωση των χειριστών με τον εξοπλισμό

μαζί με την ανάπτυξη ενός αισθήματος συντήρησής του, επιβεβαιώνουν την καλή και γρήγορη κυκλοφορία των πληροφοριών.

Εθελοντικές, δραστηριότητες μικρών ομάδων, είναι επίσης γνωστές σαν ομάδες μηδενικής αστοχίας, οι οποίες κάνουν πλήρη αξιοποίηση των δεξιοτήτων καθενός [30, 31].

Πολλές φορές ακούγεται από τους ανθρώπους της παραγωγής να λένε: «Αν η συντήρηση έκανε σωστά τη δουλειά της θα φτιάχνανε περισσότερο προϊόν». Και από τους ανθρώπους της συντήρησης: «Αν η παραγωγή δεν καταπονούσε τόσο τα μηχανήματα και μας έδινε χρόνο να κάνουμε σωστά τη δουλειά μας θα είχαμε περισσότερη παραγωγή». Από τους μηχανικούς: «Αν λειτουργούσαν και συντηρούσαν τον εξοπλισμό σωστά, αφού αυτός είναι κατάλληλα σχεδιασμένος (νομίζουν) θα είχαμε περισσότερο προϊόν κλπ». Η αλήθεια είναι κάπου στη μέση. Και η μέση είναι η ομαδική εργασία και επικοινωνία. *Η TPM υποδεικνύει ότι όλες οι διαδικασίες συντήρησης πρέπει να έχουν σαν σκοπό την αύξηση της παραγωγής.*

4.7 Συσχετίσεις TPM και RCM

Οι βασικοί πυλώνες της TPM και μερικές πιθανές συσχετίσεις με την RCM είναι οι ακόλουθες:

1. Η TPM επιζητά επιδιόρθωση του εξοπλισμού σε κατάσταση σαν «καινούργιο». Οι χειριστές και το προσωπικό της παραγωγής μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά σ' αυτή τη διαδικασία. Την ίδια στιγμή σύμφωνα με μελέτες της RCM το 67% των βλαβών λαμβάνουν χώρα κατά τη νηπιακή θνησιμότητα – κατά την εγκατάσταση και εκκίνηση ή λίγο μετά. Οι καλές πρακτικές TPM θα βοηθήσουν στην ελάττωση αυτών των βλαβών μέσω επιδιόρθωσης του εξοπλισμού σε επίπεδο «σαν καινούργιο» και με τη βασική φροντίδα των

χειριστών. Ενδέχεται όμως να απαιτούνται και πιο εξελιγμένες πρακτικές. Η σωστή μεταφορά / προμήθεια του εξοπλισμού καθώς και η χρήση μέσων και προτύπων παρακολούθησης, όπως η δόνηση κατά τη λειτουργία, η εξέταση ελαίων, η υπέρυθρη ανάλυση και άλλα λογισμικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελεγχθεί αυτή η «σαν καινούργια» κατάσταση. Επίσης μπορεί να είναι σημαντική η κατανόηση των τύπων αστοχιών και των επιπτώσεων τους προκειμένου να γίνουν τα απαραίτητα βήματα στις διεργασίες και στην παραγωγή για να ελαττωθούν ή και να εξαλειφθούν αυτά τα σφάλματα. Πολλοί θα ισχυριστούν ότι η TPM επιζητά την εφαρμογή της συντήρησης πρόβλεψης και της παρακολούθησης της κατάστασης. Από την εμπειρία όμως του συγγραφέα, αυτό τείνει να είναι πλέον περιορισμένο και συμπεριλαμβάνει παρακολούθηση της κατάστασης από κάποιον χειριστή, π.χ. κοίτα, άγγιξε νιώσε κλπ. Αυτά είναι σαφώς καλή πρακτική αλλά πολλές φορές ανεπαρκής.

Επιπλέον η παρακολούθηση μιας κατάσταση υπό το TPM μπορεί να στερείται στερεής βάσης όπως π.χ. μια ανάλυση τύπων αστοχιών που καθοδηγεί τη συγκεκριμένη τεχνολογική εφαρμογή. Για παράδειγμα αιτιολόγηση του τύπου «είναι μια οπή και σε τέτοιες περιπτώσεις κάνουμε ανάλυση δονήσεων» χωρίς να καθορίζεται αν οι τύποι των σφαλμάτων απαιτούν φασματική, συνολική ή παλμού μπορεί να μην συγκεκριμενοποιεί μια επαρκή μέθοδο ανάλυσης.

2. Η TPM απαιτεί τη συμμετοχή του χειριστή για τη συντήρηση του εξοπλισμού. Αυτό είναι δόγμα σε ένα σύγχρονο κατασκευαστικό συγκρότημα. Πλην όμως, ο χειριστής συχνά αναζητεί τη συνδρομή ειδικών σε πιο σύνθετα θέματα. Οι ειδικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν αρχές RCM όπως ανάλυση τύπων σφαλμάτων και επιπτώσεων καθώς και μέσα παρακολούθησης κατάστασης

όπως ανάλυσης δονήσεων προκειμένου να διαπιστωθούν και να ιεραρχηθούν τα προβλήματα για να βρεθεί η ρίζα των αιτιών τους.

3. Η TPM απαιτεί βελτίωση της απόδοσης της συντήρησης. Αυτό αποτελεί επίσης αρχή της RCM. Πολλές μονάδες κάνουν προληπτική συντήρηση (PM). Όμως ενώ η επιθεώρηση και η ελάχιστη PM είναι απαραίτητες η εκτεταμένη PM για τον εξοπλισμό ενδέχεται να είναι περιττή, εκτός και αν έχει πιστοποιηθεί από την αναθεώρηση της κατάστασης του εξοπλισμού μια και σύμφωνα με τις μελέτες RCM μόνο μικρό ποσοστό του εξοπλισμού ανταποκρίνεται στις μέσες προδιαγραφές του. Η RCM βοηθά στον καθορισμό της πιο αποτελεσματικής PM ποιο θα πρέπει να διεξαχθεί από χειριστές, ποιο από τη συντήρηση και ποιο θα πρέπει να προσεχθεί από το σχεδιασμό και την προμήθεια. Τα PM γίνονται ολοένα και πιο αποτελεσματικά μια και βασίζεται σε ισχυρές αναλύσεις.
4. Η TPM απαιτεί εκπαίδευση για να βελτιωθούν οι ικανότητες εργασίας. Η RCM θα βοηθήσει στον καθορισμό των τύπων σφαλμάτων που ανακύπτουν λόγω πλημμελούς εκπαίδευσης προσωπικού και συνεπώς έτσι εντοπίζονται οι περιοχές που χρήζουν περισσότερης προσοχής κατά την εκπαίδευση. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εξαλείψει τελείως κάποιον τύπο σφάλματος. Η RCM υποστηρίζει πολύ την TPM μια και η εκπαίδευση γίνεται πλέον συγκεκριμένη.
5. Η TPM απαιτεί διαχείριση του εξοπλισμού και προληπτική συντήρηση. Αυτό είναι έμφυτο στις αρχές της RCM με την ταυτοποίηση των τύπων σφαλμάτων και την αποφυγή τους. Έτσι μπορεί να διαχειριστεί κανείς τον εξοπλισμό πιο εύκολα μέσω standard για τη συντήρησή κατά την αγορά του, την αποθήκευση, την εγκατάσταση και λειτουργία του. Αυτό είναι μια συνεχής

διαδικασία με αλληλεπιδράσεις που οδηγούν στη βελτίωση της όλης διαδικασίας.

Οι απαιτήσεις συντήρησης έτσι ελαχιστοποιούνται, ο χρόνος ζωής αυξάνεται και το ίδιο κάνουν τα διαστήματα μεταξύ συντήρησης. Έτσι εξαλείφεται η μη αναγκαία PM, με τη μέθοδο της ανάληψης πρωτοβουλιών.

6. Η TPM απαιτεί αποτελεσματική χρήση προληπτικής και «προβλεπτικής» συντήρησης. Οι μέθοδοι της RCM θα βοηθήσουν στην ταυτοποίηση του χρόνου εφαρμογής ενός σεναρίου συντήρησης χρησιμοποιώντας τους χειριστές ως μέσα παρακολούθησης της κατάστασης του συστήματος ή χρησιμοποιώντας πιο παραδοσιακές μεθόδους στο θέμα της πρόβλεψης.

Το πρώτο βήμα για τον συνδυασμό TPM και RCM είναι η σειριακή ανάλυση RCM μιας δεδομένης γραμμής παραγωγής. Ως λειτουργική αστοχία συστήματος θεωρείται οτιδήποτε προκαλεί απώλειες στη δυναμικότητα παραγωγής ή έχει ως αποτέλεσμα υψηλά κόστη. Εστιάζεται σε τύπους αστοχιών, συχνότητες, επιπτώσεις και επεκτείνεται για να καθοριστούν εκείνοι οι τύποι σφαλμάτων που εύκολα εντοπίζονται και αποτρέπονται από κατάλληλες ενέργειες του χειριστή όπως επίσης καθορίζονται και εκείνες οι αστοχίες που απαιτούν λεπτομερέστερη μεθοδολογία και τεχνικές αντιμετώπισης όπως «προβλεπτική» συντήρηση καλύτερες προδιαγραφές και καλύτερη επιδιόρθωση και εγκατάσταση. Έτσι αποτρέπονται δυσλειτουργίες στο αρχικό τους στάδιο. Το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή TPM αρχών που σχετίζονται με την επιδιόρθωση του εξοπλισμού σε κατάσταση «σαν καινούργια». Οι χειριστές πρέπει να δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στη συναρμολόγηση, λίπανση και καθαρισμό. Οι χειριστές έχουν τον πρώτο λόγο στη βασική συντήρηση αλλά συχνά χρειάζονται την υποστήριξη ειδικών. Αυτή παρέχεται με την ενσωμάτωση των TPM και RCM.

Κεφάλαιο 5 Ο Σκοπός και το Πλαίσιο της Έρευνας

5.1 Γενικά

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι να προσφέρει χρήσιμα στοιχεία για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο γίνεται η προληπτική συντήρηση στην Ελληνική Βιομηχανία καθώς και την έκταση χρήσης στατιστικών μεθόδων αξιοπιστίας. Λαμβάνεται η άποψη των διευθυντών παραγωγής, των τεχνικών διευθυντών και καταγράφεται μέσα από τις απαντήσεις τους στο ερωτηματολόγιο που τους έχει αποσταλεί, η χρήση ή μη σύγχρονων τεχνικών αξιοπιστίας, η μεθοδολογία προληπτικής συντήρησης και ο προγραμματισμός των χρόνων προληπτικής συντήρησης.

5.2 Φάσεις του Ερευνητικού Έργου και Τεχνικές της Έρευνας.

Οι κύριες φάσεις του ερευνητικού έργου ήταν οι ακόλουθες:

1. Βιβλιογραφική επισκόπηση με ιδιαίτερη αναφορά στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις στατιστικές μεθόδους αξιοπιστίας και τους τρόπους συντήρησης σε σχέση με το κόστος των μηχανημάτων των μεγάλων παραγωγικών μονάδων (Εργοστασίων).
2. Επιλογή του μέσου (δομημένο ερωτηματολόγιο) και των πηγών (διευθυντές παραγωγής, υπεύθυνοι διασφάλισης ποιότητας), για την άντληση των αναγκαίων εμπειρικών δεδομένων. Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα, προέκυψε από την κατάλληλη προσαρμογή στα ελληνικά δεδομένα των μεθόδων συντήρησης που ακολουθούνται από βιομηχανίες του εξωτερικού.

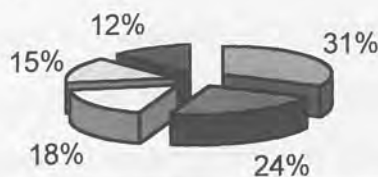
3. Διεξαγωγή της έρευνας πεδίου με την αποστολή του δομημένου ερωτηματολογίου και την απαραίτητη διαδικασία τηλεφωνικής υπενθύμισης (follow – up).
4. Ανάλυση και στατιστική επεξεργασία των δεδομένων της έρευνας πεδίου.
5. Εντοπισμός των ευρημάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων.
6. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Συγγραφή τελικού κειμένου.

5.3 Η ταυτότητα του δείγματος.

Το δείγμα των 34 επιχειρήσεων που απάντησαν μπορεί να θεωρηθεί ως αντιπροσωπευτικό του συνόλου των ελληνικών επιχειρήσεων. Η επιδίωξη ήταν να περιληφθούν επιχειρήσεις που να καλύπτουν επαρκώς ένα φάσμα γνωρισμάτων όπως:

1. Ο κλάδος δραστηριότητας τους (βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων, κλωστοϋφαντουργίας, βαριάς βιομηχανίας, γαλακτοβιομηχανίες). Από τις επιχειρήσεις που ανταποκρίθηκαν στην έρευνα, το 31% ανήκει στη βαριά βιομηχανία, το 24% στον κλάδο των τροφίμων και ποτών, το 18% στον κλάδο της κλωστοϋφαντουργίας, το 15% στον κλάδο των φαρμάκων και το

Διάγραμμα 5.3α Ποσοστό Επιχειρήσεων που συμμετείχαν στην έρευνα με βάση τον τομέα που δραστηριοποιούνται



- | | |
|---------------------|------------------|
| ■ Βαριά Βιομηχανία | ■ Τρόφιμα & Ποτά |
| □ Κλωστοϋφαντουργία | □ Φάρμακα |
| ■ Γαλακτοβιομηχανία | |

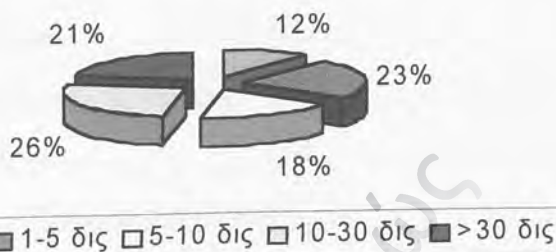
υπόλοιπο 12% στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας.[Διάγραμμα 5.3α].

2. Το μέγεθος τους με κριτήριο την απασχόληση (από ευέλικτες επιχειρήσεις με λιγότερους από 50 εργαζομένους έως «κολοσσούς» με περισσότερους από 1000). Ένα ποσοστό 28% αφορά επιχειρήσεις που απασχολούν 200 – 500 άτομα, το 27% είχε 50 – 200 άτομα, το 18% λιγότερο 50 άτομα, το 15% περισσότερα από 1000 άτομα και τέλος το 12% είχαν 500 – 1000 άτομα.[Διάγραμμα 5.3β]



3. Τον τζίρο τον οποίο πραγματοποίησαν (από μεσαίες επιχειρήσεις με τζίρο λιγότερο από 1 δις έως πάρα πολύ μεγάλο, πάνω από 30 δις). Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 5.3γ το 26% των επιχειρήσεων είχε τζίρο 10 – 30 δις, το 23% είχε 1 – 5 δις, το 21% είχε μεγαλύτερο των 30 δις, το 18% είχε 5 – 10 δις και τέλος το 12% είχε τζίρο μικρότερο από 1 δις. Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω το 88,3% των επιχειρήσεων είχαν τζίρο πάνω από 1 δις, κάτι το οποίο φανερώνει ότι οι επιχειρήσεις που ανταποκρίθηκαν έχουν υψηλές πωλήσεις, μεγάλη παραγωγή και καταπόνηση των μηχανημάτων τους και απαιτείται μεθοδολογία και προγραμματισμός στη συντήρησή τους.

Διάγραμμα 5.3γ Ποσοστό επιχειρήσεων που συμμετείχαν στην έρευνα με βάση τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999



5.4 Το Ερωτηματολόγιο

Η έρευνα στηρίχθηκε σε μια συνδυασμένη προσέγγιση του υπό διερεύνηση προβλήματος. Η προσέγγιση αυτή συνδέει την ποσοτική μελέτη του υπό εξέταση φαινομένου που βασίζεται σ' ένα ικανοποιητικό αριθμό παρατηρήσεων με την ποιοτική εμπάθυση στην ανάλυση των κύριων γνωρισμάτων και χαρακτηριστικών του. Η συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων έγινε με δομημένο ερωτηματολόγιο το οποίο διακινήθηκε σε αντιπροσωπευτικό δείγμα ελληνικών βιομηχανιών.

Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα (παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α), προέκυψε από την κατάλληλη προσαρμογή στα ελληνικά δεδομένα των μεθόδων συντήρησης που ακολουθούνται από βιομηχανίες του εξωτερικού, αποτελείται από 3 σελίδες και περιλαμβάνει 15 ερωτήσεις εκ των οποίων οι 14 είναι τύπου κλίμακας διαστήματος.

Διαρθρώνεται στις εξής θεματικές ενότητες:

- I. Γενικές πληροφορίες για την επιχείρηση.
- Κλάδος Δραστηριοποίησης
 - Αριθμός Εργαζομένων
 - Ατομικές Πληροφορίες
- II. Δεδομένα Αξιοπιστίας – Συντήρησης
- Επιμερισμός Συντήρησης
 - Τήρηση Αρχείων για Προγραμματισμό Συντήρησης
 - Αναβάθμιση μελετών αξιοπιστίας του εξοπλισμού
 - Τήρηση Στοιχείων Κόστους
 - Ισοδύναμος Χρόνος Λειτουργίας
 - Κόστος Προληπτικής – Διορθωτικής Αντικατάστασης
 - Συνδυασμένη Βελτιστοποίηση Αξιοπιστίας και Κόστους
 - FME(c)A
 - Κρισιμότητα Εξαρτημάτων
 - Επίπεδο Αναλύσεων
 - Χρήση Μεθόδων Στατιστικής Ανάλυσης

Στο ερωτηματολόγιο απάντησαν 34 επιχειρήσεις, οι απαντήσεις των οποίων επεξεργάστηκαν στατιστικά και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

5.5 Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων

Στο ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα περιλαμβάνονται ερωτήσεις κλίμακας διαστήματος. Στις δύο ερωτήσεις της πρώτης θεματικής ενότητας που αφορούν τον αριθμό εργαζομένων που απασχολούνται στην εταιρία και τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999 ζητήθηκε από τα ερωτηθέντα στελέχη

να σημειώσουν τα παραπάνω χρησιμοποιώντας διαβάθμιση 0 – 50, 50 – 200, 200 – 500, >1000 άτομα και 0 – 1, 1 – 5, 5 – 10, 10 – 30, >30 δις αντίστοιχα. Κατά την επεξεργασία, οι απαντήσεις μετατράπηκαν σε ποσοστά επί τοις 100 (κλίμακα 0 – 100) ώστε να είναι εύκολο να γίνουν οι απαραίτητες επισημάνσεις.

Για τις ερωτήσεις 1 έως 12 της δεύτερης ενότητας χρησιμοποιήθηκε διαβάθμιση εκατοστιαία (ποσοστό επί τοις εκατό). Σε κάθε ερώτηση υπήρχαν 20 δυνατότητες επιλογής να απαντήσουν τα στελέχη, αφού υπήρχε διάστημα 5% σε κάθε απάντηση.

Στοχεύοντας η παρούσα έρευνα στη διερεύνηση της διαφοροποιημένης συμπεριφοράς συγκεκριμένων ομάδων επιχειρήσεων του δείγματος έγινε επεξεργασία και ανάλυση των απαντήσεων με κριτήρια τον αριθμό των εργαζομένων σε κάθε εταιρία και τον τζίρο που πραγματοποίησαν.

Κεφάλαιο 6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων της έρευνας

6.1 Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.1α, το 82,4 % των επιχειρήσεων ανεξαρτήτως τζίρου που πραγματοποιούν και αριθμού εργαζομένων που απασχολούν, επιμερίζουν την συντήρηση σε διορθωτική, προληπτική και προβλεπτική ενώ το 17,6% όχι.

Οι επιχειρήσεις με τζίρο άνω των 30 δις κάνουν όλες επιμερισμό της συντήρησης ενώ σε χαμηλότερο ποσοστό (66%) κάνουν οι επιχειρήσεις με τζίρο 10 – 30 δις.

[Πίνακας 6.1α]

Πίνακας 6.1α Επιχειρήσεις που κάνουν επιμερισμό στην συντήρηση σε σχέση με το τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999.

Τζίρος 99	Επιμερισμός Συντήρησης	ΝΑΙ	ΟΧΙ
0 – 1 δις		75	25
1 – 5 δις		87,5	12,5
5 – 10 δις		83,3	16,7
10 – 30 δις		66	34
> 30 δις		100	0

Οι επιχειρήσεις που έχουν πάνω από 1000 άτομα κάνουν όλες επιμερισμό της συντήρησης και σε μεγάλο ποσοστό κάνουν και αυτές με προσωπικό 50 – 200 άτομα. Σε πιο μικρό ποσοστό (67%) κάνουν οι επιχειρήσεις που απασχολούν 0 – 50 άτομα. [Πίνακας 6.1β]

Πίνακας 6.1β Επιχειρήσεις που κάνουν επιμερισμό στην συντήρηση σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν.

Τζίρος 99	Επιμερισμός Συντήρησης	ΝΑΙ	ΟΧΙ
0 – 50 άτομα		67	33
50 – 200 άτομα		89	11
200 – 500 άτομα		80	20
500 – 1000 άτομα		75	25
> 1000 άτομα		100	0

Οι βιομηχανίες (βαριές και υψηλής τεχνολογίας) κάνουν επιμερισμό συντήρησης σε αρκετά υψηλό βαθμό (91%) ενώ σε μικρότερο βαθμό κάνουν οι εταιρίες κλωστοϋφαντουργίας (67%) [Πίνακας 6.1γ]

Πίνακας 6.1γ Επιχειρήσεις που κάνουν επιμερισμό στη συντήρηση

Κλάδος Εταιρίας	Επιμερισμός Συντήρησης	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Βιομηχανία (Γενικά) ^{*(1)}		91 ^{*(2)}	9
Γαλακτοβιομηχανία		75	25
Τροφίμων		87	13
Φαρμακευτικές		80	20
Κλωστοϋφαντουργίας		67	33

6.2 Η χρήση των εσωτερικών δεδομένων αξιοπιστίας εμφανίζεται να γίνεται είτε σε πολύ μεγάλο βαθμό (95-100%) είτε σε πολύ μικρό (0-5%) και με ποσοστό 11,76% επί του συνόλου των επιχειρήσεων. Ακολουθεί μια διασπορά του βαθμού χρησιμοποίησης σε βαθμό 10-15%, 50-55%, 75-80% το 8,2% των επιχειρήσεων. [Διάγραμμα 6.2α] Συνολικά όμως το 55,9% των επιχειρήσεων χρησιμοποιεί σε ποσοστό άνω του 50% τα αρχεία βλαβών για τα προγράμματα συντήρησης.

Με βάση τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999, το 11,76% των επιχειρήσεων χρησιμοποίησε σε πολύ μικρό βαθμό (0-5%) τα τηρούμενα αρχεία βλαβών, ενώ σε ποσοστό 8,82% χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία αυτά σε διαφορετικούς βαθμούς (10-15%, 50-55%, 75-80% και 95-100%) σε όλη την κλίμακα 0-100% (Διάγραμμα 6.2γ). Το 50% των επιχειρήσεων που κάνουν επιμερισμό της συντήρησης σε ποσοστό άνω του 50% είναι αυτές με τζίρο άνω των 10 δις και 1 - 5 δις [Πίνακας 6.2α]

^{*(1)} Αναφέροντας Βιομηχανία από εδώ και στο εξής θα εννοούμε βιομηχανίες που δεν έχουν κατηγοριοποιηθεί και περιλαμβάνονται βιομηχανίες ηλεκτρονικών, πλαστικών, χαλυβουργιών, λευκών συσκευών κ.α.

^{*(2)} Οι αριθμοί εκφράζουν ποσοστά (%) του κλάδου, σε σχέση με το βαθμό χρήσης

Πίνακας 6.2α Τήρηση Αρχείων Βλαβών και Εσωτερικών Δεδομένων Αξιοπιστίας για τον Προγραμματισμό της Συντήρησης από τις Επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης Τζίρος 99	0-25	25-50	50-75	75-100
0-1 δις	50	25	25	0
1-5 δις	12,4	24,9	37,8	24,9
5-10 δις	50	12,5	0	37,5
10-30 δις	22,1	0	44,6	33,3
>30 δις	28,6	14,3	14,3	42,8

Σε παρόμοιο βαθμό (55,8%) οι ελληνικές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν εσωτερικά δεδομένα αξιοπιστίας σε ποσοστό πάνω του 50%, κυρίως όσες απασχολούν πάνω από 50 άτομα καθώς και επιχειρήσεις που απασχολούν 500-1000 άτομα κάνουν στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (75%), ενώ σε πολύ μικρότερο ποσοστό (33%) κάνουν οι επιχειρήσεις που απασχολούν μέχρι 50 άτομα [Πίνακας 6.2β].

Πίνακας 6.2β Τήρηση Αρχείων Βλαβών και Εσωτερικών Δεδομένων Αξιοπιστίας για τον Προγραμματισμό της Συντήρησης από τις Επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	50	16,7	16,7	16,6
50-200 άτομα	33,2	11,1	33,4	22,3
200-500 άτομα	19,7	19,7	19,8	40,8
500-1000 άτομα	25	0	50	25
>1000 άτομα	19,7	19,7	19,7	40,9

Όλοι οι κλάδοι των επιχειρήσεων που εξετάσαμε χρησιμοποιούν τα τηρούμενα αρχεία βλαβών άνω του 50%, ενώ οι επιχειρήσεις τροφίμων και οι φαρμακοβιομηχανίες σε πολύ υψηλότερο (το 40% αυτών σε ποσοστό άνω του 75%). [Πίνακας 6.2γ]

Πίνακας 6.2γ Τήρηση Αρχείων Βλαβών και Εσωτερικών Δεδομένων Αξιοπιστίας για τον Προγραμματισμό της Συντήρησης από τις Επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος της επιχείρησης

Βαθμός Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Κλάδος Εταιρίας				
Βιομηχανία (Γενικά)	18	18	46	18
Γαλακτοβιομηχανία	50	0	25	25
Τροφίμων	36	12	13	39
Φαρμακευτικές	20	20	20	40
Κλωστοϋφαντουργίας	32	17	34	17

6.3 Οι ελληνικές επιχειρήσεις σε βαθμό άνω του 50% κάνουν αναβάθμιση στις μελέτες αξιοπιστίας του εξοπλισμού τους που τον έχουν χαρακτηρίσει ως παραγωγικά κρισιμότερο. Από αυτές σε μεγαλύτερο βαθμό (>90%) κάνει το 14,7%. Σε αυτές που κάνουν αναβάθμιση σε μικρότερο βαθμό (<50%) το 11,8% κάνει 0-5% και 35-40%, ενώ το 17,6 από 5-15%. (Διάγραμμα 6.3α)

Το ποσοστό του 50% των επιχειρήσεων που κάνουν αναβάθμιση είναι ακριβώς το ίδιο για αυτές που πραγματοποιούν τζίρο έως 5 δις ενώ αμέσως μετά ακολουθούν οι επιχειρήσεις με τζίρο μεγαλύτερο των 30 δις όπου το 42,9 % αυτών κάνει αναβάθμιση σε ποσοστό άνω του 50%. Οι επιχειρήσεις με τζίρο 5 – 10 δις όμως φαίνεται να κάνουν αναβάθμιση σε πολύ μικρό βαθμό (0-5% το 16,7%, 5-10% το 33,3% και 20-25% το 16,7%) κάτω του 25% κάνει το 66,7% αυτών. [Πίνακας 6.3α]

Πίνακας 6.3α Επιχειρήσεις που κάνουν αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Τζίρος 99				
0-1 δις	50	0	50	0
1-5 δις	25,3	37,3	12,5	24,9
5-10 δις	50,5	16,5	0	33
10-30 δις	33	22	22,5	22,5
>30 δις	28,6	28,6	0	42,8

Το 50% των επιχειρήσεων που κάνει αναβάθμιση των μελετών αξιοπιστίας του εξοπλισμού που έχει χαρακτηριστεί παραγωγικά κρισιμότερος σε σχέση με τα άτομα που απασχολούνται είναι σε μεγαλύτερο βαθμό από 50%. Κυρίως κάνουν οι επιχειρήσεις με προσωπικό 500-1000 άτομα (το 50% αυτών σε ποσοστό άνω του 75%) ενώ σε πολύ μικρό ποσοστό (11,1%) κάνουν για τον ίδιο βαθμό (>75%) οι επιχειρήσεις που απασχολούν 50-200 [Πίνακας 6.3β].

Πίνακας 6.3β Επιχειρήσεις που κάνουν αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας σε σχέση με το προσωπικό που χρησιμοποιούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	37,5	0	25	37,5
50-200 άτομα	44,4	11,1	33,4	11,1
200-500 άτομα	30	20	10	40
500-1000 άτομα	25	25	0	50
>1000 άτομα	20	20	40	20

Οι κλάδοι που χρησιμοποιούν σε υψηλό βαθμό (>75%) την αναβάθμιση είναι της φαρμακοβιομηχανίας και της γαλακτοβιομηχανίας (40% και 37% αντίστοιχα), ενώ η βιομηχανία και η κλωστούφαντουργία σε μικρότερο ποσοστό (18% και 17% αντίστοιχα)[Πίνακας 6.3γ]

Πίνακας 6.3γ Επιχειρήσεις που κάνουν αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας σε σχέση με το είδος τους

Βαθμός Χρήσης Κλάδος Εταιρίας	0-25	25-50	50-75	75-100
Βιομηχανία (Γενικά)	18	37	27	18
Γαλακτοβιομηχανία	50	0	25	25
Τροφίμων	37	0	26	37
Φαρμακευτικές	40	20	0	40
Κλωστούφαντουργίας	49	0	34	17

6.4 Ο επιμερισμός των δεδομένων, σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες γίνεται σε μέτριο βαθμό αφού το 58,7% των επιχειρήσεων τον κάνει σε ποσοστό μικρότερο του 50% και μόνο το 26,5% αυτών σε μεγάλο βαθμό (>75%) (Διάγραμμα 6.4α)

Σε πολύ μεγάλο βαθμό (>75%) κάνουν οι επιχειρήσεις με τζίρο άνω των 30δισ και σε ποσοστό 42,8% και ακολουθούν αυτές με τζίρο 5-10 δισ (ποσοστό 33%)[Πίνακας 6.4α]

Πίνακας 6.4α Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης Τζίρος 99	0-25	25-50	50-75	75-100
0-1 δισ	50	0	50	0
1-5 δισ	25,3	37,3	12,5	24,9
5-10 δισ	50,5	16,5	0	33
10-30 δισ	33	22	22,5	22,5
>30 δισ	28,6	28,6	0	42,8

Οι επιχειρήσεις που απασχολούν από 0-50 και 200-500 άτομα κάνουν επιμερισμό των δεδομένων σε βαθμό άνω του 50% και μάλιστα αυτές των 200-500 ατόμων σε ποσοστό άνω του 75%. Οι επιχειρήσεις που απασχολούν περισσότερα από 500 άτομα κάνουν επιμερισμό των δεδομένων σε βαθμό μικρότερο του 50% σε σχετικά υψηλό ποσοστό [Πίνακας 6.4β].

Πίνακας 6.4β Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	50	0	37,5	12,5
50-200 άτομα	44,4	22,2	11,1	22,3
200-500 άτομα	20	30	10	40
500-1000 άτομα	50	25	0	25
>1000 άτομα	20	40	20	20

Ο κλάδος που κάνει διάκριση των δεδομένων σε πολύ μεγάλο βαθμό (>75%) είναι ο κλάδος των τροφίμων (39%) ενώ σε πολύ μικρό βαθμό (<25%) κάνουν οι επιχειρήσεις της γαλακτοβιομηχανίας, της φαρμακοβιομηχανίας και της κλωστοϋφαντουργίας (50%, 60% και 49% αντίστοιχα)[Πίνακας 6.4γ]

Πίνακας 6.4γ Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με το είδος τους

Βαθμός Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Κλάδος Εταιρίας				
Βιομηχανία (Γενικά)	18	46	0	36
Γαλακτοβιομηχανία	50	0	25	25
Τροφίμων	24	12	25	39
Φαρμακευτικές	60	20	20	0
Κλωστοϋφαντουργίας	49	17	17	17

6.5 Οι πηγές κόστους φαίνεται να απασχολούν τις επιχειρήσεις αφού τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους (άνω του 50% κάνει το 47% των επιχειρήσεων) (Διάγραμμα 6.5α). Παρόλο που είναι αρκετά δύσκολη η διάκριση των πηγών κόστους (εργασίας, ανταλλακτικών, ευκαιριακό).

Είναι χαρακτηριστικό ότι το 83,4% των επιχειρήσεων με τζίρο μεγαλύτερο των 30 δις κάνει τη διάκριση αυτή σε βαθμό άνω του 50%. Αντίθετα οι επιχειρήσεις

με τζίρο 5-10 δις φαίνεται να μην δείχνουν έντονο ενδιαφέρον για να επιμερίσουν το κόστος αφού το 60,3% αυτών κάνει σε βαθμό <50% [Πίνακας 6.5α]

Πίνακας 6.5α Επιχειρήσεις που τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης Τζίρος 99	0-25	25-50	50-75	75-100
0-1 δις	25	25	50	0
1-5 δις	30,5	17,4	17,4	34,7
5-10 δις	40,4	19,9	0	39,7
10-30 δις	14,2	28,9	42,4	14,2
>30 δις	0	16,6	33,7	49,7

Επίσης μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι επιχειρήσεις σε σχέση με τα άτομα που απασχολούν, πλην αυτών που έχουν 50-200 άτομα. Όλες οι υπόλοιπες κάνουν τη διάκριση σε κατηγορίες κόστους σε βαθμό άνω του 50% και κυρίως αυτές με 200-500 άτομα και 500-1000 άτομα (60% και 76% αντίστοιχα)[Πίνακας 6.5β].

Πίνακας 6.5β Επιχειρήσεις που τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	33,3	16,7	33,3	16,7
50-200 άτομα	66,7	11,1	11,1	11,1
200-500 άτομα	20	20	20	40
500-1000 άτομα	25	0	50	25
>1000 άτομα	20	40	20	20

Οι βιομηχανίες τροφίμων και οι γαλακτοβιομηχανίες κάνουν σε πολύ υψηλό βαθμό (64% και 75% αντίστοιχα) σε ποσοστό άνω του 50%. Οι κλωστοϋφαντουργίες δεν ασχολούνται σχεδόν καθόλου (το 83% αυτών κάνει μόλις 0-25% διάκριση στις πηγές κόστους) [Πίνακας 6.5γ].

Πίνακας 6.5γ Επιχειρήσεις που τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους σε σχέση με το είδος τους

Βαθμός Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Κλάδος Εταιρίας				
Βιομηχανία (Γενικά)	18	27	37	18
Γαλακτοβιομηχανία	25	0	25	50
Τροφίμων	24	12	25	39
Φαρμακευτικές	40	20	20	20
Κλωστοϋφαντουργία	83	17	0	0

6.6 Στο ιστορικό που κρατάνε οι εταιρίες δεν καταγράφουν τον ισοδύναμο χρόνο λειτουργίας (το 47,1% αυτών μόλις σε ποσοστό από 0-25%) αλλά τον απλό ημερολογιακό χρόνο. (Διάγραμμα 6.6α).

Έτσι δεν γίνεται σε βάθος μελέτη για το πόσο παρήγαγε ο εξοπλισμός το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα και κάτω από ποιες συνθήκες (στροφών μηχανημάτων – όγκου υλικού), παρά μόνο πόσο χρονικό διάστημα μεσολάβησε μέχρι να γίνει η αλλαγή του εξαρτήματος. Το 42% των επιχειρήσεων με τζίρο άνω των 30 δις κάνουν όμως σε πολύ υψηλό βαθμό (>75%) και ακολουθούν αυτές με τζίρο 1-5 και 5-10 δις (37,2% και 33% αντίστοιχα). Οι επιχειρήσεις με τζίρο μικρότερο του 1 δις δίνουν πολύ μικρή σημασία και σχεδόν δεν ασχολούνται καθόλου (το 75,2% αυτών κάνει σε ποσοστό 0-25%). [Πίνακας 6.6α]

Πίνακας 6.6α Καταγραφή ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας στις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Τζίρος 99				
0-1 δις	75,2	0	24,8	0
1-5 δις	50,4	12,4	0	37,2
5-10 δις	50	0	17	33
10-30 δις	33,3	33,3	22,2	11,2
>30 δις	29	14,5	14,5	42

Μεγάλο ενδιαφέρον για να γίνει σωστή καταγραφή επιδεικνύουν και οι μεγάλες εταιρίες (>1000 άτομα) αφού κάνουν σε πολύ υψηλό βαθμό (>75%) το 40% αυτών. Οι μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (έως 200 άτομα) δεν φαίνεται να μπορούν να κάνουν τη διάκριση αυτή (σε βαθμό 25% κάνει μεγαλύτερο ποσοστό από το 55% αυτών). [Πίνακας 6.6β].

Πίνακας 6.6β Καταγραφή ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας στις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	66,6	0	16,7	16,7
50-200 άτομα	55,5	11,1	0	33,3
200-500 άτομα	40	10	30	20
500-1000 άτομα	25	25	25	25
>1000 άτομα	40	20	0	40

Οι βιομηχανίες (γενικά), οι γαλακτοβιομηχανίες και οι βιομηχανίες τροφίμων κάνουν μια διάκριση στο χρόνο σε βαθμό μεγαλύτερο του 75% σε ικανοποιητικό ποσοστό (27%, 75% και 26% αντίστοιχα), ενώ οι φαρμακοβιομηχανίες δεν κάνουν σχεδόν καθόλου (το 80% αυτών κάνει μόλις από 0-25% [Πίνακας 6.6γ].

Πίνακας 6.6γ Καταγραφή ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας στις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους

Βαθμός Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Κλάδος Εταιρίας				
Βιομηχανία (Γενικά)	46	9	18	27
Γαλακτοβιομηχανία	25	0	0	75
Τροφίμων	48	13	13	26
Φαρμακευτικές	80	0	20	0
Κλωστοϋφαντουργία	40	20	40	0

6.7 Όλες οι ελληνικές επιχειρήσεις δείχνουν να έχουν συνειδητοποιήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό, πόσο οικονομικότερο είναι να κάνει κανείς προληπτική αντιδιορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων. Σχεδόν όλες (περίπου 80%) απάντησαν ότι η προληπτική συντήρηση αντιστοιχεί στο 50% της διορθωτικής, ενώ ένα πολύ μεγάλο κομμάτι αυτών (47%) απάντησαν ότι αντιστοιχεί το πολύ στο 25% (Διάγραμμα 6.7α). [Πίνακας 6.7α]

Πίνακας 6.7α Ποσοστό επί του κόστους συντήρησης που αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων στις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Προλ Αντ/ση	0-25	25-50	50-75	75-100
Τζίρος 99				
0-1 δις	50	25	25	0
1-5 δις	87,6	0	0	12,4
5-10 δις	33,2	66,8	0	0
10-30 δις	44,2	33,6	22,2	0
>30 δις	28,5	14,3	42,9	14,3

Κυρίως αυτό έδειξαν να το αντιλαμβάνονται περισσότερο και να έχουν τη δυνατότητα εφαρμογής του οι εταιρείες με τζίρο έως 30 δις [Πίνακας 6.7α] καθώς επίσης και όλων των μεγεθών από πλευράς απασχολούμενων κυρίως όμως αυτές που έχουν πάρα πολύ προσωπικό (>1000 άτομα) και λιγότερο αυτές με μικρό αριθμό απασχολούμενων (<50 άτομα) [Πίνακας 6.7β].

Πίνακας 6.7β Ποσοστό επί του κόστους συντήρησης που αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων στις επιχειρήσεις ανάλογα με το προσωπικό που απασχολούν

Προλ Αντ/ση Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	50	16,6	16,7	16,7
50-200 άτομα	66,6	22,2	11,2	0
200-500 άτομα	40	30	30	0
500-1000 άτομα	25	50	25	0
>1000 άτομα	40	40	20	0

Ο κλάδος της βαριάς βιομηχανίας σχεδόν όλος (82%) κατανοεί τη σημασία της προληπτικής συντήρησης και του κέρδους που προκύπτει από αυτήν σε αντίθεση με τον κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων που φαίνεται να θεωρεί ότι έχει κάποιο κέρδος αλλά όχι τόσο σημαντικό από την προληπτική αντικατάσταση [Πίνακας 6.7γ].

Πίνακας 6.7γ Ποσοστό επί του κόστους συντήρησης που αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων στις επιχειρήσεις ανάλογα με το είδος τους

Προλ Αντ/ση Κλάδος Εταιρίας	0-25	25-50	50-75	75-100
Βιομηχανία (Γενικά)	82	9	9	0
Γαλακτοβιομηχανία	25	50	25	0
Τροφίμων	12	49	49	0
Φαρμακευτικές	40	20	40	0
Κλωστοϋφαντουργίας	66	34	0	0

6.8 Η αναλυτική διαδικασία καθορισμού των αναγκών της προληπτικής συντήρησης (RCM) χρησιμοποιείται σε μικρό βαθμό (μέχρι 25% από το 56% των επιχειρήσεων). (Διάγραμμα 6.8α)

Η προληπτική συντήρηση είναι μια μέθοδος που δύναται να μετριάσει τις επιπτώσεις μιας βλάβης και πρέπει να χρησιμοποιείται όταν κρίνεται αναγκαία πλην όμως δεν είναι η κατάλληλη λύση για όλες τις περιπτώσεις. Η ανάλυση RCM μπορεί κάλλιστα να υποδείξει για παράδειγμα ότι η βέλτιστη λύση είναι η διενέργεια διορθωτικής συντήρησης αφού έχει λάβει χώρα η βλάβη. Η μη χρήση λοιπόν αυτής (RCM) μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην εκ πλήρωση του σκοπού της επιχείρησης, στα οικονομικά της ή ακόμα και στην ασφάλεια του προσωπικού της ή στο περιβάλλον. Από τον πίνακα 6.8α φαίνεται οι επιχειρήσεις με τζίρο (5-30 δις) να στηρίζονται στην συνδυασμένη βελτιστοποίηση αξιοπιστίας (RCM) και κόστους [Πίνακας 6.8α].

Πίνακας 6.8α Εύρεση βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης από τις επιχειρήσεις με τη μέθοδο RCM σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999

Προλ Αντί/ση Τζίρος 99	0-25	25-50	50-75	75-100
0-1 δις	50	25	25	0
1-5 δις	75,2	0	12,4	12,4
5-10 δις	66,4	0	0	33,6
10-30 δις	44,7	22,1	11,1	22,1
>30 δις	43	14,2	28,6	14,2

Οι επιχειρήσεις με προσωπικό 200-500 άτομα κάνουν τη μεγαλύτερη χρήση του συνδυασμού αυτού (το 40% αυτών σε ποσοστό άνω του 50%) και ακολουθούν αυτές με προσωπικό 0-50 και 50-200 άτομα. Όμως παρόλα αυτά φαίνεται ότι οι επιχειρήσεις που απασχολούν πάνω από 500 άτομα δεν ενδιαφέρονται για να

βρουν το βέλτιστο χρόνο προληπτικών αντικαταστάσεων με τη μέθοδο RCM.[Πίνακας 6.8β]

Πίνακας 6.8β Εύρεση βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης από τις επιχειρήσεις με τη μέθοδο RCM σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	50	16,6	16,7	16,7
50-200 άτομα	66,6	0	11,1	22,3
200-500 άτομα	50	10	20	20
500-1000 άτομα	75	0	0	25
>1000 άτομα	40	40	20	0

Σχεδόν όλοι οι κλάδοι, εκτός των φαρμακοβιομηχανιών, στηρίζονται σε ένα ικανοποιητικό βαθμό στην εύρεση των βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης.[Πίνακας 6.8γ].

Πίνακας 6.8γ Εύρεση βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης από τις επιχειρήσεις με τη μέθοδο RCM σε σχέση με το είδος τους

Κλάδος Εταιρίας	Βαθμός Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Βιομηχανία (Γενικά)		64	0	9	27
Γαλακτοβιομηχανία		50	25	0	25
Τροφίμων		37	24	26	13
Φαρμακευτικές		80	0	20	0
Κλωστοϋφαντουργίας		49	17	17	17

6.9 Η χρήση εργαλείων, όπως είναι το FME(c)A, που είναι απαραίτητα για τον καθορισμό και την πιστοποίηση βάσει κανόνων των λειτουργιών, των λειτουργικών αστοχιών και των επιπτώσεων τους, χρησιμοποιούνται σχεδόν ελάχιστα. Χάνεται έτσι ένα μέσο για τον καθορισμό της σημασίας των

λειτουργικών αστοχιών όσον αφορά την ασφάλεια, το περιβάλλον, τις λειτουργίες και τις οικονομικές επιπτώσεις. (Διάγραμμα 6.9α).

Το 67,5% των επιχειρήσεων πολύ λίγο (λιγότερο από 25%) χρησιμοποιεί κάποια μέθοδο πρόβλεψης και μάλιστα το 50% δεν χρησιμοποιεί καθόλου.

Πίνακας 6.9α Χρήση FME(c)A από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999

Βαθμ Χρήσης Τζίρος 99	0-25	25-50	50-75	75-100
0-1 δις	100	0	0	0
1-5 δις	75,2	12,4	0	12,4
5-10 δις	66,8	16,6	0	16,6
10-30 δις	55,7	33,3	11	0
>30 δις	57,4	14,2	0	28,4

Οι επιχειρήσεις με πολύ προσωπικό (>1000 άτομα) χρησιμοποιεί κάποια μέθοδο πρόβλεψης σε ένα καλό ποσοστό (>50% από το 40% των επιχειρήσεων) [Πίνακας 6.9β].

Πίνακας 6.9β Χρήση FME(c)A από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	83,3	0	0	16,7
50-200 άτομα	66,7	22,2	0	11,1
200-500 άτομα	70	20	0	10
500-1000 άτομα	75	25	0	0
>1000 άτομα	40	20	20	20

Αυτό είναι και το ποσοστό αυτού του μεγέθους των επιχειρήσεων όπως είδαμε παραπάνω, το οποίο κάνει επιμερισμό της συντήρησης, κρατάει λεπτομερή στοιχεία κόστους και κάνει καταγραφή του ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας, στοιχεία απαραίτητα για την τροφοδοσία μιας λεπτομερούς ανάλυσης (FME(c)A).

Ένα μέρος (περίπου 25%) των βιομηχανιών τροφίμων και γάλακτος χρησιμοποιούν σε υψηλό βαθμό (>75%) τις αναλύσεις αυτές [Πίνακας 6.9γ]

Πίνακας 6.9γ Χρήση FME(c)A από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους

Βαθμός Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Κλάδος Εταιρίας				
Βιομηχανία (Γενικά)	55	36	0	9
Γαλακτοβιομηχανία	50	0	25	25
Τροφίμων	74	0	0	26
Φαρμακευτικές	80	20	0	0
Κλωστοϋφαντουργίας	83	17	0	0

6.10 Η χρήση πληροφοριακών ή άλλων συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην ελληνική βιομηχανία δεν φαίνεται να ιεραρχεί την κρισιμότητα των επί μέρους εξαρτημάτων με συνιστώσες την αξιοπιστία τους και το κόστος της απαιτούμενης διαθεσιμότητάς τους, αφού ένα μεγάλο ποσοστό (65%) των επιχειρήσεων την πραγματοποιεί σε ένα 25% και μάλιστα το 53% σχεδόν καθόλου (<5%) [Διάγραμμα 6.10α].

Οι επιχειρήσεις όμως με πολύ υψηλό τζίρο (>30 δις) κάνουν ιεράρχηση σε ικανοποιητικό βαθμό (πάνω από 50% κάνει το 57% αυτών) [Πίνακας 6.10α]

Πίνακας 6.10α Ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Τζίρος 99				
0-1 δις	100	0	0	0
1-5 δις	75	12,5	0	12,5
5-10 δις	66,8	0	0	33,2
10-30 δις	67	11	22	0
>30 δις	28,5	14,5	28,5	28,5

Είναι αναμφισβήτητο γεγονός ότι ένα τέτοιο πληροφοριακό σύστημα είναι ακριβό, πολύπλοκο, θέλει λεπτομερή στοιχεία και προσωπικό να τα συλλέγει και να τα καταχωρεί. Θέλει μια ευελιξία όσον αφορά το προσωπικό που φαίνεται να είναι πιο εύκολη στις επιχειρήσεις με 500-1000 άτομα [Πίνακας 6.10β].

Πίνακας 6.10β Ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις ανάλογα με το προσωπικό που χρησιμοποιούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	83,3	0	0	16,7
50-200 άτομα	66,6	11,1	0	22,3
200-500 άτομα	60	13	13	14
500-1000 άτομα	50	0	25	25
>1000 άτομα	60	20	20	0

Οι βιομηχανίες, βαριές, τροφίμων και γάλακτος δείχνουν να ενδιαφέρονται για να κάνουν μια critical component availability ενώ ο κλάδος της κλωστούφαντουργίας και των φαρμάκων σχεδόν καθόλου [Πίνακας 6.10γ]

Πίνακας 6.10γ Ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους

Βαθμός Χρήσης Κλάδος Εταιρίας	0-25	25-50	50-75	75-100
Βιομηχανία (Γενικά)	64	0	18	18
Γαλακτοβιομηχανία	25	0	25	50
Τροφίμων	61	13	13	13
Φαρμακευτικές	80	20	0	0
Κλωστούφαντουργίας	83	17	0	0

6.11 Οι αναλύσεις σε επίπεδο εξαρτήματος γίνονται σε μη ικανοποιητικό βαθμό, αφού μόνο το 33% των επιχειρήσεων κάνει ανάλυση πάνω από 50%(Διάγραμμα 6.11α).

Είναι σημαντικό να γίνεται ανάλυση σε επίπεδο εξαρτήματος και όχι μηχανής γιατί το εξάρτημα είναι συνήθως που αστοχεί και που μπορεί να προκαλέσει και την αστοχία και άλλων εξαρτημάτων ή ακόμα και της μηχανής. Η μηχανή θεωρητικά δεν γερνάει ποτέ και μόνο η μελέτη για το αν είναι οικονομικά συμφέρουσα ή όχι μας οδηγεί στην αντικατάσταση της.

Βέβαια πρέπει να επισημανθεί ότι οι επιχειρήσεις με τζίρο άνω του 1 δις προβαίνουν σε κάποιο ικανοποιητικό ποσοστό (>25%) σε επιμέρους αναλύσεις [Πίνακας 6.11α]

Πίνακας 6.11α Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης Τζίρος 99	0-25	25-50	50-75	75-100
0-1 δις	75	0	25	0
1-5 δις	50,2	12,5	0	37,3
5-10 δις	66,8	0	0	43,2
10-30 δις	55,6	22,2	22,2	0
>30 δις	56,8	0	28,6	14,6

Από πλευράς μεγέθους απασχολούμενων στις επιχειρήσεις, αυτές με 200-500 άτομα προβαίνουν σε αναλύσεις σε υψηλό ποσοστό (άνω του 50% κάνει το 40% αυτών) ενώ οι πολύ μεγάλες σε μικρότερο ποσοστό (20%). Αξιοπρόσεκτο είναι ότι οι επιχειρήσεις με προσωπικό από 0 – 200 άτομα κάνουν σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ότι αυτές που απασχολούν περισσότερα των 500 ατόμων [Πίνακας 6.11β]

Πίνακας 6.11β Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	66,7	0	16,6	16,7
50-200 άτομα	66,6	0	0	33,4
200-500 άτομα	40	20	30	10
500-1000 άτομα	75	0	25	0
>1000 άτομα	60	20	0	20

Η βιομηχανία και οι εταιρίες τροφίμων κάνουν επιμέρους αναλύσεις σε επίπεδο εξαρτήματος σε μεγάλο βαθμό, σε αντίθεση με τις φαρμακευτικές που δεν κάνουν σχεδόν καθόλου. [Πίνακας 6.11γ]

Πίνακας 6.11γ Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το είδος τους

Βαθμός Χρήσης Κλάδος Εταιρίας	0-25	25-50	50-75	75-100
Βιομηχανία (Γενικά)	46	9	27	18
Γαλακτοβιομηχανία	50	25	0	25
Τροφίμων	48	0	26	26
Φαρμακευτικές	80	20	0	0
Κλωστοϋφαντουργία	83	0	0	17

6.12 Οι αναλύσεις βελτιστοποίησης που γίνονται από τις επιχειρήσεις λαμβάνουν σε πολύ μικρό βαθμό (το 70% των επιχειρήσεων σε βαθμό μικρότερο του 50%) την χρονική αλληλουχία του ιστορικού (διάγραμμα 6.12α).

Τα ανωτέρω ποσοστά ισχύουν για όλες τις επιχειρήσεις ανεξαρτήτως του τζίρου τους πλην αυτών που είναι μέχρι 1 δις. [Πίνακας 6.12α].

Πίνακας 6.12α Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις, σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

Βαθμ Χρήσης Τζίρος 99	0-25	25-50	50-75	75-100
0-1 δις	50	0	50	0
1-5 δις	62,8	12,4	12,4	12,4
5-10 δις	66,8	0	16,6	16,6
10-30 δις	44,4	33,4	11,1	11,1
>30 δις	43	28,5	28,5	0

Όμοια ισχύουν και σε όλα τα μεγέθη των επιχειρήσεων, πλην αυτών που απασχολούν μέχρι 50 άτομα, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τους τη χρονική αλληλουχία του ιστορικού σε ποσοστό μικρότερο του 50%, το 50% αυτών [Πίνακας 6.12β]. Γίνεται λοιπόν ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών.

Πίνακας 6.12β Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις, σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

Βαθμ Χρήσης Προσωπικό	0-25	25-50	50-75	75-100
0-50 άτομα	50	0	37,5	12,5
50-200 άτομα	66,6	11,1	11,1	11,2
200-500 άτομα	50	20	30	0
500-1000	25	50	0	25
>1000 άτομα	60	20	20	0

Ο κλάδος των τροφίμων είναι αυτός που δεν στηρίζεται στην υπόθεση της ανεξαρτησίας μεταξύ των καταγεγραμμένων χρόνων βλαβών και προληπτικών αντικαταστάσεων και κάνει ανάλυση σε βαθμό άνω του 50%, το 63% αυτών [Πίνακας 6.12γ].

Πίνακας 6.12γ Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις, σε σχέση με το είδος τους

Κλάδος Εταιρίας	Βαθμός Χρήσης	0-25	25-50	50-75	75-100
Βιομηχανία (Γενικά)		55	27	18	0
Γαλακτοβιομηχανία		25	50	25	0
Τροφίμων		37	0	50	13
Φαρμακευτικές		80	20	0	0
Κλωστοϋφαντουργίας		66	0	17	17

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις απαντήσεις των επιχειρήσεων που συμμετείχαν στην έρευνα μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω χρήσιμα συμπεράσματα.

Επιμερισμό της συντήρησης σε διορθωτική, προληπτική και προβλεπτική κάνει η πλειοψηφία των επιχειρήσεων. Σε απόλυτο ποσοστό κάνουν οι επιχειρήσεις με τζίρο άνω των 30 δις και όσες απασχολούν πάνω από 1000 άτομα. Παρατηρείται το φαινόμενο οι επιχειρήσεις που απασχολούν 500–1000 άτομα ή έχουν τζίρο 15–30 δις να κάνουν σε μικρότερο ποσοστό επιμερισμό της συντήρησης απ' ό,τι επιχειρήσεις μικρότερου μεγέθους τόσο ως προς το προσωπικό όσο και ως προς το τζίρο.

Για τον προγραμματισμό της συντήρησης οι ελληνικές επιχειρήσεις τηρούν αρχεία βλαβών σε βαθμό άνω του 50%, περισσότερες από τις μισές από όσες έχουν τζίρο άνω του 1 δις και όσες απασχολούν πάνω από 50 άτομα. Οι μικρού μεγέθους επιχειρήσεις όσον αφορά τον τζίρο και την απασχόληση δεν δύναται να προβούν στην τήρηση αρχείων λόγω έλλειψης προσωπικού αλλά και των δαπανών που απαιτούνται.

Ενώ παραπάνω φαίνεται ότι οι μικρού μεγέθους επιχειρήσεις δεν τηρούν αρχεία βλαβών σε μεγάλο βαθμό, παρόλα αυτά κάνουν σε μεγαλύτερο ποσοστό (άνω του 50% αυτών σε βαθμό >50%) από τις μεγάλες επιχειρήσεις αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας εξοπλισμού. Οι μεγάλες επιχειρήσεις κάνουν και αυτές βέβαια σε μικρότερο ποσοστό σε μεγαλύτερο όμως βαθμό, αρχής γενομένης από τις μεγάλες σε τζίρο και άτομα.

Οι επιχειρήσεις σε σχετικά μικρό βαθμό (<50%) προβαίνουν κατά τις μελέτες αξιοπιστίας σε επιμερισμό των δεδομένων σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις

και συνεπαγόμενες βλάβες. Τον ίδιο βαθμό έχουν όλες οι επιχειρήσεις ανεξαρτήτως του τζίρου που πραγματοποιούν και του προσωπικού που απασχολούν. Ο κλάδος των τροφίμων φαίνεται να επιμερίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό (>50%) τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί.

Τα στοιχεία κόστους που κρατούν οι επιχειρήσεις είναι λεπτομερή σε μεγάλο βαθμό. Η σημασία του κόστους φαίνεται να γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή από τις επιχειρήσεις και να αναζητούν λεπτομερώς τις πηγές που το παράγουν.

Ο κλάδος των τροφίμων περισσότερο από όλους τους άλλους ενδιαφέρεται να βρει και να μειώσει όσο το δυνατό περισσότερο τα κόστη. Ο έντονος ανταγωνισμός και η συνεπακόλουθη συμπίεση τιμών που πραγματοποιείται καθημερινά στον κλάδο, πιέζει προς την λεπτομερή αναζήτηση πηγών κόστους.

Οι βιομηχανίες καταγράφουν μόνο τον απλό ημερολογιακό χρόνο λειτουργίας με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει περαιτέρω μελέτη με κάποια μέθοδο πρόβλεψης (π.χ. FME(c)A). Απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό μια τέτοια καταγραφή και για αυτό απαιτούνται κονδύλια και περισσότερο προσωπικό. Για αυτό και οι επιχειρήσεις με μεγάλο τζίρο και αριθμό εργαζομένων κάνουν μια ιδιαίτερη καταγραφή του χρόνου των βλαβών σε σχετικά ικανοποιητικό βαθμό.

Όλο το φάσμα των βιομηχανιών αποδέχεται ότι η προληπτική αντικατάσταση κρισίμων εξαρτημάτων αποτελεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό κόστους, σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση αυτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι πιο πολύ το δέχονται οι μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις όπως και αυτές που έχουν τζίρο 5-10 δις και 50-200 άτομα και όχι αυτές με περισσότερους από 1000 εργαζομένους και 30 δις τζίρο. Αυτό οφείλεται στη ένταση εργασίας (4 βάρδιες / 7 ημέρες την εβδομάδα) που υπάρχει στις επιχειρήσεις αυτές και στη μη ύπαρξη διαθέσιμου χρόνου για προληπτική συντήρηση.

Ενώ όμως όλες οι επιχειρήσεις κατανοούν τη σημασία της προληπτικής συντήρησης πολύ λίγες είναι αυτές οι οποίες με κάποια μέθοδο βρίσκουν το βέλτιστο χρόνο προληπτικής αντικατάστασης. Οι μέθοδοι αυτοί απαιτούν σύγχρονο πληροφοριακό σύστημα, με μεγάλο όγκο πληροφοριών και συνεργασία μεταξύ διάφορων τμημάτων. Επίσης φαίνεται ότι δεν γίνεται μια αναλυτική διαδικασία για τον καθορισμό των αναγκών της προληπτικής συντήρησης καθώς και ο καθορισμός μεθόδων προς αποφυγή ή ελάττωση των επιπτώσεων οι οποίες αν συμβούν θα επηρεάσουν την ικανότητα της εταιρίας να διεκπεραιώσει την αποστολή της ή τα οικονομικά της. Για αυτό παρατηρείται και σε αυτό τον τομέα της έρευνας, να ανταποκρίνονται περισσότερο οι επιχειρήσεις με μεγάλο τζίρο, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα αγοράς ενός ακριβού πληροφοριακού συστήματος και της ανεύρεσης του κατάλληλου προσωπικού.

Όπως αναμένεται, αφού η χρήση RCM γίνεται σε μέτριο βαθμό και η χρήση κάποιας μεθόδου πρόβλεψης (π.χ. FME(c)A) γίνεται σε μικρό βαθμό (το 85% των επιχειρήσεων σε βαθμό μικρότερο του 50%). Είναι εμφανές ότι οι ελληνικές επιχειρήσεις δεν έχουν κατανοήσει την αξία μιας διαδικασίας που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό και πιστοποίηση βάσει κανόνων, των λειτουργιών, των τύπων αστοχίας και την κατηγοριοποίηση της σφοδρότητας κάθε αστοχίας.

Η ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων γίνεται και αυτή σε πολύ μικρό βαθμό. Αυτό φαίνεται να είναι μια λογική συνέχεια της χρήσης σε μικρό βαθμό της RCM και της FME(c)A. Αν μια επιχείρηση κάνει χρήση των παραπάνω πληροφοριακών συστημάτων και μεθόδων μπορεί σχετικά εύκολα να προχωρήσει και στην ιεράρχηση επιμέρους εξαρτημάτων.

Οι αναλύσεις γίνονται σε επίπεδο μηχανής και όχι εξαρτήματος. Έτσι οι επιχειρήσεις δεν έχουν τη δυνατότητα να γνωρίζουν ποιο εξάρτημα πραγματικά

αστοχεί και ποιο όχι έτσι ώστε να προβαίνουν έγκαιρα στην προληπτική συντήρηση και αντικατάστασή του. Όπως επίσης δεν μπορεί να γίνει οικονομικοτεχνική μελέτη για τη μηχανή την ίδια και για την τυχόν αντικατάστασή της.

Οι αναλύσεις βελτιστοποίησης δεν λαμβάνουν υπόψη τους τη χρονική αλληλουχία του να μειώνει σε μεγάλο βαθμό και επομένως στηρίζονται στην υπόθεση της ανεξαρτησίας μεταξύ των καταγεγραμμένων χρονικών βλαβών και προληπτικών αντικαταστάσεων χρησιμοποιώντας κλασικές στατιστικές μεθόδους ανάλυσης.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ελληνικών επιχειρήσεων αναγνωρίζουν την ανάγκη επιμερισμού της συντήρησης και προβαίνουν σε αυτή, χωρίς όμως να χρησιμοποιούν αρχεία βλαβών και εσωτερικά δεδομένα αξιοπιστίας στον ίδιο μεγάλο βαθμό.

Παρατηρούμε ότι ενώ κάνουν επιμερισμό της συντήρησης σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό, δεν κάνουν στον ίδιο βαθμό επιμερισμό δεδομένων σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες.

Γενικότερα θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι ελληνικές επιχειρήσεις δεν συλλέγουν σε ένα ικανοποιητικό βαθμό δεδομένα (ελάχιστα λεπτομερειακά) τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να τροφοδοτήσουν σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα. Τα συστήματα αυτά θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην εύρεση των βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης, στη χρήση FME(c)A και στην Critical Component Analysis και κατ' επέκταση θα βελτιωνόταν το σύνολο των διεργασιών, η συνεργασία μεταξύ της παραγωγής και των τμημάτων συντήρησης. Επίσης θα επιτύγχαναν μεγαλύτερη αξιοπιστία και χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

Βέβαια για να επιτευχθούν αυτά απαιτείται η ύπαρξη ενός αποτελεσματικού λογισμικού κάτι που απαιτεί σημαντικά οικονομικά μέσα και εξειδικευμένο προσωπικό.

Ο κλάδος των τροφίμων φαίνεται να προηγείται από τους υπόλοιπους κλάδους που εξετάζονται, στην εφαρμογή μεθόδων συντήρησης και αξιοπιστίας. Σε όλες τις μεθόδους και τις προηγμένες τεχνικές ανάλυσης ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Campbell D.J. (1999) "The Reliability Handbook" Vol. 23 Issue 6 A. Clifford Elliot Publication
2. Ascher, H. E., Feingold H (1984) "Repairable Systems Reliability: Modelling Inference, Misconceptions and their Causes" Marcel Dekker, NY
3. Bohoris, G.A. (1992) "Reliability Data Analysis" 34th Conference of the QR society, Birmingham pp 119-131
4. Newton, D.W "Some pit falls in reliability data analysis" Reliability Engineering and System Safety, Vol 34, 1991 pp 7-21
5. Miller R. G. (1981) "Survival Analysis" John Wiley and Sons, NY
6. Bunday B. D. (1991) "Statistical Methods in Reliability Theory and Practice" Ellis Horwood, London
7. Miller, D. W. and STARR, M.K. (1960) "The Log - Normal Distribution" Cambridge University Press
8. Kalbfleisch J. D. Prentice R.L (1980) "The Statistical Analysis of Failure Time Data", John Wiley and Sons, N.Y.
9. Lawless J. F. (1982) "Statistical Models and Methods for Lifetime Data", John Wiley and Sons, N.Y.
10. Lee E.T. (1980) "Statistical Methods for Survival Data Analysis", Lifetime Learning Publications, Belmont, CA
11. Elandt - Johnson R.C., Johnson N. L. (1980) Survival Models and Data Analysis, John Wiley and Sons, N.Y.

12. Cox D. R. Oakes D. (1984) "Analysis of Survival Data", Chapman and Hall, London
13. Cox D.R. and Lewis (1966) "The Statistical Analysis of Series of Events" Methuen, London
14. Bohoris A.G. (1996) "Trend testing in reliability engineering" International Journal of Quality and Reliability Management Vol. 13 No. 2, pp. 45-54
15. Bates G. (1955) "Joint distributions of time intervals for the occurrence of successive accidents in a generalized polyscheme" Annals of Mathematical Statistics Vol 26 pp 705-720
16. A.D.S. Carter (1986) "Mechanical Reliability" Macmillan Education Ltd
17. Grosh D.L. (1989), "A Primer of Reliability Theory" John Wiley and Sons, NY
18. O' Connor, PDT (1985) "Practical Reliability Engineering" John Wiley and Sons, Chichester.
19. A. K. S. Jardine (1984) "Maintenance, Replacement and Reliability" Pitman Publishing
20. Roger D. Leitch (1995) "Reliability Analysis for Engineers" Oxford University Press
21. T.D. Rishel, P.P. Christy (1996) "Incorporation Maintenance Activities into Production Planning; Integration at the Master Schedule Versus Material Requirements Level", International Journal of Production Research 34(2), pp 421-446
22. Hans Löfsten (1988) "Measuring maintenance performance – in search for a maintenance productivity index" International journal of production economics, Vol. 63 pp. 47-58
23. R. L. Dunn (1988) "Maintenance Update 88", Plant Engineering, pp 60-62

24. C. Sheu, LJ Krajewski (1994) "A decision model for corrective maintenance management" International Journal of Production Research pp 1365-1382
25. Aitchison J. and Brown, J.A.C. (1969) "The Log - Normal Distribution" Cambridge University Press
26. Ascher H. E. and Feingold H. (1978) "Is there repair after failure" Conference Proceedings, Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp 190-7
27. NAVAIR www.nalda.navy.mil/3.2/rcm
28. Wilson A. (1999) "Asset Management and Maintenance Strategy", Maintenance and Asset Management Vol. 14 No. 1, pp 3-10
29. Nakajima Seiichi (1993) "Total Productivity Maintenance", Productivity Portland Press
30. Bohoris A.G., Vamvalis C. (1995) "TMP implementation in Land Rover with Assistance of a CMMS", Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol. I No. 4, pp 3-16
31. Takahashi Y. (1981) "Maintenance - Oriented Management Via Total Participation", Terotechnology Vol. 2, pp 79-88
32. Smith M. A. (1993) "Reliability Centered Maintenance", Mc Graw Hill, NY
33. Mourbray J. (1991), "Reliability Centered Maintenance", Butterworth - Heinemann Ltd., Oxford.
34. Bohoris G.A., Leitao A.M.L. (1991) PHM vs. Two - Sample Tests "A Case Study, Quality & Reliability Engineering International", Vol. 7, No. 5, Sep - Oct 1991, pp. 393-402.
35. E. A. Lehtinen (1979) "An estimation for three parameter Weibull distributions", Second National Reliability Conference, Birmingham

36. Roy Billinton (1970) "Power System Reliability Evaluation" Gordon and Beach, Science Publishers
37. An American National Standard (1980) "IEEE Recommended Practice for the Resign of Reliable Industrial and Commercial Power Systems"
38. R. R. Carhart (1953) "A survey of the current status of the electronic problem" RAND Corp. Res. Memo. RM 1131

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

I. Γενικές πληροφορίες για την επιχείρηση

1. Σε ποιο κλάδο δραστηριοποιείται η επιχείρησή σας;

2. Πόσους εργαζομένους απασχολεί η εταιρεία σας ;

0 - 50 50 - 200 200 - 500 500 - 1000 > 1000

3. Τι τζίρο πραγματοποίησε κατά το 1999 ;

0 - 1 δις 1 δις - 5 δις 5 δις - 10 δις 10 δις - 30 δις > 30 δις

4. Στοιχεία επικοινωνίας :

Όνομα: _____ Θέση: _____

Εταιρία /Οργανισμός: _____ Διεύθυνση: _____

Πόλη: _____ Τηλέφωνο: _____

Fax: _____ E-mail: _____

II. Δεδομένα συντήρησης - αξιοπιστίας

1. Επιμερίζετε την συντήρηση σε διορθωτική, προληπτική και προβλεπτική προληπτική ;

Ναι Όχι Δεν γνωρίζω

2. Σε ποιο βαθμό χρησιμοποιείτε τα τηρούμενα αρχεία βλαβών, εσωτερικά δεδομένα αξιοπιστίας, για τον προγραμματισμό της συντήρησης ;

5-10% 10-15% 15-20% 20-25% 25-30% 30-35% 35-40% 40-45% 45-50%
 55-60% 60-65% 65-70% 70-75% 75-80% 80-85% 85-90% 90-95% 95-100%

3. Σε ποιο βαθμό γίνονται διαρκώς αναβαθμιζόμενες μελέτες αξιοπιστίας εξοπλισμού (π.χ μετά την πρόσθεση μιας ακόμη βλάβης ή μετά την ολοκλήρωση μιας προληπτικής αντικατάστασης) που έχει χαρακτηριστεί ως παραγωγικά κρίσιμότερος ;

5-10% 10-15% 15-20% 20-25% 25-30% 30-35% 35-40% 40-45% 45-50%
 55-60% 60-65% 65-70% 70-75% 75-80% 80-85% 85-90% 90-95% 95-100%

4. Σε ποιο βαθμό στις μελέτες αξιοπιστίας καθώς και στο ιστορικό που κρατάτε επιμερίζετε τα δεδομένα σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες ;

<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

5. Σε ποιο βαθμό στις μελέτες αξιοπιστίας καθώς και στο ιστορικό που κρατάτε, τηρείτε λεπτομερειακά στοιχεία κόστους που σχετίζονται με το κόστος εργασίας (εξωτερικά συνεργεία, επείγουσες - πιο δαπανηρές αναθέσεις σε μηχανουργία κ.λ.π), κόστος ανταλλακτικών, ευκαιριακό κόστος (χρόνος συντήρησης επί διαφυγόν κέρδος στη μονάδα χρόνου) ;

<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

6. Σε ποιο βαθμό στις μελέτες αξιοπιστίας καθώς και στο ιστορικό που κρατάτε, καταγράφεται όχι ο απλός ημερολογιακός χρόνος (ημερομηνία εγκατάστασης - ημερομηνία αλλαγής) αλλά ο ισοδύναμος χρόνος λειτουργίας, δηλαδή η παραγωγή που συντελέστηκε στο διάστημα αυτό και ιδιαίτερα οι συνθήκες καταπόνησης για την επίτευξη της παραγωγής αυτής (όπως επίπεδο στροφών λειτουργίας, όγκος μεταφερόμενου - διεργαζομένου υλικού κ.λ.π) ;

<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

7. Σε τι ποσοστό επί του κόστους συντήρησης αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με τη διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων ;

<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

8. Σε ποιο βαθμό η εύρεση των βέλπτων χρόνων προληπτικών αντικαταστάσεων στηριζόμαστε στη συνδυασμένη βελτιστοποίηση αξιοπιστίας (Reliability Centered Maintenance) και κόστους ;

<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

9. Σε ποιο βαθμό χρησιμοποιούνται μέθοδοι πρόβλεψης όπως Failure Mode Effect και Criticality Analysis οι οποίες διαρκώς τροφοδοτούνται από τα καταγραφόμενα στοιχεία βλαβών διορθωτικών και προληπτικών αντικαταστάσεων ;

<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

10. Σε ποιο βαθμό το πληροφοριακό ή άλλο σύστημα που χρησιμοποιείται ιεραρχεί την κρισιμότητα των επιμέρους εξαρτημάτων χρησιμοποιώντας ως συνιστώσες την αξιοπιστία τους και το κόστος (διορθωτικής ή προληπτικής αντικατάστασης) επίτευξης της απαιτούμενης διαθεσιμότητας τους Critical Component Availability ;

<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

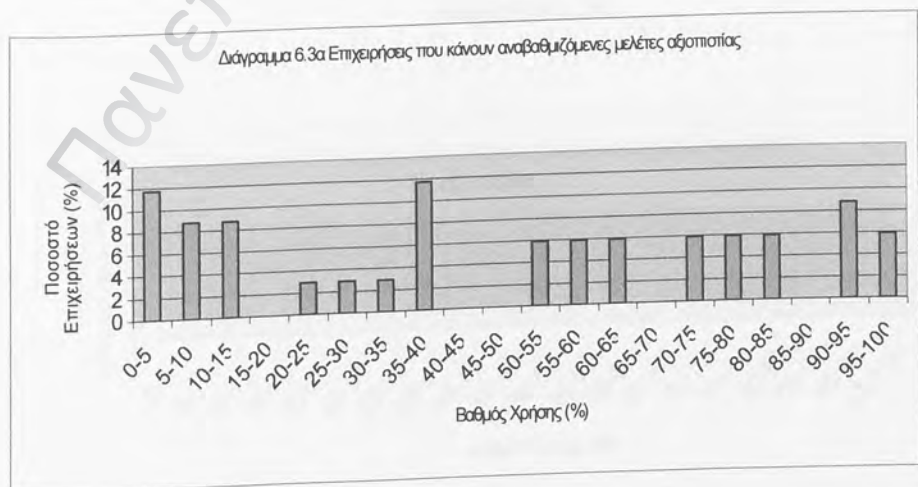
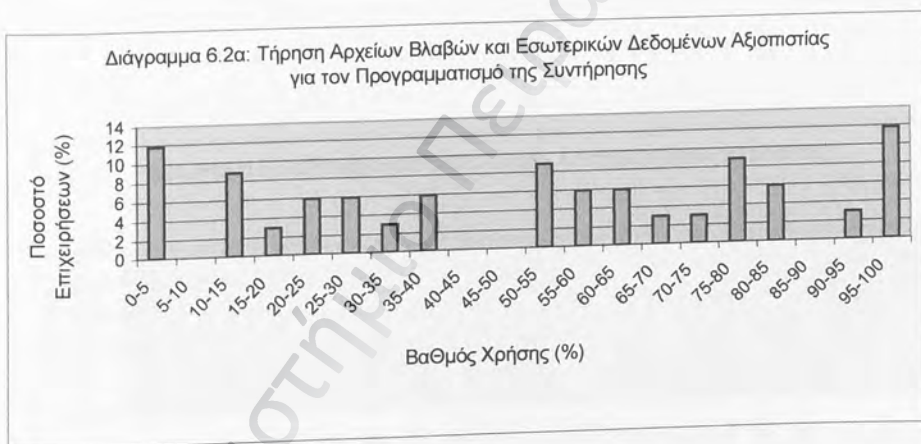
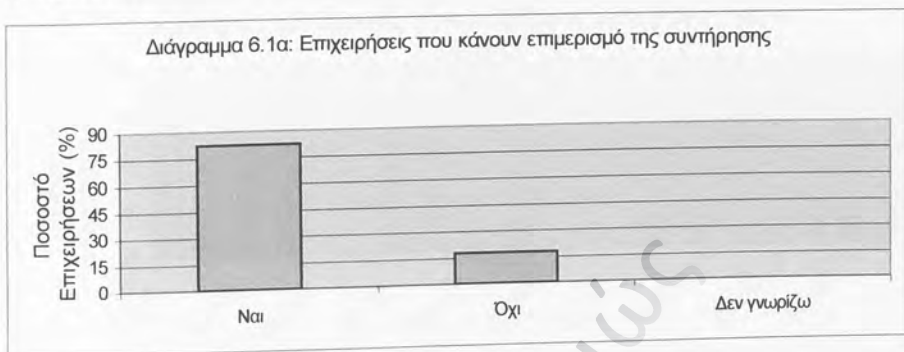
11. Σε ποιο βαθμό οι επιμέρους αναλύσεις γίνονται σε επίπεδο εξαρτήματος / μηχανισμού βλαβών και όχι σε επίπεδο μηχανής ;

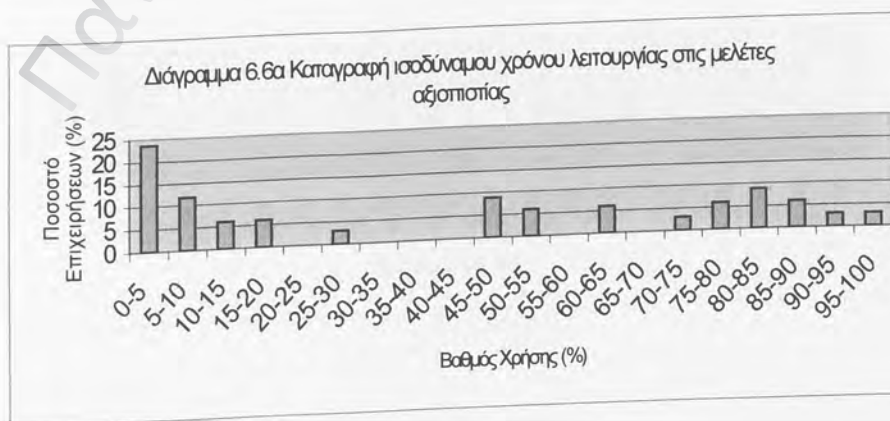
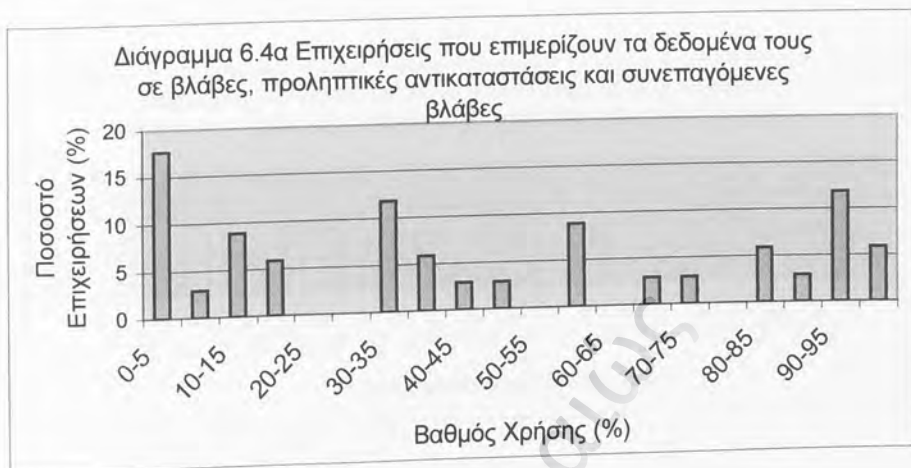
<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

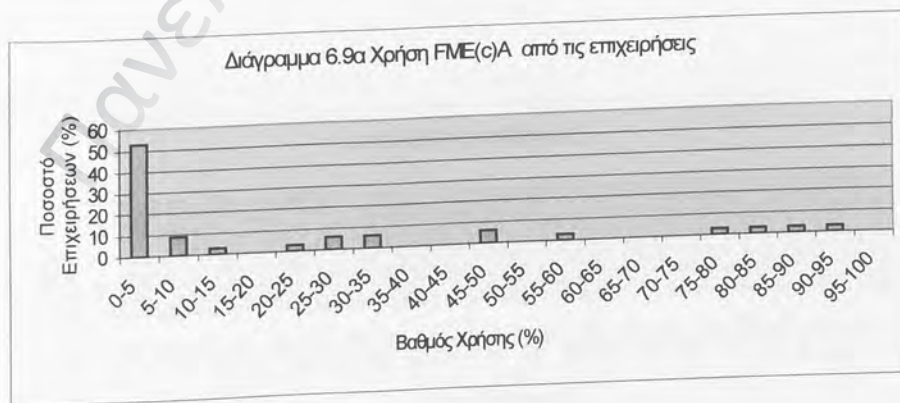
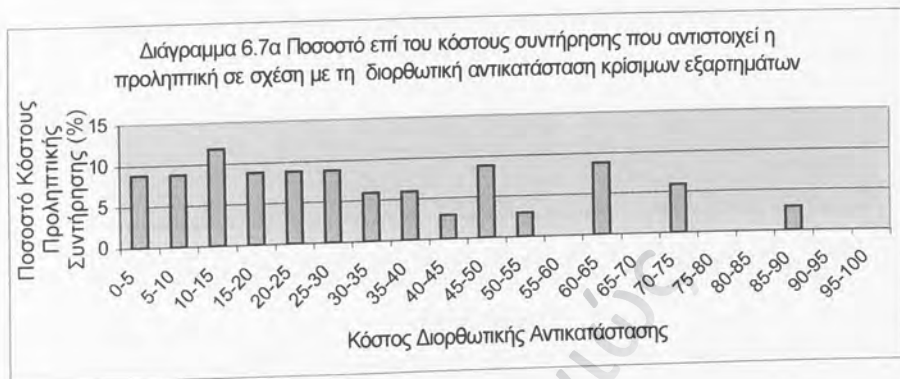
12. Σε ποιο βαθμό οι αναλύσεις βελτιστοποίησης λαμβάνουν υπ' όψιν τους τη χρονική αλληλουχία του ιστορικού και δεν στηρίζονται στην υπόθεση της ανεξαρτησίας μεταξύ των καταγεγραμμένων χρόνων βλαβών και προληπτικών αντικαταστάσεων (της υπόθεσης ότι το μηχάνημα δεν γηράσκει) χρησιμοποιώντας κλασικές στατιστικές μεθόδους ανάλυσης (περιγραφική στατιστική - Μέσοι Όροι κ.λ.π) που προϋποθέτουν ιεράρχηση παρατηρήσεων σύμφωνα με την αριθμητική τιμή των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αντικαταστάσεων ;

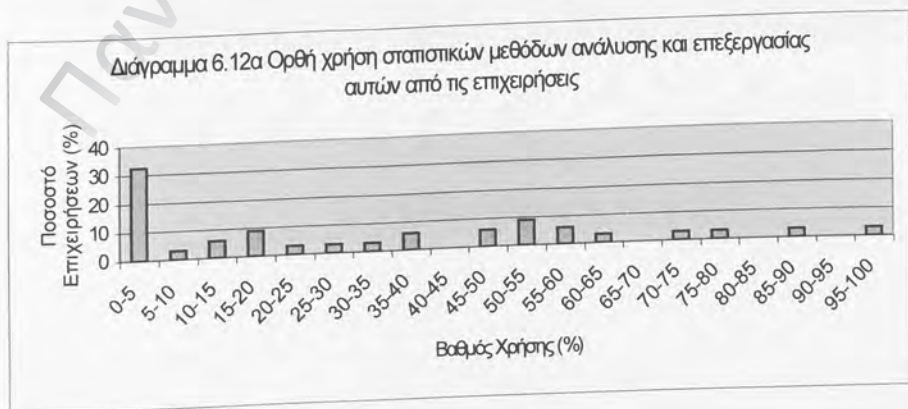
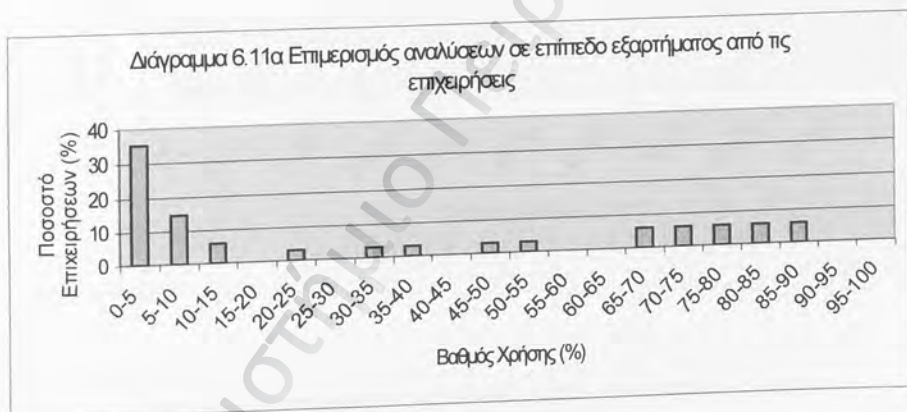
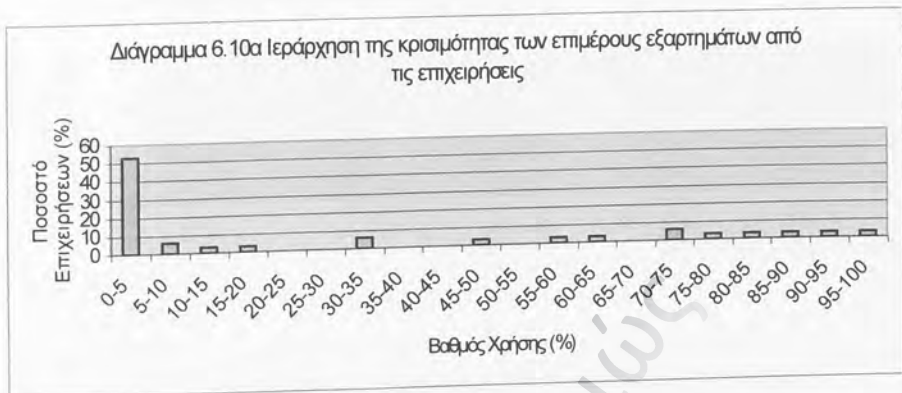
<input type="checkbox"/> 5-10%	<input type="checkbox"/> 10-15%	<input type="checkbox"/> 15-20%	<input type="checkbox"/> 20-25%	<input type="checkbox"/> 25-30%	<input type="checkbox"/> 30-35%	<input type="checkbox"/> 35-40%	<input type="checkbox"/> 40-45%	<input type="checkbox"/> 45-50%
<input type="checkbox"/> 55-60%	<input type="checkbox"/> 60-65%	<input type="checkbox"/> 65-70%	<input type="checkbox"/> 70-75%	<input type="checkbox"/> 75-80%	<input type="checkbox"/> 80-85%	<input type="checkbox"/> 85-90%	<input type="checkbox"/> 90-95%	<input type="checkbox"/> 95-100%

Διαγράμματα

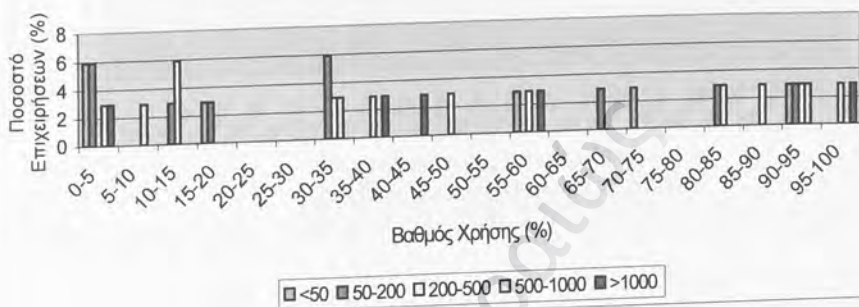




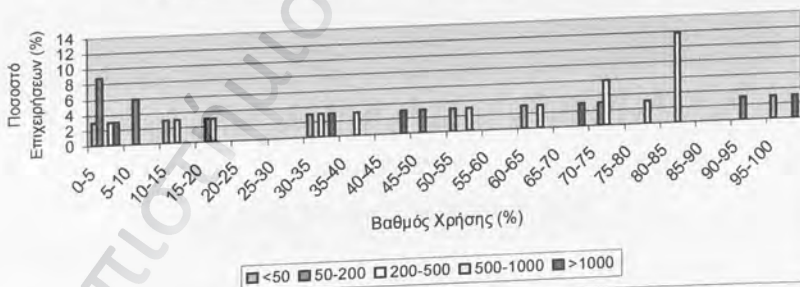




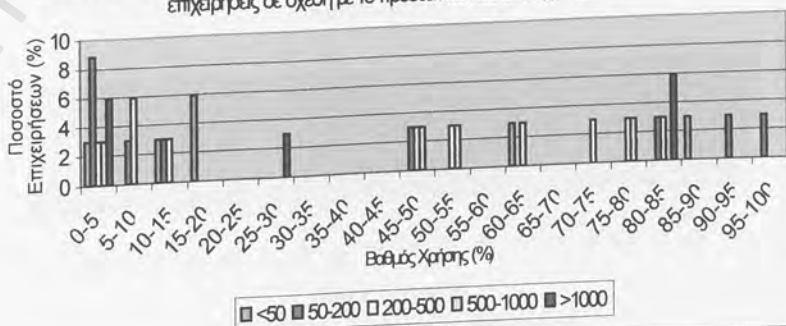
Διάγραμμα 6.4β Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές αντικαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν



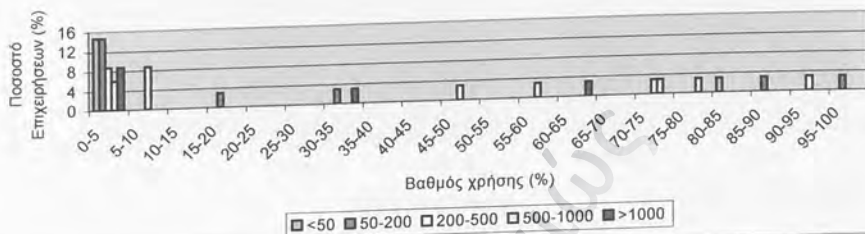
Διάγραμμα 6.5β Επιχειρήσεις που τηρούν λεπτομερή στοιχεία κόστους ανάλογα με το προσωπικό που απασχολούν



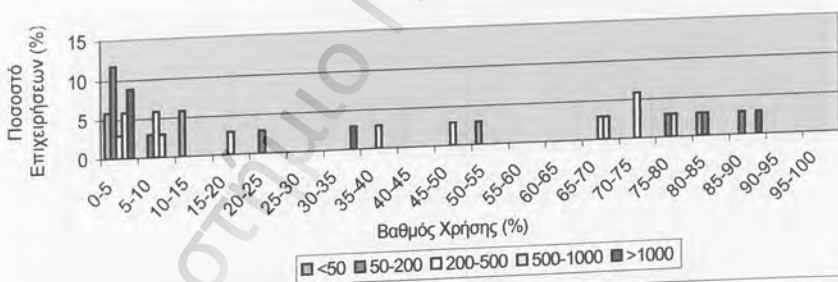
Διάγραμμα 6.6β Καταγραφή ισόνομου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας, από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν



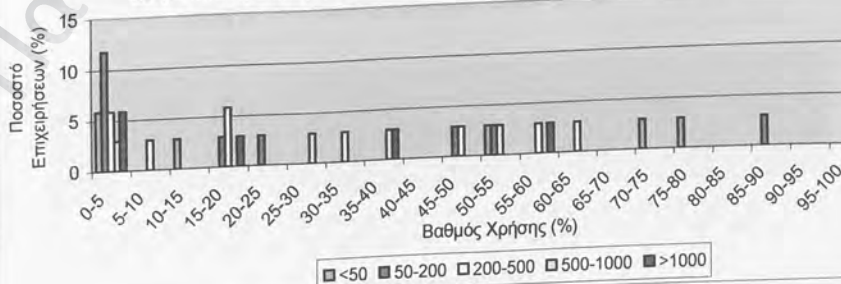
Διάγραμμα 6.10β Ιεράρχηση της κρίσιμότητας των εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που χρησιμοποιούν

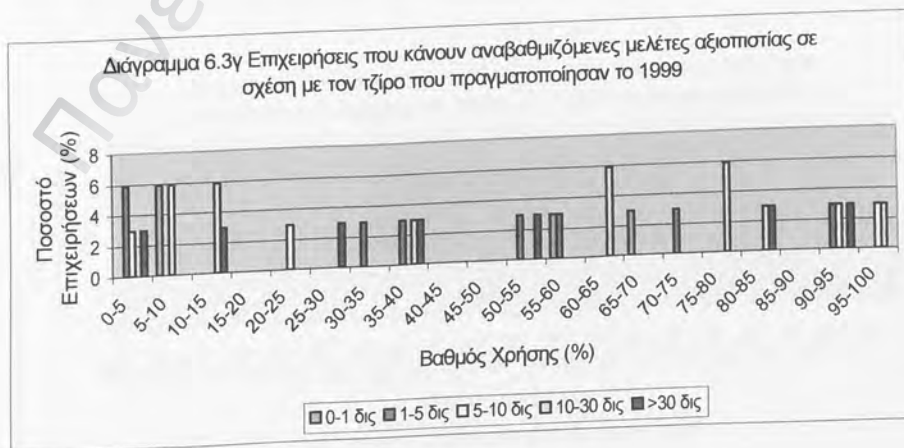
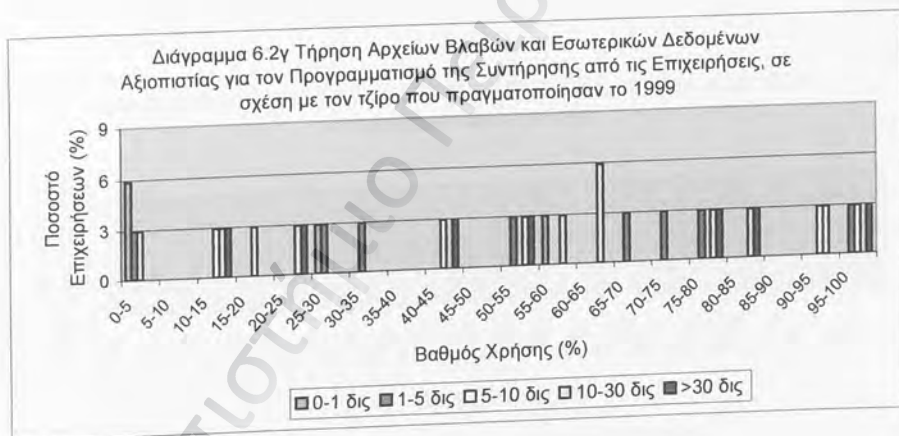


Διάγραμμα 6.11β Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

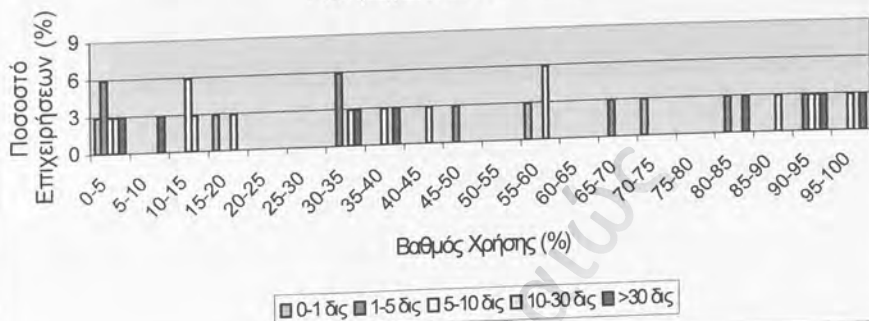


Διάγραμμα 6.12β Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις σε σχέση με το προσωπικό που απασχολούν

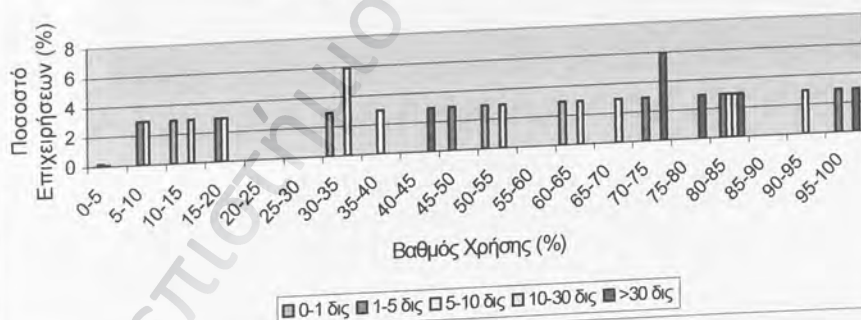




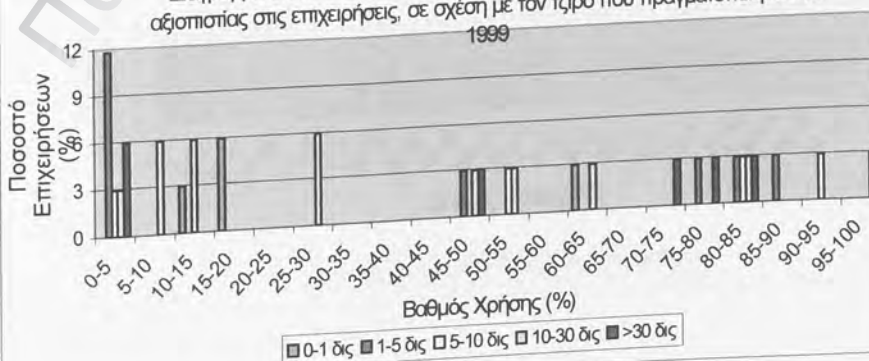
Διάγραμμα 6.4γ Επιχειρήσεις που επιμερίζουν τα δεδομένα τους σε βλάβες, προληπτικές ανακαταστάσεις και συνεπαγόμενες βλάβες σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999



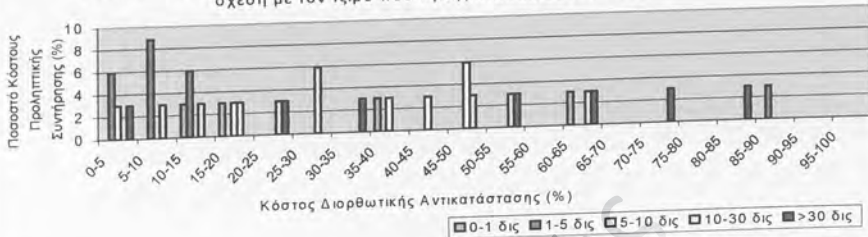
Διάγραμμα 6.5γ Επιμερισμός κόστους από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999



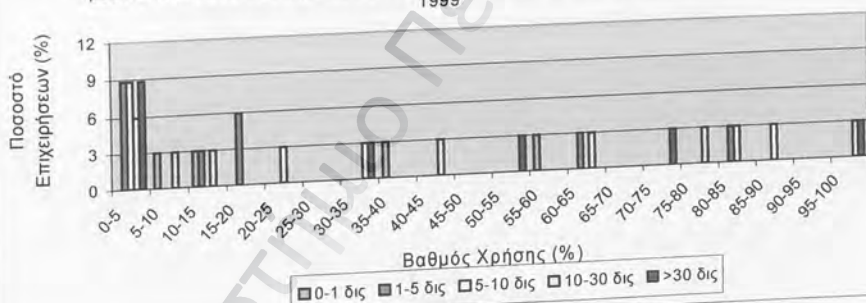
Διάγραμμα 6.6γ: Καταγραφή ισοδύναμου χρόνου λειτουργίας στις μελέτες αξιοπιστίας στις επιχειρήσεις, σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999



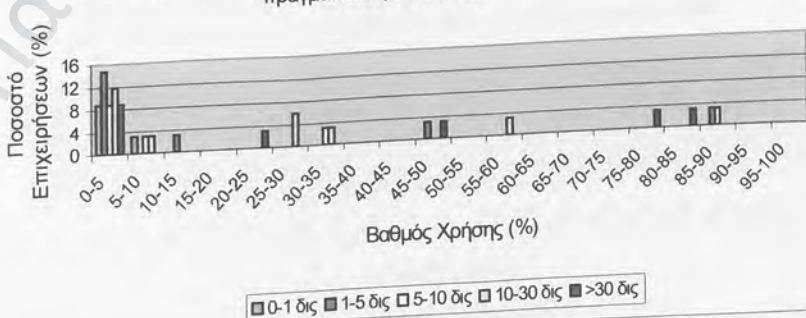
Διάγραμμα 6.7γ: Ποσοστά επί του κόστους συντήρησης που αντιστοιχεί η προληπτική σε σχέση με την διορθωτική αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999



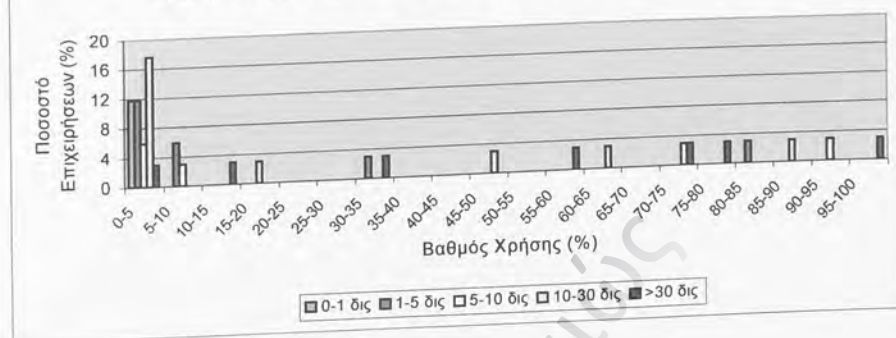
Διάγραμμα 6.8γ Εύρεση βέλτιστων χρόνων προληπτικής αντικατάστασης με τη μέθοδο RCM από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999



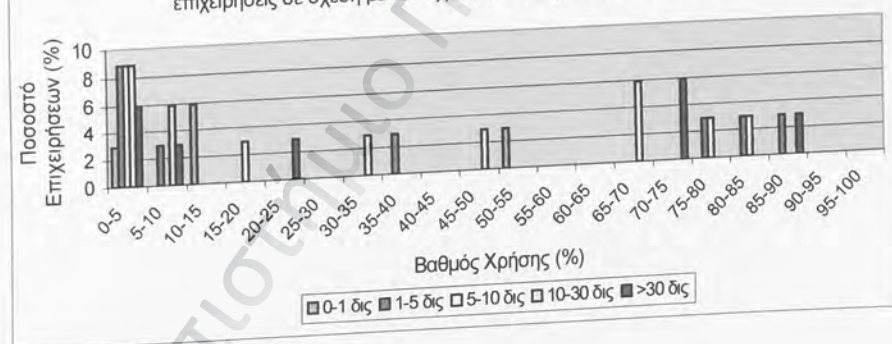
Διάγραμμα 6.9γ Χρήση FME(c)A από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποιήσαν το 1999



Διάγραμμα 6.10γ Ιεράρχηση της κρισιμότητας των επιμέρους εξαρτημάτων από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999



Διάγραμμα 6.11γ Επιμερισμός αναλύσεων σε επίπεδο εξαρτήματος στις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999



Διάγραμμα 6.12γ Ορθή χρήση στατιστικών μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας αυτών από τις επιχειρήσεις σε σχέση με τον τζίρο που πραγματοποίησαν το 1999

