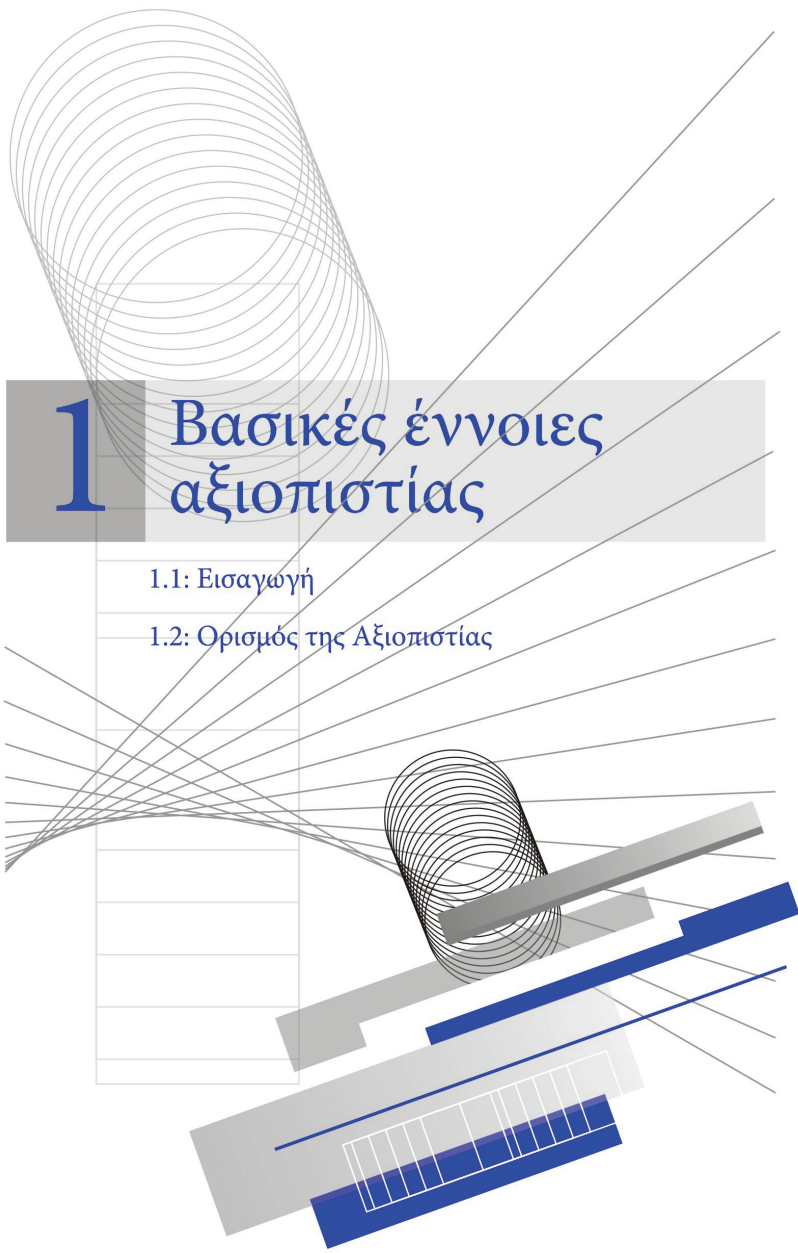




1 Βασικές έννοιες αξιοπιστίας

1.1: Εισαγωγή

1.2: Ορισμός της Αξιοπιστίας

1.1: Εισαγωγή

Για την καλύτερη κατανόηση της ύλης του βιβλίου αυτού είναι απαραίτητο να αναλύσουμε πρώτα τις βασικές έννοιες της θεωρίας της αξιοπιστίας. Ειδικότερα θα παρουσιάσουμε την εννοιολογική εξέλιξη των όρων της αξιοπιστίας και της αποτυχίας και στην συνέχεια τις βασικές συνιστώσες του ορισμού της αξιοπιστίας που είναι η πιθανότητα, το εξάρτημα, η συσκευή, το σύστημα, η προκαθορισμένη αποστολή, οι αποτυχίες, το χρονικό διάστημα και η σωστή λειτουργία καθώς και το περιβάλλον λειτουργίας.

1.1.1. Ιστορική εξέλιξη της αξιοπιστίας

Τα λεξικά και οι εγκυκλοπαίδειες έχουν διάφορες ερμηνείες της λέξης **αξιοπιστία (reliability)**, τοποθετώντας την στην κατηγορία των αφηρημένων εννοιών, όπως ποιότητα, καλοσύνη, ειλικρίνεια, σταθερότητα, εγκυρότητα και ελευθερία. Οι αφηρημένες όμως έννοιες μπορεί να σημαίνουν διαφορετικά πράγματα σε διαφορετικούς ανθρώπους και είναι επομένως πολύ δύσκολο να οριστούν επακριβώς και να έχουν γενική εφαρμογή. Αυτό που φαίνεται καλό σε ένα άτομο μπορεί να φαίνεται λιγότερο καλό ή κακό σε κάποιο άλλο. Επιπλέον, οι έννοιες που είναι δύσκολο να οριστούν γίνονται ακόμη πιο δύσκολο να μετρηθούν.

Όμως, στην μηχανική και στην στατιστική, η αξιοπιστία έχει μια σαφή έννοια. Όχι μόνο μπορεί να οριστεί ακριβώς, όπως γίνεται στην παράγραφο 1.2, αλλά μπορεί επίσης να υπολογιστεί, να εκτιμηθεί αντικειμενικά, να μετρηθεί, να δοκιμαστεί και ακόμη να σχεδιαστεί. Έτσι, η αξιοπιστία παύει να είναι μια αφηρημένη έννοια. Αντιθέτως, εκφράζει με τον πιο σαφή τρόπο μία πραγματικότητα, και κατατάσσεται στο ίδιο επίπεδο με την απόδοση ή/και

την ποιότητα ενός εξαρτήματος ή συστήματος και συχνά είναι ακόμη πιο σημαντική από αυτές.

Από την αρχή της βιομηχανικής εποχής, τα προβλήματα της αξιοπιστίας έπρεπε να αναλυθούν και γενικά να μελετηθούν. Ένα κλασσικό παράδειγμα είναι τα **ρουλεμάν (ball and roller bearings)**, όπου έχουν γίνει εκτεταμένες μελέτες των χαρακτηριστικών της ζωής τους από τις πρώτες μέρες της μεταφοράς με σιδηρόδρομο. Αρχικά, η μελέτη της αξιοπιστίας αφορούσε μηχανολογικά συστήματα. Όμως με την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού σημαντική προσπάθεια έγινε για να καταστεί αξιόπιστη η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης με την ανάπτυξη και εξάπλωση των αεροσκαφών άρχισαν και ανάλογοι προβληματισμοί και η ανάγκη επίλυσης προβλημάτων αξιοπιστίας που σχετίζονται όχι μόνο με τον εξοπλισμό που μεταφέρεται δι' αέρος, αλλά και με τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν τα αεροπλάνα σαν μέσα μεταφοράς. Αυτά δε τα προβλήματα ήταν πολύ πιο δύσκολο να αντιμετωπισθούν και επιλυθούν από ότι αυτά της αξιοπιστίας σταθερού εξοπλισμού ή εξοπλισμού που μεταφέρεται χερσαία ή θαλάσσια. Αλλά αξιοσημείωτη πρόοδος έγινε και σ' αυτόν τον τομέα, κυρίως εξαιτίας της εξέλιξης στον σχεδιασμό των αεροσκαφών των τελευταίων δεκαετιών και της ευφυούς προσέγγισης των σχετικών προβλημάτων. Εύκολα κανείς διαπιστώνει, με τις πιο πάνω αναφορές στην αξιοπιστία, ότι αυτό που ο σημερινός άνθρωπος ακούει, αντιλαμβάνεται και κατανοεί σαν ποιότητα προϊόντος ή παροχή υπηρεσίας έχει σε μεγάλο βαθμό να κάνει με το επίπεδο αξιοπιστίας του προϊόντος ή της υπηρεσίας. Δηλαδή όσο πιο αξιόπιστο είναι ένα προϊόν, ή μία υπηρεσία τόσο πιο ποιοτικό θεωρείται και αυτό αποτελεί αντικείμενο προβολής από τα δίκτυα προώθησης του προϊόντος ή της υπηρεσίας.

Η αξιοπιστία εισήλθε σε μια νέα εποχή με την εξάπλωση της ηλεκτρονικής, των αεριοθούμενων αεροσκαφών που πετούν σε ηχητικές και υπερηχητικές ταχύτητες, των πυραύλων και των διαστημικών οχημάτων. Ορισμένα αξιόπιστα προϊόντα παράγονται από ομάδες ανάπτυξης και παραγωγής που καθημερινά εφαρμό-

ζουν τις παραδοσιακές αρχές της προσήλωσης στην εμπειρία και την τήρηση υψηλής ποιότητας. Αυτοί δεν βλέπουν την ανάγκη για μία νέα ειδικότητα που θα ασχοληθεί αποκλειστικά με την αξιοπιστία. Στην σημερινή εποχή όμως υπάρχουν πολλές πιέσεις που αμφισβητούν την αποτελεσματικότητα των παραδοσιακών αρχών. Ανταγωνισμός, σύντομοι χρόνοι παράδοσης, νέα υλικά, μείωση κόστους, απαιτήσεις ασφάλειας, κλπ., τείνουν να αυξάνουν τον **κίνδυνο (risk)** κατά την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος ή συστήματος. Η **επιστήμη – τεχνική της αξιοπιστίας (reliability engineering)** έχει εξελιχθεί (αναπτυχθεί) σαν απάντηση στην ανάγκη για μείωση ή για περιορισμό των κινδύνων αυτών.

Για να το πούμε απλά, αξιοπιστία είναι η ικανότητα ενός εξοπλισμού να μην χαλάσει όταν είναι σε λειτουργία (ο ακριβής ορισμός της αξιοπιστίας δίνεται στην παράγραφο 1.2). Ένα εξάρτημα ή σύστημα¹ λέγεται ότι είναι αξιόπιστο όταν δουλεύει καλά και αυτό συμβαίνει οποτεδήποτε καλείται να φέρει σε πέρας τη δουλειά για την οποία σχεδιάστηκε να εκτελεί. Η ικανοποιητική απόδοση χωρίς αποτυχίες (αστοχίες ή βλάβες) όταν είναι σε χρήση και η ετοιμότητα να αποδώσει, να ανταποκριθεί με επιτυχία στην αποστολή του, στον επιθυμητό χρόνο είναι τα κριτήρια αξιοπιστίας ενός εξαρτήματος. Το εξάρτημα μπορεί να είναι μια απλή συσκευή, όπως ένας διακόπτης, μία δίοδος ή μια σύνδεση, ή μπορεί να είναι ένα πολύ πολύπλοκο σύστημα, όπως ένα κομπιούτερ, ένα ραντάρ, ένα αεροσκάφος, ένας πύραυλος ή οποιοδήποτε από τα υποσυστήματά τους. Η αξιοπιστία ενός πολύπλοκου συστήματος εξαρτάται από την αξιοπιστία των επιμέρους μερών του. Υπάρχει μια πολύ ακριβής μαθηματική σχέση μεταξύ της αξιοπιστίας των εξαρτημάτων και της αντίστοιχης αξιοπιστίας του πολύπλοκου

1 Στην βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετοί και συχνά διαφορετικοί ορισμοί των όρων εξάρτημα, σύστημα κλπ. Έτσι για παράδειγμα εξάρτημα μπορεί να είναι ένα έμβολο, ένα υποσυγκρότημα (subassembly) όπως ο κινητήρας του αυτοκινήτου, ένα συγκρότημα (assembly) όπως το σύστημα κίνησης δηλαδή ο κινητήρας, το κιβώτιο ταχυτήτων και οι άξονες μετάδοσης κίνησης και ένα ολοκληρωμένο σύστημα όπως ένα αυτοκίνητο.

συστήματος, η οποία εξετάζεται σε επόμενο κεφάλαιο. Όσο πιο αξιόπιστα είναι τα εξαρτήματα ενός συστήματος τόσο πιο αξιόπιστο είναι το σύστημα αν και συνήθως η αξιοπιστία του όλου συστήματος είναι μικρότερη από την αξιοπιστία των επιμέρους εξαρτημάτων του.

1.1.2. Αποτυχίες

Ιστορικά η αξιοπιστία συνδέεται άμεσα με την έννοια της αποτυχίας. Ειδικότερα ένα καλά σχεδιασμένο, σωστά κατασκευασμένο, επιτυχώς δοκιμασμένο και καλά συντηρημένο εξάρτημα θα έλεγε κανείς ότι δεν θα έπρεπε ποτέ να αποτύχει στην λειτουργία του. Όμως η εμπειρία δείχνει ότι ακόμη και ο καλύτερος δυνατός σχεδιασμός, η καλύτερη δυνατή κατασκευή και οι προσπάθειες σωστής συντήρησης, αν και μπορεί να ελαχιστοποιήσουν, δεν μπορούν να απομακρύνουν εντελώς την εμφάνιση αποτυχιών. Έτσι συνήθως εμφανίζονται χαρακτηριστικοί τύποι αποτυχιών, εξαιρουμένων των βλαβών που προκλήθηκαν από απρόσεκτο χειρισμό, αποθήκευση ή ακατάλληλη λειτουργία από τους χρήστες.

Πρώτος τύπος **αποτυχιών (αστοχιών ή βλαβών)** είναι αυτές που συμβαίνουν νωρίς στην ζωή ενός εξαρτήματος. Ονομάζονται **πρώιμες (ή πρόωρες) αποτυχίες** και στις περισσότερες περιπτώσεις απορρέουν από “μη σωστή” κατασκευή και ανεπάρκεια διαδικασιών ελέγχου ποιότητας κατά την διάρκεια της παραγωγής. Οι πρώιμες αποτυχίες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την χρήση μιας διαδικασίας **εκσφαλμάτωσης (debugging)** ή **πρώιμης ελεγχμένης δοκιμασίας (burn-in)**. Η διαδικασία διόρθωσης λαθών προκύπτει από την λειτουργία ενός εξαρτήματος ή ενός συστήματος για έναν αριθμό ωρών κάτω από συνθήκες που εξομοιώνουν την πραγματική χρήση (π.χ. ένα αυτοκίνητο διανύει ένα ορισμένο αριθμό χιλιομέτρων πριν παραδοθεί στον αγοραστή)

Ένας δεύτερος τύπος αποτυχιών προκαλούνται από την χρήση του εξαρτήματος. Οι αποτυχίες αυτές, που ονομάζονται και **αποτυ-**

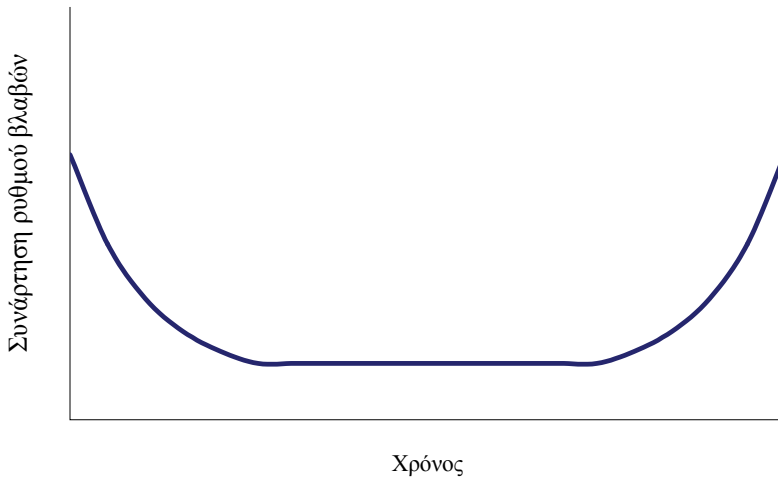
χίες φθοράς, είναι συμπτώματα της γήρανσης του εξαρτήματος. Η ηλικία στην οποία συμβαίνει η φθορά διαφέρει ευρέως από εξάρτημα σε εξάρτημα, και κατατάσσεται από λίγα λεπτά μέχρι πολλά χρόνια. Αυτές συμβαίνουν νωρίτερα σε ένα εξάρτημα που δεν είναι καλά ή και καθόλου συντηρημένο. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι αποτυχίες μπορούν να προβλεφθούν και προληφθούν. Για παράδειγμα, σε λειτουργούντα συστήματα μια μέθοδος είναι να αντικατασταθούν σε τακτά χρονικά διαστήματα τα εξαρτήματα τα οποία είναι γνωστό ότι υπόκεινται σε φθορά και να κάνουν τα διαστήματα αντικατάστασης μικρότερα από την μέση ζωή φθοράς των εξαρτημάτων. Επίσης, όταν τα εξαρτήματα δεν είναι προσιτά σχεδιάζονται για μεγαλύτερη ζωή από την προβλεπόμενη ζωή του συστήματος. Αυτή η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιείται επίσης στα **συστήματα μιας χρήσης (one shot)** όπως οι πύραυλοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται μόνο μία φορά στην ζωή τους.

Μία Τρίτη κατηγορία αποτυχιών είναι οι λεγόμενες *τυχαίες αποτυχίες* (random failures) οι οποίες δεν μπορούν να μηδενιστούν ούτε με τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές διόρθωσης λαθών, ούτε με τις καλύτερες δυνατές πρακτικές συντήρησης. Αυτές οι αποτυχίες προκαλούνται από συσσώρευση φόρτισης πέρα από την αντοχή του εξαρτήματος όπως αυτό σχεδιάστηκε. Οι τυχαίες αποτυχίες είναι απροσδόκητες και συμβαίνουν σε χρονικά διαστήματα ακανόνιστα και απροσδόκητα και η πρόβλεψη τους είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Παρόλα αυτά, υπακούουν ορισμένους κανόνες συγκεντρωτικής συμπεριφοράς έτσι ώστε η συχνότητα εμφάνισής τους κατά τη διάρκεια μακρών περιόδων να είναι σχεδόν σταθερή. Αν και δεν είναι εύκολο να αντιμετωπίσουμε τις τυχαίες αποτυχίες, εντούτοις έχουν αναπτυχθεί τεχνικές αξιοπιστίας οι οποίες μπορούν να ελαττώσουν την πιθανότητα της εμφάνισής τους και επομένως να ελαχιστοποιήσουν τον αριθμό τους μέσα σ' ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, ή ακόμη και να ελαχιστοποιήσουν κατά το δυνατόν τις βλάβες ενός εξαρτήματος ή ενός συστήματος που απορρέουν από τυχαίες αποτυχίες των εξαρτημάτων τους.

Η καμπύλη στην οποία παρουσιάζονται οι πρόωρες αποτυχίες, οι αποτυχίες φθοράς και οι τυχαίες αποτυχίες και όπου συσχετίζονται με το ρυθμό βλαβών/αποτυχιών των εξαρτημάτων ή συστημάτων είναι η *καμπύλη μπανιέρας* και δίνεται στο σχήμα 1.1.

Η θεωρία και πρακτική της αξιοπιστίας διαφέρουν από τύπο σε τύπο αποτυχίας και καθένας από αυτούς τους τύπους των αποτυχιών ακολουθεί τη δική του στατιστική κατανομή και επομένως παρουσιάζει διαφορετική μαθηματική συμπεριφορά και διαφορετικές μεθόδους ελαχιστοποίησής τους.

Εάν η λειτουργία χωρίς αποτυχίες ενός συγκεκριμένου συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την διατήρηση των ανθρωπίνων ζώων, για την εθνική άμυνα και για την βιομηχανία, τότε αυτά τα συστήματα πρέπει να έχουν τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία. Σε τέτοια συστήματα, οι πρόωρες αποτυχίες πρέπει να ελαχιστοποιηθούν με εξονυχιστικό και παρατεταμένο έλεγχο και εκτεταμένες δοκιμές, προτού τεθούν σε λειτουργία. Οι αποτυχίες φθοράς θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν με σωστά προγραμματισμένες πρακτικές πρόβλεψης. Έτσι, εάν οι αποτυχίες εξακολουθούν να συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής του συστήματος, τότε σχεδόν σίγουρα πρόκειται για τυχαίες αποτυχίες. Επομένως, όταν τέτοια συστήματα βρίσκονται σε χρήση, η απόδοσή τους καθορίζεται από την συχνότητα της εμφάνισης των τυχαίων αποτυχιών.



Σχήμα 1.1: Καμπύλη μορφής λεκάνης

Η πρακτική εφαρμογή της επιστήμης της αξιοπιστίας ασχολείται με την ελαχιστοποίηση των πρόωρων αποτυχιών παρατηρώντας τις κατανομές τους και καθορίζοντας σύμφωνα με αυτές το εύρος της απαραίτητης περιόδου και των τεχνικών ελαχιστοποίησης πρόωρων αποτυχιών που πρέπει να ακολουθηθούν. Ασχολείται επίσης, με την πρόβλεψη των αποτυχιών φθοράς παρατηρώντας την στατιστική κατανομή της φθοράς και καθορίζοντας τις περιόδους προληπτικής συντήρησης ή/και αντικατάστασης για τα διάφορα εξαρτήματα ή την σχεδιασμένη ζωή τους. Επικεντρώνεται στις τυχαίες αποτυχίες και την πρόβλεψή τους, την μείωσή τους ή την συνολική εξάλειψή τους, γιατί το φαινόμενο των τυχαίων αποτυχιών είναι αυτό το οποίο επηρεάζει περισσότερο ανεπιθύμητα την αξιοπιστία των συστημάτων στην κυρίως χρονική περίοδο λειτουργίας των, αφού τα συστήματα έχουν επιδιορθωθεί και προτού τα εξαρτήματα αρχίσουν να φθείρονται.

Είναι γνωστό από την στατιστική ότι υπάρχουν ακριβείς μέθοδοι υπολογισμού της κατανομής του χρόνου εμφάνισης των γεγονότων, τα οποία ακολουθούν διαφορετικά είδη στατιστικών κατανομών, και κατ'έκταση της πιθανότητας της εμφάνισης αυτών

των γεγονότων. Στην αξιοπιστία μας ενδιαφέρουν τα γεγονότα που συμβαίνουν στον χρόνο. Για παράδειγμα, οι αποτυχίες φθοράς συνήθως συγκεντρώνονται γύρω από την μέση ζωή φθοράς των εξαρτημάτων. Αν είναι γνωστή η κατανομή τους, η πιθανότητα της εμφάνισης αποτυχίας φθοράς σε οποιαδήποτε ηλικία λειτουργίας του εξαρτήματος μπορεί να υπολογιστεί μαθηματικά. Το ίδιο σχεδόν ισχύει για τις πρόωρες αποτυχίες και τις τυχαίες αποτυχίες. Όμως, οι πρόωρες και οι τυχαίες αποτυχίες δεν συγκεντρώνονται γύρω από την μέση ζωή αλλά συμβαίνουν σε τυχαία διαστήματα. Αυτές επομένως ανήκουν στην κατηγορία των τυχαίων γεγονότων ή στοχαστικών διαδικασιών και έχουν δικιά τους χαρακτηριστική κατανομή, η οποία διαφέρει από τις αποτυχίες φθοράς.

1.2: Ορισμός της αξιοπιστίας

Υπάρχει η πεποίθηση ότι ένα αξιόπιστο προϊόν είναι «καλό» και ένα μη αξιόπιστο είναι «κακό». Μια τέτοια θεώρηση δεν μπορεί να υποστηριχθεί σαν επιστημονική αν και πολλές φορές μπορεί να «δικαιολογηθεί» σε συνθήκες πώλησης και διαφήμισης των προϊόντων. Για να αποσαφηνιστεί λοιπόν το τι είναι και τι κάνει η επιστήμη της αξιοπιστίας χρειάζεται κατ' αρχήν να δοθεί, αναλυθεί και κατανοηθεί ο ακριβής ορισμός της.

Πολύ γενικοί ορισμοί της αξιοπιστίας έχουν δοθεί κατά καιρούς, οι οποίοι καλύπτουν όλους τους τύπους των εξαρτημάτων και των ειδικών συνθηκών λειτουργίας των. Οι περισσότεροι από αυτούς χρησιμοποιούν παρόμοιες λέξεις και ουσιαστικά εννοούν το ίδιο πράγμα, συμπεριλαμβανομένων και μιας σειράς standards για την αξιοπιστία, από το British Standards Institution (BSI), όπως τα BS4778 και BS5760. Έτσι για τις ανάγκες αυτού του μαθήματος προτείνεται ο παρακάτω ορισμός της αξιοπιστίας σαν ο πλέον κατάλληλος.

Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ένα εξάρτημα, μία συσκευή ή ένα σύστημα να πραγματοποιήσει την προκαθορισμένη αποστολή του, χωρίς αποτυχίες, για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, όταν αυτό λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές σ' ένα καθορισμένο περιβάλλον.

Οι βασικές συνιστώσες του ορισμού της αξιοπιστίας είναι οι πιθανότητες, το εξάρτημα-συσκευή-σύστημα, η προκαθορισμένη αποστολή, οι αποτυχίες, το χρονικό διάστημα, η σωστή λειτουργία και το περιβάλλον λειτουργίας. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε κάθε μία από αυτές τις συνιστώσες έννοιες.

1.2.1. Πιθανότητες

Ο όρος *πιθανότητα* γίνεται συχνά αποδεκτός με σκεπτικισμό, γιατί εύλογα κάποιος μπορεί να αναρωτιέται πόσο ακριβείς είναι ή μπορούν να είναι οι υπολογισμοί με τις πιθανότητες. Μπορούν να δώσουν απαντήσεις, οι οποίες να είναι κοντά στην πραγματικότητα; Πόσο κυρίαρχο ρόλο στην κατανόηση των εννοιών και των τεχνικών της αξιοπιστίας παίζουν οι πιθανότητες; Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα απαιτεί μία πιο αναλυτική παρουσίαση και για τον λόγο αυτό και κυρίως όμως για λόγους πληρότητας του βιβλίου κρίθηκε σκόπιμο οι βασικές έννοιες της θεωρίας των πιθανοτήτων να παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 2).

1.2.2. Εξάρτημα, συσκευή, σύστημα

Εξάρτημα είναι το μικρότερο μέρος ενός συστήματος το οποίο συνήθως αντικαθίσταται από ένα καινούριο εάν χαλάσει. Τυπικά εξαρτήματα θα μπορούσαν να είναι ελατήρια, βίδες, κλπ. Αντίθετα, μια συσκευή θα μπορούσε να αποτελείται από δύο ή περισσότερα εξαρτήματα όπως αντλίες, συμπιεστές, κιβώτια ταχυτήτων.

Τέλος, ένα σύστημα περιλαμβάνει πολλές συσκευές όπως αεροπλάνα, αυτοκίνητα, εργοστάσια, κλπ.

Η μαθηματική θεώρηση της αξιοπιστίας μπορεί να είναι διαφορετική για εξαρτήματα, συσκευές και συστήματα και γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνεται ακριβής προσδιορισμός τους όταν εξετάζονται.

1.2.3. Προκαθορισμένη αποστολή

Είναι γενικώς παραδεκτό ότι όσο υψηλότερη φόρτιση ασκείται πάνω σ' ένα εξάρτημα, μία συσκευή ή ένα σύστημα τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να υποστεί βλάβη, δηλαδή να μην μπορέσει να φέρει σε πέρας την αποστολή του. Για παράδειγμα, ένα κοινό αυτοκίνητο το οποίο οδηγείται στο όριο των δυνατοτήτων του είναι πιθανό να χαλάσει πιο γρήγορα από ένα άλλο που οδηγείται συντηρητικά.

Εάν για παράδειγμα ένα αυτοκίνητο έχει σχεδιασθεί και κατασκευαστεί για να εξυπηρετεί μετακινήσεις εντός πόλεων αλλά τελικά χρησιμοποιείται συνεχώς για μετακινήσεις μεγάλων αποστάσεων και για μεταφορά αυξημένου βάρους, τότε η πιθανότητα να αποτύχει αυξάνει πάρα πολύ, γιατί για άλλη αποστολή σχεδιάστηκε και άλλη τελικά εκτελεί.

1.2.4. Αποτυχίες και ρυθμός αποτυχιών

Για τη μελέτη της αξιοπιστίας σε τεχνολογικά συστήματα είναι σκόπιμο να διακρίνουμε μεταξύ των εννοιών της μηχανικής και της ηλεκτρονικής αξιοπιστίας. Ειδικότερα η παράμετρος που συνήθως διαχωρίζει την έννοια της μηχανικής και της ηλεκτρονικής αξιοπιστίας έγκειται στον ορισμό της ανικανότητας ενός μηχανήματος να επιτελέσει την αποστολή του. Έτσι, ενώ σ' ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα το να χαλάσει ένα κύκλωμα σημαίνει διακοπή λειτουργίας (βλάβη ή αποτυχία ή αστοχία), σ' ένα μηχανικό

εξάρτημα το να χαλάσει κάτι δεν σημαίνει απαραίτητα και βλάβη, π.χ. μία βαλβίδα μπορεί να μένει σε λειτουργία παρότι παρουσιάζει διαρροές. Η ερώτηση του τι πράγματι είναι αδυναμία ενός εξαρτήματος ή μίας συσκευής να επιτελέσει την αποστολή του είναι το σημαντικότερο σημείο το οποίο θα πρέπει να καθοριστεί και να αποτελέσει αντικείμενο έρευνας των συνεπειών της αποτυχίας.

Ας πάρουμε για παράδειγμα μια βαλβίδα που παρουσιάζει διαρροή νερού. Αν αυτή η διαρροή είναι μικρή τότε μπορούμε να μην την θεωρήσουμε ως βλάβη. Αν όμως είναι πολύ μεγάλη τότε κατατάσσεται στις βλάβες. Σε περίπτωση που υπάρχει διαρροή ενός τοξικού, δηλητηριώδους ή εύφλεκτου προϊόντος τότε και η παραμικρή διαρροή απαιτεί άμεση επέμβαση πράγμα που την κατατάσσει αυτόματα στην κατηγορία των βλαβών. Για να βελτιώσουμε την κατάσταση των αποτυχιών αποτελεί κοινή πρακτική ο συσχετισμός τους με τις διάφορες μορφές βλαβών: **τύπος (mode), αιτία (cause), αιτιατό (effect)**.

Ο τύπος βλαβών είναι αυτός με τον οποίο ένα εξάρτημα ή συσκευή εμφανίζει αυτή τη βλάβη. Δείχνει επίσης πως γίνεται αντιληπτή μία βλάβη, μία αστοχία, μία αποτυχία. Παραδείγματα τύπου βλαβών είναι η διαρροή, η οξείδωση, η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια, η στρέβλωση, το σπάσιμο, το λιώσιμο, η κακή λειτουργία, η διακοπή λειτουργίας κλπ. Έτσι ειδικότερα οι τύποι βλαβών μια βαλβίδας θα μπορούσαν να είναι:

- Εσωτερική διαρροή. Αν και είναι κλειστή υπάρχει διαρροή.
- Εξωτερική διαρροή – Ανοικτή και κλειστή θέση.
- Μπορεί να κλείσει.
- Μπορεί να ανοίξει.
- Ανωμαλίες στη λειτουργία.

Οι αιτίες που προκαλούν διάφορες τέτοιες βλάβες μπορούν να εξεταστούν σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομερειών. Π.χ. μία γενική ανάλυση μπορεί να υποθέσει ότι ένα λάθος υλικό, μία επικάλυψη, μία λάθος συναρμολόγηση οδήγησε σε βλάβη. Ενώ μια πιο λεπτομερής ανάλυση μπορεί να δείξει ότι σκουριά, δόνηση, κόπωση, βραχυκύκλωμα, φορτίο, λάθος χειρισμός αποτέλεσαν τα αίτια της βλάβης. Τα αίτια των βλαβών αντιμετωπίζονται πάντα με την επιλογή των διορθωτικών και των προληπτικών ενεργειών που θα εφαρμοσθούν. Όσο δε μεγαλύτερη προσπάθεια καταβάλλεται στον εντοπισμό των πραγματικών αιτιών τόσο μεγαλύτερη επιτυχία θα έχει η προσπάθεια για μείωση των βλαβών

Για να χαρακτηριστεί τέλος ένα συμβάν ως βλάβη θα πρέπει οι επιπτώσεις του να εμποδίζουν το εξάρτημα ή τη συσκευή να ολοκληρώσει την προκαθορισμένη αποστολή του.

Η εμφάνιση, ή αλλιώς ο αριθμός, των αποτυχιών-βλαβών μπορεί να μεταβάλλεται με τρεις βασικούς τρόπους (τύποι αποτυχιών, παράγραφος 1.1.2) συναρτήσει του χρόνου, κι αυτό εκφράζεται βάσει του ρυθμού αποτυχιών: μπορεί να μειώνονται, να αυξάνονται ή να παραμένουν σταθερές. Η γνώση του ρυθμού των αποτυχιών και η ικανότητα ερμηνείας του αποτελούν ισχυρά εργαλεία κατανόησης των αιτιών εμφάνισής τους, αλλά και της αξιοπιστίας του στοιχείου.

Ένας σταθερός ρυθμός αποτυχιών προκύπτει συνήθως όταν η φόρτιση υπερβαίνει την αντοχή του στοιχείου κατά ένα σταθερό ποσοστό (διαγράμματα αλληλοεπικαλύψεων, παράγραφος 3.10) . Τέτοιες περιπτώσεις συναντώνται σε τυχαίες ή περιοδικές υπερφορτίσεις ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ή πλημμελή συντήρηση μηχανικών εξαρτημάτων.

Ο ρυθμός αποτυχιών είναι φθίνουσα συνάρτηση, όταν η πιθανότητα εμφάνισης αποτυχιών-βλαβών μειώνεται με το χρόνο. Αυτό είναι ένα σύνηθες φαινόμενο σε ηλεκτρονικά στοιχεία. Για το λόγο αυτό τα στοιχεία φορτίζονται στο όριο αντοχής τους, ή και πέρα από αυτό, επί κάποιο χρόνο πριν παραδοθούν στον πελάτη. Έτσι, θα εμφανίσουν τυχόντα ελαττώματα έγκαιρα, και εφόσον

επιβιώσουν αυτής της κατάστασης η αναμενόμενη αξιοπιστία τους θεωρείται υψηλή. Οι αυξητικές τάσεις του ρυθμού αποτυχιών θεωρούνται φυσιολογικές σε μηχανικά εξαρτήματα πέρα από κάποια χρονική διάρκεια, αποτελούν δε ένδειξη φθοράς και γήρανσης των εξαρτημάτων. **Αν και η μέθοδος υπολογισμού της συνάρτησης ρυθμού αποτυχιών αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο**, κρίθηκε απαραίτητο να ορισθεί η συνάρτηση που περιγράφει το ρυθμό αποτυχιών. Ο λόγος δε που αναφερθήκαμε στη συνάρτηση του ρυθμού βλαβών είναι ότι περιγράφει το προφίλ της καμπύλης του *Σχήματος 1.1* που είναι γνωστή σαν καμπύλη **μορφής λεκάνης ή μπανιέρας (Bath-tub)**, αναφορές στην οποία έχουν ήδη γίνει προηγούμενα σε αυτό το κεφάλαιο. Έτσι:

Η συνάρτηση ρυθμού αποτυχιών είναι η οριακή πιθανότητα να αποτύχει ένα εξάρτημα σε ένα επόμενο χρονικό διάστημα δεδομένου ότι δεν έχει αποτύχει μέχρι την αρχή αυτού του διαστήματος όταν το πλάτος του εν λόγω διαστήματος τείνει στο μηδέν.

Ειδικότερα έστω ότι στον χρόνο t ορίσουμε:

$h(t)$: η συνάρτηση του ρυθμού αποτυχιών

$f(t)$: η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αποτυχιών

$F(t)$: η αθροιστική συνάρτηση κατανομής των αποτυχιών

$R(t)$: η αθροιστική συνάρτηση κατανομής των επιτυχιών (αξιοπιστία)

Τότε η συνάρτηση ρυθμού αποτυχιών όπως αναλυτικά θα δειχθεί σε επόμενο κεφάλαιο είναι:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

$$\Leftrightarrow h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.1)$$

Όσον αφορά την καμπύλη μορφής λεκάνης ή μπανιέρας (Bath-tub) του διαγράμματος 1.1 οι τρεις περιοχές μελέτης της είναι:

- Περιοχή 1: Σ' αυτή την περιοχή η συνάρτηση $h(t)$ παίρνει αρχικά μεγάλες τιμές οι οποίες προς το τέλος της περιοχής φθίνουν. Τούτο οφείλεται στο ότι πάντοτε υπάρχουν εξαρτήματα ή συσκευές με ατέλειες συναρμολόγησης. Αυτές οι μονάδες θα πάθουν βλάβη μόλις τεθούν σε λειτουργία. Η φάση αυτή είναι γνωστή σαν «**παιδική θνησιμότητα**» (**infant mortality phase**).
- Περιοχή 2: Σ' αυτή τη φάση που ονομάζεται και φάση κανονικής λειτουργίας οι βλάβες των εξαρτημάτων συμβαίνουν με σταθερό ή σχεδόν σταθερό ρυθμό και αυτό εξαιτίας ενός τυχαίου γεγονότος όπως π.χ. το «πέσιμο και σπάσιμο ενός πιάτου». Η φάση αυτή είναι γνωστή σαν «**κανονική ζωή**» (**normal life phase**).
- Περιοχή 3: Η συνάρτηση $h(t)$ αυξάνει λόγω του φαινομένου της φθοράς και κόπωσης των εξαρτημάτων και συσκευών. Γι' αυτό κι αυτή η φάση είναι γνωστή και σαν «**φάση φθοράς**» ή «**φάση γήρανσης**» (**wear out phase**).

Αν και η πιο πάνω περιγραφή είναι χρήσιμη, δεν πρέπει να λαμβάνεται και σαν αλάνθαστος οδηγός. Κι αυτό γιατί όλες οι μονάδες δεν παθαίνουν βλάβες με ρυθμούς που εκφράζονται από την παραπάνω καμπύλη. Μία δε τέτοια καμπύλη είναι η «υπογραφή ζωής» του εξαρτήματος και καθορίζει την τάση να επιζήσει το συγκεκριμένο εξάρτημα σε καθορισμένες περιστάσεις.

1.2.5. Χρονικός ορίζοντας

Η έννοια του χρόνου στην αξιοπιστία ποικίλει πολύ από περίπτωση σε περίπτωση. Η μέτρηση του χρόνου στην αξιοπιστία γίνεται ασφαλώς και με τις **παραδοσιακές μονάδες μέτρησης χρόνου** όπως λεπτά (minutes), ώρες, μήνες, χρόνια κλπ. Μερικές ό-

μως φορές ο **αριθμός των κύκλων λειτουργίας** ενός εξαρτήματος αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα που επηρεάζει την αξιοπιστία του, έτσι ώστε η μέτρηση όλων αυτών των **on-off λειτουργιών** να αποτελεί την μονάδα μέτρησης χρόνου. Σε άλλες περιπτώσεις ο αριθμός των **πραγματοποιηθέντων αποστολών** είναι η μονάδα χρόνου (πτήσεις αεροσκαφών) ενώ σε άλλες η **μεταφερομένη ποσότητα υλικού** (κυβικά μέτρα υγρού ή αερίου προϊόντος σε δίκτυα σωληνώσεων χημικών βιομηχανιών). Είναι ενδιαφέρον επίσης ότι πολλές φορές μετράται ο **χρόνος λειτουργίας** ή ο **χρόνος αναμονής και λειτουργίας** (περιπτώσεις μηχανών που βρίσκονται σε εφεδρεία όπως ένας κινητήρας ενός αεροσκάφους). Τέλος στην περίπτωση κινούμενων συσκευών, μηχανών (αυτοκίνητα), το **καλυπτόμενο διάστημα** (μέτρα, χιλιόμετρα) είναι η ενδεικνυόμενη μέτρηση του "χρόνου" στην αξιοπιστία.

1.2.6. Σωστή λειτουργία

Είναι φανερό ότι η λάθος ή βίαιη χρήση μιας μηχανής ή ενός εξαρτήματος επηρεάζουν την αξιοπιστία του. Είναι λοιπόν απαραίτητο τόσο ο σχεδιαστής όσο και ο μηχανικός παραγωγής να καθορίσουν τα όρια μέσα στα οποία το κάθε εξάρτημα θα πρέπει να χρησιμοποιείται και να λειτουργεί. Αυτό απαιτεί τόσο την πολύ καλή κατανόηση των αναγκών αλλά των ικανοτήτων των πελατών, όσο και τον καθορισμό υψηλών προδιαγραφών στον σχεδιασμό των βιβλίων οδηγιών (manuals) λειτουργίας και συντήρησης του κάθε εξαρτήματος ή της κάθε συσκευής.

Είναι επίσης λάθος να χρησιμοποιούνται εξαρτήματα και μηχανήματα υψηλής τεχνολογίας όταν δεν υπάρχει ικανό προσωπικό να χειριστεί αυτά τα μηχανήματα ή έστω όταν δεν υπάρχει πρόβλεψη για την επιμόρφωση των χειριστών και των συντηρητών στη χρήση και συντήρηση αντίστοιχα αυτών των μηχανημάτων.

1.2.7. Καθορισμένο περιβάλλον

Όταν ένα εξάρτημα, μια συσκευή καλείται να λειτουργήσει εκτός των ορίων ενός καθορισμένου περιβάλλοντος (για παράδειγμα ένας κανονικός ηλεκτρονικός υπολογιστής που είναι τοποθετημένος σε μία τέτοια θέση όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να ξεπεράσει τους 50-60 βαθμούς Κελσίου) ή όταν η φόρτιση ενός εξαρτήματος ή μιας συσκευής γίνεται μεγαλύτερη από την προκαθορισμένη κατά τον σχεδιασμό και παραγωγή τους, τότε η πιθανότητα να αποτύχουν (να πάθουν βλάβη) μεγαλώνει πάρα πολύ. Αν και για τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα συνήθως το περιβάλλον που λειτουργούν είναι ελεγχόμενο και καθορισμένο, τα μηχανικά εξαρτήματα συχνά καλούνται να αποδώσουν σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Ένα αυτοκίνητο για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών (π.χ. έρημος) είτε υπό συνθήκες ιδιαίτερα χαμηλών θερμοκρασιών (π.χ. πολικό ψύχος). Είναι λοιπόν θέμα του σχεδιαστή εκτός από όλες τις άλλες παραμέτρους να συνδυάσει και αυτές τις δύο ακραίες καταστάσεις και προφανώς ένας τέτοιος σχεδιασμός απαιτεί μία εμπεριστατωμένη έρευνα αγοράς και στενή συνεργασία με τους χρήστες του προϊόντος.