

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στην Οργάνωση και Διοίκηση  
Επιχειρήσεων (MBA)

Διεύθυνση: Δρ. Γ. Παναγιώτου

ΜΒΑΕΠΗ ΚΑΙ ΕΣΠΕΡΟΚΟΡΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ  
ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗ  
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Καθηγητής: Δρ. Αθανάσιος  
Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής και Διευθυντής  
Προγράμμου MBA

Πειραιάς, 2001

## ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Μελέτη της σημασίας του στατιστικού ελέγχου ποιότητας,  
παράθεση στοιχείων πιθανοθεωρίας και στατιστικής,  
παρουσίαση βασικών εργαλείων ανάλυσης και εφαρμογή  
στον στατιστικό έλεγχο ποιότητας που διενεργείται σε  
ελληνική εταιρεία που δραστηριοποιείται στον κλάδο  
χυμών – αναψυκτικών

ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ

Δίπλωμα Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού  
Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου

Υποβληθείσα Εργασία για το Μεταπτυχιακό Δίπλωμα στην  
Οργάνωση και Διοίκηση Επιχειρήσεων

Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων

Πανεπιστημίου Πειραιώς

2007



00154466

# ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Γεωργόπουλος Λεωνίδας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο σύγχρονο και έντονα ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις οφείλουν να αναγνωρίσουν την ποιότητα σαν μια πολύπλευρη έννοια που ενσωματώνει τις διαστάσεις της. Η διαχείριση της ποιότητας αποτελεί κριτικό κομμάτι του στρατηγικού μανάτζμεντ μιας εταιρείας και ενδέχεται να οδηγήσει μια επιχείρηση σε απόκτηση ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες επιτυχίας στον τομέα της ποιότητας είναι η κατανόηση και αποτελεσματική χρησιμοποίηση του στατιστικού ελέγχου με τη βοήθεια βασικών εργαλείων που οδηγούν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή διαχείριση στατιστικών εργαλείων και μεθόδων αποτελεί η πλήρης κατανόηση βασικών εννοιών που σχετίζονται με τη θεωρία των πιθανοτήτων και της στατιστικής. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται μέσω του στατιστικού ελέγχου, από τα πιο απλουστευμένα έως τα περισσότερο σύνθετα, εξαρτώνται από το είδος και την ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποιούνται.

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελεί η κατανόηση των βασικών διαστάσεων της έννοιας της ποιότητας, η απόκτηση απαραίτητου εννοιολογικού υποβάθρου για την κατανόηση εννοιών πιθανοθεωρίας και στατιστικής και η παρουσίαση στατιστικών εργαλείων και μεθόδων διαχείρισης και κατάκτησης της ποιότητας. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στατιστικά εργαλεία ποιότητας που παραθέτονται είναι το ιστόγραμμα, το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος, η ανάλυση Pareto, το φύλλο ελέγχου, το διάγραμμα ροής, το διάγραμμα διασποράς ή νέφους σημείων και το διάγραμμα ελέγχου.

Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας επιχειρείται η εφαρμογή χρησιμοποίησης στατιστικών εργαλείων και μεθόδων στη μελέτη στατιστικού ελέγχου ποιότητας που διενεργείται σε ελληνική εταιρεία που αναπτύσσει δραστηριότητα στον κλάδο χυμών – αναψυκτικών. Μέσα από την ανάλυση, στόχος είναι η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα της επιχείρησης στη διαχείριση της ποιότητας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ	II
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Οι διαστάσεις της ποιότητας	3
1.3 Ιστορική αναδρομή	10
1.3.1 Προ-βιομηχανική περίοδος	10
1.3.2 Πέρασμα στην εφαρμογή του ελέγχου ποιότητας	15
1.3.3 Διοίκηση Ολικής Ποιότητας	24
1.4 Στατιστικός έλεγχος ποιότητας	27
1.5 Στατιστικός έλεγχος ποιότητας στις υπηρεσίες	31
1.6 Ανακεφαλαίωση	34
ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	37

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

2.1	Εισαγωγή	41
2.2	Βασικές ενέργειες εφαρμογής στατιστικών εργαλείων και τεχνικών	42
2.3	Ανάλυση Pareto	44
2.4	Ιστόγραμμα	53
2.5	Διάγραμμα αιτίου αποτελέσματος	61
2.6	Φύλλο ελέγχου	66
2.7	Διάγραμμα ροής	70
2.8	Διάγραμμα διασκόρπισης	77
2.9	Διαγράμματα Ελέγχου	81
2.9.1	Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών	86
2.9.2	Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων	98
2.9.3	Ερμηνεία διαγραμμάτων ελέγχου	101
2.10	Ανακεφαλαίωση	102
	ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ

3.1	Εισαγωγή	108
3.2	Ειδικές κατανομές πιθανότητας	110
3.2.1	Διακριτές κατανομές πιθανότητας	110
3.2.2	Συνεχείς κατανομές πιθανότητας	119
3.3	Διαστήματα εμπιστοσύνης	129
3.3.1	Διαστήματα εμπιστοσύνης μέσων	131
3.3.2	Διαστήματα εμπιστοσύνης διασπορών	135
3.3.3	Διαστήματα εμπιστοσύνης διακριτών πληθυσμών	136
3.4	Στατιστικός έλεγχος υποθέσεων	139
3.4.1	Έλεγχος υποθέσεων μέσωσ	142
3.4.2	Έλεγχος υποθέσεων διασπορών	147
3.4.3	Έλεγχος υποθέσεων μη συνεχών πληθυσμών	149
3.5	Ανακεφαλαίωση	152
	ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	154

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΧΥΜΩΝ – ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ

4.1	Εισαγωγή	157
4.2	Η εταιρεία	158
4.3	Προϊόν	160
4.4	Παραγωγική διαδικασία – Ποιοτικοί έλεγχοι	160
4.5	Στατιστικός έλεγχος ποιότητας στα βαρέλια αποθήκευσης πρώτης ύλης	162
4.6	Στατιστικός έλεγχος ποιοτικών χαρακτηριστικών	166
4.7	Στατιστικός έλεγχος ποσοτικών χαρακτηριστικών	171
4.7.1	Έλεγχος PH	171
4.7.2	Έλεγχος βάρους γεμίσματος	183
4.8	Σύνοψη – Συμπεράσματα	195
	ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	198
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	200
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	203



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Αγιακλόγλου, Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε, καθώς και για την άριστη και συνεχή επίβλεψη του μέχρι την αποπεράτωση της μελέτης αυτής.

## ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ

2.1	Παράδειγμα φύλλου ανάλυσης οφειλόμενων υποχρεώσεων	49
2.2	Παράδειγμα φύλλου ανάλυσης επιτοκίου οφειλόμενων υποχρεώσεων	51
2.3	Αριθμός σε γιάρδες (μονάδα μήκους ίση με 0,9144 μέτρα), όπου εκφράζει την αστοχία του όπλου για τις βολές πέρα (+) και πριν (-) από το στόχο	55
2.4	Φύλλο καταμέτρησης	56
2.5	Αριθμός δεδομένων για συγκεκριμένο αριθμό διαστημάτων	57
2.6	Απαρίθμηση του αριθμού των σημείων για κάθε διάστημα	58
2.7	Φύλλο ελέγχου για παραγωγή χρωστικού προϊόντος	69
2.8	Μετρήσεις υποομάδων και μέσος όρος αυτών	87
2.9	Μετρήσεις υποομάδων, μέσος όρος και εύρος αυτών	88
2.10	Τιμές συντελεστών για διαφορετικούς αριθμούς υποομάδων	90
3.1	Πιθανές αποφάσεις – σφάλματα	140
4.1	Αριθμός ελαττωματικών βαρελιών αποθήκευσης πρώτης ύλης	164
4.2	Αριθμός ελαττωματικών λόγω μηχανικής ζημιάς	167
4.3	Αριθμός ελαττωματικών λόγω ύπαρξης ξένων σωμάτων	169
4.4	Χωρισμός PH σε κλάσεις και συχνότητα εμφάνισης τιμών σε αυτές	172
4.5	Χωρισμός βάρους γεμίσματος σε κλάσεις και συχνότητα εμφάνισης τιμών σε αυτές	185

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Π.1	Τιμές PH από τα λαμβανόμενα δείγματα έξι ημερών	200
Π.2	Τιμές μέσης τιμής βάρους γεμίσματος σε κάθε ένα από τα λαμβανόμενα δείγματα έξι ημερών	201
Π.3	Τιμές τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος σε κάθε ένα από τα λαμβανόμενα δείγματα έξι ημερών	202

## ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

2.1	Παράδειγμα χάρτη Pareto για οφειλόμενες υποχρεώσεις	50
2.2	Παράδειγμα χάρτη Pareto για επιτόκιο οφειλόμενων υποχρεώσεων	51
2.3	Γραφική απεικόνιση δεδομένων, με πρόσθεση τίτλου και υπομνήματος	59
2.4	Διαφορετικές μορφές ιστογραμμάτων	61
2.5	Αρχική μορφή διαγράμματος αιτίου αποτελέσματος	64
2.6	Διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος	65
2.7	Βασικά σύμβολα κατασκευής διαγράμματος ροής	71
2.8	Διάγραμμα ροής λειτουργιών τμήματος ελέγχου πρώτων υλών	76
2.9	Διάγραμμα ροής κύκλου παραγγελίας, αποστολής και ελέγχου πρώτων υλών	76
2.10	Διάγραμμα διασκόρπισης του ετήσιου εισοδήματος σε σχέση με την ηλικία, περιλαμβανομένης της σύγκρισης μεταξύ αντρών και γυναικών	80
2.11	Χαρακτηριστική μορφή διαγράμματος ελέγχου	85
2.12	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής	91
2.13	Διάγραμμα ελέγχου εύρους	91
3.1	Διωνυμική κατανομή με παραμέτρους $n=4$ και $p=0.5$	112
3.2	Κατανομή Poisson με $lt=3.5$	118
3.3	Η κανονική κατανομή	121
3.4	Πεδία της κανονικής κατανομής	121
3.5	Κατανομές Γάμμα για διάφορες τιμές των $\alpha, \rho$	124
3.6	Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της εκθετικής με παράμετρο $\alpha$	125
3.7	Αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της εκθετικής με παράμετρο $\alpha$	125
3.8	Η κατανομή Weibull για $\theta=1$ και $\beta=1$ , $\beta=2$ και $\beta=4$	128
4.1	Ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών βαρελιών αποθήκευσης πρώτης ύλης	165

4.2	Ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών λόγω μηχανικής ζημιάς	168
4.3	Ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών λόγω ύπαρξης ξένων σωμάτων	170
4.4	Ιστόγραμμα κατανομής PH	173
4.5	Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 1 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	175
4.6	Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 1 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	176
4.7	Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 2 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	177
4.8	Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 2 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	177
4.9	Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 3 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	178
4.10	Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 3 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	178
4.11	Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 4 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	179
4.12	Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 4 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	179
4.13	Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 5 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	180
4.14	Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 5 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	180
4.15	Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 6 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	181
4.16	Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 6 <sup>ης</sup> ημέρας (PH)	181
4.17	Ιστόγραμμα κατανομής βάρους γεμίσματος	185
4.18	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 1 <sup>ης</sup> ημέρας	187
4.19	Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 1 <sup>ης</sup> ημέρας	187
4.20	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 2 <sup>ης</sup> ημέρας	188
4.21	Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 2 <sup>ης</sup> ημέρας	188
4.22	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 3 <sup>ης</sup> ημέρας	189
4.23	Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 3 <sup>ης</sup> ημέρας	189
4.24	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 4 <sup>ης</sup> ημέρας	190
4.25	Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 4 <sup>ης</sup> ημέρας	190
4.26	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 5 <sup>ης</sup> ημέρας	191

4.27	Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 5 <sup>ης</sup> ημέρας	191
4.28	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 6 <sup>ης</sup> ημέρας	192
4.29	Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 6 <sup>ης</sup> ημέρας	192

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Σχετικά με τον ορισμό της ποιότητας ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί, άλλοι περισσότερο και άλλοι λιγότερο περιγραφικοί. Η επικρατούσα αντίληψη συσχετίζει την ποιότητα με ένα ή περισσότερα επιθυμητά χαρακτηριστικά που θα έπρεπε να περιέχει ένα προϊόν ή μία υπηρεσία. Η αντίληψη αυτή αποτελεί σημείο αφετηρίας για έναν ακριβή και χρήσιμο ορισμό της ποιότητας.

Σύμφωνα με τον Joseph Juran “Ποιότητα σημαίνει καταλληλότητα προς χρήση” (Juran, 1988). Δεν έχει σημασία να αναφέρεται κανείς στο βαθμό της ποιότητας ενός προϊόντος χωρίς να προσδιορίζει το που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ή στο που αυτό αποσκοπεί. Για παράδειγμα, η ενδυμασία που κατασκευάστηκε για την παράσταση ενός μπαλέτου θα έχει προφανώς διαφορετικές προδιαγραφές από το σπορ ντύσιμο ενός νεαρού ατόμου. Και στις δυο περιπτώσεις οι ενδυμασίες μπορούν να έχουν το ίδιο επίπεδο ποιότητας, δηλαδή να είναι εξίσου κατάλληλες για το σκοπό για τον οποίο παράχθηκαν. Η ποιότητα εξαρτάται τόσο από τη συμμόρφωση των παραγόμενων προϊόντων με συγκεκριμένες προδιαγραφές

(quality of conformance) όσο και από την ποιότητα σχεδιασμού τους (quality of design).

Ένας νεώτερος ορισμός υποστηρίζει ότι "η ποιότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών της παραγωγικής διαδικασίας που προσδιορίζουν την ποιότητα του προϊόντος". Σαν λειτουργικό παράδειγμα της αποτελεσματικότητας του ανωτέρω ορισμού αναφέρεται η περίπτωση μίας εταιρείας παραγωγής αυτοκινήτων στην Αμερική, η οποία πριν από λίγα χρόνια διενέργησε συγκριτική έρευνα μεταξύ ενός κιβωτίου ταχυτήτων που κατασκευαζόταν σε εγχώριο εργοστάσιο και ενός κιβωτίου κατασκευασμένου από προμηθευτή Ιαπωνικής καταγωγής. Η ανάλυση του κόστους αντικατάστασης ελαττωματικών προϊόντων (warranty claims), καθώς και του κόστους επισκευής έδειχνε ότι υπήρχε μία αξιοσημείωτη διαφορά, ενώ τα συγκεκριμένα κόστη για το προϊόν του Ιάπωνα προμηθευτή ήταν πολύ χαμηλότερα. Συγκεκριμένα, το εργοστάσιο που βρισκόταν στην Αμερική είχε ανεβάσει κατά 75% το εύρος των προδιαγραφών, ενώ το εργοστάσιο της Ιαπωνίας για τα ίδια κριτικά ποιοτικά χαρακτηριστικά είχε ανεβάσει τις προδιαγραφές κατά 25%. Επομένως, υπήρχε μικρότερη μεταβλητότητα στα κριτικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των Ιαπωνικών προϊόντων. Τελικά, το κιβώτιο ταχυτήτων του Ιάπωνα προμηθευτή ήταν λιγότερο θορυβώδες, ενώ η αίσθηση στην αλλαγή ταχυτήτων ήταν καλύτερη με αποτέλεσμα να προτιμηθεί περισσότερο από τους καταναλωτές ως ποιοτικότερο προϊόν.

Για να χαρακτηριστεί μια παραγωγική διαδικασία ως βέλτιστη πρέπει να είναι αποδοτική, οικονομική, ποιοτική και να έχει υψηλή παραγωγικότητα. Η κατανόηση και η βελτίωση της ποιότητας αποτελεί παράγοντα-κλειδί που μπορεί να οδηγήσει σε επαγγελματική επιτυχία, ανάπτυξη και έντονα ανταγωνιστική θέση. Στο κεφάλαιο αυτό, παρατίθενται κάποιοι λειτουργικοί ορισμοί που αφορούν την ποιότητα και την βελτίωσή της. Ακολουθεί ιστορική αναδρομή της ποιότητας. Αναφέρονται τα στάδια στα οποία υποδιαιρείται ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας καθώς και οι σημαντικότερες στατιστικές μέθοδοι που περιέχονται σε καθένα από αυτά. Τέλος, γίνεται λόγος για τις κατάλληλες προϋποθέσεις αποτελεσματικής εφαρμογής του στατιστικού ελέγχου ποιότητας στον τομέα των υπηρεσιών.

## 1.2 Οι διαστάσεις της ποιότητας

Κριτικό κομμάτι του στρατηγικού μανάτζμεντ της ποιότητας (strategic management of quality) μιας επιχείρησης αποτελεί η αναγνώριση των διαστάσεων της ποιότητας και η επιλογή εκείνων στις οποίες η εκάστοτε επιχείρηση θα επιδιώξει να γίνει περισσότερο ανταγωνίσιμη. Στην περίπτωση μάλιστα όπου μια επιχείρηση κατορθώσει επιτυχώς κάτι τέτοιο, τότε είναι πολύ δύσκολο να απειληθεί από τους ανταγωνιστές της. Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα αναφορά των διαστάσεων της ποιότητας για προϊόντα και υπηρεσίες.



## Για προϊόντα

Ο προσφορότερος τρόπος προσέγγισης της έννοιας της ποιότητας επιτυγχάνεται δια μέσου του τελικού καταναλωτή, σχετικά με το πως την κατανοεί διαισθητικά, πως την ερμηνεύει και πως τη μετρά. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο καταναλωτής ποσοτικοποιεί την ποιότητα ενός προϊόντος μέσα από την ικανοποίηση που λαμβάνει χάρη στην προσαρμογή των χαρακτηριστικών του εκάστοτε προϊόντος στις απαιτήσεις του. Οι βασικές διαστάσεις της ποιότητας (Garvin, 1987), σύμφωνα πάντοτε με το πως τις αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής, παρατίθενται παρακάτω:

- **Απόδοση (Performance):** Το προϊόν κάνει με ακρίβεια τη δουλειά για την οποία προορίζεται; Την κάνει καλύτερα από άλλα ομοειδή προϊόντα; Σαν παράδειγμα αναφέρονται διάφορα λογισμικά πακέτα τα οποία χρησιμοποιούνται για επεξεργασία δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή γίνεται σύγκριση σχετικά με την ποιότητα και την ταχύτητα επεξεργασίας, έτσι ώστε να συγκριθούν τα πακέτα αυτά μεταξύ τους και να διαπιστωθεί πιο υπερτερεί σε σχέση με τα υπόλοιπα.
- **Αξιοπιστία (Reliability):** Το προϊόν χρειάζεται συχνή επισκευή; Η λειτουργία του επαληθεύει τις προδιαγραφές που το συνοδεύουν σχετικά με πιθανές βλάβες; Αρκετά τεχνολογικά προϊόντα όπως είναι οι προσωπικοί υπολογιστές, ηλεκτρικές συσκευές ή ακόμα και μηχανήματα παραγωγής για εργοστάσια, απαιτούν πολλές φορές περιστασιακές επιδιορθώσεις. Όταν ο αριθμός των επιδιορθώσεων αυτών είναι αρκετά

μεγάλος λέμε ότι το συγκεκριμένο προϊόν είναι αναξιόπιστο. Μία ακόμα βιομηχανία, στην οποία η άποψη του καταναλωτή για την ποιότητα σχετίζεται άμεσα με την αξιοπιστία, θεωρείται η βιομηχανία των αυτοκινήτων.

- **Διάρκεια (Durability):** Η διάρκεια ζωής του προϊόντος είναι μεγάλη; Το προϊόν εξαντλεί τον προσδοκώμενο χρόνο λειτουργίας; Όσον αφορά την συγκεκριμένη διάσταση ο εκάστοτε καταναλωτής επιθυμεί ικανοποιητική απόδοση λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αναφέρεται σαν παράδειγμα και πάλι η βιομηχανία των αυτοκινήτων, των οποίων η διάρκεια ικανοποιητικής λειτουργίας επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αξιολόγηση της ποιότητάς του.
- **Επισκευασιμότητα (Serviceability):** Πόσο εύκολη, γρήγορη και οικονομική είναι η επισκευή του προϊόντος σε περίπτωση βλάβης; Η επισκευασιμότητα θεωρείται καταλυτικής σημασίας κριτήριο για την ποιότητα σε προϊόντα τα οποία χρησιμοποιούνται πολύ συχνά από τον καταναλωτή. Ως τέτοια μπορούν να θεωρηθούν οι προσωπικοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα, οι οικιακές συσκευές κλπ.
- **Αισθητική (Aesthetics):** Σε ποιο βαθμό θεωρείται ικανοποιητικό το προϊόν από άποψη εμφάνισης λαμβάνοντας υπ' όψιν χαρακτηριστικά όπως χρώμα, σχήμα, οσμή, γεύση, υφή και τρόπος πακεταρίσματος; Έχει παρατηρηθεί ότι σημαντικός παράγοντας για τις εταιρίες κατασκευής κινητών τηλεφώνων αποτελεί το σχήμα ή το βάρος του κινητού τηλεφώνου. Οι καταναλωτές απορρίπτουν ολοένα και περισσότερο τα

κινητά μεγάλου μεγέθους, θεωρώντας τα άκομψα, ενώ προτιμούν κινητά με πρωτότυπα χρώματα, με μικρό μέγεθος και γενικότερα με καινοτομίες κατασκευής που τους δίνουν άλλη αισθητική και επομένως διαφορετική ποιότητα. Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα όπου η αισθητική παίζει καθοριστικό ρόλο για την ποιότητα, όπως την αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής, είναι τα τρόφιμα των οποίων το πακετάρισμα και μόνο σε πολλές περιπτώσεις κατευθύνει τον αγοραστή και του δημιουργεί μία αίσθηση ποιότητας.

- **Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά (Features):** Ποιες είναι οι επιπρόσθετες δυνατότητες του προϊόντος; Το προϊόν διαθέτει επιπλέον λειτουργίες ή χαρακτηριστικά σε σχέση με εκείνα που περιμένει ο καταναλωτής; Ένα λογισμικό πακέτο για παράδειγμα, το οποίο περιλαμβάνει εργαλεία (tools) που υποβοηθούν τον τελικό χρήστη, σε αντίθεση με άλλα πακέτα που προορίζονται για τον ίδιο σκοπό και δεν περιλαμβάνουν τα εργαλεία αυτά, συνήθως προτιμάται από κάποιον υποψήφιο αγοραστή εξαιτίας ακριβώς των επιπρόσθετων χαρακτηριστικών που διαθέτει. Μια καφετιέρα που περιέχει σύστημα προστασίας λόγω υπερθέρμανσης σε περίπτωση που την ξεχάσουμε αναμμένη (μπορεί μετά από κάποια χρονική διάρκεια που είναι σε λειτουργία να σβήσει αυτόματα), ενδέχεται να προτιμηθεί από τον καταναλωτή τον οποίο έχει επηρεάσει το προαναφερόμενο χαρακτηριστικό.
- **Περιβάλλουσα ποιότητα (Perceived Quality):** Ποια είναι η φήμη της εταιρείας ή των προϊόντων της; Στην συγκεκριμένη διάσταση

αναφερόμαστε στην υποκειμενική αντίληψη για το προϊόν, η οποία βασίζεται στην άποψη για την εταιρεία παραγωγής, τη διαφήμιση και γενικά την επικρατούσα εικόνα του προϊόντος ή της εταιρείας στην αγορά. Η περιβάλλουσα ποιότητα, η πίστη του πελάτη και η επαναλαμβανόμενη συνεργασία μεταξύ εταιρείας – πελάτη είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Εάν για παράδειγμα κάποιος που πραγματοποιεί συχνά επαγγελματικά ταξίδια με συγκεκριμένη αεροπορική εταιρεία της οποίας οι πτήσεις φτάνουν πάντοτε χωρίς καθυστέρηση, ενώ παράλληλα οι αποσκευές παραμένουν κάθε φορά άθικτες χωρίς να έχει χαθεί οτιδήποτε, τότε δεν συντρέχει κανένας λόγος ο πελάτης να αλλάξει προτίμηση σχετικά με την αεροπορική εταιρεία που εμπιστεύεται.

- **Συμμόρφωση (Conformance):** Ο βαθμός συμμόρφωσης ενός προϊόντος σε προκαθορισμένα πρότυπα (προδιαγραφές που έθεσε ο σχεδιαστής του), είναι απόλυτος. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις βιομηχανικών προϊόντων των οποίων η απόδοση δεν ανταποκρίνεται σ' αυτήν που σκόπευε ο σχεδιαστής. Στην σχεδίαση ενός αυτοκινήτου για παράδειγμα, ενδέχεται να υπάρξει κάποια λανθασμένη εκτίμηση σε ότι αφορά το μηχανολογικό μέρος, με αποτέλεσμα το προϊόν που θα παραχθεί να απέχει πολύ από τις αρχικές προσδοκίες.
- **Ασφάλεια (safety):** Όσον αφορά τα προϊόντα τίθεται και η κρίσιμη για τον καταναλωτή διάσταση της ασφάλειας. Σύμφωνα με τη διάσταση αυτή γεννάται το ερώτημα κατά πόσον ο καταναλωτής είναι βέβαιος ότι δεν θα υποστεί κάποια επιβάρυνση στην υγεία του από τη χρησιμοποίησή του

συγκεκριμένου προϊόντος. Δεν είναι λίγες οι φορές που καταναλωτές απορρίπτουν τρόφιμα εξ' αιτίας ύπαρξης συντηρητικών ουσιών στη σύστασή τους.

### **Για υπηρεσίες**

Στον τομέα των υπηρεσιών, οι διαστάσεις της ποιότητας είναι κάπως διαφορετικές. Μερικές από τις διαστάσεις αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Ευκολία στην πρόσβαση (Accessibility):** Μπορεί να επιλέξει την προσφερόμενη υπηρεσία ο εκάστοτε καταναλωτής; Για να κατορθώσει μια εταιρεία να επιτύχει κάτι τέτοιο συνεπάγεται προσεγγισιμότητα και ευκολία επικοινωνίας με τον πελάτη.
- **Ακρίβεια (Accuracy):** Η υπηρεσία προσφέρεται πάντα με τον ορθό τρόπο; Στην παροχή υπηρεσιών ο πελάτης ενδιαφέρεται να λαμβάνει την απαιτούμενη εξυπηρέτηση, στον σωστό χρόνο και με την πρέπουσα φροντίδα.
- **Συνέπεια (Consistency):** Ο καταναλωτής εισπράττει κάθε φορά το ίδιο υψηλό επίπεδο υπηρεσίας; Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου παρατηρούνται διακυμάνσεις στον βαθμό ικανοποίησης του πελάτη από κάποιον πάροχο υπηρεσιών. Το γεγονός αυτό κλονίζει την εμπιστοσύνη του πελάτη και την αξιοπιστία του παρόχου υπηρεσιών.

- **Συμπεριφορά (Attitude):** Ο τρόπος αντιμετώπισης των καταναλωτών από τους υπαλλήλους είναι κάθε φορά ο ενδεδειγμένος; Η ευγένεια, το χαμόγελο, η ευελιξία και οι ιδιαίτερες ικανότητες του κάθε υπαλλήλου στην επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της εργασίας είναι τα στοιχεία που κάνουν μια επιχείρηση μοναδική.
- **Πληρότητα (Completeness):** Λαμβάνει ο καταναλωτής ότι ακριβώς ζήτησε από την υπηρεσία; Εταιρίες παροχής υπηρεσιών που ανταποκρίνονται με συνέπεια και ακρίβεια στις απαιτήσεις των πελατών, αυξάνουν σημαντικά την ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρουν, σε σχέση πάντοτε με το πώς οι πελάτες αντιλαμβάνονται την ποιότητα.
- **Αναταποκρισιμότητα (Responsiveness):** Η εταιρεία ανταποκρίνεται σε συνήθεις και ασυνήθεις καταστάσεις με τέτοιο τρόπο, ώστε ο καταναλωτής να μένει πάντοτε ικανοποιημένος; Η βολική και γρήγορη εξυπηρέτηση σε συνδυασμό με τη σωστή διαχείριση παραπόνων αποτελούν παραδείγματα που μπορούν να προσδώσουν υψηλή ποιότητα σε μια υπηρεσία, και συνεπώς ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στον πάροχο.
- **Χρόνος (Time):** Ο χρόνος αναμονής του καταναλωτή για πιθανή επιλογή της υπηρεσίας και ο χρόνος ολοκλήρωσής της, σε περίπτωση επιλογής της, είναι οι ελάχιστοι που προβλέπονται από τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί; Η συγκεκριμένη διάσταση της ποιότητας υπηρεσιών σχετίζεται άμεσα και με την αναταποκρισιμότητα, αφού η μία συμπληρώνει την άλλη.

## 1.3 Ιστορική αναδρομή

Το ενδιαφέρον για την ποιότητα αγαθών και υπηρεσιών από την πλευρά των καταναλωτών αποτελεί διαχρονικό κοινωνικό φαινόμενο. Με το πέρασμα των χρόνων η έννοια της ποιότητας έχει αναπτυχθεί μέσα σ' ένα αυστηρό και σύνθετο σύνολο αρχών, το οποίο ορίζει τον τρόπο με τον οποίο η ποιότητα των αγαθών και υπηρεσιών αποτιμάται, διαχειρίζεται, παραδίδεται και εξασφαλίζεται.

Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας (*statistical quality control*) αποτελεί σημαντικό εργαλείο της επιχείρησης, αφού επηρεάζει αποφάσεις που σχετίζονται με τις προδιαγραφές, την παραγωγική διαδικασία και τον έλεγχο των παραγόμενων προϊόντων. Για να μπορέσει ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας να καταστεί περισσότερο αποτελεσματικός, χρειάζεται η ενσωμάτωσή του σε ένα πλαίσιο λειτουργίας και διοίκησης της επιχείρησης που σκοπεύει στη διαρκή βελτίωση της ποιότητας. Το πλαίσιο αυτό λειτουργίας και διοίκησης είναι γνωστό και ως διοίκηση ολικής ποιότητας (*total quality management*). Μπορεί εύστοχα κάποιος να παρατηρήσει ότι ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας αποτέλεσε τον προάγγελο της διοίκησης ολικής ποιότητας.

### 1.3.1 Προ-βιομηχανική περίοδος

Κατά την προ-βιομηχανική περίοδο (*pre-industrial era*) η ποσότητα και η ποιότητα των προϊόντων αποτελούσαν τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά που

καθόριζαν μια οικονομική συναλλαγή. Σύμφωνα με τον οικονομολόγο του 17<sup>ου</sup> αιώνα Nicholas Barbon, "Οι ιδιότητες των εμπορευμάτων είναι γνωστές από το χρώμα, τον ήχο, την οσμή, τη γεύση και το σχήμα τους. Η διαφοροποίηση των ιδιοτήτων αυτών είναι αρκετά δύσκολη. Τα αισθητήρια όργανα αποτελούν κριτές για τις διαφορές μεταξύ των προϊόντων. Εξ' αιτίας όμως της διαφορετικότητας όπου κάποιος αντιλαμβάνεται ένα προϊόν δεν μπορούμε αντικειμενικά να αποφασίσουμε για το ποιο προϊόν είναι το καλύτερο" (Barbon, 1690). Ο Barbon κατά συνέπεια θεωρεί ότι η ποιότητα είναι κάτι υποκειμενικό και εμπειρικό.

"Η ιδέα της ποιότητας την περίοδο αυτή είναι αφηρημένη, παρόμοια με την ιδέα της ομορφιάς, την οποία αντιλαμβανόμαστε όταν την βλέπουμε" (Garvin, 1988). Η ποιότητα θεωρείται ως ένα στιγμιαίο φαινόμενο, το οποίο εμφανίζεται μέσω των βασικών αισθήσεων και δεν ορίζεται. Επομένως, ο καταναλωτής είναι αποκλειστικά υπεύθυνος για την εγγύηση της ποιότητας των αγαθών που αγοράζει (*caveat emptor*). Η ιδέα της αποκλειστικής ευθύνης του αγοραστή έχει τις ρίζες του στο εθιμικό δίκαιο της Αγγλίας. Για αλλοιώσιμα προϊόντα, όπως τα τρόφιμα των οποίων τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι προφανή, η αποκλειστική ευθύνη του καταναλωτή είναι εύκολη και πρακτική. Στη Γερμανία, οι πωλητές τροφίμων καθώς και οι τεχνίτες, όπως π.χ. υποδηματοποιοί, ήταν υποχρεωμένοι να τοποθετούν τα εμπορεύματά τους ο ένας δίπλα στον άλλον, πιθανότατα με σκοπό οι καταναλωτές να μπορούν άμεσα να συγκρίνουν την ποιότητα των αγαθών με εύκολο τρόπο.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Garvin 1988, σελίδα 53



Για εκείνα τα βιομηχανικά αγαθά των οποίων τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ήταν κυρίως ενυπάρχοντα αλλά αφανή (κρυμμένα), ένα διαφορετικό "κοινωνικό συμβόλαιο" ήταν απαραίτητο για την διαβεβαίωση και εξασφάλιση της ποιότητας. Ο Barbon (1690) παρατηρεί ότι "Εξ' αιτίας του γεγονότος ότι η διαφορά στις ιδιότητες των προϊόντων είναι δύσκολα κατανοητή, ο χονδρέμπορος καλείται να ενημερώσει τον εκάστοτε καταναλωτή. Στην κοινή δόσοληψία, ο αγοραστής είναι υποχρεωμένος να εμπιστευτεί την ικανότητα και την ειλικρίνεια του πωλητή. Επομένως σε αρκετές περιπτώσεις ο πελάτης ρισκάρει και διατρέχει τον κίνδυνο εξαπάτησης".

Η μεταλαμπάδευση της γνώσης δια μέσου της ενημέρωσης γίνεται κύριο συστατικό στην μεσαιωνική κοινωνία. Στις ευρωπαϊκές χώρες οι μεσαιωνικές συντεχνίες είναι μορφοποιημένες, έτσι ώστε να τυποποιούν την εμπειρωμένη γνώση των ειδικών. Ωστόσο, η ειδική γνώση παραμένει κυρίως υπονοούμενη. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Conterio και Da Villa (1995) για την ναυπηγική στην Βενετία, "Η πραγματική ποιότητα των πλοίων που κατασκευάζονται εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα των ανθρώπων που τα κατασκευάζουν. Το σχήμα και οι διαστάσεις καθορίζονται από τεχνίτες, οι οποίοι μεταδίδουν τις ικανότητές τους από γενιά σε γενιά, και σε αρκετές περιπτώσεις καταγράφουν τις εμπειρίες τους σε μορφή κειμένων. Δεν υπάρχει σχολείο να τους διδάξει και η γνώση αποκτάται με τα χρόνια μέσα από την εμπειρία και την εξάσκηση".<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Conterio και Da Villa, 1995, σελίδα 332

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πρότυπα για τη μέτρηση της ποσότητας των αντικειμένων, τα πρότυπα για την ποιότητα δεν είναι τόσο διαδεδομένα. Όπως χαρακτηριστικά υποστηρίζει ο George (1968), κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης τον 19<sup>ο</sup> αιώνα “ο έλεγχος ποιότητας... είναι ελάχιστα, εάν όχι καθόλου, ανεπτυγμένος με βάση τα προγενέστερα συστήματα. Τα προϊόντα συνεχίζουν να κατασκευάζονται από μη προτυποποιημένα υλικά με τη χρησιμοποίηση μη προτυποποιημένων μεθόδων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία προϊόντων ευμετάβλητης ποιότητας. Τα μοναδικά πραγματικά στάνταρ που χρησιμοποιούνται είναι στις μετρήσεις διαστάσεων, βάρους και σε κάποιες περιπτώσεις λαμβάνει χώρα και η μέτρηση της καθαρότητας των προϊόντων. Η πιο κοινή φόρμα ποιότητας ελέγχου αποτελεί η επιθεώρηση του αγαθού από τον αγοραστή κάτω από τον άτυπο κανόνα της αποκλειστικής του ευθύνης”.<sup>3</sup>

Δύο μηχανισμοί χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο για την αποφυγή παραγωγής προϊόντων χαμηλής ποιότητας. Σύμφωνα με τον πρώτο, επιβάλλεται τιμωρία στον κατασκευαστή. Ειδικότερα στην Γερμανία, “τους αρτοποιούς, οι οποίοι μείωναν σκόπιμα το βάρος του ψωμιού και των γλυκισμάτων, τους έκλειναν σε κάποιο κλουβί και τους έριχναν στο ποτάμι μπροστά σε όλους τους κατοίκους της περιοχής” (Lerner, 1995).<sup>4</sup> Επίσης, στην Ινδία οι τιμωρίες ήταν κυρίως οικονομικού περιεχομένου (Goswamy, 1995).<sup>5</sup> Το 1723 στη Ρωσία ψηφίζεται διάταγμα σύμφωνα με το οποίο “Εάν υπάρξει κάποιο εμπόδιο (ελαττωματικός

---

<sup>3</sup> George, 1968, σελίδα 50

<sup>4</sup> Lerner, 1995, σελίδα 218

<sup>5</sup> Goswamy, 1995, σελίδα 287

εξοπλισμός) στα στρατεύματα κατά τη διάρκεια μάχης εξαιτίας της αβλεψίας κάποιων, τότε οι υπεύθυνοι θα μαστιγώνονται χωρίς έλεος. Ο βασανισμός θα είναι ανάλογος με τον αριθμό των ελαττωματικών όπλων" (Konavera, 1995).<sup>6</sup>

Ο δεύτερος μηχανισμός ήταν η δημιουργία της μάρκας ή του εμπορικού σήματος. Στην Γερμανία οι μάρκες άρχισαν να χρησιμοποιούνται εκτενώς στα όπλα, στα κοσμήματα αλλά και στα ρούχα από τις αρχές του 14<sup>ου</sup> αιώνα. Το γεγονός αυτό είχε επίδραση στην προμηθευτική αλυσίδα. Για παράδειγμα, οι κατασκευαστές ρούχων αγόραζαν υλικά και τα χρησιμοποιούσαν χωρίς να τα ελέγξουν, βασιζόμενοι στην μάρκα τους που αποτελούσε απόδειξη της ποιότητάς τους (Lerner, 1995).<sup>7</sup> Δεδομένης της αξίας της μάρκας και των εμπορικών σημάτων στην Ευρώπη, η σημασία του "ISO 9000 mark" τον 20<sup>ο</sup> αιώνα δεν προκαλεί καμία έκπληξη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετά παραδείγματα λειτουργίας και κατασκευής προϊόντων σε τοπικό επίπεδο προαναγγέλλουν την εκτεταμένη εφαρμογή του ελέγχου ποιότητας από τα τέλη κυρίως του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται το σύστημα διοίκησης στα εργοστάσια παραγωγής όπλων της Βενετίας τον 16<sup>ο</sup> αιώνα. Το σύστημα αυτό περιελάμβανε επίβλεψη και επιθεώρηση εργασίας από τους υπεύθυνους ομάδων εργασίας, εξετάσεις γνώσης των εργαζομένων, προτυποποίηση σχεδιασμού κλπ (George, 1968).<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Konavera, 1995, σελίδα 390

<sup>7</sup> Lerner, 1995, σελίδα 219

<sup>8</sup> George, 1968, σελίδα 62

Τέτοια συστήματα ελέγχου αποτελούσαν εξαίρεση την περίοδο αυτή. Παρ' όλα αυτά αποτέλεσαν τον πρόδρομο του τι επρόκειτο να συμβεί στο μέλλον.

Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ο οικονομολόγος Charles Babbage (1832) προέβλεψε αρκετές από τις επικείμενες αλλαγές. Αν και ο Frederick Taylor κατέστησε σαφείς κάποιες αρχές σχεδόν έναν αιώνα αργότερα, ο Babbage προέβλεψε κάποιες από τις πλευρές του ελέγχου ποιότητας οι οποίες θα επηρέαζαν και θα απασχολούσαν την κοινωνία κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής εποχής. Συγκεκριμένα ο Babbage, αναφερόμενος στα κύρια σημεία της περιγραφής ενός μηχανολογικού εξαρτήματος, θεωρεί απαραίτητο στην περιγραφή να απαντώνται τα παρακάτω ερωτήματα: "Σε ποια ελαττώματα είναι υπόλογοι οι κατασκευαστές του προϊόντος; Τι υποκατάστατα έχουν χρησιμοποιηθεί; Τι είδους φθορά είναι επιτρεπτή από τον κατασκευαστή; Έχουν λάβει χώρα έλεγχοι για την καταλληλότητα των βιομηχανικών αντικειμένων; Το βάρος μιας ποσότητας ή ενός αριθμού έχει συγκριθεί με τα ακατέργαστα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν; Ποιος παράγει τα εργαλεία αυτά; Ποιος τα επισκευάζει; Ποια είναι τα έξοδα του μηχανήματος; Ποια είναι η διάρκεια της επιτρεπόμενης χρήσης ετησίως;"

### 1.3.2 Πέρασμα στην εφαρμογή του ελέγχου ποιότητας

Η βιομηχανική επανάσταση και το σύστημα λειτουργίας των εργοστάσιων την περίοδο αυτή έδωσαν ώθηση στην αύξηση των προϊόντων και στην πολυπλοκότητα των διαδικασιών, με αποτέλεσμα την αύξηση των δυσκολιών

στον έλεγχο της ποιότητας, του κόστους, και των αποθεμάτων. Ο τρόπος λειτουργίας των εργοστασίων την εποχή αυτή, προκαλεί επανάσταση στον κλάδο της ποιότητας αλλά και σε όλους τους τομείς του οργανωσιακού management. Ζητήματα πολυπλοκότητας, ελέγχου και υποκίνησης περιλαμβάνονται στα νέα συστήματα διαχείρισης τα οποία περιέχουν υποδιαιρέσεις στο εργατικό δυναμικό, διαχωρισμό μεταξύ εργατικού δυναμικού και διοίκησης και πλάνα πληρωμών με το κομμάτι. Τελικά, η χρήση των λεγόμενων συστημάτων επιστημονικού management αποτελεί γεγονός. Οι Richard Arkwright, Sir James Steuart και Adam Smith ήταν μεταξύ των πρώτων υπερασπιστών τέτοιων συστημάτων (George, 1968).<sup>9</sup>

Η ατομική υποκίνηση φαίνεται να αποτελεί το κλειδί για τη βελτίωση των διαδικασιών: "Βάζοντας κάποιον απλά να εργαστεί, αυτός θα συνεχίσει με σταθερό ρυθμό και δεν θα προσπαθήσει ποτέ να βελτιώσει την παραγωγικότητά του. Αν όμως πληρώνεται με το κομμάτι, τότε θα βρει χίλιους τρόπους για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητά του" (Steuart, 1767). Η διαμέριση του εργατικού δυναμικού φαίνεται να βελτιώνει όχι μόνο την παραγωγικότητα αλλά και τις διαδικασίες ποιότητας: "... εάν κάποιος περιοριστεί σε μικρό αριθμό καθηκόντων, θα τα εκτελέσει αρκετά γρήγορα, με μεγαλύτερη συνέπεια, ορθότητα και ακρίβεια" (Mill, 1826).

Ο Frederick W. Taylor (1911) συνδύασε τις ιδέες που είχαν προηγηθεί στο παρελθόν μέσα σε μία λογικά συνδεδεμένη φιλοσοφία του management. Με τον

---

<sup>9</sup> George, 1968, σελίδα 64

τρόπο αυτό συνέθεσε τις αρχές του επιστημονικού management τον 20<sup>ο</sup> αιώνα και ανέπτυξε τις τέσσερις βασικές αρχές διοίκησης: την επιστημονική ανάπτυξη και βελτίωση για κάθε επάγγελμα, τη συνεχή εκπαίδευση με σκοπό τη βελτίωση των εργαζομένων, το συνεργατικό πνεύμα με τους εργαζομένους και το διαχωρισμό εργασίας και ευθυνών μεταξύ εργατικού δυναμικού και διοίκησης.

Ο Taylor έδινε έμφαση στον κίνδυνο σύγχυσης μεταξύ της διοικητικής φιλοσοφίας (managerial philosophy) με τα κοινά εργαλεία τα οποία σχετίζονταν με το επιστημονικό management, όπως η προτυποποίηση, τα πλάνα πληρωμών, τα μοντέρνα συστήματα κόστους κλπ (George, 1968).<sup>10</sup> Εύκολα μπορεί κανείς να διαπιστώσει την ομοιότητα στις απόψεις του Taylor και του W. Edwards Deming, ο οποίος υποστηρίζει ότι το management χρησιμοποιεί διάφορα εργαλεία χωρίς μέσω αυτών να επιτυγχάνεται κατανόηση της φιλοσοφίας του management. Χαρακτηριστικά, ο Deming αναφερόμενος στον έλεγχο ποιότητας υποστηρίζει ότι: "Όποιος πιστεύει ότι μπορεί να 'εγκαταστήσει τον έλεγχο ποιότητας' κατέχει πολύ μικρή γνώση σχετικά με τον έλεγχο ποιότητας. Η βελτίωση της ποιότητας και της παραγωγικότητας, μπορεί να επιτευχθεί σε μία εταιρεία, μέσω της διαδικασίας της μάθησης, χρόνο με το χρόνο, ώστε να φτάσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα."

Όλες αυτές οι επαναστατικές αλλαγές στο εργασιακό περιβάλλον των επιχειρήσεων οδήγησαν στη δημιουργία του επιστημονικού κλάδου της ποιότητας που συνδέεται άμεσα και με τον έλεγχο ποιότητας. Η έναρξη

---

<sup>10</sup> George, 1968, σελίδα 75

λειτουργίας των Inspection Engineering Department at Western Electric's Bell Telephone Laboratories (Hawthorne Works) το 1924 αποτέλεσε το ξεκίνημα μιας νέας εποχής στη *διοίκηση της ποιότητας*. Ανάμεσα στους συμμετέχοντες του τμήματος επιθεώρησης (Inspection Department) ξεχωρίζουν οι Walter Shewhart, Harold Dodge, George Edwards, Joseph Juran και Harry Romig. Παράλληλα παρατηρούνται και ξεχωριστές ατομικές συνεισφορές όσον αφορά την πρακτική της ποιότητας ελέγχου και διοίκησης, όπως π.χ. στατιστικές διαδικασίες ελέγχου (statistical process control).

Ο Edwards επινόησε τον όρο "quality assurance" και χαρακτήριζε την ποιότητα ως κομμάτι της διοικητικής ευθύνης. Οι Dodge, Romig and Walter Bartky ανέπτυξαν τις ιδέες και τα εργαλεία των στατιστικών διαγραμμάτων δειγματοληψίας για την μέτρηση της ποιότητας του προϊόντος μεταξύ του 1925 και 1<sup>ου</sup> 1926. Επιπλέον όρισαν και έθεσαν σε λειτουργία μεγέθη όπως το ρίσκο παραγωγού και καταναλωτή, η πιθανότητα αποδοχής, οι λειτουργικές χαρακτηριστικές καμπύλες, το αποδεκτό ποσοστό ελαττωματικών και τα όρια ποιότητας κλπ. Οι Dodge και Roming δημοσιοποίησαν για πρώτη φορά διαγράμματα δειγματοληψίας (sampling plans) το 1929. Την ίδια χρονική περίοδο ο Shewhart αναπτύσσει τα διαγράμματα ή χάρτες ελέγχου (control charts) με τη δημοσιοποίηση των κειμένων του το 1931. Το περιεχόμενο του βιβλίου του Shewhart ορίζει την άμεση σχέση της ποιότητας με εφαρμογή στατιστικών μεθόδων και διατήρηση ιστορικών αρχείων.

Η εστίαση στην διοίκηση της ποιότητας τη δεκαετία του 1930 αποτελεί ουσιώδες χαρακτηριστικό στην οριοθέτηση διαφόρων προτύπων. Ο Shewhart συνέστησε επιτροπή για την ανάπτυξη στατιστικών εφαρμογών (*Joint Committee for the Development of Statistical Applications in Engineering and Manufacturing*) το 1929, ενώ το 1930 δημιουργείται επιτροπή ερμηνείας και παρουσίασης δεδομένων (*American Society for Testing and Materials*). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα διασποράς των ιδεών στο ευρύτερο κοινό, δια μέσου διαλέξεων οι οποίες λάμβαναν χώρα στο πανεπιστημιακό κολέγιο του Λονδίνου (Booth, 1964).<sup>11</sup> Τα Βρετανικά πρότυπα (British Standards Number 600) με τίτλο "Εφαρμογή στατιστικών μεθόδων στην βιομηχανική προτυποποίηση και Έλεγχος Ποιότητας" δημιουργήθηκαν το 1935, ενώ εταιρίες διατροφικών υπηρεσιών (U.S. food), παροχής φαρμάκων (Drug) και παραγωγής καλλυντικών (Cosmetic Act) εγκαθίδρυσαν πρότυπα ποιότητας για ευρύ αριθμό καταναλωτικών προϊόντων το 1938 (Banks, 1989).<sup>12</sup> Στην Ευρώπη, η επιτροπή προτύπων της Γερμανίας δημιουργήθηκε το 1926 (Lerner, 1995)<sup>13</sup>, ενώ ο οργανισμός Βρετανικών Προτύπων δημιουργήθηκε το 1931 (Hutchins, 1995).<sup>14</sup>

Ο δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος είχε μεγάλη επιρροή όσον αφορά τις εφαρμογές για την ποιότητα στους οργανισμούς των Ηνωμένων Πολιτειών, και γενικότερα σε παγκόσμιο επίπεδο. Πριν τον πόλεμο η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών εξασφάλιζε την ποιότητα δια μέσου επιθεώρησης και

---

<sup>11</sup> Booth, 1964, σελίδα 136

<sup>12</sup> Banks, 1989, σελίδα 112

<sup>13</sup> Lerner, 1995, σελίδα 224

<sup>14</sup> Hutchins, 1995, σελίδα 425



ελέγχου της συμμόρφωσης στις προδιαγραφές. Την ίδια προσέγγιση διατήρησε κατά τη διάρκεια του πολέμου, με τη διαφορά ότι την περίοδο αυτή υπάρχουν αισθητά αυξημένες ποσότητες για τις οποίες απαιτούνται συστήματα διασφάλισης της ποιότητας. Η λύση για την κυβέρνηση ήταν να εμπιστευτεί σε μεγάλο βαθμό την επιθεώρηση και τον έλεγχο δειγμάτων, δια μέσου δειγματοληψίας, ενώ παράλληλα ξεκίνησε η παραγωγή προτύπων για τέτοιες μεθόδους (Jurand, 1991). Ο "Οδηγός για τον Έλεγχο της Ποιότητας" (Z1.1 - 1941), "Η Μέθοδος Χαρτών Ελέγχου για Ανάλυση Δεδομένων" (Z1.2 - 1941) και "Η Μέθοδος Χαρτών Ελέγχου για Έλεγχο της Ποιότητας κατά τη διάρκεια της Παραγωγής" (Z1.3 - 1942) αποτέλεσαν πρότυπα για διαδικασίες ελέγχου. Οι Edwards, Dodge, Roming και Gause εγκαθίδρυσαν πίνακες γνωστούς και ως "Armed Service Forces tables", για επίβλεψη μέσω δειγματοληψίας το 1942 (Wareham and Stratton, 1991).<sup>15</sup>

Την ίδια περίοδο λαμβάνουν χώρα μαθήματα ενημέρωσης προς τους προμηθευτές όπλων σχετικά με το πώς αυτοί θα μπορέσουν να υλοποιήσουν τα υπάρχοντα πρότυπα. Παράλληλα αναπτύχθηκε μια σειρά μαθημάτων στο Stanford με στόχο τη δημιουργία ενός προγράμματος τεχνολογικής, επιστημονικής και διοικητικής εκπαίδευσης. Ο Holbrook Working, ένας από τους καθηγητές του Stanford, υπολόγισε ότι 7553 άτομα παρακολούθησαν μαθήματα στο Stanford λαμβάνοντας 40900 ώρες εκπαίδευσης (Wareham and Stratton

---

<sup>15</sup> Wareham and Stratton, 1991, σελίδα 208

1991).<sup>16</sup> Επιπλέον, υπολογίζεται ότι περίπου 31000 εκπαιδεύτηκαν πάνω στον έλεγχο ποιότητας κατά τη διάρκεια του πολέμου (Walton, 1986).<sup>17</sup>

Η μεγάλη εισροή των νεοεκπαιδευόμενων πάνω στην ποιότητα άλλαξε για ακόμη μία φορά την οργανωσιακή δομή της διοίκησης της ποιότητας. Δημιουργήθηκαν νέες διαδικασίες οι οποίες περιελάμβαναν εργαλεία ποιότητας ελέγχου μιας επιχείρησης, συστήματα δεδομένων ποιότητας, τυπικές προσεγγίσεις για επίλυση προβλημάτων, πρότυπα μέτρησης, ελέγχους για επαλήθευση της ποιότητας, εκθέσεις (reports) ποιότητας κλπ. Η αναγκαιότητα συμβολής της επιστήμης των μηχανικών (engineering) θεωρείται απαραίτητη. Με βάση τις νέες λειτουργίες δημιουργείται ο "Μηχανικός Ποιότητας", ενώ το τμήμα ελέγχου ποιότητας αποκτά μεγαλύτερο κύρος. Όλες αυτές οι ανακατατάξεις στον τομέα της ποιότητας και οι διαδοχικές οργανωσιακές αλλαγές εξ' αιτίας του πολέμου θα επηρεάσουν σημαντικά και τις μελλοντικές εξελίξεις όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια.

Παρά την ευρεία εκπαίδευση υπήρξε το ερώτημα σχετικά με το γιατί η εφαρμογή σύγχρονων στατιστικών μεθόδων δεν είχε ακόμα μεγαλύτερη επιρροή στην βιομηχανία. Ο W. Edwards Deming, ένας από τους καθηγητές των προγραμμάτων εκπαίδευσης και μαθητής του Walter Shewhart, παρατήρησε τη σχετική αναποτελεσματικότητα της εκπαίδευσης κατά τη διάρκεια του πολέμου, κάτι το οποίο τον απασχόλησε ιδιαίτερα τα επόμενα χρόνια. Ο Juran με τη σειρά

<sup>16</sup> Wareham and Stratton, 1991, σελίδα 208

<sup>17</sup> Walton, 1986, σελίδα 112

του απαριθμεί αρκετές αιτίες για την πτώση του στατιστικού ελέγχου ποιότητας κατά τη δεκαετία του 50'. Καταρχάς, οι εφαρμογές των διαγραμμάτων ελέγχου ασχολούνται περισσότερο με σποραδικά προβλήματα. Επιπλέον, οι διαδικασίες ελέγχου στις οποίες συμμετείχαν οι εργαζόμενοι ήταν περισσότερες από μια, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται σωστός διαχωρισμός των δραστηριοτήτων. Τέλος, κατά τη διάρκεια της οικονομικής ύφεσης, οι επιχειρήσεις περιόρισαν τον αριθμό των ομάδων ελέγχου ποιότητας (Juran, 1991). Επομένως, το περιβάλλον των επιχειρήσεων δεν είναι έτοιμο να υποστηρίξει την ανάπτυξη στον κλάδο της ποιότητας.

Κατά την ίδια περίοδο οι ειδικοί στον έλεγχο ποιότητας (Edwards, Juran, Feigenbaum κλπ) υποστηρίζουν σθεναρά ότι οι διοικήσεις στις επιχειρήσεις οφείλει να είναι περισσότερο υπεύθυνη και να δείξει μεγαλύτερη ανταποκρισιμότητα στο θέμα της ποιότητας. Ο Feigenbaum παρατηρεί ότι: "Αποτελεί μείζονος σημασίας ζήτημα το να μπορέσει μια επιχείρηση να καταστεί ικανή και αποτελεσματική σε ζητήματα ελέγχου ποιότητας. Θα πρέπει να προσπαθήσουμε ώστε ο Έλεγχος Ποιότητας να αποτελέσει μέλος των διοικητικών ομάδων " (Feigenbaum, 1952). Με τη δημοσιοποίηση της πρώτης έκδοσης του "Quality Control Handbook", ο Juran συνέχισε να επισημαίνει τη σημαντικότητα σχεδιασμού στη διοίκηση ολικής ποιότητας.

Η αντίληψη ότι η διοίκηση ποιότητας βιομηχανικών αγαθών απαιτούσε ποιότητα ελέγχου σε όλες τις λειτουργικές περιοχές μιας επιχείρησης επεκτείνεται όλο και

περισσότερο. Οι εκτεταμένες εφαρμογές που αναπτύσσονται στον έλεγχο ποιότητας έχουν σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές επιδράσεις. Παράλληλα αναπτύσσεται και ανθίζει ο κλάδος του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, ξεκινώντας με προσωπικές εκτιμήσεις και έρευνες, ενώ αργότερα επεκτείνεται σε R&D εφαρμογές.

Η Ιαπωνία δέχεται την περίοδο αυτή τις μεγαλύτερες επιδράσεις και προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες που σχετίζονται άμεσα με την διοίκηση της ποιότητας. Από το 1942 και μετά ιδρύονται οργανισμοί των οποίων σκοπός αποτελεί η αναδόμηση της χώρας (Japan Management Association (1942), Japan Standards Association (1945), and the Union of Japanese Scientists and Engineers (JUSE) (1946)). Μέσα σε λίγα χρόνια αγοραστές από όλο τον κόσμο αναζητούν μανιωδώς προϊόντα Ιαπωνικής προέλευσης.

Το 1962 αναπτύσσονται για πρώτη φορά στην Ιαπωνία τα λεγόμενα "QC Circles". Μία QC Circle αποτελείται από μια μικρή ομάδα υπαλλήλων που ελέγχουν και αναπτύσσουν συνεχώς την ποιότητα προϊόντων και υπηρεσιών. Με αρκετά εξειδικευμένο προσωπικό σε μεθόδους στατιστικού ελέγχου ποιότητας (ανάλυση Pareto, διαγράμματα αιτίας και αποτελέσματος, ιστογράμματα, γραφήματα, χάρτες ελέγχου κλπ), υποστήριξη και προώθηση, η ιδέα των QC circles αναπτύχθηκε ραγδαία (Juran, 1967). Η δυναμική των QC circles, έδωσε την ώθηση στην ωρίμανση και ανάπτυξη της ιδέας της ολικής ποιότητας ελέγχου (TQC). Οι Ιάπωνες πλέον εφαρμόζουν την περίοδο αυτή στρατηγικά πλάνα που

στοχεύουν βασικά στην ικανοποίηση του πελάτη. Ο ολικός έλεγχος ποιότητας που παρατηρείται στην Ιαπωνία αποτελεί παράδειγμα της νέας τάσης που επικρατεί και αναπτύσσεται παγκοσμίως. Η τάση αυτή αναφέρεται στην ανάπτυξη και επικράτηση ενός νέου κλάδου στον τομέα της ποιότητας που ονομάζεται *Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management)*.

### 1.3.3 Διοίκηση Ολικής Ποιότητας

Οι πολυάριθμες και οι διαφορετικές μεταβολές στο εσωτερικό αλλά και το εξωτερικό περιβάλλον των επιχειρήσεων οδήγησαν στην υιοθέτηση των αρχών της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας. Η αύξηση του καταναλωτισμού και επομένως οι υψηλότερες απαιτήσεις σε ποιότητα, άρχισε την δεκαετία του 60' και είχε βαθιά επιρροή στην διοίκηση της ποιότητας (Juran, 1970). Ο ανταγωνισμός σε παγκόσμιο επίπεδο γίνεται όλο και πιο έντονος, με αποτέλεσμα την ύπαρξη τεχνολογικών και πολιτικών εξελίξεων. Οι ειδικοί στην ποιότητα αναγνωρίζουν και προωθούν την ποιοτική υπεροχή ενός προϊόντος: "Ένα ανώτερο ποιοτικά προϊόν αποτελεί το κλειδί για την οικονομική ευημερία μιας επιχείρησης και ενός κράτους γενικότερα" (Feigenbaum, 1966). Παρ' όλα αυτά χρειάστηκε αρκετός καιρός έως ότου γίνει πλήρως κατανοητή η σημασία της ποιότητας στην επιτυχία μιας επιχείρησης.

Τις δεκαετίες του 80' και του 90' υιοθετείται πλήρως η σημασία της ποιότητας, ενώ ο John Aker της IBM αναφέρει χαρακτηριστικά ότι: "Στο απαιτητικό και

ανταγωνιστικό παγκόσμιο περιβάλλον, η ποιότητα αποτελεί το θεμέλιο και τη βασική απαίτηση για επιβίωση" (Akers, 1991). Ο David Kearns της Xerox προσθέτει ότι: "Έχουμε αρχίσει να κατανοούμε την δύναμη της ποιότητας σαν ανταγωνιστικό όπλο. Συνειδητοποιούμε πλήρως ότι έχουμε να αντιμετωπίσουμε έναν συνεχώς εντεινόμενο ανταγωνισμό ο οποίος οδηγεί σε πολύ υψηλές προσδοκίες των πελατών " (Stratton, 1990).

Ένα σημαντικό γεγονός που καθιέρωσε την ποιότητα ως μία οργανωσιακή στρατηγική αποτέλεσε στις Ηνωμένες Πολιτείες η καθιέρωση του "Malcolm Baldrige National Quality Award (MBNQA)". Ακολούθησαν παρόμοια βραβεία στην Αυστραλία, στην Γαλλία, στον Καναδά, στην Μεγάλη Βρετανία, στο Μεξικό κλπ. Από το 1988 έχουν λάβει χώρα αρκετές εκατοντάδες αιτήσεις για το MBNQA από διάφορες επιχειρήσεις. Στόχος του MBNQA αποτελεί η αναγνώριση επιτευγμάτων πάνω στην ποιότητα για εγχώριες επιχειρήσεις, ενώ παράλληλα δημοσιεύονται οι επιτυχημένες στρατηγικές που εφαρμόζονται.

Διάφορες πρακτικές πάνω στην ποιότητα γίνονται σημείο αναφοράς απαιτήσεων για πιστοποίηση των προμηθευτών. Σε εθνικό επίπεδο η ευρωπαϊκή οικονομική κοινότητα διατυπώνει πρότυπα στην ποιότητα τα οποία θα πρέπει να πληρούν οι διάφορες επιχειρήσεις ώστε να έχουν πρόσβαση στις ευρωπαϊκές αγορές. Η προτυποποίηση ISO 9000 ενσωματώνει και καθοδηγεί σε μεγάλο βαθμό τις αρχές διοίκησης της ποιότητας. Επιπλέον οι ISO 9000 series δημοσιεύονται σε

μία περίοδο όπου η ανάγκη για διεθνή προτυποποίηση στην ποιότητα καθίσταται επιτακτική.

Οι αλλαγές οι οποίες λαμβάνουν χώρα στον τομέα της ποιότητας είναι πολυάριθμες. Παρακάτω αναφέρονται περιεκτικά οι κυριότερες από αυτές:

- ✓ Η ευθύνη για την ποιότητα δεν περιορίζεται μόνο στο τμήμα της ποιότητας (quality department), αλλά μεταφέρεται σε οποιονδήποτε σχετίζεται με την διοίκηση μιας επιχείρησης.
- ✓ Η ποιότητα ενός προϊόντος θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για να κατορθώσει μια επιχείρηση να επιβιώσει στο ανταγωνιστικό περιβάλλον.
- ✓ Η βαρύνουσα σημασία της ποιότητας εκτείνεται πέρα από τα προϊόντα, στον τομέα των υπηρεσιών και της πληροφόρησης, ενώ σχετίζεται πλέον άμεσα με τομείς όπως η υγεία και η εκπαίδευση.
- ✓ Ζητήματα μάθησης, εκπαίδευσης και αυτοδιαχείρισης λαμβάνουν μεγάλη βαρύτητα.
- ✓ Οι επιχειρήσεις εγκαθιστούν διοικητική γραμμή εξουσιών στον τομέα της ποιότητας (π.χ. Vice President for Quality).
- ✓ Αναπτύσσονται, διαδίδονται και χρησιμοποιούνται ευρέως διάφορες μέθοδοι οι οποίες αποσκοπούν στην συνεχή βελτίωση των διαδικασιών της ποιότητας. Η προσπάθεια αυτή για συνεχή βελτίωση της ποιότητας αποτελεί πλέον μία από τις βασικές επιχειρησιακές δραστηριότητες.

- ✓ Οι επιχειρήσεις αναγνωρίζουν την σημασία εστίασης όλων των δραστηριοτήτων τους στον πελάτη και τις απαιτήσεις του. Τα κριτήρια ικανοποίησης και διατήρησης του πελάτη αποτέλεσαν το κλειδί για τη διοίκηση πολλών εταιριών.

Ορισμένοι προσπαθούν να υποβαθμίσουν την μετακίνηση και την ολοένα αυξανόμενη ροπή προς τη διοίκηση ολικής ποιότητας και μειώνουν την σημασία των ανωτέρω εξελίξεων. Παρά τις όποιες αμφιβολίες εκφράζονται, γεγονός είναι ότι οι θεμελιώδεις αρχές, τα αξιώματα και οι διάφορες υποθέσεις της διοίκησης ολικής ποιότητας έχουν εμπεδωθεί σε μεγάλο βαθμό από την επιχειρησιακή πρακτική και παραμένουν αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργίας πολλών εταιριών.

#### **1.4 Στατιστικός έλεγχος ποιότητας**

Ως στατιστικός έλεγχος ποιότητας (statistical quality control) ορίζεται ο έλεγχος της ποιότητας ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας με τη χρησιμοποίηση στατιστικών μεθόδων. Η υλοποίηση ενός προγράμματος στατιστικού ελέγχου ποιότητας βοηθά στην συμμόρφωση με τις προδιαγραφές, στην μείωση της παραγωγής ελαττωματικών προϊόντων και βελτιώνει στο σύνολό της την ποιότητα ενός προϊόντος.



Ένα πρόγραμμα στατιστικού ελέγχου ποιότητας υποδιαιρείται στον σχεδιασμό και στην ανάλυση πειραμάτων (Design of Experiments), στον στατιστικό έλεγχο διεργασιών (Statistical Process Control) και στη δειγματοληψία αποδοχής (Acceptance Sampling). Τα τρία αυτά υποσύνολα περιέχουν στατιστικές μεθόδους προσανατολισμένες σε διαφορετικές φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας.

### **Σχεδιασμός και Ανάλυση Πειραμάτων**

Ο σχεδιασμός και η ανάλυση πειραμάτων (Design Of Experiments) τυγχάνει εφαρμογής σε όλες τις φυσικές και κοινωνικές επιστήμες. Όσον αφορά το στατιστικό έλεγχο ποιότητας, ο σχεδιασμός πειραμάτων περιλαμβάνει την αξιοποίηση όλων εκείνων των στατιστικών τεχνικών που παρέχουν τις κατάλληλες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των διαφόρων παραγόντων (μεταβλητών) που επηρεάζουν τις ποιοτικές παραμέτρους του τελικού προϊόντος. Επομένως, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην όσο το δυνατόν βέλτιστη σχεδίαση της παραγωγικής διεργασίας.

### **Στατιστικός έλεγχος διεργασιών**

Ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών (Statistical Process Control) αποτελεί στατιστική τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως με σκοπό να διαπιστωθεί κατά πόσον οι διάφορες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας ανταποκρίνονται στις τιθέμενες προδιαγραφές. Όλες οι

διεργασίες μπορούν να χαρακτηρισθούν ως υποκείμενα τα οποία εμπεριέχουν ορισμένο βαθμό μεταβλητότητας. Μελετώντας τα διάφορα δεδομένα των διεργασιών (process data) το 1920, ο Walter Shewhart έκανε τη διάκριση μεταξύ κοινών και ειδικών αιτίων που προκαλούν μεταβλητότητα. Επιπλέον, ανέπτυξε ένα απλό αλλά αποτελεσματικό εργαλείο για τη διάκριση τους – το χάρτη ελέγχου (control chart).

Με τη βοήθεια του στατιστικού ελέγχου διεργασιών υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης της απόδοσης μιας διεργασίας. Μία διεργασία θεωρείται ότι ελέγχεται στατιστικά, όταν η μοναδική πηγή μεταβλητότητας προέρχεται από κοινά ή φυσικά (natural) αίτια. Μια διεργασία θα πρέπει να υφίσταται στατιστικό έλεγχο εφόσον εντοπισθούν και στη συνέχεια εξαλειφθούν οι ειδικές (assignable) αιτίες που προκαλούν μεταβολές. Στην περίπτωση αυτή η απόδοση (performance) της διεργασίας είναι προβλέψιμη και κατ' επέκταση υπάρχει δυνατότητα ικανοποίησης των προσδοκιών του εκάστοτε πελάτη. Το αντικείμενο ενός συστήματος ελέγχου διεργασιών είναι να παρέχει στατιστικό σήμα όταν παρουσιάζονται ειδικές αιτίες που προκαλούν μεταβολές. Ένα τέτοιου είδους σήμα δύναται να επιταχύνει τις κατάλληλες ενέργειες, ώστε να εξαλειφθούν τα ειδικά αυτά αίτια.

Υπάρχουν επτά βασικά “εργαλεία ποιότητας” τα οποία βοηθούν τις επιχειρήσεις να κατανοήσουν καλύτερα και να βελτιώσουν τις διάφορες παραγωγικές διαδικασίες. Τα εργαλεία αυτά είναι:

- a) Το φύλλο ελέγχου (*Check Sheet*)
- b) Το διάγραμμα αιτίας – αποτελέσματος (*Cause-and-effect sheet*)
- c) Το διάγραμμα ροής (*Flow Chart*)
- d) Το διάγραμμα Pareto (*Pareto Chart*)
- e) Το διάγραμμα διασποράς ή νέφους σημείων (*Scatter Diagram*)
- f) Το ιστόγραμμα (*Histogram*)
- g) Το διάγραμμα ελέγχου (*Control Chart*)

Οι προκαταρκτικές φάσεις του στατιστικού ελέγχου διεργασιών περιλαμβάνουν αρκετά βήματα στα οποία γίνεται χρήση ορισμένων από τα προαναφερόμενα εργαλεία.

#### **Δειγματοληψία αποδοχής**

Η δειγματοληψία αποδοχής (*acceptance sampling*) πρόκειται για μια μορφή ελέγχου η οποία περιλαμβάνει λήψη τυχαίων δειγμάτων ή διαφορετικά λήψη τυχαίων παρτίδων (*batches*) τελικών προϊόντων και η αξιολόγησή τους γίνεται με βάση προκαθορισμένα κριτήρια. Ασφαλώς η δειγματοληψία αποτελεί οικονομικότερη μέθοδο από μία 100% επιθεώρηση (*inspection*) των τελικών προϊόντων. Η ποιότητα του δείγματος χρησιμοποιείται για να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την παραγωγική διαδικασία στο σύνολό της. Με τη βοήθεια της αποδοχής δειγματοληψίας υπάρχει δυνατότητα επιθεώρησης τόσο

των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων όσο και των διαφόρων μεταβλητών. Παρ' όλα αυτά η επιθεώρηση χαρακτηριστικών γνωρισμάτων χρησιμοποιείται περισσότερο.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η δειγματοληψία αποδοχής μπορεί να εφαρμοσθεί είτε όταν τα υλικά φθάνουν σε κάποιο εργοστάσιο είτε όταν τα προϊόντα είναι έτοιμα για τελική επιθεώρηση. Συνήθως όμως χρησιμοποιείται για έλεγχο εισερχόμενων παρτίδων οι οποίες προορίζονται για πώληση. Ορισμένα τεμάχια απορρίπτονται εξ' αιτίας του μη αποδεκτού επιπέδου ελαττωμάτων που εμπεριέχονται σ' αυτά. Τα ελαττωματικά αυτά προϊόντα επιστρέφονται στον προμηθευτή. Σε διαφορετική περίπτωση λαμβάνει χώρα διαδικασία 100% επιθεώρησης, με σκοπό τον εντοπισμό όλων των ελαττωματικών, ενώ το κόστος της επιθεώρησης επιβαρύνει συνήθως τον προμηθευτή. Δεν πρέπει βέβαια να θεωρηθεί ότι η δειγματοληψία αποδοχής αποτελεί υποκατάστατο για επαρκή έλεγχο των διεργασιών. Στόχος αποτελεί η δημιουργία στατιστικών ελέγχων ποιότητας, ώστε να περιοριστεί στο ελάχιστο η δειγματοληψία αποδοχής.

## **1.5 Στατιστικός έλεγχος ποιότητας στις υπηρεσίες**

Τα εργαλεία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας χρησιμοποιούνται ευρέως στις βιομηχανικές επιχειρήσεις εδώ και αρκετά χρόνια. Κατασκευαστές όπως η Motorola, η General Electric, η Toyota κλπ έχουν αποδείξει τις αρχηγικές τους ικανότητες στην εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, σε αντίθεση με

επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών οι οποίες έχουν μείνει πίσω ως προς την εξέλιξη τους στον τομέα αυτό. Η σημαντικότερη αιτία είναι ότι ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας απαιτεί μετρήσεις κάτι το οποίο δεν θεωρείται απλό όταν κάποιος αναφέρεται σε υπηρεσίες. Άλλωστε οι υπηρεσίες προσφέρουν συνήθως ένα ανέγγιχτο (intangible) προϊόν του οποίου η ποιότητα μπορεί να θεωρηθεί ως κάτι υποκειμενικό.

Ένας τρόπος για να μετρηθεί η ποιότητα των υπηρεσιών είναι να εφευρεθούν ποσοτικοποιημένες μετρήσεις των σημαντικότερων διαστάσεων μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Ως παραδείγματα αναφέρονται ο αριθμός παραπόνων τα οποία λαμβάνονται μηνιαίως, ο αριθμός κουδουνισμάτων σε τηλεφωνικές κλήσεις μετά από τον οποίο λαμβάνεται απάντηση ή ο χρόνος αναμονής ενός πελάτη. Οι τύποι αυτοί των μετρήσεων δεν είναι υποκειμενικοί ή καλύτερα δεν αποτελούν υποκείμενο ερμηνείας. Αντιθέτως μπορούν να μετρηθούν και να καταγραφούν. Επομένως, υπάρχει δυνατότητα ανάπτυξης αποδεκτών ορίων ελέγχου, ενώ οι διάφορες μεταβλητές μπορούν να μετρηθούν περιοδικά.

Ένα άλλο ζήτημα το οποίο περιπλέκει την ποιότητα ελέγχου στις υπηρεσίες είναι ότι οι υπηρεσίες συνήθως καταναλώνονται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Συνεπώς, ο χρόνος για βελτίωση της ποιότητας είναι σε αρκετές περιπτώσεις περιορισμένος, ενώ τα άτομα όπου έρχονται σε επαφή με τον πελάτη αποτελούν κομμάτι της παρεχόμενης υπηρεσίας. Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος για την αντιμετώπιση του ζητήματος αυτού σε μια

εταιρεία παροχής υπηρεσιών αποτελεί η υψηλού επιπέδου εκπαίδευση των εργαζομένων, έτσι ώστε να μπορούν κι αυτοί να λαμβάνουν αποφάσεις με στόχο πάντοτε την ικανοποίηση του πελάτη.

Μία από τις επιχειρήσεις οι οποίες έχουν αποδείξει την ικανότητά τους στον έλεγχο ποιότητας αποτελεί η Ritz – Carlton Hotel Company. Η πολυτελής αυτή αλυσίδα ξενοδοχείων τροφοδοτεί με τα απαιτούμενα ταξιδιώτες που αναζητούν υπηρεσίες υψηλού επιπέδου. Σκοπός της εν λόγω αλυσίδας αποτελεί η αναγνώρισή της ως προς τη διακεκριμένη ποιότητα των υπηρεσιών της. Για το λόγο αυτό διατηρεί αρχεία στα οποία καταγράφονται λεπτομερώς οι ιδιαίτερες προτιμήσεις των πελατών της. Για να τους διατηρήσει μάλιστα ικανοποιημένους, η επιχείρηση έχει εξουσιοδοτήσει τους υπαλλήλους να δαπανούν έως \$2,000 για να διευθετήσουν κάποιο παράπονο που έχει εκφραστεί. Είναι αξιοσημείωτο ότι η συγκεκριμένη αλυσίδα ξενοδοχείων έχει λάβει αρκετά βραβεία ποιότητας συμπεριλαμβανομένου και του Malcom Baldrige National Quality Award (δύο φορές). Αποτελεί δε την μοναδική επιχείρηση στο χώρο των υπηρεσιών που έχει κατορθώσει κάτι τέτοιο.

Παράλληλα με όσα έχουν αναφερθεί, οι οργανισμοί παροχής υπηρεσιών οφείλουν να χρησιμοποιούν στατιστικά εργαλεία, ώστε να αξιολογούν τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα και να παρακολουθούν την απόδοσή τους. Για παράδειγμα, η αλυσίδα ξενοδοχείων Marriott είναι γνωστή για τη μεθοδική συλλογή δεδομένων που διενεργεί με σκοπό την αξιολόγηση των πελατών της. Η

εταιρεία εξετάζει και αξιολογεί τυχαία περισσότερους από ένα εκατομμύριο φιλοξενούμενους στα ξενοδοχεία της κάθε χρόνο. Τα δεδομένα που συλλέγονται, αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων και εξετάζονται συνεχώς. Με τον τρόπο αυτό εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με θέματα, όπως οι τάσεις και οι αλλαγές στις προτιμήσεις των καταναλωτών. Η ανάλυση δεδομένων γίνεται μέσω στατιστικών τεχνικών που παράγουν σημαντικές πληροφορίες, όπως ο προσδιορισμός της βαρύτητας του εκάστοτε ξενοδοχείου Marriott στη συνολική απόδοση της επιχείρησης και ο εντοπισμός των ξενοδοχείων της αλυσίδας στα οποία απαιτείται βελτίωση. Οι παραγόμενες πληροφορίες επιτρέπουν στην επιχείρηση να παράγει υψηλό επίπεδο υπηρεσιών, να προεξοφλεί τις απαιτήσεις των πελατών και να εμπλουτίζει τις υπηρεσίες της με ουσιαστικά χαρακτηριστικά τα οποία προσδίδουν μεγαλύτερη αξία για τον πελάτη.

## 1.6 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύχθηκαν αρχικά η έννοια και οι διαστάσεις της ποιότητας. Το μάντζμεντ μιας επιχείρησης σήμερα οφείλει να αναγνωρίσει την ποιότητα σαν μια πολύπλευρη έννοια η οποία ενσωματώνει τις διαστάσεις της. Οι διαστάσεις της ποιότητας παρουσιάστηκαν τόσο για προϊόντα όσο και για υπηρεσίες με την παράθεση παραδειγμάτων.

Ακολούθησε ιστορική αναδρομή της ποιότητας. Για το σκοπό αυτό έλαβε χώρα αναφορά σε τρία διαφορετικά στάδια (χρονικές περιόδους): α) στην προ-

βιομηχανική περίοδο β) στην εφαρμογή του ελέγχου ποιότητας και γ) στη διοίκηση ολικής ποιότητας. Μέσα από την ιστορική αναδρομή, διαπιστώνεται ότι ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας αποτέλεσε τον προάγγελο της διοίκησης ολικής ποιότητας (total quality management).

Ο Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας υποδιαιρείται στον σχεδιασμό και στην ανάλυση πειραμάτων (Design of Experiments), στον στατιστικό έλεγχο διεργασιών (Statistical Process Control) και στη δειγματοληψία αποδοχής (Acceptance Sampling). Καθένα από τα τρία αυτά στάδια αναφέρεται σε διαφορετικές φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Στο κεφάλαιο αυτό δόθηκαν ορισμένα γενικά στοιχεία για το τι περιλαμβάνει το κάθε στάδιο και αναφέρθηκαν τα κυριότερα εργαλεία αυτών.

Τέλος, ιδιαίτερη μνεία έγινε στην εφαρμογή του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας στον τομέα των υπηρεσιών. Αναμφισβήτητα, οι εταιρίες παροχής υπηρεσιών δεν έχουν εφαρμόσει σε μεγάλο βαθμό, σε σύγκριση με τις εταιρίες παροχής προϊόντων, μεθόδους βασισμένες στον Στατιστικό Έλεγχο Ποιότητας. Η φύση της υπηρεσίας συγκρινόμενη με αυτήν του προϊόντος ίσως δικαιολογεί κάτι τέτοιο. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν επιχειρήσεις, όπως η αλυσίδα ξενοδοχείων Marriott και η Ritz – Carlton Hotel Company, που έχουν εφαρμόσει αποτελεσματικά στατιστικές μεθόδους για τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών τους. Τέτοιου είδους επιχειρήσεις θα πρέπει να αποτελέσουν



παράδειγμα προς μίμηση για εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην παροχή υπηρεσιών.

ΓΕΛΕΥΣΗ (2010) - 2η Ερώση

1. Γραβιανός Δ. (2000) «Βασικά Στοιχεία και Μέθοδοι για την Έκταση της Γνώσης ΤΩΡΕ, 1<sup>η</sup> Έκδοση
2. Δραβιανός Δ. (2001) «Βασικές Έκτατες Γνώσεις για την Έκταση»
3. Το Μάτι (2004) «Προβλεψη «Παράδειγμα»

Βιβλιογραφία (2010)

1. Barak, I. (1989). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 1(1), 1-10. New York
2. Barak, I.J. (1989). The quality of quality. In H. Goulet and W. B. (Eds.), *Quality of Quality*. New York: Praeger Publishers.
3. Barak, I.J. (1990). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 1(1), 1-10. New York
4. Barak, I.J. (1991). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 2(1), 1-10. New York
5. Barak, I.J. (1992). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 3(1), 1-10. New York
6. Barak, I.J. (1993). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 4(1), 1-10. New York
7. Barak, I.J. (1994). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 5(1), 1-10. New York
8. Barak, I.J. (1995). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 6(1), 1-10. New York
9. Barak, I.J. (1996). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 7(1), 1-10. New York
10. Barak, I.J. (1997). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 8(1), 1-10. New York
11. Barak, I.J. (1998). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 9(1), 1-10. New York
12. Barak, I.J. (1999). The quality of quality. *Journal of Quality Management*, 10(1), 1-10. New York

## ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική (Βιβλία - Άρθρα)

1. Γραφανάκης, Δ. (2000), «Βασικά Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας, Τόμος Δ'», Πάτρα
2. Δαμιανού, Χ. (1996), «Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας και Αξιοπιστία», Αθήνα
3. Τα Νέα (2006, 24 Ιουλίου), «Ανοιχτό MBA»

### Ξενόγλωσση (Βιβλία)

1. Banks, J. (1989), Principles of quality control, John Wiley & Sons, New York
2. Booth, C.E. (1964), The Early years--1924 to 1940. In N. Goldfarb & W. K. Kaiser (eds.), Gantt charts and statistical quality control, Hofstra University, New York
3. Conterio, A., & F. Da Villa (1995), The arsenale of the venetian republic. In J.M. Juran's (ed.) A history of managing for quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
4. Duncan, A. J. (1986), Quality Control and Industrial Statistics. 5<sup>th</sup> ed. Homewood, Irwin, Illinois
5. Evans, James R., and William M. Lindsay (1999), The Management and Control of Quality, 4<sup>th</sup> ed. South-Western, Cincinnati
6. Feigenbaum, A. V. (1991), Total Quality Control, McGraw-Hill, New York
7. Garvin, D. (1988), Managing quality, MacMillan, NY

8. George, C. (1968), The history of management thought. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey
9. Goswamy, B. (1995), Quality in early India: Different levels of understanding, different levels of concern. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
10. Grant, E. L., and R. S. Leavenworth (1998), Statistical Quality Control. 6<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill, New York
11. Heizer, J., Render, B. (2005), Operations Management, 8<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, New Jersey
12. Hutchins, D. (1995), The history of managing for quality in the United Kingdom. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
13. Juran, J. (1995). Summary, trends, and prognosis. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
14. Konareva, L. (1995), Examples of quality management in the history of Russia. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
15. Lerner, F. (1995), History of quality assurance in Germany. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
16. Montgomery, D. (2001), Introduction to Statistical Quality Control, 4<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc NY
17. Nonaka, I. (1995). The recent history of managing for quality in Japan. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee

18. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie (1980), Principles and Procedures of Statistics, McGraw-Hill, New York
19. Swift, J. (1995), Modern Statistical Quality Control and Management, St Lucie Press, Florida
20. Walton, M. (1986), The Deming management method, Putnam, New York

### Ξενόγλωσση (Άρθρα)

1. Akers, J. (1991), World-class quality: Nothing less will do, Quality Progress, Vol. 24(10), pp 26-27
2. Deming, W. E. (1967), What happened in Japan?, Industrial Quality Control, Vol. 24(2), pp 89-93
3. Dooley, K. (1999), Advances in the Management of Organizational Quality, Vol. 5, pp 1-28
4. Feigenbaum, A. (1966), Superior product quality--A renewed American challenge, Industrial Quality Control, Vol. 23(2), pp 81-86
5. Juran, J. (1967), The qc circle phenomenon, Industrial Quality Control, Vol. 23(7), pp 329-335
6. Juran, J. (1970), Consumerism and product quality, Quality Progress, Vol. 3(7), pp 18-27
7. Juran, J. (1991), World war II and the quality movement, Quality Progress, Vol. 24(12), pp 19-24

8. Marquardt, D., Chove', J., Jensen, K.E., Petrick, K., Pyle, J., & D. Strahle (1991). Vision 2000: The strategy for the ISO 9000 series standards in the 90's, Quality Progress, Vol. 24(5), pp 25-31
9. Stratton, B. (1990), A forum for the power of quality, Quality Progress, Vol. 23(2), pp 21-24
10. Wareham, R., & B. Stratton (1991), Standards, sampling, and schooling, Quality Progress, Vol. 24(12), pp 38-42

#### URLs

1. [http://www.juse.or.jp/e/qc/01\\_qc.html](http://www.juse.or.jp/e/qc/01_qc.html)
2. [http://www.nist.gov/public\\_affairs/factsheet/mbnqa.html](http://www.nist.gov/public_affairs/factsheet/mbnqa.html)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή των εργαλείων του στατιστικού ελέγχου ποιότητας είναι ευρύτατη σε βιομηχανικές και διοικητικές δραστηριότητες, όπως επίσης και στον τομέα των υπηρεσιών. Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί η διεξοδική ανάπτυξη των βασικότερων εργαλείων ποιότητας η οποία συνοδεύεται από πρακτικές εφαρμογές, έτσι ώστε τόσο η διαδικασία εφαρμογής όσο και η ερμηνεία του τελικού αποτελέσματος να γίνουν αντιληπτές με κατάλληλο τρόπο.

Η λογική πάνω στην οποία βασίζονται τα εν λόγω εργαλεία θεωρείται σχετικά απλή και δεν περιέχει περίπλοκους υπολογισμούς και δυσνόητες έννοιες. Είναι απαραίτητο βέβαια να αναφερθεί ότι η χρησιμοποίησή τους δεν αρκεί για την επίλυση των διαφόρων προβλημάτων, αλλά πρέπει να συνδυάζεται με την κοινή λογική. Όλα τα στατιστικά εργαλεία ποιότητας έχουν κάποιο στατιστικό υπόβαθρο. Επομένως, επικρατεί η αντίληψη ότι αποτελούν την ουσία και την βάση του στατιστικού ελέγχου που σχετίζεται με την ποιότητα.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία γίνεται αναφορά σε επτά βασικά στατιστικά εργαλεία και συγκεκριμένα στο ιστόγραμμα, στο διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος, στην ανάλυση Pareto, στο φύλλο ελέγχου, στο διάγραμμα ροής, στο διάγραμμα διασποράς ή νέφους σημείων και στο διάγραμμα ελέγχου. Πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν και άλλα στατιστικά εργαλεία, όπως το διάγραμμα συγκέντρωσης ελαττωμάτων, το δέντροδιάγραμμα, η ανταλλαγή απόψεων (brainstorming), το διάγραμμα συνάφειας, το διάγραμμα σχέσεων, η ανάλυση δυνάμεως – πεδίου, η πολυμεταβλητή ανάλυση, η μοντελοποίηση – προσομοίωση κτλ.

## **2.2 Βασικές ενέργειες εφαρμογής στατιστικών εργαλείων και τεχνικών**

Πρωταρχικός στόχος της χρησιμοποίησης στατιστικών εργαλείων από μια επιχείρηση αποτελεί η συνεισφορά αυτών, αφενός στον εντοπισμό προβλημάτων και αφετέρου στην πραγματοποίηση ποικίλων βελτιώσεων στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένες ενέργειες βαρύνουσας σημασίας που σχετίζονται με την εφαρμογή στατιστικών εργαλείων και τεχνικών.

- Κατ' αρχάς θεωρείται απαραίτητη η εκπαίδευση των ομάδων εκείνων που εμπλέκονται στην χρήση στατιστικών εργαλείων. Για ευνόητους λόγους η εκπαίδευση πρέπει να λαμβάνει χώρα την χρονική περίοδο λίγο πριν από την έναρξη της εφαρμογής.

- Η εκπαίδευση πρέπει να στηρίζεται σε πρακτικά παραδείγματα που να σχετίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο με τη φύση της εργασίας των ομάδων.
- Στην εκπαίδευση πρέπει να περιλαμβάνεται αναλυτικά η παρουσίαση όλων των σταδίων κατασκευής και χρήσης των στατιστικών εργαλείων και τεχνικών.
- Η φύση της εργασίας των διαφόρων ομάδων διαφέρει άλλες φορές λιγότερο και άλλες περισσότερο. Για το λόγο αυτό υπάρχει πιθανότητα ορισμένες από τις ομάδες να χρειάζονται περαιτέρω εξειδίκευση σε κάποιο στατιστικό εργαλείο.
- Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό δεν υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ κάθε εργαλείου και εφαρμογής του σε οποιοδήποτε πρόβλημα. Συνεπώς, θεωρείται απαραίτητη η κατανόηση από τα ανώτερα στελέχη της χρησιμότητας των εργαλείων και της αποδοχής της αναγκαιότητας χρήσης τους.
- Η χρήση των στατιστικών εργαλείων πρέπει να ενσωματωθεί στην κουλτούρα των εργαζομένων, ενώ συνίσταται τουλάχιστον ένας εργαζόμενος από κάθε τομέα να συμμετέχει στην ομάδα εφαρμογής των εργαλείων πάνω στον συγκεκριμένο τομέα.
- Συνήθως οι ομάδες εφαρμογής αποτελούνται από 5 έως 8 άτομα. Οι στόχοι τους πρέπει να τίθενται από τα ανώτερα στελέχη με ανασκόπηση της αποτελεσματικότητας των ομάδων ανά τακτά χρονικά διαστήματα.



- Οι προτάσεις των ομάδων εφαρμογής πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψιν, ενώ σε περίπτωση μη υλοποίησης των προτάσεων αυτών η ανώτερη διοίκηση καλείται να δώσει τις απαραίτητες εξηγήσεις.
- Βοηθητικός παράγοντας επιτυχίας αποτελεί και η δημιουργία μηχανισμού συλλογής προτάσεων βελτίωσης από τους εργαζομένους, όπου υπάρχει αυτή η δυνατότητα.

Οι προαναφερθείσες ενέργειες μειώνουν τις δυσκολίες που συχνά συναντώνται όσον αφορά την κατανόηση και την εφαρμογή στατιστικών εργαλείων και τεχνικών.

### 2.3 Ανάλυση Pareto

Ένας χάρτης Pareto (Pareto chart) περιλαμβάνει "μία σειρά από μπάρες των οποίων τα ύψη απεικονίζουν τη συχνότητα ή την επιρροή (impact) διαφόρων προβλημάτων. Οι μπάρες παρατίθενται με φθίνουσα σειρά βάση του ύψους τους από αριστερά προς τα δεξιά. Αυτό σημαίνει ότι οι κατηγορίες που αντιπροσωπεύουν τις ψηλές μπάρες στα αριστερά θεωρούνται σχετικά πιο σημαντικές από εκείνες που αντιπροσωπεύουν τις δεξιές μπάρες" (Scholtes, P.R. et al, 1988).<sup>18</sup> Ο χάρτης πήρε το όνομά του από την αρχή του Pareto, σύμφωνα με την οποία το 20% των αιτιών προκαλεί το 80% του προβλήματος.

<sup>18</sup> Scholtes, P.R. et al, 1988, σελίδα 12

## *Γιατί και πότε πρέπει να χρησιμοποιούνται οι χάρτες Pareto;*

Εύκολα μπορεί κανείς να διαπιστώσει τα οφέλη της χρήσης ενός χάρτη Pareto σε οικονομικούς όρους. “Ένας χάρτης Pareto χωρίζει ένα μεγάλο πρόβλημα σε μικρότερα κομμάτια και αναγνωρίζει τη σημασία των παραγόντων που συνεισφέρουν. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη βελτίωσης δια μέσου των διαθέσιμων πόρων (resources), υποδεικνύοντας που πρέπει να εστιάσουν οι προσπάθειες ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η αρχή του Pareto δηλώνει ότι ένας μικρός αριθμός αιτιών ευθύνεται για τη δημιουργία των περισσότερων προβλημάτων. Η εστίαση των προσπαθειών στις ζωτικές αυτές αιτίες, οδηγεί συνήθως στην καλύτερη χρήση των πολύτιμων πηγών” (Madison, 1992).<sup>19</sup>

Ένας χάρτης Pareto θεωρείται κατάλληλο εργαλείο όταν εξετάζονται παραγόμενα προϊόντα τα οποία αναλύονται σε κατηγορίες. Ανεξάρτητα με το που βρίσκονται οι διαδικασίες βελτίωσης (process improvement efforts) οι χάρτες Pareto μπορούν να φανούν χρήσιμοι. Σε γενικές γραμμές, οι ομάδες εργασίας οφείλουν να εστιάσουν την προσοχή τους στα σημαντικότερα προβλήματα – εκείνα με τις μεγαλύτερες μπάρες (Schotles, 1988).

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων για τη λύση ενός προβλήματος δεν περιλαμβάνει μόνο τη χρήση της αρχής του Pareto. Δεδομένου ότι οι χάρτες Pareto μεταβιβάζουν πληροφορίες με έναν τρόπο που καθιστά κάποιον ικανό να

<sup>19</sup> Madison, 1992. σελίδα 13

ξεχωρίσει τις επιλογές που ενδεχομένως έπρεπε να έχουν γίνει, δίνουν τη δυνατότητα να τεθούν ορισμένες προτεραιότητες για επικείμενες πρακτικές εφαρμογές. Ορισμένα ζητήματα στην αντιμετώπιση ή στην βελτίωση των οποίων συντελούν οι χάρτες Pareto είναι τα εξής:

- ✓ Διαδικασία βελτίωσης των προσπαθειών για αυξημένη ετοιμότητα των διαφόρων μονάδων
- ✓ Ανάγκες πελατών
- ✓ Προμηθευτές
- ✓ Επενδυτικές ευκαιρίες

#### ***Πως κατασκευάζεται ένας χάρτης Pareto;***

Για το σχεδιασμό ενός χάρτη Pareto, χρειάζεται αρχικά η συλλογή και η κατηγοριοποίηση σημαντικών δεδομένων. Στη συνέχεια αναφέρονται τα απαιτούμενα βήματα για την κατασκευή του χάρτη:

Βήμα 1<sup>ο</sup> - *Καταγραφή των μη επεξεργασμένων δεδομένων.* Τοποθέτηση σε λίστα κάθε κατηγορίας συνοδευόμενης με την εκτίμηση των δεδομένων της.

Βήμα 2<sup>ο</sup> - *Ταξινόμηση δεδομένων.* Δημιουργία ενός φύλλου ανάλυσης (analysis sheet) τοποθετώντας πρώτα την κατηγορία εκείνη με τα μεγαλύτερα εκτιμώμενα δεδομένα.

Βήμα 3<sup>ο</sup> - Ονομασία του κατακόρυφου άξονα στα αριστερά (*left – hand vertical axis*). Για να γίνει αυτό, πρέπει να υπάρχει η βεβαιότητα ότι οι ετικέτες απέχουν μεταξύ τους ίσα διαστήματα (ξεκινώντας από το 0), ενώ το κάθε διάστημα θα είναι ίσο ή λίγο μεγαλύτερο από όλες τις εκτιμήσεις που έχουν λάβει χώρα.

Βήμα 4<sup>ο</sup> - Ονομασία του οριζόντιου άξονα. Το πλάτος σε όλες τις μπάρες παραμένει ίδιο, ενώ η ονομασίες ξεκινούν από τη μεγαλύτερη στη μικρότερη. Μια άλλη κατηγορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελευταία, με στόχο τη “σύλληψη” αρκετών μικρότερων συνόλων από δεδομένα. Σε κάθε μία μπάρα δίδεται ένας υπότιτλος. Σε περίπτωση όπου οι ονομασίες είναι αρκετά μεγάλες, δίδονται στις μπάρες οι υπότιτλοι Α, Β, C κλπ. Στη συνέχεια επεξηγείται πάνω στο χάρτη τι φανερώνει κάθε ένας από τους υπότιτλους.

Βήμα 5<sup>ο</sup> – Αποτύπωση μπάρας για κάθε κατηγορία. Το ύψος κάθε μπάρας πρέπει να ισούται με την αποτίμηση για την αντίστοιχη κατηγορία, ενώ τα πλάτη είναι τα ίδια ακριβώς για κάθε μπάρα.

Βήμα 6<sup>ο</sup> – Εύρεση αθροιστικών τιμών. Η αθροιστική τιμή κάθε κατηγορίας ισούται με το άθροισμα τις τιμής της κατηγορίας αυτής και των τιμών για όλες τις υψηλότερες κατηγορίες.

Βήμα 7<sup>ο</sup> – Δημιουργία μιας αθροιστικής γραμμής (*cumulative line*). Το βήμα αυτό είναι προαιρετικό. Συγκεκριμένα γίνεται αρίθμηση του δεξιού άξονα από 0 έως 100%, ενώ στοιχίζεται το 100% με το υψηλότερο άθροισμα στον αριστερό άξονα. Για κάθε κατηγορία, τοποθετούμε ένα σημείο του οποίου οι συντεταγμένες αντιστοιχούν στο σημείο στο οποίο η επέκταση της γραμμής της δεξιάς άκρης της μπάρας της κατηγορίας αυτής τέμνει την αθροιστική τιμή αυτής.

Βήμα 8<sup>ο</sup> – Προστίθεται τίτλος, υπόμνημα και ημερομηνία.

Βήμα 9<sup>ο</sup> – Ανάλυση του διαγράμματος. Γίνεται εντοπισμός του σημείου διακοπής (*break point*) στο αθροιστικό ποσοστιαίο γράφημα. Το σημείο αυτό είναι δυνατόν να αναγνωριστεί από μία αξιοσημείωτη μεταβολή στην κλίση του γραφήματος, ενώ διαχωρίζει τις σημαντικότερες κατηγορίες από τις υπόλοιπες.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αρχή του Pareto δεν έχει πάντοτε ισχύ. Άσχετα με τον αριθμό δεδομένων που κατηγοριοποιούνται, αυτά μπορούν να ταξινομηθούν και να δημιουργήσουν ένα διάγραμμα Pareto. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις καμία μπάρα δεν διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες και ο χάρτης Pareto δείχνει επίπεδος ή με κάποια ελαφρά κλίση. Στην περίπτωση αυτή προτείνεται η εύρεση ενός διαφορετικού τρόπου κατηγοριοποίησης των δεδομένων. Ακολουθεί ένα παράδειγμα που διευκρινίζει τη διαδικασία κατασκευής ενός χάρτη Pareto.

**Παράδειγμα 2.1:** Έστω ότι κάποιος κληρονομεί \$10,000 και επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το ποσό αυτό για την διευθέτηση ορισμένων απλήρωτων λογαριασμών. Οι οφειλές του παρατίθενται στον Πίνακα 2.1. Παράλληλα, ο πίνακας αυτός καθώς και το Διάγραμμα 2.1 δείχνουν έναν πιθανό τρόπο όπου τα δεδομένα μπορούν να καταγραφούν σε ένα φύλλο ανάλυσης και να δημιουργήσουν έναν χάρτη Pareto.

Στο Διάγραμμα 2.1 δεν παρατηρείται καμία σημαντική διαφοροποίηση στις μπάρες που αντιστοιχούν στις διάφορες κατηγορίες. Συνεπώς, οι αριθμητικές τιμές των οφειλόμενων υποχρεώσεων δεν προσφέρουν κάποια σημαντική βοήθεια σχετικά με την αποτελεσματικότερη χρησιμοποίηση του διατιθέμενου ποσού.

**Πίνακας 2.1**  
**Παράδειγμα φύλλου ανάλυσης οφειλόμενων υποχρεώσεων**

Κατηγορία	Ποσό (\$)
Δίδακτρα σχολείου (μηνιαίες οφειλές)	2,030
Visa	2,007
Χρηματοδότηση για αθλητικές εγκαταστάσεις (μηνιαίες οφειλές)	2,000
MasterCard	1,983
Υπόλοιπο δανείου για αγορά αυτοκινήτου	1,971
Υπόλοιπο δανείου για βελτίωση κατοικίας	1,956
Συνολικό ποσό	11,947



**Διάγραμμα 2.1**

**Παράδειγμα χάρτη Pareto για οφειλόμενες υποχρεώσεις**

Στην περίπτωση αυτή τίθεται το ερώτημα εάν υπάρχει καταλληλότερος τρόπος κατηγοριοποίησης των δεδομένων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα επιτόκια των διαφόρων υποχρεώσεων. Η κατηγοριοποίηση αυτή προσφέρει μια καθαρότερη εικόνα των οφειλόμενων υποχρεώσεων και δίνει τη δυνατότητα για τη λήψη καλύτερης απόφασης σχετικά με τη διαχείριση των χρημάτων. Το φύλλο ανάλυσης και ο χάρτης Pareto με βάση το επιτόκιο φαίνονται στον Πίνακα 2.2 και στο Διάγραμμα 2.2, ενώ η ανάλυση του διαγράμματος παρατίθεται αμέσως παρακάτω. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν παρουσιάζεται η αθροιστική γραμμή (Βήμα 7) στην δεξιά πλευρά του χάρτη διότι ίσως υπάρξει σύγχυση στην δημιουργία ενός ποσοστού ποσοστών.

Πίνακας 2.2

Παράδειγμα φύλλου ανάλυσης επιτόκιου οφειλόμενων υποχρεώσεων

Κατηγορία	Επιτόκιο
Visa	21
MasterCard	18
Υπόλοιπο δανείου για αγορά αυτοκινήτου	9
Υπόλοιπο δανείου για βελτίωση κατοικίας	6
Δίδακτρα σχολείου (μηνιαίες οφειλές)	2
Χρηματοδότηση για αθλητικές εγκαταστάσεις (μηνιαίες οφειλές)	1



Διάγραμμα 2.2

Παράδειγμα χάρτη Pareto για επιτόκιο οφειλόμενων υποχρεώσεων



### *Πως ερμηνεύεται ένας χάρτης Pareto;*

Η παρατήρηση ενός χάρτη Pareto, και συγκεκριμένα η εύρεση των σημείων διακοπής (break points), βοηθά κάποιον να θέσει με κατάλληλο τρόπο τις προτεραιότητες του.

Στο Διάγραμμα 2.2 του παραδείγματος που αναφέρθηκε υπάρχουν δύο σημεία διακοπής με βάση τον δεύτερο τρόπο κατηγοριοποίησης των δεδομένων:

- Το πρώτο σημείο διακοπής βρίσκεται μεταξύ της δεύτερης και της τρίτης μπάρας. Η διαφορά ύψους στις δύο αυτές μπάρες είναι αξιοσημείωτη. Αυτό δείχνει την σχετική σημασία που έχουν οι δύο πρώτες μπάρες σε σχέση με τις υπόλοιπες.
- Το δεύτερο σημείο διακοπής παρατηρείται μετά την τέταρτη μπάρα. Επομένως η διευθέτηση των τεσσάρων πρώτων κατηγοριών έχει μεγαλύτερη σημασία συγκρινόμενη με τις δύο απομένουσες.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η κατηγοριοποίηση των δεδομένων με βάση το επιτόκιο δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων μέσω του εντοπισμού των σημείων διακοπής.

## 2.4 Ιστόγραμμα

Ένα ιστόγραμμα αποτελεί ένα διάγραμμα με κάθετες μπάρες που απεικονίζει την κατανομή ενός συνόλου δεδομένων. Το ύψος τους είναι ανάλογο με τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών που αντιπροσωπεύουν. Σε αντίθεση με τους χάρτες ελέγχου, ένα ιστόγραμμα δεν εκφράζει την απόδοση μιας διαδικασίας στη διάρκεια του χρόνου. Συγκεκριμένα, μπορεί κανείς να φανταστεί το ιστόγραμμα ως ένα φωτογραφικό στιγμιότυπο.

### *Γιατί χρησιμοποιείται ένα ιστόγραμμα;*

Η κατασκευή ενός ιστογράμματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους παρακάτω σκοπούς:

- Συνοψίζει γραφικά μεγάλα σύνολα δεδομένων.
- Συγκρίνει αποτελέσματα διαδικασιών οι οποίες ακολουθούν ορισμένα όρια προδιαγραφών (specification limits). Επομένως, δίνεται η δυνατότητα να διακρίνει κανείς κατά πόσον μια διαδικασία μπορεί να παράγει "κατάλληλα" προϊόντα.
- Συνδέει γραφικά διάφορες πληροφορίες. Σε περίπτωση όπου ένα ιστόγραμμα χρησιμοποιείται για να συνοψίσει σύνολα δεδομένων ή για σύγκριση μετρήσεων με προδιαγραφές, τότε αποτελεί ένα πολυδύναμο εργαλείο για μετάδοση πληροφοριών.

- Χρησιμοποιείται ως βοηθητικό εργαλείο στη λήψη αποφάσεων. Εξετάζοντας ένα ιστόγραμμα, παρατηρεί κανείς ότι ορισμένες μορφές (shapes), μεγέθη και κατανομές δεδομένων μπορούν να βοηθήσουν στην εξέταση προβλημάτων και κατ' επέκταση στην λήψη αποφάσεων.

Τα ιστογράμματα αποκαλύπτουν σημαντικές πληροφορίες για τα διάφορα σύνολα τιμών. Τέτοιες είναι η *κεντρική τάση*, η *μεταβλητότητα των τιμών* (που προσδιορίζεται από το *εύρος* ή την *τυπική απόκλιση*) και το *σχήμα της κατανομής των τιμών*. Με το ιστόγραμμα συλλέγονται στοιχεία για την τρέχουσα κατάσταση ενός συστήματος και επιδιώκονται κάποιες βελτιώσεις. Εφόσον λάβουν χώρα οι διάφορες βελτιωτικές ενέργειες, η συλλογή στοιχείων και η χρήση ιστογραμμάτων συνεχίζεται με σκοπό να επιβεβαιωθεί το αποτέλεσμα των ενεργειών αυτών.

### ***Πως κατασκευάζεται ένα ιστόγραμμα;***

Όσον αφορά τον τρόπο κατασκευής ενός ιστογράμματος, αναφέρεται μια προσέγγιση εννέα βημάτων. Παράλληλα με την παρουσίαση των βημάτων αυτών, παρουσιάζεται και η εφαρμογή τους στο παρακάτω παράδειγμα.

**Παράδειγμα 2.2:** Κατά τη διάρκεια δοκιμαστικής λειτουργίας ενός πολεμικού πλοίου, έγινε έλεγχος (test firings) ενός MK 75 (όπλο 76mm). Από το πλοίο εκπυρσοκροτήθηκαν 135 βολές προς ένα στόχο. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται ένας αεροπορικός εντοπιστής (airborne spotter) που παρέχει ασφαλή δεδομένα

και αποτιμά τις βολές, είτε το βεληνεκές τους φτάνει πριν τον στόχο είτε μετά από αυτόν. Ως επιτυχής λαμβάνεται η βολή που βρίσκεται από 60 γιάρδες πριν το στόχο έως 300 γιάρδες πέρα απ' αυτόν.

Βήμα 1<sup>ο</sup> – Απαρίθμηση του αριθμού των δεδομένων (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3

Αριθμός σε γιάρδες (μονάδα μήκους ίση με 0,9144 μέτρα), όπου εκφράζει την αστοχία του όπλου για τις βολές πέρα (+) και πριν (-) από το στόχο

-180	30	190	380	330	140	160	270	10	-90	
-10	30	60	230	90	120	10	50	250	180	
-130	220	170	130	-50	-80	180	100	110	200	
260	190	-100	150	210	140	-130	130	150	370	
160	180	240	260	-20	-80	30	80	240	130	
210	40	70	-70	250	360	120	-60	-30	200	
50	20	30	280	410	70	-10	20	130	170	
140	220	-40	290	90	100	-30	340	20	80	
210	130	350	250	-20	230	180	130	-30	210	
-30	80	270	320	30	240	120	100	20	70	
300	260	20	40	-20	250	310	40	200	190	
110	-30	50	240	180	50	130	200	280	60	
260	70	100	140	80	190	100	270	140	80	
110	130	120	30	70						
									<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>135</b>

Βήμα 2<sup>ο</sup> – Ανακεφαλαίωση δεδομένων σε ένα φύλλο καταμέτρησης (tally sheet).

Πίνακας 2.4  
Φύλλο καταμέτρησης

Δεδο- μένα	Κατα- μέτρη ση	Δεδο- μένα	Κατα- μέτρη ση	Δεδο- μένα	Κατα- μέτρη ση	Δεδο- μένα	Κατα- μέτρη ση	Δεδο- μένα	Κατα- μέτρη ση
-180	1	-20	3	90	2	190	4	290	1
-130	2	-10	2	100	5	200	4	300	1
-100	1	10	2	110	3	210	4	310	1
-90	1	20	5	120	4	220	2	320	1
-80	2	30	6	130	8	230	2	330	1
-70	1	40	3	140	5	240	4	340	1
-60	1	50	4	150	2	250	4	350	1
-50	1	60	2	160	2	260	4	360	1
-40	1	70	5	170	2	270	3	370	1
-30	5	80	5	180	5	280	2	380	1
								410	1

Βήμα 3<sup>ο</sup> – Υπολογισμός βεληνεκούς για το σύνολο των δεδομένων.

Μεγαλύτερη αξία = + 410 γιάρδες πέρα από το στόχο

Μικρότερη αξία = - 180 γιάρδες πριν από το στόχο

Βεληνεκές τιμών = 590 γιάρδες

Υπολογισμός:  $+410 - (-180) = 410 + 180 = 590$

Βήμα 4<sup>ο</sup> – Προσδιορισμός του αριθμού των διαστημάτων που απαιτούνται. Ο αριθμός των διαστημάτων αυτών επηρεάζει τη μορφή ή την εξάπλωση του ιστογράμματος που πρόκειται να κατασκευαστεί. Στο παράδειγμα αυτό γίνεται

χρήση του Πίνακα 2.5 για να αποφασιστεί πόσα διαστήματα (ή μπάρες) θα χρησιμοποιηθούν.

**Πίνακας 2.5**

**Αριθμός δεδομένων για συγκεκριμένο αριθμό διαστημάτων**

Αριθμός δεδομένων	Αριθμός διαστημάτων
Λιγότερα από 50	5 έως 7
50 έως 99	6 έως 10
100 έως 250	7 έως 12
Περισσότερα από 250	10 έως 20

Ο αριθμός που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίσος με 10 (διαστήματα ή μπάρες).

Βήμα 5<sup>ο</sup> – Υπολογισμός του πλάτους ενός διαστήματος (μπάρας).

$$\text{Πλάτος Διαστήματος} = \text{Βεληνεκές/Αριθμός διαστημάτων} = 590/10 = 59$$

Βήμα 6<sup>ο</sup> – Προσδιορισμός του αρχικού σημείου κάθε διαστήματος (μπάρας).

Βήμα 7<sup>ο</sup> – Απαρίθμηση του αριθμού των σημείων σε κάθε διάστημα. Καθένα από τα σημεία αυτά είναι μεγαλύτερο ή ίσο από την αρχική τιμή και μικρότερο από την τελική τιμή κάθε διαστήματος. Για παράδειγμα, εάν το πρώτο διάστημα έχει αρχική και τελική τιμή -180 και -120 αντίστοιχα, όλα τα σημεία που είναι μεγαλύτερα ή ίσα με -180 αλλά μικρότερα από -120 ανήκουν και απαριθμούνται στο διάστημα αυτό.

Πίνακας 2.6

Απαρίθμηση του αριθμού των σημείων για κάθε διάστημα

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ	ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ	ΑΠΑΡΙΘΜΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ
1	- 180	60	- 120	3
2	- 120	60	- 060	5
3	- 060	60	000	13
4	000	60	060	20
5	060	60	120	22
6	120	60	180	24
7	180	60	240	20
8	240	60	300	18
9	300	60	360	6
10	360	60	420	4

Βήμα 8<sup>ο</sup> – Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων. Ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με τη γραφική απεικόνιση είναι οι εξής:

- Η οριζόντια κλίμακα (horizontal scale) περιλαμβάνει τα διαστήματα που έχουν υπολογιστεί.
- Η κάθετη κλίμακα (vertical scale) περιλαμβάνει τη συχνότητα παρατηρήσεων σε κάθε ένα από τα διαστήματα
- Το ύψος κάθε μπάρας καθορίζεται από τον αριθμό των παρατηρήσεων ή το ποσοστό των συνολικών παρατηρήσεων για κάθε ένα από τα διαστήματα.
- Είναι απαραίτητη η παρατήρηση του ιστογράμματος, σχετικά με το κατά πόσον η εικόνα είναι λογική και δικαιολογημένη.

Βήμα 9<sup>ο</sup> – Πρόσθεση τίτλου και υπομνήματος. Οι πληροφορίες που προσφέρονται τεκμηριώνουν τη φύση των δεδομένων, από που προήλθαν, και τότε έλαβε χώρα η συλλογή τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις το υπόμνημα ενδέχεται να περιλαμβάνει συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος του δείγματος, το ποιος πραγματοποίησε τη συλλογή των δεδομένων, τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε κλπ.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ: USS CROMMELIN (FFG - 37), 135 ΕΚΠΥΡΣΟΚΡΟΤΗΣΕΙΣ, 25 ΙΟΥΝΙΟΥ 1994

**Διάγραμμα 2.3**

**Γραφική απεικόνιση δεδομένων, με πρόσθεση τίτλου και υπομνήματος**

Τα ιστογράμματα μπορούν εύκολα να προκύψουν από τη χρησιμοποίηση σύγχρονου στατιστικού λογισμικού, ακολουθώντας τα βήματα που αναφέρθηκαν.

**Πως ερμηνεύεται ένα ιστόγραμμα;**

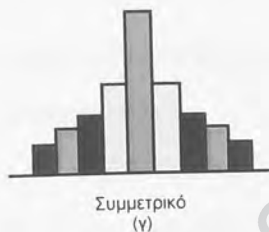
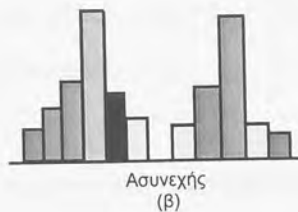
Ένα ιστόγραμμα παρέχει μία εποπτική αναπαράσταση των μετρήσεων και του τρόπου όπου αυτές είναι διεσπαρμένες. Δίνει πληροφορίες σχετικά με την τάση



που πιθανώς εμφανίζουν οι μετρήσεις να συγκεντρώνονται γύρω από μια τιμή. Η τάση αυτή συχνά αναφέρεται ως κεντρική τάση. Η στατιστική παράμετρος που εκφράζει την κεντρική τάση των μετρήσεων είναι η μέση τιμή τους. Σχετικά με το πόσο οι τιμές είναι διεσπαρμένες, η στατιστική παράμετρος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι η τυπική απόκλιση. Πρακτικά, το διάστημα που ορίζεται από την μέση τιμή συν ή πλην τρεις τυπικές αποκλίσεις περιλαμβάνει το σύνολο σχεδόν των παρατηρούμενων μετρήσεων.

Επιπλέον, δείχνει κατά πόσον κάποιες διαδικασίες παράγουν προϊόντα ή υπηρεσίες που τηρούν ορισμένες προδιαγραφές (specification limits). Οι προδιαγραφές συνήθως ορίζουν ένα ανώτερο και ένα κατώτερο όριο. Μέσα στα όρια αυτά οφείλει να βρίσκεται το μετρούμενο χαρακτηριστικό του προϊόντος ή της υπηρεσίας που εξετάζεται. Αντιπαραθέτοντας το ιστόγραμμα με τα όρια προδιαγραφών, υπάρχει η δυνατότητα να διαπιστωθεί κατά πόσον το χαρακτηριστικό βρίσκεται εντός των προδιαγραφών.

Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου το σχήμα ενός ιστογράμματος είναι ασυνήθιστο. Μπορεί δηλαδή να έχει περισσότερες από μία κορυφές, να μην είναι συνεχές ή να είναι ασύμμετρο προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά (Διάγραμμα 2.4). Τότε οφείλει να αναρωτηθεί κανείς εάν το ιστόγραμμα είναι πραγματικά ασυνήθιστο. Μπορεί δηλαδή το σχήμα να μην είναι συμμετρικό αλλά να διαπιστωθεί ότι η μορφή του είναι αρκετά λογική.



**Διάγραμμα 2.4**  
**Διαφορετικές μορφές ιστογραμμάτων**

Ενδέχεται όμως η μορφή του ιστογράμματος να είναι λανθασμένη διότι τα δεδομένα προέρχονται από αρκετές πηγές (μίξη δεδομένων) ή διότι χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές συσκευές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

## 2.5 Διάγραμμα αιτίου αποτελέσματος

Το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος (cause and effect Diagram) αναπτύχθηκε, το 1943, από τον Kaoru Ishikawa και είναι γνωστό και ως διάγραμμα Ishikawa. Γραφικά, απεικονίζει τη σχέση μεταξύ ενός δοσμένου αποτελέσματος και των παραγόντων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα αυτό. Αποτελεί εργαλείο αναγνώρισης και επίδειξης ποικίλων στοιχείων ενός συστήματος που

συνεισφέρουν στη δημιουργία ενός προβλήματος. Επίσης, ενθαρρύνει την ανίχνευση αιτιών του προβλήματος σε πολλά επίπεδα.

***Πότε και γιατί χρησιμοποιείται ένα διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος;***

Η κατασκευή ενός διαγράμματος αιτίου αποτελέσματος μπορεί να βοηθήσει μία ομάδα όταν επιδιώκονται τα παρακάτω:

- ✓ Αναγνώριση πρωταρχικών και βασικών αιτιών, για ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα, πρόβλημα ή κατάσταση.
- ✓ Συσχέτιση ορισμένων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν μία διαδικασία ή ένα αποτέλεσμα.
- ✓ Ανάλυση υφιστάμενων προβλημάτων, ώστε να ληφθούν εγκαίρως μέτρα για την αντιμετώπισή τους.

Η δομή του διαγράμματος δίνει τη δυνατότητα στα μέλη των διαφόρων ομάδων να σκεφτούν με πολύ συστηματικό τρόπο. Ορισμένα από τα οφέλη της κατασκευής ενός διαγράμματος αιτίου – αποτελέσματος είναι τα εξής:

- ✓ Βοηθά στον καθορισμό των βασικών αιτιών ενός προβλήματος χρησιμοποιώντας μία δομημένη προσέγγιση.
- ✓ Παροτρύνει την ομαδική συμμετοχή και αξιοποιεί την ομαδική γνώση μιας διαδικασίας.

- ✓ Χρησιμοποιεί μία τακτοποιημένη και ευκολονόητη τυποποίηση στην απεικόνιση της σχέσης μεταξύ αιτίου και αποτελέσματος.
- ✓ Υποδεικνύει πιθανά αίτια απόκλισης μιας διαδικασίας.
- ✓ Αυξάνει τη γνώση για τις διάφορες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα, βοηθώντας οποιονδήποτε να μάθει περισσότερα για τους παράγοντες που συνεισφέρουν στην εργασία και τον τρόπο με τον οποίο αυτοί συνδέονται μεταξύ τους.
- ✓ Αναγνωρίζει τους τομείς όπου θα μπορούσαν να συγκεντρωθούν τα διάφορα δεδομένα για επεξεργασία και περαιτέρω μελέτη.

Η χρήση του επεκτείνεται τόσο σε βιομηχανικές διεργασίες όσο και σε διοικητικούς τομείς. Στη βιομηχανία συνήθως χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με διακυμάνσεις στην παραγωγική διαδικασία.

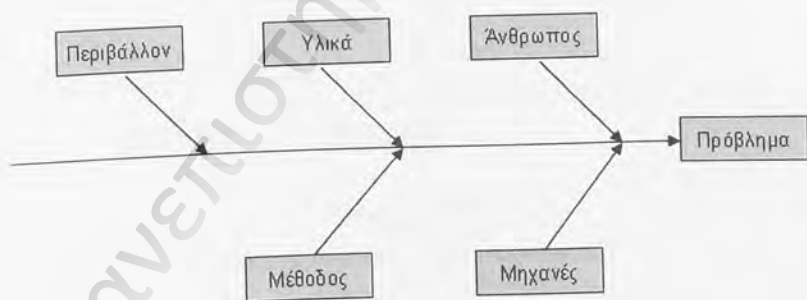
### **Κατασκευή διαγράμματος αιτίου – αποτελέσματος**

Για την κατασκευή ενός διαγράμματος αιτίου – αποτελέσματος απαιτούνται τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1<sup>ο</sup> – Σαφής προσδιορισμός του προς αντιμετώπιση προβλήματος. Σε αρκετές περιπτώσεις, ασαφής διατύπωση οδηγεί σε μεγάλη συγκέντρωση άχρηστης πληροφορίας πάνω στο διάγραμμα. Η διατύπωση του προβλήματος

αναγράφεται, συνήθως μέσα σε κάποιο πλαίσιο, στο δεξιό μέρος του διαγράμματος.

Βήμα 2<sup>ο</sup> – Σχεδιασμός του σκελετού του διαγράμματος. Στο βήμα αυτό παρουσιάζονται οι κύριοι κλάδοι που αντιστοιχούν στις γενικές κατηγορίες παραγόντων που επηρεάζουν το πρόβλημα. Στις κατηγορίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνονται οι άνθρωποι (π.χ. χειριστές μηχανημάτων), το περιβάλλον, τα υλικά (π.χ. ημιπεξεργασμένα προϊόντα), η μέθοδος και ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι ανάλογα με τη φύση του εκάστοτε προβλήματος, είναι δυνατόν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν και άλλες κατηγορίες. Η αρχική μορφή του διαγράμματος έχει σχήμα ψαροκόκαλου (fishbone diagram) και απεικονίζεται στο Διάγραμμα 2.5.



Διάγραμμα 2.5

Αρχική μορφή διαγράμματος αίτιου αποτελέσματος

Βήμα 3<sup>ο</sup> – Εφαρμογή του εργαλείου *brainstorming*. Τα αποτελέσματα του εργαλείου αυτού αποτελούνται από τις ιδέες που παρατίθενται, ενώ

τοποθετούνται πάνω στο διάγραμμα και συγκεκριμένα στους κλάδους των κατηγοριών με τους οποίους σχετίζονται. Οι διατυπώσεις των ιδεών στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αναφέρονται σε αιτίες και όχι σε προτεινόμενες λύσεις. Όταν διαπιστωθούν οι πιθανές αιτίες, τότε θα προταθούν οι επικείμενες λύσεις. Στο Διάγραμμα 2.6 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος που αφορά το πρόβλημα των αναποτελεσματικών συναντήσεων που πραγματοποιούν τα στελέχη μιας επιχείρησης.



**Διάγραμμα 2.6**  
**Διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος**

Μία από τις βασικές αιτίες που συνεισφέρουν στο πρόβλημα είναι ότι η συμμετοχή των παρευρισκομένων είναι μικρή (1<sup>ο</sup> επίπεδο). Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι οι συναντήσεις λαμβάνουν χώρα στο τέλος της βάρδιας. Επομένως, κυριαρχεί η κόπωση των στελεχών (2<sup>ο</sup> επίπεδο).

Διαφορετική αιτία αποτελεί η ακαταλληλότητα του περιβάλλοντος των συναντήσεων, λόγω του κρύου και του θορύβου που συνήθως επικρατεί (1<sup>ο</sup> επίπεδο). Η έλλειψη θέρμανσης και η κοντινή απόσταση της αίθουσας συνεδριάσεων με το δρόμο αποτελούν το δεύτερο επίπεδο της συγκεκριμένης αιτίας.

Εύκολα μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλαπλά επίπεδα. Αρχικά, πραγματοποιείται μια πρώτη ανάλυση με στόχο τον εντοπισμό της πιθανότερης αιτίας του προβλήματος. Ακολουθεί ανάλυση όπου η προηγούμενη αιτία αποτελεί τώρα πια το προς διεύρυνση πρόβλημα (2<sup>ο</sup> επίπεδο). Με βάση τον τρόπο αυτό, υπάρχει δυνατότητα ανάλυσης ενός προβλήματος σε μεγάλο βάθος.

## 2.6 Φύλλο ελέγχου

Το φύλλο ελέγχου (check sheet) αποτελεί ένα πολύ κοινό εργαλείο καθημερινής χρήσης. Χρησιμοποιείται για συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και στο χώρο όπου παρήχθησαν τα δεδομένα αυτά. Είναι σχεδιασμένο για γρήγορη, εύκολη και αποτελεσματική εγγραφή επιθυμητών πληροφοριών που μπορεί να είναι είτε ποσοτικές είτε ποιοτικές. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου οι πληροφορίες είναι ποσοτικές, το φύλλο ελέγχου ονομάζεται και φύλλο καταμέτρησης (tally sheet).

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός φύλλου ελέγχου είναι ότι τα δεδομένα είναι καταγεγραμμένα τοποθετώντας σημάδια τσεκαρίσματος (checkmarks) σε αυτά. Ένα τυπικό φύλλο ελέγχου χωρίζεται σε πεδία, ενώ τα χαρακτηριστικά που μαρκάρονται σε διαφορετικά πεδία έχουν ξεχωριστή σημασία. Η ανάγνωση των δεδομένων γίνεται παρατηρώντας τον αριθμό και το που βρίσκονται τα διάφορα σημάδια.

### ***Πότε και γιατί χρησιμοποιείται ένα φύλλο ελέγχου;***

Το φύλλο ελέγχου αποτελεί τρόπο καταγραφής όλων των λεπτομερειών που σχετίζονται με το είδος και το χρόνο των σφαλμάτων που εμφανίζουν τα παραγόμενα προϊόντα. Η καταγραφή αυτή με τη χρήση φύλλου ελέγχου προσφέρει τα παρακάτω οφέλη:

- Δίνει την δυνατότητα να ανιχνευθούν οι κυριότερες αιτίες σφαλμάτων στην διαδικασία παραγωγής των προϊόντων, καθώς επίσης και η σχέση των αιτιών αυτών με το χρόνο (αν υπάρχει).
- Καταγράφονται διάφορα άλλα συμπληρωματικά στοιχεία που σχετίζονται με το είδος των δεδομένων. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να αφορούν τη μέρα, την παρτίδα, την βάρδια και γενικά κάθε πληροφορία που αφορά τη διεργασία.



- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως φύλλο εργασίας για την εισαγωγή δεδομένων στον υπολογιστή. Να σημειωθεί ότι η χρήση αυτή του φύλλου εργασίας είναι περιορισμένη αφού συνήθως η εισαγωγή πραγματοποιείται ηλεκτρονικά.

Φύλλα ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές δραστηριότητες ελέγχου, όπως κατά την παραγωγική διαδικασία, σε επιθεωρήσεις συστημάτων διασφάλισης ποιότητας κτλ.

### **Διαδικασία κατασκευής**

Για την κατασκευή ενός φύλλου ελέγχου ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Καθορισμός του γεγονότος ή του προβλήματος που θα παρατηρηθεί.
- Απόφαση σχετικά με τη διάρκεια και το χρόνο στον οποίο θα λάβει χώρα η συλλογή των δεδομένων.
- Σχεδιασμός (design) της φόρμας. Η φόρμα κατασκευάζεται με τρόπο όπου τα δεδομένα να μπορούν να καταγραφούν απλά δημιουργώντας σημάδια τσεκαρίσματος  $\surd$ , X ή παρόμοια σύμβολα.
- Προσδιορισμός (label) όλων των διαστημάτων μέσα στη φόρμα του φύλλου.

- Δοκιμή του φύλλου ελέγχου για μικρό χρονικό διάστημα, για να πιστοποιηθεί το κατά πόσον είναι εύχρηστο και αν με αυτό συλλέγονται τα κατάλληλα δεδομένα.
- Κάθε φορά όπου λαμβάνει χώρα το υπό παρατήρηση πρόβλημα, καταγράφονται τα δεδομένα στο φύλλο ελέγχου.

Στο Πίνακα 2.7 δίνεται ένα φύλλο ελέγχου που αφορά την παραγωγή ενός χρωστικού προϊόντος. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο αριθμός των σφαλμάτων σε μηνιαία βάση το 2001 και τους τέσσερις πρώτους μήνες του 2002. Τα σφάλματα αυτά σχετίζονται με την περιεκτικότητα σε υγρασία, τη διαλυτότητα, την εφαρμογή, το σημείο τήξης, την περιεκτικότητα σε φαινόλη και σε σίδηρο, την φασματική απορρόφηση και το χρωματόγραμμα του προϊόντος.

**Πίνακας 2.7**  
**Φύλλο ελέγχου για παραγωγή χρωστικού προϊόντος**  
**Φύλλο ελέγχου**

Τύπος Σφάλματος	2001												2002				Σύνολο	Ολικό Κόστος	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4			
1	2	3	2	1		5	5	6	2	1	1		1	2	1	1		34	204
2	1	1		1		2	3	1		1			1	2	1	1		15	120
3			1			1		1		1	1			2	1			8	48
4				1						1						1		3	24
5					1	3				1				1				6	12
6			1	1	2		2			2			1		1		1	11	66
7	1		1	2	2		3	3	1	2	1	3	1			1		21	168
8	2	4	6	2	2	3	2	1	3			1	2	2	4	5	1	40	40
<b>Σύνολο</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		<b>138</b>	<b>682</b>

1: Υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας. 2: Κακή διαλυτότητα. 3: Κακή εφαρμογή. 4: Χαμηλό σημείο τήξης.  
5: Φαινόλη >1%. 6: Υψηλή περιεκτικότητα σιδήρου. 7: Κακή φασματική απορρόφηση. 8: Μη αποδεκτό χρωματόγραμμα  
Κόστος για κάθε τύπο σφάλματος ανά μονάδα: 1(6), 2(8), 3(6), 4(8), 5(2), 6(6), 7(8), 8(1)

Μετά την εκπόνηση ενός φύλλου ελέγχου ακολουθεί η ανασκόπησή του από την ομάδα εκπόνησης και από τα άτομα που το χρησιμοποιούν (εφόσον έχει περάσει η δοκιμαστική περίοδος χρήσης). Πιθανές διορθώσεις που θα προκύψουν, ενσωματώνονται στο φύλλο ελέγχου δίνοντας του την τελική του μορφή. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι μετά την καταγραφή των δεδομένων στο φύλλο ελέγχου, ακολουθεί η επεξεργασία τους με χρήση διαγραμμάτων Pareto, ιστογραμμάτων κλπ.

## 2.7 Διάγραμμα ροής

Το διάγραμμα ροής αποτελεί μέσο δομημένης απεικόνισης μιας διεργασίας. Σε αυτό απεικονίζονται τα διάφορα στάδια, δραστηριότητες, γεγονότα κτλ. μιας διεργασίας, καθώς και οι προϋποθέσεις και η λογική σειρά όπου αυτά λαμβάνουν χώρα.

### *Πότε και γιατί χρησιμοποιείται ένα διάγραμμα ροής;*

Στο ξεκίνημα μιας διεργασίας το διάγραμμα ροής βοηθά όλους τους εμπλεκόμενους να κατανοήσουν με καλύτερο τρόπο τη λειτουργία της. Στη συνέχεια αναπτύσσεται ένα διάγραμμα ροής που καταγράφει επακριβώς τη συγκεκριμένη διεργασία. Το διάγραμμα αυτό συγκρίνεται με ένα άλλο ιδεώδες (ideal) ως προς τη λειτουργία και το αποτέλεσμα της διεργασίας.

Με τα διαγράμματα ροής επιτυγχάνεται μια ξεκάθαρη απεικόνιση μιας διεργασίας (στο επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας). Κατά συνέπεια, τα διαγράμματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αφετηρία για βελτιωτικές προτάσεις, όπως π.χ. για την εξάλειψη περιττών διεργασιών. Επιπρόσθετα, χρησιμεύουν και ως οδηγίες για την εκτέλεση εργασιών τόσο στο υπάρχον όσο και σε νεοπροσληφθέν προσωπικό.

### Σύμβολα

Τα βασικά σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός διαγράμματος ροής παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2.7



Αντιστοιχεί σε μια δραστηριότητα



Αντιστοιχεί σε ένα σημείο απόφασης από το οποίο μπορούν να ξεκινήσουν δύο ή περισσότεροι κλάδοι



Αντιστοιχεί στην αρχή ή το τέλος μιας διεργασίας



Αντιστοιχεί σε κάποιο έντυπο



Δείχνει τη ροή της διεργασίας



Χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το διάγραμμα ροής συνεχίζεται σε άλλο σημείο

### Διάγραμμα 2.7

### Βασικά σύμβολα κατασκευής διαγράμματος ροής

Τα παραπάνω σύμβολα δίνουν τη δυνατότητα απεικόνισης του τρόπου λειτουργίας μιας διεργασίας. Ο μικρός αριθμός των συμβόλων αυτών σε συνδυασμό με το μέγεθος της χρησιμότητας ενός διαγράμματος ροής αποδεικνύει τη σημασία του συγκεκριμένου εργαλείου (διάγραμμα ροής) στον στατιστικό έλεγχο ποιότητας.

### **Επίπεδα λεπτομέρειας ενός διαγράμματος ροής**

Όταν κατασκευάζεται ένα διάγραμμα ροής, μελετώνται αφ' ενός ο τρόπος χρησιμοποίησής του και αφετέρου η ποσότητα και το είδος των απαιτούμενων πληροφοριών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ο καθορισμός του επιπέδου λεπτομέρειας του εν λόγω διαγράμματος. Τα επίπεδα λεπτομέρειας για ένα διάγραμμα ροής χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Μάκρο – επίπεδο (Macro – level):** Σε αρκετές περιπτώσεις τα ανώτερα στελέχη δεν χρειάζονται το σύνολο των πληροφοριών για μια διεργασία. Μια γενική εικόνα θεωρείται αρκετή. Γενικά τα διαγράμματα ροής σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνουν λιγότερα από έξι βήματα.
- **Μεσαίο επίπεδο (mid – level):** Ο όρος διάγραμμα ροής μεσαίου επιπέδου χρησιμοποιείται για ένα διάγραμμα που βρίσκεται μεταξύ μάκρο και μικρο – επιπέδου, όσον αφορά την ποσότητα και το είδος των λεπτομερειών. Τυπικά, ένα τέτοιο διάγραμμα εστιάζεται μόνο σε ένα τμήμα του διαγράμματος ροής στο μακρο – επίπεδο.

- Μικρο – επίπεδο (Micro level): Σε μια προσπάθεια βελτίωσης του τρόπου πραγματοποίησης μιας εργασίας, θεωρείται απαραίτητη η λεπτομερής απεικόνιση όλων των βημάτων που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν. Το μικρο – επίπεδο προσφέρει μια αναλυτική εικόνα των τμημάτων μιας διεργασίας, περιλαμβάνοντας κάθε ενέργεια και απόφαση. Για το λόγο αυτό, γίνεται συχνή χρήση των διαγραμμάτων ροής σε αυτό το επίπεδο.

Επομένως, μια διεργασία μπορεί να απεικονίζεται από ένα πολύ γενικό επίπεδο μέχρι ένα επίπεδο πολύ μεγάλης λεπτομέρειας, ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη.

### **Βήματα για επιτυχημένη κατασκευή διαγράμματος ροής**

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την κατασκευή ενός διαγράμματος ροής. Αρχικά όμως, είναι απαραίτητο να λάβουν χώρα οι παρακάτω ενέργειες:

- Επιλογή των κατάλληλων ατόμων για την κατασκευή ενός διαγράμματος ροής.
- Προσδιορισμός, σχετικά με το τι αναμένεται από το διάγραμμα ροής.
- Καθορίζεται το ποιοι και πως θα χρησιμοποιήσουν το διάγραμμα.
- Ορίζεται το επίπεδο λεπτομέρειας του διαγράμματος.
- Εγκαθίστανται τα όρια της υπό μελέτη διεργασίας. Αυτά αντιπροσωπεύουν το αρχικό και το τελικό σύμβολο του διαγράμματος. Τα

όρια καθορίζουν τις δραστηριότητες και τον αριθμό των εμπλεκομένων στη διεργασία ατόμων.

Θέμα ζωτικής σημασίας αποτελεί η απεικόνιση μιας διεργασίας με τον τρόπο όπου πραγματικά δουλεύει και όχι με το πως θα έπρεπε να δουλεύει. Στη συνέχεια μπορεί να δημιουργηθεί ένα ιδεατό διάγραμμα όπου θα παριστάνεται ο επιθυμητός τρόπος λειτουργίας της διεργασίας. Τα βήματα για τη δημιουργία ενός επιτυχημένου διαγράμματος είναι τα εξής:

- ✓ Δημιουργία ενός γενικού διαγράμματος ροής (μάκρο - επίπεδο).
- ✓ Παρατήρηση της διεργασίας σε πραγματική λειτουργία.
- ✓ Καταγραφή των βημάτων της διεργασίας.
- ✓ Διευθέτηση της ακολουθίας των βημάτων.
- ✓ Σχεδιασμός του διαγράμματος ροής με ακριβή απεικόνιση των παρατηρούμενων, καταγεγραμμένων και διευθετημένων βημάτων της διεργασίας.

Τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός διαγράμματος ροής αντλούνται κυρίως από τα άτομα που συμμετέχουν στην εκτέλεση της διεργασίας και όχι από το άτομο που είναι υπεύθυνο για τη διεργασία. Με τον τρόπο αυτό, αποκαλύπτονται πολλές φορές βήματα και ενέργειες που ο υπεύθυνος της διεργασίας αγνοούσε και είναι είτε λανθασμένες είτε υπερβολικές.

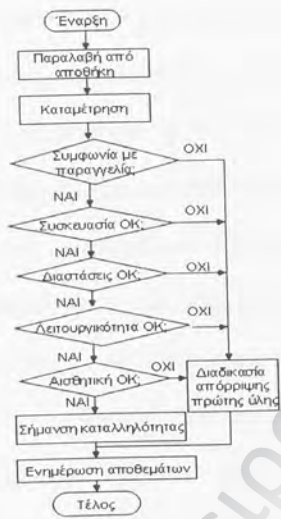
## Τύποι των διαγραμμάτων ροής

Οι κύριοι τύποι που αντιπροσωπεύουν τα διαγράμματα ροής είναι τρεις:

1. Γραμμικό (Linear Flowchart): Επιδεικνύει την ακολουθία των βημάτων που βελτιώνουν μια διεργασία.
2. Ανάπτυξης (Deployment Flowchart): Δείχνει την πραγματική ροή της διεργασίας και αναγνωρίζει τους εμπλεκόμενους σε κάθε βήμα της. Οι οριζόντιες γραμμές που περιέχει ορίζουν τις σχέσεις μεταξύ πελάτη – προμηθευτή.
3. Ευκαιρίας (Opportunity Flowchart): Αποτελεί μία παραλλαγή του γραμμικού. Διαφοροποιεί τις δραστηριότητες της διεργασίας που προσθέτουν αξία από εκείνες που προσφέρουν μόνο κόστος.

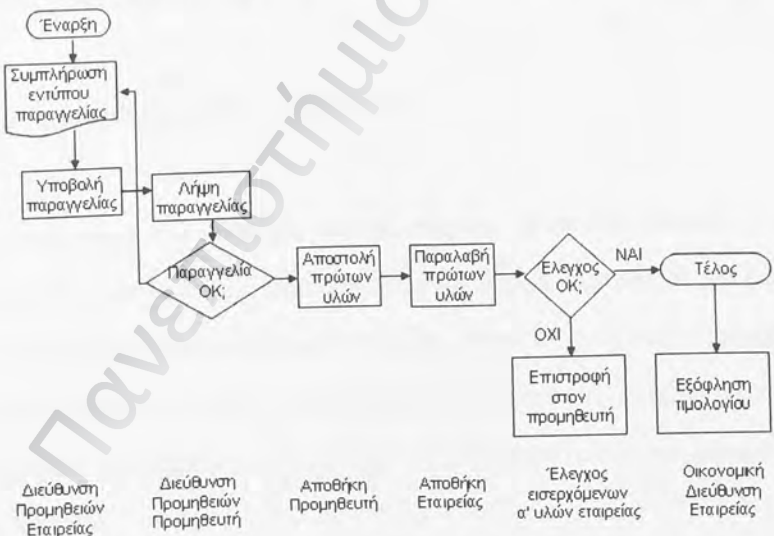
Το διάγραμμα ροής του Διαγράμματος 2.8 απεικονίζει το γενικό τρόπο λειτουργίας του τμήματος ελέγχου πρώτων υλών μιας εταιρείας, ενώ στο Διάγραμμα 2.9 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής που σχετίζεται με τον κύκλο παραγγελίας, αποστολής και ελέγχου πρώτων υλών στις εγκαταστάσεις μιας επιχείρησης. Σε ορισμένα διαγράμματα ροής είναι χρήσιμο να αναφέρονται και τα επιμέρους τμήματα ή πρόσωπα που εμπλέκονται στην διεκπεραίωση μιας διεργασίας. Με τον τρόπο αυτό διευκρινίζεται ποιος κάνει τι και σε ποια χρονική στιγμή.





Διάγραμμα 2.8

Διάγραμμα ροής λειτουργιών τμήματος ελέγχου πρώτων υλών



Διάγραμμα 2.9

Διάγραμμα ροής κύκλου παραγγελίας, αποστολής και ελέγχου πρώτων υλών

Στην απεικόνιση του διαγράμματος 2.9 φαίνεται ο συσχετισμός των διαφόρων ενεργειών με τους αντίστοιχους υπευθύνους για την υλοποίηση της εν λόγω διεργασίας. Συγκεκριμένα η συμπλήρωση του εντύπου παραγγελίας και η υποβολή της γίνεται από τη διεύθυνση προμηθειών της εταιρείας. Η διεύθυνση προμηθειών του προμηθευτή αναλαμβάνει τη λήψη και των έλεγχου της παραγγελίας. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρξει κάποιο πρόβλημα, η αποστολή και η παραλαβή πρώτων υλών λαμβάνει χώρα από τις αποθήκες του προμηθευτή και της εταιρείας αντίστοιχα. Την ευθύνη ελέγχου πρώτων υλών αναλαμβάνει το τμήμα ελέγχου πρώτων υλών της εταιρείας. Εάν δεν παρουσιαστεί πρόβλημα κατά τον έλεγχο εξοφλείται το τιμολόγιο από την οικονομική διεύθυνση της εταιρείας. Σε αντίθετη περίπτωση επιστρέφονται οι πρώτες ύλες στον προμηθευτή.

## 2.8 Διάγραμμα διασκόρπισης

Το διάγραμμα διασκόρπισης (scatter diagram) αποτελεί γράφημα, το οποίο απεικονίζει τις τιμές δύο μεταβλητών με τη μορφή σημείων. Η μία μεταβλητή αναπαρίσταται στον οριζόντιο και η άλλη στον κάθετο άξονα του γραφήματος. Από τη μορφή του νέφους των σημείων που προκύπτει, υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με την ενδεχόμενη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

### *Πότε και πως χρησιμοποιείται;*

Ένα διάγραμμα διασκόρπισης χρησιμοποιείται πολύ συχνά για την απόδειξη ή την αναίρεση της σχέσης μεταξύ αιτίου και αποτελέσματος. Παράλληλα, δείχνει εάν μία μεταβλητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υποκατάστατο κάποιας άλλης. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου που επιβεβαιώνουν το βαθμό στον οποίο τα οφέλη από τις προσπάθειες βελτίωσης της ποιότητας είναι ικανοποιητικά.

Για την κατασκευή ενός διαγράμματος διασκόρπισης διενεργούνται τα παρακάτω:

- Συλλογή δεδομένων: Λαμβάνονται 50 έως 100 ζεύγη δεδομένων τα οποία αποτελούν ένδειξη για μία πιθανή συσχέτιση.
- Σχεδιασμός διαγράμματος: Δημιουργείται ένα ορθογώνιο σύστημα αξόνων και ακολουθεί ο προσδιορισμός της ονομασίας τόσο στον οριζόντιο όσο και στον κάθετο άξονα. Στο σύστημα αυτό αποτυπώνονται τα ζεύγη των μεταβλητών ως ξεχωριστά σημεία.
- Δίνεται ο τίτλος του διαγράμματος.

Σημαντικό θεωρείται να αναφερθούν οι πιθανές συσχετίσεις που μπορούν να αναγνωριστούν μεταξύ δύο μεταβλητών από ένα διάγραμμα διασκόρπισης.

## Είδη συσχέτισης μεταβλητών

Τα διαγράμματα διασκόρπισης δείχνουν γενικά μία από τις έξι πιθανές συσχετίσεις μεταξύ δύο μεταβλητών:

*Ισχυρή θετική συσχέτιση*

Η τιμή της μεταβλητής  $Y$  αυξάνει (clearly increases) με την αύξηση της μεταβλητής  $X$ .

*Ισχυρή αρνητική συσχέτιση*

Η τιμή της μεταβλητής  $Y$  μειώνεται (clearly decreases) με την αύξηση της μεταβλητής  $X$ .

*Ασθενής θετική συσχέτιση*

Η τιμή της μεταβλητής  $Y$  αυξάνει ελαφρώς (increases slightly) με την αύξηση της μεταβλητής  $X$ .

*Ασθενής αρνητική συσχέτιση*

Η τιμή της μεταβλητής  $Y$  μειώνεται ελαφρώς (decreases slightly) με την αύξηση της μεταβλητής  $X$ .

*Σύνθετη συσχέτιση*

Η μεταβλητή  $Y$  φαίνεται να συσχετίζεται με την μεταβλητή  $X$ , αλλά ο προσδιορισμός της συσχέτισης δεν καθορίζεται εύκολα.

*Καμία συσχέτιση*

Δεν επιδεικνύεται κάποια σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις από το διάγραμμα διασκόρπισης προκύπτει ένα ακανόνιστο «νέφος» σημείων που παραπέμπει σε ανύπαρκτη συσχέτιση. Ενδεχομένως, το γεγονός αυτό να οφείλεται στο ότι τα στοιχεία συλλέχθηκαν σε δύο ή παραπάνω περιόδους από δύο ή παραπάνω διεργασίες κλπ.

**Παράδειγμα 2.3:** Στο Διάγραμμα 2.10 παρουσιάζεται μέσω ενός διαγράμματος διασκόρπισης η σχέση μεταξύ ετήσιου εισοδήματος και ηλικίας για τους 257 εργαζομένους που απασχολεί μια ανώνυμη εταιρεία. Επιπλέον γίνεται διαχωρισμός του φύλλου των εργαζομένων, ώστε να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα.



Διάγραμμα 2.10

Διάγραμμα διασκόρπισης του ετήσιου εισοδήματος σε σχέση με την ηλικία, περιλαμβανομένης της σύγκρισης μεταξύ αντρών και γυναικών

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι οι γυναίκες κατέχουν την πλειοψηφία των χαμηλόμισθων επαγγελματιών, ενώ παράλληλα το εισόδημά τους δεν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία σε αντίθεση με τους άντρες. Η ανάλυση αυτή μπορεί να προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα στη διοίκηση ανθρώπινου δυναμικού της εταιρείας. Για παράδειγμα, ενδεχομένως να ληφθούν μέτρα συμμόρφωσης της επιχείρησης σχετικά με τη νομοθεσία περί διάκρισης μεταξύ των δύο φύλλων.

Σε περίπτωση που ληφθούν υπόψη παράγοντες, όπως ο διαχωρισμός μεταξύ των εργαζομένων πλήρους και μερικής απασχόλησης, χρησιμοποιώντας ξεχωριστό χρώμα στο διάγραμμα, τότε η ανάλυση διαφοροποιείται και δίνει ακόμα περισσότερες πληροφορίες για την συσχέτιση.

## 2.9 Διαγράμματα Ελέγχου

Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν ένα στατιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται με στόχο να καταδείξει αν η μεταβλητότητα μιας διεργασίας υπακούει στους κανόνες της τυχαιότητας ή υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που την κάνουν να διαφέρει από τη μεταβλητότητα που οφείλεται μόνο σε τυχαία αίτια. Πιο συγκεκριμένα τα διαγράμματα αυτά αποτελούν μια γραφική μέθοδο αναγνώρισης του αν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο ή όχι.

Η συνολική μεταβλητότητα ενός προϊόντος απαρτίζεται από δύο μέρη:

- a. Τη μεταβλητότητα που συνοδεύει αναπόσπαστα τη διεργασία και οφείλεται σε κοινές ή τυχαίες αιτίες (random causes). Οι αιτίες αυτές ορίζονται ως οι επιδράσεις των παραγόντων που επηρεάζουν τη διεργασία κατά έναν τυχαίο τρόπο που δεν είναι δυνατόν να ελεγχθεί. Η μεταβλητότητα αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί και ως αναπόφευκτη.
- b. Τη μεταβλητότητα που οφείλεται σε συγκεκριμένες, αναγνωρίσιμες και προσδιορίσιμες αιτίες (assignable causes). Οι επιδράσεις αυτές είναι δυνατόν να προσδιοριστούν και να ελεγχθούν.

Μια διεργασία λέγεται ότι βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο (in statistical control), όταν κατά την πραγματοποίηση της είναι παρούσες μόνο τυχαίες αιτίες. Αντίθετα, μια διεργασία λέγεται ότι βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου (out of statistical control) όταν υπάρχουν και αναγνωρίσιμα αίτια στη διεργασία. Με τη συνεισφορά των διαγραμμάτων ελέγχου γίνεται εφικτός ο διαχωρισμός της μεταβλητότητας μιας διεργασίας που οφείλεται σε τυχαίες αιτίες και της μεταβλητότητας που οφείλεται σε προσδιορίσιμες αιτίες.

### **Γιατί χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα ελέγχου;**

Τα διαγράμματα ελέγχου δίνουν τη δυνατότητα ελέγχου σταθερότητας μιας διεργασίας επιδεικνύοντας τα δεδομένα με βάση τη χρονική ακολουθία όπου

αυτά συμβαίνουν. Μια ομάδα εργασίας χρησιμοποιεί τα διαγράμματα αυτά όταν θέλει:

- ✓ Να παρακολουθήσει τη μεταβλητότητα μιας διεργασίας στη διάρκεια του χρόνου.
- ✓ Να διαχωρίσει τις αναγνωρίσιμες (assignable) από τις κοινές (common) αιτίες της μεταβλητότητας.
- ✓ Να αποτιμήσει την αποτελεσματικότητα αλλαγών για τη βελτίωση μιας διεργασίας.
- ✓ Να ερμηνεύσει την εκτέλεση μιας διεργασίας κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου.

Αναμφισβήτητα τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν ένα από τα πιο διαδεδομένα και αποτελεσματικά εργαλεία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας.

### **Κατηγορίες διαγραμμάτων ελέγχου**

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες διαγραμμάτων ελέγχου:

- Τα διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών (control charts for variables) που χρησιμοποιούνται όταν τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν είναι συνεχή και μετρήσιμα (π.χ. πίεση, βάρος, ταχύτητα, θερμοκρασία, διαστάσεις



κλπ.). Στους κυριότερους εκπρόσωπους της κατηγορίας αυτής περιλαμβάνονται τα διαγράμματα μέσης τιμής και εύρους ( $\bar{X} - R$  charts).

- Τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων (control charts for attributes) που χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει δυνατότητα απαρίθμησης των δεδομένων (π.χ. αριθμός ελαττωμάτων – ελαττωματικών, αποδεκτό – απορριπτέο κλπ.). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα διαγράμματα p, np, c, u τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια.

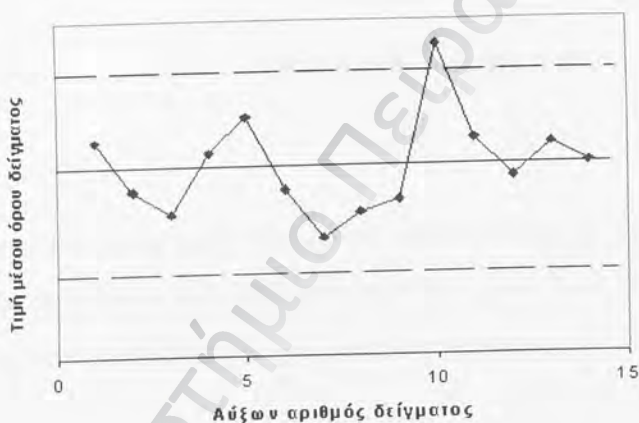
Ανεξάρτητα από την κατηγορία στην οποία ανήκουν, τα διαγράμματα ελέγχου έχουν κοινή μορφή.

### **Χαρακτηριστικά διαγραμμάτων ελέγχου**

Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούνται από μια κεντρική γραμμή (central line, CL) και δυο εκατέρωθεν παράλληλες προς αυτή γραμμές. Η πάνω γραμμή ορίζει το άνω όριο ελέγχου (upper control limit, UCL), ενώ η κάτω γραμμή ορίζει το κάτω όριο ελέγχου (lower control limit, LCL).

Ο οριζόντιος άξονας αντιπροσωπεύει το χρόνο. Πάνω στο διάγραμμα τοποθετούνται σημεία που αναφέρονται σε τιμές του υπό μελέτη χαρακτηριστικού σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Στη συνέχεια, δημιουργείται μία τεθλασμένη γραμμή που ενώνει τα σημεία αυτά.

Τα όρια ελέγχου άγονται συνήθως σε απόσταση τριών τυπικών αποκλίσεων, του πληθυσμού που αντιπροσωπεύουν τα σημεία του διαγράμματος, από την κεντρική γραμμή. Για παράδειγμα, αν η κατανομή βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο και αντιπροσωπεύεται από την κανονική κατανομή, το 99,73% των τιμών των αντίστοιχων μετρήσεων θα εμπίπτουν μεταξύ των ορίων ελέγχου.



**Διάγραμμα 2.11**

**Χαρακτηριστική μορφή διαγράμματος ελέγχου**

Στο Διάγραμμα 2.11 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα ελέγχου. Η συνεχής γραμμή αντιπροσωπεύει την κεντρική γραμμή, ενώ οι διακεκομμένες αντιπροσωπεύουν το άνω και κάτω όριο ελέγχου. Ο οριζόντιος και ο κάθετος άξονας αντιπροσωπεύουν τον αύξοντα αριθμό του δείγματος και την τιμή μέσου όρου του δείγματος αντίστοιχα.

## 2.9.1 Διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών

Τα σημαντικότερα διαγράμματα ελέγχου μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι το διάγραμμα ελέγχου εύρους, το διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής και το διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων. Στην παράγραφο αυτή γίνεται παρουσίαση των τριών αυτών τύπων διαγραμμάτων, καθώς επίσης και του αθροιστικού διαγράμματος που αποτελεί ειδικό τύπο διαγράμματος ελέγχου.

### *Υπολογισμός και κατασκευή διαγραμμάτων ελέγχου μέσης τιμής και εύρους*

Τα διαγράμματα μέσης τιμής και εύρους χρησιμοποιούνται για δεδομένα μεταβλητών όταν το μέγεθος του δείγματος βρίσκεται μεταξύ 2 και 15. Τα βήματα κατασκευής ενός τέτοιου είδους διαγράμματος είναι τα εξής:

Βήμα 1<sup>ο</sup> – Καθορισμός των δεδομένων που θα συλλεχθούν.

Βήμα 2<sup>ο</sup> – Συλλογή δεδομένων και ομαδοποίηση αυτών σε υποομάδες ταξινόμησης. Μια υποομάδα σχηματίζεται από δεδομένα μεταβλητών που αντιπροσωπεύουν ένα χαρακτηριστικό προϊόντος που παράγεται από μια διεργασία. Το μέγεθος του δείγματος αναφέρεται στο μέγεθος των υποομάδων.

Βήμα 3<sup>ο</sup> – Υπολογισμός του μέσου όρου (average) κάθε υποομάδας. Ο μέσος όρος υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

όπου  $\bar{x}$  ο μέσος όρος των μετρήσεων,  $x_i$  με  $i=1,2,3,\dots,n$  η  $i$  μέτρηση και  $n$  ο αριθμός των μετρήσεων. Στον Πίνακα 2.8 δίνεται ο μέσος όρος για διάφορες υποομάδες μετρήσεων.

**Πίνακας 2.8**  
**Μετρήσεις υποομάδων και μέσος όρος αυτών**

Υποομάδα	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X_1$	15.3	14.4	15.3	15.0	15.3	14.9	15.6	14.0	14.0
$X_2$	14.9	15.5	15.1	14.8	16.4	15.3	16.4	15.8	15.2
$X_3$	15.0	14.8	15.3	16.0	17.2	14.9	15.3	16.4	13.6
$X_4$	15.2	15.6	18.5	15.6	15.5	16.5	15.3	16.4	15.0
$X_5$	16.4	14.9	14.9	15.4	15.5	15.1	15.0	15.3	15.0
Μέσος όρος	15.36	15.04	15.82	15.36	15.98	15.34	15.52	15.58	14.56

Βήμα 4<sup>ο</sup> – Υπολογισμός εύρους για κάθε υποομάδα. Ο τύπος που χρησιμοποιείται είναι ο εξής:

$$ΕΥΡΟΣ = (ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΞΙΑ) - (ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΑΞΙΑ)$$

Ο Πίνακας 2.9 περιέχει τα στοιχεία του Πίνακα 2.8 περιλαμβανομένου και του εύρους της κάθε υποομάδας.

**Πίνακας 2.9**  
**Μετρήσεις υποομάδων, μέσος όρος και εύρος αυτών**

Υποομάδα	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X <sub>1</sub>	15.3	14.4	15.3	15.0	15.3	14.9	15.6	14.0	14.0
X <sub>2</sub>	14.9	15.5	15.1	14.8	16.4	15.3	16.4	15.8	15.2
X <sub>3</sub>	15.0	14.8	15.3	16.0	17.2	14.9	15.3	16.4	13.6
X <sub>4</sub>	15.2	15.6	18.5	15.6	15.5	16.5	15.3	16.4	15.0
X <sub>5</sub>	16.4	14.9	14.9	15.4	15.5	15.1	15.0	15.3	15.0
Μέσος όρος	15.36	15.04	15.82	15.36	15.98	15.34	15.52	15.58	14.56
Εύρος	1.5	1.2	3.6	1.2	1.9	1.6	1.4	2.4	1.6

Βήμα 5<sup>ο</sup> – Υπολογισμός της μέσης τιμής των μέσων τιμών των υποομάδων. Η τιμή αυτή συμβολίζεται με  $\bar{X}$  πάνω από το οποίο υπάρχουν δύο μπάρες ( $\overline{\bar{X}}$  ή grand mean) και ο τύπος υπολογισμού της είναι ο εξής:

$$\overline{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_k}{k} \quad (2.2)$$

όπου  $\bar{x}$  η μέση τιμή των μέσων τιμών των υποομάδων,  $\bar{x}_i$  με  $i=1,2,3,\dots,k$  ο μέσος όρος της  $i$  υποομάδας, και  $k$  ο αριθμός των υποομάδων. Με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 2.8 και τον τύπο υπολογισμού, η μέση τιμή των μέσων τιμών θα είναι:

$$\overline{\bar{x}} = \frac{15.36 + 15.04 + 15.82 + 15.36 + 15.98 + 15.34 + 15.52 + 15.58 + 14.56}{9} = \frac{138.56}{9} = 15.40$$

Βήμα 6<sup>ο</sup> – Υπολογισμός της μέσης τιμής των ευρών των υποομάδων. Η τιμή αυτή συμβολίζεται με  $\bar{R}$  πάνω στο οποίο υπάρχει μια μπάρα ( $\overline{\bar{R}}$ ) και ο τύπος υπολογισμού της είναι ο εξής:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k}{k} \quad (2.3)$$

όπου  $\bar{R}$  ο μέσος όρος των ευρών των υποομάδων,  $R_i$  με  $i=1,2,\dots,n$  το εύρος της  $i$  υποομάδας και  $k$  ο αριθμός των υποομάδων. Με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 2.8, η μέση τιμή των ευρών των υποομάδων θα είναι:

$$\bar{R} = \frac{1.5+1.2+3.6+1.2+1.9+1.6+1.4+2.4+1.6}{9} = 1.8$$

Βήμα 7<sup>ο</sup> – Υπολογισμός του άνω ορίου ελέγχου (UCL) και του κάτω ορίου ελέγχου (LCL). Στο σημείο αυτό, η μοναδικότητα του διαγράμματος ελέγχου γίνεται ορατή χάρη στον υπολογισμό των ορίων ελέγχου. Τα όρια ελέγχου ορίζουν τις παραμέτρους και αποτελούν κριτήρια για το εάν μια διεργασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο. Με βάση τους τύπους που δόθηκαν στα βήματα 5 και 6, καθώς και τους συντελεστές  $A_2$ ,  $D_3$  και  $D_4$  (οι οποίοι είναι συναρτήσεις του μεγέθους της υποομάδας και προκύπτουν από κατάλληλους πίνακες), υπολογίζονται τα όρια ελέγχου με βάση τους παρακάτω τύπους:

**Διάγραμμα μέσης τιμής**

$$UCL = (\bar{X}) + A_2(\bar{R}) \quad (2.4)$$

$$LCL = (\bar{X}) - A_2(\bar{R}) \quad (2.5)$$

**Διάγραμμα εύρους**

$$UCL = D_4(\bar{R}) \quad (2.6)$$

$$LCL = D_3(\bar{R}), \text{ για μέγεθος δείγματος } \geq 7 \quad (2.7)$$

Τα σημεία των διαγραμμάτων αυτών για το διάγραμμα μέσης τιμής αποτελούν οι εκάστοτε μέσοι όροι των υποομάδων, ενώ για το διάγραμμα εύρους αποτελούν

τα εύρη των υποομάδων. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του Πίνακα 2.10, τα όρια ελέγχου για το παράδειγμα του Πίνακα 2.8, με βάση τους υπολογισμούς που έχουν ακολουθήσει, θα είναι:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = (15.40) + (0.577)(1.8) = 16.4386$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = (15.40) - (0.577)(1.8) = 14.3614$$

$$UCL_{\bar{R}} = D_4 \bar{R} = (2.114)(1.8) = 3.8052$$

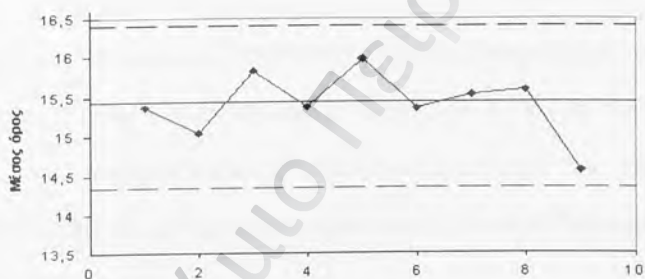
**Πίνακας 2.10**

**Τιμές συντελεστών για διαφορετικούς αριθμούς υποομάδων**

n	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	c <sub>4</sub>
2	1,880	1,128	0,853	0	3,686	0	3,267	0,798
3	1,023	1,693	0,888	0	4,358	0	2,574	0,886
4	0,729	2,059	0,880	0	4,698	0	2,282	0,921
5	0,577	2,326	0,864	0	4,918	0	2,114	0,940
6	0,483	2,534	0,848	0	5,078	0	2,004	0,952
7	0,419	2,704	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924	0,959
8	0,373	2,847	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864	0,965
9	0,337	2,970	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816	0,969
10	0,308	3,078	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777	0,973
11	0,285	3,173	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975
12	0,266	3,258	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717	0,978
13	0,249	3,336	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979
14	0,235	3,407	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981
15	0,223	3,472	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653	0,982

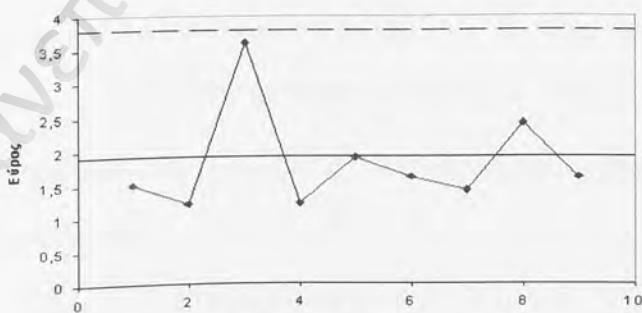
Βήμα 8<sup>ο</sup> – Επιλογή της κλίμακας και σχεδιασμός των ορίων ελέγχου, της κεντρικής γραμμής και των σημείων (data points) για κάθε περιοχή σχεδιασμού. Οι κλίμακες πρέπει να καθοριστούν προτού σχεδιαστεί η κεντρική γραμμή και τοποθετηθούν τα σημεία στο διάγραμμα.

Βήμα 9<sup>ο</sup> – Σχεδιασμός του διαγράμματος μέσης τιμής και του διαγράμματος εύρους. Η αναπαράστασή τους παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 2.12 και 2.13 αντίστοιχα.



Διάγραμμα 2.12

Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής



Διάγραμμα 2.13

Διάγραμμα ελέγχου εύρους



Βήμα 10<sup>ο</sup> – *Παροχή κατάλληλων στοιχείων.* Κάθε διάγραμμα έλεγχου θα πρέπει να συνοδεύεται με πληροφορίες σχετικές με το πως, που, πότε και ποιος πραγματοποίησε τη συλλογή δεδομένων, ποιο είναι το μέγεθος του δείγματος, ποιος είναι ο εξοπλισμός της ομάδας εργασίας και γενικά οτιδήποτε θεωρείται απαραίτητο για τη σωστή ερμηνεία και κατανόηση του διαγράμματος.

### Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης

Η διαφορά στη λειτουργία του διαγράμματος εύρους (διάγραμμα *R*) σε σχέση με το διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης (διάγραμμα *S*) έγκειται στην στατιστική δείγματος που χρησιμοποιείται. Η στατιστική μεταβλητή του διαγράμματος τυπικής απόκλισης υπολογίζεται από τις τιμές του εκάστοτε δείγματος μεγέθους *n* σύμφωνα με τη σχέση:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.8)$$

Όταν η κατανομή του πληθυσμού, δηλαδή του *X*, είναι κανονική με μεταβλητότητα  $\sigma^2$ , η μέση τιμή της τυχαίας μεταβλητής *S* είναι  $\mu_S = c_4\sigma$  και η τυπική απόκλιση της *S* είναι  $\sigma_S = \sigma\sqrt{1-c_4^2}$ . Τα όρια ελέγχου του διαγράμματος τυπικής απόκλισης είναι:

$$UCL = c_4\sigma_0 + k\sigma_0\sqrt{1-c_4^2} \quad (2.9)$$

$$LCL = c_4\sigma_0 - k\sigma_0\sqrt{1-c_4^2} \quad (2.10)$$

όπου  $\sigma_0$  η ονομαστική τιμή της τυπικής απόκλισης του χαρακτηριστικού ποιότητας που εξετάζεται. Ο συντελεστής  $c_4$  αποτελεί συνάρτηση του μεγέθους του δείγματος και λαμβάνεται από τον Πίνακα 2.10 (για διάφορες τιμές του  $n$ ). Στην περίπτωση διαγράμματος ελέγχου τριών τυπικών αποκλίσεων ( $k = 3$ ), ο υπολογισμός των ορίων γίνεται από τις σχέσεις:

$$UCL = c_4\sigma_0 + 3\sigma_0\sqrt{1-c_4^2} \quad (2.11)$$

$$LCL = c_4\sigma_0 - 3\sigma_0\sqrt{1-c_4^2} \quad (2.12)$$

Όταν δεν έχει προσδιοριστεί ονομαστική τιμή της τυπικής απόκλισης τότε υπολογίζεται η μέση τυπική απόκλιση των δειγμάτων  $\bar{s}$  και ισχύουν οι παρακάτω τύποι υπολογισμού των ορίων ελέγχου:

$$UCL = \bar{s} + k\frac{\bar{s}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} \quad (2.13)$$

$$LCL = \bar{s} - k\frac{\bar{s}}{c_4}\sqrt{1-c_4^2} \quad (2.14)$$

Όπως και προηγούμενα, για διάγραμμα ελέγχου τριών τυπικών αποκλίσεων γίνεται η αντικατάσταση  $k = 3$  στους τύπους (2.13) και (2.14). Εάν προκύψει αρνητικό το κάτω όριο ελέγχου από τους τύπους (2.10), (2.12) ή (2.14) τότε το όριο αυτό λαμβάνεται ίσο με το μηδέν.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι έχοντας υπολογίσει την τυπική απόκλιση  $\sigma$  ( $\sigma = \mu_s / c_4$ ) του χαρακτηριστικού που εξετάζεται είναι δυνατόν να υπολογιστούν τα όρια ελέγχου της μέσης τιμής με εναλλακτικό τρόπο από αυτόν

που δίνεται στους τύπους (2.4) και (2.5) Συγκεκριμένα τα όρια ελέγχου  $k$  τυπικών αποκλίσεων για τη μέση τιμή είναι:

$$UCL = \mu_0 + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.15)$$

$$LCL = \mu_0 - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.16)$$

όπου  $\mu_0$  είναι η ονομαστική μέση τιμή που χαρακτηρίζει την κατάσταση στατιστικού ελέγχου της διαδικασίας και  $n$  το μέγεθος δείγματος που λαμβάνεται. Οι τύποι (2.15) και (2.16) είναι γενικότεροι διότι αναφέρονται σε διαγράμματα ελέγχου  $k$  τυπικών αποκλίσεων, ενώ οι τύποι (2.4) και (2.5) χρησιμοποιούνται μόνο για διαγράμματα τριών τυπικών αποκλίσεων.

#### **Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων**

Σε μεγάλο αριθμό παραγωγικών διαδικασιών τα δείγματα που λαμβάνονται για τον στατιστικό έλεγχο της διαδικασίας αποτελούνται από μία μόνο μέτρηση ( $n=1$ ). Για παράδειγμα, υπάρχουν διαδικασίες που χαρακτηρίζονται από τη συνεχή ροή ενός απολύτως ομογενούς προϊόντος, επομένως περισσότερες μετρήσεις του χαρακτηριστικού ποιότητας σε σύντομο χρόνο θα έδιναν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα. Άλλη περίπτωση λήψης δειγμάτων μιας μέτρησης παρατηρείται όταν ο ρυθμός παραγωγής είναι ιδιαίτερα χαμηλός και επομένως δεν κρίνεται σκόπιμη η δημιουργία μεγάλων δειγμάτων διότι οι μετρήσεις θα έχουν σημαντική χρονική απόσταση.

Το πρόβλημα που δημιουργείται για δείγματα μιας μέτρησης έγκειται στην αδυναμία εκτίμησης της φυσικής μεταβλητότητας του μεγέθους που εξετάζεται. Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος γίνεται χρήση του κινούμενου εύρους (moving range, MR) δύο διαδοχικών μετρήσεων που ορίζεται ως:

$$MR_j = |x_j - x_{j-1}| \quad (2.17)$$

Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας λαμβάνονται  $m$  μετρήσεις  $x_j$ , όπου  $j = 1, 2, \dots, m$ . Στη συνέχεια υπολογίζονται  $m-1$  τιμές  $MR_j$ , όπου  $j = 2, \dots, m$ . Ακολουθεί υπολογισμός του μέσου κινούμενου εύρους και της εκτιμήτριας της τυπικής απόκλισης σύμφωνα με τους τύπους (2.18) και (2.19):

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{j=2}^m MR_j}{m-1} \quad (2.18)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = \frac{\overline{MR}}{1,128} \quad (2.19)$$

Το  $d_2$  στη σχέση (2.19) λαμβάνεται από τον Πίνακα 2.10 για  $n=2$ . Τα όρια ελέγχου του διαγράμματος ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων είναι:

$$UCL = \mu_0 + k\hat{\sigma} \quad (2.20)$$

$$LCL = \mu_0 - k\hat{\sigma} \quad (2.21)$$

Για την ονομαστική τιμή  $\mu_0$  υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση η τιμή της είναι καθορισμένη, ενώ στην δεύτερη περίπτωση αντικαθίσταται από τη μέση τιμή  $\bar{x}$  των μετρήσεων  $x_j$ :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m} \quad (2.22)$$

Το διάγραμμα μεμονωμένων μετρήσεων συχνά συνοδεύεται από το διάγραμμα κινούμενου εύρους με όρια ελέγχου τα παρακάτω:

$$UCL = D_4(\overline{MR}) = (3,267)\overline{MR} \quad (2.23)$$

$$LCL = D_3(\overline{MR}) = 0 \quad (2.24)$$

Οι τιμές των  $D_4$  και  $D_3$  δίνονται από τον Πίνακα 2.10 για  $n = 2$ . Η ερμηνεία των διαγραμμάτων μεμονωμένων μετρήσεων και κινούμενου εύρους χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή, επειδή μεταβολές της μέσης τιμής επιδρούν στα διαγράμματα αυτά. Ένα σημείο  $MR$  εκτός των ορίων ελέγχου δεν αποτελεί απαραίτητα ένδειξη της μεταβλητότητας του χαρακτηριστικού ποιότητας, αλλά ενδέχεται να σηματοδοτεί μεταβολή της μέσης τιμής.

#### **Αθροιστικό διάγραμμα ελέγχου**

Το αθροιστικό διάγραμμα ελέγχου (cumulative – sum control chart, cusum control chart) δίνει την δυνατότητα υπολογισμού και χρησιμοποίησης του αθροίσματος των αποκλίσεων στατιστικών εκτιμητριών διαδοχικών δειγμάτων από την αντίστοιχη ονομαστική τιμή. Το αθροιστικό διάγραμμα μέσης τιμής χρησιμοποιεί ως στατιστική του διαγράμματος το μέγεθος:

$$C(i) = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0) \quad (2.25)$$

όπου  $x_j$  η μέση τιμή του δείγματος  $j$  και  $\mu_0$  η ονομαστική μέση τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας που εξετάζεται. Κατά κανόνα τα χαρακτηριστικά ποιότητας που μελετώνται θεωρούνται ως τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν

κανονική κατανομή  $N(\mu, \sigma^2)$ . Το άθροισμα  $C(i)$  συνδυάζει πληροφορίες από όλα τα  $i$  διαθέσιμα δείγματα. Επομένως, το αθροιστικό διάγραμμα μέσης τιμής θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματικό για τον εντοπισμό μικρών μεταβολών της μέσης τιμής. Ειδικότερα, θεωρείται αποτελεσματικότερο του διαγράμματος μέσης τιμής για τον εντοπισμό μικρών μεταβολών για δείγματα μεγέθους  $n = 1$ .

Για τη δημιουργία του αθροιστικού διαγράμματος μέσης τιμής λαμβάνει χώρα ο υπολογισμός των δύο παρακάτω αθροισμάτων:

- Άθροισμα  $C_H(i)$  για αναγνώριση συστηματικών αιτιών αύξησης της μέσης τιμής.
- Άθροισμα  $C_L(i)$  για αναγνώριση συστηματικών αιτιών μείωσης της μέσης τιμής.

Τα παραπάνω αθροίσματα υπολογίζονται μετά την καταγραφή κάθε νέας μέσης τιμής δείγματος  $\bar{x}_i$ . Οι τύποι υπολογισμού των αθροισμάτων δίνονται από τους τύπους (2.26) και (2.27) αντίστοιχα:

$$C_H(i) = \max\{0, \bar{x}_i - (\mu_0 + k) + C_H(i-1)\} \quad (2.26)$$

$$C_L(i) = \max\{0, (\mu_0 - k) - \bar{x}_i + C_L(i-1)\} \quad (2.27)$$

Οι αρχικές τιμές των  $C_H(i)$  και  $C_L(i)$  είναι  $C_H(0) = 0$  και  $C_L(0) = 0$ . Η τιμή του  $K$  (τιμή αναφοράς) είναι συνάρτηση του μεγέθους της μεταβολής που επιδιώκεται να εντοπιστεί. Αν ο έλεγχος αποσκοπεί στην έγκαιρη ανίχνευση μεταβολών της

μέσης τιμής κατά  $\delta$  τυπικές αποκλίσεις τότε το  $K$  υπολογίζεται συνήθως από τον τύπο  $K = \delta\sigma/2$ , όπου  $\sigma$  η τυπική απόκλιση του χαρακτηριστικού ποιότητας που μελετάται.

Εξετάζοντας τους τύπους (2.26) και (2.27), εύκολα συνεπάγεται το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των  $C_H(i)$  και  $C_L(i)$  τόσο ισχυρότερη είναι η ένδειξη αύξησης ή μείωσης της μέσης τιμής αντίστοιχα. Η διαδικασία κρίνεται ότι βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου στις περιπτώσεις όπου ισχύει  $C_H(i) > H$  ή  $C_L(i) > H$ . Η τιμή της παραμέτρου  $H$  μπορεί να χαρακτηριστεί ως θέση ορίου ελέγχου σε κάθε ένα από τα δύο επιμέρους αθροιστικά διαγράμματα. Η συνιστώμενη τιμή της παραμέτρου είναι:

$$H = 5\sigma_x = 5 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.28)$$

Τα παραπάνω συμπεράσματα και εκτιμήσεις θεωρούνται προσεγγιστικά, εφόσον υπόκεινται πάντοτε στην πιθανότητα σφάλματος εξ' αιτίας της φυσικής μεταβλητότητας της διαδικασίας.

## 2.9.2 Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων

Τα σημαντικότερα στοιχεία των διαγραμμάτων ελέγχου χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων παραθέτονται ακολούθως:

➤ **Διάγραμμα  $p$**  (percentage of defectives): Εξετάζει το ποσοστό των ελαττωματικών και το δείγμα δεν είναι απαραίτητα σταθερό.

$$p = (\text{αριθμός ελαττωματικών})/(\text{μέγεθος δείγματος}) \quad (2.29)$$

$$\bar{p} = (\text{σύνολο ελαττωματικών})/(\text{σύνολο δειγμάτων}) \quad (2.30)$$

$$UCL = p_0 + k \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad (2.31)$$

$$LCL = p_0 - k \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad (2.32)$$

όπου  $p_0$  το ονομαστικό ποσοστό ελαττωματικών, ενώ τα όρια ελέγχου απέχουν  $k$  τυπικές αποκλίσεις από την κεντρική γραμμή. Αν το κάτω όριο ελέγχου είναι αρνητικό τότε ορίζεται ίσο με το μηδέν (ισχύει για όλα τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων). Το ονομαστικό ποσοστό ελαττωματικών συνήθως λαμβάνεται ίσο με το μέσο ποσοστό ελαττωματικών όλων των δειγμάτων που λαμβάνονται, ενώ για  $k=3$  λαμβάνονται τα όρια του διαγράμματος τριών τυπικών αποκλίσεων. Επιπλέον, στην περίπτωση όπου το μέγεθος των δειγμάτων είναι μεταβλητό η στατιστική μεταβλητή του δείγματος  $i$  και τα όρια ελέγχου θα είναι:

$$Z_i = \frac{p_i - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n_i}}} \quad (2.33)$$

$$UCL = +k \quad (2.34)$$

$$LCL = -k \quad (2.35)$$



Η στατιστική δείγματος  $Z_i$  εκφράζει την απόσταση του ποσοστού ελαττωματικών από την κεντρική γραμμή σε αριθμό τυπικών αποκλίσεων, λαμβάνοντας υπ' όψιν το μέγεθος του δείγματος.

- **Διάγραμμα  $np$**  (number of defectives): Εξετάζει τον αριθμό των ελαττωματικών ( $np$ ) σε δείγμα μεγέθους  $n$  και το δείγμα είναι σταθερό.

$$p = (\text{αριθμός ελαττωματικών}) / (\text{μέγεθος δείγματος}) \quad (2.36)$$

$$\bar{p} = (\text{σύνολο ελαττωματικών}) / (\text{σύνολο δειγμάτων}) \quad (2.37)$$

$$UCL = np_0 + k\sqrt{np_0(1-p_0)} \quad (2.38)$$

$$LCL = np_0 - k\sqrt{np_0(1-p_0)} \quad (2.39)$$

όπου  $p_0$  το ονομαστικό ποσοστό ελαττωματικών που προσδιορίζεται από την ανάλυση των δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας (συνήθως  $\bar{p}$ ).

- **Διάγραμμα  $c$**  (number of defects): Εξετάζει τον αριθμό των ελαττωμάτων και το δείγμα είναι σταθερό.

$$c = \text{Αριθμός ελαττωμάτων} \quad (2.40)$$

$$\bar{c} = \text{Μέση τιμή ελαττωμάτων} \quad (2.41)$$

$$UCL = \bar{c}_0 + k\sqrt{\bar{c}_0} \quad (2.42)$$

$$LCL = \bar{c}_0 - k\sqrt{\bar{c}_0} \quad (2.43)$$

όπου  $c_0$  ο ονομαστικός αριθμός ελαττωμάτων ανά μονάδα (συνήθως  $\bar{c}$ ).

➤ **Διάγραμμα u** (defects per unit): Εξετάζει τον αριθμό ελαττωμάτων ανά μονάδα (μήκους, χρόνου, επιφάνειας κτλ.) και το δείγμα δεν είναι απαραίτητα σταθερό.

$$u = (\text{αριθμός ελαττωμάτων})/(\text{μονάδα (μήκους, χρόνου κτλ.)}) \quad (2.44)$$

$$\bar{u} = (\text{σύνολο ελαττωμάτων})/(\text{σύνολο μονάδων}) \quad (2.45)$$

$$UCL = u_0 + k\sqrt{\frac{u_0}{n}} \quad (2.46)$$

$$LCL = u_0 - k\sqrt{\frac{u_0}{n}} \quad (2.47)$$

όπου  $u_0$  ο ονομαστικός αριθμός ελαττωμάτων ανά μονάδα (συνήθως  $\bar{u}$ ).

Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι η κατασκευή και η χρησιμοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχου χαρακτηριστικών ή ιδιοτήτων προϋποθέτουν κατανόηση της πιθανοθεωρίας των κατανομών. Τα σημαντικότερα είδη κατανομών εξετάζονται στο τρίτο κεφάλαιο.

### 2.9.3 Ερμηνεία διαγραμμάτων ελέγχου

Όσον αφορά την ερμηνεία των διαγραμμάτων που αναφέρθηκαν, υπάρχουν διάφορα κριτήρια που καταδεικνύουν περιπτώσεις όπου μια διεργασία παρουσιάζει σαφείς ενδείξεις ότι είναι εκτός στατιστικού ελέγχου. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Ένα τουλάχιστον σημείο βρίσκεται κάτω από το κάτω όριο ελέγχου ή πάνω από το πάνω όριο ελέγχου.
- ✓ Υπάρχει περιοδικότητα (επαναλαμβανόμενες μορφές).
- ✓ Επτά συνεχή σημεία εμφανίζουν ανοδική ή καθοδική τάση.
- ✓ Επτά συνεχή σημεία βρίσκονται από την ίδια μεριά της κεντρικής γραμμής.
- ✓ Δέκα από έντεκα συνεχή σημεία βρίσκονται από την ίδια μεριά της κεντρικής γραμμής.
- ✓ Δύο συνεχή σημεία βρίσκονται πολύ κοντά στο άνω ή στο κάτω όριο ελέγχου.

Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι στη βιβλιογραφία τα κριτήρια αυτά ενδέχεται να απαντηθούν με διάφορες παραλλαγές.

## 2.10 Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύχθηκαν τα επτά βασικά εργαλεία ποιότητας που υποστηρίζουν άμεσα την εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Τα εργαλεία αυτά αποτελούνται από το ιστόγραμμα, το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος, την ανάλυση Pareto, το φύλλο ελέγχου, το διάγραμμα ροής, το διάγραμμα διασποράς ή νέφους σημείων και το διάγραμμα ελέγχου.

Για κάθε ένα από τα εργαλεία του ελέγχου ποιότητας δόθηκαν οι γενικές αρχές, τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους, ο τρόπος κατασκευής τους μέσω απτών

παραδειγμάτων, οι συνηθέστερες εφαρμογές τους στην πράξη, τα θετικά και αρνητικά τους στοιχεία και η ερμηνεία τους. Ορισμένα από τα εργαλεία έχουν ένα πολύ απλό και κατανοητό σκεπτικό. Το γεγονός αυτό περιορίζει κάποια βαθύτερη και εκτενή ανάλυσή τους. Αντίθετα, για εργαλεία όπως τα διαγράμματα ελέγχου ή ποικιλία των περιπτώσεων εφαρμογής, καθώς και η ιδιαίτερη αναφορά σε κάποια σημεία που ενδέχεται να προκαλέσουν σύγχυση, επεκτείνουν την ανάλυσή τους.

Το 95% των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν σε μια επιχείρηση μπορούν να λυθούν με τη χρήση των 7 βασικών εργαλείων που αναφέρθηκαν, σύμφωνα με τον Kaoru Ishikawa. Πάραυτα, υπάρχουν και άλλα εργαλεία ποιότητας που χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό. Τέτοια είναι το δέντροδιάγραμμα, η ανταλλαγή απόψεων (brainstorming), το διάγραμμα συνάφειας, το διάγραμμα σχέσεων, η ανάλυση δυνάμεως – πεδίου (force – field analysis), η πολυμεταβλητή ανάλυση, η απεικόνιση διεργασίας και συγκέντρωσης ελαττωμάτων, η μοντελοποίηση – προσομοίωση κλπ.

Οι ομάδες στις οποίες ανατίθεται η χρήση στατιστικών εργαλείων παίζουν καθοριστικό ρόλο αναφορικά με το τελικό αποτέλεσμα της προσπάθειας. Η μη επαρκής εκπαίδευση των ατόμων αποτελεί παράγοντα που εμποδίζει την επιτυχή χρήση των εργαλείων. Σε πολλές περιπτώσεις η εκπαίδευση προσανατολίζεται σε συγκεκριμένες τεχνικές και δίνεται ελάχιστη έμφαση στο γεγονός ότι η προσέγγιση των προβλημάτων απαιτεί τη χρήση ποικίλων

τεχνικών. Επιπροσθέτως, η εκπαίδευση πρέπει να απευθύνεται στα κατάλληλα άτομα και να στηρίζεται σε απτά παραδείγματα που να σχετίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο με τη φύση της εργασίας των διαφόρων ομάδων εργασίας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική (Βιβλία - Άρθρα)

1. Αντζουλάκος, Δ. (2003), Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας – Σημειώσεις παραδόσεων για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Εφαρμοσμένη Στατιστική, Πειραιάς
2. Γραφανάκης, Δ. (2000), «Βασικά Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας, Τόμος Δ'», Πάτρα
3. Λογοθέτης Ν. (1992), Management Ολικής Ποιότητας, Interbooks, Αθήνα
4. Σπανός Α. (1995), Ολική ποιότητα, εκδόσεις Γαλιλαίος, Αθήνα
5. Τζωρτζόπουλος Π. (1981), Στατιστικός ποιοτικός έλεγχος, Αθήνα

### Ξενόγλωσση (Βιβλία)

1. Besterfield, D. (1998), Quality Control, Prentice Hall, USA
2. Bossert, J. (1991), Quality function deployment, ASQC Quality press, Milwaukee
3. Brassard, M. (1988), The Memory Jogger, A Pocket Guide of Tools for Continuous Improvement, pp. 36 – 43, MA: GOAL/QPC, Methuen
4. Burr, J. (1989), SPC tools for operators, Quality Press, Milwaukee
5. Caplen, R. (1971), A practical approach to quality control, C Business, UK

6. Department of the Navy (1992), Fundamentals of Total Quality Leadership (Instructor Guide), CA: Navy Personnel Research and Development Center, San Diego
7. Department of the Navy (1993), Systems Approach to Process Improvement (Instructor Guide), CA: OUSN Total Quality Leadership Office and Navy Personnel Research and Development Center, San Diego
8. Garvin, D. (1988), Managing quality, MacMillan, NY
9. Gitlow, H., Gitlow, S., Oppenheim, A., Oppenheim, R. (1989), Tools and Methods for the Improvement of Quality, IL: Richard D. Irwin, Inc, Homewood
10. Hacquebord, H. (1990), A Strategy for Helping Managers to Change
11. Heizer, J., Render, B. (2005), Operations Management, 8<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, New Jersey
12. International Standardization Organization, ISO 8258: 1991 (1995), Statistical methods for quality control – Volume 2, Geneva, Switzerland
13. Ishikawa, Kaoru (1968), Guide to Quality Control, Asian Productivity Organization, Tokyo
14. James, P. (1998), Total quality management, Prentice Hall
15. Juran, J. (1988), Juran's quality control handbook, Mc Graw Hill
16. Juran, J. (1989), Juran on leadership for quality, Collier Macmillan, London
17. Montgomery, D. (2001), Introduction to Statistical Quality Control, 4<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc NY
18. Wheeler, D.J. (1993). Understanding Variation - The Key to Managing Chaos, TN: SPC Press, Knoxville

19. Wheeler, D.J., & Chambers, D.S. (1992), Understanding Statistical Process Control (2<sup>nd</sup> Edition), TN: SPC Press, Knoxville
20. Scholtes, P.R. et al (1988). The Team Handbook, WI: Joiner Associates, Madison
21. Tribus, M. (June 1989), Deployment Flowcharting (workbook and videotapes), CA: Quality and Productivity, Inc, Los Angeles

### Ξενόγλωσση (Άρθρα)

1. Dooley, K. (1999) Advances in the Management of Organizational Quality, Vol. 5, pp 1-28
2. Hwang, H.B., Hubele, N.F., (1993a), Back-propagation pattern recognizers for X-bar control charts: methodology and performance, Computers and Industrial Engineering 24 (2), pp 219–235
3. Nelson L.S. (1984), The Shewhart control chart – tests for special causes, Journal of Quality Technology 16 (4), pp 237–239



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ

#### 3.1 Εισαγωγή

Κατά την εκτέλεση ενός πειράματος, αυτό που ενδιαφέρει συνήθως δεν είναι το αποτέλεσμα του πειράματος αυτό καθ' αυτό, αλλά ένα ή περισσότερα αριθμητικά χαρακτηριστικά του αποτελέσματος. Στον έλεγχο της ποιότητας μιας μηχανής για παράδειγμα, λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα δείγματα  $n$  προϊόντων και εξετάζεται η ποιότητά τους. Το αν θα συνεχιστεί ή θα διακοπεί η παραγωγή θα εξαρτηθεί από τον αριθμό των ελαττωματικών προϊόντων μεταξύ των  $n$  στοιχείων του δείγματος και όχι από τη σειρά εμφάνισης των ελαττωματικών στο δείγμα.

Μια τυχαία μεταβλητή εξαρτάται από το αποτέλεσμα ενός πειράματος και μόνο μετά την εκτέλεσή του γίνεται γνωστή. Η μελέτη πιθανοθεωρητικών προβλημάτων γίνεται ευχερέστερη κάνοντας χρήση της συνάρτησης κατανομής της πιθανότητας. Υπάρχουν χαρακτηριστικές συναρτήσεις πιθανότητας που χρησιμοποιούνται ευρέως και αντιπροσωπεύουν μεγάλο αριθμό πληθυσμών. Η

χρήση των κατανομών και των ιδιοτήτων τους στο σχεδιασμό και την περιγραφή διεργασιών σε αρκετές περιπτώσεις θεωρείται απαραίτητη.

Σε πολλά παραδείγματα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία γίνεται η παραδοχή ότι οι παράμετροι μιας κατανομής πιθανότητας, και επομένως οι παράμετροι μιας διεργασίας, είναι γνωστές. Αυτό αποτελεί συνήθως μια μη ρεαλιστική παραδοχή. Γενικά, οι διάφορες παράμετροι σε μια διεργασία είναι άγνωστες. Συνεπώς, χρειάζεται να αναπτυχθούν διαδικασίες προσδιορισμού παραμέτρων σε κατανομές πιθανοτήτων ώστε να λάβει χώρα η λύση προβλημάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων που σχετίζονται με αυτές. Οι στατιστικές τεχνικές εκτίμησης παραμέτρων, όπως ο καθορισμός διαστημάτων εμπιστοσύνης και ο έλεγχος υποθέσεων, θεωρούνται χρήσιμα εργαλεία για το σκοπό αυτό και αποτελούν υποστηρικτική βάση για τις περισσότερες μεθοδολογίες του στατιστικού ελέγχου ποιότητας.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι σημαντικότερες κατανομές πιθανότητας και αναφέρονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους. Ακολουθεί η παράθεση των διαστημάτων εμπιστοσύνης παραμέτρων που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην πράξη. Επιπλέον, γίνεται λόγος για τον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων με βάση κριτήρια τα οποία σχετίζονται με την αποδοχή ή την απόρριψη των υποθέσεων αυτών.

## 3.2 Ειδικές κατανομές πιθανότητας

Μία κατανομή πιθανότητας αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο που συσχετίζει την τιμή μιας μεταβλητής με την πιθανότητα εμφάνισης της τιμής αυτής σε έναν πληθυσμό. Η πλήρης κατανόηση των όρων που διέπουν κάθε μοντέλο καθώς και αυτών που διέπουν ένα σύστημα αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να γίνει σωστή επιλογή του μοντέλου που θα περιγράψει ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του συστήματος. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στατιστικά δεδομένα για τον εμπειρικό προσδιορισμό του κατάλληλου μοντέλου. Τελικά, αυτό που επιβεβαιώνει, έως ένα βαθμό, ή απορρίπτει ένα μοντέλο είναι η συμφωνία, ή όχι, μεταξύ των προβλέψεων με βάση το μοντέλο και των παρατηρήσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα βασικά μοντέλα κατανομής πιθανότητας τυχαίας μεταβλητής που εμφανίζονται συχνά στις εφαρμογές.

### 3.2.1 Διακριτές κατανομές πιθανότητας

Όταν μια τυχαία μεταβλητή μπορεί να πάρει μόνο συγκεκριμένες τιμές, όπως είναι για παράδειγμα οι ακέραιοι  $0, 1, 2, \dots$ , η κατανομή πιθανότητας της μεταβλητής καλείται διακριτή. Συγκεκριμένα η τυχαία μεταβλητή  $X$  έχει διακριτή κατανομή πιθανότητας όταν υπάρχει αριθμήσιμο σύνολο  $C = \{x_1, x_2, \dots\} \in \mathfrak{R}$  με  $P[X \in C] = 1$ , όπου  $P[X \in C]$  η πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή  $X$  να ανήκει στο σύνολο  $C$ .

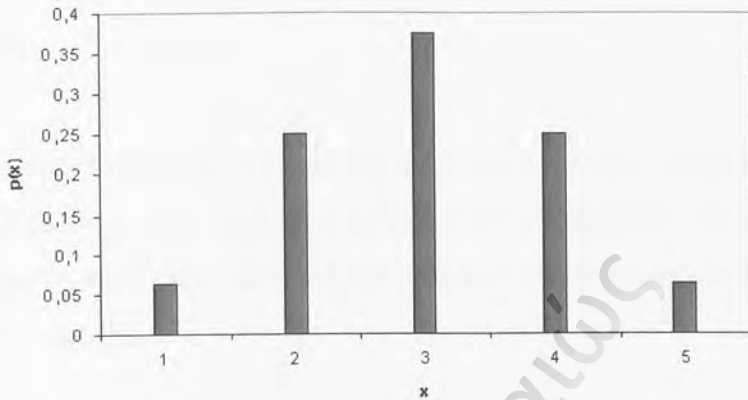
### Διωνυμική κατανομή

Έστω ότι παρατηρείται μια διεργασία που περιλαμβάνει μια ακολουθία  $n$  ανεξάρτητων δοκιμών. Ο όρος ανεξάρτητη δοκιμή σημαίνει ότι το αποτέλεσμα της δοκιμής δεν εξαρτάται με κανέναν τρόπο από το αποτέλεσμα προηγούμενων δοκιμών. Όταν το αποτέλεσμα κάθε δοκιμής αποτελεί μία "επιτυχία" ή μια "αποτυχία", τότε οι δοκιμές αυτές αποτελούν μια ακολουθία δοκιμών Bernoulli. Εάν η πιθανότητα μιας "επιτυχίας" - έστω  $p$  - σε κάθε δοκιμή παραμένει σταθερή, τότε ο αριθμός των "επιτυχιών" σε μια ακολουθία  $n$  δοκιμών Bernoulli ακολουθεί Διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $n$  και  $p$ .

Συγκεκριμένα, η διακριτή τυχαία μεταβλητή  $X$  ακολουθεί τη Διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $n$  και  $p$  ( $n \in \mathbb{N}, 0 < p < 1$ ), όταν έχει συνάρτηση μάζας πιθανότητας την παρακάτω συνάρτηση:

$$p(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, \dots, n \quad (3.1)$$

Η συνάρτηση  $p(x)$  (συνάρτηση μάζας πιθανότητας) παριστάνει την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή  $X$  να πάρει την τιμή  $x$  ( $P(X)=x$ ). Στο Διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται μια Διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $n=4$  και  $p=1/2$ .



**Διάγραμμα 3.1**

**Διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $n=4$  και  $p=0.5$**

Η Διωνυμική κατανομή είναι συμμετρική όταν  $p=0.5$ . Επίσης είναι αύξουσα ως προς  $x$  όταν  $0 < x < (n+1)p$  και φθίνουσα όταν  $(n+1)p < x < n$ . Ειδικά για  $n=1$  η Διωνυμική κατανομή ονομάζεται κατανομή Βεργουλλί. Η συνάρτηση μάζας πιθανότητας στην περίπτωση αυτή είναι:

$$p(x) = p^x(1-p)^{1-x}, \quad x = 0,1 \quad (3.2)$$

Η μέση τιμή  $\mu$  και η διακύμανση  $\sigma^2$  μιας μεταβλητής που ακολουθεί Διωνυμική κατανομή είναι:

$$\mu = np \quad (3.3)$$

$$\sigma^2 = np(1-p) \quad (3.4)$$

**Παράδειγμα 3.1:** Το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων παραγωγής μηχανής είναι πέντε τοις εκατό. Το προϊόν συσκευάζεται σε πακέτα των δέκα

τεμαχίων. Ποια η πιθανότητα σε τυχόν πακέτο να υπάρχουν δύο ελαττωματικά προϊόντα;

Εφόσον κατά την παραγωγή του προϊόντος το ποσοστό των ελαττωματικών είναι σταθερό και ίσο με πέντε τοις εκατό, ο αριθμός  $X$  των ελαττωματικών στο πακέτο των δέκα τεμαχίων ακολουθεί Διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $n=10$  και  $p=0.05$ . Επομένως:

$$P(X = 2) = \binom{10}{2} (0.05)^2 (0.95)^8 = 0.0746.$$

Μια τυχαία μεταβλητή που εμφανίζεται συχνά στον στατιστικό έλεγχο ποιότητας είναι η:

$$\hat{p} = \frac{x}{n} \quad (3.5)$$

Η μεταβλητή  $x$  στην περίπτωση αυτή ακολουθεί Διωνυμική κατανομή με παραμέτρους  $n$  και  $p$ . Η τυχαία μεταβλητή  $\hat{p}$  αντιπροσωπεύει τον λόγο του παρατηρούμενου αριθμού ελαττωματικών (defective) ή μη συμμορφωμένων στις προδιαγραφές (nonconforming) προϊόντων σε ένα δείγμα ( $x$ ) μεγέθους ( $n$ ). Ο λόγος αυτός συνήθως αποκαλείται ως κλάσμα ελαττωματικών δείγματος (sample fraction defective). Η συνάρτηση μάζας πιθανότητας της μεταβλητής  $\hat{p}$  είναι:

$$P(\hat{p} \leq a) = P\left\{\frac{x}{n} \leq a\right\} = P\{x \leq na\} = \sum_{x=0}^{[na]} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad (3.6)$$

Η διακύμανση και η μέση τιμή της μεταβλητής  $\hat{p}$  είναι:

$$\mu = p \quad (3.7)$$

$$\sigma^2 = \frac{p(1-p)}{n} \quad (3.8)$$

### Αρνητική Διωνυμική κατανομή (κατανομή Pascal)

Εάν σε ένα παράδειγμα δοκιμών Bernoulli ενδιαφέρει το πλήθος των δοκιμών μέχρι την πρώτη εμφάνιση του γεγονότος  $A$  ("επιτυχία"), τότε ορίζεται μια τυχαία μεταβλητή  $X$  που παριστάνει το πλήθος των δοκιμών μέχρι την πρώτη εμφάνιση του  $A$ . Η μεταβλητή αυτή παίρνει τιμές θετικούς ακεραίους  $(1,2,3,\dots)$  με πιθανότητα:

$$P(X = x) = p(1-p)^{x-1}, \quad x = 1,2,3,\dots \quad (3.9)$$

Η αντίστοιχη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας δίνεται από τον τύπο:

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum_{x=1}^x p(1-p)^{x-1} \quad (3.10)$$

Η παραπάνω κατανομή καλείται γεωμετρική κατανομή.

Ορίζοντας ως τυχαία μεταβλητή το πλήθος των δοκιμών μέχρι  $r$  εμφανίσεων του γεγονότος  $A$ , τότε η μεταβλητή αυτή ακολουθεί την αρνητική Διωνυμική κατανομή ή κατανομή Pascal. Η συνάρτηση μάζας πιθανότητας της κατανομής αυτής θα είναι:

$$p(x) = \binom{x-1}{r-1} p^r (1-p)^{x-r} \quad x = r, r+1, r+2, \dots \quad (3.11)$$

Η μέση τιμή και η διακύμανση της μεταβλητής  $r$  είναι:

$$\mu = \frac{r}{p} \quad (3.12)$$

$$\sigma^2 = \frac{r(1-p)}{p^2} \quad (3.13)$$

**Παράδειγμα 3.2:** Εάν το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων μιας παραγωγικής διαδικασίας είναι τέσσερα τοις εκατό, ποια η πιθανότητα κατά τον έλεγχο ποιότητας των προϊόντων να εμφανιστεί για πρώτη φορά ελαττωματικό κατά την διάρκεια του τρίτου ελέγχου;

Χρησιμοποιώντας την αρνητική Διωνυμική κατανομή με  $p=0.04$  και  $r=1$  (γεωμετρική κατανομή) προκύπτει ότι:

$$P(X = 3) = (0,04)(0,96)^3 = 0,035389$$

Από το Παράδειγμα 3.2 διαπιστώνει κανείς ότι η γεωμετρική κατανομή αποτελεί ειδική περίπτωση της αρνητικής Διωνυμικής κατανομής.

### **Υπεργεωμετρική κατανομή**

Για να οριστεί η Υπεργεωμετρική κατανομή, λαμβάνεται ένας πεπερασμένος πληθυσμός που αποτελείται από  $N$  στοιχεία. Έστω ότι εξάγεται χωρίς επανάθεση δείγμα  $n$  στοιχείων από τον πληθυσμό αυτό. Εάν  $m$  στοιχεία του πληθυσμού έχουν μια συγκεκριμένη ιδιότητα και  $X$  ο αριθμός των στοιχείων του δείγματος με την ιδιότητα αυτή. Υποθέτοντας ότι όλα τα δείγματα των  $n$  στοιχείων είναι το ίδιο



πιθανά (τυχαία δειγματοληψία), η τυχαία μεταβλητή  $X$  ακολουθεί υπεργεωμετρική κατανομή με συνάρτηση μάζας πιθανότητας:

$$p(x) = \frac{\binom{m}{x} \binom{N-m}{n-x}}{\binom{N}{n}} \quad x = 0, 1, 2, \dots, \min(n, m) \quad (3.14)$$

Η μέση τιμή και η διακύμανση της μεταβλητής  $X$  είναι:

$$\mu = \frac{nm}{N} \quad (3.15)$$

$$\sigma^2 = \frac{nm}{N} \left(1 - \frac{m}{N}\right) \left(\frac{N-n}{N-1}\right) \quad (3.16)$$

**Παράδειγμα 3.3:** Έστω ότι παράγονται εκατό μηχανές, πέντε εκ των οποίων δεν τηρούν τις προδιαγραφές. Εάν γίνει τυχαία επιλογή δέκα μηχανών χωρίς επανάθεση, ποια είναι η πιθανότητα στο δείγμα να περιέχεται το πολύ μία μηχανή που δεν είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές;

Χρησιμοποιώντας υπεργεωμετρική κατανομή η ζητούμενη πιθανότητα θα είναι:

$$P\{x \leq 1\} = P\{x = 0\} + P\{x = 1\} = \frac{\binom{5}{0} \binom{95}{10}}{\binom{100}{10}} + \frac{\binom{5}{1} \binom{95}{9}}{\binom{100}{10}} = 0.923$$

Για την εξαγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος, υπολογίστηκε το άθροισμα των πιθανοτήτων ύπαρξης καμίας ή μίας μηχανής που δεν τηρεί τις προδιαγραφές στο δείγμα.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Montgomery, 2001, σελίδα 57

## Κατανομή Poisson

Στη μελέτη του ελέγχου ποιότητας διεργασιών, αντιμετωπίζεται συχνά το πρόβλημα υπολογισμού της πιθανότητας εμφάνισης ενός συγκεκριμένου γεγονότος κατά τη διάρκεια ενός σταθερού χρονικού διαστήματος. Ενδεικτικά παραδείγματα αποτελούν το πλήθος των τυπογραφικών λαθών σε ένα βιβλίο, το πλήθος των συντακτικών λαθών σε ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο αριθμός κλήσεων άμεσης βοήθειας εντός μιας ώρας, ο αριθμός των διακοπών λειτουργίας μιας μηχανής σε διάστημα μιας ημέρας κλπ.

Η κατανομή Poisson αφορά τον αριθμό "συμβάντων" σε ορισμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα. Γενικά, ο αριθμός  $X(t)$  των συμβάντων σε χρονικό (ή χωρικό) διάστημα  $t$  ακολουθεί την κατανομή Poisson εάν α) ο ρυθμός  $\lambda$ , έστω των συμβάντων είναι χρονικά σταθερός και β) οι αριθμοί των συμβάντων σε ξένα διαστήματα αποτελούν ανεξάρτητα ενδεχόμενα. Η συνάρτηση μάζας πιθανότητας της μεταβλητής  $X(t)$  είναι:

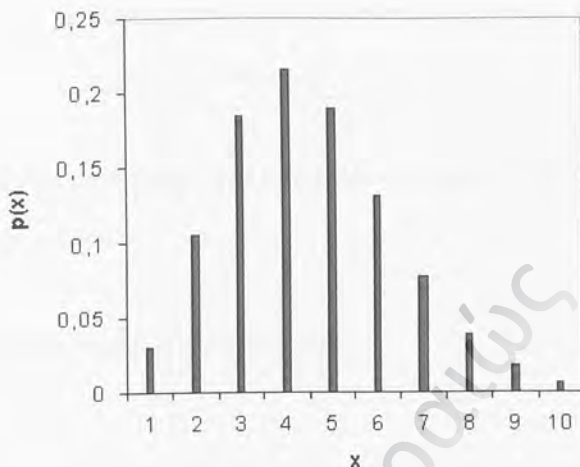
$$p(x) = P(X(t) = x) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^x}{x!} \quad \lambda > 0, \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (3.17)$$

Η μέση τιμή και η διακύμανση της μεταβλητής  $X(t)$  είναι:

$$\mu = \lambda t \quad (3.18)$$

$$\sigma^2 = \lambda t \quad (3.19)$$

Στο Διάγραμμα 3.2 παριστάνεται κατανομή Poisson με  $\lambda t = 3,5$ .



**Διάγραμμα 3.2**  
**Κατανομή Poisson με λt=3.5**

Η κατανομή Poisson μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσέγγιση της διωνυμικής κατανομής. Συγκεκριμένα, έστω ότι η τυχαία μεταβλητή έχει τη διωνυμική κατανομή με συνάρτηση μάζας πιθανότητας που δίνεται από τον τύπο (3.1). Αν  $n \rightarrow \infty, p \rightarrow 0$  με  $np = \lambda t$ , η Διωνυμική κατανομή οδηγεί στην κατανομή Poisson.

**Παράδειγμα 3.4:** Μια μηχανή παράγει διακόσια τεμάχια την ημέρα, εκ των οποίων το δύο τοις εκατό είναι ελαττωματικά. Ποια η πιθανότητα στην παραγωγή μιας ημέρας να υπάρχουν  $x=2$  ελαττωματικά τεμάχια;

Από την κατανομή Poisson με παράμετρο  $\lambda t = np = 4$  προκύπτει ότι:

$$P(X = 2) = e^{-4} \frac{4^2}{2!} = 8e^{-4} = 0.1465$$

Χρησιμοποιώντας τη Διωνυμική κατανομή και τον τύπο (3.1) προκύπτει:

$$P(X = 2) = \binom{200}{2} 0,02^2 (0,98)^{198} = 0.1458$$

Παρατηρείται ότι το αποτέλεσμα είναι παραπλήσιο και για τις δύο κατανομές στο συγκεκριμένο παράδειγμα.

### 3.2.2 Συνεχείς κατανομές πιθανότητας

Όταν οι τιμές μιας τυχαιάς μεταβλητής εκφράζονται πάνω σε συνεχή κλίμακα (continuous scale), η κατανομή πιθανότητας της μεταβλητής αυτής καλείται συνεχής. Συγκεκριμένα η τυχαιά μεταβλητή  $X$  έχει απολύτως συνεχή κατανομή πιθανότητας, όταν υπάρχει πραγματική συνάρτηση  $f$  με πεδίο ορισμού τους πραγματικούς αριθμούς ( $\mathfrak{R}$ ), τέτοια ώστε:

$$f(x) \geq 0 \quad \forall x \in \mathfrak{R} \quad (3.20)$$

$$F(x) = P[X \leq x] \equiv \int_{-\infty}^x f(y) dy \quad \forall x \in \mathfrak{R} \quad (3.21)$$

Η συνάρτηση  $f$  ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της τυχαιάς μεταβλητής  $X$  ενώ η  $F$  αντιπροσωπεύει τη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της  $X$ . Από τον ορισμό που δόθηκε εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι:

$$P[a < X \leq b] = \int_a^b f(x) dx, \quad a, b \in \mathfrak{R} (a < b) \quad (3.22)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (3.23)$$

Αν μια συνάρτηση ικανοποιεί τις σχέσεις (3.20) και (3.23) αποτελεί συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας τυχαίας μεταβλητής.

### Κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss

Η κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss αποτελεί τη σπουδαιότερη περίπτωση συνεχούς κατανομής τόσο από θεωρητική άποψη, όσο και από τις δυνατότητες εφαρμογής της στην περιγραφή πρακτικών προβλημάτων. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής μιας τυχαίας μεταβλητής  $X$  που ακολουθεί την κανονική κατανομή, δίνονται από τους τύπους (3.24) και (3.25) αντίστοιχα:

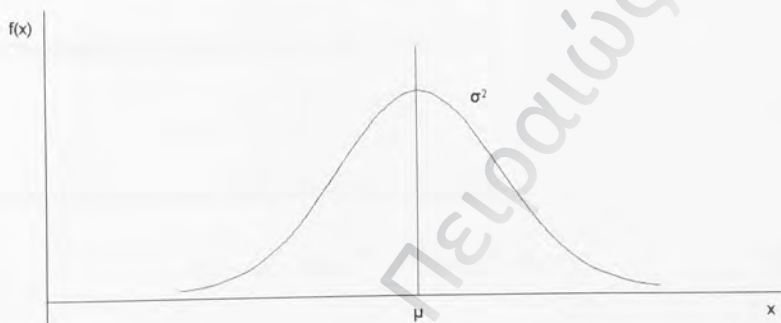
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty \quad (3.24)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du, -\infty < x < \infty \quad (3.25)$$

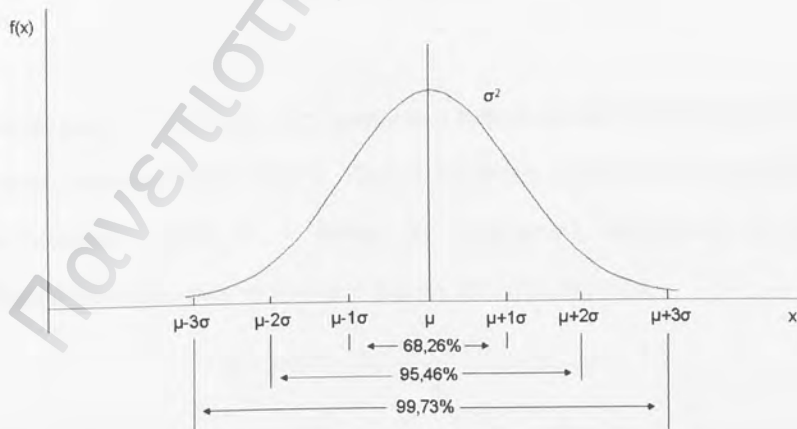
Όταν μια τυχαία μεταβλητή  $X$  ακολουθεί κανονική κατανομή με παραμέτρους  $\mu$  και  $\sigma$ , τότε ισχύει ο συμβολισμός  $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ . Στο Διάγραμμα 3.3 απεικονίζεται γραφικά η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας τέτοιας μεταβλητής. Είναι προφανές ότι η  $f(x)$  έχει κορυφή το σημείο  $x=\mu$  και είναι συμμετρική ως προς τον άξονα τον διερχόμενο από το  $\mu$ .

Το 68,26% των πιθανών τιμών της τυχαίας μεταβλητής  $X$  βρίσκεται στο διάστημα  $(\mu-1\sigma, \mu+1\sigma)$ , το 95,46% βρίσκεται στο διάστημα  $(\mu-2\sigma, \mu+2\sigma)$  και το 99,73% απέχει το πολύ τρεις τυπικές αποκλίσεις από τη μέση τιμή και βρίσκεται στο

διάστημα  $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$  (Διάγραμμα 3.4). Η παράμετρος  $\mu$  καθορίζει τη θέση της κατανομής πάνω στον άξονα των  $x$ , γι' αυτό και ονομάζεται παράμετρος θέσης, ενώ η παράμετρος  $\sigma$  καθορίζει το πόσο απλώνεται η κατανομή πάνω στον άξονα των  $x$  και ονομάζεται παράμετρος μεταβλητότητας.



**Διάγραμμα 3.3**  
**Η κανονική κατανομή**



**Διάγραμμα 3.4**  
**Πεδία της κανονικής κατανομής**

Η αθροιστική κανονική κατανομή (cumulative normal distribution) προσδιορίζεται από την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή  $X$  να είναι μικρότερη ή ίση από κάποια τιμή  $a$ :

$$P(x \leq a) = F(a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^a e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (3.26)$$

Χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3.27),$$

η πιθανότητα του τύπου (3.26) υπολογίζεται ως εξής:

$$P(x \leq a) = P\left\{z \leq \frac{a - \mu}{\sigma}\right\} \equiv \Phi\left(\frac{a - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.28),$$

όπου  $\Phi$  η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της τυποποιημένης κανονικής κατανομής  $N(0, 1)$ . Η σχέση που προκύπτει έχει ως εξής:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right), x \in \mathfrak{R} \quad (3.29)$$

**Παράδειγμα 3.5:** Το βάρος  $X$  σε γραμμάρια εμφιαλωμένου προϊόντος ακολουθεί κανονική κατανομή  $N(\mu, \sigma^2)$  με  $\mu=1000$  gr και  $\sigma=8$ gr. Σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές πρέπει  $X > 990$ gr. Σε διαφορετική περίπτωση η φιάλη απορρίπτεται. Ποιο είναι το ποσοστό φιαλών που απορρίπτεται;

$$P(X \leq 990) = \Phi\left(\frac{990 - 1000}{8}\right) = \Phi(-1,25)$$

Λόγω της συμμετρίας της  $N(0, 1)$  ως προς τον κάθετο άξονα των  $y$ , ισχύει ότι:

$$\Phi(-x) = 1 - \Phi(x), \forall x \in \mathfrak{R} \quad (3.30)$$

Οπότε:  $P(X \leq 990) = \Phi(-1,25) = 1 - \Phi(1,25) = 1 - 0,89435 = 0,10565$

Συνεπώς ένα ποσοστό 10,57% των φιαλών θα απορρίπτεται. Οι τιμές της συνάρτησης  $\Phi$  λαμβάνονται από σχετικό πίνακα της τυποποιημένης κανονικής κατανομής.<sup>21</sup>

### Κατανομή Γάμμα

Η κατανομή Γάμμα περιλαμβάνει μια οικογένεια απολύτως συνεχών συναρτήσεων με ευρύτατες εφαρμογές στον Στατιστικό Έλεγχο Ποιότητας. Ειδικές περιπτώσεις της κατανομής αυτής αποτελούν η εκθετική κατανομή, η κατανομή Erlang και η  $\chi^2$  - τετράγωνο ( $\chi^2$ ) κατανομή. Η Γάμμα κατανομή συμβολίζεται με  $G(a,p)$ , όπου  $a, p$  θετικοί παράμετροι, ενώ η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας είναι:

$$f(x) = \frac{a^p}{\Gamma(p)} x^{p-1} e^{-ax} \equiv G(x/a, p), \quad x > 0 \quad (3.31)$$

Η μέση τιμή και η διακύμανση της κατανομής Γάμμα δίνονται από τις σχέσεις:

$$\mu = \frac{r}{\lambda} \quad (3.32)$$

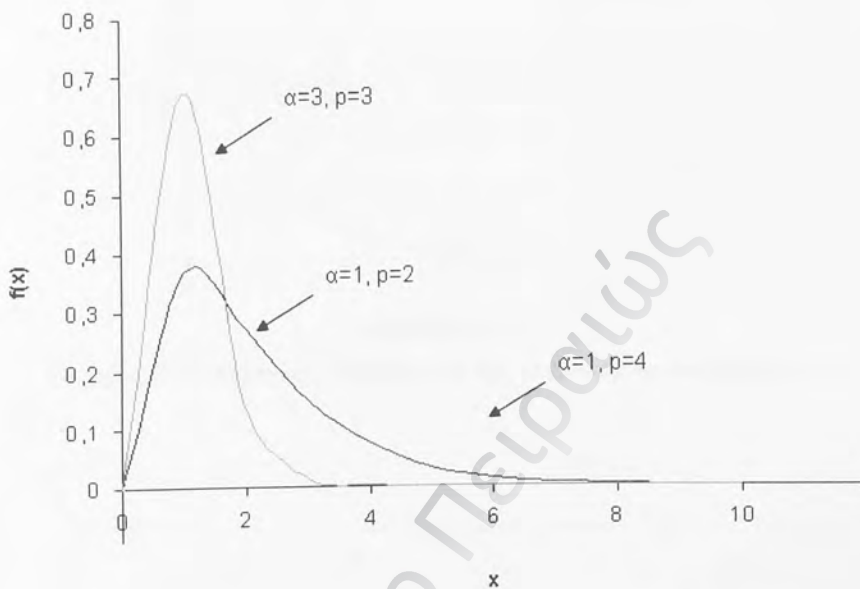
$$\sigma^2 = \frac{r}{\lambda^2} \quad (3.33)$$

Στο Διάγραμμα 3.5 παριστάνεται γραφικά η συνάρτηση  $f(x)$  για τρία διαφορετικά ζεύγη τιμών των  $a, p$ . Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται τα ζεύγη  $a=3, p=3$ ,  $a=1, p=2$  και  $a=1, p=4$ .

---

<sup>21</sup> Κοκολάκης, 1999, σελίδα 104





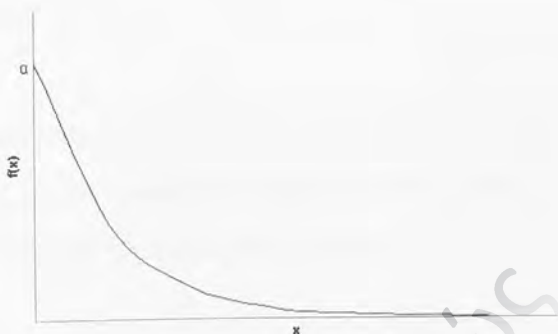
Διάγραμμα 3.5  
Κατανομές Γάμμα για διάφορες τιμές των  $\alpha, \rho$

### Εκθετική κατανομή

Η εκθετική συμβολίζεται με  $E(a)$  και προκύπτει από την κατανομή Γάμμα θέτοντας  $\rho=1$ . Οι συναρτήσεις πυκνότητας και κατανομής πιθανότητας δίνονται από τους τύπους (3.34) και (3.35) αντίστοιχα:

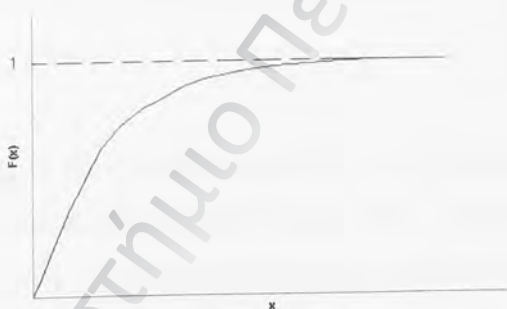
$$f(x) = ae^{-ax}, x > 0 \quad (3.34)$$

$$F(x) = 1 - e^{-ax}, x > 0 \quad (3.35)$$



Διάγραμμα 3.6

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της εκθετικής με παράμετρο  $\alpha$



Διάγραμμα 3.7

Αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της εκθετικής με παράμετρο  $\alpha$

Στα Διαγράμματα 3.6 και 3.7 παριστάνονται γραφικά οι  $f(x)$  και  $F(x)$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται ευρύτατα στην θεωρία αξιοπιστίας και στη θεωρία αναμονής. Έχει διαπιστωθεί εμπειρικά ότι η διάρκεια ζωής εξαρτήματος ενός συστήματος όπως και ο χρόνος εξυπηρέτησης πελάτη σε ένα σύστημα εξυπηρέτησης ακολουθούν, με ικανοποιητική προσέγγιση, την εκθετική κατανομή

## Κατανομή Erlang

Στην περίπτωση όπου η παράμετρος  $\rho$  της κατανομής Γάμμα είναι θετικός ακέραιος αριθμός, τότε η κατανομή ονομάζεται κατανομή Erlang. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής αυτής είναι:

$$f(x) = \frac{a^n}{(n-1)!} x^{n-1} e^{-ax}, x > 0, a > 0, n \in \mathbb{N} \quad (3.36)$$

Η κατανομή Erlang χρησιμοποιείται κυρίως στη θεωρία αναμονής. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το άθροισμα  $n$  τυχαίων μεταβλητών που ακολουθούν την Εκθετική κατανομή με την ίδια παράμετρο  $a$ , ακολουθεί την κατανομή Erlang με παραμέτρους  $a$  και  $n$ .

**Παράδειγμα 3.6:** Σε θάλαμο τηλεφωνικών διαλέξεων βρίσκεται ένα άτομο και έξω από αυτόν περιμένουν άλλα δύο άτομα. Εάν η διάρκεια  $T$  (min) μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης ακολουθεί εκθετική κατανομή με  $a=1/3$  min, ποια η πιθανότητα το τρίτο άτομο να εισέλθει στον θάλαμο εντός των επόμενων πέντε λεπτών;

Κάθε τηλεφωνική διάλεξη ακολουθεί εκθετική κατανομή με παραμέτρους  $a=1/3$  και  $\rho=2$ . Επομένως το άθροισμα της διάρκειας των δύο τηλεφωνικών συνδιαλέξεων ακολουθεί κατανομή Erlang με  $a=1/3$  και  $n=2$ . Συνεπώς θα ισχύει:

$$f(x) = (1/3)^2 x e^{-x/3}$$

Η ζητούμενη πιθανότητα θα είναι:

$$P(X < 5) = \int_0^5 f(x) dx = \int_0^5 \left(\frac{1}{3}\right)^2 x e^{-\frac{x}{3}} dx = -\frac{1}{3} \int_0^5 x de^{-\frac{x}{3}} = -\frac{1}{3} x e^{-\frac{x}{3}} \Big|_0^5 + \frac{1}{3} \int_0^5 e^{-\frac{x}{3}} dx = -\frac{5}{3} e^{-\frac{5}{3}} + 1 - e^{-\frac{5}{3}}$$

$$\Rightarrow P(X < 5) = 1 - \frac{8}{3} e^{-\frac{5}{3}} = 0,496$$

Επομένως, το τρίτο άτομο θα εισέλθει στον θάλαμο εντός των επόμενων πέντε λεπτών με πιθανότητα 49,6%.

### Κατανομή $\chi^2$

Εάν στην κατανομή Γάμμα τεθεί  $\alpha=1/2$  και  $\rho=v/2$ , όπου  $v$  θετικός ακέραιος, προκύπτει η κατανομή  $\chi^2$  με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$f(x) = \frac{1}{2^{\frac{v}{2}} \Gamma(\frac{v}{2})} x^{\frac{v}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}} \equiv \chi^2(x/v), x > 0 \quad (3.37)$$

Αποδεικνύεται ότι το άθροισμα των τετραγώνων  $v$  ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών που ακολουθούν την τυποποιημένη κανονική κατανομή, ακολουθεί την κατανομή  $\chi^2$ . Επιπλέον, οι εφαρμογές της  $\chi^2$  κατανομής εμφανίζονται σχεδόν αποκλειστικά στην στατιστική.

### Κατανομή Weibull

Η κατανομή Weibull μπορεί να χαρακτηριστεί ως γενίκευση της εκθετικής κατανομής. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, η μέση τιμή, η διακύμανση

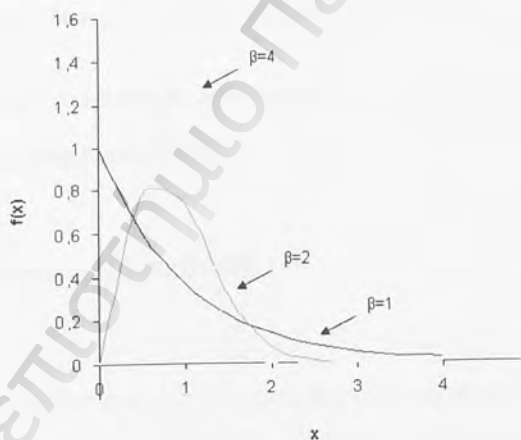
και η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της κατανομής δίνονται από τους τύπους (3.38), (3.39), (3.40) και (3.41) αντίστοιχα.

$$f(x) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\theta}\right)^\beta\right), x \geq 0 \quad (3.38)$$

$$\mu = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3.39)$$

$$\sigma^2 = \theta^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)^2 \right] \quad (3.40)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\theta}\right)^\beta\right) \quad (3.41)$$



Διάγραμμα 3.8

Η κατανομή Weibull για  $\theta=1$  και  $\beta=1, \beta=2$  και  $\beta=4$

Η κατανομή Weibull χρησιμοποιείται ευρέως στην θεωρία αξιοπιστίας σαν χρονικό μοντέλο κατάλληλης λειτουργίας για ηλεκτρικά και μηχανολογικά

εξαρτήματα και συστήματα. Έχει διαπιστωθεί εμπειρικά ότι η διάρκεια ζωής  $T$  σύνθετων συστημάτων ακολουθεί την κατανομή αυτή.

**Παράδειγμα 3.7:** Ο χρόνος κατάλληλης λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού υποσυστήματος ακολουθεί την κατανομή Weibull με παραμέτρους  $\beta=1/2$  και  $\theta=1000$ . Ποια η πιθανότητα ο χρόνος κατάλληλης λειτουργίας του υποσυστήματος να ξεπεράσει τις 3000 ώρες;

Με βάση τα δεδομένα η ζητούμενη πιθανότητα θα είναι:

$$P(X > 3000) = 1 - F(3000) = \exp\left(-\left(\frac{3000}{1000}\right)^{\frac{1}{2}}\right) = e^{-\frac{3}{2}} = 0,2231$$

Επομένως ο χρόνος κατάλληλης λειτουργίας του υποσυστήματος θα ξεπεράσει τις 3000 ώρες με πιθανότητα 22,31%.

### 3.3 Διαστήματα εμπιστοσύνης

Εκτός από τον προσδιορισμό της τιμής μιας παραμέτρου, συχνά είναι χρήσιμο να προσδιοριστεί, μέσω των εκτιμητριών, ένα διάστημα που θα περιέχει την άγνωστη τιμή μιας παραμέτρου με καθορισμένη πιθανότητα, έστω  $\gamma$ . Ένα τέτοιου είδους διάστημα ονομάζεται διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval) με βαθμό εμπιστοσύνης  $\gamma$ .

Σε όλα τα παραδείγματα που προηγήθηκαν έγινε η υπόθεση ότι οι παράμετροι μιας κατανομής πιθανότητας και επομένως οι παράμετροι μιας διεργασίας είναι γνωστές. Η υπόθεση όμως αυτή, δεν μπορεί παρά να χαρακτηριστεί ως μη ρεαλιστική. Σε πολλές περιπτώσεις είναι αδύνατον να προσδιοριστεί η ακριβής τιμή μιας παραμέτρου, ειδικά όταν εξετάζονται πραγματικές διεργασίες. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τα διαστήματα εμπιστοσύνης. Ο βαθμός εμπιστοσύνης είναι συνήθως 0,90, 0,95 ή ακόμα μεγαλύτερος.

Στη συνέχεια, παραθέτονται οι κατανομές  $t$  του Student και η κατανομή  $F$  του Snedecor. Οι κατανομές αυτές χρησιμοποιούνται για την μαθηματική έκφραση των σημαντικότερων διαστημάτων εμπιστοσύνης.

### **Κατανομή $t$ του Student $St(v)$**

Έστω ότι οι τυχαίες μεταβλητές  $X \sim \chi^2(v)$  και  $Z \sim N(0, 1)$  είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Τότε η τυχαία μεταβλητή  $T = \frac{Z}{\sqrt{X/v}}$  ακολουθεί την κατανομή  $t$  του Student που συμβολίζεται με  $St(v)$  και έχει  $v$  βαθμούς ελευθερίας. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της  $T$  είναι:

$$p_T(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi v} \Gamma\left(\frac{v}{2}\right) \Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{v}\right)^{-\frac{v+1}{2}}, -\infty < t < \infty \quad (3.42)$$

### Κατανομή F του Snedecor $F(v_1, v_2)$

Έστω ότι οι τυχαίες μεταβλητές  $X_1 \sim \chi^2(v_1)$  και  $X_2 \sim \chi^2(v_2)$  είναι ανεξάρτητες μεταξύ

τους. Τότε η τυχαία μεταβλητή  $F = \frac{(X_1/v_1)}{(X_2/v_2)}$  ακολουθεί την Κατανομή F του

Snedecor,  $F(v_1, v_2)$ , με  $v_1$  και  $v_2$  βαθμούς ελευθερίας. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της F είναι:

$$p_F(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{v_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{v_2}{2}\right)} \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{v_1}{2}} \frac{x^{-\frac{(v_1+1)}{2}}}{\left(1 + \frac{v_1 x}{v_2}\right)^{\frac{(v_1+v_2)}{2}}}, x > 0 \quad (3.43)$$

#### 3.3.1 Διαστήματα εμπιστοσύνης μέσω

Ξεκινώντας με διαστήματα εμπιστοσύνης κανονικών πληθυσμών, βαρύνουσα σημασία έχουν τα διαστήματα εκείνα που αφορούν τη μέση τιμή των πληθυσμών αυτών. Διακρίνοντας τις σημαντικότερες περιπτώσεις, παρουσιάζονται παρακάτω τα διαστήματα εμπιστοσύνης για κάθε μία από αυτές.

##### Διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής με $\sigma$ γνωστό

Έστω τυχαίο δείγμα  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  που λαμβάνεται από κανονικό πληθυσμό μέσου  $\mu$  και διασποράς  $\sigma^2$ . Από το κεντρικό οριακό θεώρημα της στατιστικής,



είναι γνωστό ότι η τυχαία μεταβλητή  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_1^n X_i$  ακολουθεί κανονική κατανομή

με παραμέτρους  $\mu$  και  $\sigma^2/n$ . Συνεπώς η τυχαία μεταβλητή  $Z = \frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)}{\sigma} \sim$

$N(0,1)$ . Το διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής  $\mu$  με βαθμό εμπιστοσύνης  $\gamma=1-\alpha$  δίνεται από την σχέση:

$$\bar{X} - z_{\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} < \mu < \bar{X} + z_{\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} \quad (3.44),$$

όπου  $z_{\alpha/2}$  τέτοιο ώστε  $P[Z > z_{\alpha/2}] = \alpha/2$ .

### Διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής με $\sigma$ άγνωστο

Έστω τυχαίο δείγμα  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  που λαμβάνεται από κανονικό πληθυσμό

μέσου  $\mu$  και διασποράς  $\sigma^2$ . Η τυχαία μεταβλητή  $T = \frac{(\bar{X} - \mu)}{S/\sqrt{n}}$ , όπου

$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (X_i - \bar{X})^2$  η αμερόληπτη δειγματική διασπορά, αποδεικνύεται ότι

ακολουθεί την  $St(n-1)$ . Το διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής  $\mu$  με βαθμό εμπιστοσύνης  $\gamma=1-\alpha$  δίνεται από τον τύπο (3.45):

$$\bar{X} - t_{n-1, \alpha/2} S / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{n-1, \alpha/2} S / \sqrt{n} \quad (3.45),$$

όπου  $t_{n-1, \alpha/2}$  τέτοιο ώστε  $P[T > t_{n-1, \alpha/2}] = \alpha/2$ .

### Διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς $\mu_1 - \mu_2$ ( $\sigma_1, \sigma_2$ γνωστά)

Έστω δύο ανεξάρτητα δείγματα  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  που λαμβάνονται από κανονικούς πληθυσμούς μέσης τιμής  $\mu_1$  και  $\mu_2$  και διασποράς  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$  αντίστοιχα. Εφόσον  $\bar{X}_k \sim N(\mu_k, \sigma_k^2/n_k)$  ( $k=1,2$ ), προκύπτει ότι  $\bar{X}_1 - \bar{X}_2 \sim N(\mu_1 - \mu_2, \sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)$ . Επομένως η τυχαία μεταβλητή  $Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \sim N(0,1)$ . Το διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς  $\mu_1 - \mu_2$

με βαθμό εμπιστοσύνης  $\gamma=1-\alpha$  δίνεται από την σχέση:

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - z_{\alpha/2} \left\{ \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2} \right\}^{1/2} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{X}_1 - \bar{X}_2 + z_{\alpha/2} \left\{ \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2} \right\}^{1/2} \quad (3.46)$$

όπου  $z_{\alpha/2}$  τέτοιο ώστε  $P[Z > z_{\alpha/2}] = \alpha/2$ .

### Διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς $\mu_1 - \mu_2$ ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ άγνωστο)

Αν  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  δύο ανεξάρτητα δείγματα που λαμβάνονται από κανονικούς πληθυσμούς μέσης τιμής  $\mu_1$  και  $\mu_2$  και διασποράς  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$  αντίστοιχα με  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ , τότε η  $Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim N(0,1)$ .

Επιπλέον αποδεικνύεται ότι η τυχαία μεταβλητή  $T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim St(v)$ ,

όπου 
$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{\nu} \quad (S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_1^{n_1} (X_i - \bar{X})^2) \quad \text{και}$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_1^{n_2} (X_i - \bar{X})^2$$
 η αμερόληπτη εκτιμήτρια της κοινής διασποράς  $\sigma^2$  των

δύο πληθυσμών και  $\nu = n_1 + n_2 - 2$ . Το διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς  $\mu_1 - \mu_2$  με βαθμό εμπιστοσύνης  $\gamma = 1 - \alpha$  θα είναι:

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - t_{\nu, \alpha/2} S \left\{ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right\}^{1/2} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{X}_1 - \bar{X}_2 + t_{\nu, \alpha/2} S \left\{ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right\}^{1/2} \quad (3.47)$$

όπου  $t_{\nu, \alpha/2}$  τέτοιο ώστε  $P\{T > t_{\nu, \alpha/2}\} = \alpha/2$ .

### Διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς $\mu_1 - \mu_2$ ( $\sigma_1, \sigma_2$ άγνωστα)

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται δύο ανεξάρτητα δείγματα  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  από κανονικούς πληθυσμούς μέσης τιμής  $\mu_1$  και  $\mu_2$  και άγνωστης διασποράς  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$  αντίστοιχα. Η τυχαία μεταβλητή

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \text{ ακολουθεί την } St(\nu), \text{ όπου } \nu = \frac{\left\{ \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right\}^2}{\left( \frac{S_1^2}{n_1} \right)^2 + \left( \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2} \cdot \frac{n_1 - 1 + n_2 - 1}{n_1 - 1 + n_2 - 1}.$$

διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς  $\mu_1 - \mu_2$  με βαθμό εμπιστοσύνης  $\gamma = 1 - \alpha$  θα

είναι:

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - t_{\nu, \alpha/2} \left\{ \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right\}^{1/2} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{X}_1 - \bar{X}_2 + t_{\nu, \alpha/2} \left\{ \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right\}^{1/2} \quad (3.48)$$

### 3.3.2 Διαστήματα εμπιστοσύνης διασπορών

Εκτός από την προσέγγιση του διαστήματος εμπιστοσύνης της διασποράς  $\sigma^2$  ενός κανονικού πληθυσμού, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εύρεση διαστήματος εμπιστοσύνης του λόγου  $\sigma_1^2 / \sigma_2^2$  δύο ανεξάρτητων τυχαίων δειγμάτων που προέρχονται από κανονικούς πληθυσμούς με διασπορά  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$  αντίστοιχα.

#### Διάστημα εμπιστοσύνης της διασποράς $\sigma^2$

Έστω τυχαίο δείγμα  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  που λαμβάνεται από κανονικό πληθυσμό μέσου  $\mu$  και διασποράς  $\sigma^2$ . Από γνωστό θεώρημα της στατιστικής η τυχαία

μεταβλητή  $\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$  ακολουθεί την κατανομή  $\chi^2(n-1)$ , όπου

$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$  η δειγματική διασπορά. Το  $\gamma$  - διάστημα εμπιστοσύνης της

διασποράς είναι:

$$\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1, a/2}} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1, 1-a/2}} \quad (3.49)$$

όπου  $\chi^2_{n-1, a/2}$  τέτοιο ώστε  $P[\chi^2_v > \chi^2_{v, a/2}] = a/2$  και  $\chi^2_{n-1, 1-a/2}$  τέτοιο ώστε  $P[\chi^2_v > \chi^2_{v, 1-a/2}] = 1 - a/2$  ( $v=n-1$  και  $\chi^2_v \sim \chi^2(v)$ ).

### Διάστημα εμπιστοσύνης του λόγου $\sigma_1^2/\sigma_2^2$

Έστω ότι οι  $S_1^2 = \frac{1}{n_1-1} \sum_1^{n_1} (X_i - \bar{X})^2$  και  $S_2^2 = \frac{1}{n_2-1} \sum_1^{n_2} (X_i - \bar{X})^2$  αποτελούν τις

αμερόληπτες δειγματικές διασπορές ανεξάρτητων τυχαίων δειγμάτων  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  που προέρχονται από κανονικούς

πληθυσμούς. Η τυχαία μεταβλητή  $\frac{S_1^2/\sigma_1^2}{S_2^2/\sigma_2^2}$  ακολουθεί την κατανομή

$F(n_1-1, n_2-1)$ . Το ζητούμενο διάστημα εμπιστοσύνης θα είναι:

$$\frac{1}{F_{n_1-1, n_2-1, a/2}} \frac{S_1^2}{S_2^2} \leq \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \leq \frac{1}{F_{n_1-1, n_2-1, 1-a/2}} \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (3.50)$$

όπου  $F_{n_1-1, n_2-1, a/2}$  τέτοιο ώστε  $P[F_{v_1, v_2} > F_{v_1, v_2, a/2}] = a/2$  και

$$P[F_{v_1, v_2} > F_{v_1, v_2, 1-a/2}] = 1 - a/2 \quad (v_1 = n_1 - 1, v_2 = n_2 - 1 \text{ και } F_{v_1, v_2} \sim F(v_1, v_2)).$$

### 3.3.3 Διαστήματα εμπιστοσύνης διακριτών πληθυσμών

Τα διαστήματα εμπιστοσύνης μέσω τιμών και διασπορών συνεχών κανονικών πληθυσμών ισχύουν προσεγγιστικά και για τις αντίστοιχες ποσότητες διακριτών πληθυσμών. Ως παράδειγμα αναφέρεται το διάστημα εμπιστοσύνης της παραμέτρου  $p$  ενός Διωνυμικού πληθυσμού καθώς επίσης και της διαφοράς  $p_1 - p_2$  δύο Διωνυμικών πληθυσμών.

### Διάστημα εμπιστοσύνης παραμέτρου $p$ Διωνυμικού πληθυσμού

Έστω τυχαίο δείγμα  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ , όπου από Διωνυμικό πληθυσμό με παράμετρο  $p$  ( $p \in (0,1)$ ). Για  $n$  μεγάλο και  $np \geq 1$ , η τυχαία μεταβλητή  $\frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}$

ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή  $N(0,1)$ , όπου  $\hat{p} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ .

Επομένως, προσεγγιστικά θα ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$-z_{\alpha/2} < \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}} < z_{\alpha/2} \quad (3.51)$$

Αν στη θέση της διασποράς  $p(1-p)/(nm)$  τεθεί η εκτιμήτριά της  $\hat{p}(1-\hat{p})/(nm)$ , το διάστημα εμπιστοσύνης της πιθανότητας επιτυχίας  $p$  θα είναι:

$$\hat{p} - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \leq p \leq \hat{p} + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \quad (3.52)$$

### Διάστημα εμπιστοσύνης διαφοράς $p_1 - p_2$ Διωνυμικών πληθυσμών

Έστω δύο ανεξάρτητα δείγματα  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  που λαμβάνονται από Διωνυμικούς πληθυσμούς παραμέτρων  $p_1$  και  $p_2$  αντίστοιχα. Αν

$\hat{p}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i}}{n_1}$  και  $\hat{p}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_2}$  οι εκτιμήτριες των  $p_1$  και  $p_2$ , τότε η τυχαία μεταβλητή

$\frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2) - (p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}}$  ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή  $N(0, 1)$ .

Αν στη θέση των διασπορών  $p_1(1-p_1)/(n_1)$  και  $p_2(1-p_2)/(n_2)$  τεθούν οι εκτιμήτριες  $\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)/(n_1)$  και  $\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)/(n_2)$  αντίστοιχα, τότε θα ισχύει:

$$-z_{\alpha/2} < \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2) - (p_1 - p_2)}{\sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}}} < z_{\alpha/2} \quad (3.53)$$

Το ζητούμενο διάστημα εμπιστοσύνης θα δίνεται από τη σχέση (3.54):

$$\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - z_{\alpha/2} \left\{ \frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2} \right\}^{1/2} \leq p_1 - p_2 \leq \hat{p}_1 - \hat{p}_2 + z_{\alpha/2} \left\{ \frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2} \right\}^{1/2} \quad (3.54)$$

Στη συνέχεια, στο Παράδειγμα 3.8, παρατίθεται μία εφαρμογή χρησιμοποίησης διαστήματος εμπιστοσύνης:

**Παράδειγμα 3.8:** Κατά τη διάρκεια ελέγχου ποιότητας στα προϊόντα που παράγει μια μηχανή βρέθηκαν τρία ελαττωματικά σε τυχαίο δείγμα μεγέθους τριάντα αντικειμένων. Να βρεθεί 0,90 – διάστημα εμπιστοσύνης του ποσοστού  $p$  των ελαττωματικών προϊόντων της μηχανής.

Το ζητούμενο διάστημα εμπιστοσύνης δίνεται από τον τύπο (3.52) σύμφωνα με τον οποίο ισχύει:

$$\hat{p} - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \leq p \leq \hat{p} + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

Σύμφωνα με τα δεδομένα του προβλήματος συνεπάγεται ότι  $n = 30$ ,  $\hat{p} = 0,10$  και  $\alpha = 0,10$ . Από κατάλληλους πίνακες προκύπτει ότι  $z_{\alpha/2} = 1,64$ . Αντικαθιστώντας τα μεγέθη αυτά στον παραπάνω τύπο, το 0,90 – διάστημα εμπιστοσύνης του ποσοστού των ελαττωματικών προϊόντων της μηχανής θα είναι:

$$0,01 < p < 0,19$$

Ύστερα από την παρουσίαση των σημαντικότερων διαστημάτων εμπιστοσύνης, με βάση τη χρησιμοποίησή τους στην πράξη, ακολουθεί παρουσίαση του στατιστικού έλεγχου υποθέσεων με αναφορά στις περιπτώσεις των σημαντικότερων στατιστικών ελέγχων που λαμβάνουν χώρα.

### 3.4 Στατιστικός έλεγχος υποθέσεων

Μία στατιστική υπόθεση αποτελεί έναν ισχυρισμό που σχετίζεται με τιμές παραμέτρων μιας κατανομής πιθανότητας. Για παράδειγμα, γίνεται η υπόθεση ότι η εσωτερική διάμετρος ενός μηχανολογικού εξαρτήματος είναι χίλια εκατοστά. Ο ισχυρισμός αυτός μπορεί να εκφραστεί με τον εξής τρόπο:

$$H_0 : \mu = 1000$$

$$H_1 : \mu \neq 1000 \quad (3.55)$$

Η υπόθεση  $H_0$  ονομάζεται μηδενική υπόθεση ενώ η υπόθεση  $H_1$  ονομάζεται εναλλακτική. Εφόσον η  $H_1$  ορίζει τιμές της μέσης τιμής της διαμέτρου μεγαλύτερες ή μικρότερες από 1000 εκατοστά, ονομάζεται αμφίπλευρη εναλλακτική υπόθεση (two – sided alternative hypothesis). Ανάλογα με το πρόβλημα που εξετάζεται,



υπάρχουν αρκετές μονόπλευρες εναλλακτικές υποθέσεις (one – sided alternative hypothesis) που ενδέχεται να είναι περισσότερο κατάλληλες.

Η αποδοχή μιας υπόθεσης θα πρέπει να γίνει με βάση τις τιμές  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ενός τυχαίου δείγματος. Αυτό σημαίνει ότι για ορισμένες τιμές του δείγματος γίνεται αποδεκτή η μηδενική υπόθεση  $H_0$ , ενώ για άλλες τιμές απορρίπτεται η  $H_0$  υπέρ της εναλλακτικής υπόθεσης  $H_1$ . Η περιοχή τιμών που οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ονομάζεται *κρίσιμη ή απορριπτέα περιοχή*. Η συμπληρωματική περιοχή αυτής ονομάζεται *περιοχή αποδοχής*. Η επιλογή της εκάστοτε κρίσιμης περιοχής θα πρέπει να λαμβάνει χώρα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες εσφαλμένων αποφάσεων. Υπάρχουν δύο είδη σφαλμάτων:

- Σφάλμα πρώτου είδους (type I error): όταν απορρίπτεται η  $H_0$  ενώ είναι αληθής.
- Σφάλμα δεύτερου είδους (type II error): όταν γίνεται αποδεκτή η  $H_0$  ενώ η αληθής υπόθεση είναι η εναλλακτική  $H_1$ .

**Πίνακας 3.1**  
**Πιθανές αποφάσεις - σφάλματα**

Αληθής υπόθεση	Αποδοχή της $H_0$	Αποδοχή της $H_1$
$H_0$	Ορθή απόφαση	Σφάλμα πρώτου είδους
$H_1$	Σφάλμα δεύτερου είδους	Ορθή απόφαση

Οι πιθανότητες να λάβει χώρα σφάλμα πρώτου ή δεύτερου είδους παριστάνονται από τους τύπους (3.56) και (3.57) αντίστοιχα:

$$\alpha = P \{ \text{σφάλμα 1}^{\text{ου}} \text{ είδους} \} = P \{ \text{απόρριψη της } H_0 \mid H_0 \text{ αληθής} \} \quad (3.56)$$

$$\beta = P \{ \text{σφάλμα 2}^{\text{ου}} \text{ είδους} \} = P \{ \text{αποδοχή της } H_0 \mid H_0 \text{ δεν είναι αληθής} \} \quad (3.57)$$

$$\pi = 1 - \beta = P \{ \text{απόρριψη της } H_0 \mid H_0 \text{ δεν είναι αληθής} \} \quad (3.58)$$

Η συνάρτηση  $\beta$  ονομάζεται χαρακτηριστική του ελέγχου, η συνάρτηση  $\alpha$  ονομάζεται επίπεδο σημαντικότητας του ελέγχου, ενώ η συνάρτηση  $\pi$  αποκαλείται ως ισχύς του ελέγχου.

Όσον αφορά τον έλεγχο ποιότητας, σε πολλές περιπτώσεις το  $\alpha$  παριστάνει το ρίσκο παραγωγού (producer's risk), διότι μπορεί να δηλώνει την πιθανότητα μία αποδεκτή παρτίδα (lot) να απορρίπτεται ή την πιθανότητα μια διεργασία που προσδίδει αποδεκτές τιμές συγκεκριμένου χαρακτηριστικού ποιότητας να απορρίπτεται λόγω της μη ικανοποιητικής της απόδοσης. Αντίστοιχα, το  $\beta$  παριστάνει το ρίσκο καταναλωτή (consumer's risk), διότι δηλώνει την πιθανότητα αποδοχής μιας παρτίδας προϊόντων χαμηλής ποιότητας ή την αποδοχή μιας διεργασίας που λειτουργεί με μη ικανοποιητικό τρόπο σε σχέση με ορισμένες τιμές ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Γενικά, ο έλεγχος υποθέσεων διαφόρων διαδικασιών χρησιμοποιείται ευρύτατα σε ζητήματα στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Για παράδειγμα, μπορεί να

εφαρμοστεί στον έλεγχο συμμόρφωσης των ειδικών τιμών που λαμβάνουν οι παράμετροι μιας διεργασίας ή στην τροποποίηση μιας διαδικασίας μέχρι την επίτευξη των επιθυμητών τιμών.

### 3.4.1 Έλεγχος υποθέσεων μέσων

Οι έλεγχοι υποθέσεων μέσων ενδέχεται να αφορούν τον μέσο κανονικού πληθυσμού με γνωστή ή άγνωστη διασπορά, τη διαφορά των μέσων τιμών δύο κανονικών πληθυσμών με γνωστές, άγνωστες ή ίσες διασπορές κλπ. Αμέσως παρακάτω, παρατίθενται οι έλεγχοι που χρησιμοποιούνται συνήθως και αφορούν τη μέση τιμή ενός ή δύο κανονικών πληθυσμών.

#### Έλεγχος μέσου $\mu$ κανονικού πληθυσμού με γνωστή διασπορά

Έστω  $\mu$  ο μέσος και  $\sigma^2$  η διασπορά (γνωστή) ενός κανονικού πληθυσμού. Γίνονται οι υποθέσεις:

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

Λαμβάνεται τυχαίο δείγμα  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  από τον πληθυσμό αυτόν και

εξετάζεται η τυχαία μεταβλητή  $Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$ . Αν ισχύει η μηδενική υπόθεση τότε η

$Z$  ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή. Συγκεκριμένα η μηδενική

υπόθεση απορρίπτεται αν  $|Z| > z_{a/2}$ , όπου η τιμή  $z_{a/2}$  είναι τέτοια ώστε να ισχύει

$$P[|Z| > z_{a/2}] = a.$$

Αν  $H_1: \mu > \mu_0$  τότε η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $Z > z_a$ , όπου  $z_a$  τέτοιο ώστε

$$P[Z > z_a] = a. \text{ Ομοίως αν } H_1: \mu < \mu_0 \text{ η } H_0 \text{ απορρίπτεται όταν } Z < -z_a.$$

### Έλεγχος μέσου $\mu$ κανονικού πληθυσμού με άγνωστη διασπορά

Έστω  $\mu$  ο μέσος και  $\sigma^2$  η διασπορά (άγνωστη) ενός κανονικού πληθυσμού.

Γίνονται οι υποθέσεις:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Λαμβάνεται τυχαίο δείγμα  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  από τον πληθυσμό αυτόν και

εξετάζεται η τυχαία μεταβλητή  $T = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{S/\sqrt{n}}$ , όπου  $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (X_i - \bar{X})^2$  η

αμερόληπτη δειγματική διασπορά. Αν ισχύει η μηδενική υπόθεση τότε η  $T$

ακολουθεί την  $St(n-1)$ . Η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν  $|T| > t_{n-1, a/2}$ , όπου η

κριτική τιμή  $t_{n-1, a/2}$  είναι τέτοια ώστε  $P[|T| > t_{n-1, a/2}] = a$ . Σε διαφορετική περίπτωση

γίνεται αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση (κρίσιμη περιοχή).

Αν  $H_1: \mu > \mu_0$  τότε η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $T > t_{n-1, a}$ , όπου  $t_{n-1, a}$  τέτοιο ώστε

$$P[T > t_{n-1, a}] = a. \text{ Ομοίως αν } H_1: \mu < \mu_0 \text{ η } H_0 \text{ απορρίπτεται όταν } T < -t_{n-1, a}.$$

### Έλεγχος της διαφοράς $\mu_1 - \mu_2$ κανονικών πληθυσμών με γνωστές διασπορές

Έστω δύο ανεξάρτητα τυχαία δείγματα  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  που λαμβάνονται από κανονικούς πληθυσμούς  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  και  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$  αντίστοιχα με γνωστές διασπορές  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$ . Ο έλεγχος υποθέσεων που λαμβάνει χώρα είναι :

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$$

Για να ισχύει η  $H_0$  γίνεται η υπόθεση ότι η τυχαία μεταβλητή  $Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - \Delta_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$

ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή. Λαμβάνοντας ως όρια της κρίσιμης περιοχής τα  $-z_{\alpha/2}$  και  $z_{\alpha/2}$ , όπου  $P[|Z| > z_{\alpha/2}] = \alpha$ , η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $|Z| > z_{\alpha/2}$ . Η περιοχή  $-z_{\alpha/2} \leq Z \leq z_{\alpha/2}$  ορίζεται ως η περιοχή αποδοχής στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η ίδια κρίσιμη περιοχή χρησιμοποιείται και όταν οι διασπορές  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$  είναι άγνωστες, θέτοντας στη θέση αυτών τις δειγματικές διασπορές  $s_1^2$  και  $s_2^2$  αντίστοιχα, υπό την προϋπόθεση ότι  $n_1, n_2 \geq 25$ .

Αν  $H_1 : \mu_1 - \mu_2 > \Delta_0$  τότε η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $Z > z_\alpha$ , όπου  $z_\alpha$  τέτοιο ώστε

$P[Z > z_\alpha] = \alpha$ . Ομοίως αν  $H_1 : \mu_1 - \mu_2 < \Delta_0$  η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $Z < -z_\alpha$ .

**Έλεγχος της διαφοράς  $\mu_1 - \mu_2$  κανονικών πληθυσμών με κοινή άγνωστη διασπορά**

Έστω δύο ανεξάρτητα τυχαία δείγματα  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  που λαμβάνονται από κανονικούς πληθυσμούς  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  και  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$  αντίστοιχα με άγνωστες διασπορές  $\sigma_1^2$  και  $\sigma_2^2$ , όπου  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ . Έστω ο έλεγχος υποθέσεων:

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$$

Στην περίπτωση αυτή, για να ισχύει η μηδενική υπόθεση, εξετάζεται αν η τυχαία

μεταβλητή  $T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - \Delta_0}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$  ακολουθεί την κατανομή  $St(v)$ , όπου

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{v}$$
 η αμερόληπτη εκτιμήτρια της κοινής διασποράς  $\sigma^2$

των δύο πληθυσμών και  $v = n_1 + n_2 - 2$ . Η απορριπτέα περιοχή περιλαμβάνει τα διαστήματα για τα οποία ισχύει  $T > t_{v, \alpha/2}$  ή  $T < -t_{v, \alpha/2}$ , όπου  $t_{v, \alpha/2}$  τέτοιο ώστε

$$P\left[|T| > t_{v, \alpha/2}\right] = \alpha.$$

Αν  $H_1 : \mu - \mu_0 > \Delta_0$  τότε η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $T > t_{v, \alpha}$ , όπου  $t_{v, \alpha}$  τέτοιο ώστε

$$P\left[T > t_{v, \alpha}\right] = \alpha. \text{ Ομοίως αν } H_1 : \mu - \mu_0 < \Delta_0 \text{ η } H_0 \text{ απορρίπτεται όταν } T < -t_{v, \alpha}.$$

**Έλεγχος της διαφοράς  $\mu_1 - \mu_2$  κανονικών πληθυσμών με άγνωστες διασπορές**

Έστω δύο κανονικοί πληθυσμοί  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  και  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$  με  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ . Γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$$

Αν  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  δύο ανεξάρτητα τυχαία δείγματα, τότε η

μηδενική υπόθεση ισχύει όταν η τυχαία μεταβλητή  $T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - \Delta_0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$  ακολουθεί

την  $St(v)$ , όπου  $v = \frac{\left\{ \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right\}^2}{\frac{\left( \frac{S_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left( \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 - 1}}$ . Η κρίσιμη περιοχή καθώς και η περιοχή

αποδοχής ορίζονται ως οι περιοχές όπου ισχύει  $|T| > t_{v,a/2}$  και  $-t_{v,a/2} \leq T \leq t_{v,a/2}$

αντίστοιχα, όπου  $t_{v,a/2}$  τέτοιο ώστε  $P[|T| > t_{v,a/2}] = a$ .

Αν  $H_1 : \mu - \mu_0 > \Delta_0$  τότε η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $T > t_{v,a}$ , όπου  $t_{v,a}$  τέτοιο ώστε

$P[T > t_{v,a}] = a$ . Ομοίως αν  $H_1 : \mu - \mu_0 < \Delta_0$  η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $T < t_{v,a}$ .

### 3.4.2 Έλεγχος υποθέσεων διασπορών

Συνεχίζοντας την παράθεση των ελέγχων υποθέσεων, ακολουθούν οι έλεγχοι που σχετίζονται με τη διασπορά ενός ή δύο κανονικών πληθυσμών. Στην περίπτωση δύο πληθυσμών ελέγχεται η ισότητα των διασπορών.

#### Έλεγχος διασποράς κανονικού πληθυσμού

Έστω τυχαίο δείγμα  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  από κανονικό πληθυσμό  $N(\mu, \sigma^2)$ .

Γίνονται οι υποθέσεις:

$$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$$

$$H_1: \sigma^2 \neq \sigma_0^2$$

Αν η στατιστική μεταβλητή  $X^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2}$ , όπου  $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$  η

δειγματική διασπορά, ακολουθεί την κατανομή  $X^2(n-1)$  τότε ισχύει η  $H_0$ .

Συγκεκριμένα η  $H_0$  απορρίπτεται στην περίπτωση που  $X^2 > X^2_{n-1, a/2}$  ή

$X^2 < X^2_{n-1, 1-a/2}$ , όπου  $X^2_{n-1, a/2}$  τέτοιο ώστε  $P[X^2_v > X^2_{v, a/2}] = a/2$  και  $X^2_{n-1, 1-a/2}$

τέτοιο ώστε  $P[X^2_v > X^2_{v, 1-a/2}] = 1-a/2$  ( $v=n-1$  και  $X^2_v \sim X^2(v)$ ).

Αν  $H_1: \sigma^2 > \sigma_0^2$  τότε η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $X^2 > X^2_{n-1, a}$ , όπου  $X^2_{n-1, a}$  τέτοιο

ώστε  $P[X^2_v > X^2_{v, a}] = a$  ( $v=n-1$  και  $X^2_v \sim X^2(v)$ ). Ομοίως αν  $H_1: \sigma^2 < \sigma_0^2$  η  $H_0$



απορρίπτεται όταν  $X^2 < X^2_{n-1,1-\alpha}$ , όπου  $X^2_{n-1,1-\alpha}$  τέτοιο ώστε

$$P[X^2_{\nu} > X^2_{\nu,1-\alpha}] = 1 - \alpha \quad (\nu = n-1 \text{ και } X^2_{\nu} \sim X^2(\nu)).$$

### Έλεγχος των διασπορών δύο κανονικών πληθυσμών

Έστω δύο ανεξάρτητα τυχαία δείγματα  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  που λαμβάνονται από κανονικούς πληθυσμούς  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  και  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$  αντίστοιχα.

Οι υποθέσεις που γίνονται είναι οι εξής:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Ο στατιστικός έλεγχος (test statistic) των υποθέσεων αυτών είναι ο λόγος των δειγματικών διασπορών που εκφράζεται ως  $F = S_1^2 / S_2^2$ . Αν  $F > F_{n_1-1, n_2-1, \alpha/2}$  ή  $F < F_{n_1-1, n_2-1, (1-\alpha/2)}$ , τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται. Τα  $F_{n_1-1, n_2-1, \alpha/2}$  και  $F_{n_1-1, n_2-1, (1-\alpha/2)}$  εκφράζουν το ανώτερο ( $\alpha/2$ ) και το κατώτερο ( $1-\alpha/2$ ) ποσοστιαίο άκρο (percentage point) της  $F$  κατανομής με  $n_1-1$  και  $n_2-1$  βαθμούς ελευθερίας, αντίστοιχα.

Αν  $H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$  τότε  $F = S_2^2 / S_1^2$  και η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $F > F_{n_2-1, n_1-1, \alpha}$ .

Επιπλέον, αν  $H_1 : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$  τότε  $F = S_1^2 / S_2^2$  και η  $H_0$  απορρίπτεται όταν

$$F > F_{n_1-1, n_2-1, \alpha}.$$

### 3.4.3 Έλεγχος υποθέσεων μη συνεχών πληθυσμών

Όπως και στη παράθεση των διαστημάτων εμπιστοσύνης, γίνεται αναφορά και στον έλεγχο υποθέσεων που αφορούν διακριτούς (ασυνεχείς) πληθυσμούς. Συγκεκριμένα εξετάζεται ο έλεγχος της παραμέτρου  $p$  ενός Διωνυμικού πληθυσμού καθώς επίσης και η διαφορά των παραμέτρων δύο Διωνυμικών πληθυσμών.

#### Έλεγχος παραμέτρου $p$ Διωνυμικού πληθυσμού

Έστω διωνυμικός πληθυσμός  $\{0,1,\dots,m\}$  παραμέτρου  $p$  ( $p \in (0,1)$ ) και έστω ότι γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

$$H_0 : p = p_0$$

$$H_1 : p \neq p_0$$

Αν  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  τυχαίο δείγμα από τον πληθυσμό αυτό τότε ο στατιστικός έλεγχος των παραπάνω υποθέσεων εκφράζεται ως εξής:

$$Z = \begin{cases} \frac{(x+0,5)-np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}}, & x < np_0 \\ \frac{(x-0,5)-np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}}, & x > np_0 \end{cases} \quad (3.59)$$

Αν η  $Z$  ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή τότε ισχύει η μηδενική υπόθεση. Επομένως, αν  $|Z| > z_{\alpha/2}$  η  $H_0$  απορρίπτεται.

Αν  $H_1: p > p_0$  τότε η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $Z > z_{\alpha}$ , ενώ στην περίπτωση που  $H_1: p < p_0$  η  $H_0$  απορρίπτεται όταν  $Z < -z_{\alpha}$ .

### Έλεγχος διαφοράς $p_1-p_2$ Διωνυμικών πληθυσμών

Έστω δύο Διωνυμικοί πληθυσμοί με παραμέτρους  $p_1$  και  $p_2$  αντίστοιχα. Γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

$$H_0: p_1 = p_2$$

$$H_1: p_1 \neq p_2$$

Αν  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  και  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  δύο ανεξάρτητα τυχαία δείγματα από τους πληθυσμούς αυτούς. Υποθέτοντας ότι η μηδενική υπόθεση αληθεύει, τότε η

τυχαία μεταβλητή  $Z = \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{p(1-p)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$ , όπου  $\hat{p}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i}}{n_1}$  και  $\hat{p}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_2}$  οι

εκτιμήτριες των  $p_1$  και  $p_2$  και  $p = p_1 = p_2$ , ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική

κατανομή  $N(0, 1)$ . Μια εκτιμήτρια της παραμέτρου  $p$  είναι η  $\hat{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}}{n_1 + n_2}$ .

Αν τεθεί  $p = \hat{p}$  τότε ο στατιστικός έλεγχος θα είναι:

$$Z_0 = \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (3.60)$$

Αν  $Z_0 > z_{\alpha/2}$  ή  $Z_0 < -z_{\alpha/2}$  τότε γίνεται δεκτή η εναλλακτική υπόθεση  $H_1$ .

Όταν  $H_1: p_1 > p_2$  η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται στην περίπτωση που  $Z_0 > z_{\alpha/2}$ , ενώ όταν  $H_1: p_1 < p_2$  η κρίσιμη περιοχή περιλαμβάνει εκείνα τα  $Z_0$  για τα οποία ισχύει  $Z_0 < -z_{\alpha/2}$ .

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα εφαρμογής του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων:

**Παράδειγμα 3.9:** Δύο μηχανές συσκευάζουν προϊόντα σε πακέτα των 500 γραμμαρίων. Τυχαία δείγματα μεγέθους  $n_1 = 40$  και  $n_2 = 60$  πακέτων από τις μηχανές αυτές έδωσαν  $\bar{x}_1 = 496gr$ ,  $s_1 = 6gr$  και  $\bar{x}_2 = 502gr$ ,  $s_2 = 8gr$ . Να ελεγχθεί αν οι μηχανές διαφέρουν ως προς το μέσο βάρος συσκευασίας του προϊόντος.

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνει χώρα ο παρακάτω έλεγχος υποθέσεων:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Εφόσον  $n_1, n_2 \geq 25$ , αντικαθιστώντας  $\sigma_1^2 = s_1^2$  και  $\sigma_2^2 = s_2^2$ , η κρίσιμη περιοχή όπου απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\left| \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \right| \geq z_{\alpha/2}$$

Αντικαθιστώντας τα δεδομένα στο αριστερό μέλος της ανισότητας προκύπτει η τιμή 3,59. Από ειδικό πίνακα της κανονικής κατανομής για  $\alpha = 0,01$  λαμβάνεται ότι  $z_{\alpha/2} = 2,58$ . Επομένως, εφόσον  $3,59 > 2,58$ , οι μηχανές δίνουν διαφορετικό μέσο βάρος συσκευασίας προϊόντος.<sup>22</sup>

### 3.5 Ανακεφαλαίωση

Οι διάφορες κατανομές πιθανότητας αποτελούν ένα εργαλείο μοντελοποίησης ή περιγραφής των ποιοτικών χαρακτηριστικών μιας διεργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρθηκαν οι σημαντικότερες κατανομές που χρησιμοποιούνται γενικότερα στη στατιστική και ειδικότερα στον στατιστικό έλεγχο ποιότητας. Στις διακριτές κατανομές περιλαμβάνεται η Διωνυμική κατανομή, η κατανομή Pascal, η υπεργεωμετρική κατανομή και η κατανομή Poisson, ενώ οι σημαντικότερες συνεχείς κατανομές είναι η κανονική κατανομή, η κατανομή Γάμμα, η εκθετική κατανομή, η κατανομή Erlang, η κατανομή  $\chi^2$  και η κατανομή Weibull.

Γενικά, οι παράμετροι μιας διεργασίας θεωρούνται άγνωστες και ενδέχεται να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η χρησιμοποίηση διαστημάτων εμπιστοσύνης αποτελεί πολύ συνηθισμένη μέθοδο εκτίμησης παραμέτρων κατανομών πιθανότητας σε μια διεργασία. Ο έλεγχος υποθέσεων με τη σειρά του αποτελεί διαδεδομένη μέθοδο επίλυσης προβλημάτων που αφορούν διάφορες διεργασίες. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιλαμβάνονται διαστήματα

---

<sup>22</sup> Κοκολάκης, 1999, σελίδα 291

εμπιστοσύνης και έλεγχοι υποθέσεων που αφορούν παραμέτρους συνεχών (μέση τιμή, διαφορά μέσων τιμών, διασπορά, λόγος διασπορών κλπ.) αλλά και ασυνεχών (πaráμετρος  $p$  Διωνυμικού πληθυσμού, διαφορά παραμέτρων Διωνυμικών πληθυσμών) πληθυσμών με την παράθεση ορισμένων παραδειγμάτων.

Η εφαρμογή των τεχνικών αυτών μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη για την αντιμετώπιση ζητημάτων που αφορούν τη βελτίωση της ποιότητας. Το αντικείμενο και ο σκοπός άλλωστε της εξαγωγής στατιστικών συμπερασμάτων είναι να αποτελέσουν βοηθητικό εργαλείο στην καταλληλότερη λήψη αποφάσεων. Για το λόγο αυτό η χρησιμοποίηση στατιστικών μεθόδων στις διάφορες διεργασίες δεν μπορεί παρά να θεωρείται δεδομένη για τις επιχειρήσεις σήμερα. Η υποβάθμιση του ρόλου του στατιστικού ελέγχου ποιότητας και των μεθόδων που τον πλαισιώνουν αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις και ταυτόχρονη υποβάθμιση της ποιότητας ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Αναφορικά με το κόστος των μεθόδων που αναφέρθηκαν, αυτό θεωρείται σχετικά χαμηλό. Κι αυτό διότι για την εκτίμηση των παραμέτρων και για τον έλεγχο υποθέσεων χρησιμοποιείται η λήψη τυχαίων δειγμάτων και δεν εξετάζονται ολόκληροι πληθυσμοί ή διεργασίες.

## ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική (Βιβλία - Άρθρα)

1. Κοκολάκης, Γ. (1999), Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
2. Λαμπράκης, Δ. (1980), Στατιστική, Αθήνα
3. Ταγαράς, Γ. (2001), Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
4. Τζιαφέτας, Γ. (1986), Εισαγωγικά Μαθήματα Στατιστικής, Αθήνα
5. Alfredo, M.S., Ang – Wilson, S. & Tang, H. (1979), Εφαρμογές πιθανοτήτων και στατιστικής στη μελέτη και προγραμματισμό τεχνικών έργων, Μετάφραση Δημήτρη Παναγιωτακόπουλου, Ξάνθη
6. Spiegel Murray, R. (1977), Πιθανότητες και Στατιστική, Schaum's Outline series, Μετάφραση Σ. Περισίδη: Ε.Σ.Π.Ι., Αθήνα

### Ξενόγλωσση (Βιβλία)

1. Aitchison, J. & Dunsmore, I.R. (1975), Statistical Prediction Analysis, Cambridge University Press, London
2. Benjamin, J.R. & Cornell, C.A. (1970), Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw Hill, New York

3. Bower, A.H. & Lieberman, G.J. (1972), Engineering Statistics, Prentice Hall, New York
4. Cox, D.R. & Hinkley, D.V. (1974), Theoretical Statistics, Chapman and Hall, London
5. Davenport, W. (1968), Probability and Random Processes, International Student Edition
6. Degroot, M.H. (1970), Optimal Statistical Decisions, McGraw Hill, New York
7. Feller, W. (1969), An Introduction to Probability Theory and its Applications, Volume I and II, Wiley International Edition
8. Ferguson, T.S. (1967), Mathematical Statistics. A Decision Theoretic Approach, Academic Press, New York
9. Gibra, I.N. (1973), Probability and Statistical Inference for Scientists and Engineers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
10. Johnson, N.L. & Leone, F.C. (1977), Statistics and Experimental Design in Engineering and Physical Sciences, Vol. I. Wiley, New York
11. Kvanli, A.H. (1988), Statistics: A Computer Integrated Approach, West Publishing Company, New York
12. Larson, H.J. & Shubert, B.O. (1979), Probability Model in Engineering Sciences, Wiley, New York
13. Lipschutz, S. (1990), Probability, Including 500 solved Problems, Shaum's Outline Series, McGraw – Hill Book Company
14. Milton, S. & Jesse, C. (1981), Probability and Statistics in the engineering and computing sciences, McGraw – Hill Book Company, New York



15. Montgomery, D. (2001), Introduction to Statistical Quality Control, 4<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc NY
16. Papoulis, A. (1990), Probability and Statistics, Prentice Hall International editions
17. Raiffa, H. & Schlaifer, R. (1961), Applied Statistical Decision Theory, Harvard University, Boston
18. Rao, C.R. (1970), Linear Statistical Inference and Its Applications, 2<sup>nd</sup> Edition Wiley, New York
19. Rice, J.A. (1988), Mathematical Statistics and Data Analysis, Wadsworth & Brooks, Pacific Grove, California
20. Roussas, G.G. (1973), A First Course in Mathematical Statistics, Addison, Wesley, New York
21. Sheldon, M. Ross, Introduction to probability and Statistics for engineers and scientists, Willey Series in probability and Mathematical Statistics, New York
22. Western Electric, (1956), Statistical Quality Control Handbook, Western Electric Corporation, Indianapolis, IN
23. Zellner, A. (1971), An Introduction to Bayesian Inference in Econometrics, Wiley, New York

#### **Ξενόγλωσση (Άρθρα)**

- Xie, M. & Goh TN. (1999), Statistical techniques for quality, TQM Mag, 11(4), pp 238–42

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΧΥΜΩΝ - ΑΝΑΨΥΚΤΙΚΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα των προϊόντων, των υπηρεσιών και των διαδικασιών μιας επιχείρησης καθορίζουν όχι μόνο το βαθμό ικανοποίησης των πελατών, αλλά και την οικονομική απόδοση και την επιβίωση ακόμα του οργανισμού. Η ποιότητα είναι ένας παράγοντας διαφοροποίησης στην αγορά, όπως και το κλειδί της βελτιστοποίησης των πόρων και της μείωσης του κόστους παραγωγής.

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση ορισμένων εφαρμογών στατιστικού ελέγχου που διενεργούνται και βασίζονται στα ποσοτικά αποτελέσματα που εξάγονται κατά τη διάρκεια ποιοτικών ελέγχων που λαμβάνουν χώρα στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Η εταιρεία που μελετάται δραστηριοποιείται στον κλάδο παγωτού καθώς επίσης και στον κλάδο χυμών – αναψυκτικών. Η ποιότητα αποτελεί γι' αυτήν τον ακρογωνιαίο λίθο επίτευξης των στόχων της. Στόχος της συγκεκριμένης επιχείρησης αποτελεί ύπαρξη τέτοιων

συνθηκών υγιεινής και παραγωγής, ώστε όλες οι διαδικασίες που εκτελούνται στη διάρκεια της παραγωγής να δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα και να μην προκαλέσουν κάποιο ατύχημα στο εργατικό δυναμικό.

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει αναφέρεται στην παραγωγή και διάθεση ενός συγκεκριμένου προϊόντος της εταιρείας. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά σε κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τα οποία γίνεται αξιολόγηση στο τελικό προϊόν με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές. Επιπρόσθετα, εξετάζονται ορισμένα ποσοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος όπως το βάρος γεμίσματος και το PH. Με τη χρήση στατιστικών εργαλείων όπως διαγράμματα ελέγχου, ιστογράμματα κλπ., καθώς και με τον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων γίνεται η προσπάθεια εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων για την αναφερόμενη εταιρεία.

## 4.2 Η εταιρεία

Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1936 και αποτελεί μία από τις πρώτες ελληνικές εταιρείες που παρήγαγαν τυποποιημένο παγωτό στην ελληνική αγορά. Το 1988 η εταιρεία γίνεται μέλος γνωστού ομίλου εταιρειών. Αυτή είναι η έναρξη μιας περιόδου με μεγάλες επενδύσεις τόσο σε τεχνολογικό εξοπλισμό όσο και σε ανθρώπινο δυναμικό. Το γεγονός αυτό συνέβαλε στην δραστηριοποίηση της εταιρείας εκτός του παγωτού, σε παστεριωμένους χυμούς. Πιο συγκεκριμένα, η δραστηριότητα στην αγορά παστεριωμένων χυμών ξεκινά το 1991. Στην εξέλιξη αυτή συνέβαλε η υλοποίηση ενός μακροχρόνιου επενδυτικού προγράμματος που στόχευε στη

βελτίωση της παραγωγικής δυναμικότητας, στην απόκτηση υψηλού επιπέδου έρευνας και ανάπτυξης, στον αυστηρό και συνεχή έλεγχο σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και στη δυνατότητα ανάπτυξης πρωτοποριακών προϊόντων.

Τα εργοστάσια παραγωγής της εταιρείας εδράζονται στο λεκανοπέδιο της Αττικής. Πρόκειται για δύο εργοστάσια με εμβαδόν 32.000 και 10.000 τετραγωνικά μέτρα αντίστοιχα. Στο ένα εργοστάσιο λαμβάνουν χώρα οι παραγωγικές διαδικασίες για την κατασκευή παγωτού και στο άλλο κατασκευάζονται οι παστεριωμένοι χυμοί.

Επιπρόσθετα, η επιχείρηση που μελετάται ευαισθητοποιείται τα τελευταία χρόνια σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον. Είναι από τις πρώτες εταιρείες στην Αττική που χρησιμοποίησαν αέριο καύσιμο στους λέβητες ατμοπαραγωγής και στην συνέχεια φυσικό αέριο. Διενεργεί βιολογικό καθαρισμό σε όλες τις εγκαταστάσεις της και συνεργάζεται με εταιρείες οι οποίες εξειδικεύονται στην ανακύκλωση και διαχείριση αποβλήτων αστικού και βιομηχανικού τύπου. Διαθέτει ένα συνεχώς ανανεώσιμο στόλο ψυγείων λιανικής πώλησης, προσθέτοντας κάθε χρόνο σε αυτόν, χιλιάδες ψυγεία με οικολογικά ψυκτικά υγρά τελευταίου τύπου. Προσπαθεί να απλοποιεί κάθε χρόνο τις συσκευασίες των προϊόντων της, ώστε η περιβαλλοντική επιβάρυνση να είναι η ελάχιστη δυνατή.

Βασικοί στόχοι της εταιρείας για το μέλλον αποτελούν η διατήρηση της υψηλής ποιότητας των προϊόντων της, η διατήρηση της αξιοπιστίας της και η περαιτέρω εξέλιξή της μέσω της έρευνας, της πρωτοτυπίας και της επέκτασής της σε αγορές του εξωτερικού. Είναι μια συνεχώς εξελισσόμενη εταιρεία με όραμα και προοπτικές, με πολυδιάστατη προσωπικότητα και με θέληση για την κάλυψη των αναγκών όλων των καταναλωτών.

### **4.3 Προϊόν**

Το προϊόν στο οποίο θα στηριχθεί ή στατιστική ανάλυση ποιότητας, ανήκει στην κατηγορία απλών – κλασικών γεύσεων παστεριωμένων χυμών. Πρόκειται για έναν 100% φυσικό χυμό από συμπυκνωμένο χυμό ροδάκινου και μήλου χωρίς προσθήκη ζάχαρης και χωρίς συντηρητικά. Το συγκεκριμένο προϊόν διατίθεται σε συσκευασίες του 1 lt και των 450 ml. Τα στοιχεία που αναφέρονται στη συνέχεια αφορούν τις συσκευασίες του ενός λίτρου. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι παρά την παραγωγή νέων χυμών σε μεγάλη ποικιλία γεύσεων, το συγκεκριμένο προϊόν παρουσιάζει ιδιαίτερα αυξημένο αριθμό πωλήσεων σε σύγκριση με τους υπόλοιπους παστεριωμένους χυμούς της εταιρείας.

### **4.4 Παραγωγική διαδικασία – Ποιοτικοί έλεγχοι**

Στο σημείο αυτό, θα αναφερθούν συνοπτικά τα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας ενός ανάμεικτου παστεριωμένου χυμού που συσκευάζεται σε

χάρτινη συσκευασία ενός λίτρου. Παράλληλα, αναφέρονται και οι ποιοτικοί έλεγχοι που διενεργούνται και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, τα 13 στάδια για την παραγωγή του προϊόντος είναι τα ακόλουθα:

1. Παραλαβή πρώτων υλών και υλικών συσκευασίας, ενώ παράλληλα γίνεται ποιοτικός έλεγχος για την πληρότητα των προδιαγραφών.
2. Αποθήκευση πρώτων υλών και υλικών συσκευασίας, ποιοτικός έλεγχος των συνθηκών αποθήκευσης.
3. Μεταφορά των πρώτων υλών από τις αποθήκες στους παραγωγής.
4. Ανάμειξη πρώτων υλών – Μίγμα χυμού.
5. Παστερίωση και ψύξη του μίγματος.
6. Μεταφορά και αποθήκευση του μίγματος σε ψυχόμενες δεξαμενές.
7. Ποιοτικός έλεγχος – παρακολούθηση τεχνικών προδιαγραφών.
8. Συσκευασία προϊόντων.
9. Ποιοτικός έλεγχος χαρακτηριστικών προϊόντων και συσκευασίας.
10. Παλετοποίηση.
11. Αποθήκευση των παστεριωμένων χυμών στους 4 – 6°C.
12. Ποιοτικός έλεγχος αποθήκευσης και διάθεσης.
13. Διανομή στα σημεία πώλησης.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση του προϊόντος με χρήση στατιστικών εργαλείων και στατιστικών ελέγχων. Θα γίνει εξέταση ορισμένων σημαντικών

ποσοτικών άλλα και ποιοτικών χαρακτηριστικών που χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο είδος χυμού που παράγεται από την εταιρεία.

#### **4.5 Στατιστικός έλεγχος ποιότητας στα βαρέλια αποθήκευσης πρώτης ύλης**

Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου της παραγωγικής διαδικασίας η εταιρεία προμηθεύεται συμπυκνωμένο χυμό τον οποίο αποθηκεύει σε βαρέλια κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (χαμηλή θερμοκρασία). Στις περισσότερες περιπτώσεις οι τιμές των δεικτών του συμπυκνωμένου χυμού (PH, Brix, οξύτητα, μικροοργανισμοί κλπ.) βρίσκονται εντός των προδιαγραφών που έχουν τεθεί από την εταιρεία προς τον προμηθευτή. Αυτό θεωρείται λογικό διότι η φιλοσοφία της εταιρείας βασίζεται στη διατήρηση χαμηλών αποθεματικών (just – in – time). Επομένως ο προμηθευτής φροντίζει να στέλνει συμπυκνωμένο χυμό του οποίου τα χαρακτηριστικά ανταποκρίνονται σχεδόν πάντοτε στις απαιτήσεις της εταιρείας.

Μετά την μεταφορά του συμπυκνωμένου χυμού, ακολουθεί αποθήκευση σε βαρέλια της εταιρείας. Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα δειγματοληπτικός έλεγχος των χαρακτηριστικών του συμπυκνωμένου χυμού από έναν ορισμένο αριθμό βαρελιών ανάλογα με την ποσότητα που δίνει ο προμηθευτής. Παρά το γεγονός ότι οι δείκτες που σχετίζονται με το χυμό είναι σχεδόν πάντοτε ικανοποιητικοί, σε ορισμένα βαρέλια παρατηρείται αυξημένος αριθμός ανεπιθύμητων

μικροοργανισμών (σπορογόνα, ζύμες, μύκητες, κολοβακτηρίδια) κατά τη διάρκεια του μικροβιολογικού ελέγχου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένα βαρέλια είναι χαλασμένα ή η παλαιότητά τους έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Βέβαια το συνολικό μίγμα του περιεχομένου των βαρελιών υφίσταται παστερίωση με αποτέλεσμα την καταστροφή του μεγαλύτερου μέρους των οργανισμών αυτών. Παρ' όλα αυτά όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των μικροοργανισμών στα βαρέλια αποθήκευσης τόσο η εταιρεία κατορθώνει να περιορίσει σε ελάχιστο βαθμό την διατήρηση των οργανισμών αυτών μετά την παστερίωση.

Στις περιπτώσεις όπου κατά τους δειγματοληπτικούς μικροβιολογικούς ελέγχους βρεθούν βαρέλια των οποίων το περιεχόμενο περιέχει επαναλαμβανόμενα αυξημένο βαθμό από ζύμες μύκητες και βακτηρίδια, τότε τα βαρέλια αυτά αντικαθίστανται όσο πιο σύντομα γίνεται. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται ο αριθμός ελαττωματικών βαρελιών για 6 ημέρες για σταθερό δείγμα μεγέθους 30 βαρελιών την ημέρα. Με τη λήψη τυχαίων δειγμάτων προσδιορίζεται το μέσο ποσοστό ελαττωματικών για κάθε ημέρα ξεχωριστά. Το μέσο ποσοστό ελαττωματικών που προκύπτει στη διάρκεια των έξι ημερών αποτελεί το ονομαστικό ποσοστό ελαττωματικών και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^s n_i p_i}{\sum_{i=1}^s n_i} \quad (4.1),$$



όπου  $p_i$  το ποσοστό ελαττωματικών και  $n_i$  το μέγεθος των δειγμάτων ανά ημέρα.

**Πίνακας 4.1**  
**Αριθμός ελαττωματικών βαρελιών αποθήκευσης πρώτης ύλης**

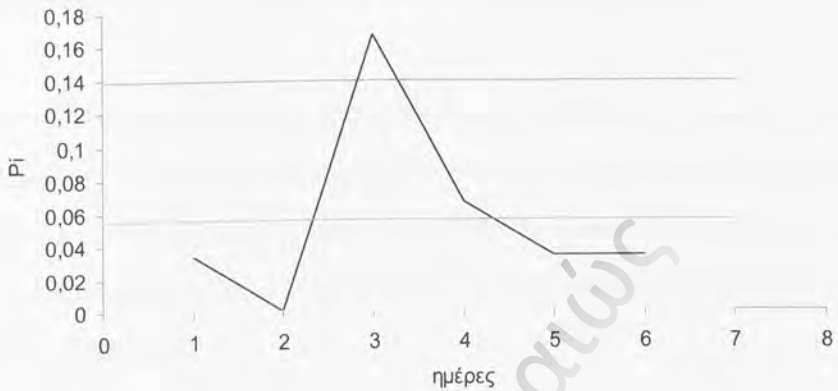
Ημέρα	Μέγεθος δείγματος	Αριθμός ελαττωματικών	Ποσοστό ελαττωματικών
1 <sup>η</sup>	30	1	0,0333
2 <sup>η</sup>	30	0	0,0000
3 <sup>η</sup>	30	5	0,1666
4 <sup>η</sup>	30	2	0,0666
5 <sup>η</sup>	30	1	0,0333
6 <sup>η</sup>	30	1	0,0333

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.1 και με βάση τον τύπο (4.1) προκύπτει ότι  $p_0 = 0,0555$ . Τα όρια ελέγχου του διαγράμματος ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών (διάγραμμα  $p$ ) δίνονται από του τύπους (2.29) και (2.30). Για  $k = 2$  τυπικές αποκλίσεις ισχύουν τα παρακάτω:

$$UCL = 0,0555 + 2\sqrt{\frac{0,0555(1 - 0,0555)}{30}} = 0,1391$$

$$LCL = 0$$

Το κάτω όριο ελέγχου είναι αρνητικό και επομένως λαμβάνεται ίσο με το μηδέν, ενώ η κεντρική γραμμή λαμβάνει την σταθερή τιμή 0,0555. Στο Διάγραμμα 4.1 παριστάνεται το διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών βαρελιών κατά τη διάρκεια των έξι ημερών παραγωγής που εξετάζονται στην προκειμένη περίπτωση.



**Διάγραμμα 4.1**

**Ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών βαρελιών αποθήκευσης πρώτης ύλης**

Σύμφωνα με τη μορφή του χάρτη ελέγχου (Διάγραμμα 4.1), φαίνεται ότι τα αποτελέσματα ελέγχου της πρώτης, της δεύτερης, της πέμπτης και της έκτης ημέρας είναι αρκετά ικανοποιητικά (κάτω από την κεντρική γραμμή) με καλύτερη την δεύτερη ημέρα (μηδενικό ποσοστό ελαττωματικών). Την τέταρτη ημέρα ο έλεγχος ξεπερνά την κεντρική γραμμή αλλά βρίσκεται εντός των ορίων ελέγχου. Αντίθετα, η τρίτη ημέρα βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου εξ' αιτίας του υψηλού ποσοστού ελαττωματικών. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποια συστηματική αιτία, όπως ο μη κατάλληλος καθαρισμός ορισμένων βαρελιών πριν την τροφοδοσία τους με συμπυκνωμένο χυμό.

## 4.6 Στατιστικός έλεγχος ποιοτικών χαρακτηριστικών

Σαν ποιοτικά χαρακτηριστικά ορίζονται τα χαρακτηριστικά με τα οποία γίνεται αξιολόγηση της τελικής συσκευασίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές μιας ξένης εταιρείας. Τα χαρακτηριστικά αυτά κατατάσσονται στην κατηγορία εκείνη που σε περίπτωση μη τήρησης των προδιαγραφών γίνονται εύκολα αντιληπτά από τον τελικό καταναλωτή.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση του ποσοστού των ελαττωματικών που εντοπίζονται μέσω του ελέγχου ποιότητας δύο καθοριστικών χαρακτηριστικών που εξετάζονται από την εταιρεία. Πρόκειται για τα ελαττωματικά τεμάχια που προέρχονται από μηχανική ζημιά στην συσκευασία ή από προσθήκη ξένων σωμάτων στο τελικό προϊόν. Η παρουσίαση γίνεται χωριστά για το κάθε είδους ελάττωμα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εντοπιστεί το ελάττωμα όπου υπάρχουν τα περισσότερα προβλήματα. Το χρονικό διάστημα όπου συλλέγονται τα στοιχεία είναι 6 ημέρες. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι κάθε μέρα πραγματοποιείται νέα παραγωγή του προϊόντος.

### **Έλεγχος Μηχανικής ζημιάς**

Ο έλεγχος ελαττωματικών τεμαχίων εξ' αιτίας μηχανικής ζημιάς αναφέρεται στο τελικό προϊόν και περιλαμβάνει έλεγχο σωστού σφραγίσματος των πωμάτων, έλεγχο συσκευασίας και έλεγχο σωστής τύπωσης κωδικών (bar code) που

αναφέρονται στην ημερομηνία παραγωγής και στην ημερομηνία λήξης των προϊόντων. Στον Πίνακα 4.2 αναφέρεται στα δείγματα και τους αντίστοιχους αριθμούς ελαττωματικών κατά τη διάρκεια των έξι ημερών.

**Πίνακας 4.2**  
**Αριθμός ελαττωματικών λόγω μηχανικής ζημιάς**

Ημέρα	Μέγεθος δείγματος	Αριθμός ελαττωματικών	Ποσοστό ελαττωματικών
1 <sup>η</sup>	102	2	0,0196
2 <sup>η</sup>	112	1	0,0089
3 <sup>η</sup>	106	1	0,0094
4 <sup>η</sup>	127	2	0,0157
5 <sup>η</sup>	152	7	0,0461
6 <sup>η</sup>	119	3	0,0252

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 4.2 προκύπτει ότι  $p_0 = 0,0222$ . Επειδή λαμβάνεται διαφορετικό μέγεθος δείγματος ανά ημέρα, για την ερμηνεία της συγκεκριμένης χρονοσειράς γίνεται χρήση του ανοιγμένου διαγράμματος ελέγχου  $p$ . Η στατιστική του δείγματος  $i$  είναι:

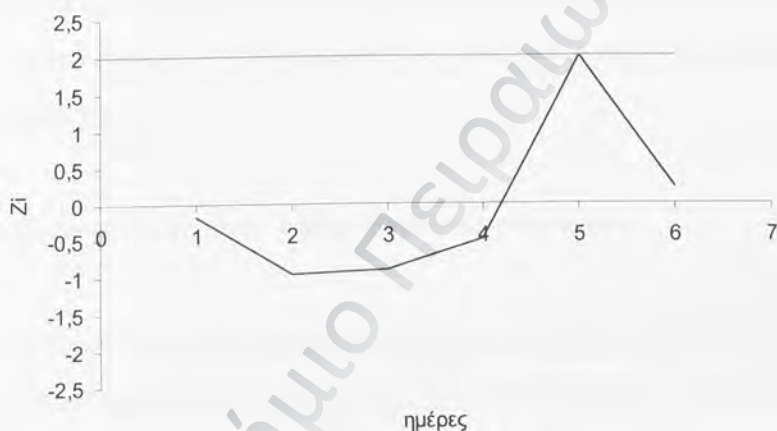
$$Z_i = \frac{p_i - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n_i}}} \quad (4.2)$$

Το άνω και κάτω όριο ελέγχου στο συγκεκριμένο διάγραμμα καθορίζονται από τον αριθμό των τυπικών αποκλίσεων όπου ορίζονται να απέχουν τα όρια ελέγχου από την κεντρική γραμμή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου δύο τυπικών αποκλίσεων, οπότε ισχύει:

$$UCL = +k = 2$$

$$LCL = -k = -2$$

Η στατιστική δείγματος που αναφέρεται εκφράζει την απόσταση του ποσοστού ελαττωματικών από την κεντρική γραμμή σε αριθμό τυπικών αποκλίσεων, λαμβάνοντας έτσι υπ' όψιν το μέγεθος δείγματος. Το ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών μηχανικής ζημιάς παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.2.



**Διάγραμμα 4.2**

**Ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών λόγω μηχανικής ζημιάς**

Από το διάγραμμα αυτό βρίσκεται ότι η μοναδική ημέρα που φτάνει και ξεπερνάει ελάχιστα το άνω όριο ελέγχου είναι η πέμπτη ημέρα. Τα αποτελέσματα της ημέρας αυτής συνέβαλαν στην μεγάλη σχετικά τιμή του μέσου ποσοστού ελαττωματικών. Επιπλέον, την ημέρα αυτή ενδέχεται να υπήρξε κάποια δυσλειτουργία στην διαδικασία κατασκευής της χάρτινης συσκευασίας. Η δυσλειτουργία αυτή μπορεί να οφείλεται είτε στο προσωπικό είτε σε κάποια

δυσλειτουργία της συσκευαστικής μηχανής που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της συσκευασίας.

Οι μεταβλητές της δεύτερης, τρίτης και τέταρτης ημέρας βρίσκονται μεταξύ της κεντρικής γραμμής και του κάτω ορίου ελέγχου και επομένως θεωρούνται αρκετά καλές ημέρες. Καλύτερη από όλες θεωρείται η δεύτερη ημέρα ενώ η πρώτη και η έκτη ημέρα θεωρούνται φυσιολογικές ως προς τον αριθμό ελαττωματικών μηχανικής ζημιάς.

#### **Έλεγχος ελαττωματικών εξ' αιτίας ύπαρξης ξένων σωμάτων**

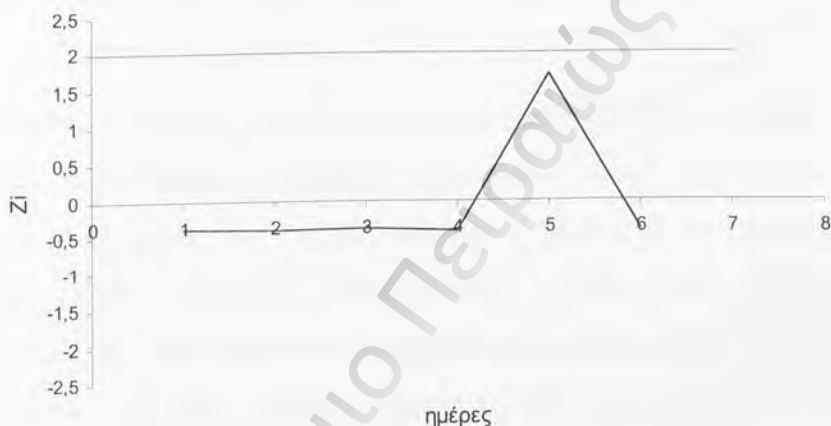
Σε ορισμένες περιπτώσεις ελέγχου του τελικού προϊόντος παρατηρείται το φαινόμενο ύπαρξης ξένων σωμάτων στις τελικές συσκευασίες. Η αλήθεια είναι ότι ο αριθμός των ελαττωματικών της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι αρκετά περιορισμένος. Παρ' όλα αυτά στόχος της εταιρείας είναι να πετύχει ολική ποιότητα και να εκμηδενίσει τα ελαττωματικά τεμάχια της κατηγορίας αυτής. Ο Πίνακας 4.3 περιλαμβάνει τον αριθμό ελαττωματικών που βρέθηκαν στα λαμβανόμενα δείγματα κατά τη διάρκεια των έξι ημερών.

**Πίνακας 4.3**

**Αριθμός ελαττωματικών λόγω ύπαρξης ξένων σωμάτων**

Ημέρα	Μέγεθος δείγματος	Αριθμός ελαττωματικών	Ποσοστό ελαττωματικών
1 <sup>η</sup>	102	0	0
2 <sup>η</sup>	112	0	0
3 <sup>η</sup>	106	0	0
4 <sup>η</sup>	127	0	0
5 <sup>η</sup>	152	1	0,00657
6 <sup>η</sup>	119	0	0

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 4.3 προκύπτει ότι  $p_0 = 0,00139$ . Στην περίπτωση αυτή, όπως και στον έλεγχο μηχανικής ζημιάς, χρησιμοποιείται ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών δύο αποκλίσεων (Διάγραμμα 4.3). Τα όρια ελέγχου είναι τα ίδια με αυτά του Διαγράμματος 4.2.



Διάγραμμα 4.3

#### Ανοιγμένο διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών λόγω ύπαρξης ξένων σωμάτων

Οι μοναδική ημέρα όπου υπάρχει μη μηδενικό ποσοστό ελαττωματικών είναι η πέμπτη. Το γεγονός αυτό διαπιστώνεται καθαρά στο Διάγραμμά 4.3 στο οποίο η μεταβλητή ελέγχου πλησιάζει το άνω όριο ελέγχου την πέμπτη ημέρα. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται στην μη τήρηση των προδιαγραφών υγιεινής από ορισμένους εργαζομένους ή στην προσθήκη ξένων σωμάτων κατά τη διάρκεια μεταφοράς και αποθήκευσης του μίγματος του χυμού σε ψυχόμενες δεξαμενές. Τέλος, τις υπόλοιπες ημέρες τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου ελέγχου

αποτυπώνονται απολύτως ικανοποιητικά, αφού τις ημέρες αυτές η εταιρεία επιτυγχάνει ολική ποιότητα ως προς τον αριθμό ελαττωματικών της συγκεκριμένης κατηγορίας.

#### **4.7 Στατιστικός έλεγχος ποσοτικών χαρακτηριστικών**

Πέρα από τα ποιοτικά στοιχεία που ελέγχονται, εξίσου σημαντικός θεωρείται και ο έλεγχος ποσοτικών χαρακτηριστικών του χυμού. Στη συνέχεια, ακολουθεί στατιστικός έλεγχος του PH και του βάρους γεμίσματος του προϊόντος. Συγκεκριμένα, η ανάλυση του PH γίνεται με τη χρήση ενός αθροιστικού διαγράμματος ελέγχου ώστε να μπορεί να γίνει αντιληπτή και η παραμικρή αύξηση στη μέση τιμή. Το βάρος γεμίσματος εξετάζεται με διαγράμματα ελέγχου μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης.

##### **4.7.1 Έλεγχος PH**

Σύμφωνα με την αλληλουχία ενεργειών της παραγωγικής διαδικασίας, ύστερα από την δημιουργία του ομοιογενούς μίγματος ακολουθεί παστερίωση, ψύξη και αποθήκευση του μίγματος σε ψυχόμενες δεξαμενές. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, που διαρκεί περίπου 8 ώρες, λαμβάνονται δείγματα μιας μέτρησης για το PH. Η μέτρηση αυτή λαμβάνεται περίπου κάθε μισή ώρα.



Το ΡΗ ενός υδατικού διαλύματος αναπαριστά την περιεκτικότητα του διαλύματος σε υδρογόνο. Η αιτία λήψης μετρήσεων του ΡΗ έγκειται στο γεγονός αυξομείωσης της τιμής του. Η αυξομείωση αυτή έχει να κάνει με τις εγγυήσεις των δεξαμενών. Με μικρό ΡΗ γίνεται διάβρωση υδρογόνου, ενώ με μεγαλύτερο γίνεται διάβρωση οξυγόνου. Επιπλέον, το διάκενο δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο, έτσι ώστε να μην δίνει τη δυνατότητα στο οξυγόνο να βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες. Στην εταιρεία, το ομοιογενές μίγμα πρέπει να έχει ελάχιστο ΡΗ ίσο με 3,5 και μέγιστο ΡΗ ίσο με 4.

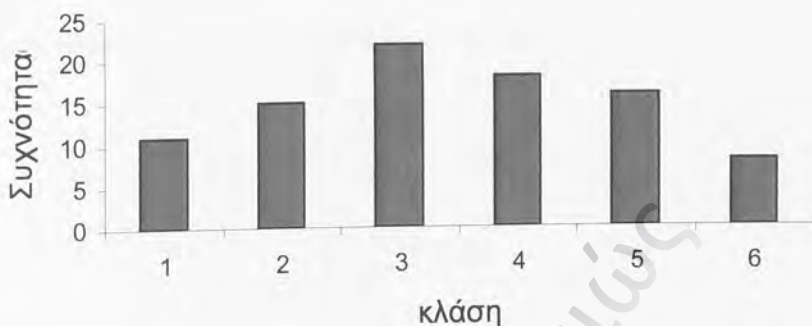
#### **Ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας – Έλεγχος μέσης τιμής ΡΗ**

Αρχικά, θεωρείται προσεγγιστικά ότι το ΡΗ ακολουθεί κανονική κατανομή. Για να διαπιστωθεί η συγκεκριμένη υπόθεση, λαμβάνονται οι τιμές του ΡΗ που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια έξι ημερών. Κάθε μέρα γίνεται μέτρηση του ΡΗ 15 φορές, οπότε συνολικά υπάρχουν διαθέσιμες 90 μετρήσεις. Οι τιμές αυτές κατατάσσονται σε κλάσεις, όπως ακριβώς απεικονίζονται στον Πίνακα 4.4.

**Πίνακας 4.4**

**Χωρισμός ΡΗ σε κλάσεις και συχνότητα εμφάνισης τιμών σε αυτές**

Κλάσεις	3,56-3,60	3,61-3,65	3,66-3,70	3,71-3,75	3,76-3,80	3,81-3,85
Συχνότητα	11	15	22	18	16	8



**Διάγραμμα 4.4**  
**Ιστόγραμμα κατανομής PH**

Στο Διάγραμμα 4.4 απεικονίζεται το ιστόγραμμα κατανομής του PH. Με βάση το διάγραμμα αυτό, εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η κατανομή του PH προσεγγίζει ικανοποιητικά την κανονική κατανομή. Επομένως, η ανάλυση που ακολουθεί στηρίζεται στο γεγονός ότι το PH ακολουθεί την κατανομή αυτή. Είναι γεγονός βέβαια ότι το μεγαλύτερο μέρος των τιμών εμφανίζεται κοντά και πάνω από τη μέση τιμή.

Για να γίνει η ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία παραγωγής της πρώτης ημέρας. Τα δείγματα που λαμβάνονται έχουν μέγεθος ένα. Επομένως, η εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης υπολογίζεται μέσω του μέσου κινούμενου εύρους σύμφωνα με τους τύπους (2.15), (2.16) και (2.17). Εφόσον ληφθούν όλες οι μετρήσεις  $x_j, j=1,2,\dots,m(15)$  και υπολογισθούν  $m-1$  τιμές κινούμενου εύρους ( $MR_j$ ),

ακολουθεί ο υπολογισμός του μέσου κινούμενου εύρους, της εκτιμήτριας της τυπικής αποκλίσης και της εκτιμήτριας της μέσης τιμής:

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{j=2}^m MR_j}{m-1} = 0,0657$$

$$\sigma = \frac{\overline{MR}}{1,128} = 0,058$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m} = 3,68$$

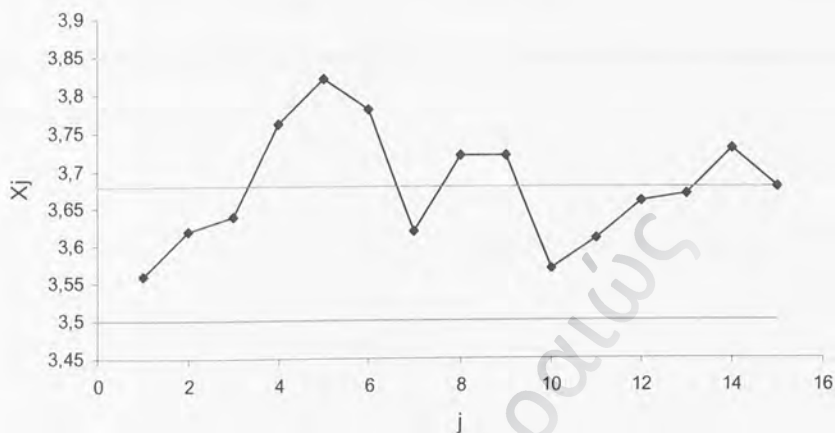
Τα όρια ελέγχου του διαγράμματος ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων του ΡΗ (τριών τυπικών αποκλίσεων) είναι τα εξής:

$$UCL = 3,68 + 3 * 0,058 = 3,85$$

$$LCL = 3,68 - 3 * 0,058 = 3,5$$

Στο Διάγραμμα 4.5 παρατηρείται ότι ο κάτω όριο είναι ίσο με το ελάχιστο επιτρεπτό. Επιπλέον, το διάγραμμα μέσης τιμής δεν είναι απαραίτητο να συνοδευτεί από το διάγραμμα κινούμενου εύρους διότι μια απότομη μεταβολή φαίνεται αμέσως στο διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής.

Στην πραγματικότητα, οι τιμές του ΡΗ κυμαίνονται πολύ κοντά προς τη μέση τιμή και προς τα πάνω. Αυτές τις τιμές προσπαθεί να ελέγξει η εταιρεία και να μεταβάλλει το μίγμα ώστε να επαναφέρει το ΡΗ στα επιθυμητά όρια. Επομένως, θεωρείται καλύτερο να δημιουργηθεί ένα αθροιστικό διάγραμμα ελέγχου που θα λαμβάνει υπ' όψιν όλες τις προηγούμενες τιμές. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου μικρών αποκλίσεων προς τα πάνω.



**Διάγραμμα 4.5**

**Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 1<sup>ης</sup> ημέρας (PH)**

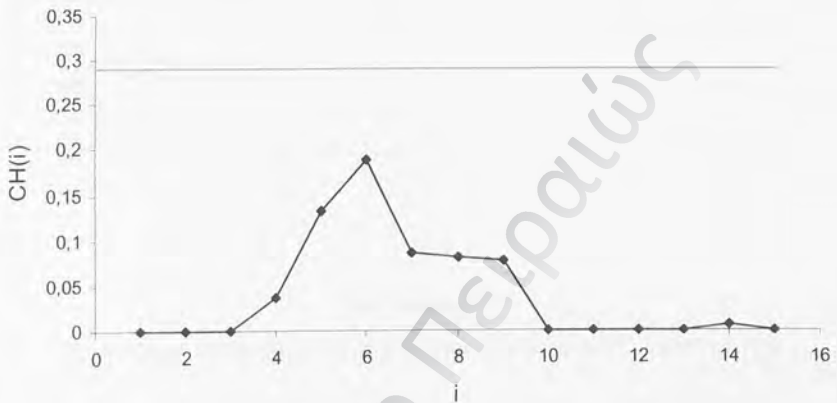
Ο στατιστικός έλεγχος μέσω διαγραμμάτων θα στηριχθεί στην αναφορά που έλαβε χώρα για τα διαγράμματα τέτοιου τύπου στο δεύτερο κεφάλαιο (παράγραφος 2.9.1). Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα δημιουργηθεί ένα αθροιστικό διάγραμμα που θα ελέγχει τη μεταβολή της μέσης τιμής κατά 1,5 τυπικές αποκλίσεις. Η τιμή αναφοράς  $K$  θα είναι:

$$K = \delta\sigma / 2 = 1,5 * 0,058 / 2 = 0,0435$$

Το άθροισμα που υπολογίζεται με την καταγραφή κάθε νέας τιμής δείγματος σύμφωνα με τον τύπο (2.24) είναι:

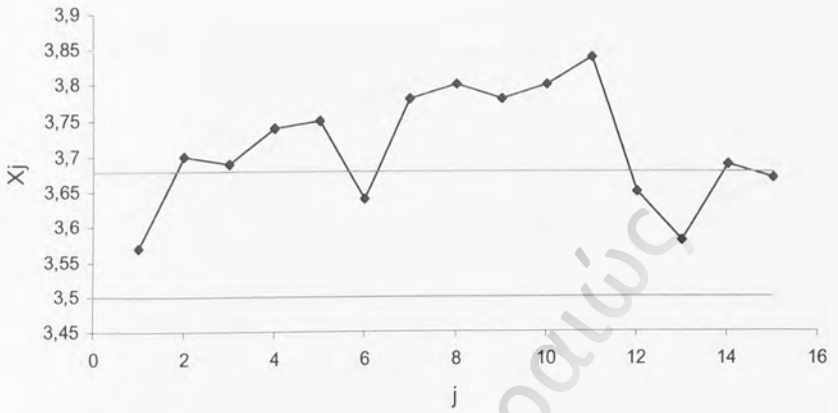
$$C_H(i) = \max\{0, x_i - (3,68 + 0,0435) + C_H(i-1)\}$$

Η συνιστώμενη τιμή της παραμέτρου  $H$  (όριο ελέγχου) είναι  $H = 5\sigma = 0,29$ . Το αθροιστικό διάγραμμα της 1<sup>ης</sup> μέρας (από τις έξι που εξετάζονται) παριστάνεται από το Διάγραμμα 4.6.



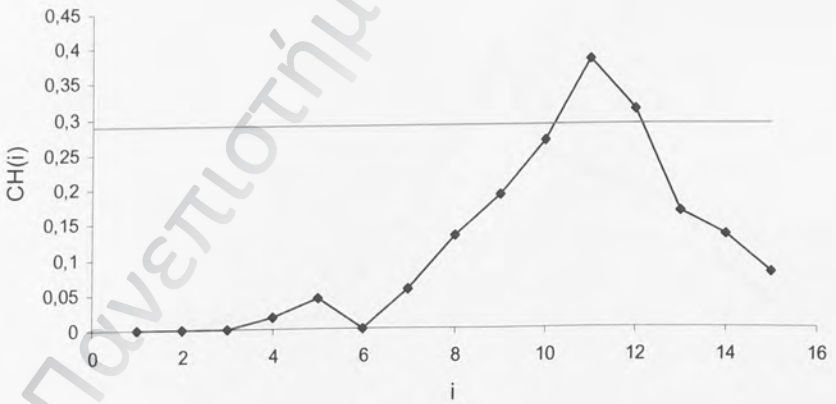
**Διάγραμμα 4.6**  
**Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 1<sup>ης</sup> ημέρας (PH)**

Από το παραπάνω αθροιστικό διάγραμμα φαίνεται ότι την πρώτη εβδομάδα το όριο ελέγχου δεν ξεπεράστηκε καμία φορά. Τα διαγράμματα των υπόλοιπων ημερών που εξετάζονται παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω. Για κάθε παραγωγή (σε ημερήσια βάση) παρουσιάζεται το διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων, καθώς επίσης και το αντίστοιχο αθροιστικό διάγραμμα ελέγχου.



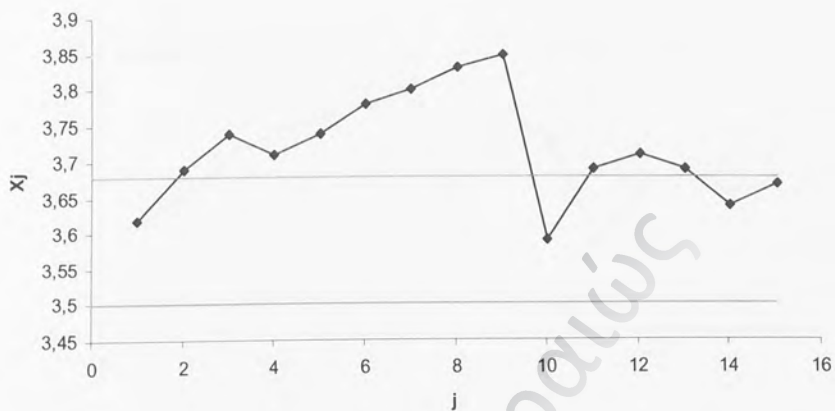
Διάγραμμα 4.7

Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 2<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



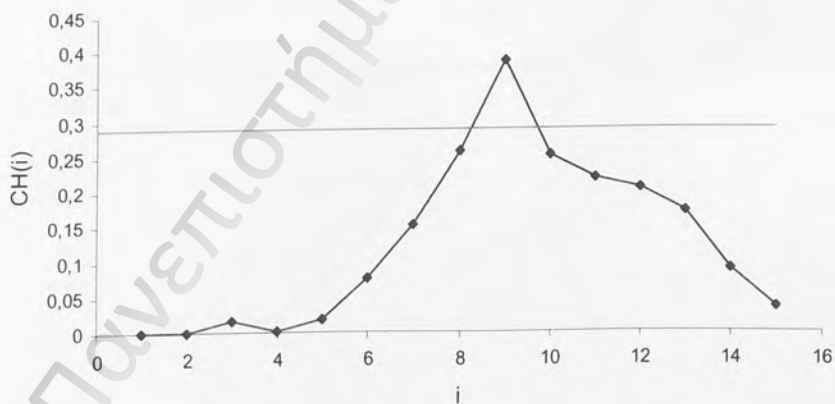
Διάγραμμα 4.8

Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 2<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



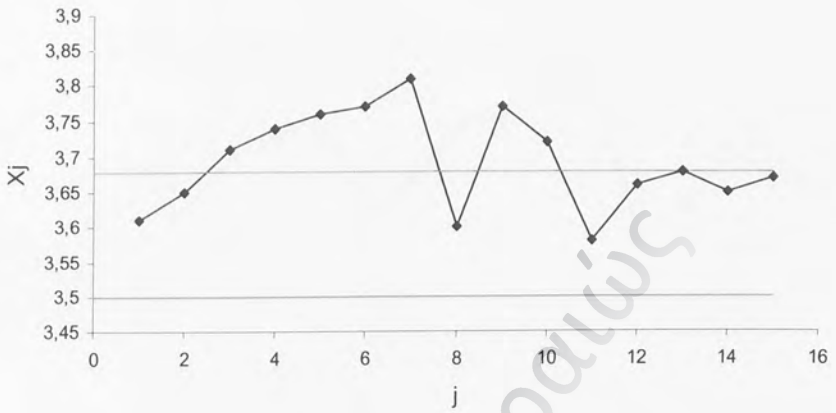
Διάγραμμα 4.9

Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 3<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



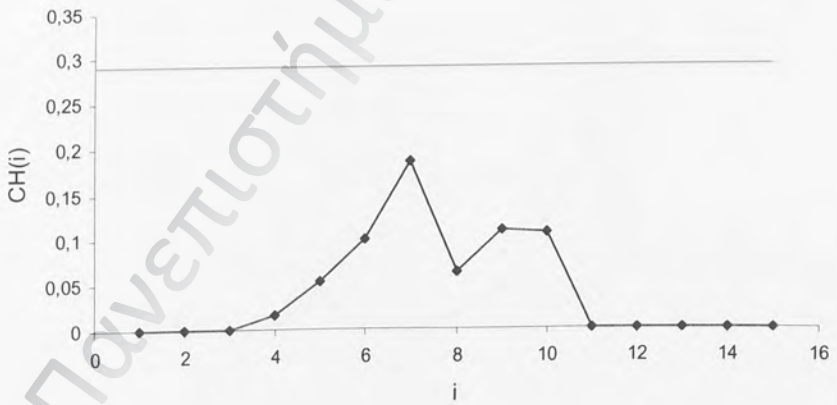
Διάγραμμα 4.10

Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 3<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



Διάγραμμα 4.11

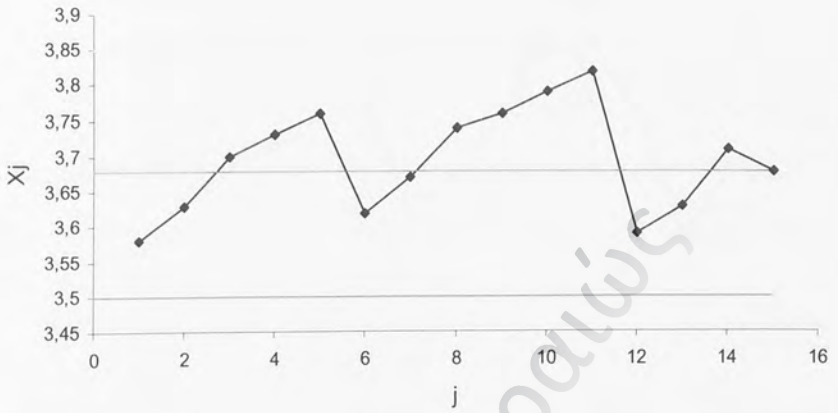
Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 4<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



Διάγραμμα 4.12

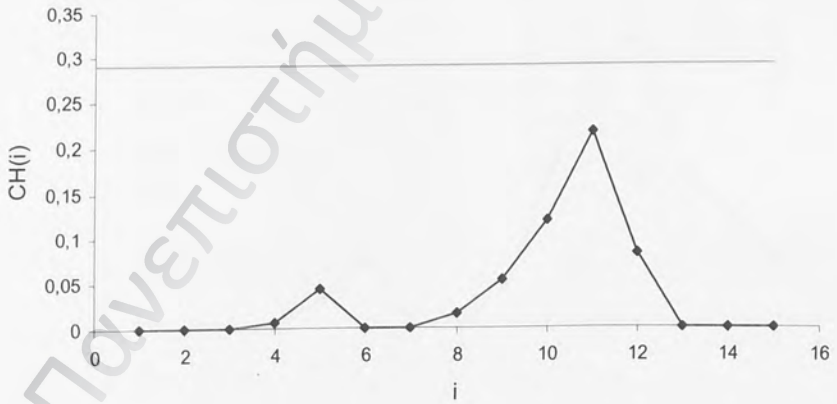
Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 4<sup>ης</sup> ημέρας (PH)





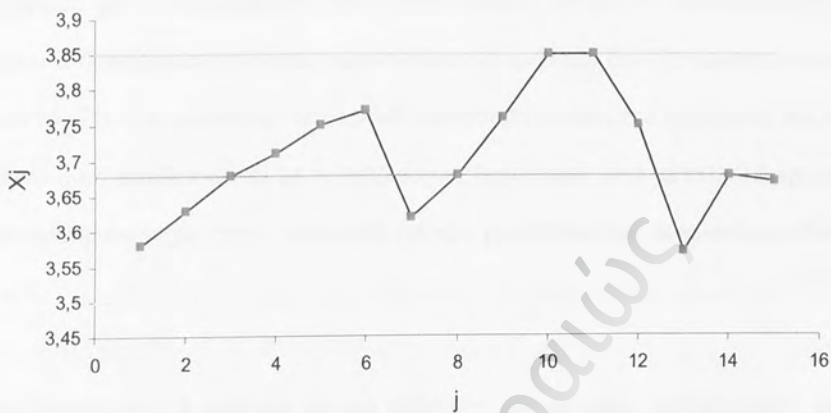
Διάγραμμα 4.13

Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 5<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



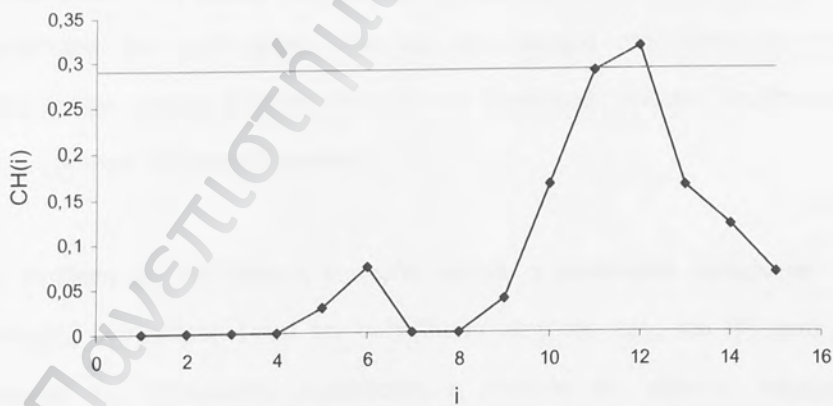
Διάγραμμα 4.14

Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 5<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



Διάγραμμα 4.15

Διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων 6<sup>ης</sup> ημέρας (PH)



Διάγραμμα 4.16

Αθροιστικό Διάγραμμα ελέγχου 6<sup>ης</sup> ημέρας (PH)

Σύμφωνα με τα διαγράμματα που προηγήθηκαν, υπάρχουν περιπτώσεις που ενώ στα διαγράμματα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων δεν ξεπερνάται το άνω όριο του PH, στα αντίστοιχα αθροιστικά διαγράμματα αυτό δεν συμβαίνει. Με τον τρόπο αυτό αποδεικνύεται ότι το αθροιστικό διάγραμμα είναι καταλληλότερο και αποτελεσματικότερο στον εντοπισμό μικρών μεταβολών με δείγματα μεγέθους  $n = 1$ .

Στο Διάγραμμα 4.8 φαίνεται ότι στα μέσα της παραγωγικής διαδικασίας η τιμή του PH αυξάνεται ενώ δεν παρατηρείται κάποια διορθωτική ενέργεια από την εταιρεία. Αυτό συμβαίνει μετά τη λήψη του δωδέκατου δείγματος όπου η τιμή του PH αρχίζει να διαμορφώνεται σε επιθυμητά επίπεδα. Το όριο ελέγχου ξεπεράστηκε δύο φορές (δέκατο και ενδέκατο δείγμα). Παρόμοια είναι η κατάσταση την τρίτη ημέρα όπου το όριο ελέγχου στο Διάγραμμα 4.10 ξεπεράστηκε μία φορά (ένατο δείγμα), ενώ διορθωτικές κινήσεις λαμβάνονται μετά την λήψη του ένατου δείγματος.

Σε αντίθεση με την δεύτερη και τρίτη ημέρα, η κατάσταση βελτιώνεται τις επόμενες δύο ημέρες. Παρά την αυξανόμενη τάση της τιμής του PH κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, η σύσταση του μίγματος ελέγχεται καλύτερα με αποτέλεσμα να μην ληφθούν τιμές δειγμάτων εκτός των ορίων ελέγχου στα Διαγράμματα 4.12 και 4.14. Να σημειωθεί ότι για την μεταβολή της τιμής του PH προστίθεται στο μίγμα νερό ή συμπυκνωμένος χυμός και όχι κάποια πρόσθετη ουσία διότι το προϊόν αναφέρεται σε 100% φυσικό χυμό.

Την τελευταία ημέρα παραγωγής που εξετάζεται, παρατηρούνται φαινόμενα ανάλογα με αυτά της δεύτερης και τρίτης ημέρας παραγωγής. Συγκεκριμένα, μετά τη λήψη του όγδοου δείγματος παρατηρείται συνεχόμενη αύξηση της τιμής του ΡΗ. Η αύξηση αυτή διατηρείται μέχρι τη λήψη του δωδέκατου δείγματος όπου λαμβάνει χώρα υπέρβαση του άνω ορίου ελέγχου στο Διάγραμμα 4.16. Η εταιρεία αντιλαμβάνεται αυτή την εξέλιξη και μεταβάλλει με αποτελεσματικό τρόπο τη σύσταση του ομοιογενούς μίγματος.

#### **4.7.2 Έλεγχος βάρους γεμίσματος**

Ως προς το βάρος γεμίσματος, η εταιρεία ακολουθεί την ευρωπαϊκή οδηγία του συμβουλίου της 20<sup>ης</sup> Ιανουαρίου 1976 (76/211/ΕΟΚ) περί προσεγγίσεως των νομοθεσιών των Κρατών μελών των αναφερομένων στην προπαρασκευή σε μάζα ή όγκο ορισμένων προϊόντων σε προσυσκευασία. Χάρη στην εφαρμογή της συγκεκριμένης οδηγίας παρέχεται στην εταιρεία η κατάλληλη πιστοποίηση.

Η πυκνότητα της τελικής συσκευασίας του προϊόντος υπολογίζεται περίπου σε 1,045 γραμμάρια ανά χιλιοστόλιτρο. Αυτό σημαίνει ότι ένα λίτρο χυμού θα ζυγίζει περίπου 1045 γραμμάρια. Με βάση όμως την οδηγία 76/211/ΕΟΚ, δίνεται περιθώριο όσον αφορά το κατώτατο όριο γεμίσματος. Συγκεκριμένα, το κατώτατο όριο γεμίσματος ανέρχεται περίπου σε 1020 γραμμάρια. Για το λόγο αυτό, υπάρχει κατάλληλος μηχανισμός γεμίσματος και μέτρησης του καθαρού βάρους των τελικών συσκευασιών. Στην περίπτωση όπου το βάρος δεν ξεπερνά το

κατώτατο όριο των 1020 γραμμαρίων, τότε η συσκευασία απορρίπτεται αυτομάτως ως ελαττωματική. Με τον τρόπο αυτό παλετοποιούνται και διανέμονται τεμάχια που δεν ξεφεύγουν σχεδόν ποτέ από τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί.

Πάραυτα, η εταιρεία διενεργεί στατιστικό έλεγχο που σχετίζεται με το βάρος των συσκευασιών. Ο έλεγχος αυτός λαμβάνει χώρα αμέσως μετά το γέμισμα των συσκευασιών προτού ελεγχθεί αυτόματα το βάρος τους. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται ημερησίως 16 δείγματα των 10 τεμαχίων ώστε να ελεγχθούν δύο σημαντικά στοιχεία για την εταιρεία. Το πρώτο στοιχείο σχετίζεται με το ανώτατο όριο γεμίσματος που έχει θέσει η εταιρεία, προκειμένου να ελέγξει το κόστος της παραγωγικής διαδικασίας. Το όριο αυτό καθορίζεται στα 1080 γραμμάρια ανά τεμάχιο. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια γεμίσματος ενδέχεται να υπάρξει κάποια δυσλειτουργία στο μηχανισμό γεμίσματος (π.χ. να βουλώσει κάποιο σωληνάκι) με αποτέλεσμα να απορρίπτονται από τη στιγμή της βλάβης και μετά όλα τα τεμάχια ως ελαττωματικά. Με τη δειγματοληψία δειγμάτων ανά τα κατά χρονικά διαστήματα η ενδεχόμενη βλάβη εντοπίζεται και λαμβάνονται ταχύτατα διορθωτικές κινήσεις από τους τεχνικούς της εταιρείας.

Η ανάλυση του βάρους γεμίσματος στηρίζεται στις μετρήσεις έξι ημερών. Παρακάτω, ακολουθεί ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας και χρήση διαγραμμάτων ελέγχου μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

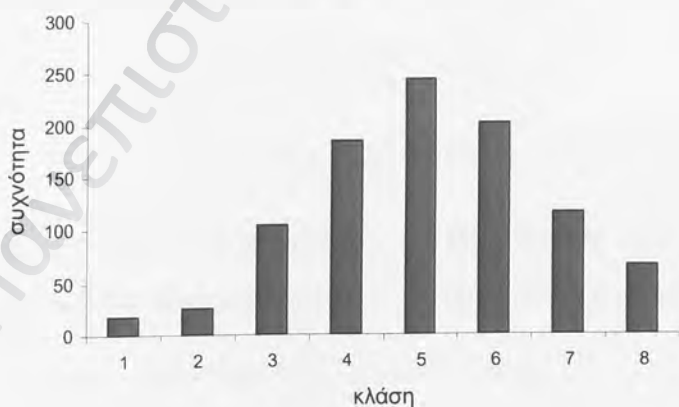
## Ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας – Έλεγχος μέσης τιμής του βάρους γεμίσματος

Όπως και στην περίπτωση του ΡΗ, θεωρείται ότι το βάρος γεμίσματος ακολουθεί κανονική κατανομή. Οι μετρήσεις χωρίζονται σε κλάσεις όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.5. Στο Διάγραμμα 4.17 παριστάνεται το ιστόγραμμα κατανομής του βάρους σύμφωνα με τις μετρήσεις των ληφθέντων δειγμάτων για τις έξι ημέρες παραγωγής που εξετάζονται.

Πίνακας 4.5

Χωρισμός βάρους γεμίσματος σε κλάσεις και συχνότητα εμφάνισης τιμών σε αυτές

Κλάσεις	971-990	991-1010	1011-1030	1031-1050	1051-1070	1071-1090	1091-1110	1110-1130
Συχνότητα	18	26	104	185	244	201	116	66



Διάγραμμα 4.17

Ιστόγραμμα κατανομής βάρους γεμίσματος

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.17, εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι το βάρος γεμίσματος ακολουθεί την κανονική κατανομή με ικανοποιητική προσέγγιση. Για την ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις της 1<sup>ης</sup> ημέρας. Η μέση τυπική απόκλιση των 16 δειγμάτων που λαμβάνονται είναι  $\bar{s} = 41,4$ . Από την τιμή αυτή μπορεί να προσδιοριστεί η εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης που είναι  $\sigma = \frac{\bar{s}}{c_4} = \frac{41,4}{0,973} = 42,55$ . Το  $c_4$  βρίσκεται από τον Πίνακα 2.10 για μέγεθος δείγματος 10 και χρησιμοποιείται διότι η τυπική απόκλιση δείγματος δεν αποτελεί αμερόληπτη εκτιμήτρια της  $\sigma$ .

Το μέσο βάρος των δειγμάτων είναι 1063 γραμμάρια. Η τιμή αυτή αποτελεί την εκτιμήτρια της μέσης τιμής του βάρους γεμίσματος. Τα όρια ελέγχου του διαγράμματος μέσης τιμής τριών τυπικών αποκλίσεων υπολογίζονται με βάση τους τύπους (2.15) και (2.16) για  $k = 3$  ως εξής:

$$UCL = 1063 + 3 \frac{42,55}{\sqrt{10}} = 1103$$

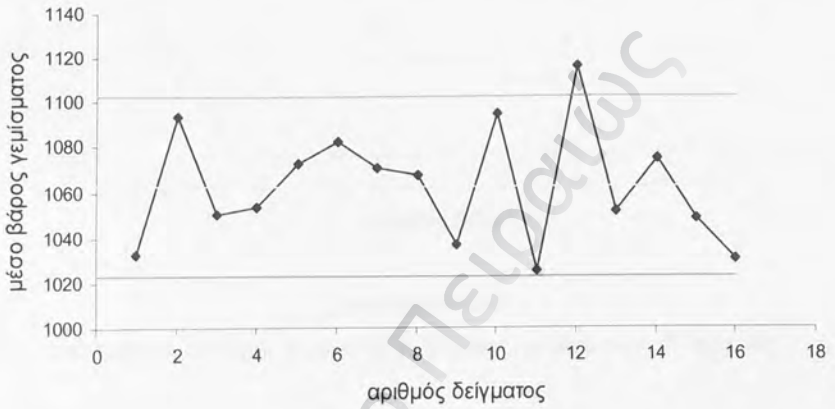
$$LCL = 1063 - 3 \frac{42,55}{\sqrt{10}} = 1023$$

Ομοίως, τα όρια ελέγχου του διαγράμματος τυπικής απόκλισης τριών τυπικών αποκλίσεων λαμβάνονται από τους τύπους (2.13) και (2.14) για  $k = 3$  και είναι:

$$UCL = 41,4 + 3 \frac{41,4}{0,973} \sqrt{1 - 0,973^2} = 70,86$$

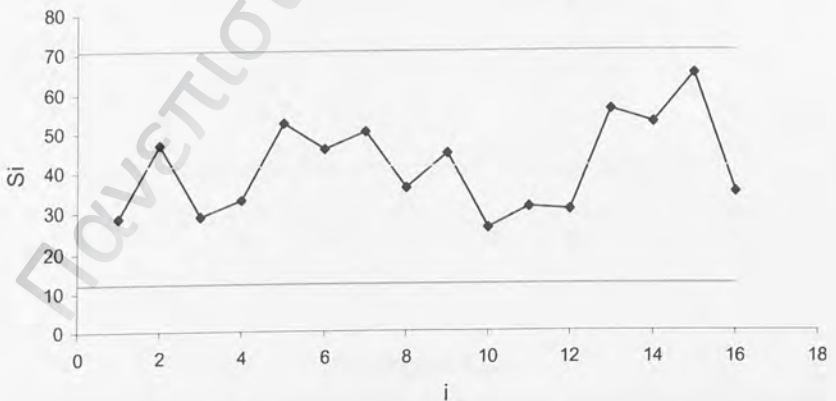
$$LCL = 41,4 - 3 \frac{41,4}{0,973} \sqrt{1 - 0,973^2} = 11,94$$

Με βάση τα όρια ελέγχου που υπολογίστηκαν κατασκευάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα. Αμέσως παρακάτω παρουσιάζονται τόσο το διάγραμμα μέσης τιμής όσο και το διάγραμμα τυπικής απόκλισης για κάθε ημέρα χωριστά.



**Διάγραμμα 4.18**

Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 1<sup>ης</sup> ημέρας



**Διάγραμμα 4.19**

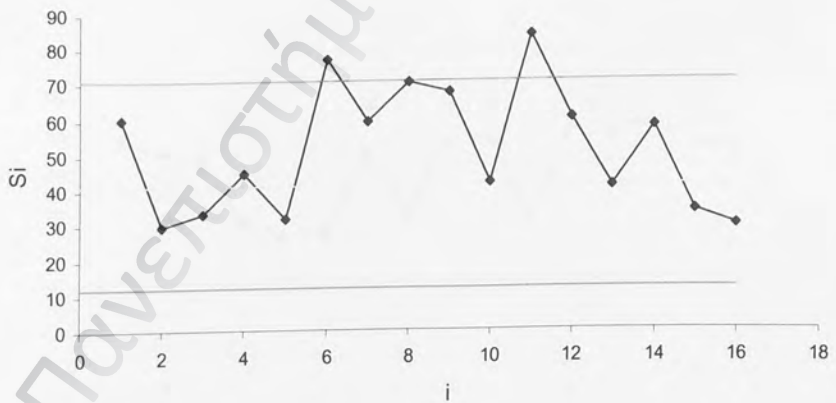
Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 1<sup>ης</sup> ημέρας





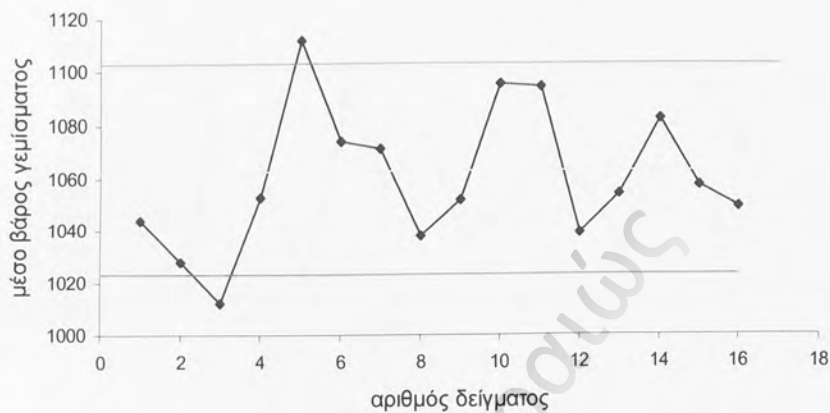
**Διάγραμμα 4.20**

Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 2<sup>ης</sup> ημέρας



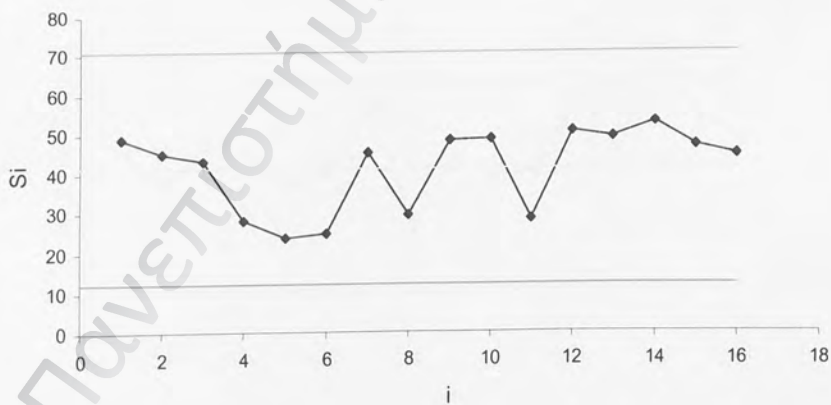
**Διάγραμμα 4.21**

Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 2<sup>ης</sup> ημέρας



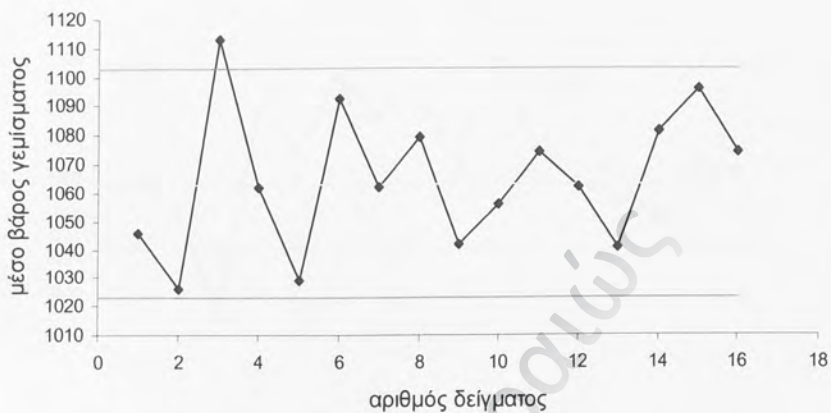
Διάγραμμα 4.22

Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 3<sup>ης</sup> ημέρας



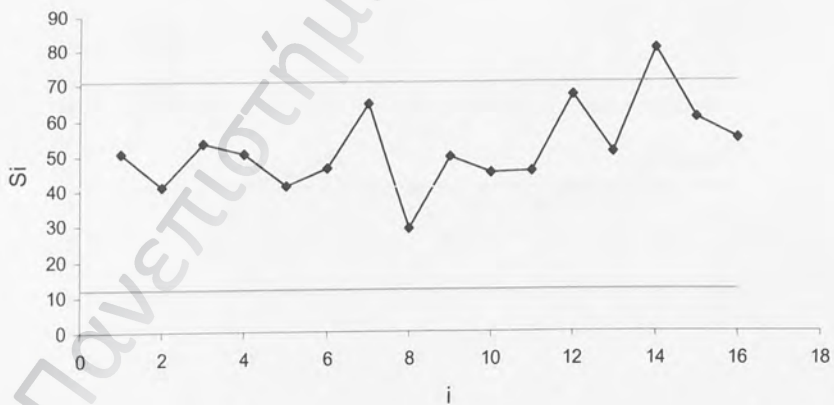
Διάγραμμα 4.23

Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 3<sup>ης</sup> ημέρας



Διάγραμμα 4.24

Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 4<sup>ης</sup> ημέρας



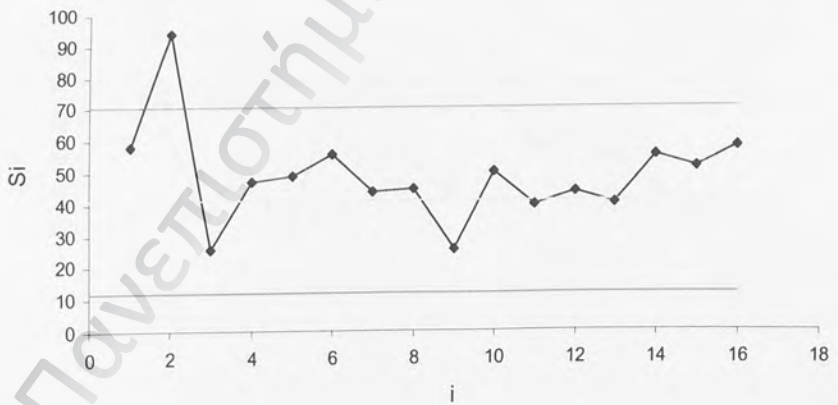
Διάγραμμα 4.25

Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 4<sup>ης</sup> ημέρας



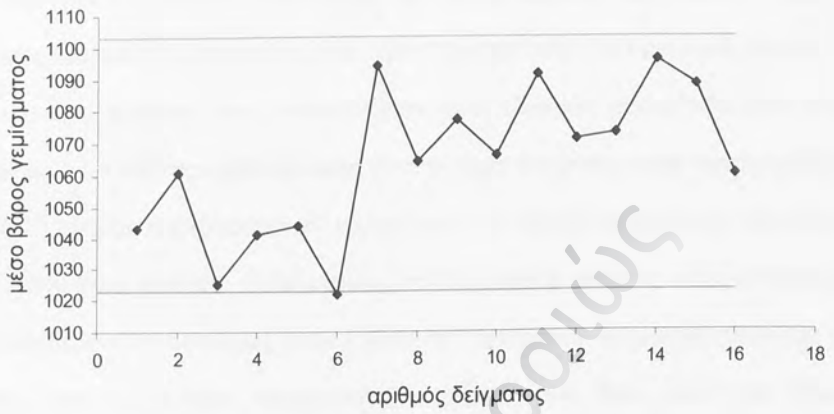
Διάγραμμα 4.26

Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 5<sup>ης</sup> ημέρας



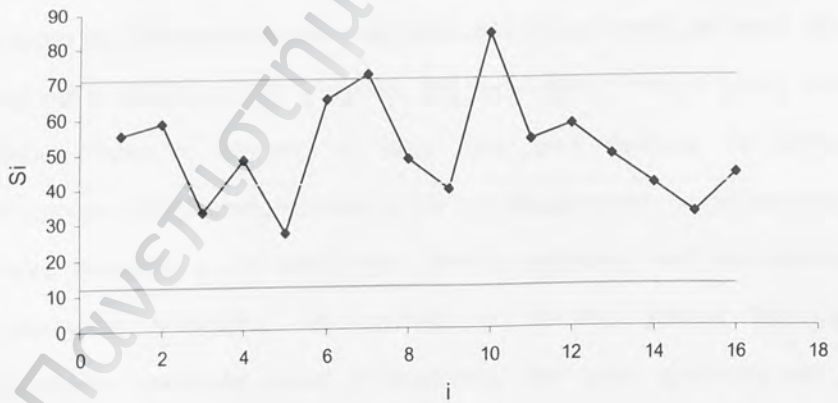
Διάγραμμα 4.27

Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 5<sup>ης</sup> ημέρας



Διάγραμμα 4.28

Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής βάρους γεμίσματος 6<sup>ης</sup> ημέρας



Διάγραμμα 4.29

Διάγραμμα ελέγχου τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος 6<sup>ης</sup> ημέρας

Η εταιρεία ενδιαφέρεται πρωτίστως να αποφεύγονται περιπτώσεις όπου το βάρος γεμίσματος ξεπερνά το κάτω όριο που έχει τεθεί. Το όριο αυτό, σύμφωνα με τα όρια ελέγχου που υπολογίστηκαν, είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από αυτό που ορίζεται από τις προδιαγραφές. Από τις τιμές της μέσης τιμής των δειγμάτων της 1<sup>ης</sup> ημέρας παρατηρείται ότι η μέση τιμή του ενδέκατου δείγματος πλησιάζει το κάτω όριο ελέγχου. Ενδεχομένως να διενεργείται έλεγχος στον μηχανισμό γεμίσματος σε περιπτώσεις όπου η μέση τιμή ορισμένων δειγμάτων πλησιάζει το κάτω όριο. Επιπλέον, παρατηρείται υπέρβαση του άνω ορίου μία φορά (δωδέκατο δείγμα), γεγονός που δεν ανησυχεί ιδιαίτερα την εταιρεία. Παρόμοια είναι τα συμπεράσματα για τη μέση τιμή των δειγμάτων της 4<sup>ης</sup> ημέρας.

Κατά τη διάρκεια του δειγματοληπτικού ελέγχου της 2<sup>ης</sup> ημέρας λαμβάνονται δείγματα που ξεπερνούν το άνω και κάτω όριο ελέγχου από μία φορά. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και την 3<sup>η</sup> ημέρα. Στις περιπτώσεις όπου ο μέσος όρος κάποιου δείγματος ξεπερνά το κάτω όριο, αυτό οφείλεται σε κάποια δυσλειτουργία της μηχανής γεμίσματος. Για παράδειγμα μπορεί να έχει βουλώσει κάποιο σωληνάκι ή να χρειάζονται κάποιες ρυθμίσεις που αφορούν τις παραμέτρους λειτουργίας της μηχανής. Σε σύντομο χρονικό διάστημα λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα επιδιόρθωσης από τους αρμόδιους και η διαδικασία γεμίσματος των συσκευασιών συνεχίζεται ομαλά.

Την 5<sup>η</sup> ημέρα οι τιμές που λαμβάνονται από τα δείγματα είναι αρκετά αυξημένες σε σχέση με τις υπόλοιπες πέντε ημέρες. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι

υπάρχει υπέρβαση του άνω ορίου τρεις φορές (έκτο, όγδοο και δέκατο δείγμα), ενώ η μέση τιμή άλλων δύο δειγμάτων πλησιάζει το όριο αυτό. Αυτό ενδέχεται να δίνει ενδείξεις αναποτελεσματικότητας της μηχανής γεμίσματος. Οι μετρήσεις όμως των υπόλοιπων ημερών δεν καταδεικνύουν κάποιο τέτοιο συμπέρασμα. Άλλωστε το άνω όριο και στις τρεις περιπτώσεις υπερβαίνεται ελαφρώς και επομένως η εταιρεία δεν ανησυχεί ιδιαίτερα για τις ενδείξεις αυτές. Στην περίπτωση της πολύ χαμηλής μέσης τιμής του τρίτου δείγματος ακολουθείται έλεγχος δυσλειτουργίας της μηχανής γεμίσματος.

Σε αντίθεση με την 5<sup>η</sup> ημέρα, την τελευταία ημέρα παραγωγής που εξετάζεται δεν παρατηρείται σε κανένα δείγμα υπέρβαση του άνω ορίου. Το κάτω όριο προσεγγίζεται στο τρίτο και ξεπερνιέται ελάχιστα (κατά ένα γραμμάριο) στο έκτο δείγμα. Γενικά, η ημέρα αυτή θεωρείται αρκετά ικανοποιητική αναφορικά με το βάρος γεμίσματος.

Όσον αφορά τα διαγράμματα ελέγχου τυπικής απόκλισης, αποτελούν ένδειξη σταθερότητας και αξιοπιστίας του μηχανισμού γεμίσματος που χρησιμοποιεί η εταιρεία. Την 1<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> ημέρα η τυπική απόκλιση θεωρείται πλήρως ικανοποιητική, εφόσον όλες οι τιμές που υπολογίζονται δια μέσου των δειγμάτων βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου. Την 4<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup> ημέρα υπάρχει υπέρβαση του άνω ορίου μία φορά, ενώ τη 2<sup>η</sup> και την 6<sup>η</sup> ημέρα το άνω όριο ξεπερνιέται δύο φορές. Αν εξαιρεθεί η δεύτερη ημέρα όπου η τυπική απόκλιση των δειγμάτων παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένη, τις υπόλοιπες ημέρες παρατηρείται

ικανοποιητική σταθερότητα των τιμών της τυπικής απόκλισης λαμβάνοντας υπόψη το είδος και της παραμέτρους λειτουργίας του μηχανισμού γεμίσματος που χρησιμοποιείται.

#### 4.8 Σύνοψη – Συμπεράσματα

Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις πρωτεύων συστατικό για την επίτευξη του επιθυμητής στάθμης ποιότητας των προϊόντων μιας εταιρείας. Στο κεφάλαιο αυτό έγινε αναφορά στον στατιστικό έλεγχο ποιοτικών αλλά και ποσοτικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια παρασκευής συγκεκριμένου τύπου παστεριωμένου φυσικού χυμού που παράγεται από γνωστή εταιρεία που δραστηριοποιείται στον κλάδο χυμών – αναψυκτικών. Ο έλεγχος των χαρακτηριστικών που παρουσιάζεται αναφέρεται σε χρονικό διάστημα έξι ημερών.

Αρχικά, εξετάζεται η ποιότητα των βαρελιών αποθήκευσης πρώτης ύλης. Συγκεκριμένα, διενεργείται δειγματοληπτικός έλεγχος των χαρακτηριστικών του συμπυκνωμένου χυμού από έναν ορισμένο αριθμό βαρελιών ανάλογα με την ποσότητα που δίνει ο προμηθευτής. Ο έλεγχος αυτός οδηγεί σε ενδεχόμενη αντικατάσταση κάποιου βαρελιού. Όταν σε επαναλαμβανόμενους ελέγχους οι μετρήσεις μικροβιολογικού ελέγχου δεν είναι ικανοποιητικές για κάποιο βαρέλι, τότε αυτό αντικαθίσταται διότι πιθανώς παράγονται μικροοργανισμοί εξ' αιτίας για παράδειγμα της παλαιότητας του βαρελιού. Την τρίτη ημέρα υπερβαίνεται το άνω



όριο ελέγχου, γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται στον ακατάλληλο καθαρισμό ορισμένων βαρελιών πριν το γέμισμα τους με συμπυκνωμένο χυμό.

Ο έλεγχος μηχανικής ζημιάς και ο έλεγχος ύπαρξης ξένων σωμάτων καθορίζουν ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά γίνεται η αξιολόγηση της τελικής συσκευασίας. Όσον αφορά τη μηχανική ζημιά, η μοναδική ημέρα που ξεφεύγει οριακά από το στατιστικό έλεγχο είναι η πέμπτη. Αυτό μπορεί να προέρχεται από κάποια δυσλειτουργία της συσκευαστικής μηχανή την συγκεκριμένη ημέρα που όμως διορθώνεται αφού την επόμενη ημέρα δεν παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο. Στην ύπαρξη ξένων σωμάτων, η εταιρεία φαίνεται να πετυχαίνει ολική ποιότητα, αφού σε σπάνιες περιπτώσεις εντοπίζονται τεμάχια που περιέχουν ξένα σώματα.

Στον έλεγχο ποσοτικών χαρακτηριστικών περιλαμβάνεται ο έλεγχος του PH μέσω μεμονωμένων μετρήσεων, καθώς επίσης και ο έλεγχος του βάρους γεμίσματος των συσκευασιών προτού αυτά ελεγχθούν αυτόματα από κατάλληλο μηχανισμό. Για τον έλεγχο του PH χρησιμοποιείται διάγραμμα ελέγχου μεμονωμένων μετρήσεων. Επειδή όμως οι τιμές του PH κυμαίνονται πολύ κοντά προς τη μέση τιμή και προς τα πάνω, γίνεται χρήση αθροιστικού διαγράμματος για να ελεγχθούν οι μικρές αποκλίσεις προς τα πάνω. Την δεύτερη, τρίτη και έκτη ημέρα το όριο ελέγχου υπερβαίνεται μία φορά και στη συνέχεια λαμβάνονται διορθωτικές ενέργειες σχετικά με τη σύσταση του μίγματος. Τις υπόλοιπες

ημέρες η σύσταση του μίγματος ελέγχεται καλύτερα με αποτέλεσμα να μην ληφθούν τιμές δειγμάτων εκτός των ορίων.

Τέλος, για τον έλεγχο του βάρους γεμίσματος χρησιμοποιούνται διαγράμματα ελέγχου μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης. Τα διαγράμματα ελέγχου τυπικής απόκλισης καταδεικνύουν τη σχετική σταθερότητα της μηχανής γεμίσματος, αφού το άνω όριο ελέγχου ξεπεράστηκε ελαφρώς συνολικά έξι φορές κατά τη διάρκεια του δειγματοληπτικού ελέγχου και των έξι ημερών. Σε σχέση με τη μέση τιμή, το κάτω όριο ελέγχου δεν ξεπεράστηκε καμία φορά την 1<sup>η</sup> και την 4<sup>η</sup> ημέρα. Τις υπόλοιπες μέρες ξεπεράστηκε από μία φορά, ενώ όποτε συμβαίνει κάτι τέτοιο η εταιρεία λαμβάνει αμέσως τα μέτρα της με αποτελεσματικό τρόπο (διορθώνει κάποια ενδεχόμενη δυσλειτουργία στον μηχανισμό γεμίσματος).

## ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική (Βιβλία - Άρθρα)

1. Ταγαράς, Γ. (2001), Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
2. Τσιότρας, Γ. (1995), Βελτίωση Ποιότητας, Εκδόσεις Μπένου
3. Ψωινός, Δ. (1998), Εφαρμοσμένη Στατιστική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
4. Ψωινός, Δ. (1990), Οργάνωση και Διοίκηση Εργοστασίων, Τόμος Ι, εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

### Ξενόγλωσση (Βιβλία)

1. Antony, J and M. Kaye (1999), Experimental Quality, Kluwer
2. Montgomery, D. (2001), Introduction to Statistical Quality Control, 4<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc NY
3. Feigenbaum, A. (1991), Total Quality Control, McGraw – Hill

### Ξενόγλωσση (Άρθρα)

1. Hawkins, D. (1993), Cumulative Sum Control Charting: An Underutilized SPC Tool, Quality Engineering, Vol.5, pp 463 – 477

2. Ho, C. and K.E. Case (1994), Economic Design of Control Charts: A Literature Review for 1981 – 1991, Journal of Quality Technology, Vol. 26, pp 39 – 53

Πίνακας 11.1  
Τύποι ΜΕ και οι αναπροσαρμοσμένοι Σχηματισμοί με τον αριθμό

Σχέση Σχηματισμού	1	2	3	4	5	6
1	2.35	2.27	2.28	2.28	2.28	2.28
2	2.28	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
3	2.24	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
4	2.24	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
5	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
6	1.78	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
7	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
8	2.73	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
9	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
10	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
11	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
12	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
13	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
14	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
15	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
16	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
17	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
18	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
19	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
20	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
21	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
22	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
23	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
24	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
25	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
26	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
27	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
28	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
29	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
30	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
31	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
32	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
33	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
34	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
35	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
36	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
37	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
38	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
39	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
40	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
41	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
42	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
43	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
44	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
45	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
46	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
47	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
48	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
49	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
50	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Π.1

Τιμές ΡΗ από τα λαμβανόμενα δείγματα έξι ημερών

Αριθμός δείγματος	1 <sup>η</sup> ημέρα	2 <sup>η</sup> ημέρα	3 <sup>η</sup> ημέρα	4 <sup>η</sup> ημέρα	5 <sup>η</sup> ημέρα	6 <sup>η</sup> ημέρα
1	3,56	3,57	3,62	3,61	3,58	3,58
2	3,62	3,7	3,69	3,65	3,63	3,63
3	3,64	3,69	3,74	3,71	3,7	3,68
4	3,76	3,74	3,71	3,74	3,73	3,71
5	3,82	3,75	3,74	3,76	3,76	3,75
6	3,78	3,64	3,78	3,77	3,62	3,77
7	3,62	3,78	3,8	3,81	3,67	3,62
8	3,72	3,8	3,83	3,6	3,74	3,68
9	3,72	3,78	3,85	3,77	3,76	3,76
10	3,57	3,8	3,59	3,72	3,79	3,85
11	3,61	3,84	3,69	3,58	3,82	3,85
12	3,66	3,65	3,71	3,66	3,59	3,75
13	3,67	3,58	3,69	3,68	3,63	3,57
14	3,73	3,69	3,64	3,65	3,71	3,68
15	3,68	3,67	3,67	3,67	3,68	3,67

Π.2

Τιμές μέσης τιμής βάρους γεμίματος σε κάθε ένα από τα λαμβανόμενα δείγματα έξι ημερών

Αριθμός δείγματος	1 <sup>η</sup> ημέρα	2 <sup>η</sup> ημέρα	3 <sup>η</sup> ημέρα	4 <sup>η</sup> ημέρα	5 <sup>η</sup> ημέρα	6 <sup>η</sup> ημέρα
1	1033	1044	1044	1046	1026	1043
2	1094	1028	1028	1026	1044	1061
3	1051	995	1012	1113	988	1025
4	1054	1062	1053	1062	1092	1041
5	1073	1078	1112	1029	1074	1044
6	1083	1061	1074	1092	1111	1022
7	1071	1032	1071	1062	1089	1094
8	1068	1074	1038	1079	1106	1064
9	1037	1062	1052	1042	1067	1077
10	1095	1097	1095	1056	1118	1066
11	1026	1052	1094	1074	1074	1091
12	1116	1048	1039	1062	1058	1071
13	1052	1092	1054	1041	1048	1073
14	1075	1071	1082	1081	1039	1096
15	1049	1114	1057	1096	1061	1088
16	1031	1054	1049	1074	1064	1060

Π.3

Τιμές τυπικής απόκλισης βάρους γεμίσματος σε κάθε ένα από τα λαμβανόμενα δείγματα έξι ημερών

Αριθμός δειγματος	1 <sup>η</sup> ημέρα	2 <sup>η</sup> ημέρα	3 <sup>η</sup> ημέρα	4 <sup>η</sup> ημέρα	5 <sup>η</sup> ημέρα	6 <sup>η</sup> ημέρα
1	28,656	60,128	48,888	50,976	58,41	55,188
2	46,926	29,564	45,216	41,238	93,816	58,446
3	29,124	33,488	43,164	53,802	25,542	33,642
4	33,138	45,188	28,116	50,688	47,304	48,438
5	52,452	31,904	23,922	41,616	49,302	27,27
6	45,864	77,03	24,984	46,836	55,746	65,286
7	50,148	59,426	45,666	64,746	44,136	72,216
8	35,856	70,55	29,574	29,484	45,054	48,438
9	44,712	67,652	48,384	49,752	25,704	39,798
10	26,118	41,984	48,942	45,396	50,634	83,916
11	31,176	84,392	28,638	45,666	39,762	53,802
12	30,492	60,38	50,706	67,482	43,866	57,924
13	55,926	40,724	48,996	51,138	40,194	49,284
14	52,488	57,806	52,74	80,334	55,584	40,878
15	65,016	33,758	47,016	60,516	51,768	32,814
16	34,812	29,762	44,604	55,026	58,338	43,758

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική (Βιβλία - Άρθρα)

1. Αντζουλάκος, Δ. (2003), Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας – Σημειώσεις παραδόσεων για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Εφαρμοσμένη Στατιστική, Πειραιάς
2. Γραφανάκης, Δ. (2000), «Βασικά Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας, Τόμος Δ'», Πάτρα
3. Δαμιανού, Χ. (1996), «Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας και Αξιοπιστία», Αθήνα
4. Κοκολάκης, Γ. (1999), Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
5. Λαμπράκης, Δ. (1980), Στατιστική, Αθήνα
6. Λογοθέτης Ν. (1992), Management Ολικής Ποιότητας, Interbooks, Αθήνα
7. Σπανός Α. (1995), Ολική ποιότητα, εκδόσεις Γαλιλαίος, Αθήνα
8. Ταγαράς, Γ. (2001), Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
9. Τα Νέα (2006, 24 Ιουλίου), «Ανοιχτό MBA»
10. Τζιαφέτας, Γ. (1986), Εισαγωγικά Μαθήματα Στατιστικής, Αθήνα
11. Τζωρτζόπουλος Π. (1981), Στατιστικός ποιοτικός έλεγχος, Αθήνα
12. Τσιότρας, Γ. (1995), Βελτίωση Ποιότητας, Εκδόσεις Μπένου
13. Ψωινός, Δ. (1998), Εφαρμοσμένη Στατιστική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
14. Ψωινός, Δ. (1990), Οργάνωση και Διοίκηση Εργοστασίων, Τόμος Ι, εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη



15. Alfredo, M.S., Ang – Wilson, S. & Tang, H. (1979), Εφαρμογές πιθανοτήτων και στατιστικής στη μελέτη και προγραμματισμό τεχνικών έργων, Μετάφραση Δημήτρη Παναγιωτακόπουλου, Ξάνθη
16. Spiegel Murray, R. (1977), Πιθανότητες και Στατιστική, Schaum's Outline series, Μετάφραση Σ. Περισίδη: Ε.Σ.Π.Ι., Αθήνα

### Ξενόγλωσση (Βιβλία)

1. Aitchison, J. & Dunsmore, I.R. (1975), Statistical Prediction Analysis, Cambridge University Press, London
2. Antony, J and M. Kaye (1999), Experimental Quality, Kluwer
3. Banks, J. (1989), Principles of quality control, John Wiley & Sons, New York
4. Benjamin, J.R. & Cornell, C.A. (1970), Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw Hill, New York
5. Besterfield, D. (1998), Quality Control, Prentice Hall, USA
6. Booth, C.E. (1964), The Early years--1924 to 1940. In N. Goldfarb & W. K. Kaiser (eds.), Gantt charts and statistical quality control, Hofstra University, New York
7. Bossert, J. (1991), Quality function deployment, ASQC Quality press, Milwaukee
8. Bower, A.H. & Lieberman, G.J. (1972), Engineering Statistics, Prentice Hall, New York

9. Brassard, M. (1988), *The Memory Jogger, A Pocket Guide of Tools for Continuous Improvement*, pp. 36 – 43, MA: GOAL/QPC, Methuen
10. Burr, J. (1989), *SPC tools for operators*, Quality Press, Milwaukee
11. Caplen, R. (1971), *A practical approach to quality control*, C Business, UK
12. Conterio, A., & F. Da Villa (1995), *The arsenale of the venetian republic*. In J.M. Juran's (ed.) *A history of managing for quality*, WI: ASQC Press, Milwaukee
13. Cox, D.R. & Hinkley, D.V. (1974), *Theoretical Statistics*, Chapman and Hall, London
14. Davenport, W. (1968), *Probability and Random Processes*, International Student Edition
15. Degroot, M.H. (1970), *Optimal Statistical Decisions*, McGraw Hill, New York
16. Department of the Navy (1992), *Fundamentals of Total Quality Leadership (Instructor Guide)*, CA: Navy Personnel Research and Development Center, San Diego
17. Department of the Navy (1993), *Systems Approach to Process Improvement (Instructor Guide)*, CA: OUSN Total Quality Leadership Office and Navy Personnel Research and Development Center, San Diego
18. Duncan, A. J. (1986), *Quality Control and Industrial Statistics*. 5<sup>th</sup> ed. Homewood, Irwin, Illinois
19. Evans, James R., and William M. Lindsay (1999), *The Management and Control of Quality*, 4<sup>th</sup> ed. South-Western, Cincinnati
20. Feigenbaum, A. V. (1991), *Total Quality Control*, McGraw-Hill, New York

21. Feller, W. (1969), An Introduction to Probability Theory and its Applications, Volume I and II, Wiley International Edition
22. Ferguson, T.S. (1967), Mathematical Statistics. A Decision Theoretic Approach, Academic Press, New York
23. Garvin, D. (1988), Managing quality, MacMillan, NY
24. George, C. (1968), The history of management thought. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey
25. Gibra, I.N. (1973), Probability and Statistical Inference for Scientists and Engineers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
26. Gitlow, H., Gitlow, S., Oppenheim, A., Oppenheim, R. (1989), Tools and Methods for the Improvement of Quality, IL: Richard D. Irwin, Inc, Homewood
27. Goswamy, B. (1995), Quality in early India: Different levels of understanding, different levels of concern. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
28. Grant, E. L., and R. S. Leavenworth (1998), Statistical Quality Control. 6<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill, New York
29. Hacquebord, H. (1990), A Strategy for Helping Managers to Change
30. Heizer, J., Render, B. (2005), Operations Management, 8<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, New Jersey
31. Hutchins, D. (1995), The history of managing for quality in the United Kingdom. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee

32. International Standardization Organization, ISO 8258: 1991 (1995), Statistical methods for quality control – Volume 2, Geneva, Switzerland
33. Ishikawa, Kaoru (1968), Guide to Quality Control, Asian Productivity Organization, Tokyo
34. James, P. (1998), Total quality management, Prentice Hall
35. Johnson, N.L. & Leone, F.C. (1977), Statistics and Experimental Design in Engineering and Physical Sciences, Vol. I. Wiley, New York
36. Juran, J. (1988), Juran's quality control handbook, Mc Graw Hill
37. Juran, J. (1989), Juran on leadership for quality, Collier Macmillan, London
38. Juran, J. (1995). Summary, trends, and prognosis. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
39. Konareva, L. (1995), Examples of quality management in the history of Russia. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
40. Kvanli, A.H. (1988), Statistics: A Computer Integrated Approach, West Publishing Company, New York
41. Larson, H.J. & Shubert, B.O. (1979), Probability Model in Engineering Sciences, Wiley, New York
42. Lerner, F. (1995), History of quality assurance in Germany. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
43. Lipschutz, S. (1990), Probability, Including 500 solved Problems, Shaum's Outline Series, McGraw – Hill Book Company

44. Milton, S. & Jesse, C. (1981), Probability and Statistics in the engineering and computing sciences, McGraw – Hill Book Company, New York
45. Montgomery, D. (2001), Introduction to Statistical Quality Control, 4<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc NY
46. Nonaka, I. (1995). The recent history of managing for quality in Japan. In J.M. Juran (ed.) A History of Managing for Quality, WI: ASQC Press, Milwaukee
47. Papoulis, A. (1990), Probability and Statistics, Prentice Hall International editions
48. Raiffa, H. & Schlaifer, R. (1961), Applied Statistical Decision Theory, Harvard University, Boston
49. Rao, C.R. (1970), Linear Statistical Inference and Its Applications, 2<sup>nd</sup> Edition Wiley, New York
50. Rice, J.A. (1988), Mathematical Statistics and Data Analysis, Wadsworth & Brooks, Pacific Grove, California
51. Roussas, G.G. (1973), A First Course in Mathematical Statistics, Addison, Wesley, New York
52. Scholtes, P.R. et al (1988). The Team Handbook, WI: Joiner Associates, Madison
53. Sheldon, M. Ross, Introduction to probability and Statistics for engineers and scientists, Willey Series in probability and Mathematical Statistics, New York
54. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie (1980), Principles and Procedures of Statistics, McGraw-Hill, New York

55. Swift, J. (1995), *Modern Statistical Quality Control and Management*, St Lucie Press, Florida
56. Tribus, M. (June 1989), *Deployment Flowcharting (workbook and videotapes)*, CA: Quality and Productivity, Inc, Los Angeles
57. Western Electric, (1956), *Statistical Quality Control Handbook*, Western Electric Corporation, Indianapolis, IN
58. Wheeler, D.J. (1993). *Understanding Variation - The Key to Managing Chaos*, TN: SPC Press, Knoxville
59. Wheeler, D.J., & Chambers, D.S. (1992), *Understanding Statistical Process Control (2<sup>nd</sup> Edition)*, TN: SPC Press, Knoxville
60. Walton, M. (1986), *The Deming management method*, Putnam, New York
61. Zellner, A. (1971), *An Introduction to Bayesian Inference in Econometrics*, Wiley, New York

### **Ξενόγλωσση (Άρθρα)**

1. Akers, J. (1991), *World-class quality: Nothing less will do*, *Quality Progress*, Vol. 24(10), pp 26-27
2. Deming, W. E. (1967), *What happened in Japan?*, *Industrial Quality Control*, Vol. 24(2), pp 89-93
3. Dooley, K. (1999), *Advances in the Management of Organizational Quality*, Vol. 5, pp 1-28

4. Feigenbaum, A. (1966), Superior product quality--A renewed American challenge, *Industrial Quality Control*, Vol. 23(2), pp 81-86
5. Hawkins, D. (1993), Cumulative Sum Control Charting: An Underutilized SPC Tool, *Quality Engineering*, Vol.5, pp 463 – 477
6. Ho, C. and K.E. Case (1994), Economic Design of Control Charts: A Literature Review for 1981 – 1991, *Journal of Quality Technology*, Vol. 26, pp 39 – 53
7. Hwang, H.B., Hubele, N.F., (1993a), Back-propagation pattern recognizers for X-bar control charts: methodology and performance, *Computers and Industrial Engineering* 24 (2), pp 219–235
8. Juran, J. (1967), The qc circle phenomenon, *Industrial Quality Control*, Vol. 23(7), pp 329-335
9. Juran, J. (1970), Consumerism and product quality, *Quality Progress*, Vol. 3(7), pp 18-27
10. Juran, J. (1991), World war II and the quality movement, *Quality Progress*, Vol. 24(12), pp 19-24
11. Marquardt, D., Chove', J., Jensen, K.E., Petrick, K., Pyle, J., & D. Strahle (1991). Vision 2000: The strategy for the ISO 9000 series standards in the 90's, *Quality Progress*, Vol. 24(5), pp 25-31
12. Nelson L.S. (1984), The Shewhart control chart – tests for special causes, *Journal of Quality Technology* 16 (4), pp 237–239.
13. Stratton, B. (1990), A forum for the power of quality, *Quality Progress*, Vol. 23(2), pp 21-24

14. Wareham, R., & B. Stratton (1991), Standards, sampling, and schooling, Quality Progress, Vol. 24(12), pp 38-42
15. Xie, M. & Goh TN. (1999), Statistical techniques for quality, TQM Mag, 11(4), pp 238-42

#### URLs

1. [http://www.juse.or.jp/e/qc/01\\_qc.html](http://www.juse.or.jp/e/qc/01_qc.html)
2. [http://www.nist.gov/public\\_affairs/factsheet/mbnqa.html](http://www.nist.gov/public_affairs/factsheet/mbnqa.html)