

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1	Αντικείμενο και σκοπός .....	1
1.2	Ιστορική Αναδρομή.....	3
2.	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....	7
2.1	Διαγράμματα Ελέγχου .....	7
2.2	Δειγματοληψία Αποδοχής.....	17
3.	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ .....	24
3.1	Εισαγωγή.....	24
3.2	Χαρακτηριστικά δειγματοληψίας αποδοχής .....	25
3.2.1	Ορισμός .....	25
3.2.2	Σημεία εφαρμογής και στάδια δειγματοληψίας αποδοχής.....	25
3.2.3	Χαρακτηριστική καμπύλη δειγματοληψίας .....	27
3.2.4	Αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL) και απορριπτέα στάθμη ποιότητας (RQL).....	29
3.2.5	Μέση εξερχόμενη ποιότητα (AOQ).....	30
3.2.6	Κόστος δειγματοληψίας αποδοχής .....	32
3.2.7	Τύχη απορριπτόμενων μερίδων.....	33
3.3	Δειγματοληψία αποδοχής με χρήση κατανομών.....	35
3.3.1	Εισαγωγή.....	35
3.3.2	Κανονική κατανομή .....	36
3.3.3	Διωνυμική κατανομή.....	36
3.3.4	Κατανομή Poisson .....	37
3.3.5	Κατανομή t-Student.....	38
3.3.6	Κατανομή Laplace.....	39
3.3.7	Κατανομή Weibull .....	39
4.	ΕΙΔΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ .....	42
4.1	Εισαγωγή.....	42
4.2	Απλή δειγματοληψία .....	46

4.3	Διπλή δειγματοληψία .....	47
4.4	Πολλαπλή δειγματοληψία .....	49
4.5	Συνεχής δειγματοληψία .....	51
4.6	Σύστημα Dodge-Romig.....	53
4.7	Σύστημα Military Standard .....	60
4.8	Σύστημα Philips .....	65
4.9	Σύγκριση δειγματοληπτικών σχεδίων Dodge-Romig, Military Standard και Philips.....	67
4.10	Λοιπά δειγματοληπτικά σχέδια .....	69
4.10.1	Δειγματοληπτικά σχέδια με βάση την Bayesian θεώρηση .....	69
4.10.2	Δειγματοληπτικά σχέδια μεταβλητών τριών κατηγοριών.....	69
4.10.3	Δειγματοληπτικά σχέδια πολλαπλών ιδιοτήτων .....	70
4.10.4	Δειγματοληπτικά σχέδια με διαφορετικούς χειρισμούς του πληθυσμού και του δείγματος.....	72
4.10.5	Δειγματοληπτικά σχέδια με παράλειψη παρτίδων.....	73
4.11	Σχεδιασμός δειγματοληπτικών σχεδίων .....	75
4.12	Χρησιμοποιούμενα Πρότυπα.....	77
5	<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....</b>	<b>83</b>
5.1	Εισαγωγή.....	83
5.2	Περιπτώσεις εκτός ελέγχου διαδικασιών .....	85
5.3	Μεθοδολογία κατασκευής διαγραμμάτων ελέγχου.....	89
5.4	Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης.....	90
5.4.1	Γενικά.....	90
5.4.2	Διαγράμματα μέσης τιμής και διακύμανσης $\bar{x} - R$ .....	92
5.4.3	Διαγράμματα μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης $\bar{x} - s$ .....	94
5.5	Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής.....	97
5.5.1	Γενικά.....	97
5.5.2	Διαγράμματα $p$ -chart.....	98
5.5.3	Διαγράμματα $c$ - chart.....	100

5.5.4	Διαγράμματα <i>u – chart</i> .....	102
5.6	Ειδικές περιπτώσεις διαγραμμάτων ελέγχου .....	104
5.6.1	Σταθεροποιημένα διαγράμματα ελέγχου ( <i>Stabilized Control Charts</i> ) .....	104
5.6.2	Διαγράμματα ελέγχου εκθετικής εξομάλυνσης ( <i>EWMA charts</i> ).....	105
5.6.3	Αθροιστικά διαγράμματα ελέγχου ( <i>CuSum Charts</i> ).....	106
5.6.4	Προσαρμοσμένο διάγραμμα ελέγχου ( <i>adaptive control chart</i> ).....	108
5.6.5	Ομαδικό διάγραμμα ελέγχου .....	108
5.6.6	Διάγραμμα με ασύμμετρα όρια ελέγχου.....	109
5.7	Σχεδιασμός διαγραμμάτων ελέγχου.....	110
5.8	Πρότυπα για την χάραξη διαγραμμάτων ελέγχου .....	112
6	<b>ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ</b> .....	116
6.1	Εισαγωγή.....	116
6.2	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Δειγματοληπτικών Σχεδίων Αποδοχής.....	117
6.3	Πλεονεκτήματα Χρήσης Διαγραμμάτων Ελέγχου .....	118
6.4	Σύγχρονες εφαρμογές δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής και διαγραμμάτων ελέγχου .....	120
6.5	Χρήση υπολογιστών στην εφαρμογή δειγματοληπτικών σχεδίων και διαγραμμάτων ελέγχου.....	127
6.6	Συνδυασμένη Χρήση Δειγματοληπτικών Σχεδίων Αποδοχής και Διαγραμμάτων Ελέγχου. ....	130
6.7	Έρευνες χρήσης δειγματοληψίας αποδοχής και διαγραμμάτων ελέγχου .....	135
7	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	141
8	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	144
9	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	155

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες:

- Ø Στον καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιά και Διευθυντή του Ευρωπαϊκού Μεταπτυχιακού Προγράμματος στην Διοίκηση Επιχειρήσεων – Ολική Ποιότητα (ΕΜΠΣ. ΔΕ – ΔΟΠ) κ. Μποχώρη Γεώργιο, ο οποίος ήταν και επιβλέπων της διπλωματικής αυτής εργασίας, για την αμέριστη υποστήριξη, βοήθεια, κατανόηση και συμπαράσταση που επέδειξε καθ' όλη την διάρκεια της προσπάθειας αυτής. Οι συμβουλές και οι υποδείξεις του, συνέβαλαν σε μεγάλο βαθμό στην ολοκληρωμένη και άρτια μορφή της παρούσας αυτής διπλωματικής εργασίας.
  
- Ø Στους γονείς μου Ευστράτιο και Χαριτίνη, η συμβολή των οποίων στην περάτωση της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν καθοριστική. Πέρα από την υλική υποστήριξη, η ψυχολογική και ηθική τους συμπαράσταση συνετέλεσε στην ολοκλήρωση των σπουδών μου και στην απόκτηση του Μεταπτυχιακού Τίτλου.

## ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1:	Σύγκριση μονού, διπλού και πολλαπλού δειγματοληπτικού σχεδίου.....	50
Πίνακας 2:	Σύστημα Dodge – Romig. Απλή δειγματοληψία και απορριπτέα στάθμη ποιότητας RQL = 0,05.....	56
Πίνακας 3:	Σύστημα Dodge – Romig. Απλή δειγματοληψία και όριο μέσης εξερχόμενης ποιότητας AOQL = 2%.....	57
Πίνακας 4&5:	Σύστημα Dodge – Romig. Διπλή δειγματοληψία και όριο μέσης εξερχόμενης ποιότητας AOQL = 2%.....	58 & 59
Πίνακας 6:	Κωδικά γράμματα με βάση το μέγεθος μερίδας και την στάθμη ελέγχου.....	63
Πίνακας 7:	Μέγεθος δείγματος & κριτήριο παραδοχής με βάση το κωδικό γράμμα & την αποδεκτή στάθμη ποιότητας για κανονικό έλεγχο...	64
Πίνακας 8:	Σύστημα δειγματοληπτικού ελέγχου Philips.....	66
Πίνακας 9:	Σύγκριση δειγματοληπτικών σχεδίων Dodge – Romig, Military Standards και Philips.....	67
Πίνακας 10:	Υπολογισμός μεγέθους δείγματος (N) και αριθμού παραδοχής (C) για διάφορα συστήματα δειγματοληπτικού ελέγχου .....	68
Πίνακας 11:	Χρησιμοποιούμενα πρότυπα στην δειγματοληψία αποδοχής.....	78
Πίνακας 12:	Πρότυπα χάραξης διαγραμμάτων ελέγχου.....	112
Πίνακας 13:	Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα Δειγματοληψίας Αποδοχής.....	117
Πίνακας 14:	Χρήση διαγραμμάτων ελέγχου σε διαδικασίες τομέα παροχής υπηρεσιών.....	121
Πίνακας 15:	Διαφορές μεταξύ διαγραμμάτων ελέγχου και δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής.....	131

## ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1:	Χαρακτηριστική Καμπύλη Δειγματοληψίας.....	27
Σχήμα 2:	Ορθογωνική Καμπύλη Δειγματοληψίας.....	29
Σχήμα 3:	Αποδεκτή και Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας.....	30
Σχήμα 4:	Μέση Εξερχόμενη Ποιότητα (ΑΟQ).....	31
Σχήμα 5:	Απλή Δειγματοληψία.....	46
Σχήμα 6:	Διπλή Δειγματοληψία.....	47
Σχήμα 7:	Πολλαπλή Δειγματοληψία.....	49
Σχήμα 8:	Συνεχής Δειγματοληψία.....	52
Σχήμα 9:	Διαδικασία υπό στατιστικό έλεγχο.....	85
Σχήμα 10:	Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου.....	85
Σχήμα 11:	Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 1 <sup>ος</sup> ).....	86
Σχήμα 12:	Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 2 <sup>ος</sup> ).....	87
Σχήμα 13:	Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 3 <sup>ος</sup> ).....	87
Σχήμα 14:	Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 4 <sup>ος</sup> ).....	88
Σχήμα 15:	Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 5 <sup>ος</sup> ).....	88
Σχήμα 16 & 17:	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής και διακύμανσης.....	93
Σχήμα 18 & 19:	Διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης.....	95
Σχήμα 20:	Διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών.....	100
Σχήμα 21:	Διάγραμμα ελέγχου αριθμού ελαττωμάτων.....	101
Σχήμα 22:	Διάγραμμα ελέγχου μέσου αριθμού ελαττωμάτων.....	103
Σχήμα 23:	Καμπύλη ετοιμότητας.....	125
Σχήμα 24:	Συνδυασμός διαγραμμάτων ελέγχου και δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής.....	133

## ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

$\alpha$ :	Κίνδυνος παραδίδοντος
$\beta$ :	Κίνδυνος παραλαμβάνοντος
AQL:	Αποδεκτή στάθμη ποιότητας
RQL:	Απορριπτέα στάθμη ποιότητας
AOQ:	Μέση εξερχόμενη ποιότητα
$x_i$ :	Η εκάστοτε τιμή μέτρησης του χαρακτηριστικού
$\bar{x}$ :	Η μέση τιμή του δείγματος
n:	Το μέγεθος του δείγματος
k:	Ο αριθμός των δειγμάτων
$\bar{x}$ :	Μέση Τιμή του εκάστοτε δείγματος
$\bar{\bar{x}}$ :	Μέση Τιμή του συνόλου δειγμάτων
R:	Διακύμανση του εκάστοτε δείγματος
$\bar{R}$ :	Μέση Διακύμανση του συνόλου δειγμάτων
UCL:	Άνω Όριο Ελέγχου (Upper Control Limit)
LCL:	Κάτω Όριο Ελέγχου (Lower Control Limit)
A2:	Συντελεστής υπολογισμού του UCL και LCL
D3:	Συντελεστής υπολογισμού του UCL και LCL
D4:	Συντελεστής υπολογισμού του UCL και LCL
S:	Τυπική απόκλιση
$\bar{c}$	Μέσος αριθμός ελαττωμάτων $\bar{c}$

$u$ : Μέσος αριθμός ελαττωμάτων ανά μονάδα επιθεώρησης

$\bar{p}$ : Μέση Τιμή μέση των σκάρτων.



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Αντικείμενο και σκοπός

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της χρησιμοποίησης δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής (Acceptance Sampling Plans) και διαγραμμάτων ελέγχου (Control Charts) ως δύο από τις σημαντικότερες μεθόδους του στατιστικού ελέγχου ποιότητας (Statistical Quality Control – SQC).

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει το παρελθόν, το παρόν των δύο τεχνικών και, το σημαντικότερο, να αναδείξει τις σύγχρονες εκείνες εφαρμογές που τις κάνουν επίκαιρες ακόμη και στα πολύπλοκα υφιστάμενα περιβάλλοντα των αυξημένων αναγκών και απαιτήσεων για υψηλά επίπεδα ποιότητας προϊόντων και υπηρεσιών.

Αρχικά, γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή των δύο αυτών στατιστικών μεθόδων: τον τρόπο αλλά και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρωτοεμφανίστηκαν, τους παράγοντες που συνετέλεσαν στην εξάπλωση τους καθώς επίσης και τις αρχικές μορφές με τις οποίες πρωτοεφαρμόστηκαν. Ακολούθως, αναλύονται σε βάθος οι βασικές αρχές, τα χαρακτηριστικά και οι επιμέρους κατηγορίες των δύο στατιστικών μεθόδων. Επιδιώκεται η πλήρης κατανόηση των παλαιών αλλά και σύγχρονων εφαρμογών που έχουν οι δύο μέθοδοι αλλά και ο τρόπος με τον οποίο βοηθούν τις επιχειρήσεις στο να επιτύχουν υψηλά επίπεδα ποιότητας προϊόντων ή αντίστοιχα παροχή ποιοτικών υπηρεσιών. Τονίζεται η χρησιμότητα των δύο αυτών στατιστικών εργαλείων στα σύγχρονα πολύπλοκα και πολυσύνθετα περιβάλλοντα παρά το γεγονός ότι εφαρμόζονται εδώ και αρκετές δεκαετίες, ενώ αναδεικνύεται η δυνατότητα παράλληλης εφαρμογής των δύο αυτών μεθόδων σε αντίθεση με την επικρατούσα άποψη της αδυναμίας ταυτόχρονης χρήσης τους. Τέλος, παρουσιάζονται έρευνες με θέμα τον βαθμό χρήσης των δύο τεχνικών από επιχειρήσεις στα πλαίσια του στατιστικού ελέγχου ποιότητας που εφαρμόζουν.

Αναλυτικότερα, το περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ανά κεφάλαιο έχει ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο οριοθετείται το αντικείμενο και ο σκοπός της εργασίας ενώ γίνεται συνοπτική παρουσίαση του περιεχομένου της ανά κεφάλαιο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην βιβλιογραφία που υπάρχει σχετικά με το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται με μεγάλη λεπτομέρεια τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της δειγματοληψίας αποδοχής όπως η χαρακτηριστική καμπύλη δειγματοληψίας (OC Curve), η αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL), η απορριπτέα στάθμη ποιότητας (RQL) κ.λ.π. ενώ γίνεται αναφορά και στις σημαντικότερες κατανομές που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της δειγματοληψίας αποδοχής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στα χρησιμοποιούμενα δειγματοληπτικά σχέδια όπως επίσης και στα πρότυπα στα οποία στηρίζεται η εφαρμογή και ο σχεδιασμός των δειγματοληπτικών σχεδίων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εκτενώς τα διαγράμματα ελέγχου ως το βασικό εργαλείο του στατιστικού ελέγχου διαδικασιών. Αναλύονται τα παραδοσιακά διαγράμματα Shewhart, οι νέοι τύποι διαγραμμάτων ελέγχου (όπως τα αθροιστικά και τα εκθετικής εξομάλυνσης) καθώς επίσης και οι συνδυασμοί των δύο παραπάνω τύπων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο μεθόδων, παρουσιάζονται οι σύγχρονες εφαρμογές τους καθώς επίσης και η χρήση πληροφοριακών συστημάτων για την υποστήριξή τους. Επιπλέον, προσεγγίζεται η δυνατότητα συνδυασμού των δύο τεχνικών προκειμένου να γίνει πλήρης εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων τους. Τέλος, παρουσιάζονται έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί όσον αφορά στην χρησιμοποίηση των δύο αυτών μεθόδων.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από το σύνολο της παρούσας εργασίας.

Το όγδοο κεφάλαιο περιλαμβάνει το σύνολο της χρησιμοποιούμενης βιβλιογραφίας ενώ το ένατο κεφάλαιο, τα σχετικά παραρτήματα.

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή

Στις μέρες μας, ο συνεχής ανταγωνισμός και οι αυξημένες ανάγκες των καταναλωτών επιτάσσουν στις επιχειρήσεις την βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων ή των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πολλοί είναι οι ορισμοί που έχουν δοθεί στην έννοια της ποιότητας. Σύμφωνα με το Εθνικό Αμερικάνικο Ινστιτούτο Προτύπων (American National Standards Institute – ANSI) και την Αμερικανική Οργάνωση για τον έλεγχο της ποιότητας (American Society for Quality Control – ASQC), η ποιότητα χαρακτηρίζεται ως «το σύνολο των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας που καθορίζουν και οριοθετούν την ικανότητα ανταπόκρισης σε δηλωμένες ανάγκες». Με βάση ορισμένους από τους πιο σημαντικούς εκφραστές της φιλοσοφίας και των αρχών της ποιότητας, η ποιότητα ορίζεται ως «η συμμόρφωση ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας προς τις προκαθορισμένες προδιαγραφές», (Crosby, 1979) ή ως «η καταλληλότητα ενός προϊόντος για χρήση», (Juran, 1974). Για μια πολυεθνική εταιρεία όπως είναι η Coca Cola Company, «η ποιότητα έχει να κάνει με την παραγωγή ενός προϊόντος πάνω στο οποίο μπορεί να βασισθεί κάθε καταναλωτής οποτεδήποτε το έχει ανάγκη».

Ο έλεγχος της ποιότητας προϊόντων και υπηρεσιών απασχόλησε και απασχολεί σε μεγάλο βαθμό επιχειρήσεις και καταναλωτές. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Duncan (1986), «ο έλεγχος της ποιότητας είναι τόσο παλιός όσο και η βιομηχανία». Στα χρόνια που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, ο έλεγχος της ποιότητας συνίστατο στον έλεγχο του τελικού προϊόντος από τον τεχνίτη. Ακολούθως, καταναλωτής και τεχνίτης αποφάσιζαν από κοινού εάν το προϊόν ικανοποιούσε δηλωμένες απαιτήσεις και ανάγκες, οπότε ακολουθούσε η αποδοχή ή το στάδιο της επανακατεργασίας. Με την έλευση της βιομηχανικής επανάστασης, η μαζική παραγωγή προϊόντων κατήργησε την διαπροσωπική σχέση μεταξύ παραχέα προϊόντων και καταναλωτή και υποβάθμισε το ενδιαφέρον και την προσοχή που δινόταν στην ικανοποίηση των αναγκών του καταναλωτή. Η έμφαση που δόθηκε στην μείωση του κόστους παραγωγής υποβάθμισε περαιτέρω το επίπεδο της προσφερόμενης ποιότητας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την

πολυπλοκότητα των παραγόμενων προϊόντων, έκαναν επιτακτική την ανάγκη ενός συστήματος που να ελέγχει αποτελεσματικά την ποιότητα (*Hinckley, 1997*).

Ο Frederick W. Taylor εισήγαγε πρώτος μεθόδους επιστημονικής διοίκησης στην παραγωγική διαδικασία, χωρίζοντας το συνολικό παραγωγικό έργο σε επιμέρους μικρά υποέργα προκειμένου να διευκολυνθεί η παραγωγή σύνθετων προϊόντων μέσω πολύπλοκων διαδικασιών. Στις αρχές της δεκαετίας του 1920, οι Dodge και Romig διαπίστωσαν τις αδυναμίες που παρουσίαζε ο 100% έλεγχος από οικονομική άποψη. Στα πλαίσια της έρευνάς τους, ανέπτυξαν δειγματοληπτικά σχέδια ελέγχου σύμφωνα με τα οποία η απόφαση για αποδοχή ή απόρριψη συγκεκριμένης παρτίδας εξαρτάται από την ποιότητα περιορισμένου αριθμού μονάδων που ανήκουν σε τυχαίο δείγμα από την παρτίδα αυτή. Με τον τρόπο αυτό εισήγαγαν τις βασικές αρχές της δειγματοληψίας αποδοχής (Acceptance Sampling) η οποία και αποτελεί την πρώτη μέθοδο στατιστικού ελέγχου ποιότητας που χρησιμοποιήθηκε (*Montgomery, 1997*).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1920, ο Walter Shewhart ανέπτυξε την μεθοδολογία των διαγραμμάτων ελέγχου που ακόμη και σήμερα αποτελούν το βασικό εργαλείο του στατιστικού ελέγχου διαδικασιών (Statistical Process Control – SPC). Ο Shewhart οδηγήθηκε στην κατασκευή των διαγραμμάτων ελέγχου μέσα από την παρατήρηση ότι η διασπορά τιμών ενός χαρακτηριστικού ποιότητας (π.χ. βάρος ή μήκος) οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος σε συστηματικές αιτίες που επηρεάζουν την μεταβλητότητα της διαδικασίας. Τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την διόρθωση των αιτιών αυτών προκειμένου να προληφθεί η παραγωγή μη συμμορφούμενων προϊόντων (*DeVor, Chang & Sutherland, 1992*).

Με το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, οι δύο αυτές μέθοδοι στατιστικού ελέγχου γνώρισαν ιδιαίτερη άνθηση η οποία συνεχίστηκε στις δεκαετίες του 1950, 1960 και 1970. Οι δεκαετίες του 1980 και 1990 οριοθετούνται από την εξάπλωση μιας νέας μεθόδου στατιστικού ελέγχου ποιότητας που επικεντρώνεται στην βελτίωση της ποιότητας κατά την φάση σχεδιασμού προϊόντων και διαδικασιών με την βοήθεια στατιστικών πειραμάτων (*Launsby & Weese, 1994*). Ωστόσο, παρά

την εμφάνιση της νέας αυτής τεχνικής στατιστικού ελέγχου ποιότητας, τόσο τα διαγράμματα ελέγχου όσο και τα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από σύγχρονες επιχειρήσεις και να παραμένουν αξιόπιστα εργαλεία στην προσπάθεια επίτευξης προϊόντων και υπηρεσιών υψηλού ποιοτικού επιπέδου

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Ø DeVor R. E., Chang T. H. & Sutherland (1992). "Statistical Quality Design and Control", *Macmillan Publishing, New York, 1992*.
- Ø Montgomery, D. C., 1997, Introduction to statistical quality control, 3rd edition., John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., pp.607-613.
- Ø Duncan, A. J. (1986). Quality Control and Industrial Statistics, 5th ed., Irwin, Homewood, IL.
- Ø Crosby, P. B. (1979) Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. NY: McGraw-Hill Book Co.
- Ø Juran, J. M., Gryna, F. M., Bingham, R. S., 1974, Quality control handbook, 3rd edition., Mc Graw-Hill, Inc., U.S.A., pp. 24.2-24.8.
- Ø Blake. S. Launsby & Weese. D. L. (1994). "Experimental design meets the realities of the 1990s", *Quality Progress, October 1994*, pp. 99 – 101
- Ø Hinckley CM, Barkan P. (1997) "The role of variation, mistakes and complexity in production nonconformities", *J. Qual. Technol.*, 27, pp. 242 – 249

## 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1 Διαγράμματα Ελέγχου

Αρκετοί συγγραφείς έχουν ασχοληθεί με τον οικονομικό σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου. Ένα στατιστικό μοντέλο για τον οικονομικό σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου προτείνεται από τους *Su Fen Yang & Chung – Ming Yang (2004)* και αφορά στην παρακολούθηση διαδικασιών που επηρεάζονται από πολλαπλές ειδικές αιτίες. Συγκεκριμένα, σκοπός είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων σχεδιασμού ενός  $\bar{x}$  διαγράμματος ελέγχου που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος ποιότητας διαδικασιών που επηρεάζονται από πολλαπλές ειδικές αιτίες.

Εκτός όμως από τις περιπτώσεις των απλών παραγωγικών διαδικασιών, υπάρχουν και οι μεικτές γραμμές παραγωγής όπου η διαδικασία αφορά στην παραγωγή πολλών προϊόντων ταυτόχρονα και επομένως και οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα των διαδικασιών αυτών είναι πολλαπλές. Με τις περιπτώσεις αυτές ασχολούνται οι *Tsal, Bowerman & Tait (2000)*. Τα χρησιμοποιούμενα διαγράμματα ελέγχου για την παρακολούθηση των διαδικασιών αυτών χαρακτηρίζονται ως πολλαπλά διαγράμματα ελέγχου (multiple control charts). Στις περιπτώσεις αυτές, ο οικονομικός σχεδιασμός των πολλαπλών αυτών διαγραμμάτων ελέγχου (EDMCC – Economic Design of Multiple Control Charts) είναι ιδιαίτερα δύσκολος καθώς απαιτείται να ληφθούν υπόψη πολλοί παράμετροι. Για τον λόγο αυτό οι συγγραφείς χρησιμοποιούν πρωτοποριακούς γενετικούς αλγόριθμους που εξασφαλίζουν βέλτιστη αποτελεσματικότητα.

Ο *Grigg (1998)* αποδεικνύει ότι η χρησιμοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχου στην βιομηχανία τροφίμων επιφέρει σημαντικά οφέλη με κυριότερα από αυτά την μείωση των αχρησιμοποίητων πρώτων υλών, την βελτιωμένη αποδοτικότητα όσον αφορά στην συσκευασία, την βελτίωση της συνολικής παραγωγικής διαδικασίας και τα αυξημένα επίπεδα ποιότητας που απολαμβάνει ο καταναλωτής. Οι *Roes & Dorr (1997)* τονίζουν σε άρθρο τους την σημασία που έχει η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση διαδικασιών που αφορούν στην παροχή

υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, αναφέρονται στην μείωση του χρόνου παροχής υπηρεσιών, στην εξακρίβωση αιτιών που επηρεάζουν αρνητικά το επίπεδο ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας και τέλος στην μείωση των παραπόνων των πελατών και κατ' επέκταση των δυσαρεστημένων πελατών.

Ο *Yan Xu (2001)*, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο τύπο διαγράμματος ελέγχου, το λεγόμενο ταξινομημένων αιτιών διάγραμμα ελέγχου (Cause Classified Control Chart). Ο νέος αυτός τύπος διαγράμματος ξεπερνά τους περιορισμούς των παραδοσιακών διαγραμμάτων ελέγχου και επιπλέον συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των υπολοίπων εργαλείων του στατιστικού ελέγχου διαδικασιών όπως το διάγραμμα Pareto και το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος (cause effect diagram). Συγκεκριμένα, ο συγγραφέας τονίζει ότι το Cause Classified διάγραμμα ελέγχου διακρίνεται για την απλότητα και την ευχρηστία σε σχέση με τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου Shewhart ενώ σε σύγκριση με το διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος το εν λόγω διάγραμμα ελέγχου δίνει ακριβείς πληροφορίες για την πραγματική αιτία που έχει προκαλέσει μεταβολές στην διαδικασία. Τέλος, και σε σύγκριση με το διάγραμμα Pareto, το Cause Classified διάγραμμα ελέγχου καταδεικνύει την κύρια αιτία με ένα δυναμικό τρόπο που επιτρέπει τον έλεγχο της ποιότητας σε πραγματικό χρόνο.

Οι *Xie, Goh & Cai, (2001)* αναφέρονται στον συνδυασμό χρήσης διαγραμμάτων ελέγχου και μηχανολογικού ελέγχου διαδικασιών (Engineering Process Control). Καταρχάς, κάνουν αναφορά στις προσεγγίσεις που έχουν γίνει στο θέμα αυτό και ακολούθως παρουσιάζουν την δική τους θεώρηση για τον βέλτιστο τρόπο με τον οποίο είναι δυνατή η παράλληλη χρησιμοποίηση διαγραμμάτων ελέγχου και μηχανολογικού ελέγχου διαδικασιών. Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση ελέγχου μέσω διαγραμμάτων ελέγχου που συμπεριλαμβάνει τακτικές ρυθμίσεις – προσαρμογές της διαδικασίας κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση ελαττωματικών τεμαχίων, ειδικά σε διαδικασίες με χαμηλές τάσεις. Τέλος, οι συγγραφείς τονίζουν την αναγκαιότητα αποδοχής της μεθόδου αυτής από τους εργαζομένους στην παραγωγική



διαδικασία αλλά και από την διοίκηση προκειμένου να εφαρμοσθεί κατάλληλα και να αποδώσει στον μέγιστο βαθμό.

Οι *Chan, Tse & Yim (2003)* παρουσιάζουν την δική τους προσέγγιση όσον αφορά στην σύγκριση των απλών  $\bar{x}$  με τα  $\bar{x}-bar$  διαγράμματα ελέγχου και εξετάζουν κατά πόσο είναι δυνατός ο συνδυασμός των δύο αυτών τεχνικών για την αύξηση της ευαισθησίας αναγνώρισης μετατοπίσεων της παραγωγικής διαδικασίας. Αποδεικνύεται ότι η επικρατούσα άποψη ότι τα  $\bar{x}-bar$  διαγράμματα υπερτερούν όσον αφορά στην αναγνώριση διακυμάνσεων σε σχέση με τα απλά  $\bar{x}$  διαγράμματα ισχύει αλλά κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Συγκεκριμένα, τονίζεται η ικανότητα του  $\bar{x}$  διαγράμματος ελέγχου να αναγνωρίσει τόσο μικρές μετατοπίσεις της διαδικασίας (της τάξης του  $0,01 \sigma - 0,1 \sigma$ ) όσο και αρκετά μεγάλες (της τάξης  $1\sigma - 3\sigma$ ). Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις το  $\bar{x}-bar$  υπερτερεί. Οι συγγραφείς καταλήγουν στην αναγκαιότητα συνδυασμένης χρήσης των δύο τεχνικών προκειμένου να ανιχνεύονται όλες οι μετατοπίσεις μιας διαδικασίας ανεξαρτήτου εύρους διακύμανσης.

Η σωστή εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου παίζει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη ικανοποιητικού στατιστικού ελέγχου διαδικασιών. Οι *Antony & Taner (2003)*, επισημαίνουν την μεγάλη σημασία τόσο της επιλογής του κατάλληλου διαγράμματος ελέγχου όσο και της οργανωμένης και δομημένης εγκατάστασης και λειτουργίας του στην παραγωγική διαδικασία. Ειδικότερα, καθορίζουν τις παραμέτρους που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου όπως ο καθορισμός με λεπτομέρεια της διαδικασίας που πρόκειται να παρακολουθηθεί, η σχέση της διαδικασίας αυτής με τις υπόλοιπες διαδικασίες του συστήματος, ο καθορισμός του ποιοτικού χαρακτηριστικού (ή της παραμέτρου της διαδικασίας) που πρόκειται να παρακολουθηθεί, το μετρητικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί και τέλος η κατανόηση των μετρούμενων δεδομένων προκειμένου να εξαχθούν οι κατάλληλες πληροφορίες.

Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τον έλεγχο διαδικασιών παρουσιάζουν στο άρθρο τους οι *Ribeiro, Caten & Fritsch (2001)* σε περιπτώσεις όπου πλήθος

μεταβλητών και χαρακτηριστικών πρέπει να παρακολουθηθούν. Στην προσέγγιση αυτή σημαντικό ρόλο παίζει η συγκέντρωση, ομαδοποίηση και ο διαχωρισμός των δεδομένων που λαμβάνονται καθώς επίσης και ο καθορισμός των σημείων της διαδικασίας που θα ελέγχονται. Τα διαγράμματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται (χαρακτηριστικών μέτρησης αλλά και χαρακτηριστικών διαλογής) ανιχνεύουν με βάση κάποια κοινή παράμετρο, όπως το ποσοστό των ελαττωματικών, αιτίες μετατόπισης της παραγωγικής διαδικασίες οι οποίες ακολούθως ιεραρχούνται με την βοήθεια διαγράμματος Pareto. Τέλος, ακολουθεί επαναχρησιμοποίηση διαγραμμάτων ελέγχου για την ανάλυση και επίλυση των εμφανιζόμενων προβλημάτων.

Τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μεταβλητότητας σε διαδικασίες που οδηγούν στην παραγωγή προϊόντων (ή παροχή υπηρεσιών) εκτός προκαθορισμένων προδιαγραφών. Ο *Gitlow (2001)* επισημαίνει τις αιτίες εμφάνισης μεταβλητότητας σε μια διαδικασία και τους τρόπους εξαφάνισης ή έστω περιστολής της. Συγκεκριμένα, αναφέρεται στις δύο αιτίες εμφάνισης μεταβλητότητας σε μια διαδικασία, στις ειδικές και στις κοινές. Οι ειδικές αιτίες οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες όπως το εργατικό δυναμικό, οι μηχανές παραγωγής ή σε κάποια τοπική κατάσταση. Οι κοινές αιτίες μεταβλητότητας έχουν τις ρίζες τους στην ίδια την διαδικασία και συγκεκριμένα στον τρόπο με τον οποίο έχει γίνει ο σχεδιασμός της.

Ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζεται η μεταβλητότητα σε μια διαδικασία εξαρτάται από την φύση της αιτίας (κοινή ή ειδική). Η ανάλυση των ειδικών αιτιών μεταβλητότητας απαιτεί διάγνωση της ιδιαίτερης κατάστασης στην οποία εκδηλώθηκε και καθορισμός πλάνου για την διαχείριση της μελλοντικής εμφάνισής της. Αντίθετα, η μείωση της μεταβλητότητας μιας διαδικασίας που οφείλεται σε κοινές αιτίες απαιτεί την ενδελεχή μελέτη του συνόλου της διαδικασίας (και όχι τμήματος αυτής) καθώς επίσης και τον ανασχεδιασμό της.

Οι *Luo & Wu (2002)*, ασχολούνται με το θέμα των προσαρμοσμένων διαγραμμάτων ελέγχου (adaptive control charts) και το πλεονέκτημα που έχουν σε

σχέση με τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου στο να αναγνωρίζουν αποτελεσματικότερα μετατοπίσεις της υπό έλεγχο διαδικασίας. Συγκεκριμένα, οι συγγραφείς παρουσιάζουν ένα αλγόριθμο για τον βέλτιστο σχεδιασμό μεταβλητού μεγέθους δείγματος (VSS – Variable Sample Size) ηρ διαγράμματος ελέγχου και μεταβλητού διαστήματος δειγματοληψίας (VSI – Variable Sampling Intervals) ηρ διαγράμματος ελέγχου. Μελετάται η απόδοση των εν λόγω διαγραμμάτων ελέγχου και συγκρίνεται με την αντίστοιχη των συμβατικών ηρ διαγραμμάτων ελέγχου. Αποδεικνύεται ότι τα προσαρμοσμένα διαγράμματα ελέγχου αποδίδουν καλύτερα όσον αφορά στην αναγνώριση μετατοπίσεων διαδικασιών, ιδιαίτερα δε όταν πρόκειται για μικρές ή μεσαίου μεγέθους μετατοπίσεις.

Στο άρθρο των *Mason & Antony (2000)*, τονίζεται ότι προκειμένου η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου να έχει τα προσδοκώμενα αποτελέσματα σε μια επιχείρηση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ορισμένοι κρίσιμοι παράγοντες που έχουν να κάνουν με το γενικότερο περιβάλλον ποιότητας της επιχείρησης. Καταρχάς θα πρέπει να υπάρχει η δέσμευση της διοίκησης για υποστήριξη στην εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου. Αυτό περιλαμβάνει την εξασφάλιση διορθωτικών ενεργειών στην υπό παρακολούθηση διαδικασία (ακόμη και γενικός ανασχεδιασμός) όπως επίσης και την κατάλληλη εκπαίδευση και επιμόρφωση του ανθρώπινου δυναμικού που ασχολείται με την εγκατάσταση και λειτουργία των διαγραμμάτων ελέγχου.

Ένας δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την αποτελεσματική λειτουργία των διαγραμμάτων ελέγχου είναι οι μηχανολογικές και στατιστικές δεξιότητες των εργαζομένων που ασχολούνται με την παρακολούθηση της διαδικασίας. Θα πρέπει δηλαδή να έχουν πλήρη γνώση της υπό έλεγχο διαδικασίας, των μετρήσεων και δεδομένων που συλλέγονται, των δυνατοτήτων ελέγχου και παρακολούθησης που παρέχουν τα χρησιμοποιούμενα διαγράμματα και τέλος των διορθωτικών ενεργειών στις οποίες πρέπει να προβούν σε περιπτώσεις όπου τα διαγράμματα αναγνωρίζουν την ύπαρξη κάποιου προβλήματος στην διαδικασία. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικό είναι η ικανότητα των εργαζομένων να δουλεύουν ομαδικά καθώς οι διαδικασίες που παρακολουθούνται σε μια επιχείρηση

“διαπερνούν” όλα τα τμήματα και έχουν σαν τελικό στόχο την βελτίωση των τελικών προϊόντων (ή υπηρεσιών) που απολαμβάνει ο καταναλωτής.

Η γενικότερη χρησιμότητα των διαγραμμάτων ελέγχου σαν εργαλείο διοίκησης παρουσιάζεται στο άρθρο του *Brimson (2004)*. Καταρχάς γίνεται μια σύντομη αναφορά στο υφιστάμενο σύστημα διοίκησης που χρησιμοποιεί η πλειοψηφία των εταιρειών και το οποίο βασίζεται στην επίτευξη ορισμένων οικονομικών στόχων. Υποστηρίζει ότι το βάρος της διοίκησης θα πρέπει να δοθεί στην επίτευξη της επιθυμητής απόδοσης των διαδικασιών προκειμένου να εξαχθούν και τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν το πιο σημαντικό ίσως εργαλείο για την εξασφάλιση μιας διαδικασίας υπό έλεγχο και ικανής να παράγει τα προϊόντα εκείνα (ή εναλλακτικά να παρέχει υπηρεσίες) τα οποία από ποσοτική και ποιοτική άποψη να εξασφαλίζουν τα προσδοκώμενα οφέλη και την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από την διοίκηση.

Στο άρθρο του ο *Woodall (2000)*, υποστηρίζει ότι ναι μεν η θεωρία είναι πολύ σημαντική στην εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου αλλά δεν είναι το βασικό συστατικό μιας επιτυχημένης υλοποίησης. Οι παραδοχές που γίνονται για την κατανομή που ακολουθεί η υπό έλεγχο διαδικασία αλλά και η συσχέτιση που είναι δυνατόν να εμφανίζεται στα δεδομένα, καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου σε αρκετές περιπτώσεις οπότε και υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ θεωρητικής προσέγγισης και πρακτικών καταστάσεων. Σε απλές εφαρμογές, οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν στο πρώτο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα κυρίως από τον *Shewhart* αλλά και από άλλους ερευνητές, καλύπτουν τις ανάγκες για παρακολούθηση και έλεγχο μιας διαδικασίας. Στο σύγχρονο κατασκευαστικό περιβάλλον με την πολυπλοκότητα και την ύπαρξη πολλών παραμέτρων να επηρεάζουν τις ακολουθούμενες διαδικασίες, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται σύγχρονες μέθοδοι διαγραμμάτων ελέγχου που μπορούν να αντεπεξέλθουν στις αυξημένες απαιτήσεις που προϋποθέτει ο έλεγχος σύνθετων διαδικασιών με υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας.

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος των παραγόντων που συμβάλλουν στην μετάδοση μολυσματικών ασθενειών αποτελεί σημαντικό κομμάτι των προγραμμάτων διασφάλισης ποιότητας που εφαρμόζονται σε πολλά νοσοκομεία ή ιδρύματα παροχής υπηρεσιών υγείας. Σε άρθρο των *Morton, Whitby & Mc Laws (2001)*, παρουσιάζεται η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου στον έλεγχο των παραγόντων αυτών σε σχέση με την χρήση άλλων στατιστικών μεθόδων. Αποδεικνύεται ότι η χρήση Shewhart, CUSUM και EWMA διαγραμμάτων ελέγχου εξασφαλίζει συνεχή και πραγματικού χρόνου έλεγχο σε αντίθεση με άλλες τεχνικές που καθυστερούν σημαντικά στην αναγνώριση εμφάνισης μεταδοτικών ασθενειών. Επιπλέον, προκύπτει η ικανότητα των Shewhart διαγραμμάτων ελέγχου να αναγνωρίζουν μεγάλες αλλαγές στην διαδικασία και η υπεροχή των CUSUM και EWMA διαγραμμάτων ελέγχου στην αναγνώριση μικρών αλλά υπαρκτών μετατοπίσεων. Ο συνδυασμός των παραδοσιακών Shewhart διαγραμμάτων ελέγχου με τα σύγχρονα CUSUM και EWMA διαγράμματα ελέγχου, αποτελεί την ιδανική λύση για την παρακολούθηση της συγκέντρωσης βακτηριδίων στο αίμα και βλαβερών και ταυτόχρονα ανθεκτικών μικροοργανισμών.

Στο άρθρο των *Ternes, Lee Ho & Imana (2002)*, συγκρίνονται ημιοικονομικά  $\bar{x}$  διαγράμματα ελέγχου με  $\bar{x}-R$  διαγράμματα ελέγχου με την παραδοχή της ύπαρξης δύο διαφορετικών ξεχωριστών κατανομών για την διάρκεια της υπό έλεγχο περιόδου μιας παραγωγικής διαδικασίας με αναγέννηση των σημείων που δίνονται από κανόνες ελέγχου. Για τα δύο μοντέλα υπολογίζονται μεγέθη δείγματος και όρια ελέγχου. Επιπλέον, και για τους σκοπούς της σύγκρισης των δύο μοντέλων, υπολογίζονται μέση κόστη καθώς επίσης και πιθανότητες λαθών τύπου I και II. Αποδεικνύεται ότι η πλήρης γνώση της παραγωγικής διαδικασίας που θα πρέπει να ελεγχθεί παίζει καθοριστικό έλεγχο στον σχεδιασμό του διαγράμματος ελέγχου. Επιπλέον, η πιθανότητα ενός σωστού “συναγερμού” ότι η διαδικασία είναι εκτός ελέγχου δεν επηρεάζεται από χαμηλό μέσο όρο παραγόμενου όγκου σε αντίθεση με τον αριθμό των λανθασμένων “συναγερμών” που επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό. Τέλος, ο σχεδιασμός του διαγράμματος ελέγχου είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος σε αλλαγές του εκτός ελέγχου κόστους σε σχέση με αλλαγές στο δειγματοληπτικό κόστος.

Μια ακόμη προσέγγιση στον οικονομικό σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου παρουσιάζεται σε άρθρο των *Daya & Duffuaa (2003)*. Συγκεκριμένα, στον οικονομικό σχεδιασμό των διαγραμμάτων ελέγχου λαμβάνεται υπόψη η μεθοδολογία Taguchi η οποία έχει ως κεντρικό στοιχείο την προσπάθεια ελαχιστοποίησης της μεταβλητότητας του ελεγχόμενου χαρακτηριστικού ποιότητας. Με επανεξέταση του εντός και εκτός ελέγχου κόστους με βάση την μεθοδολογία Taguchi στο μοντέλο που προκύπτει, κάθε απόκλιση από την τιμή που έχει καθορισθεί θα επιφέρει απώλεια ακόμη και στην περίπτωση όπου το χαρακτηριστικό ποιότητας βρίσκεται εντός των ορίων ελέγχου. Πέρα από το σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με την κλασική προσέγγιση στον οικονομικό σχεδιασμό των διαγραμμάτων ελέγχου, το εξεταζόμενο μοντέλο διατηρεί τα πλεονεκτήματα του οικονομικού σχεδιασμού λαμβάνοντας υπόψη τις κοστολογικές επιπτώσεις του σχεδιασμού.

Οι *Maul (1996)* και *Cook (1997)* κάνουν εκτενή αναφορά στην εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου σε διαδικασίες συγκόλλησης. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η χρήση διαγράμματος ελέγχου για την παρακολούθηση μιας παραμέτρου συγκόλλησης και ειδικότερα το ρεύμα συγκόλλησης, ενώ τονίζεται ότι και άλλες παράμετροι της διαδικασίας αυτής όπως η διαφορά τάσης και ο βαθμός ροής του αερίου που χρησιμοποιείται για την συγκόλληση μπορούν να παρακολουθηθούν μέσω των διαγραμμάτων ελέγχου. Ο *Ipek (1999)* αναφέρεται στην χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου στον έλεγχο και στην παρακολούθηση της συγκέντρωσης οξειδίου του βορίου σε ορυκτά βορίου. Αποδεικνύεται ότι η εξόρυξη των κοιτασμάτων, ο εξοπλισμός εξόρυξης και οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν τον βαθμό συγκέντρωσης οξειδίων, και κατ' επέκταση την ποιότητα των κοιτασμάτων.

Ο *Boggs (1998)* αναφέρεται στην χρήση διαγραμμάτων ελέγχου στην παρακολούθηση των εκπνευστικών διακυμάνσεων σε ασθενείς που πάσχουν από άσθμα κατά την διάρκεια της νοσηλείας τους στις οικίες τους. Στην περίπτωση αυτή, οι παράμετροι που ελέγχονται είναι η σκόνη και τα σωματίδια που υπάρχουν εντός του σπιτιού καθώς επίσης και η αποφυγή παθητικού καπνίσματος. Σχετικά

με θέματα ασφαλείας σε βιομηχανίες τροφίμων ο *Hayes (1997)* παρουσιάζει την χρήση  $\bar{x}$  και CUSUM διαγραμμάτων ελέγχου στην παρακολούθηση του κρίσιμου σημείου δεδομένων το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντική μέτρηση στα συστήματα διοίκησης υγείας. Καταγράφεται ότι η εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου, προσφέρει σημαντικά οφέλη για τους καταναλωτές και πάντα σε σχέση με την ασφάλεια και την υγιεινή των τροφίμων που καταναλώνουν.

Ο *Green (1999)* παρουσιάζει την χρήση διαγραμμάτων ελέγχου στον κλάδο παροχής υπηρεσιών υγείας και πιο συγκεκριμένα σε ψυχιατρικά κέντρα. Ειδικότερα, αποδεικνύεται ότι η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου για τον έλεγχο και την παρακολούθηση του αριθμού των εξιτηρίων των ασθενών, μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της ικανότητας του προσωπικού να παρέχει πιο ποιοτικές υπηρεσίες. Ο *Sulek (1995)* χρησιμοποιεί  $\bar{x}$  διαγράμματα ελέγχου για να αναλύσει την αποτελεσματικότητα ενός προγράμματος ποιοτικής βελτίωσης στον κλάδο της λιανικής πώλησης φαγητού. Τα διαγράμματα ελέγχου είναι βασισμένα σε δύο λόγους: το σύνολο πωλήσεων προς την συνολική μισθοδοσία των υπαλλήλων και τον λόγο του συνολικού αριθμού πελατών προς τις ώρες απασχόλησης των εργαζομένων. Η ανάλυση αποδεικνύει ότι η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου παρέχει μια απλή και συνάμα ισχυρή τεχνική για την παρακολούθηση της επίδρασης που έχει η εφαρμογή προγραμμάτων ποιοτικής βελτίωσης σε διαδικασίες που αφορούν παροχή υπηρεσιών.

Οι *Jennings & Drake (1997)* προτείνουν την χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου στην παρακολούθηση των παραμέτρων που καθορίζουν την απόδοση εργαλειομηχανών. Οι *Paul & Barnett (1995)* σημειώνουν ότι τα διαγράμματα ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον έλεγχο και στην βελτίωση των εργαστηριακών μετρήσεων με την προϋπόθεση ότι λαμβάνεται υπόψη η συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων. Σε διαφορετική περίπτωση, είναι πολύ πιθανόν να προκύψουν ενδείξεις για μετρήσεις χαμηλής ποιότητας ή να δοθούν λανθασμένες ενδείξεις για διαδικασία εκτός ελέγχου.

Οι *Gardiner & Mitra (1994)* προτείνουν την χρήση διαγραμμάτων ελέγχου για την βέλτιστη εξυπηρέτηση των πελατών σε ταμείο τραπέζης. Συγκεκριμένα τέσσερις παράγοντες της διαδικασίας: ο μέσος χρόνος αναμονής, η τυπική απόκλιση του χρόνου αναμονής, ο αριθμός των προσερχόμενων πελατών και ο αριθμός των αναμονών που ξεπερνούν τα τρία λεπτά παρακολουθούνται μέσα από την χάραξη διαγραμμάτων ελέγχου. Οι *Jensen & Markland (1996)*, χρησιμοποιούν διαγράμματα ελέγχου για την αξιολόγηση της ικανοποίησης φοιτητών σε ένα διεθνές πανεπιστήμιο όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών πληροφορικής. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται διάγραμμα ελέγχου πολλαπλών χαρακτηριστικών μέτρησης για την αναγνώριση ικανοποίησης και μη ικανοποίησης για το σύνολο της προσφερόμενης υπηρεσίας σε μεμονωμένους φοιτητές. Για τους φοιτητές εκείνους που βρέθηκαν εκτός ορίων στο παραπάνω διάγραμμα, ένα νέο διάγραμμα κατασκευάσθηκε προκειμένου να αναγνωρισθεί η αιτία της μη ικανοποίησης.



## 2.2 Δειγματοληψία Αποδοχής

Μια από τις σύγχρονες εφαρμογές της δειγματοληψίας αποδοχής παρουσιάζεται στο άρθρο των *Chen, Yeh & Yang (2004)*. Συγκεκριμένα, οι συγγραφείς προτείνουν ένα μοντέλο για την αξιολόγηση της απόδοσης των προμηθευτών μιας εταιρείας στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και η παράμετρος του ποσοστού αποδοχής παρτίδων μέσα από διαδικασία δειγματοληψίας αποδοχής. Η δειγματοληψία αποδοχής των εισερχόμενων πρώτων υλών δεν προλαμβάνει μόνο την παραγωγή μη συμμορφούμενων προϊόντων αλλά επιπλέον χρησιμοποιείται για την αποφυγή προμηθευτών που παραδίδουν πρώτες ύλες κακής ποιότητας και κατ'επέκταση οδηγούν στην παραγωγή προϊόντων που δεν καλύπτουν τις προκαθορισμένες προδιαγραφές.

Σε άρθρο των *Tumer & Huff (2002)*, τονίζεται η χρήση του 100% ελέγχου σε ορισμένες περιπτώσεις μηχανισμών όπου δεν υπάρχουν περιθώρια αστοχίας των υλικών από τα οποία απαρτίζεται. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η περίπτωση του συστήματος μετάδοσης κίνησης των ελικοπτέρων όπου οποιαδήποτε αστοχία υλικών ή τμημάτων έχει ολέθριες συνέπειες. Για τον λόγο αυτό δεν υπάρχουν περιθώρια απλής παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας και ετεροχρονισμένων διορθωτικών κινήσεων αλλά επιβάλλεται ο 100 % έλεγχος.

Μια εξέλιξη του κλασσικού διπλού δειγματοληπτικού σχεδίου κατά Dodge-Romig βασιζόμενη στην ασαφή λογική αναπτύσσεται από τους *Wang και Chen (1997)*. Συγκεκριμένα, η διαφορά του μοντέλου που αναπτύσσεται από το κλασσικό είναι ότι στο εξελιγμένο δεν απαιτείται αυστηρή ικανοποίηση ανισοτικών σχέσεων κάτω από το ρίσκο του καταναλωτή αλλά γύρω από αυτό. Αυτή η χαλαρή συνθήκη είναι η όλη βάση του ασαφούς σχεδιασμού του μοντέλου. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζει μια τέτοια εξέλιξη είναι ότι είναι μια γενίκευση του αρχικού μοντέλου. Στη συνέχεια, το δειγματοληπτικό σχέδιο που αναπτύσσεται παίρνει τη μορφή ασαφούς μαθηματικού προβλήματος που μπορεί να λυθεί μόνο με αριθμητικές μεθόδους. Για την επίδειξη της λειτουργίας του μοντέλου παρατίθεται ένα

αριθμητικό παράδειγμα ενώ γίνεται σύγκριση του αναπτυχθέντος σχεδίου και του κλασσικού Dodge-Romig δειγματοληπτικού σχεδίου.

Ο συνδυασμός της δειγματοληψίας αποδοχής με τα διαγράμματα ελέγχου απασχολεί τους *Suresh & Devaarul (2002)*. Οι συγγραφείς κάνουν λόγο για μικτές διαδικασίες δειγματοληψίας αποδοχής οι οποίες συνδυάζουν μεθόδους ελέγχου διαδικασιών και δειγματοληψίας αποδοχής. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος της ποιότητας του προϊόντος πραγματοποιείται σε δύο στάδια εκ των οποίων το πρώτο περιλαμβάνει έλεγχο της ποιότητας της διαδικασίας μέσω χρήσης διαγραμμάτων ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης και το δεύτερο (εφόσον βέβαια η παρτίδα δεν είναι αποδεκτή) αναφέρεται στην εφαρμογή δειγματοληψίας αποδοχής με μέτρηση. Το αποτέλεσμα, το οποίο χαρακτηρίζεται ως μικτά δειγματοληπτικά σχέδια (*mixed sampling plans*), επωφελείται των πλεονεκτημάτων των δύο μεθόδων στατιστικού ελέγχου επιτυγχάνοντας ένα αποτελεσματικό και μειωμένου κόστους έλεγχο των παραγόμενων προϊόντων.

Η ελαχιστοποίηση του κόστους της δειγματοληψίας πάντα αποτελούσε πεδίο έρευνας και ανάπτυξης προσπάθειών (*Wall και Elshenway, 1989*). Κάποιες προσπάθειες αφορούν την ελαχιστοποίηση του κόστους με διαδοχικές μεταβολές των παραμέτρων του σχεδίου. Άλλες μέθοδοι αφορούν το θέμα της διάθεσης των απορριφθέντων τεμαχίων. Τα παραδοσιακά σχέδια προέβλεπαν είτε επανακατεργασία των απορριφθέντων είτε απόρριψη. Τα σχέδια τριών πράξεων σε αυτές τις δύο επιλογές προσθέτουν τη διαλογή των απορριφθέντων ανάλογα με το τι σχέση έχει το ποσοστό των ελαττωματικών με προκαθορισμένες τιμές.

Νεότερες μέθοδοι ελαχιστοποίησης περιλαμβάνουν στο συνολικό σχεδιασμό τα λάθη του ανθρώπου κατά τον έλεγχο και οφείλονται σε παράγοντες όπως η κούραση, η θερμοκρασία, η ώρα της ημέρας, η πολυπλοκότητα του αντικειμένου, η προκατάληψη του ελεγκτή, το ποσοστό των ελαττωματικών και η εκτίμηση του για τη σημασία των ελαττωματικών. Διαφορετικές μέθοδοι χρησιμοποιούν χάρτες ελέγχου και θεωρία ανίχνευσης σημάτων ενώ άλλες βασίζονται στο δυναμικό προγραμματισμό για να επιτευχθεί το μέσο επίπεδο εξερχόμενης ποιότητας που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος. Τέλος, υπάρχουν και μέθοδοι που στηρίζονται

στην ανατροφοδότηση πληροφοριών από προηγούμενους ελέγχους για την απόφαση αποδοχής της παρτίδας προκειμένου να επιτευχθεί ένα οικονομικό σχέδιο.

Πολλές προσεγγίσεις έχουν γίνει από ερευνητές όσον αφορά στο θέμα της επιλογής μεταξύ επιθεώρησης και διαγραμμάτων ελέγχου. Σε μια από αυτές (*Tannock, 1997*), συγκρίνεται το κόστος μεταξύ 100% ελέγχου και εφαρμογής διαγραμμάτων ελέγχου. Αποδεικνύεται ότι όσο λιγότερες είναι οι κοινές αιτίες μεταβλητότητας μιας διαδικασίας ή αντίστοιχα όσο περισσότερες είναι οι ειδικές αιτίες, τόσο μεγαλύτερο είναι το οικονομικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει η εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου σε σχέση με τον 100% έλεγχο. Η υπεροχή αυτή των διαγραμμάτων ελέγχου προϋποθέτει βέβαια την προσεχτική επιλογή του χαρακτηριστικού μέτρησης που θα επιλεγεί προς παρακολούθηση.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίηση επιθεωρήσεων για αποδοχή ή απόρριψη παρτίδων διαδραματίζει η απόδοση και η προσωπικότητα των επιθεωρητών που διενεργούν τον έλεγχο των δειγμάτων. Σε άρθρο του, οι *Hsu & Chan (1994)* ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα και ειδικότερα εξετάζουν δύο επιμέρους ζητήματα:

- α) τον προσδιορισμό της επίπτωσης στην απόδοση των επιθεωρητών κατά την διάρκεια οπτικών επιθεωρήσεων όσο αυξάνεται ο αριθμός των ειδών ελαττωμάτων.
- β) την μελέτη της προσωπικότητας ενός ανταγωνιστικού επιθεωρητή χρησιμοποιώντας παραμετρική ανάλυση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2<sup>ου</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Ø Ipek (1999), "The application of statistical process control", *Minerals Engineering*, Vol. 12, No. 7, pp. 827 – 835
- Ø Maul G. P., Richardson R. & Jones B. (1996), "Statistical process control applied to gas metal arc welding", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 31, No ½, p.p. 253 – 256.
- Ø Cook G.E. Maxwell, J.E. Barnett R. J. & Strauss A. M. (1997), "Statistical process control application to weld process", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 2, pp. 454 – 463.
- Ø Boggs P. B., Wheeler D., Washburne W. F. & HAYATI F. (1998), "Peak expiratory flow rate control chart in asthma care", *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, Vol. 81, No. 6, p.p. 552 – 562.
- Ø Green R. S. (1999), "The application of statistical process control to manage global client outcomes in behavioural healthcare", *Evaluation and Program Planning*, Vol. 22, p.p. 199 – 210
- Ø Sulek J. M., Lind M. R. & Maruchok A. S. (1995), "Assessing the outcomes of quality improvement interventions: the role of x chart methodology", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 12, No. 9, p.p. 170 – 182
- Ø Jennings A. D. & Drake D. R., (1997), "Machine tool condition monitoring using statistical quality control charts" *International Journal of Tools Manufacture Design, Research and Application*, Vol. 37, No. 9, p.p. 1243 – 1249.
- Ø Paul W. L. & Barnett N. S. (1995), "Control Charting Instrumental Analysis" *Laboratory Automation and Information Management*, Vol. 31, p.p. 141 – 148
- Ø Gardiner S. C. and Mitra A. (1994), "Quality control procedures to determine staff allocation in a bank", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 11, No 1, p.p. 6 – 21.

- Ø Jensen J. B. & Markland R.E. (1996), "Improving the application of quality conformance tools in service firms", *Journal of Services Marketing*, Vol. 10, No. 1 p.p. 33 – 55.
- Ø Woodall, W. H. (2000). "Control Charting Based on Attribute Data: Bibliography and Review", *Journal of Quality Technology*, 29, 172-183.
- Ø Su Fen Yang & Chan – Ming Yang. (2004), " Economic statistical process control for over – adjusted process mean", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 21, No 4, pp. 412 – 424
- Ø Tsai C. F., Bowerman C. & Tait J. (2000), "A dynamic adaptive system for economic design of multiple control charts", *Integrated Manufacturing Systems*, 11/4, pp. 277 - 285
- Ø Roes, K.C.B. & Dorr, D. (1997), "Implementing statistical process control in service processes", *International Journal of Quality Science*, Vol. 2, No. 3, pp. 149 – 166
- Ø Yan Hu, (2001), "Cause – classified Control Chart and its application", *Managerial Auditing Journal*, 16/4, pp. 227 – 233.
- Ø Xie M., Goh T. N. & Cai D. Q., (2001), "An integrated SPC approach for manufacturing processes", *Integrated Manufacturing Systems*, 12/2, pp. 134 – 138.
- Ø Chan C.-I., Tse A.C.B. & Yim F.H.K., (2003), "Comparing and combining individual x – charts & x – bar charts", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 20, No. 7, pp. 827 – 835
- Ø Antony J. & Taner T., (2003), "A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control", *Business Process Management*, Vol. 9, No. 4, pp. 473 – 489
- Ø Ribeiro J. L. D., Schwengber C. & Frittsch C., (2001), "Integrated process control", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 18, No. 4, pp. 444 – 464
- Ø Gittlow H. S., (2001), "Viewing statistics from a quality control perspective", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 18, No. 2, pp. 169 – 179

- Ø Luo H. & Wu Z., (2002), "Optimal np control charts with variable sample sizes or variable sampling intervals", *Economic Quality Control*, Vol. 17, No. 1, pp. 39 – 61
- Ø Mason B. & Antony J., (2000), "Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality", *Managing Service Quality*, Vol. 10, No. 4, pp. 233 – 238.
- Ø Turnes O., Ho Lee L., & Imana C. R., (2002), "Comparison of semi – economic  $\bar{x}$  and  $\bar{x}-R$  control charts for non – ageing and ageing process", *Economic Quality Control*, Vol. 17, No 1, pp. 99 – 112
- Ø Morton A. P., Whitby M., (2001), "The application of statistical process control charts to the detection and monitoring of hospital – acquired infections", *Journal of Quality in Clinical Practice*, Vol. 21, Issue 4, pp. 112 – 117
- Ø Suresh K. K. & Devaarul S., (2002), "Combining process and product control for reducing sampling costs", *Economic Quality Control*, Vol. 17, No. 2, pp. 187 – 194
- Ø Tannock J. D. T., (1997), "An economic comparison of inspection and control charting using simulation", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 14, No. 7, pp. 687 – 699
- Ø Hsu S. H. & Chan T., (1994), "A study of inspection performance and the personality of quality inspectors", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 11, No. 5, pp. 55 – 65
- Ø Wang R. C. & Chen C. H., (1995), "Economic statistical np control chart designs based on fuzzy optimization", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 12, No. 1, pp. 82 – 92
- Ø Tumer I. Y. & Huff E. M., (2002), "On the effects of production and maintenance variations on machinery performance", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 8, No. 3, pp. 226 - 238
- Ø Chen C. C., Yeh T. M. & Yang C. C., (2004), "Customer – focused rating system of supplier quality performance", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 15, No. 7, pp. 599 – 606

- Ø Daya M. B. & Duffuaa S. O., (2003), "Integration of Tagushi' s loss function approach in the economic design of  $\bar{x}$  chart", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 20, No. 5, pp. 607 – 619
- Ø Brimson J. A., (2004), "Stop cane dancing and integrate statistical process control into your process based management system", *Measuring Business Excellence*, Vol. 8, No. 2, pp. 15 – 22
- Ø Michael S. Wall & Ahmad K. Elshennawy, 1989, Economically – Based Acceptance Sampling Plans, *Computers Ind. Engin.* Vol 17, No 1-4, pp. 340 – 346.
- Ø Hayes G.D., Seallan A.J. & Wong J. H. F. (1997), "Applying statistical process control to monitor and evaluate the hazard analysis critical control point hygiene data", *Food Control*, Vol. 8, No. 4, pp. 173 – 176
- Ø Grigg, N. P. (1998), "Statistical process control in UK food production: an overview", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 15, No. 2. pp. 223 - 238

### 3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

#### 3.1 Εισαγωγή

Η δειγματοληψία αποδοχής αποτελεί μια εκ των τριών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στον Στατιστικό Έλεγχο Ποιότητας. Οι πρώτες εφαρμογές της δειγματοληψίας αποδοχής πραγματοποιήθηκαν στην δεκαετία του 1920 από τους Dodge και Romig στα εργαστήρια της Bell Telephone των Η.Π.Α. ενώ ραγδαία ανάπτυξη σημείωσαν με το τέλος του Β΄ παγκόσμιου πολέμου. Σκοπός της δειγματοληψίας αποδοχής αποτελεί ο διαχωρισμός παρτίδων σε αποδεκτές και απορριπτέες και κατ' ουσία αποτελεί εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων όπου η μηδενική υπόθεση είναι ότι η ποιότητα της παρτίδας είναι αποδεκτή (*Juran, Gryna, 1993*).

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή δειγματοληψίας αποδοχής είναι ότι θα πρέπει να είναι τυχαία και αντιπροσωπευτική. Ο αριθμός των μονάδων που περιλαμβάνει ένα δείγμα λέγεται μέγεθος του δείγματος ενώ ο αριθμός των μονάδων που περιλαμβάνει μια παρτίδα χαρακτηρίζεται ως μέγεθος της παρτίδας. Οι ελεγχόμενες παρτίδες αποτελούνται είτε από εξαρτήματα και πρώτες ύλες, είτε από ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα. Σε κάθε περίπτωση όμως εφαρμογής, θα πρέπει οι μονάδες της παρτίδας να είναι του ίδιου τύπου, κατηγορίας και μεγέθους και να έχουν παραχθεί με τις ίδιες ουσιαστικά συνθήκες κατά την ίδια χρονική περίοδο. Σε αντίθετη περίπτωση, τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας δεν είναι αξιόπιστα και ασφαλή (*Tipet, 1958*). Ακολούθως παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά της δειγματοληψίας αποδοχής.



## **3.2 Χαρακτηριστικά δειγματοληψίας αποδοχής**

### **3.2.1 Ορισμός**

Δειγματοληψία αποδοχής χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία αξιολογείται ένα τμήμα (ποσοστό) της παρτίδας ενός συγκεκριμένου προϊόντος με σκοπό την αποδοχή ή την απόρριψη της παρτίδας αυτής. Η αξιολόγηση αυτή αφορά σε ένα από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι η μεταβλητότητα της παραγωγικής διαδικασίας ακολουθεί τους ίδιους κανόνες για όλες τις μονάδες που έχουν προκύψει από την ίδια πηγή, συμπεραίνουμε τον λόγο για τον οποίο αρκεί η εξέταση ενός και μόνο δείγματος από την παρτίδα προκειμένου να εξαχθεί απόφαση για την αποδοχή ή απόρριψη της παρτίδας. Επίσης, δειγματοληψία αποδοχής μπορεί να θεωρηθεί η επιθεώρηση του δείγματος κατά την οποία η απόφαση έχει να κάνει με το αν το προϊόν θα γίνει αποδεκτό ή θα απορριφθεί (*Feigenbaum, 1991*).

### **3.2.2 Σημεία εφαρμογής και στάδια δειγματοληψίας αποδοχής**

Η δειγματοληψία αποδοχής εφαρμόζεται σε τρία σημεία της παραγωγικής διαδικασίας, στην παραλαβή των πρώτων υλών από τους προμηθευτές, κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας καθώς επίσης και με την ολοκλήρωση της παραγωγής των προϊόντων. Σε ότι αφορά στον δειγματοληπτικό έλεγχο κατά την παραλαβή των πρώτων υλών, σκοπός είναι να ελεγχθούν οι προκαθορισμένες προδιαγραφές προτού η παραγωγική διαδικασία προσθέσει προστιθέμενη αξία στο προϊόν. Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν απαιτείται καθόλου έλεγχος στις πρώτες ύλες ενός προμηθευτή είτε λόγω του αξιόλογου ιστορικού ποιότητας που τον χαρακτηρίζει ή όταν δεν έχει νόημα από οικονομική άποψη ο δειγματοληπτικός έλεγχος. Σε άλλες περιπτώσεις απαιτείται 100% έλεγχος, συνήθως εξαιτίας του ιδιαίτερα υψηλού κόστους ορισμένων πρώτων υλών ή των κρίσιμων προδιαγραφών ασφαλείας που απαγορεύουν την παραλαβή παρτίδας που δεν πληροί τις προκαθορισμένες προδιαγραφές.

Κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, ορισμένες αιτίες όπως η απορύθμιση των μηχανών ή η μειωμένη προσοχή του εργατικού δυναμικού οδηγούν στην παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων, προϊόντων δηλαδή που δεν πληρούν τις προκαθορισμένες προδιαγραφές. Σκοπός της δειγματοληψίας αποδοχής είναι ο έλεγχος, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, σε διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας προκειμένου να ανιχνευθεί αν το προϊόν, στο συγκεκριμένο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας που γίνεται ο έλεγχος, πληροί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Τέλος, η δειγματοληψία αποδοχής μπορεί να εφαρμοσθεί και στο τελικό στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας όπου ο παραγωγός επιβεβαιώνει την συμμόρφωση του τελικού προϊόντος στις προκαθορισμένες προδιαγραφές. Ανεξάρτητα από το στάδιο στο οποίο πραγματοποιείται η δειγματοληψία αποδοχής, εκείνο που είναι πρώτιστης σημασίας είναι η σωστή επιλογή του χαρακτηριστικού ποιότητας που θα ελεγχθεί καθώς επίσης και ο βαθμός ελέγχου σε συνάρτηση πάντα με το αντίστοιχο κόστος που προκύπτει.

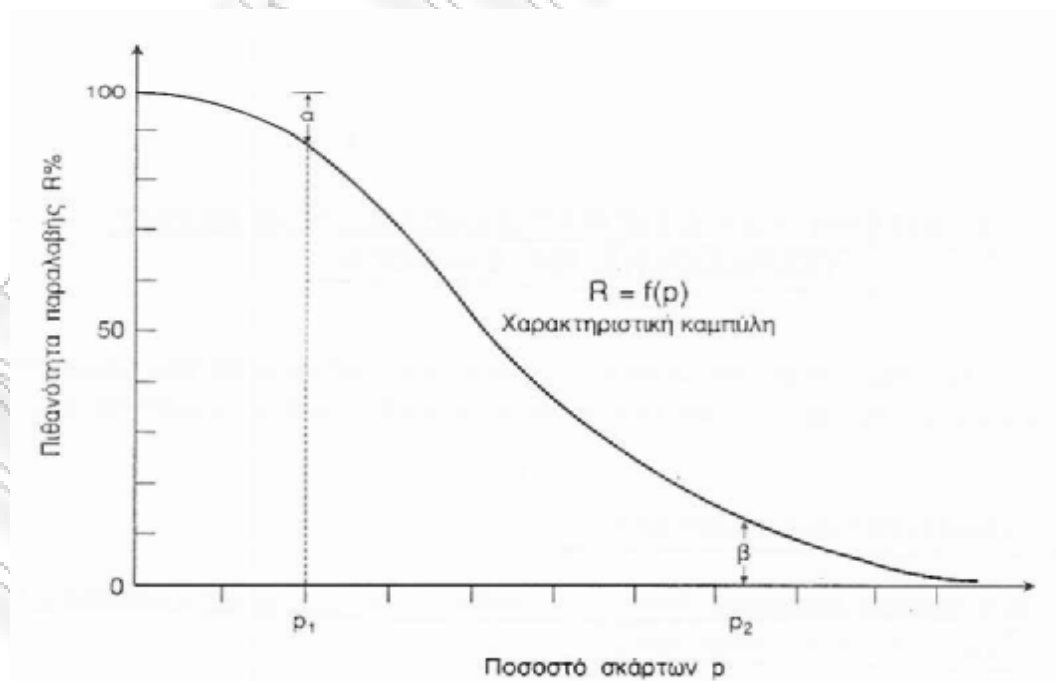
Η δειγματοληψία αποδοχής είναι μια διαδικασία η οποία συνίσταται από επιμέρους στάδια με αρχικό την επιλογή του ποιοτικού χαρακτηριστικού βάση του οποίου θα εξετασθεί το προϊόν και τελικό την απόφαση για απόρριψη ή αποδοχή της παρτίδας. (Evans, Lindsay, 1999). Αναλυτικά, τα στάδια τα οποία ακολουθούνται στην δειγματοληψία αποδοχής είναι τα ακόλουθα:

- Ø Καθορίζουμε το ποιοτικό χαρακτηριστικό το οποίο θα ελεγχθεί στο υπό εξέταση προϊόν.
- Ø Καθορίζουμε τις προδιαγραφές τις οποίες θα πρέπει να πληροί το επιλεγμένο χαρακτηριστικό του προϊόντος.
- Ø Επιλέγουμε δείγμα από τις αφιχθείσες παρτίδες.
- Ø Ελέγχουμε τις μονάδες του δείγματος ως προς το υπό εξέταση χαρακτηριστικό.
- Ø Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του ελέγχου με τις προδιαγραφές που έχουμε ήδη θέσει (κριτήρια αποδοχής).

- Ø Στην περίπτωση όπου το δείγμα πληροί τις προδιαγραφές, αποδεχόμαστε την παρτίδα και την προωθούμε στην παραγωγική διαδικασία ή την διανέμουμε στον πελάτη ανάλογα με το σημείο εφαρμογής της δειγματοληψίας.
- Ø Αν το δείγμα δεν πληροί τις προδιαγραφές απορρίπτουμε την παρτίδα, και στη συνέχεια λαμβάνεται απόφαση για την τύχη της απορριπτόμενης παρτίδας.

### 3.2.3 Χαρακτηριστική καμπύλη δειγματοληψίας

Είναι η καμπύλη που προκύπτει αν παρασταθεί σε ένα διάγραμμα η πιθανότητα παραλαβής της μερίδας συναρτήσει του ποσοστού σκάρτων που εμπεριέχεται σε αυτήν. Με άλλα λόγια, η χαρακτηριστική καμπύλη δίνει την πιθανότητα παραλαβής μερίδων  $R$  για τα διάφορα ποσοστά σκάρτων  $p$ . Η μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης εξασφαλίζει οι καλές μερίδες (μικρό ποσοστό σκάρτων) να έχουν μεγάλη πιθανότητα παραλαβής και συνεπώς μικρή πιθανότητα απόρριψης και οι κακές μερίδες (μεγάλο ποσοστό σκάρτων) να έχουν μικρή πιθανότητα παραλαβής και συνεπώς μεγάλη πιθανότητα απόρριψης.



Σχήμα 1 Χαρακτηριστική καμπύλη δειγματοληψίας

Παρατηρούμε ότι όσο μικρή και αν είναι η πιθανότητα εύρεσης σκάρτων, υπάρχει μια πιθανότητα απόρριψης της μερίδας και ότι όσο μεγάλο και αν είναι το ποσοστό σκάρτων υπάρχει πάντοτε μια πιθανότητα παραλαβής της μερίδας. Η πιθανότητα απόρριψης μιας μερίδας με μικρό καθορισμένο ποσοστό σκάρτων  $p_1$  ονομάζεται κίνδυνος του παραδίδοντος ( $\alpha$ ) και η πιθανότητα παραλαβής μιας μερίδας με μεγάλο καθορισμένο ποσοστό σκάρτων  $p_2$  ονομάζεται κίνδυνος του παραλαμβάνοντος ( $\beta$ ). Η ικανότητα του ελέγχου να διαχωρίζει τις καλές από τις κακές μερίδες καλείται αποτελεσματικότητα του ελέγχου. Από την χαρακτηριστική καμπύλη προκύπτει ότι η αποτελεσματικότητα αυτή αυξάνει όσο μικρότεροι είναι οι κίνδυνοι  $\alpha$  και  $\beta$ . Μείωση των κινδύνων  $\alpha$  και  $\beta$  είναι δυνατή με αύξηση του μεγέθους του δείγματος και κατά συνέπεια με ανάλογη αύξηση του κόστους ελέγχου.

Ο σύγχρονος σχεδιασμός των δειγματοληπτικών σχεδίων λαμβάνει υπόψη τα ρίσκα αυτά και τροποποιεί ανάλογα τα σχέδια ώστε να επιτυγχάνεται σχετική ισορροπία μεταξύ των ρίσκων και του κόστους δειγματοληψίας (*Juran, Gryna, 1974*). Ιδανική μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης είναι η ορθογωνική. Με αυτή παραλαμβάνονται όλες οι μερίδες που έχουν ποσοστό σκάρτων μικρότερο από δεδομένο ποσοστό και απορρίπτονται όλες οι μερίδες που έχουν ποσοστό σκάρτων μεγαλύτερο από το ποσοστό αυτό. Η μορφή της ορθογωνικής καμπύλης αντιστοιχεί σε έλεγχο 100% και με την προϋπόθεση ότι δεν διαπράττονται σφάλματα από τους ελεγκτές.



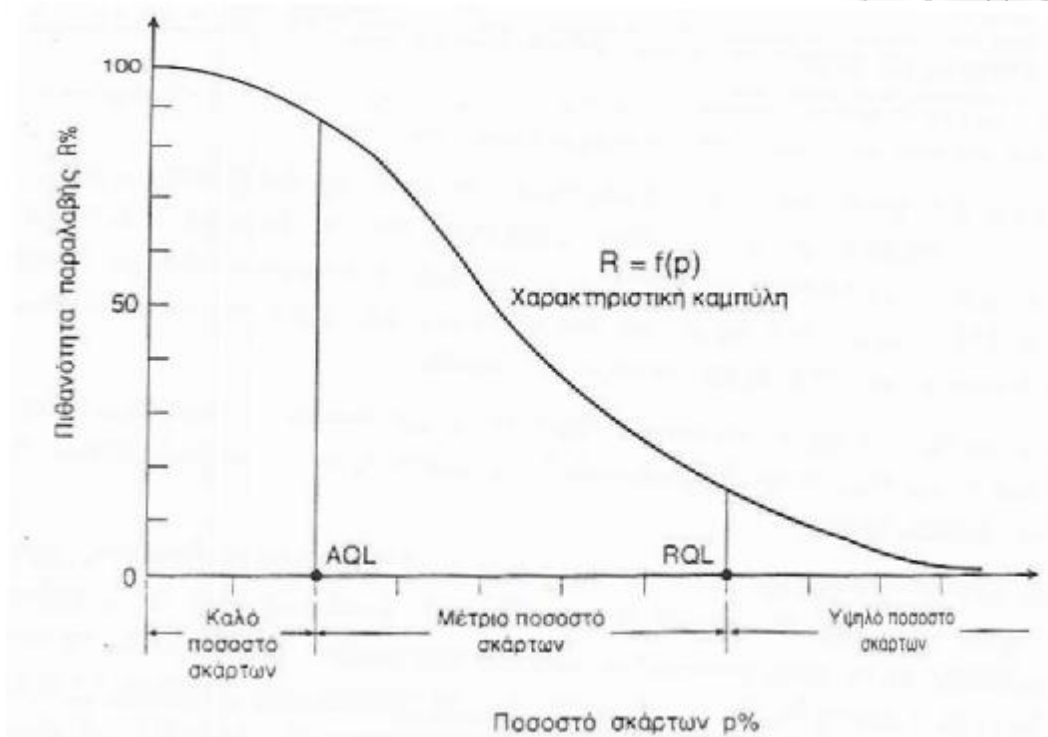
Σχήμα 2 Ορθογωνική καμπύλη δειγματοληψίας

### 3.2.4 Αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL) και απορριπτέα στάθμη ποιότητας (RQL)

Σε κάθε χαρακτηριστική καμπύλη διακρίνουμε τρεις περιοχές ποιότητας, που καθορίζονται από την Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας (Acceptance Quality Level) και την Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (Rejected Quality Level). Οι τρεις αυτές περιοχές ποιότητας αντιστοιχούν σε καλό, μέτριο και υψηλό ποσοστό σκάρτων αντίστοιχα. Η Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας (AQL) αντιστοιχεί σε μεγάλη πιθανότητα παραλαβής, ενώ η Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (RQL) αντιστοιχεί σε μικρή πιθανότητα παραλαβής. Η πιθανότητα απόρριψης μερίδας που έχει ποσοστό σκάρτων ίσο με την Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας (AQL) είναι συνήθως 95% και η πιθανότητα παραλαβής της μερίδας που έχει ποσοστό σκάρτων ίσο προς την Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (RQL) είναι συνήθως 10%.

Οι δύο αυτές παράμετροι χρησιμοποιούνται στην δημιουργία ενός δειγματοληπτικού σχεδίου μαζί με τις επιθυμητές τιμές των ρίσκων. Επιπλέον είναι δυνατόν τα ρίσκα αυτά να κρατηθούν σε χαμηλές τιμές εφόσον στην διαδικασία λήψης απόφασης για την απόρριψη ή αποδοχή της παρτίδας ληφθεί υπόψη και το ιστορικό ποιότητας του προμηθευτή (Charbonneau, 1978). Οι τιμές των ρίσκων δεν

είναι σταθερές αλλά αυξάνονται με την αύξηση του δείγματος. Με την χρήση τυποποιημένων σχεδίων, είναι δυνατή η εκτίμηση των ρίσκων αυτών κάτι που δεν είναι εφικτό χρησιμοποιώντας τυχαία δειγματοληπτικά σχέδια.

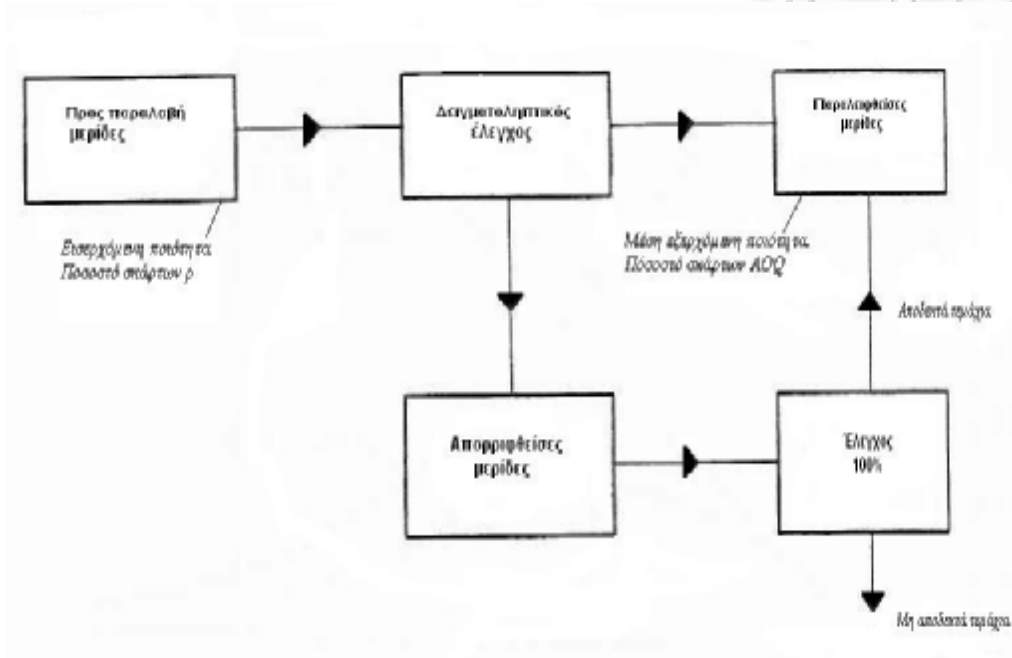


Σχήμα 3 Αποδεκτή και Απορριπτέα στάθμη ποιότητας (Πηγή: [www.samplingsplans.org](http://www.samplingsplans.org))

### 3.2.5 Μέση εξερχόμενη ποιότητα (AOQ)

Από τον αριθμό των μερίδων που υποβάλλονται σε δειγματοληπτικό έλεγχο παραλαβής, άλλες απορρίπτονται και άλλες παραλαμβάνονται. Μετά τον έλεγχο, έχουμε γενικά ένα διαφορετικό ποσοστό σκάρτων, από εκείνο που είχαμε πριν από τον έλεγχο, γιατί τα σκάρτα που βρέθηκαν κατά τον έλεγχο επιστρέφονται ή αντικαθίστανται με αποδεκτά. Η ποιότητα των προϊόντων πριν από τον έλεγχο ονομάζεται εισερχόμενη ποιότητα και η μετά τον έλεγχο εξερχόμενη ποιότητα. Υπό ορισμένες προϋποθέσεις είναι δυνατόν να υπολογιστεί η εξερχόμενη ποιότητα για διάφορες τιμές της εισερχόμενης ποιότητας.

Για ευκολία υπολογισμού ας υποθέσουμε ότι στις προδιαγραφές καθορίζεται ότι οι απορριπτόμενες μερίδες υποβάλλονται σε Έλεγχο 100% και ότι τα σκάρτα που βρίσκονται κατά τον έλεγχο αντικαθίστανται με καλά. Όμοια αποτελέσματα προκύπτουν και στην περίπτωση που είναι διάφορη η τύχη της απορριπτόμενης μερίδας.



Σχήμα 4 Μέση εξερχόμενη ποιότητα (AOQ)

Ας υποτεθεί ότι η προς παραλαβή ποσότητα, με ποσοστό σκάρτων  $p$  (εισερχόμενη ποιότητα) είναι διαχωρισμένη σε μερίδες που υποβάλλονται σε δειγματοληπτικό έλεγχο. Στην πιθανότητα σκάρτων  $p$  αντιστοιχεί η πιθανότητα παραλαβής  $R_p$  και απόρριψης  $R_a$  και είναι  $R_p + R_a = 1$ . Συνεπώς από τις μερίδες που υποβάλλονται σε δειγματοληπτικό έλεγχο παραλαβής ποσοστό  $R_p$  θα παραληφθεί και ποσοστό  $R_a$  θα απορριφθεί. Αν το σύνολο των μερίδων είναι  $m$  τότε θα παραληφθούν  $mR_p$  μερίδες και θα απορριφθούν  $mR_a$  μερίδες. Οι μερίδες  $mR_a$  θα υποστούν έλεγχο 100% και μετά θα έχουν μόνο καλά τεμάχια. Συνεπώς, στο σύνολο των μερίδων  $m = mR_p + mR_a$  θα υπάρχουν σκάρτα τεμάχια μόνο στις  $mR_p$  μερίδες σε ποσοστό  $p$ . Αν τώρα υποτεθεί ότι το μέγεθος κάθε μερίδας είναι  $M$ , τότε η Μέση Εξερχόμενη Ποιότητα, μετά τον έλεγχο είναι ίση με:

$$AOQ = \frac{m \times R_p \times M \times p}{M \times m} = R_p \times p$$

### 3.2.6 Κόστος δειγματοληψίας αποδοχής

Ας θεωρήσουμε τα εξής μεγέθη:

- § Μέγεθος δείγματος  $Q$
- § Μέγεθος παρτίδας  $n$
- § Ποσοστό ελαττωματικών μονάδων στην παρτίδα  $p$
- § Πιθανότητα αποδοχής παρτίδας  $P_a$
- § Κόστος μη ανίχνευσης ελαττωματικών προϊόντων ανά μονάδα  $k_2$
- § Κόστος ελέγχου ανά μονάδα  $k_1$

Το συνολικό κόστος  $C_i$  για κάθε δειγματοληψία, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος ελέγχου και το κόστος από τυχόν μη αναγνώριση ενός ελαττωματικού προϊόντος, θα προκύπτει ως εξής (*Juran, Gryna, 1993*):

- Για μηδενικό έλεγχο:  $C_i = Q p k_2$
- Για έλεγχο 100 %:  $C_i = Q k_1$
- Για δειγματοληψία αποδοχής:  $C_i = n k_1 + (Q - n) p k_2 P_a + (Q - n) (1 - P_a) k_1$

Στα παραπάνω κόστη συμπεριλαμβάνεται τόσο το κόστος ελέγχου όσο και το κόστος από πιθανή μη αναγνώριση ενός ελαττωματικού προϊόντος. Σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου γίνεται χρήση του προτύπου MIL-STD-105D, ορίζεται το Νεκρό Σημείο (N.Σ.) ως το επί τοις εκατό ποσοστό του κόστους ανίχνευσης ελαττωματικών τεμαχίων με επιθεώρηση και του κόστους επανόρθωσης όταν ελαττωματικές μονάδες ανιχνεύονται (*Feigenbaum, 1991*). Η παραπάνω εκτίμηση των *Juran & Gryna* για το κόστος δειγματοληψίας αποδοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα οικονομικά μοντέλα προσδιορισμού ποσότητας αναπαραγωγής αναδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο τις σύγχρονες εφαρμογές της δειγματοληψίας αποδοχής (*Hanna & Jobe, 1996*).



### 3.2.7 Τύχη απορριπτόμενων μερίδων

Μετά την δειγματοληψία και την εξέταση του δείγματος, οι προς παραλαβή μερίδες θα καταταγούν σε αποδεκτές και μη αποδεκτές μερίδες. Οι μεν αποδεκτές παρτίδες προωθούνται στην παραγωγική διαδικασία ή στην διανομή, ανάλογα με το σημείο στο οποίο πραγματοποιείται ο δειγματοληπτικός έλεγχος, οι δε απορριπτόμενες ακολουθούν διαδικασίες που έχουν προβλεφθεί και καθορισθεί από τις προδιαγραφές. Οι λύσεις που ακολουθούνται σε αυτές τις περιπτώσεις και οι οποίες εξαρτώνται από την αξία του προϊόντος και την κατά μονάδα δαπάνη του ελέγχου είναι οι εξής:

- Έλεγχος 100%

Ο έλεγχος αυτός διαχωρίζει τις μονάδες σε αποδεκτές οι οποίες παραλαμβάνονται και σε μη αποδεκτές οι οποίες επιστρέφονται. Υπάρχει επίσης το ενδεχόμενο της αντικατάστασης των σκάρτων με καλά έτσι ώστε να αποφεύγεται η μείωση της παραλαμβανόμενης ποσότητας.

- Επανακατεργασία

Οι παρτίδες οδηγούνται σε επανακατεργασία και στην συνέχεια επανυποβάλλονται σε δειγματοληπτικό έλεγχο παραλαβής. Σε αυτή την περίπτωση είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ελαχιστοποιηθεί το κόστος επανακατεργασίας των παρτίδων αυτών. Το κρίσιμο σημείο είναι η εύρεση της βέλτιστης τιμής της διαδικασίας που θα οδηγήσει στην μεγιστοποίηση του κέρδους που προκύπτει από την πώληση των προϊόντων μείον το κόστος κατεργασίας, του ελέγχου και της επανακατεργασίας (*Pulak & Sultan, 1996*).

- Απόρριψη και καταστροφή

Το σύνολο των τεμαχίων των απορριπτόμενων παρτίδων απορρίπτονται και καταστρέφονται.

- Παραλαβή με ειδικούς όρους.

Τα τεμάχια των παρτίδων παραλαμβάνονται αφού προηγουμένως έχουν καθορισθεί οι όροι παραλαβής οι οποίοι εμπεριέχουν κάποιο είδος ποινής, με επικρατέστερο την μειωμένη τιμή.

### 3.3 Δειγματοληψία αποδοχής με χρήση κατανομών

#### 3.3.1 Εισαγωγή

Η χρήση των κατανομών έχει βρει πολλές πρακτικές εφαρμογές στην επίλυση προβλημάτων που εμφανίζονται στον στατιστικό έλεγχο ποιότητας. Ειδικότερα, οι κατανομές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μεγέθη των οποίων η πραγματική κατανομή είναι άγνωστη όπως το ποσοστό ελαττωματικών προϊόντων στην παρτίδα, το ποσοστό των ελαττωματικών που ανιχνεύεται, το ποιοτικό χαρακτηριστικό ενδιαφέροντος και η διασπορά της παραγωγικής διαδικασίας. Οι πιο σημαντικές κατανομές διακριτών μεταβλητών είναι η υπεργεωμετρική, η διωνυμική, η γεωμετρική και η Poisson. Όσον αφορά στις κατανομές συνεχών τυχαίων μεταβλητών, οι ευρέως χρησιμοποιούμενες είναι η ομοιόμορφη, η κανονική, και η εκθετική.

Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου η υποκατάσταση της ακριβής μορφής της διασποράς με υποθέσεις κατανομών δεν οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα. Συχνά η παράμετρος που ενδιαφέρει θεωρείται ότι κατανέμεται κανονικά, συνήθως μέσα στην παρτίδα. Από την άλλη πλευρά, οι παρτίδες είναι πεπερασμένες και μπορούν να θεωρηθούν μόνο τυχαία δείγματα ενός κανονικά κατανεμημένου υπερπληθυσμού όπως η παραγωγική διαδικασία (Seidel, 1997). Ενώ όμως για μεγάλες παρτίδες θα μπορούσε να θεωρηθεί εύλογη μια τέτοια προσέγγιση, τα πράγματα διαφοροποιούνται στην περίπτωση όπου έχουμε μικρές παρτίδες. Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι για μικρούς πληθυσμούς το μέγιστο ρίσκο των δειγματοληπτικών σχεδίων με άγνωστη διασπορά είναι μικρότερο και γενικότερα έχει πιο ομαλή μορφή από τα αντίστοιχα με γνωστή διασπορά. Επίσης τα δειγματοληπτικά σχέδια με άγνωστη διασπορά είναι πιο ευαίσθητα στο ποσοστό των ελαττωματικών του δείγματος παρά τα αντίστοιχα με γνωστή διασπορά. Άρα για την περίπτωση των μικρών παρτίδων, η άγνοια της διασποράς δίνει πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα και με μικρότερη ευαισθησία σε σφάλματα μοντελοποίησης.

### 3.3.2 Κανονική κατανομή

Αποτελεί την πλέον σημαντική συνεχή κατανομή διότι περιγράφει ικανοποιητικά κατανομές που εμφανίζονται σε πάσης φύσεως πειράματα και δειγματοληψίες. Την μαθηματική διατύπωση της κανονικής κατανομής έκανε ο Γάλλος DeMoivre το 1733, ωστόσο η κανονική κατανομή ονομάζεται και κατανομή Gauss προς τιμή του Gauss (1777-1855) ο οποίος κατέληξε στην διατύπωση της ίδιας κατανομής μετά από μελέτη των σφαλμάτων που παρουσιάζονται σε επανειλημμένες μετρήσεις ενός μεγέθους.

Σε αρκετές περιπτώσεις για λόγους μαθηματικής απλοποίησης κατά το σχεδιασμό ενός δειγματοληπτικού σχεδίου μεταβλητών θεωρείται ότι το προς μέτρηση χαρακτηριστικό κατανέμεται κανονικά. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να οδηγήσει σε εντελώς εσφαλμένες εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης του ποσοστού των ελαττωματικών (Suresh & Ramanathan, 1997). Ας υποθέσουμε την περίπτωση ενός σχεδίου όπου το εξεταζόμενο χαρακτηριστικό κατανέμεται συμμετρικά αλλά όχι κανονικά. Συμπεραίνεται ότι αν χρησιμοποιηθεί μια συμμετρική αλλά όχι κανονική κατανομή, θα προκύψει ένα σχέδιο που δίνει τιμές του ρίσκου του παραγωγού ικανές για να παρέχουν μια καλύτερη διακρισιμότητα από την αντίστοιχη της κανονικής. Επιπλέον, προκύπτει ότι η χρήση της κανονικής κατανομής οδηγεί σε μεγαλύτερο απαιτούμενο μέγεθος δείγματος από ότι η χρήση οποιασδήποτε άλλης συμμετρικής. Τέλος μια τέτοια κατανομή χρησιμοποιείται στην παραγωγή οικονομικών σχεδίων, παρέχοντας καλύτερα αποτελέσματα από τις εναλλακτικές κατανομές.

### 3.3.3 Διωνυμική κατανομή

Η διωνυμική κατανομή χρησιμοποιείται ευρύτατα στον ποιοτικό έλεγχο για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων τυχαίας δειγματοληψίας από πρακτικά άπειρους πληθυσμούς με ποσοστό ελαττωματικών  $p$ . Τυπική περίπτωση αποτελεί η ανάλυση δειγμάτων από μια συνεχή παραγωγική διαδικασία που λειτουργεί

παράγοντας σταθερό ποσοστό ελαττωματικών  $p$ , οπότε η πιθανότητα οποιοδήποτε προϊόν της διαδικασίας αυτής να είναι ελαττωματικό είναι ίση με  $p$ . Η διωνυμική κατανομή μπορεί να θεωρηθεί και σαν οριακή περίπτωση της υπεργεωμετρικής κατανομής καθώς το μέγεθος  $N$  του πληθυσμού τείνει στο άπειρο, ενώ το ποσοστό ελαττωματικών του πληθυσμού παραμένει σταθερό.

Επιπλέον, η διωνυμική κατανομή χρησιμοποιείται για την παραγωγή οικονομικών σχεδίων αλλά και για την προσέγγιση του αριθμού των ελαττωματικών που ανιχνεύονται ως εναλλακτική της υπεργεωμετρικής σε περίπτωση υπολογισμού των τροποποιημένων ρίσκων (*Graves, Murphy & Ringuest, 1996*). Η χρησιμότητα των τροποποιημένων αυτών ρίσκων είναι ότι μπορούν να εξασφαλίζουν οικονομικά σχέδια με τα μικρότερα μεγέθη δείγματος τα οποία έχουν ήδη υπερεκτιμηθεί από άλλες αιτίες όπως η χρησιμοποίηση της διωνυμικής ως προσέγγιση της υπεργεωμετρικής κατανομής.

#### **3.3.4 Κατανομή Poisson**

Πειράματα στα οποία το εξεταζόμενο μέγεθος  $x$  μπορεί να είναι ο αριθμός των συμβάντων εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος ή ο αριθμός των συμβάντων εντός καθορισμένου χώρου, συχνά ονομάζονται πειράματα Poisson προς τιμή του Γάλλου μαθηματικού Poisson. Το χρονικό διάστημα μπορεί να είναι οποιουδήποτε εύρους (δευτερόλεπτο, ημέρα, χρόνος κ.λ.π.) όπως επίσης και ο χώρος (γραμμή, επιφάνεια, όγκος) ή εναλλακτικά ένα τεμάχιο υλικού ή ακόμη το σύνολο των προϊόντων μιας παραγωγής. Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα πειραμάτων Poisson είναι ο αριθμός των τηλεφωνικών κλήσεων ενός τηλεφώνου σε μια ώρα, ο αριθμός των ραδιενεργών διασπάσεων ενός παρασκευάσματος εντός ενός λεπτού, ο αριθμός των σωματιδίων ρύπων σε δείγμα όγκου  $1 \text{ m}^3$  ή ο αριθμός των σκάρτων δοκιμίων σε μια παραγωγή  $n$  προϊόντων. Γενικά, ένα πείραμα Poisson έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- ∅ Ο αριθμός των γεγονότων που συμβαίνουν εντός χρονικού διαστήματος είτε εντός καθορισμένου χώρου, είναι ανεξάρτητος οποιοδήποτε άλλων γεγονότων που ενδεχομένως συμβαίνουν σε άλλο χώρο ή τόπο.
- ∅ Η πιθανότητα να συμβεί ένα μοναδικό γεγονός σε ένα πολύ μικρό διάστημα χρόνου ή χώρου είναι σταθερή και ανάλογη προς το υπόψη διάστημα και δεν εξαρτάται από τον αριθμό των γεγονότων που συμβαίνουν εκτός του υπόψη διαστήματος.
- ∅ Η πιθανότητα να συμβεί και δεύτερο γεγονός στο υπόψη πολύ μικρό χρονικό διάστημα είναι αμελητέα.

Η κατανομή αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία σε περιπτώσεις ποιοτικού ελέγχου διαδικασιών είτε ως προσέγγιση της Διωνυμικής, είτε ως αυτόνομη με το σκεπτικό ότι μπορεί να προσεγγίζει τους μηχανισμούς που προκαλούν τα ελαττωματικά προϊόντα. Επίσης, η κατανομή αυτή χρησιμοποιείται εναλλακτικά στο σχεδιασμό οικονομικών σχεδίων με αποτελέσματα ανάλογα της διωνυμικής (*Lindley & Singpurwalla, 1991*).

### **3.3.5 Κατανομή t-Student**

Η κατανομή αυτή διατυπώθηκε από τον W.S. Gosset, σε δημοσίευσμά του με το ψευδώνυμο "Student" από το οποίο πήρε και τη χαρακτηριστική ονομασία. Η κατανομή αυτή έχει ομοιότητα με την τυποποιημένη κανονική κατανομή στο γεγονός ότι και οι δύο είναι συμμετρικές περί τον άξονα των τεταγμένων τους, όπου εμφανίζουν την μέγιστη τιμή τους.

Η κατανομή αυτή χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει την άγνωστη διασπορά μιας παραγωγικής διαδικασίας σε εργασία που αφορά την ταύτιση δύο χαρακτηριστικών καμπύλων. (*Bravo & Wetherill, 1980*). Τα δειγματοληπτικά σχέδια που προκύπτουν από πρότυπα μεταβλητών και ιδιοτήτων θα πρέπει να είναι εναλλάξιμα και άρα οι χαρακτηριστικές καμπύλες τους να έχουν ένα ποσοστό ταύτισης. Η ταύτιση των καμπύλων σε ένα μόνο σημείο που είχε επιτευχθεί στο παρελθόν, οδηγούσε σε

μεγάλες διαφορές στα άλλα σημεία. Η κατανομή αυτή χρησιμοποιείται επίσης για να περιγράψει την κατανομή του χαρακτηριστικού που μας ενδιαφέρει ως εναλλακτική μορφή της κανονικής που πολλές φορές χρησιμοποιείται εσφαλμένα. Προκύπτει ότι η χρήση αυτής της κατανομής, όπως και κάθε άλλης συμμετρικής, παρέχει ικανή διακρισιμότητα και απαιτεί μικρότερα μεγέθη δείγματος σε σχέση με την κανονική.

### **3.3.6 Κατανομή Laplace**

Η κατανομή αυτή χρησιμοποιείται όταν η πραγματική κατανομή της παραγωγικής διαδικασίας δεν είναι κανονική και αναζητούνται εναλλακτικές κατανομές για να την περιγράψουν. Σε μια τέτοια περίπτωση η χρήση της κανονικής κατανομής μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Η κατανομή Laplace επιλέγεται επειδή είναι ανάλογη της εκθετικής της οποίας η πυκνότητα είναι λιγότερο διευρυμένη από την κανονική.

### **3.3.7 Κατανομή Weibull**

Η καλή λειτουργία των σύγχρονων τεχνολογικών κατασκευών εξαρτάται από την αξιοπιστία ενός πλήθους συνιστωσών ή εξαρτημάτων που τις συγκροτούν. Όμοια εξαρτήματα που λειτουργούν κάτω από τις ίδιες συνθήκες είναι δυνατόν να αστοχήσουν σε διαφορετικούς και κατά κανόνα απροσδιόριστους χρόνους. Η διάρκεια ζωής ενός εξαρτήματος, μετρούμενη από κάποια χρονική αφετηρία έως ότου το εξάρτημα αστοχήσει, αποτελεί στοχαστική μεταβλητή που είναι δυνατόν να ακολουθεί την κατανομή Weibull. Ομοίως και η κατανομή Weibull χρησιμοποιείται για ανάλογες με την Λογαριθμική-Κανονική κατανομή με παρόμοια αποτελέσματα (Schneider, 1989). Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται πάντως με τη χρήση αυτής της κατανομής είναι μεγαλύτερες ενώ τα μεγέθη του δείγματος που απαιτούνται μικρότερα.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Ø Samuel B. Graves and Jeffrey L. Ringuest, (1996), "Producer' s and Consumer' s Risk when proportion defective is a random variable", *Decisions Sciences*, Vol. 22, pp. 753 – 770.
- Ø Wilfried Seidel, (1997), "A possible way out of the pitfall of acceptance sampling by variables: Treating variances as unknown", *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol. 25, pp. 207 – 216
- Ø Charbonneau, H. C., Webster, G. L., (1978), "Industrial quality control, Prentice-Hall", Inc., U.S.A., pp.138-140.
- Ø Evans, J. R. & Lindsay, W. M., (1999), "The management and control of quality", 4th edition., South Western College Publishing, U.S.A., pp. 567-568.
- Ø Feigenbaum, A. V., (1991), "Total quality control, 3rd edition revised", Mc Graw-Hill International editions, U.S.A., pp. 465-529.
- Ø Juran, J. M., Gryna, F. M. Jr., (1993), "Quality planning and analysis", Tata Mc Graw-Hill Publishing Company LTD, New York, pp. 335-341.
- Ø Juran, J. M., Gryna, F. M., (1993), "Quality planning and analysis", 3rd edition., Mc Graw-Hill International editions, U.S.A., pp. 456-459.
- Ø Juran, J. M., Gryna, F. M., Bingham, R. S., (1974), "Quality control handbook", 3rd edition., Mc Graw-Hill, Inc., U.S.A., pp. 24.2-24.8.
- Ø Hanna M. D. & Jobe M. J., (1996), "Including quality costs in the lot – sizing decisions", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13, No. 6, pp. 8 – 17
- Ø Lindley D. V. & Singpurwalla N. D., (1991), "On the evidence needed to reach agreed action between adversaries, with application to acceptance sampling", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 86, No. 416, pp. 933 – 937
- Ø Pulak M. & Sultan K., (1996), "The optimum targeting for a single filling operation with rectifying inspection", *Omega International Journal of Management Science*, Vol. 24, No. 6, pp. 727 – 733



- Ø Tippett L. H. C., (1958), "A guide to acceptance sampling", *Applied Statistics*, Vol. 7, No. 3, pp. 133 – 148
- Ø Suresh, R. & Ramanathan T., (1997), "Acceptance sampling plans by variables for a case of symmetric distribution", *Communication Statistics – Simulation*, Vol. 26, No. 4, pp. 1379 – 1391
- Ø Wetherill G. B. & Bravo P. C. (1980), "The matching of sampling plans and the design of double sampling plans", *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 143, No. 3, pp. 49 – 67
- Ø Schneider H., (1989), "Failure – censored variables sampling plans for lognormal and Weibull distributions", *Tecnometrics*, Vol. 31, No. 9, pp. 199 - 206

## 4. ΕΙΔΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή

Ο δειγματοληπτικός έλεγχος παραδοχής διακρίνεται σε δειγματοληπτικό έλεγχο παραδοχής με μετρήσεις (acceptance sampling by variables) και σε δειγματοληπτικό έλεγχο παραδοχής με διαλογή (acceptance sampling by attributes). Στον δειγματοληπτικό έλεγχο παραδοχής με διαλογή, τα τεμάχια χωρίζονται σε μερίδες, από κάθε μερίδα λαμβάνεται δείγμα ή δείγματα, τα τεμάχια του δείγματος ή των δειγμάτων διαχωρίζονται σε καλά και σκάρτα και αποφασίζεται βάσει του αριθμού των σκάρτων η παραλαβή ή απόρριψη της μερίδας.

Τα χαρακτηριστικά ποιότητας που εκφράζονται από την παρουσία ή την απουσία ορισμένων ιδιοτήτων λέγονται χαρακτηριστικά διαλογής. Ένα χαρακτηριστικό διαλογής έχει μόνο δύο δυνατές τιμές, που συνδέονται με τις δύο δυνατές καταστάσεις: ικανοποιητική και μη ικανοποιητική. Ανάλογα με την τιμή ή κατάσταση του χαρακτηριστικού διαλογής, μια μονάδα προϊόντος κατατάσσεται σε καλή (αποδεκτής ποιότητας) ή ελαττωματική (μη αποδεκτής ποιότητας ως προς το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ποιότητας). Τα χαρακτηριστικά διαλογής είναι από την φύση τους ποιοτικά ή προκύπτουν από την σύγκριση ενός μετρήσιμου μεγέθους με δεδομένες ποσοτικές προδιαγραφές (Hald, 1981).

Είναι αναγκαίο να έχουν καθορισθεί με σαφήνεια οι προδιαγραφές μονάδας των προϊόντων, για να μπορεί να καθορισθεί ποια τεμάχια είναι αποδεκτά και ποια όχι. Συγκεκριμένα, για τον δειγματοληπτικό έλεγχο παραδοχής με διαλογή απαιτείται ο καθορισμός των παρακάτω μεγεθών: το μέγεθος της μερίδας  $M$ , η μέθοδος δειγματοληψίας, το μέγεθος του δείγματος  $N$ , το κριτήριο παραδοχής ή απόρριψης και η τύχη των απορριπτόμενων μερίδων. Κατά τον δειγματοληπτικό έλεγχο παραδοχής με μετρήσεις, τα προς παραλαβή προϊόντα χωρίζονται σε παρτίδες,

από τις οποίες λαμβάνεται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Στην συνέχεια, μετρούνται οι τιμές του εξεταζόμενου χαρακτηριστικού των προϊόντων που έχουν περιληφθεί στο δείγμα και υπολογίζεται η μέση τιμή των τιμών αυτών. Με βάση το ύψος της μέσης τιμής λαμβάνεται η απόφαση για παραλαβή ή αποδοχή της παρτίδας.

Η πλειοψηφία των χαρακτηριστικών ποιότητας είναι χαρακτηριστικά μέτρησης. Όταν το χαρακτηριστικό ποιότητας που πρόκειται να ελεγχθεί με κάποιο σχήμα ελέγχου αποδοχής είναι χαρακτηριστικό μέτρησης, τότε δίνεται η δυνατότητα επιλογής μεταξύ σχήματος ελέγχου με διαλογή όπου δεν καταγράφονται οι ακριβείς τιμές των μετρήσεων αλλά μόνο αν οι μετρήσεις βρίσκονται εντός ή εκτός προδιαγραφών, και σχήματος ελέγχου με μέτρηση, όπου καταγράφονται τα ακριβή αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε μονάδα του δείγματος (*Liederman & Resnikoff, 1955*).

Κατά τα άλλα, υπάρχει ομοιότητα με τον δειγματοληπτικό έλεγχο με διαλογή υφίστανται δηλαδή τα χαρακτηριστικά μεγέθη δειγματοληψίας όπως η καμπύλη δειγματοληψίας. Αν συγκρίνουμε τώρα τα δύο αυτά είδη δειγματοληπτικού ελέγχου, προκύπτει ότι για τους ίδιους κινδύνους  $\alpha$  παραδίδοντος και  $\beta$  παραλαμβάνοντος, τα μεγέθη των δειγμάτων στο δειγματοληπτικό έλεγχο με μετρήσεις είναι πολύ μικρότερα (μέχρι 2 έως 3 φορές) των δειγμάτων του ελέγχου με διαλογή. Αυτό συμβαίνει διότι στον έλεγχο με μετρήσεις, η κάθε τιμή του χαρακτηριστικού του τεμαχίου που προκύπτει από την μέτρηση περιλαμβάνει περισσότερες πληροφορίες από όσες προκύπτουν με την κατάταξη του χαρακτηριστικού. Αυτό δεν σημαίνει ότι ο έλεγχος με μετρήσεις είναι πάντοτε οικονομικότερος από τον έλεγχο με διαλογή. Η μέτρηση συγκρινόμενη με την κατάταξη, διαρκεί περισσότερο χρόνο για την διεξαγωγή της, χρειάζεται ειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό και τα αναγκαία μέσα (όργανα μέτρησης, συσκευές κ.λ.π.) κοστίζουν γενικά περισσότερο.

Το κύριο πλεονέκτημα των σχημάτων ελέγχου ποιότητας αποδοχής με μέτρηση είναι ότι επιτυγχάνουν τις ιδιότητες ορισμένης χαρακτηριστικής καμπύλης με μικρότερο μέγεθος δείγματος από αυτό που θα απαιτούσε το αντίστοιχο σχήμα ελέγχου με διαλογή. Αυτό οφείλεται στο ότι το αποτέλεσμα μιας μέτρησης είναι συγκεκριμένη τιμή και επομένως περιέχει ακριβέστερες πληροφορίες από το αποτέλεσμα μιας διαλογής, που ουσιαστικά είναι ένα εύρος τιμών. Συχνά βέβαια το κόστος ακριβούς μέτρησης ανά μονάδα είναι μεγαλύτερο από το κόστος διαλογής ανά μονάδα. Ωστόσο, η οικονομία ελέγχου που επιτυγχάνεται εξαιτίας του μικρότερου μεγέθους δείγματος κατά τον έλεγχο με μέτρηση αντισταθμίζει πολλές φορές το αυξημένο μοναδιαίο κόστος ελέγχου. Πάντως η προτίμηση προς τη μια ή την άλλη κατηγορία σχημάτων ελέγχου με κριτήριο το κόστος ελέγχου εξαρτάται από τα ειδικά χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα των σχημάτων ελέγχου αποδοχής με μέτρηση είναι ότι οι ακριβέστερες πληροφορίες που περιέχονται στα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για διαγνωστικούς και άλλους σκοπούς.

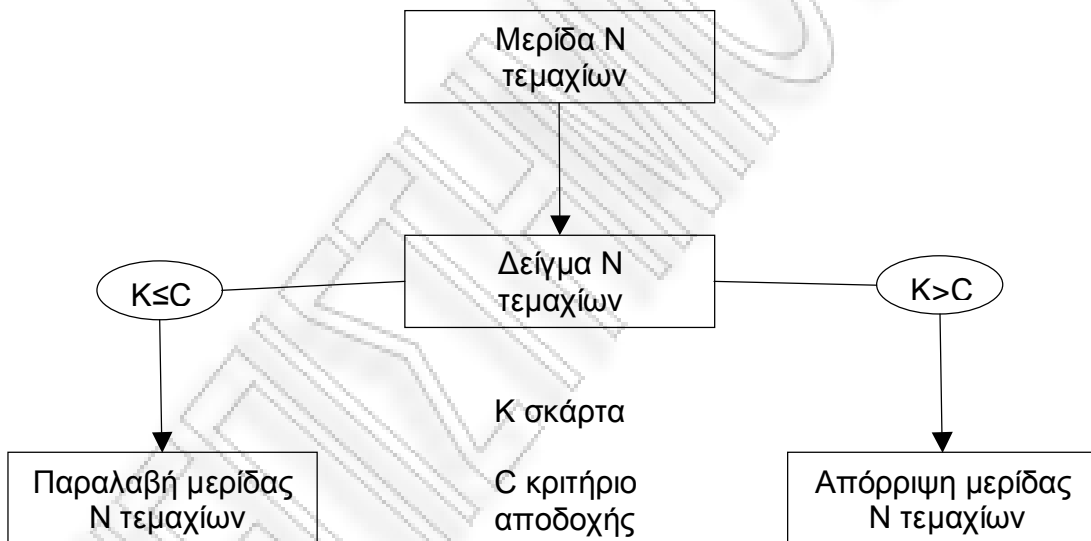
Ένα ακόμη πλεονέκτημα των σχημάτων με μέτρηση είναι η καταλληλότητα τους σε περίπτωση όπου οι ποιοτικές απαιτήσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές. Το σημείο αυτό αποκτά συνεχώς αυξανόμενη σημασία, καθώς η έμφαση που έχει δοθεί τα τελευταία χρόνια στην βελτίωση της ποιότητας έχει σαν αποτέλεσμα η αποδεκτή στάθμη ποιότητας να είναι συχνότερα της τάξης των ελαττωματικών ανά εκατομμύριο αντί του επί τοις εκατό ποσοστού. Σε κλάδους και προϊόντα με τόσο υψηλές προδιαγραφές ποιότητας, τα σχήματα ελέγχου αποδοχής με διαλογή είναι πρακτικά ανεφάρμοστα επειδή απαιτούν υπερβολικά μεγάλα δείγματα. Αποτέλεσμα αυτού είναι στις περιπτώσεις αυτές η χρήση σχημάτων ελέγχου με μέτρηση αποτελεί την μόνη εφικτή λύση.

Συγκριτικά με τον έλεγχο διαλογής, τα σχήματα ελέγχου αποδοχής με μέτρηση έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο από αυτά είναι ότι προϋποθέτουν γνώση της στατιστικής κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας και μάλιστα όλα τα τυποποιημένα σχήματα ελέγχου βασίζονται στην υπόθεση ότι οι

τιμές του χαρακτηριστικού ποιότητας ακολουθούν την κανονική κατανομή. Στην περίπτωση όπου η κατανομή δεν είναι κανονική, τα στατιστικά χαρακτηριστικά των σχημάτων αυτών είναι ενδεχόμενο να αποκλίνουν σημαντικά από τα προδιαγεγραμμένα και τα συμπεράσματα θα είναι τότε λανθασμένα. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι τα σχήματα που βασίζονται σε μέτρηση είναι σχετικά δυσκολότερα στην εφαρμογή τους από ανειδίκευτο προσωπικό. Επιπλέον, όταν το προϊόν ελέγχεται για πολλαπλά χαρακτηριστικά ποιότητας, απαιτούνται ισάριθμα σχήματα ελέγχου αποδοχής με μέτρηση. Αντίθετα, αρκεί ένα μόνο ένα σχήμα ελέγχου με διαλογή στο σύνολο των χαρακτηριστικών ποιότητας, εφόσον ως ελαττωματική μονάδα οριστεί εκείνη που έχει τουλάχιστον ένα από τα χαρακτηριστικά ποιότητας εκτός προδιαγραφών.

## 4.2 Απλή δειγματοληψία

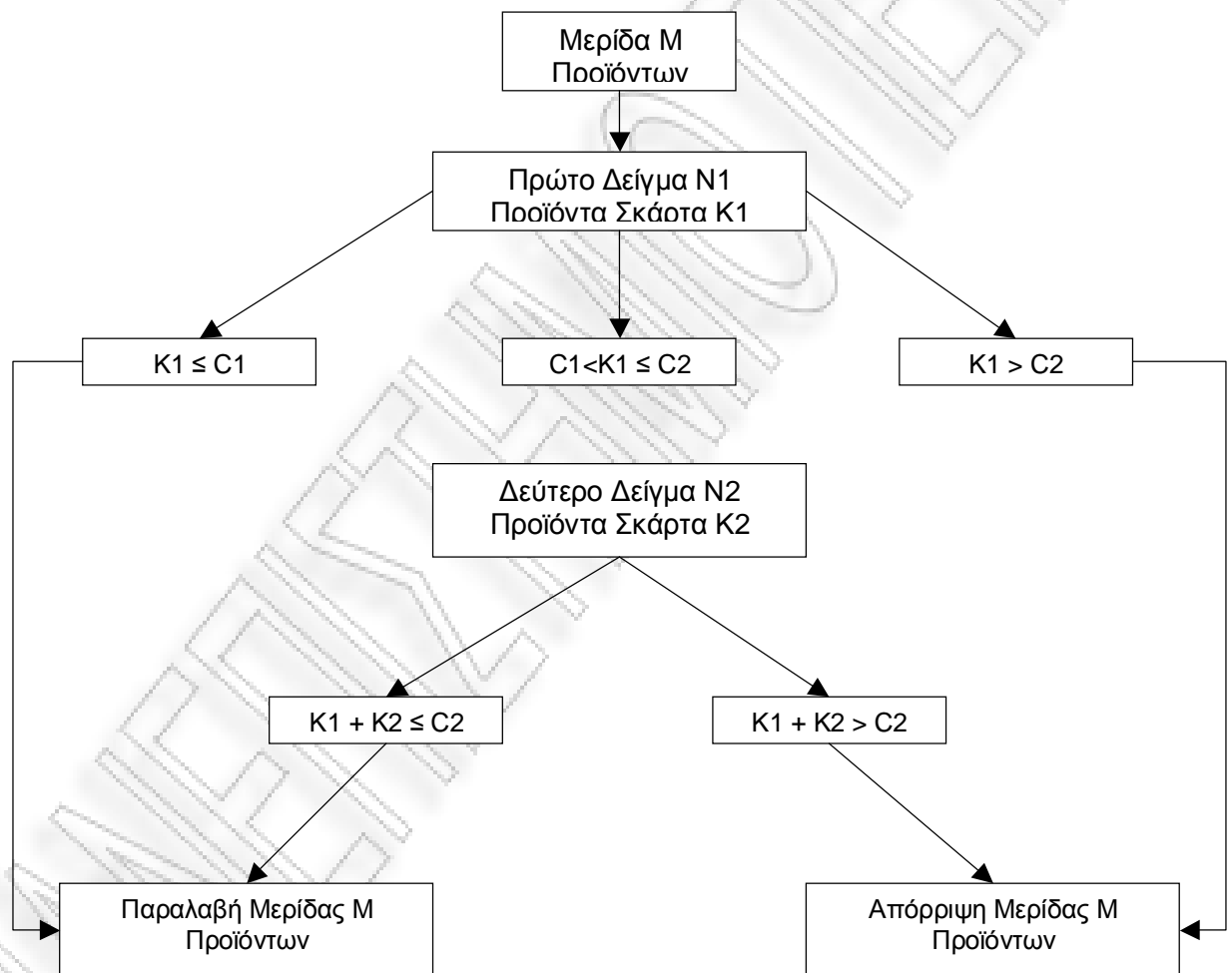
Η απλή δειγματοληψία είναι η πιο απλή μέθοδος δειγματοληπτικού ελέγχου. Με ένα και μόνο δείγμα αποφασίζεται αν θα παραληφθεί ή θα απορριφθεί η μερίδα. Κατά την απλή δειγματοληψία, για να παραληφθεί ή να απορριφθεί ένα πλήθος προϊόντων χωρίζεται σε μερίδες των  $N$  τεμαχίων. Από κάθε μερίδα των  $N$  τεμαχίων λαμβάνεται ένα δείγμα από  $n$  τεμάχια και μετρούνται τα σκάρτα  $K$  σε αυτό. Αν ο αριθμός σκάρτων  $K$  είναι μικρότερος ή ίσος από ένα προκαθορισμένο αριθμό  $C$  (το λεγόμενο και κριτήριο αποδοχής), η μερίδα των  $N$  τεμαχίων παραλαμβάνεται. Σε αντίθετη περίπτωση ( $K > C$ ) η μερίδα απορρίπτεται.



Σχήμα 5 Απλή Δειγματοληψία

### 4.3 Διπλή δειγματοληψία

Κατά τη διπλή δειγματοληψία, αποφασίζεται αν θα παραληφθεί ή απορριφθεί η μερίδα με λήψη και δοκιμή ενός ή το πολύ δύο δειγμάτων. Η διπλή δειγματοληψία έχει έναντι της απλής το πλεονέκτημα ότι με το ίδιο κατά μέσο όρο αριθμό δοκιμών έχουμε καλύτερη μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης δηλαδή μεγαλύτερη προστασία του παραδίδοντος και του παραλαμβάνοντος.



Σχήμα 6 Διπλή Δειγματοληψία

Η μορφή της καμπύλης δειγματοληψίας προσεγγίζει περισσότερο την ιδανική ορθογωνική μορφή. Κατά τη διπλή δειγματοληψία, για να παραληφθεί ή να απορριφθεί ένας μεγάλος αριθμός προϊόντων, χωρίζεται σε μερίδες των M προϊόντων. Από την μερίδα των M προϊόντων λαμβάνεται ένα δείγμα από N<sub>1</sub>

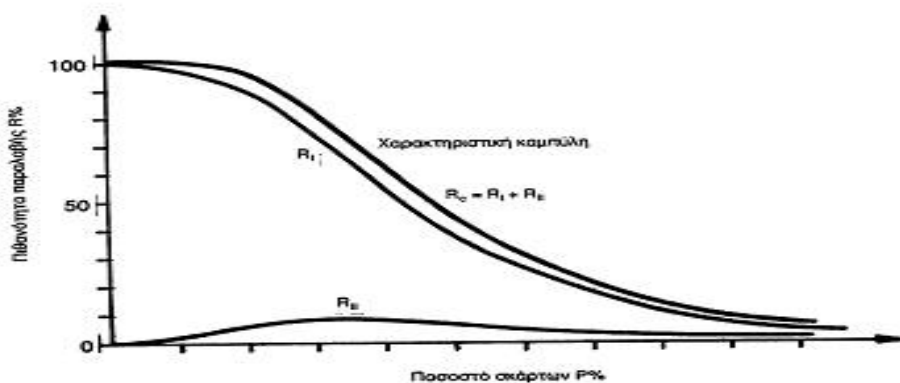
προϊόντα και μετρούνται τα σκάρτα  $K_1$  στο δείγμα αυτό. Αν τα σκάρτα  $K_1$  είναι σε αριθμό μικρότερα ή ίσα με ένα προκαθορισμένο αριθμό  $C_1$ , η μερίδα των  $M$  προϊόντων παραλαμβάνεται. Αν τα σκάρτα  $K_1$  είναι σε αριθμό περισσότερα από ένα προκαθορισμένο αριθμό  $C_2$ , τότε λαμβάνεται και πρόσθετο δεύτερο δείγμα  $N_2$  προϊόντων και μετρούνται τα σκάρτα  $K_2$  σε αυτό. Αν το άθροισμα του αριθμού των σκάρτων του πρώτου δείγματος  $K_1$ , και του αριθμού των σκάρτων του δεύτερου δείγματος  $K_2$ , είναι μικρότερο ή και ίσο προς τον αριθμό  $C_2$  παραλαμβάνεται η μερίδα των  $M$  προϊόντων, διαφορετικά απορρίπτεται.



#### 4.4 Πολλαπλή δειγματοληψία

Η πολλαπλή δειγματοληψία είναι επέκταση της διπλής δειγματοληψίας. Κατά την πολλαπλή δειγματοληψία για να παραληφθεί ή να απορριφθεί ένας μεγάλος αριθμός προϊόντων, τα προϊόντα χωρίζονται σε μερίδες των  $M$ . Από κάθε μερίδα λαμβάνεται ένα πρώτο δείγμα και εφ' όσον ο αριθμός των σκάρτων είναι μικρότερος ενός κάτω ορίου η μερίδα παραλαμβάνεται, αν είναι μεγαλύτερος ενός άλλου άνω ορίου η μερίδα απορρίπτεται. Αν είναι μεγαλύτερος του κάτω ορίου και μικρότερος ή ίσος του άνω ορίου λαμβάνεται και δεύτερο δείγμα. Στο δεύτερο δείγμα μετρείται ο αριθμός των σκάρτων, ο οποίος προστίθεται στον αριθμό των σκάρτων του πρώτου δείγματος και εφ' όσον ο αριθμός αυτός του συνόλου των σκάρτων (πρώτου και δεύτερου δείγματος) βρίσκεται μεταξύ ορισμένων ορίων λαμβάνεται και τρίτο δείγμα. Αν ο αριθμός αυτός βρίσκεται εκτός των ορίων η μερίδα παραλαμβάνεται ή απορρίπτεται ανάλογα εάν ο αριθμός των σκάρτων στο δείγμα είναι μικρότερος του κάτω ορίου ή μεγαλύτερος του άνω ορίου αντίστοιχα.

Το βασικό πλεονέκτημα της πολλαπλής δειγματοληψίας συνίσταται στο ότι τα δείγματα που απαιτούνται σε κάθε στάδιο είναι συνήθως μικρότερα από αυτά που απαιτεί η απλή ή διπλή δειγματοληψία και ως εκ τούτου η πολλαπλή δειγματοληψία είναι σαφώς πιο οικονομική μέθοδος (Duncan, 1986).



Σχήμα 7

Πολλαπλή δειγματοληψία (Πηγή: [www.samplingplans.org](http://www.samplingplans.org))

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ μονού, διπλού και πολλαπλού δειγματοληπτικού σχεδίου

**Πίνακας 1** Σύγκριση μονού, διπλού και πολλαπλού δειγματοληπτικού σχεδίου

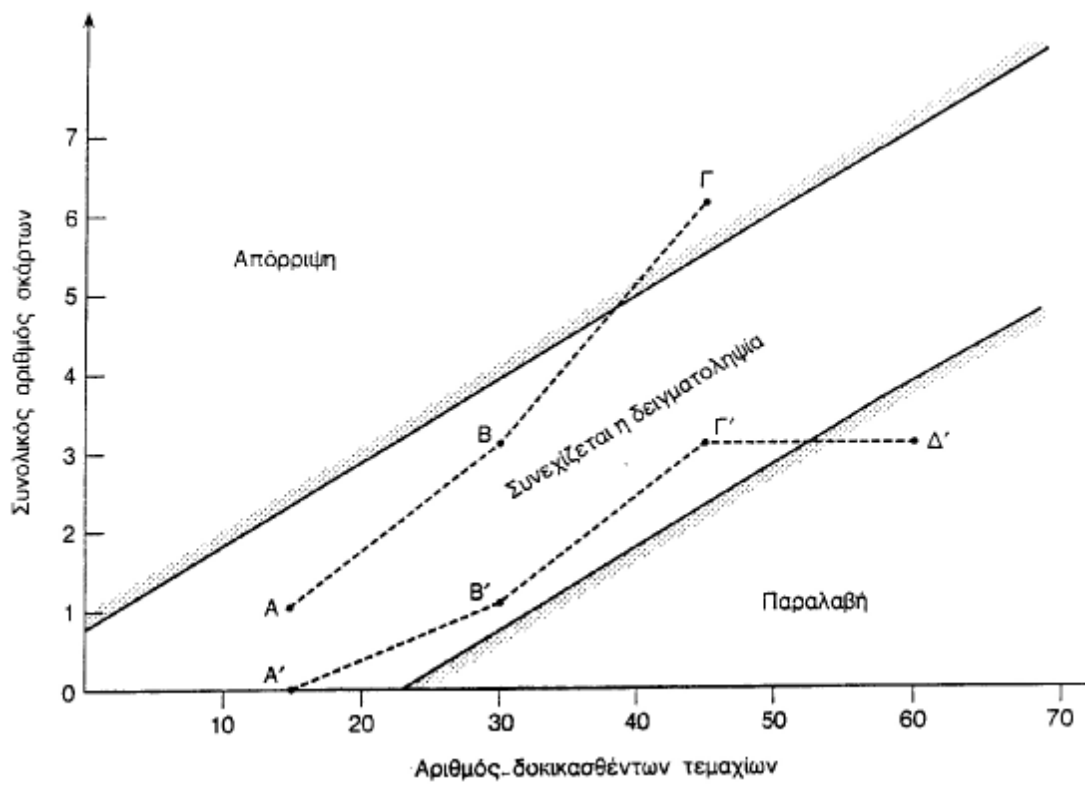
<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονό σχέδιο</b>	<b>Διπλό σχέδιο</b>	<b>Πολλαπλό σχέδιο</b>
<b>Μέγεθος δείγματος ανά παρτίδα</b>	Γενικά μέγιστο	Συνήθως 10 έως 50% του μονού σχεδίου	Συνήθως μικρότερο του διπλού κατά περίπου 30%
<b>Κόστος λειτουργίας</b>	Χαμηλότερο	Υψηλότερο του μονού	Μέγιστο
<b>Πληροφορία που προκύπτει για την παρτίδα</b>	Μέγιστη	Λιγότερη από το μονό	Ελάχιστη
<b>Αποδοχή από τους παραγωγούς</b>	Χαμηλότερη καθώς δεν δίνει δεύτερη ευκαιρία στο δείγμα	Ικανοποιητική	Ελάχιστη καθώς δεν οδηγεί σε αποφάσεις

#### 4.5 Συνεχής δειγματοληψία

Κύριο χαρακτηριστικό της συνεχούς δειγματοληψίας αποτελεί η εναλλαγή του δειγματοληπτικού ελέγχου και του 100% ελέγχου. Αναλυτικότερα, τα προς παραλαβή προϊόντα χωρίζονται και στη μέθοδο αυτή σε μερίδες. Για να παραληφθεί μια μερίδα  $M$  προϊόντων λαμβάνεται ένα μικρό δείγμα και μετριέται ο αριθμός των σκάρτων σε αυτό. Αν ο αριθμός των σκάρτων είναι εκτός ορισμένων ορίων η μερίδα παραλαμβάνεται ή απορρίπτεται, διαφορετικά λαμβάνονται και άλλα δείγματα μέχρις ότου τελικά αποφασιστεί η παραλαβή ή η απόρριψη της μερίδας.

Θεωρητικά, η συνεχής δειγματοληψία συνεχίζεται έως ότου η παρτίδα ελεγχθεί 100%. Πρακτικά όμως, σταματά συνήθως όταν ο αριθμός των δειγμάτων είναι τριπλάσιος του αντίστοιχου αριθμού δειγμάτων που θα είχαν ελεγχθεί σε ένα απλό δειγματοληπτικό σχέδιο. Στην περίπτωση όπου το μέγεθος του δείγματος που επιλέγεται σε κάθε στάδιο είναι μεγαλύτερο του ενός, η διαδικασία χαρακτηρίζεται ως ομαδοποιημένη συνεχής δειγματοληψία. Όταν το μέγεθος του δείγματος που ελέγχεται σε κάθε στάδιο είναι ίσο με ένα, η διαδικασία χαρακτηρίζεται ως τεμάχιο με τεμάχιο συνεχής δειγματοληψία και είναι βασισμένη στο τεστ συνεχούς ποσοστού πιθανότητας (SPRT – Sequential Probability Ratio Test) που διαμορφώθηκε από τον (Wald, 1947).

Η συνεχής δειγματοληψία χρησιμοποιείται σε παραγωγικές διαδικασίες με συνεχή ροή προϊόντων όπου δεν υφίσταται η έννοια της ομοιογενούς παρτίδας. Οι πρώτες εφαρμογές της συνεχούς δειγματοληψίας παρουσιάστηκαν από τον Dodge. Συγκεκριμένα, ανέπτυξε το πρώτο σχέδιο συνεχούς δειγματοληψίας CSP 1 (Continuous Sampling Plan 1) ενώ στην συνέχεια αναπτύχθηκαν παραλλαγές του σχεδίου αυτού όπως CSP 2 και CSP 3. Η διαφοροποίηση των τύπων αυτών έγκειται στον τρόπο εναλλαγής του ελέγχου από δειγματοληπτικό σε 100% έλεγχο (Dodge, 1943).



**Σχήμα 8** Συνεχής δειγματοληψία (Πηγή: [www.samplingplans.org](http://www.samplingplans.org))

#### 4.6 Σύστημα Dodge-Romig

Το σύστημα Dodge-Romig δημιουργήθηκε για να παρέχει σε αυτόν που παραλαμβάνει τη μέγιστη δυνατή προστασία με τον μικρότερο δυνατό αριθμό ελέγχων και αντίστοιχα δοκιμαζόμενων προϊόντων (Tippett, 1958). Στην απλή δειγματοληψία το δείγμα είναι σχεδόν διπλάσιο του πρώτου δείγματος της διπλής δειγματοληψίας (105 έναντι 55), ενώ τα δύο δείγματα της διπλής δειγματοληψίας μαζί δίνουν αριθμό δοκιμαζόμενων προϊόντων 170 έναντι 105 της απλής. Όταν τα προϊόντα έχουν μικρό ή μεγάλο ποσοστό σκάρτων κατά την διπλή δειγματοληψία η απόφαση για παραλαβή ή απόρριψη λαμβάνεται με δοκιμή μόνο 55 προϊόντων ενώ κατά την απλή δειγματοληψία απαιτείται δοκιμή 105 προϊόντων. Όταν όμως οι προς παραλαβή μερίδες έχουν μέτριο ποσοστό σκάρτων τότε κατά την διπλή δειγματοληψία θα χρειασθεί να ληφθούν δύο δείγματα και τελικώς θα δοκιμασθούν 170 προϊόντα έναντι 105 της απλής.

Σε περίπτωση όπου πριν την έναρξη της δειγματοληψίας δεν είναι γνωστό ούτε μπορεί να εκτιμηθεί το μέσο ποσοστό σκάρτων στις μερίδες  $p$ , εκλέγεται το σχέδιο δειγματοληψίας που αντιστοιχεί στην δεξιά στήλη του πίνακα για το μεγάλο  $p$ , που είναι και το αυστηρότερο από τα σχέδια για το ίδιο μέγεθος μερίδας. Στην συνέχεια, όταν εξετασθούν αρκετά προϊόντα γίνεται εκτίμηση του μέσου ποσοστού σκάρτων και το σχέδιο της δειγματοληψίας αναπροσαρμόζεται αναλόγως, με στόχο να γίνει πιο οικονομικό. Η διπλή δειγματοληψία είναι αποτελεσματικότερη για τον ίδιο μέσο αριθμό δοκιμαζόμενων προϊόντων επειδή οι καλές και οι κακές μερίδες παραλαμβάνονται ή απορρίπτονται με λίγες δοκιμές, η δε απόφαση για τις μέτριες μερίδες λαμβάνεται μετά από αρκετές δοκιμές. Από τους πίνακες του συστήματος προκύπτει ότι όταν αυξάνεται το μέγεθος των μερίδων αυξάνεται και το μέγεθος του δείγματος, η αύξηση όμως δεν είναι αναλογική. Για παράδειγμα, αύξηση του μεγέθους της μερίδας από 200 τεμάχια σε 2000, δηλαδή κατά 10 φορές, συνεπάγεται αύξηση του δείγματος από 24 σε 33 τεμάχια, δηλαδή 1,4 φορές (Πίνακας 3.6.1).

Επειδή τα μεγάλα δείγματα δίνουν χαρακτηριστική καμπύλη με κυρτότητα που πλησιάζει προς την ιδανική μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης, δηλαδή την ορθογωνική, επιβάλλεται, πράγμα που ισχύει για όλα τα συστήματα δειγματοληπτικού ελέγχου, οι προς παραλαβή μερίδες να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες. Ο καθορισμός του μεγέθους της μερίδας πρέπει να γίνεται με τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- α) Να εξασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα του λαμβανόμενου δείγματος.
- β) Τα τεμάχια της μερίδας να ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό και οι διαφορές τους να οφείλονται σε τυχαίες και όχι σε συστηματικές αιτίες.
- γ) Το κόστος από τη δοκιμή ή τη καταστροφή των απορριπτόμενων μερίδων να είναι αποδεκτό.

Όπως προκύπτει από τους πίνακες, το μέγεθος του δείγματος για το ίδιο μέγεθος μερίδας αυξάνει ανάλογα προς το μέσο ποσοστό σκάρτων  $p$ , γεγονός που σημαίνει ότι όσο περισσότερα σκάρτα περιέχουν οι προς παραλαβή μερίδες τόσο αυστηρότερος είναι ο έλεγχος. Η παρεχομένη προστασία του παραλαμβάνοντος εξασφαλίζεται είτε με την παραδοχή της απορριπτέας στάθμης (RQL) είτε με την παραδοχή του ορίου της μέσης εξερχόμενης ποιότητας (AOQL). Τα σχέδια δειγματοληψίας, δηλαδή το μέγεθος των δειγμάτων ( $N$ ) και οι αριθμοί παραδοχής ( $C$ ) καθορίζονται με την βοήθεια πινάκων, οι οποίοι διακρίνονται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- Ø Πίνακες απλής δειγματοληψίας με σχέδια που έχουν την ίδια Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (Single Sampling, Lot Tolerance Tables).
- Ø Πίνακες διπλής δειγματοληψίας με σχέδια που έχουν την ίδια Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (Double Sampling, Lot Tolerance Tables).
- Ø Πίνακες απλής δειγματοληψίας με σχέδια που έχουν το ίδιο Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας (Single Sampling, A.O.Q.L. Tables).
- Ø Πίνακες διπλής δειγματοληψίας με σχέδια που έχουν το ίδιο Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας (Double Sampling, A.O.Q.L. Tables).

Πίνακες των κατηγοριών (α) και (β) υπάρχουν για Απορριπτές Στάθμες Ποιότητας (R.Q.L ή L.T.P.D): 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 8% και 10% που αντιστοιχούν σε κίνδυνο παραλαμβάνοντος 0.10.

Πίνακες των κατηγοριών (γ) και (δ) υπάρχουν για Όρια Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας (A.O.Q.L.): 0.1%, 0.25%, 0.75%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 4%, 5%, 7% και 10% που αντιστοιχούν σε κίνδυνο παραλαμβάνοντος 0.10 (Dodge & Romig, 1959). Ενδεικτικά, παραθέτονται οι εξής πίνακες:

Ο πίνακας 4.2 είναι ο πίνακας του συστήματος που αναφέρεται σε απλή δειγματοληψία και Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας RQL = 0.05.

Ο πίνακας 4.3 είναι ο πίνακας του συστήματος που αναφέρεται σε απλή δειγματοληψία και Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας AOQL = 2%.

Ο πίνακας 4.4 είναι ο πίνακας του συστήματος που αναφέρεται σε διπλή δειγματοληψία και Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας AOQL = 2%.

Στο σύστημα Dodge-Romig για να καθοριστούν τα μεγέθη N και C της δειγματοληψίας πρέπει να είναι γνωστά:

- Το μέγεθος της μερίδας M.
- Το μέσο ποσοστό σκάρτων των μερίδων ρ.
- Η μέθοδος δειγματοληψίας.
- Η Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (RQL, LTPD) ή το Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας (AOQL).

Όσον αφορά στην μέθοδο δειγματοληψίας παρέχεται η δυνατότητα, για τα ίδια λοιπά χαρακτηριστικά, εκλογής της απλής ή της διπλής δειγματοληψίας. Για παράδειγμα, με μέγεθος μερίδας 801-1000, μέσο ποσοστό σκάρτων  $\rho = 0.51-100\%$  και Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας 5% το σύστημα καθορίζει:

Απλή Δειγματοληψία

N = 105

C = 2

AOQL = 1.2%

Διπλή δειγματοληψία

N1 = 55

N2 = 115

C1 = 0

C2 = 4

AOQL = 1.4 %

**Πίνακας 2** Απλή δειγματοληψία και Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας RQL = 0.05

Ποσοστό σκάριτων παραλαμβανόμενης μερίδας%	0-0,05			0,06-0,5			0,51-1,00			1,01-1,50			1,51-2,0			2,01-2,50					
	Μέγεθος μερίδων	N	C	AOQL (%)	N	C	AOQL (%)	N	C	AOQL (%)	N	C	AOQL (%)	N	C	AOQL (%)	N	C	AOQL (%)		
1-30		-	0		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-			
31-50	30	0	0,49	30	0	0,49	30	0	0,49	30	0	0,49	30	0	0,49	30	0	0,49	30	0	0,49
51-100	37	0	0,63	37	0	0,63	37	0	0,63	37	0	0,63	37	0	0,63	37	0	0,63	37	0	0,63
101-200	40	0	0,74	40	0	0,74	40	0	0,74	40	0	0,74	40	0	0,74	40	0	0,74	40	0	0,74
201-300	43	0	0,74	43	0	0,74	70	1	0,92	70	1	0,92	95	2	0,99	95	2	0,99	95	2	0,99
301-400	44	0	0,74	44	0	0,74	70	1	0,99	100	2	1,0	120	3	1,1	145	4	1,1	145	4	1,1
401-500	45	0	0,75	75	1	0,95	100	2	1,1	100	2	1,1	125	3	1,2	150	4	1,2	150	4	1,2
501-600	45	0	0,76	75	1	0,98	100	2	1,1	125	3	1,2	150	4	1,3	175	5	1,3	175	5	1,3
601-800	45	0	0,77	75	1	1,0	100	2	1,2	130	3	1,2	175	5	1,4	200	6	1,4	200	6	1,4
801-1000	45	0	0,78	75	1	1,0	105	2	1,2	155	4	1,4	180	5	1,4	225	7	1,5	225	7	1,5
1001-2000	45	0	0,80	75	1	1,0	130	3	1,4	180	5	1,6	230	7	1,7	280	9	1,8	280	9	1,8
2001-3000	75	1	1,1	105	2	1,3	135	3	1,4	210	6	1,7	280	9	1,9	370	13	2,1	370	13	2,1
3001-4000	75	1	1,1	105	2	1,3	160	4	1,5	210	6	1,7	305	10	2,0	420	15	2,2	420	15	2,2
4001-5000	75	1	1,1	105	2	1,3	160	4	1,5	235	7	1,8	330	11	2,0	440	16	2,2	440	16	2,2
5001-7000	75	1	1,1	105	2	1,3	185	5	1,7	260	8	1,9	350	12	2,2	490	18	2,4	490	18	2,4
7001-10000	75	1	1,1	105	2	1,3	185	5	1,7	260	8	1,9	380	13	2,2	535	20	2,5	535	20	2,5
10001-20000	75	1	1,1	135	3	1,4	210	6	1,8	285	9	2,0	425	15	2,3	610	23	2,6	610	23	2,6
20001-50000	75	1	1,1	135	3	1,4	235	7	1,9	305	10	2,1	470	17	2,4	700	27	2,7	700	27	2,7
50001-100000	75	1	1,1	160	4	1,6	235	7	1,9	355	12	2,2	515	19	2,5	770	30	2,8	770	30	2,8



**Πίνακας 3** Απλή δειγματοληψία και Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας AOQL = 2%.

Ποσοστό σκάρτων παραλαμβ. μερίδας ρ (%)	0-0,04			0,05-0,40			0,41-0,80			0,81-1,20			1,21-1,60			1,61-2,00			
	Μέγεθος μερίδας	N	C	RQL (%)	N	C	RQL (%)	N	C	RQL (%)	N	C	RQL (%)	N	C	RQL (%)	N	C	RQL (%)
1-15		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-		-	-	-
16-50	14	0	13,6	14	0	13,6	14	0	13,6	14	0	13,6	14	0	13,6	14	0	13,6	
51-100	16	0	12,4	16	0	12,4	16	0	12,4	16	0	12,4	16	0	12,4	16	0	12,4	
101-200	17	0	12,2	17	0	12,4	17	0	12,2	17	0	12,2	17	0	12,2	17	0	12,2	
201-300	17	0	12,3	17	0	12,3	37		10,2	37	1	10,2	37	1	10,2	37	1	10,2	
301-400	18	0	11,8	18	0	11,8	38		10,0	38	1	10,0	38	1	10,0	60	2	8,5	
401-500	18	0	11,9	18	0	11,9	39		9,8	39	1	9,8	60	2	8,6	60	2	8,6	
501-600	18	0	11,9	18	0	11,9	39		9,8	39	1	9,8	60	2	8,6	60	2	8,6	
601-800	18	0	11,9	40	1	9,6	40		9,6	65	2	8,0	65	2	8,0	85	3	7,5	
801-1000	18	0	12,0	40	1	9,6	40		9,6	65	2	8,1	65	2	8,1	90	3	7,4	
1001-2000	18	0	12,0	41	1	9,4	65	2	8,2	65	2	8,2	95	3	7,0	120	4	6,5	
2001-3000	18	0	12,0	41	1	9,4	65	2	8,2	95	3	8,0	120	4	6,5	180	6	5,8	
3001-4000	18	0	12,0	42	1	9,3	65	2	8,2	95	3	7,0	155	5	6,0	210	7	5,5	
4001-5000	18	0	12,2	42	1	9,3	70	2	7,5	125	4	6,4	155	5	6,0	280	9	5,3	
5001-7000	18	0	12,0	42	1	9,3	95	3	7,0	125	4	6,4	185	6	5,6	280	9	5,1	
7001-10000	42	1	9,3	70	2	7,5	95	3	7,0	155	5	6,0	220	7	5,4	350	11	4,8	
10001-20000	42	1	9,3	70	2	7,6	95	3	7,0	190	6	5,6	290	9	4,9	460	14	4,4	
20001-50000	42	1	9,3	70	2	7,6	125	4	6,4	220	7	5,4	395	12	4,5	720	21	3,9	
50001-100000	42	1	9,3	95	3	7,0	160	5	5,9	290	9	4,9	505	15	4,2	955	27	3,7	

**Πίνακας 4** Διπλή δειγματοληψία και Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας AOQL = 2%.

Ποσοστό σκάρτων παραλαμβανόμενης μερίδας %	0 - 0,04						0,05 - 0,4						0,41 - 0,8							
	1ο Δείγμα n1 c1		2ο Δείγμα n2 n1 + n2 c2				RQL %	1ο Δείγμα n1 c1		2ο Δείγμα n2 n1 + n2 c2				RQL %	1ο Δείγμα n1 c1		2ο Δείγμα n2 n1 + n2 c2			
1 – 15																				
16 – 50	14	0				13,6	14	0				13,6	14	0						13,6
51 – 100	21	0	12	23	1	11,7	21	0	12	23	1	11,7	23	0	23	46	2		10,9	
101 – 200	27	0	28	55	2	9,6	27	0	28	55	2	9,6	27	0	28	55	2		9,6	
201 – 300	29	0	31	60	2	9,1	32	0	48	80	3	8,4	32	0	48	80	3		8,4	
301 – 400	33	0	52	85	3	8,2	33	0	52	85	3	8,2	36	0	69	105	4		7,6	
401 – 500	34	0	56	90	3	7,9	36	0	74	110	4	7,5	60	1	90	150	6		7	
501 – 600	35	0	55	90	3	7,9	37	0	78	115	4	7,4	65	1	95	160	6		6,8	
601 – 800	38	0	82	120	4	7,3	38	0	82	120	4	7,3	70	1	120	190	7		6,4	
801 – 1000	38	0	87	125	4	7,2	70	1	100	170	6	6,5	70	1	145	215	8		6,2	
1001 – 2000	43	0	112	155	5	6,5	80	1	160	240	8	5,8	110	2	205	315	11		5,5	
2001 – 3000	75	1	115	190	6	6,1	115	2	195	310	10	5,3	160	3	310	470	15		4,7	
3001 – 4000	80	1	140	220	7	5,8	120	2	255	372	12	5	235	5	415	650	20		4,3	
4001 – 5000	80	1	175	255	8	5,5	125	2	285	410	13	4,9	275	6	475	750	23		4,2	
5001 – 7000	85	1	205	290	9	5,3	125	2	320	445	14	4,8	280	6	575	855	26		4,1	
7001 – 10000	85	1	210	295	9	5,2	165	3	335	500	15	4,5	320	7	645	965	29		4	
10001 – 20000	90	1	260	350	11	5,1	170	3	425	595	18	4,4	395	9	835	1230	37		3,9	
20001 – 50000	130	2	300	430	13	4,7	205	4	515	720	22	4,3	480	11	1090	1570	46		3,7	
50001 – 100000	135	2	345	480	14	4,5	250	5	615	865	26	4,1	580	13	1460	2040	58		3,5	

**Πίνακας 5** Διπλή δειγματοληψία και Όριο Μέσης Εξερχόμενης Ποιότητας AOQL = 2% (Συνέχεια).

0,81 - 1,20						1,21 - 1,60						1,61 - 2,0					
1ο Δείγμα n1 c1		2ο Δείγμα n2 n1 + n2 c2			RQL %	1ο Δείγμα n1 c1		2ο Δείγμα n2 n1 + n2 c2			RQL %	1ο Δείγμα n1 c1		2ο Δείγμα n2 n1 + n2 c2			RQL %
-					-	-					-	-					-
14	0				13,6	14	0				13,6	14	0				13,6
21	0	12	23	1	11,7	21	0	12	23	1	11,7	23	0	23	46	2	10,9
27	0	28	55	2	9,6	27	0	28	55	2	9,6	27	0	28	55	2	9,6
29	0	31	60	2	9,1	32	0	48	80	3	8,4	32	0	48	80	3	8,4
33	0	52	85	3	8,2	33	0	52	85	3	8,2	36	0	69	105	4	7,6
34	0	56	90	3	7,9	36	0	74	110	4	7,5	60	1	90	150	6	7
35	0	55	90	3	7,9	37	0	78	115	4	7,4	65	1	95	160	6	6,8
38	0	82	120	4	7,3	38	0	82	120	4	7,3	70	1	120	190	7	6,4
38	0	87	125	4	7,2	70	1	100	170	6	6,5	70	1	145	215	8	6,2
43	0	112	155	5	6,5	80	1	160	240	8	5,8	110	2	205	315	11	5,5
75	1	115	190	6	6,1	115	2	195	310	10	5,3	160	3	310	470	15	4,7
80	1	140	220	7	5,8	120	2	255	372	12	5	235	5	415	650	20	4,3
80	1	175	255	8	5,5	125	2	285	410	13	4,9	275	6	475	750	23	4,2
85	1	205	290	9	5,3	125	2	320	445	14	4,8	280	6	575	855	26	4,1
85	1	210	295	9	5,2	165	3	335	500	15	4,5	320	7	645	965	29	4
90	1	260	350	11	5,1	170	3	425	595	18	4,4	395	9	835	1230	37	3,9
130	2	300	430	13	4,7	205	4	515	720	22	4,3	480	11	1090	1570	46	3,7
135	2	345	480	14	4,5	250	5	615	865	26	4,1	580	13	1460	2040	58	3,5

#### 4.7 Σύστημα Military Standard

Το σύστημα Military Standard αναπτύχθηκε από τις υπηρεσίες του αμερικάνικου στρατού και έγινε αποδεκτό σαν επίσημο σύστημα δειγματοληπτικού ελέγχου από το Αμερικάνικο Υπουργείο Αμύνης, το έτος 1958. Είναι γνωστά το σύστημα του MILITARY STANDARD 105A και η βελτιωμένη μορφή του MILITARY STANDARD 105D. Κατά τα έτη 1960 και 1962 επιτροπή γνωστή σαν επιτροπή ABC από τα αρχικά των τριών κρατών των οποίων οι αρμόδιες στρατιωτικές υπηρεσίες συμμετείχαν (America, Great Britain, Canada) ανέπτυξε ένα παρόμοιο σύστημα που ονομάστηκε ABC-STD-105 (*MIL-STD 1235B, 1982*).

Στο σύστημα MILITARY STANDARD, βάση για την επιλογή του μεγέθους του δείγματος αποτελεί η Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας (AQL), δηλαδή το ποσοστό εκείνο σκάρτων για το οποίο η πιθανότητα παραλαβής πρέπει να είναι μεγάλη. Το σύστημα αναφέρεται είτε σε σκάρτα τεμάχια είτε σε αριθμό ελαττωμάτων των προϊόντων. Στην πρώτη περίπτωση, διαχωρίζουμε τα τεμάχια του δείγματος  $N$  σε καλά (αποδεκτά) και σκάρτα (απαράδεκτα). Ο αριθμός των σκάρτων τεμαχίων στο δείγμα, καθορίζει αν θα παραληφθεί ή θα απορριφθεί η μερίδα.

Στην δεύτερη περίπτωση, εξετάζονται τα ελαττώματα των  $N$  τεμαχίων του δείγματος και αθροίζονται. Στην περίπτωση αυτή, επειδή ένα τεμάχιο μπορεί να έχει περισσότερα από ένα ελαττώματα ο αριθμός των ελαττωμάτων των τεμαχίων του δείγματος μπορεί να είναι μεγαλύτερος του μεγέθους του δείγματος  $N$ . Ο συνολικός αριθμός ελαττωμάτων συγκρίνεται προς τον επιτρεπόμενο αριθμό ελαττωμάτων και καθορίζεται η τύχη της μερίδας. Για να βρεθεί το σχέδιο δειγματοληπτικού ελέγχου παραδοχής, δηλαδή για να καθορισθεί το μέγεθος του δείγματος ή των δειγμάτων ( $N$ ) και ο αριθμός ή οι αριθμοί παραδοχής  $C$  πρέπει να καθορισθούν:

- Το μέγεθος της μερίδας.

- Η μέθοδος δειγματοληψίας (απλή, διπλή ή πολλαπλή).
- Αν θα ελέγχονται τα ελαττώματα ή τα σκάρτα.
- Η Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας.
- Η στάθμη του ελέγχου. Στο σύστημα προβλέπονται τρεις στάθμες ελέγχου παραδοχής, η I, η II και η III. Συνήθως εκλέγεται η II. Αν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, εκλέγεται η I που δίνει μικρότερα δείγματα ή η III που δίνει μεγάλα δείγματα.

Η Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας είναι στη περίπτωση που ελέγχονται ελαττωματικά προϊόντα το ποσοστό των σκάρτων στα 100 προϊόντα. Σε περίπτωση που ελέγχονται ελαττώματα είναι ο αριθμός των ελαττωμάτων στα 100 προϊόντα. Στο σύστημα Military-Standard προβλέπονται τρία σχέδια δειγματοληψίας το κανονικό, το ήπιο και το αυστηρό. Η παραλαβή αρχίζει με το κανονικό σχέδιο, το οποίο ανάλογα αν οι μερίδες έχουν λίγα ή πολλά σκάρτα, μετατρέπεται σε ηπιότερο ή αυστηρότερο. Αυτό γίνεται με υπολογισμό του ποσοστού σκάρτων στα προηγούμενα 10 δείγματα. Αν το ποσοστό είναι μικρό, το σύστημα μετατρέπεται σε ήπιο. Το κανονικό σύστημα διατηρείται, εφ' όσον το ποσοστό σκάρτων δεν είναι μικρό. Με όμοιες προϋποθέσεις υπάρχει μετατροπή σε αυστηρό και γενικά αλλαγή από το ένα σχέδιο στο άλλο.

Η δυνατότητα αλλαγής του σχεδίου, ανάλογα με την ποιότητα των παραλαμβανομένων μερίδων, αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος. Το πλεονέκτημα συνίσταται στο ότι οι καλές μερίδες δεν επιβαρύνονται με περιττά έξοδα ελέγχου, ενώ οι μερίδες που έχουν πολλά σκάρτα υπόκεινται σε εντονότερο έλεγχο πριν παραληφθούν. Στο ήπιο σχέδιο εξετάζονται πολύ λιγότερα προϊόντα, περίπου το 1/5 των εξεταζόμενων στο κανονικό σχέδιο. Το κανονικό σχέδιο μετατρέπεται σε ήπιο όταν:

- Οι προηγούμενες 10 μερίδες έχουν παραληφθεί με κανονικό σχέδιο.

- Το υπολογιζόμενο ποσοστό σκάρτων, στα εξετασθέντα δείγματα των 10 προηγούμενων μερίδων, είναι μικρότερο ενός ποσοστού που δίδεται σε ειδικούς πίνακες.
- Η παραγωγή είναι ομοιόμορφη. Δηλαδή όλες οι μερίδες έχουν παραχθεί με τις ίδιες συνθήκες (ίδιο εργοστάσιο, ίδια παρτίδα, κ.α.).

Το ήπιο σχέδιο εγκαταλείπεται και μετατρέπεται σε κανονικό όταν:

- Μια μερίδα απορριφθεί.
- Το υπολογιζόμενο ποσοστό σκάρτων στα εξετασθέντα δείγματα των 10 προηγούμενων μερίδων είναι μεγαλύτερο του καθοριζόμενου, για το ήπιο σχέδιο, ποσοστού.
- Υπάρχουν ενδείξεις ότι η παραγωγή δεν είναι ομοιόμορφη.

Με παρόμοιες προϋποθέσεις γίνεται μετάβαση από το κανονικό σχέδιο σε αυστηρό και αντίστροφα. Στο σύστημα Military-Standard για την ίδια Στάθμη Ελέγχου και την ίδια Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας (AQL), οι τρεις χαρακτηριστικές καμπύλες που αντιστοιχούν στην απλή, την διπλή και την πολλαπλή δειγματοληψία, είναι ίδιες. Δεν έχουν μόνο την ίδια Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας (AQL), αλλά και την ίδια Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (RQL, LTPD). Η διπλή δειγματοληψία, και ακόμη περισσότερο η πολλαπλή δειγματοληψία, για την ίδια προστασία συνεπάγεται μικρότερο αριθμό δοκιμών. Τα σχέδια όμως της διπλής και της πολλαπλής είναι περισσότερο πολύπλοκα από την απλή δειγματοληψία και προϋποθέτουν άμεση πρόσβαση στα προϊόντα γιατί ανάλογα με τα αποτελέσματα συνεχίζεται ή διακόπτεται η δειγματοληψία.

Το σύστημα Military-Standard περιλαμβάνει σειρά πινάκων με την βοήθεια των οποίων καθορίζονται τα σχέδια δειγματοληψίας. Ενδεικτικά περιλαμβάνονται ο Πίνακας 4.5, που δίνει το κωδικό γράμμα με βάση το μέγεθος της μερίδας και την στάθμη ελέγχου και ο Πίνακας 4.6 που δίνει το μέγεθος του δείγματος και το κριτήριο παραδοχής με βάση το κωδικό γράμμα και την Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας για κανονικό έλεγχο.

**Πίνακας 6** Κωδικά γράμματα με βάση το μέγεθος μερίδας και την στάθμη ελέγχου

ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΕΡΙΔΑΣ	ΣΤΑΘΜΗ ΕΛΕΓΧΟΥ		
	(I)	(II)	(III)
<b>2-8</b>	A	A	B
<b>9-15</b>	A	B	C
<b>16-25</b>	B	C	D
<b>26-50</b>	C	D	E
<b>51-90</b>	C	E	F
<b>91-150</b>	D	F	G
<b>151-280</b>	E	G	H
<b>281-500</b>	F	H	J
<b>501-1200</b>	G	J	K
<b>1201-3200</b>	H	K	L
<b>3201-10000</b>	J	L	M
<b>10001-35000</b>	K	M	N
<b>35001-150000</b>	L	N	P
<b>150001-500000</b>	M	P	Q
<b>500001 και άνω</b>	N	Q	R

Πίνακας 7

Μέγεθος δείγματος και κριτήριο παραδοχής με βάση το κωδικό γράμμα και την Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας για κανονικό έλεγχο

Κωδικός γράμματος	Μέγεθος δείγματος n	ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ																																		
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1,000									
		ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΠΟΔΟΧΗΣ - ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ																																		
A	2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31			
B	3	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45	
C	5	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
D	8	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
E	13	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
F	20	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
G	32	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
H	50	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
J	80	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
K	125	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
L	200	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
M	315	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
N	500	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
P	800	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
Q	1,250	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45
R	2,000	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	0 1	↓	↓	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	30	31	44	45



#### 4.8 Σύστημα Philips

Το σύστημα Philips αναπτύχθηκε για λογαριασμό της ομώνυμης εταιρίας από τον H. C. Hamaker και τους συνεργάτες του. Το σχέδιο δειγματοληψίας καθορίζεται με βάση το ποσοστό σκάρτων για το οποίο η πιθανότητα παραλαβής είναι ίση με την πιθανότητα απόρριψης, δηλαδή το ποσοστό που έχει πιθανότητα παραλαβής 50%. Το ποσοστό αυτό συμβολίζεται  $P_{50}$  και ονομάζεται σημείο ελέγχου. Τα στοιχεία του δειγματοληπτικού σχεδίου με μέγεθος δείγματος  $N$  και κριτήριο παραδοχής  $C$  σε συνάρτηση με το  $P_{50}$  και το μέγεθος της μερίδας δίνονται στον Πίνακα 4.7. Για μερίδες έως 1000 τεμάχια προβλέπεται απλή δειγματοληψία, για μεγαλύτερες μερίδες προβλέπεται διπλή δειγματοληψία. Στην απλή δειγματοληψία το δεύτερο δείγμα είναι διπλάσιο του πρώτου δείγματος ( $N_2 = 2N$ ) (Grant & Leavenworth, 1988).

Πίνακας 8 Σύστημα δειγματοληπτικού ελέγχου Philips

Σύστημα Δειγματοληπτικού Ελέγχου Διαλογής PHILIPS. Μέγεθος Δείγματος (N) και Αριθμός Παραδοχής C σε συνάρτηση με το μέγεθος της μερίδας και του Σημείου Ελέγχου (P50) (N2 = 2N1 και A = έλεγχος 100%)																	
Σημείο Ελέγχου P50		1/4		1/2		1		2		3		5		7		10	
Μέγεθος Μερίδας Προϊόντα		N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C
ΑΠΛΗ	20 -50	A		A		A		30	0	20	0	13	0	10	0	7	0
	31 – 100	A		A		60	0	30	0	20	0	13	0	10	0	77	0
	101 – 200	A		100	0	60	0	35	0	55	1	35	1	25	1	17	1
	201 – 500	175	0	100	0	135	1	75	1	55	1	35	1	40	2	25	2
	501 – 1000	225	0	225	1	150	1	85	1	85	2	55	2	55	3	35	3
ΔΙΠΛΗ		N1	C1C2	N1	C1C2	N1	C1C2	N1	C1C2	N1	C1C2	N1	C1C2	N1	C1C2	N1	C1C2
	1001 - 2000	330	0,1	150	0,1	110	0,2	55	0,2	45	0,3	35	0,3	30	1,5	22	1,5
	2001 - 5000	425	0,2	200	0,2	135	0,3	70	0,3	70	1,5	45	1,5	55	2,1	40	2,1
	5001 - 10000	525	0,3	260	0,3	220	1,5	110	1,5	125	2,1	75	2,1	75	3,15	55	3,15
	10001 - 20000	875	1,5	440	1,5	380	2,1	190	2,1	180	3,15	110	3,15	100	4,2	70	4,2
	20001 - 50000	1500	2,1	750	2,1	540	3,15	270	3,15	240	4,2	140	4,2	120	5,25	85	5,25
	50000 και άνω	2200	3,15	1100	3,15	700	4,2	350	4,2	290	5,25	175	5,25	145	6,3	105	6,3

#### 4.9 Σύγκριση δειγματοληπτικών σχεδίων Dodge-Romig, Military Standard και Philips

Πίνακας 9 Σύγκριση δειγματοληπτικών σχεδίων Dodge-Romig, Military Standard και Philips

		Dodge – Romig	Military Standards	Philips
A	Μέθοδοι Δειγματοληψίας	Απλή, διπλή και συνεχής	Απλή, διπλή και πολλαπλή	Απλή, διπλή και συνεχής
B	Χαρακτηριστικά συμφωνίας μεταξύ παραδίδοντος και παραλαμβάνοντος - Υπολογισμός N, c	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Το μέγεθος της μερίδας (M)</li> <li>- Η μέθοδος δειγματοληψίας</li> <li>- Η απορριπτέα στάθμη ποιότητας RQL, ή το όριο της μέσης εξερχόμενης ποιότητας AOQL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Το μέγεθος της μερίδας (M)</li> <li>- Η μέθοδος δειγματοληψίας</li> <li>- Η αποδεκτή στάθμη ποιότητας AQL</li> <li>- Η κρίση να γίνει με ελαττώματα ή με ελαττωματικά</li> <li>- Η στάθμη του ελέγχου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Το μέγεθος της μερίδας (M)</li> <li>- Η μέθοδος δειγματοληψίας</li> <li>- Η αποδεκτή στάθμη ποιότητας AQL</li> <li>- Η κρίση να γίνει με ελαττώματα ή με ελαττωματικά</li> <li>- Η στάθμη του ελέγχου</li> </ul>
Γ	Σχέση μεταξύ μεγέθους πρώτου και δεύτερου δείγματος	Δεν υπάρχει	$N_2 = 2N_1$	$N_2 = 2N_1$
Δ	Απαιτείται ο υπολογισμός του μέσου ποσοστού σκάρτων των παραλαμβανομένων μερίδων	Απαιτείται. Όταν δεν είναι γνωστό, εκτιμάται η μέγιστη τιμή του και γίνεται επανεκτίμηση	Δεν απαιτείται	Δεν απαιτείται
Ε	Μεταβάλλεται ο έλεγχος σε αυστηρότερο ή ηπιότερο;	Επανεκτίμηση του $\bar{p}$ μπορεί να οδηγήσει σε ηπιότερο ή αυστηρότερο έλεγχο	Μεταβαλλόμενου του $\bar{p}$ ο έλεγχος γίνεται αυστηρότερος ή ηπιότερος	Δεν προβλέπεται

**Πίνακας 10** Υπολογισμός μεγέθους δείγματος (N) και αριθμού παραδοχής C για διάφορα συστήματα δειγματοληπτικού ελέγχου

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (N) ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΥ ΠΑΡΑΔΟΧΗΣ (C) ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ				
α/α	Περιπτώσεις	Dodge - Romig	Mil - Standard 105 A	Philips
1	M = 1000 και P = 1%	AOQL = 2%	AOQL = 2%	P50 = 3%  Μόνο Απλή Δειγματοληψία  N = 85  C = 2
		Απλή Δειγματοληψία	Απλή Δειγματοληψία	
		N1 = 65	N = 110	
		C = 2	C = 3	
		Διπλή Δειγματοληψία	Διπλή Δειγματοληψία	
		N1 = 38	N1 = 75	
		N2 = 87	N2 = 150	
		C1 = 0 C2 = 4	C1 = 1 C2 = 5	
2	M = 10000 και P = 1%	AOQL = 2%	AOQL = 1%	P50 = 3%  Μόνο Διπλή Δειγματοληψία  N1 = 125 και N2 = 250  C1 = 2 και C2 = 10
		Απλή Δειγματοληψία	Απλή Δειγματοληψία	
		N = 155	n = 300	
		C = 5	C = 7	
		Διπλή Δειγματοληψία	Διπλή Δειγματοληψία	
		N1 = 85	n1 = 200	
		N2 = 210	n2 = 400	
		C1 = 1 C2 = 9	C1 = 4 C2 = 9	
3	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ		Έλεγχος βάσει αριθμού σκάρτων στο δείγμα	
			Κανονική Στάθμη ελέγχου	
			Κανονικός Έλεγχος	

## 4.10 Λοιπά δειγματοληπτικά σχέδια

### 4.10.1 Δειγματοληπτικά σχέδια με βάση την Bayesian θεώρηση

Κατά τη Bayesian θεώρηση, ο σχεδιασμός και η επιλογή του δειγματοληπτικού σχεδίου είναι σημαντικά αλλά ο τρόπος που γίνεται η δειγματοληψία δεν επηρεάζει την ανάλυση. Η προσέγγιση της Bayesian θεωρίας αφορά την περίπτωση όπου μία κατανομή είναι δύσκολο να αποδοθεί σε έναν πληθυσμό αλλά εύκολο για την παράμετρο που ενδιαφέρει. Η προσέγγιση αυτή, αντίθετα με την κλασική Bayesian μέθοδο, απαιτεί μια τυχαιότητα στην επιλογή των δειγμάτων.

Η στρωματοποίηση αφορά στην ταξινόμηση των αντικειμένων ενός πεπερασμένου πληθυσμού σε καθορισμένο αριθμό στρωμάτων κατά βέλτιστο τρόπο ώστε η μεταβλητότητα της παραμέτρου που ενδιαφέρει μεταξύ των δειγμάτων να είναι ελάχιστη. Κατά τη Bayesian θεώρηση η ταξινόμηση αυτή γίνεται σύμφωνα με την εκ των προτέρων διαθέσιμη κατανομή των αντικειμένων αλλά μιας και μια τέτοια πληροφορία δεν είναι γνωστή δεν υπάρχει θέμα στρωματοποίησης. Όμως, όταν τα στρώματα καθορίζονται εκ των προτέρων έχουν αναπτυχθεί βέλτιστες λύσεις για το μέγεθος τους. Κάποιες από τις βέλτιστες αυτές λύσεις περιλαμβάνουν θέματα ελαχιστοποίησης του κόστους της δειγματοληψίας (*Solomon & Zacks, 1970*).

### 4.10.2 Δειγματοληπτικά σχέδια μεταβλητών τριών κατηγοριών

Το δειγματοληπτικό σχέδιο μεταβλητών τριών κατηγοριών αναπτύσσεται ως εναλλακτική μορφή του αντίστοιχου σχεδίου με διαλογή. Τα σχέδια αυτά χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μια περιοχή μεταξύ αποδεκτών και μη αποδεκτών για την οποία δεν μπορεί να γίνει διάκριση. Τα σχέδια αυτά διαθέτουν δύο όρια προδιαγραφών, άνω ή κάτω, ώστε να διακρίνουν τα αντικείμενα σε τρεις κατηγορίες: αποδεκτά, μη αποδεκτά και οριακά αποδεκτά. Τα όρια αυτά επιλέγονται σε σχέση με το ρίσκο του καταναλωτή. Η ποιότητα της παρτίδας καθορίζεται από το ποσοστό των μη αποδεκτών και το ποσοστό των οριακά αποδεκτών. Ένα αντικείμενο κρίνεται ως οριακά αποδεκτό αν είναι μεταξύ των δύο άνω, ή κάτω, ορίων

προδιαγραφών και ως μη αποδεκτό αν είναι πάνω από το ανώτερο, ή κάτω από το κατώτερο, όριο προδιαγραφών. Ένα τέτοιο σχέδιο μεταβλητών θα είναι εναλλακτικό του αντιστοίχου των ιδιοτήτων αν οι χαρακτηριστικές καμπύλες ταυτίζονται και επειδή είναι αδύνατη η πλήρης ταύτιση αναζητείται η ταύτιση σε επιλεγμένα σημεία.

Για να βρεθεί το σχέδιο μεταβλητών απαιτείται το μέγεθος του δείγματος και οι παράμετροι  $K_1$ ,  $K_2$  που σχετίζονται με τα κριτήρια αποδοχής και απόρριψης της παρτίδας. Για το σκοπό αυτό επιλέγονται τρία σημεία της χαρακτηριστικής καμπύλης δειγματοληψίας. Τα σημεία αυτά επιλέγονται με το σκεπτικό ότι όταν δεν υπάρχουν μη αποδεκτά αντικείμενα και ένα μικρό ποσοστό οριακά αποδεκτών, η παρτίδα γίνεται αποδεκτή με μεγάλη πιθανότητα. Αντίθετα αν υπάρχει ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό οριακά αποδεκτών και κανένα μη αποδεκτό, η παρτίδα απορρίπτεται με μεγάλη πιθανότητα. Τέλος, αν υπάρχει μικρό ποσοστό μη αποδεκτών και δεν υπάρχουν οριακά αποδεκτά αντικείμενα, η παρτίδα απορρίπτεται με μεγάλη πιθανότητα (Newcombe & Allen, 1988).

Για την επίδειξη της μεθόδου ταύτισης χρησιμοποιείται ένα παράδειγμα από τη βιομηχανία τροφίμων που χαρακτηρίζεται από ένα σχέδιο ιδιοτήτων τριών κατηγοριών. Με τη μέθοδο που προτείνεται η καμπύλη OC του σχεδίου μεταβλητών περνά από τα τρία επιλεγμένα σημεία. Το σχέδιο που προκύπτει χαρακτηρίζεται από μικρότερο μέγεθος δείγματος, έως και 50%, ενώ η διακρισιμότητα της καμπύλης OC δεν επηρεάζεται. Παρατηρείται ότι καθώς το ποσοστό των οριακά αποδεκτών αυξάνεται, χωρίς να αλλάζει το ποσοστό των μη αποδεκτών, η πιθανότητα αποδοχής της παρτίδας μειώνεται. Τέλος, το πλεονέκτημα του σχεδίου τριών κατηγοριών έναντι του κλασσικού δύο κατηγοριών είναι ότι μπορεί να διακρίνει μεταξύ οριακά αποδεκτών και μη αποδεκτών όταν το μετρούμενο χαρακτηριστικό απαιτεί την ύπαρξη τριών κατηγοριών.

#### **4.10.3 Δειγματοληπτικά σχέδια πολλαπλών ιδιοτήτων**

Σε περιπτώσεις όπου η λήψη απόφασης για την αποδοχή ή απόρριψη μιας παρτίδας εξαρτάται από την ποιότητα περισσοτέρων της μιας παραμέτρου, τα μονοδιάστατα δειγματοληπτικά σχέδια παρουσιάζουν αδυναμίες και δίνουν τη θέση τους στα δειγματοληπτικά σχέδια πολλαπλών ιδιοτήτων. Χαρακτηριστικό

παράδειγμα τέτοιου σχεδίου αποτελεί το λεγόμενο ελλειψοειδές σχέδιο. (Shakun, 1965). Το δειγματοληπτικό σχέδιο που αναπτύσσεται είναι απλό και η διαδικασία δεν διαφέρει και πολύ από τα μονοδιάστατα σχέδια. Η ποιότητα του πληθυσμού περιγράφεται από το ποσοστό ελαττωματικών το οποίο έχει τη μορφή διάνυσματος με τόσες διαστάσεις όσες και οι εξεταζόμενες παράμετροι. Το διάνυσμα ακολουθεί πολυδιάστατη κανονική κατανομή με άγνωστο μέσο διάνυσμα αλλά γνωστό πίνακα συμμεταβλητότητας. Επίσης, απαιτείται ένα γνωστό διάνυσμα το οποίο θα έχει την τιμή στόχο για το μέσο διάνυσμα του πληθυσμού.

Η απόφαση για την αποδοχή της παρτίδας θα είναι θετική αν το μέσο διάνυσμα του δείγματος εμπεριέχεται σε μια επιλεγμένη περιοχή αποδοχής που έχει τη μορφή ελλειψοειδούς. Το ελλειψοειδές αυτό δημιουργείται με την επιλογή του αριθμού αποδοχής  $c$  και του μεγέθους του δείγματος  $n$  ώστε να υπάρχει και συμφωνία με την απαιτούμενη χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας. Έτσι η πιθανότητα αποδοχής ανάγεται στην πιθανότητα το μέσο διάνυσμα να βρεθεί μέσα στο ελλειψοειδές αποδοχής.

Με την περιγραφόμενη θεωρητική διαδικασία, επιλέγοντας τις παραμέτρους  $c$  και  $n$ , μπορούν να σχεδιαστούν δειγματοληπτικά σχέδια ώστε δίνουν τις επιθυμητές χαρακτηριστικές καμπύλες. Αν η πιθανότητα αποδοχής, ή απόρριψης, της παρτίδας ζητηθεί να είναι μικρότερη από μια καθοριστική τιμή, τότε δεν προκύπτει μία χαρακτηριστικά καμπύλη, όπως στην περίπτωση της ισότητας, αλλά μια οικογένεια καμπυλών. Τέλος, η μέθοδος που περιγράφεται επιδεικνύεται και στο μετασχηματισμένο διανυσματικό χώρο όπου τα ελλειψοειδή αποδοχής και προδιαγραφών μετασχηματίζονται σε σφαίρες.

Εξ' άλλου, ο έλεγχος υποθέσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά ως μέθοδος καθορισμού αν όλες οι ιδιότητες πληρούν τα κριτήρια αποδοχής. Κατά τον έλεγχο υποθέσεων, η άκυρη υπόθεση ορίζει ότι μία ή περισσότερες ιδιότητες δεν πληροί τα κριτήρια αποδοχής και η εναλλακτική υπόθεση ορίζει ότι όλες οι ιδιότητες πληρούν τα κριτήρια. Επομένως, η απόρριψη της άκυρης υπόθεσης οδηγεί σε αποδοχή του προϊόντος. Παράλληλα, η μέθοδος ελέγχει τα ρίσκα του παραγωγού και καταναλωτή. Συγκεκριμένα προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή του ρίσκου του καταναλωτή εμφανίζεται όταν όλες εκτός από μία ιδιότητες

είναι πολύ καλύτερες από τα κριτήρια ενώ μία μόλις που αποτυγχάνει να το προσεγγίσει. Αντίθετα, αν τουλάχιστον μία ιδιότητα απέχει πολύ από την προσέγγιση του κριτηρίου της, τότε το ρίσκο του καταναλωτή προσεγγίζει το μηδέν. Επίσης, το μέγιστο ρίσκο του παραγωγού προκύπτει όταν όλες οι ιδιότητες οριακά ξεπερνούν το κριτήριο τους ενώ αν το ξεπερνούν κατά πολύ τότε τείνει προς το μηδέν. Τέλος, προκύπτει ότι σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, αυτή φαίνεται να ελαχιστοποιεί το ρίσκο του καταναλωτή (Berger, 1982).

Σε ανάλογες περιπτώσεις όπου οι έλεγχοι είναι καταστροφικοί χρησιμοποιούνται σχέδια πολλαπλών ιδιοτήτων καταστροφικού ελέγχου. Ο καταστροφικός έλεγχος σημαίνει ότι μία μόνο ιδιότητα μπορεί να ελεγχθεί σε κάθε αντικείμενο. Σύμφωνα με τα σχέδια αυτά υπάρχει αμοιβαία ανεξαρτησία και ισοδυναμία μεταξύ της πιθανότητας ύπαρξης ελαττωματικών για κάθε ιδιότητα. Ως ελαττωματικό χαρακτηρίζεται ένα προϊόν όταν οποιαδήποτε ιδιότητα χαρακτηριστεί ελαττωματική, όταν δηλαδή βρεθούν περισσότερα από τα καθορισμένα ελαττωματικά σε μία ιδιότητα. Προκύπτει ότι τα σχέδια αυτά πλεονεκτούν έναντι των απλών λόγω της μικρής αύξησης που προσφέρουν στο επίπεδο προστασίας του καταναλωτή, ενώ δεν προκαλούν αισθητή αύξηση στο ρίσκο του παραγωγού. Αντίθετα, ως μειονέκτημα παρουσιάζονται οι υποθέσεις για το άπειρο μέγεθος της παρτίδας και οι υποθέσεις για την ανεξαρτησία και ισοδυναμία των πιθανοτήτων απόρριψης. Επίσης, το συνολικό μέγεθος δείγματος που απαιτείται είναι μικρότερο από το σύνολο των δειγμάτων που απαιτούνται για κάθε έλεγχο με τα απλά σχέδια αρκεί το συνολικό LTPD να είναι μεγαλύτερο από κάθε LTPD για κάθε ιδιότητα (Spreenak & Yu, 1987).

#### **4.10.4 Δειγματοληπτικά σχέδια με διαφορετικούς χειρισμούς του πληθυσμού και του δείγματος**

Το απλό δειγματοληπτικό σχέδιο αποδοχής με διαφορετικού μεγέθους ελεγχόμενα δείγματα είναι ένας διαφορετικός τύπος σχεδίου, το οποίο υποβάλλει σε 100% έλεγχο μόνο το δείγμα που απορρίπτεται και όχι τα επόμενα. Η δειγματοληψία σταματά όταν  $n$  μονάδες έχουν ελεγχθεί ή όταν  $c+1$  ελαττωματικές μονάδες αντικαθιστούνται από σωστές. Διευκρινίζεται ότι το σχέδιο αυτό δεν είναι ένα συνεχόμενο δειγματοληπτικό σχέδιο, ενώ το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι η απόφαση αποδοχής ή απόρριψης αφορά μόνο το



δείγμα στο οποίο γίνεται ο έλεγχος και όχι μελλοντικά δείγματα. Έτσι ο 100% έλεγχος υποβάλλεται μόνο στο ελαττωματικό δείγμα και όχι στα επόμενα που πιθανώς να είναι και σωστά (*Read & Beattie, 1961*).

Με τη χρήση του προτεινόμενου σχεδίου ο αριθμός των ελεγχόμενων μονάδων ποικίλλει σε αντίθεση με προηγούμενα σχέδια που ο αριθμός αυτός είναι σταθερός. Η επιλογή του συγκεκριμένου σχεδίου γίνεται αφού καθοριστούν παράμετροι όπως το AQL και το LTPD. Η καμπύλη OC δεν έχει διαφορά από τα σχέδια με καθορισμένο αριθμό ελεγχόμενων μονάδων. Επίσης, μια ακόμα διαφορά με τα σταθερού μεγέθους σχέδια είναι ότι η πιθανότητα ενός δείγματος να απορριφθεί δεν είναι ίση αλλά μικρότερη από την πιθανότητα να γίνει αποδεκτό. Τέλος, αποδεικνύεται ότι το συνολικό μέγεθος του ελέγχου, δηλαδή το μέγεθος δειγματοληψίας και το μέγεθος του 100% ελέγχου, είναι μικρότερο από το αντίστοιχο των σχεδίων σταθερού μεγέθους ελεγχόμενων δειγμάτων για τις ίδιες παραμέτρους  $n$  και  $c$ .

#### **4.10.5 Δειγματοληπτικά σχέδια με παράλειψη παρτίδων**

Τα δειγματοληπτικά σχέδια με παράλειψη παρτίδων (skip – lot sampling plans) αποτελούν συνέχεια των δειγματοληπτικών σχημάτων συνεχούς δειγματοληψίας. Η πρώτη γενιά δειγματοληπτικών σχεδίων με παράλειψη παρτίδων ονομάστηκε SkSP – 1 και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου οι παρτίδες αποτελούνται από ομοιογενές υλικό οπότε αρκεί μια και μοναδική εξέταση δείγματος για την αποδοχή ή απόρριψη του συνόλου της παρτίδας. Στην περίπτωση αυτή δεν υφίστανται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ SkSP – 1 και CSP – 1.

Οι ερευνητικές προσπάθειες που έγιναν στον τομέα των δειγματοληπτικών σχεδίων με παράλειψη παρτίδων οδήγησε στην δεύτερη γενιά σχεδίων αυτού του τύπου και συγκεκριμένα στα σχέδια τύπου SkSP – 2. Τα εν λόγω σχέδια χρησιμοποιούνται στην περίπτωση όπου οι προς επιθεώρηση παρτίδες αποτελούνται από διακριτές μονάδες. Τα σχήματα αυτά συνδυάζουν την λογική εναλλαγής δειγματοληπτικού και συνεχούς ελέγχου όλων των παρτίδων με την χρήση συγκεκριμένου δειγματοληπτικού σχεδίου για τις ελεγχόμενες παρτίδες το οποίο χαρακτηρίζεται ως δειγματοληπτικό σχέδιο αναφοράς (reference

sampling plan) και το οποίο μπορεί να είναι απλής, διπλής ή πολλαπλής δειγματοληψίας (Perry, 1973).

Στο αρχικό στάδιο των σχεδίων SkSP – 2 πραγματοποιείται έλεγχος του συνόλου των παρτίδων σύμφωνα με το δειγματοληπτικό σχέδιο αναφοράς. Με την αποδοχή συγκεκριμένου αριθμού διαδοχικών παρτίδων, ο δειγματοληπτικός έλεγχος μετατρέπεται σε μερικός. Αν κατά την διάρκεια του μερικού ελέγχου απορριφθεί κάποια παρτίδα, ο έλεγχος επανέρχεται στην αρχική του μορφή (Stephens, 1995). Τα σχήματα ελέγχου αποδοχής με παράλειψη παρτίδων παρουσιάζουν το σημαντικό πλεονέκτημα του μειωμένου κόστους ελέγχου με την προϋπόθεση όμως στις ελεγχόμενες παρτίδες το ποσοστό ελαττωματικών να είναι σταθερό και να μην παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις.

#### 4.11 Σχεδιασμός δειγματοληπτικών σχεδίων

Ο σχεδιασμός των δειγματοληπτικών σχεδίων γίνεται με βάση δύο παραμέτρους: το μέγεθος δείγματος  $n$  και τους αριθμούς αποδοχής και απόρριψης  $c$ . Η επιλογή των παραμέτρων αυτών γίνεται με την χρήση στατιστικών κριτηρίων όπως ο κίνδυνος παραδίδοντας  $\alpha$  και ο κίνδυνος παραλαμβάνοντας  $\beta$  ή οικονομικών κριτηρίων που βασίζονται στην ελαχιστοποίηση της συνάρτησης συνολικού κόστους ποιότητας. Όσον αφορά στον σχεδιασμό σχεδίων με βάση στατιστικά κριτήρια, η βασική απαίτηση που θα πρέπει να καλύπτεται είναι να διέρχεται η χαρακτηριστική καμπύλη από τα δύο χαρακτηριστικά σημεία που έχουν αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το πρώτο σημείο  $(p_1, 1-\alpha)$  το οποίο αντιστοιχεί στην αποδεκτή στάθμη ποιότητας  $p_1$  με κίνδυνο παραδίδοντας  $\alpha$  ενώ το δεύτερο σημείο  $(p_2, \beta)$  αντιστοιχεί στην απορριπτή στάθμη ποιότητας  $p_2$  με κίνδυνο παραλαμβάνοντας  $\beta$ . Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων σχεδίασης  $n$  και  $c$  δειγματοληπτικού σχεδίου που να πληροί τις παραπάνω απαιτήσεις χρησιμοποιούνται σχετικοί πίνακες της βιβλιογραφίας ή για μεγαλύτερη ευκολία ειδικά πληροφοριακά συστήματα που επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλου αριθμού πιθανών σχημάτων και την επιλογή εκείνου που ικανοποιεί στον μέγιστο βαθμό τα στατιστικά κριτήρια που έχουν τεθεί (Shirland, 1993).

Τα στατιστικά κριτήρια σχεδίασης των σχημάτων ελέγχου αποδοχής και τα αντίστοιχα πρότυπα δεν λαμβάνουν υπόψη όλα τα στοιχεία κόστους ποιότητας που σχετίζονται με την επιλογή του σχήματος και επηρεάζονται από αυτήν. Σε τελική ανάλυση, αντικειμενικός σκοπός του ελέγχου ποιότητας, όπως άλλωστε και όλων των τεχνικών οργάνωσης παραγωγής, είναι η αποτελεσματικότερη λειτουργία του συστήματος από οικονομική άποψη. Κατά συνέπεια, το θεωρητικό βέλτιστο σχήμα ελέγχου αποδοχής είναι εκείνο που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος ποιότητας. Η σχεδίαση ενός σχήματος ελέγχου με οικονομικά κριτήρια πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η κατάστρωση της συνάρτησης συνολικού κόστους ελέγχου, εσωτερικών αστοχιών (επισκευής ή αντικατάστασης των ελαττωματικών που εντοπίζονται από το σχήμα ελέγχου) για δεδομένες τιμές των παραμέτρων σχεδίασης. Η μορφή της συνάρτησης εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας του σχήματος, ιδιαίτερα όσον αφορά τις

συνέπειες απόρριψης μιας παρτίδας. Το δεύτερο στάδιο είναι η βελτιστοποίηση της συνάρτησης κόστους ως προς τις παραμέτρους σχεδίασης με χρήση αναλυτικών ή αριθμητικών μεθόδων. (Hald, 1981).

Το πρώτο βήμα στην κατάστρωση της συνάρτησης συνολικού κόστους είναι η διαμόρφωση της συνάρτησης για ορισμένο ζεύγος παραμέτρων (μέγεθος δείγματος  $n$  και αριθμός αποδοχής  $c$ ) και ορισμένη τιμή του ποσοστού ελαττωματικών  $p$  των παρτίδων που ελέγχονται. Τα στοιχεία κόστους τα οποία λαμβάνονται υπόψη είναι τα εξής:

- ∅ το κόστος επιθεώρησης ανά μονάδα προϊόντος
- ∅ το κόστος επισκευής ή αντικατάστασης ανά ελαττωματική μονάδα προϊόντος που εντοπίζεται κατά τον έλεγχο
- ∅ το κόστος ανά ελαττωματική μονάδα σε παρτίδα που γίνεται αποδεκτή

Την διαμόρφωση της συνάρτησης κόστους ακολουθεί το στάδιο της βελτιστοποίησης ως προς τις παραμέτρους  $n$  και  $c$ . Το βέλτιστο σχήμα ελέγχου αποδοχής είναι αυτό που ελαχιστοποιεί την συνάρτηση κόστους. Ωστόσο, το γεγονός ότι οι παράμετροι  $n$  και  $c$  είναι ακέραιοι αριθμοί σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα της συνάρτησης κόστους δεν επιτρέπουν την ύπαρξη γενικής αναλυτικής μεθόδου ελαχιστοποίησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες στατιστικές τεχνικές που διευκολύνουν την διαδικασία βελτιστοποίησης της συνάρτησης κόστους (Tagaras & Lee, 1987), ο γενικός κανόνας βέβαια παραμένει η χρήση κατάλληλων πληροφοριακών προγραμμάτων.

Όσον αφορά στην χρήση οικονομικών κριτηρίων στον σχεδιασμό δειγματοληπτικών σχεδίων ελέγχου με μέτρηση, ακολουθείται παρόμοια μεθοδολογία με την αντίστοιχη που χρησιμοποιείται στα σχέδια ελέγχου αποδοχής με διαλογή. Συγκεκριμένα, το πρώτο στάδιο του οικονομικού σχεδιασμού είναι η κατάστρωση της συνάρτησης κόστους ποιότητας που περιλαμβάνει το κόστος ελέγχου, το κόστος επισκευής ή αντικατάστασης ελαττωματικών μονάδων και το κόστος ποιότητας των ελαττωματικών μονάδων που δεν εντοπίζονται κατά την διάρκεια του δειγματοληπτικού ελέγχου. Το

δεύτερο στάδιο συνίσταται στον προσδιορισμό των παραμέτρων σχεδίασης που ελαχιστοποιούν την συνάρτηση κόστους (*Bennett & Schmidt, 1974*).

Είναι γεγονός ότι η χρήση οικονομικών κριτηρίων στον σχεδιασμό δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής σε σχέση με την χρήση στατιστικών κριτηρίων οδηγεί σε βελτιωμένα αποτελέσματα. Ωστόσο, τα στατιστικά κριτήρια χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό σε πρακτικές εφαρμογές κυρίως λόγω της απλότητας και της ευκολίας χρήσης που τα διακρίνει. Από την άλλη πλευρά, τα οικονομικά κριτήρια διακρίνονται από την δυσκολία κατάρτισης της συνάρτησης κόστους. Επιπρόσθετα, η χρήση οικονομικών κριτηρίων στον σχεδιασμό δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής προϋποθέτει γνωστή και σταθερή μεταβλητότητα του εξεταζόμενου χαρακτηριστικού ποιότητας. Στην αντίθετη περίπτωση όπου η μεταβλητότητα του χαρακτηριστικού είναι άγνωστη δεν είναι εφικτή η εφαρμογή οικονομικών κριτηρίων (*Wall & Elshenway, 1989*).

#### **4.12 Χρησιμοποιούμενα Πρότυπα**

Στην πράξη οι παράμετροι των σχημάτων ελέγχου αποδοχής προσδιορίζονται συχνά με την βοήθεια πινάκων διεθνών προτύπων. Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο σήμερα διεθνές πρότυπο για έλεγχο ποιότητας με διαλογή είναι το ISO 2859 το οποίο έχει προέλθει από το πρότυπο MIL – STD – 105D το οποίο αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο (*ISO 2859, 1974*). Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης υιοθέτησε και μετέφρασε το ISO 2859 και το εξέδωσε ως πρότυπο ΕΛΟΤ 398.0 και 398.1. Οι διαφορές μεταξύ των προτύπων ΕΛΟΤ 398.0 και 398.1, ISO 2859 και MIL – STD – 105D είναι ελάχιστες και επουσιώδεις (*ΕΛΟΤ 398.0 & 398.1, 1982*).

Στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές της δειγματοληψίας αποδοχής με μέτρηση, χρησιμοποιούνται σχέδια με εκτίμηση του ποσοστού ελαττωματικών της παρτίδας. Το μέγεθος δείγματος και τα κριτήρια αποδοχής των σχεδίων αυτών προσδιορίζονται συνήθως με την βοήθεια διεθνών προτύπων. Τα πρότυπα που έχουν επικρατήσει σήμερα είναι το διεθνές πρότυπο ISO 3951 (*ISO 3951, 1981*) και το αμερικάνικο πρότυπο ANSI / ASQC Z1.9 (*ANSI / ASQC Z1.9, 1980*). Τα πρότυπα αυτά αποτελούν εξέλιξη και τροποποίηση του προτύπου MIL – STD – 414, με στόχο την προσέγγιση στα πρότυπα ελέγχου

αποδοχής με διαλογή και την καλύτερη αντιστοιχία των προτύπων σχημάτων έλεγχου αποδοχής με διαλογή και μέτρηση (*MIL-STD 414, 1957*). Η λογική και η σχεδίαση των προτύπων ISO 3951 και ANSI / ASQC Z1.9 – 1980 είναι ανάλογες με αυτές των διεθνών προτύπων για έλεγχο αποδοχής με διαλογή. Τα πρότυπα περιέχουν πίνακες και διαγράμματα για την αποδεκτή στάθμη ποιότητας. Ο τρόπος επιλογής των παραμέτρων και οι σχετικοί πίνακες ή διαγράμματα διαφοροποιούνται ανάλογα με τις προδιαγραφές και την μεταβλητότητα του χαρακτηριστικού ποιότητας. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα σημαντικότερα διεθνή πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην δειγματοληψία αποδοχής

**Πίνακας 11** Χρησιμοποιούμενα διεθνή πρότυπα στην δειγματοληψία αποδοχής

ΠΡΟΤΥΠΟ	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ANSI / ASQC Z1.4-1993	American National Standards Institute (ANSI)	Διαδικασίες Δειγματοληψίας και Πίνακες για Έλεγχο Αποδοχής με Διαλογή
ANSI / ASQC Z1.9-1993	American National Standards Institute (ANSI)	Διαδικασίες Δειγματοληψίας και Πίνακες για Έλεγχο Αποδοχής με Μέτρηση για ποσοστό μη συμμορφούμενων.
ANSI / ASQC Q3-1988	American National Standards Institute (ANSI)	Διαδικασίες Δειγματοληψίας και Πίνακες για Έλεγχο Αποδοχής μεμονωμένων παρτίδων με διαλογή
ANSI / ASQC S1-1987 (R1995)	American National Standards Institute (ANSI)	Πρόγραμμα δειγματοληψίας με διαλογή και με παράλειψη παρτίδων
ANSI / ASQC S2-1995	American National Standards Institute (ANSI)	Εισαγωγή στην Δειγματοληψία με διαλογή
ANSI / EIA 585-1991	American National Standards Institute (ANSI)	Διαδικασίες και πίνακες για δειγματοληπτικό έλεγχο με διαλογή μεμονωμένων παρτίδων
MIL-STD-105E (1989)	Military Standards	Διαδικασίες δειγματοληψίας και πίνακες για έλεγχο διαλογή
MIL-STD-414 (1968)	Military Standards	Διαδικασίες δειγματοληψίας και πίνακες για έλεγχο με μετρήσεις
MIL-HDBK-108 (1968)	Military Standards	Ποιοτικός Έλεγχος και Αξιοπιστία – Διαδικασίες δειγματοληψίας και πίνακες για τεστ

(1960)		αξιοπιστίας (βασισμένο στην εκθετική κατανομή)
MIL-STD-1235C (1974)	Military Standards	Πίνακες απλής και πολλαπλής και συνεχούς δειγματοληψίας για έλεγχο με διαλογή
ISO 2859-0:1995	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδικασίες δειγματοληψίας για έλεγχο με διαλογή - Μέρος 0: Εισαγωγή στο πρότυπο ISO 2859
ISO 2859-1:1999	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδικασίες δειγματοληψίας για έλεγχο με διαλογή - Μέρος 1: Δειγματοληπτικά σχέδια κατανεμημένα με βάση την αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL)
ISO 2859-2:1985	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδικασίες δειγματοληψίας για έλεγχο με διαλογή - Μέρος 2: Δειγματοληπτικά σχέδια κατανεμημένα με βάση την απορριπτέα στάθμη ποιότητας για επιθεώρηση μεμονωμένων παρτίδων
ISO/DIS 2859-4	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδικασίες δειγματοληψίας για έλεγχο με διαλογή - Μέρος 4: Δειγματοληπτικά σχέδια για έλεγχο συμμόρφωσης στα προκαθορισμένα επίπεδα ποιότητας
ISO 2859-3:1991	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδικασίες δειγματοληψίας για έλεγχο με διαλογή - Μέρος 4: Διαδικασίες για δειγματοληψία με παράλειψη παρτίδων
ISO 3951:1989	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδικασίες δειγματοληψίας και διαγράμματα για έλεγχο με μέτρηση
ISO 7966:1993	International Organization of Standardization (ISO)	Διαγράμματα Ελέγχου αποδοχής
ISO 8422:1991	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδοχικά δειγματοληπτικά σχέδια για έλεγχο αποδοχής με διαλογή.
ISO 8423:1991	International Organization of Standardization (ISO)	Διαδοχικά δειγματοληπτικά σχέδια για έλεγχο αποδοχής με μετρήσεις
ISO/TR 8550:1994	International Organization of Standardization (ISO)	Οδηγός για την επιλογή κατάλληλου δειγματοληπτικού σχεδίου
ISO/DIS 10725	International Organization of Standardization (ISO)	Δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής και διαδικασίες για την επιθεώρηση ακατέργαστων υλικών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Ø ΕΛΟΤ 398.0, (1982), “Κανόνες και πίνακες δειγματοληψίας για ελέγχους ποιότητας με χαρακτηριστικό διαλογής”, *ΕΛΟΤ – Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης*
- Ø ΕΛΟΤ 398.1, (1982), “Κανόνες και πίνακες δειγματοληψίας για ελέγχους ποιότητας με χαρακτηριστικό διαλογής – Συμπλήρωμα 1”, *ΕΛΟΤ – Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης*
- Ø ANSI / ASQC Z1.9 – 1980 (1980), “Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent nonconforming”, *American Society for Quality Control*
- Ø Dodge H. F. & Romig H. G., (1959), “Sampling inspection tables, single and double sampling”, *John Wiley & Sons*
- Ø ISO 2859 (1974), “Sampling procedures and tables for inspection by attributes”, *International Organization for Standardization*.
- Ø ISO 3951 (1981), “Sampling procedures and charts for inspection by variables”, *International Organization for Standardization*.
- Ø MIL-STD 414 (1957), “Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent defective”, *U.S. Department of Defense*
- Ø MIL-STD 1235B (1982), “Single and Multi – Level continuous sampling procedures and tables for inspection by attributes”, *U.S. Department of Defense*
- Ø Hald A., (1981), “Statistical theory of sampling inspection by attributes”, *Academic Press*
- Ø Liederman G. J. & Resnikoff G. J., (1955), “Sampling plans for inspection by variables”, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 50, pp. 457 – 516
- Ø Tippett L. H. C., (1958), “A guide to acceptance sampling”, *Applied Statistics*, Vol. 7, No. 3, pp. 133 – 148
- Ø Duncan, A. J. (1986). “Quality Control and Industrial Statistics”, 5th ed., Irwin, Homewood, IL.
- Ø Wald A., (1947), “Sequential Analysis”, Wiley, New York



- Ø Dodge H. F., (1943), "A sampling plan for continuous production", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 14(3), pp. 264 – 279
- Ø Grant E. L. & Leavenworth R. S., (1988), "Statistical Quality Control (6<sup>th</sup> edition)", McGraw – Hill, Inc, New York
- Ø Perry R. L., (1973), "Skip – Lot sampling plans", *Journal of Quality Technology*, Vol. 5, pp. 123 – 130.
- Ø Stephens, K.S., (1995), "How to perform Skip – Lot and Chain Sampling", *Quality Press*
- Ø Shirland L. E., (1993), "Statistical Quality Control with microcomputer applications", John Wiley & Sons
- Ø Solomon H. & Zachs S. (1970), "Optimal design of sampling plan from finite populations: a critical review and indication of new research areas", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 65, No. 330, pp. 653 – 677
- Ø Newcombe P. A. & Allen O. B. (1988), "A three – class procedure for acceptance sampling by variables", *Technometrics*, Vol. 30, No. 4
- Ø Shakun M. F., (1965), "Multivariate acceptance sampling procedures for general specification ellipsoids", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 60, No. 311
- Ø Berger R., (1982), "Multiparameter hypothesis testing and acceptance sampling", *Technometrics*, Vol. 24, No. 4, pp. 295 – 300
- Ø Speevak T. & Yo A. K., (1987), "Multiple attributes sampling acceptance plans involving destructive testing", *Technometrics*, Vol. 29, No. 1, pp. 103 – 107.
- Ø Tagaras G. & H. L. Lee, (1987), "Optimal Bayesian Single Sampling Plans with modified Beta prior distribution", *Naval Research Logistics*, Vol. 34, pp. 798 – 801
- Ø Bennett G. K. & Schmidt J. W., (1974), "The choice of variables sampling plans using cost effective criteria", *AIIE Transactions*, Vol. 6, pp. 178 – 184
- Ø Read D. R. & Beattie D. W., (1961), "The variable lot – size acceptance sampling plan for continuous production", *Applied Statistics*, Vol. 10, No. 3, pp. 147 - 156

- Ø Wall M. S. & Elshenway A. K., (1989), "Economically based acceptance sampling plans", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 1-4, pp. 340 - 346

## 5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

### 5.1 Εισαγωγή

Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν τα βασικά εργαλεία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας που αποσκοπεί στην παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας προκειμένου να ανιχνευθούν οι αιτίες της διακύμανσης και να ληφθούν αναγκαίες διορθωτικές κινήσεις για την βελτίωση της. Επιπρόσθετα, τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των δυνατοτήτων των παραγωγικών διαδικασιών και στην επεξεργασία μετρήσεων για διαγνωστικούς σκοπούς. Πρωτοεμφανίστηκαν στην δεκαετία του 1930 από τον Shewhart και κατά την διάρκεια των 70 και πλέον χρόνων εφαρμογής τους έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε πλήθος εφαρμογές (*MacCarthy & Wasusri, 2002*). Ειδικότερα, η χρησιμοποίηση των διαγραμμάτων ελέγχων έχει τις ακόλουθες επιδιώξεις:

- Εισαγωγή της παραγωγικής διαδικασίας υπό στατιστικό έλεγχο.
- Παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας και προειδοποίηση για περιπτώσεις όπου η παραγωγική διαδικασία βρίσκεται εκτός ελέγχου.
- Μείωση της διακύμανσης της παραγωγικής διαδικασίας.
- 

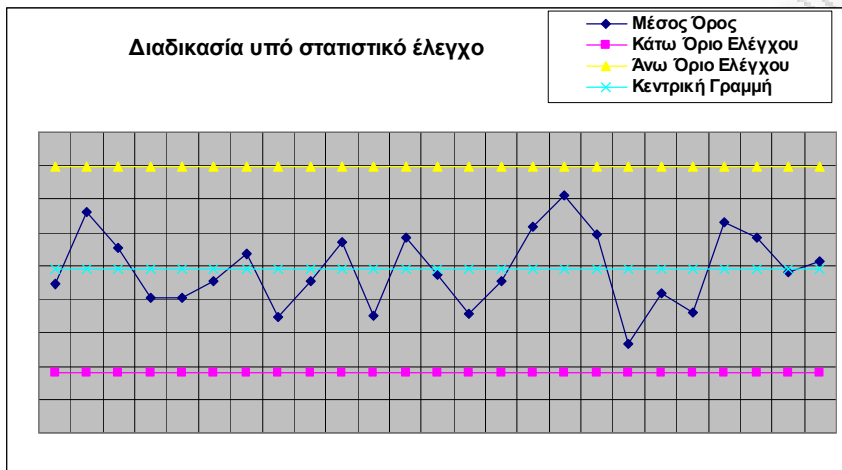
Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν την γραφική απεικόνιση της πορείας μιας εκτιμήτριας συναρτήσεως του χρόνου ή του αριθμού δείγματος. Η εκτιμήτρια αφορά ορισμένη παράμετρο της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας και υπολογίζεται από τα τυχαία δείγματα που λαμβάνονται κατά διαστήματα από την παραγωγική διαδικασία. Στην περίπτωση όπου το χαρακτηριστικό ποιότητας είναι χαρακτηριστικό διαλογής, η εκτιμήτρια αφορά το ποσοστό ελαττωματικών ή τον αριθμό ελαττωμάτων, ενώ αν είναι χαρακτηριστικό μέτρησης αφορά τη θέση ή τη διασπορά της κατανομής.

Η κεντρική γραμμή ενός τυπικού διαγράμματος ελέγχου (CL – Center Line) αντιστοιχεί στην τιμή της παραμέτρου (π.χ. ποσοστό ελαττωματικών, μέση τιμή)

όταν η διαδικασία βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο. Εκφράζει επομένως την κατάσταση ομαλής λειτουργίας, όπου η μεταβλητότητα οφείλεται μόνο σε τυχαίες αιτίες. Οι οριζόντιες γραμμές που βρίσκονται εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής, είναι τα όρια ελέγχου και ειδικότερα το άνω όριο ελέγχου (UCL – Upper Control Limit) και το κάτω όριο ελέγχου (LCL – Lower Control Limit).

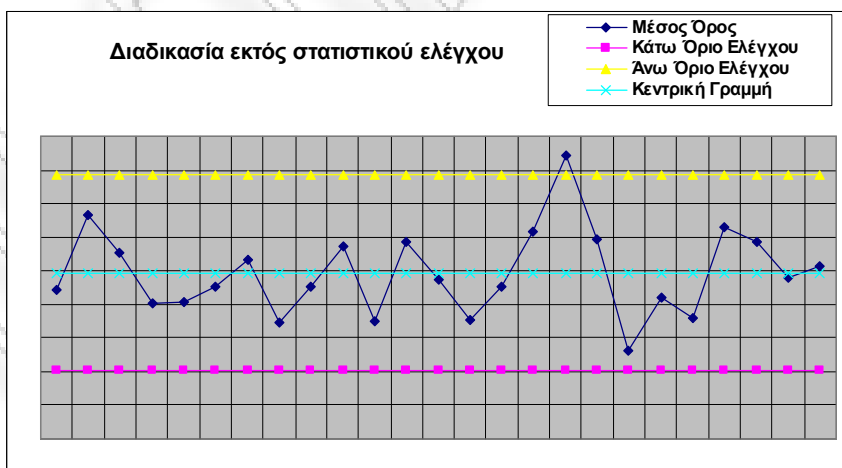
## 5.2 Περιπτώσεις εκτός ελέγχου διαδικασιών

Εφόσον τα σημεία του διαγράμματος, δηλαδή οι διαδοχικές τιμές της στατιστικής δείγματος, βρίσκονται μεταξύ των ορίων ελέγχου, η διαδικασία θεωρείται ότι βρίσκεται σε στατιστικό έλεγχο (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 9 Διαδικασία υπό στατιστικό έλεγχο

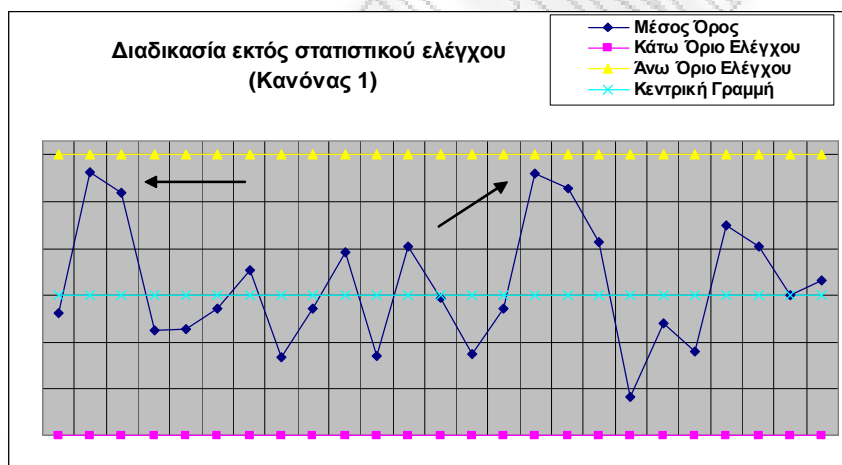
Όταν ένα σημείο του διαγράμματος είναι εκτός των ορίων ελέγχου, η σχετικά μεγάλη απόσταση του από την κεντρική γραμμή αποτελεί ένδειξη μεταβολής της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας, που οφείλεται σε επίδραση συστηματικής αιτίας (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 10 Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου

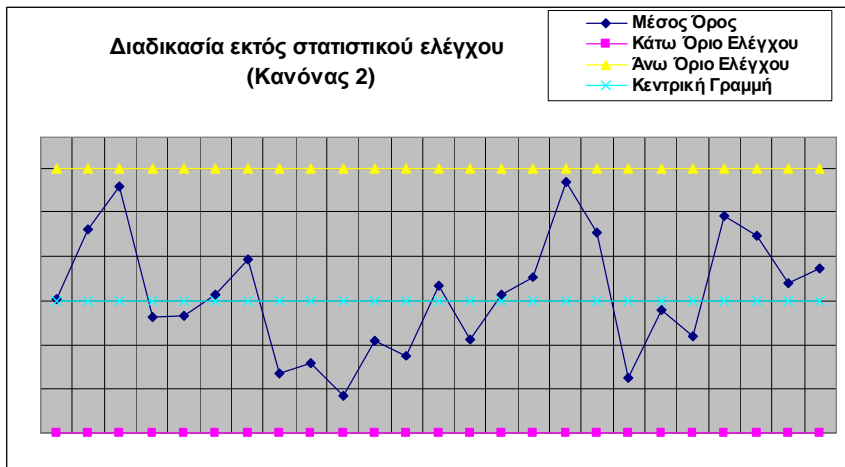
Ο κανόνας αυτός λειτουργίας του διαγράμματος ελέγχου είναι απλός αλλά ανεπαρκής. Ωστόσο, η απουσία σημείου της διαδικασίας εκτός των ορίων ελέγχου δεν σημαίνει ότι η διαδικασία βρίσκεται οπωσδήποτε κάτω από στατιστικό έλεγχο. Συγκεκριμένα, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου όλα τα σημεία της διαδικασίας βρίσκονται εντός ορίων ελέγχου αλλά η διαδικασία βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου εξ' αιτίας της κατανομής των σημείων εντός του διαγράμματος ελέγχου. Ας θεωρήσουμε τρεις ζώνες a, b, c μεταξύ της κεντρικής γραμμής (Center Line) και του άνω ορίου ελέγχου (Upper Control Limit) και τρεις αντίστοιχες ζώνες μεταξύ της κεντρικής γραμμής και του κάτω ορίου ελέγχου (Lower Control Limit). Παρακάτω, παρουσιάζονται οι περιπτώσεις αυτές.

1. Η πιθανότητα ύπαρξης δύο εκ τριών συνεχόμενων σημείων στην ζώνη a είναι εξαιρετικά σπάνια στην περίπτωση όπου η παραγωγική διαδικασία ακολουθεί την κανονική κατανομή (Σχήμα 5.3).



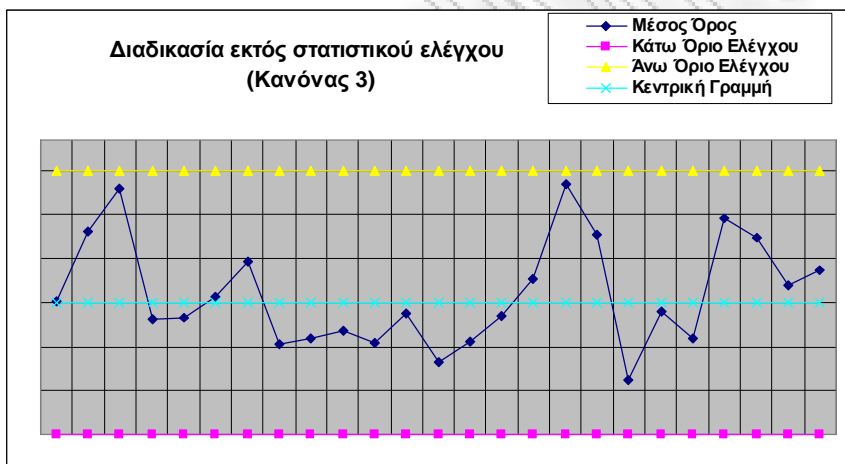
Σχήμα 11 Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 1<sup>ος</sup>)

2. Η εμφάνιση τεσσάρων από πέντε συνεχόμενα σημεία εντός ή πάνω από την ζώνη b, είναι εξαιρετικά σπάνια περίπτωση σε παραγωγική διαδικασία που ακολουθεί την κανονική κατανομή (Σχήμα 5.4).



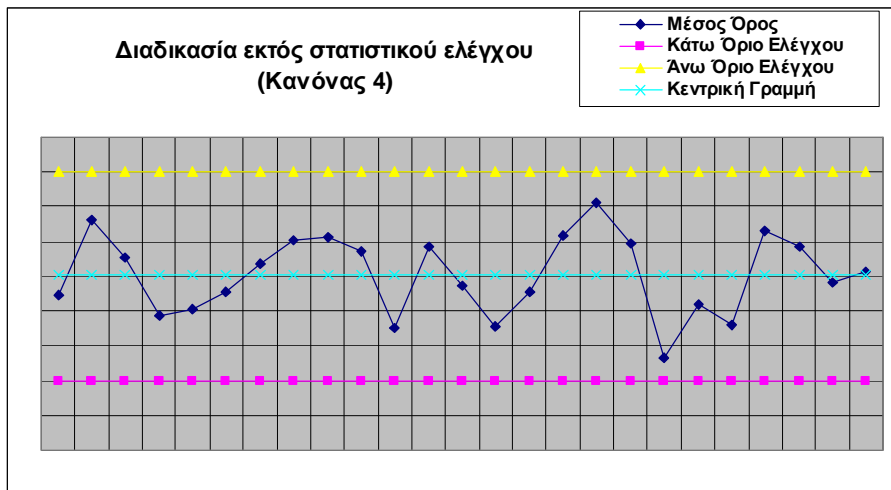
Σχήμα 12 Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 2<sup>ος</sup>)

3. Η περίπτωση εμφάνισης 8 ή περισσότερων συνεχόμενων σημείων επάνω ή κάτω από την κεντρική γραμμή είναι εξαιρετικά σπάνια σε παραγωγική διαδικασία που ακολουθεί την κανονική κατανομή (Σχήμα 5.5).



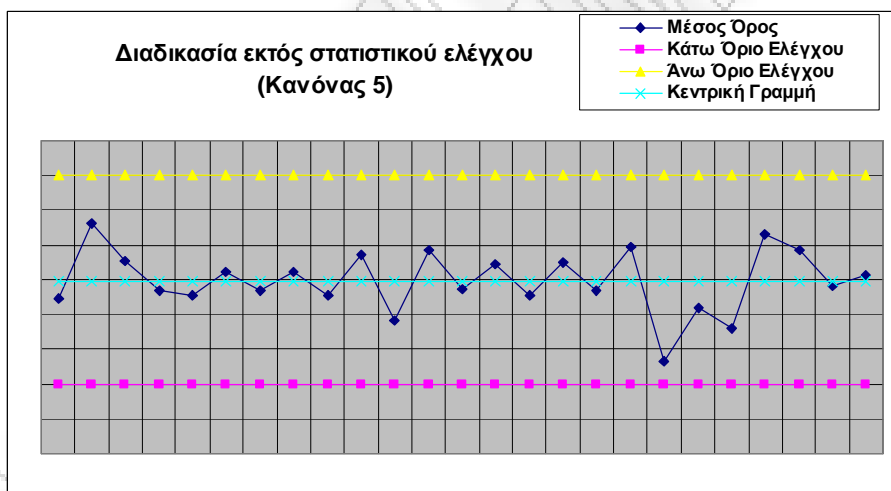
Σχήμα 13 Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 3<sup>ος</sup>)

4. Η πιθανότητα εμφάνισης 6 ή περισσότερων συνεχόμενων σημείων που παρουσιάζουν αυξητική ή πτωτική τάση είναι σπάνια σε παραγωγική διαδικασία που ακολουθεί την παραγωγική διαδικασία (Σχήμα 5.6).



**Σχήμα 14** Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 4<sup>ος</sup>)

5. Η πιθανότητα εμφάνισης 14 συνεχόμενων σημείων τα οποία παρουσιάζουν ταλαντωτική συμπεριφορά ως προς την κεντρική γραμμή είναι σπάνια σε παραγωγική διαδικασία που ακολουθεί την κανονική κατανομή (Σχήμα 5.7).



**Σχήμα 15** Διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου (Κανόνας 5<sup>ος</sup>)



### 5.3 Μεθοδολογία κατασκευής διαγραμμάτων ελέγχου

Σε γενικές γραμμές, η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή διαγραμμάτων ελέγχου είναι η ακόλουθη:

- Προετοιμασία
  - Επιλογή διαγραμμάτων ελέγχου με διαλογή ή για έλεγχο χαρακτηριστικών.
  - Καθορισμός μεγέθους δειγμάτων και συχνότητας λήψης.
- Συλλογή δεδομένων
  - Καταγραφή στατιστικών δεδομένων.
  - Υπολογισμός κατάλληλων στατιστικών μεγεθών (μέσος όρος, διακύμανση κ.λ.π.)
  - Αποτύπωση των στατιστικών μεγεθών σε διαγράμματα
- Χάραξη της Κεντρικής Γραμμής και των Ορίων Ελέγχου
  - Υπολογισμός της Κεντρικής Γραμμής (Center Line) και αποτύπωση στο διάγραμμα.
  - Υπολογισμός του Άνω Ορίου Ελέγχου (Upper Control Limit) και του Κάτω Ορίου Ελέγχου (Lower Control Limit) και αποτύπωση στο διάγραμμα.
- Ανάλυση και ερμηνεία των διαγραμμάτων
  - Λεπτομερής εξέταση των διαγραμμάτων για έλλειψη συμμόρφωσης στα όρια ελέγχου.
  - Εξάλειψη σημείων εκτός ορίων ελέγχου
  - Επαναπροσδιορισμός των ορίων ελέγχου στην περίπτωση που απαιτείται.
- Χρήση των διαγραμμάτων σαν εργαλείο επίλυσης προβλημάτων
  - Διαρκής συλλογή δεδομένων και χάραξη διαγραμμάτων ελέγχου.
  - Αναγνώριση περιπτώσεων όπου η διαδικασία είναι εκτός ελέγχου και ανάληψη διορθωτικών ενεργειών.

## 5.4 Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης

### 5.4.1 Γενικά

Στις περισσότερες περιπτώσεις παρακολούθησης μιας παραγωγικής διαδικασίας με διαγράμματα ελέγχου, το χαρακτηριστικό ποιότητας που ελέγχεται και καταγράφεται είναι χαρακτηριστικό μέτρησης (μήκος, βάρος κ.λ.π.). Η προτίμηση προς τα χαρακτηριστικά μέτρησης εξηγείται αφενός από την μεγαλύτερη ακρίβεια των πληροφοριών που παρέχουν οι μετρήσεις ενός συνεχούς μεγέθους και αφετέρου από την δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων με δείγματα μικρότερου μεγέθους, συγκριτικά με τα χαρακτηριστικά της διαλογής.

Κατά την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας με χαρακτηριστικό μέτρησης είναι συνήθως αναγκαίο να ελέγχεται τόσο η θέση όσο και η διασπορά της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας, δεδομένου ότι είναι ενδεχόμενο να επιδράσουν συστηματικές αιτίες, οι οποίες μπορεί να μεταβάλλουν είτε την μέση τιμή ή τη μεταβλητότητα είτε ταυτόχρονα τόσο τη μέση τιμή όσο και την μεταβλητότητα του χαρακτηριστικού ποιότητας. Επειδή σε κάθε περίπτωση η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων επηρεάζεται δυσμενώς, διαγράμματα ελέγχου μέσης τιμής και διασποράς χρησιμοποιούνται κατά κανόνα παράλληλα, ώστε να είναι εφικτή η έγκαιρη ανίχνευση μεταβολής οποιασδήποτε μορφής.

Η παράλληλη χρήση ενός διαγράμματος μέσης τιμής και ενός διαγράμματος διασποράς υπαγορεύεται επιπλέον από την εξάρτηση της κατανομής της μέσης τιμής δείγματος από την μεταβλητότητα του αντίστοιχου πληθυσμού. Στην περίπτωση όπου η μεταβλητότητα αυξηθεί εξαιτίας της επίδρασης μιας συστηματικής αιτίας, αυξάνεται και η πιθανότητα ένδειξης εκτός ελέγχου στο διάγραμμα μέσης τιμής. Επομένως, αν δεν χρησιμοποιείται διάγραμμα διασποράς, μέσω του οποίου εντοπίζεται η αύξηση της μεταβλητότητας, το συμπέρασμα που μπορεί να προκύψει είναι ότι έχει μεταβληθεί η μέση τιμή.

Οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι για τον στατιστικό έλεγχο της διασποράς είναι το διάγραμμα ελέγχου εύρους (διάγραμμα R) και το διάγραμμα τυπικής απόκλισης (διάγραμμα S). Συμπερασματικά, τα ευρέως χρησιμοποιούμενα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης είναι τα εξής:

- Διαγράμματα μέσης τιμής και ακραίας διαφοράς  $\bar{x} - R$
- Διαγράμματα μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης  $\bar{x} - s$

Τα διαγράμματα  $\bar{x} - R$  χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις διότι είναι οικονομικότερα και ταχύτερα μιας και το λαμβανόμενο δείγμα που χρησιμοποιείται είναι μικρό (συνήθως μεταξύ 4 και 6). Αντίθετα, τα διαγράμματα μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης  $\bar{x} - s$  χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου το λαμβανόμενο δείγμα που χρησιμοποιείται είναι μεγάλο (συνήθως μεταξύ 15 και 25).

Στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται το διάγραμμα  $\bar{x} - R$  εξαιτίας της ευκολίας υπολογισμού του εύρους δείγματος. Επειδή όμως ο παράγοντας ευκολία υπολογισμού δεν είναι τόσο σημαντικός σήμερα όσο πριν από μερικές δεκαετίες, η δημοτικότητα των διαγραμμάτων ελέγχου  $\bar{x} - S$  αυξάνεται σταθερά. Ανεξάρτητα από το είδος του διαγράμματος που θα επιλεγεί, ο έλεγχος διασποράς αποτελεί ουσιαστικά στατιστικό έλεγχο της υπόθεσης ότι η μεταβλητότητα της διαδικασίας είναι αυτή που οφείλεται σε τυχαίες μόνο αιτίες και δεν έχει μεταβληθεί λόγω της επίδρασης συστηματικών αιτιών. Επομένως η σωστή κατασκευή και λειτουργία των διαγραμμάτων ελέγχου διασποράς προϋποθέτει την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης του χαρακτηριστικού ποιότητας σε κατάσταση στατιστικού ελέγχου. Η αρχική εκτίμηση της τυπικής απόκλισης προκύπτει από την ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας. Όταν πλέον η διαδικασία έχει λειτουργήσει και ελεγχθεί επί μακρό χρονικό διάστημα, η φυσική της μεταβλητότητα θεωρείται πρακτικά γνωστή και σταθερή.

#### 5.4.2 Διαγράμματα μέσης τιμής και διακύμανσης $\bar{x} - R$

Τα διαγράμματα μέσης τιμής  $\bar{x}$  χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της διαδικασίας σε σχέση με την συμπεριφορά της ως προς την κεντρική γραμμή ενώ η χρήση των διαγραμμάτων διακύμανσης R αποσκοπεί στον έλεγχο της μεταβλητότητας της διαδικασίας. Το πρώτο βήμα για την χάραξη των διαγραμμάτων αυτών είναι η συλλογή δεδομένων. Συνήθως, συλλέγονται 25 με 30 δείγματα μεγέθους μεταξύ 3 και 10 τεμαχίων. Ορίζοντας τον αριθμό των δειγμάτων ως k και το μέγεθος του εκάστοτε δείγματος ως n, υπολογίζεται η μέση τιμή  $\bar{x}$  και η μέση R του εκάστοτε δείγματος.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$x_i$ : Η εκάστοτε τιμή μέτρησης του χαρακτηριστικού

$\bar{x}$ : Η μέση τιμή του δείγματος

n: Το μέγεθος του δείγματος

k: Ο αριθμός των δειγμάτων

Ακολούθως υπολογίζεται η μέση τιμή  $\bar{\bar{x}}$  και η μέση διακύμανση R του συνόλου k δειγμάτων από τους ακόλουθους τύπους:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$$

Στην συνέχεια, υπολογίζονται τα όρια ελέγχου και συγκεκριμένα το άνω όριο ελέγχου (Upper Control Limit – UCL) καθώς και το κάτω όριο ελέγχου (Lower Control Limit – LCL). Οι τιμές των συντελεστών σχεδίασης A2, D3 και D4 των εν λόγω διαγραμμάτων ελέγχου προκύπτουν ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος. Παρατίθενται στο Παράρτημα.

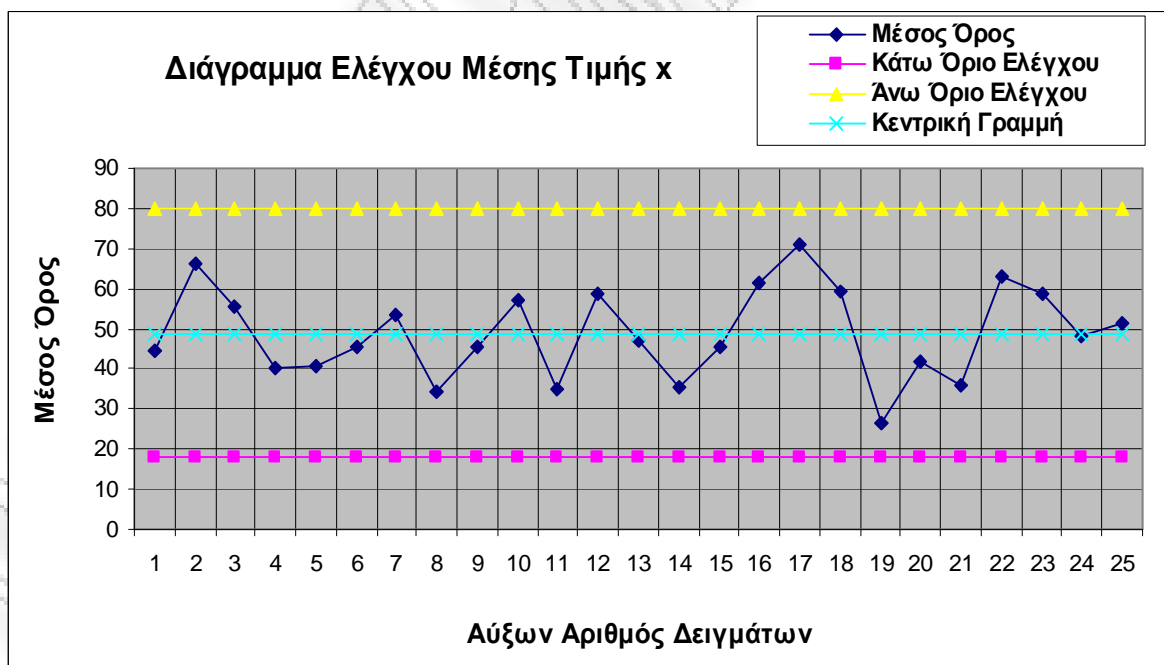
$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

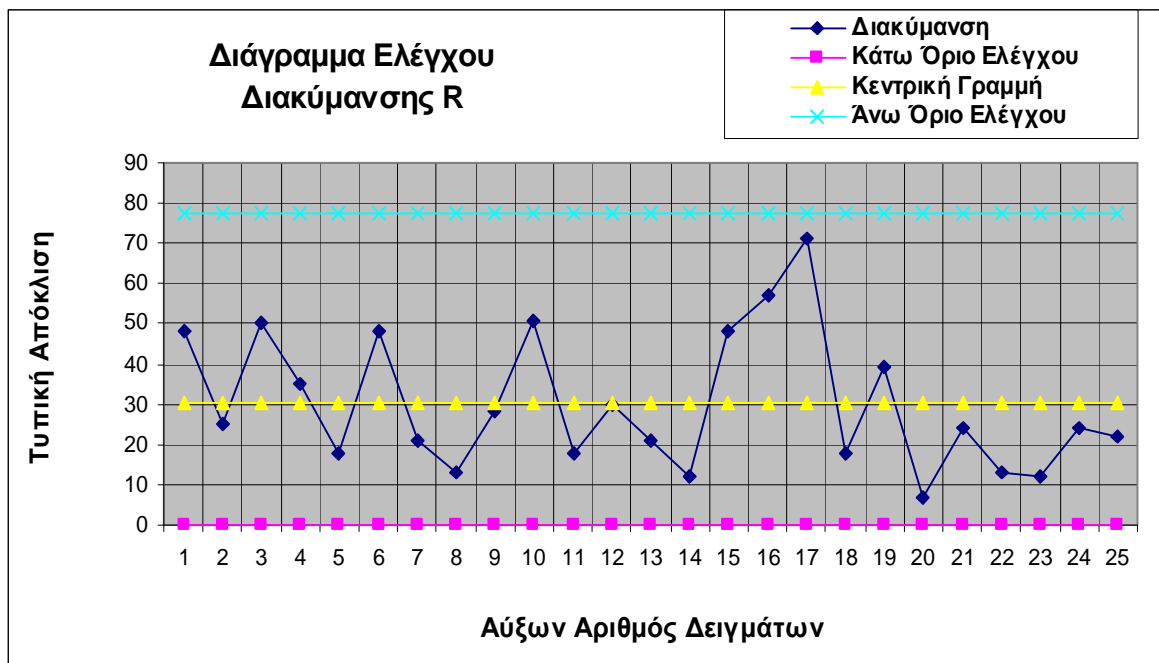
$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Τα όρια ελέγχου καθορίζουν την περιοχή εκείνη εντός της οποίας θα πρέπει να βρίσκονται όλα τα σημεία εφόσον η διαδικασία είναι εντός στατιστικού ελέγχου. Εάν κάποιο σημείο βρεθεί εκτός της περιοχής που καθορίζουν τα όρια ελέγχου ή τα σημεία του διαγράμματος εμφανίζονται με μια συστηματική διάταξη εντός της περιοχής αυτής, τότε με μεγάλη πιθανότητα η διαδικασία βρίσκεται εκτός στατιστικού ελέγχου και κάποιος ιδιαίτερος λόγος πιθανώς έχει επηρεάσει την διαδικασία. Θα πρέπει επομένως να ελεγχθεί και να μελετηθεί η διαδικασία προκειμένου να βρεθεί και να εξαλειφθεί η αιτία που επηρεάζει την διαδικασία. Ακολούθως, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαγράμματος ελέγχου μέσης τιμής και διακύμανσης  $\bar{x} - R$ .



Σχήμα 16



Σχήμα 17

Τα δεδομένα με βάση τα οποία προέκυψαν τα παραπάνω διαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα.

### 5.4.3 Διαγράμματα μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης $\bar{x} - s$

Εναλλακτική λύση της σχεδίασης των διαγραμμάτων  $\bar{x} - R$ , αποτελεί η χάραξη των διαγραμμάτων  $\bar{x} - s$  υπολογίζοντας την τυπική απόκλιση κάθε δείγματος. Παρόλο που η διακύμανση χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις εξ' αιτίας του απλού, σύντομου και οικονομικού τρόπου με τον οποίο σχεδιάζεται το διάγραμμα  $\bar{x} - R$ , εντούτοις η τυπική απόκλιση είναι σαφώς πιο αξιόπιστος δείκτης για την διακύμανση μιας διαδικασίας και τα συμπεράσματα που εξάγονται από την μελέτη του αντίστοιχου διαγράμματος είναι πιο ασφαλή.

Η τυπική απόκλιση  $s$  υπολογίζεται με βάση των παρακάτω τύπο:

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

$x_i$ : Η εκάστοτε τιμή μέτρησης του χαρακτηριστικού

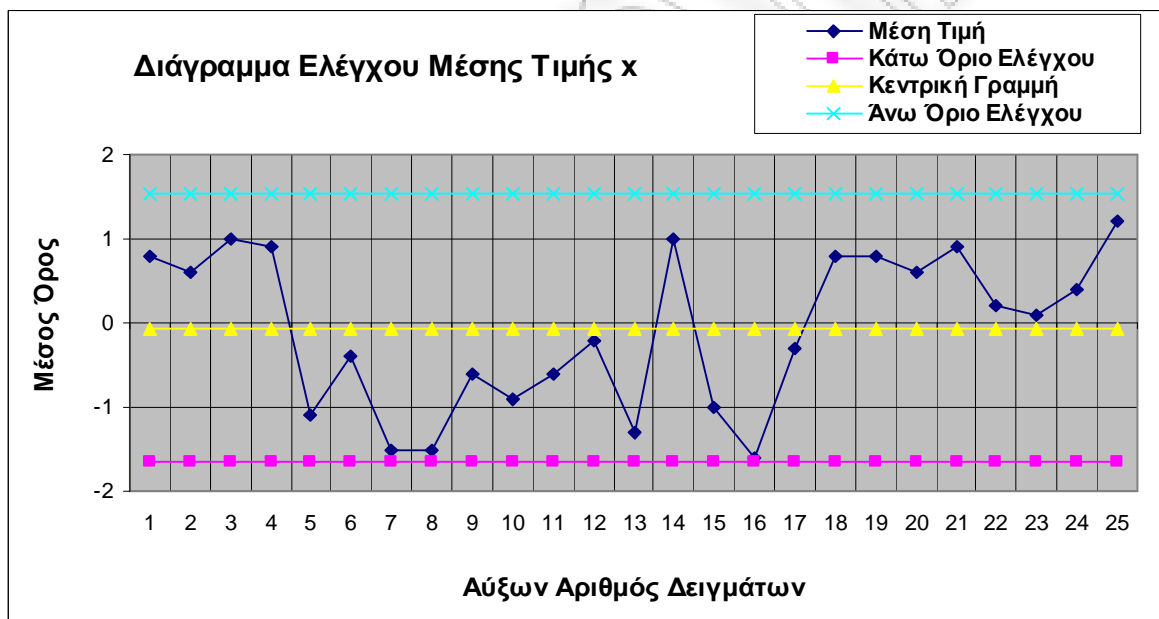
$\bar{x}$ : Η μέση τιμή του δείγματος

n: Το μέγεθος του δείγματος

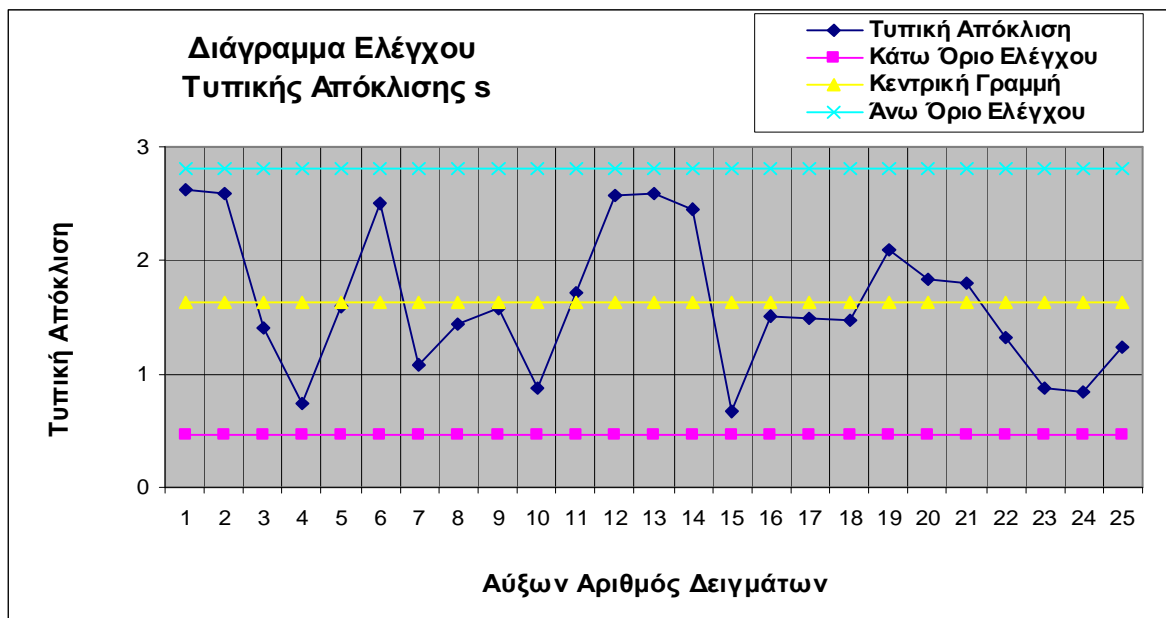
Τα όρια ελέγχου προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις. Οι τιμές των συντελεστών σχεδίασης B3 και B4 των εν λόγω διαγραμμάτων ελέγχου προκύπτουν ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος. Παρατίθενται στο Παράρτημα.

$$UCLs = B_4 \bar{s} \qquad LCLs = B_3 \bar{s}$$

Ακολούθως παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαγράμματος ελέγχου μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης  $\bar{x} - s$ .



Σχήμα 18



Σχήμα 19

Τα δεδομένα με βάση τα οποία προέκυψαν τα παραπάνω διαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα.



## 5.5 Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής

Στην προηγούμενη παράγραφο εξετάσθηκαν τα διαγράμματα ελέγχου με μετρήσεις. Στα διαγράμματα αυτά σημειώνεται η μέση τιμή και η ακραία διαφορά ή η τυπική απόκλιση των τιμών που προκύπτουν από την μέτρηση του ελεγχόμενου χαρακτηριστικού των μονάδων ενός μικρού συνήθως δείγματος. Ακολουθώς, εξάγονται συμπεράσματα από την θέση που έχουν τα παραπάνω μεγέθη στο διάγραμμα. Αντίθετα, στα διαγράμματα ελέγχου με διαλογή, οι μονάδες του δείγματος διαχωρίζονται σε αποδεκτές και μη αποδεκτές. Το πλήθος των μη αποδεκτών μονάδων στο δείγμα, μετρούμενο σε ποσοστό στο σύνολο των μονάδων του δείγματος ή απόλυτα, σημειώνεται στα διαγράμματα και εξάγονται ανάλογα συμπεράσματα.

Όπως είναι γνωστό, υπάρχουν προϊόντα, των οποίων οι ιδιότητες δεν υπόκεινται σε μέτρηση παρά μόνο σε κατάταξη (π.χ. το χρώμα, η εμφάνιση κ.α). Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται η χρήση των διαγραμμάτων διαλογής τα οποία επιπρόσθετα δίνουν την δυνατότητα ταυτόχρονης παρακολούθησης πολλών και διαφόρων ελαττωμάτων του προϊόντος. Σε αυτή την περίπτωση, τα ελαττώματα προστίθενται, με ή χωρίς συντελεστές βαρύτητας, προσδιορίζεται ο δείκτης ελαττωμάτων και παρακολουθείται η πορεία του. Ο έλεγχος με δείκτη ελαττωμάτων, στην πραγματικότητα, αποτελεί ποσοτικό χαρακτηρισμό της ποιότητας (ποσοτικοποίηση) των χαρακτηριστικών ενός σύνθετου προϊόντος. Τα κυριότερα διαγράμματα ελέγχου με διαλογή είναι τα ακόλουθα:

- § Διαγράμματα p – chart
- § Διαγράμματα c – chart
- § Διαγράμματα u – chart

### 5.5.1 Γενικά

Στην περίπτωση όπου το χαρακτηριστικό ποιότητας είναι χαρακτηριστικό διαλογής, κύριος σκοπός των διαγραμμάτων ελέγχου είναι ο έγκαιρος εντοπισμός αυξήσεων της αναλογίας των ελαττωματικών προϊόντων ή του μέσου αριθμού ελαττωμάτων ανά μονάδα εξαιτίας των επιδράσεων συστηματικών αιτιών. Η μορφή των απλών διαγραμμάτων ελέγχου

χαρακτηριστικών διαλογής είναι η γενική μορφή των διαγραμμάτων Shewhart με μια κεντρική γραμμή και δύο όρια ελέγχου. Η κεντρική γραμμή εκφράζει την ονομαστική στάθμη ποιότητας (σε ποσοστό ελαττωματικών ή αριθμό ελαττωμάτων ανά μονάδα), που αντιστοιχεί σε λειτουργία της διαδικασίας σε στατιστικό έλεγχο.

Τα ελαττωματικά ή ελαττώματα που διαμορφώνουν την ονομαστική στάθμη ποιότητας είναι αναπόφευκτα, καθώς οφείλονται αποκλειστικά σε τυχαίες αιτίες. Με δεδομένο ότι είναι αδύνατη η ξαφνική και αναίτια μείωση του μέσου ποσοστού ελαττωματικών χωρίς κάποια βελτιωτική παρέμβαση, η χάραξη κάτω ορίου ελέγχου στα διαγράμματα χαρακτηριστικών διαλογής θα μπορούσε να θεωρηθεί περιττή. Συνήθως όμως, το κάτω όριο ελέγχου διατηρείται διότι χρησιμεύει στον εντοπισμό περιπτώσεων κακής εφαρμογής των κριτηρίων διαλογής. Σημείο κάτω από το κάτω όριο ελέγχου, δηλαδή υπερβολικά χαμηλό ποσοστό ελαττωματικών δεν είναι φυσιολογικό σύμφωνα με την ονομαστική στάθμη ποιότητας της διαδικασίας και επομένως αποτελεί ένδειξη κατάταξης ελαττωματικών προϊόντων στην κατηγορία των μη ελαττωματικών.

### **5.5.2 Διαγράμματα $p$ –chart**

Για τον σχεδιασμό του διαγράμματος ελέγχου ποσοστού σκάρτων  $p$ , θα πρέπει να υπολογιστεί το μέσο ποσοστό σκάρτων  $\bar{p}$  το οποίο προκύπτει από την φάση της παραγωγικής διαδικασίας την οποία παρακολουθούμε όταν αυτή είναι υπό έλεγχο. Αν το ποσοστό αυτό δεν είναι γνωστό, προσδιορίζεται από ποσότητα τεμαχίων πολύ μεγαλύτερη από την ποσότητα των τεμαχίων του δείγματος. Αν π.χ. κάθε δείγμα περιλαμβάνει 20 μονάδες, τότε για τον υπολογισμό της μέσης τιμής του ποσοστού σκάρτων  $\bar{p}$  λαμβάνονται 200 ή και περισσότερες μονάδες από την κανονική λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας της μηχανής. Είναι προφανές ότι όσο περισσότερες μονάδες ληφθούν τόσο ακριβότερη θα είναι η υπολογιζόμενη μέση τιμή των σκάρτων  $\bar{p}$ . Ακολουθώς, υπολογίζεται το μέγεθος  $S_{\bar{p}}$  βάσει του οποίου υπολογίζονται τα όρια ελέγχου του διαγράμματος (Upper Control Limit και Lower Control Limit).

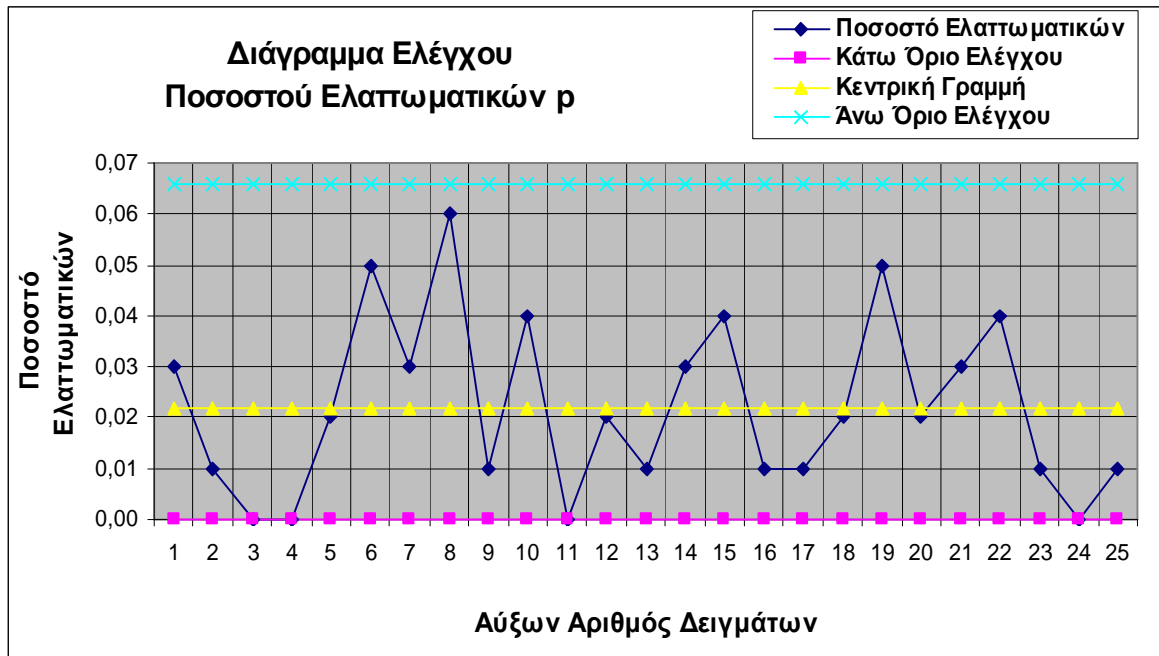
$$s_{\bar{p}} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$UCL_p = \bar{p} + 3s_{\bar{p}}$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3s_{\bar{p}}$$

Τα διαγράμματα ελέγχου  $p$  χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλα μεγέθη δείγματος, που είναι απαραίτητα διότι το ποσοστό ελαττωματικών της διαδικασίας είναι γενικά χαμηλό και δεν μπορεί να εκτιμηθεί με αξιοπιστία από μικρά δείγματα. Για το λόγο αυτό, η διαλογή των ελαττωματικών πρέπει να είναι απλή και γρήγορη και ο ρυθμός παραγωγής υψηλός προκειμένου τα δείγματα να απέχουν χρονικά μεταξύ τους και να εντοπίζουν αποτελεσματικά μεταβολές στη στάθμη ποιότητας. Όταν αυτό δεν συμβαίνει, συνηθίζεται τα δείγματα να αποτελούνται από το σύνολο της παραγωγής σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ισχύς του διαγράμματος ελέγχου κατά τον πρώτο έλεγχο μετά την επίδραση μιας συστηματικής αιτίας να είναι μικρότερη από ότι είναι όταν το σύνολο των στοιχείων του δείγματος έχουν παραχθεί μετά την επίδραση.

Επιπρόσθετα, τα μεγέθη των δειγμάτων μπορεί να διαφέρουν επειδή ο αριθμός των μονάδων που παράγονται δεν είναι πάντοτε σταθερός εξαιτίας π.χ. διακοπών στην παραγωγική διαδικασία. Η περίπτωση μεταβλητού μεγέθους δείγματος δεν δημιουργεί ουσιαστικές δυσκολίες στην κατασκευή και λειτουργία του διαγράμματος  $p$ . Η μόνη απαιτούμενη τροποποίηση συνίσταται στην χρήση διαφορετικών ορίων ελέγχου για κάθε δείγμα.



Σχήμα 20

Ο στατιστικός έλεγχος μιας παραγωγικής διαδικασίας με χαρακτηριστικό διαλογής μπορεί να πραγματοποιηθεί και με το διάγραμμα ελέγχου np το οποίο είναι ισοδύναμο με το διάγραμμα p. Στο διάγραμμα ελέγχου np σημειώνονται απευθείας οι αριθμοί ελαττωματικών σε δείγματα σταθερού μεγέθους, χωρίς να μετατρέπονται σε ποσοστά ελαττωματικών όπως στο διάγραμμα p. Η χρήση του διαγράμματος np πρέπει να αποφεύγεται όταν το μέγεθος του δείγματος είναι μεταβλητό, επειδή τότε αφενός τα διαδοχικά σημεία δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα και αφετέρου η κεντρική γραμμή δεν είναι σταθερή.

### 5.5.3 Διαγράμματα c – chart

Το διάγραμμα ελέγχου c χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση του αριθμού ελαττωμάτων σε μια παραγωγική διαδικασία όταν το μέγεθος δείγματος παραμένει σταθερό. Το σταθερό μέγεθος του δείγματος του διαγράμματος c χαρακτηρίζεται ως μονάδα επιθεώρησης και αντιστοιχεί σε ορισμένη ποσότητα παραγωγής που θεωρείται κατάλληλη για την συλλογή στοιχείων. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μην ταυτίζεται απαραίτητως με μια μονάδα προϊόντος.

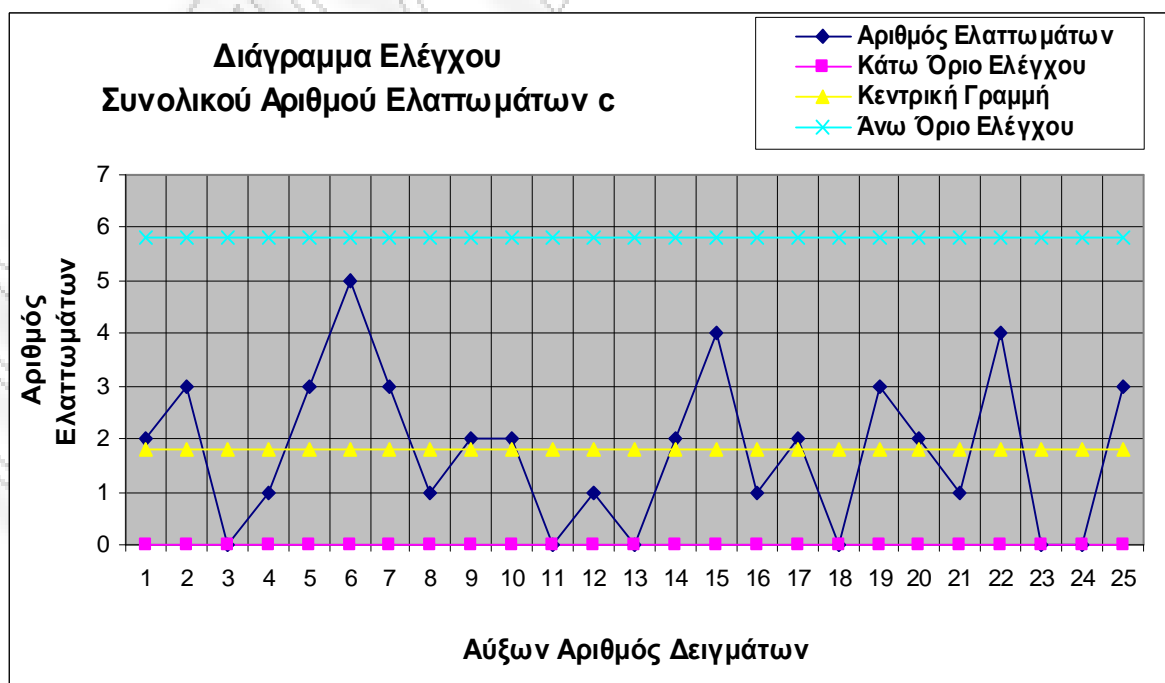
Ο σχεδιασμός ενός διαγράμματος ελέγχου c γίνεται ως εξής: σε τακτά χρονικά διαστήματα, ελέγχεται ποσότητα παραγωγής ίση προς μια μονάδα επιθεώρησης, καταμετρείται ο αριθμός ελαττωμάτων c και απεικονίζεται στο

διάγραμμα. Αν το σημείο βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου, συμπεραίνουμε με μεγάλη πιθανότητα ότι ο αριθμός των ελαττωμάτων που δημιουργούνται από την διαδικασία έχει μεταβληθεί σε σχέση με τον ονομαστικό. Ανάλογο συμπέρασμα προκύπτει και στην περίπτωση όπου τα σημεία του διαγράμματος εμφανίζονται με μια συστηματική διάταξη. Η στατιστική βάση για την κατασκευή του διαγράμματος  $c$  βασίζεται συνήθως στην υπόθεση ότι ο αριθμός ελαττωμάτων σε μια μονάδα επιθεώρησης ακολουθεί την κατανομή Poisson. Η υπόθεση αυτή ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός θέσεων δημιουργίας ελαττωμάτων ενώ η πιθανότητα εμφάνισης ελαττωμάτων σε κάθε μια από αυτές τις θέσεις είναι πολύ μικρή. Λόγω της αναπαραγωγικής ιδιότητας της κατανομής Poisson, ο ορισμός της μονάδας επιθεώρησης δεν επηρεάζει την κατανομή του αριθμού ελαττωμάτων.

Για τον υπολογισμό της κεντρικής γραμμής και των ορίων ελέγχου του διαγράμματος, απαιτείται ο μέσος αριθμός ελαττωμάτων  $\bar{c}$  της παραγωγικής διαδικασίας όταν βρίσκεται υπό έλεγχο. Για διάγραμμα ελέγχου 3 τυπικών αποκλίσεων είναι:

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$



Σχήμα 21

Παρά το γεγονός ότι η κατασκευή και λειτουργία των διαγραμμάτων ελέγχου  $c$  βασίζονται στην κατανομή Poisson εντούτοις συναντώνται περιπτώσεις όπου η κατανομή του αριθμού ελαττωμάτων δεν προσεγγίζεται από την κατανομή Poisson με ικανοποιητική ακρίβεια (Jackson, 1972). Στις περιπτώσεις αυτές είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση διαφορετικής συνάρτησης πιθανότητας η οποία να αποδίδει καλύτερα την κατανομή του αριθμού ελαττωμάτων (Johnson, Kotz & Kemp, 1992).

#### 5.5.4 Διαγράμματα $u$ – chart

Το διάγραμμα ελέγχου  $u$ , όπως και το διάγραμμα  $c$ , χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση του αριθμού ελαττωμάτων σε μια παραγωγική διαδικασία. Η διαφορά σε σχέση με το διάγραμμα  $c$  έγκειται στο γεγονός ότι το μέγεθος του δείγματος είναι μεταβλητό. Κατά τα άλλα, και ομοίως με το διάγραμμα  $c$ , η στατιστική βάση για την κατασκευή του διαγράμματος  $u$  βασίζεται συνήθως στην υπόθεση ότι ο αριθμός των ελαττωμάτων σε μια μονάδα επιθεώρησης ακολουθεί την κατανομή Poisson.

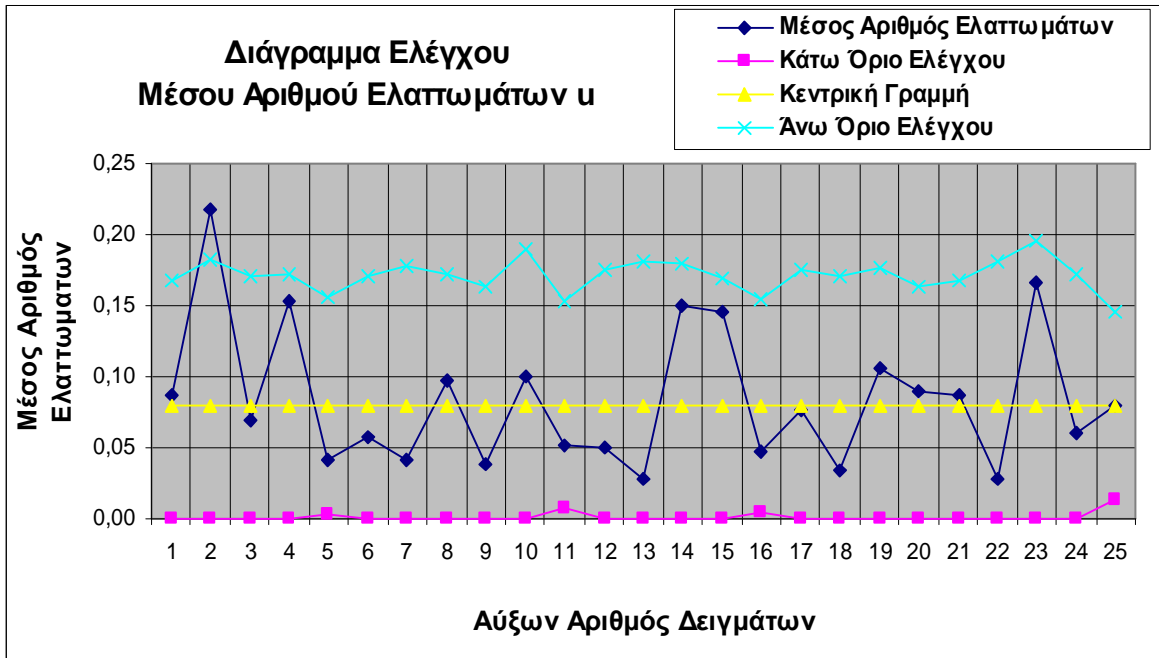
Στο διάγραμμα  $u$ , το δείγμα αποτελείται από  $n \geq 1$  μονάδες επιθεώρησης με  $n$  μεταβλητό. Ο συνολικός αριθμός ελαττωμάτων στις  $n$  μονάδες του δείγματος συμβολίζεται με  $c$ . Στατιστική δείγματος είναι ο μέσος αριθμός ελαττωμάτων ανά μονάδα επιθεώρησης που προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$u = c/n$$

Η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου για διάγραμμα ελέγχου 3 τυπικών αποκλίσεων είναι τα ακόλουθα:

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n_i}$$

$$LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n_i}$$



Σχήμα 22

## 5.6 Ειδικές περιπτώσεις διαγραμμάτων ελέγχου

Στις προηγούμενες παραγράφους εξετάστηκαν και αναλύθηκαν σε βάθος τα λεγόμενα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου τα οποία στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στις αρχές που ανέπτυξε ο Shewhart. Κύριο χαρακτηριστικό των διαγραμμάτων αυτών αποτελεί η απλότητα και η ευχρηστία τους γεγονός που κάνει την χρήση τους ιδιαίτερα διαδεδομένη. Παρόλα αυτά, παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα με πιο σημαντικό την αδυναμία να χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που περιέχονται στο τελευταίο σημείο του διαγράμματος και να αγνοούν τα προηγούμενα δείγματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα διαγράμματα Shewhart να μην αντιλαμβάνονται άμεσα και αποτελεσματικά την επίδραση συστηματικών αιτιών που επιφέρουν σχετικά μικρές μεταβολές στις παραμέτρους του παραγόμενου πληθυσμού της τάξης του 1,5σ ή μικρότερες. (Woodall & Montgomery, 1993).

Υπάρχει βέβαια η δυνατότητα εξέτασης των διαδοχικών σημείων του διαγράμματος και η εφαρμογή κανόνων σειρών ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα μικρότερες τάσεις και αλλαγές. Με τον τρόπο αυτό όμως, αφενός η λειτουργία του διαγράμματος περιπλέκεται, αφετέρου δε η πιθανότητα σφαλμάτων πρώτου είδους αυξάνεται σημαντικά. Για την λύση των προβλημάτων αυτών αλλά και για την αντιμετώπιση ορισμένων ειδικών περιπτώσεων, έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια νέοι τύποι διαγραμμάτων ελέγχου (Zhang, 1998). Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα σταθεροποιημένα διαγράμματα ελέγχου (stabilized control charts), τα διαγράμματα ελέγχου εκθετικής εξομάλυνσης (EWMA - Exponentially Weighted Moving Average control charts), τα αθροιστικά διαγράμματα ελέγχου (CUSUM – Cumulative Sum control charts) και τα διαγράμματα ελέγχου ζώνης (zone control charts).

### 5.6.1 Σταθεροποιημένα διαγράμματα ελέγχου (Stabilized Control Charts)

Τα διαγράμματα ελέγχου αναπτύχθηκαν για παραγωγικές διαδικασίες όπου οι παραγόμενες ποσότητες είναι ιδιαίτερα υψηλές και απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλα χρονικά διαστήματα για να ολοκληρωθούν. Ορισμένες όμως βιομηχανίες απαιτούν ευελιξία στην παραγωγική διαδικασία, γεγονός που σημαίνει ότι αυτή



μπορεί να ολοκληρωθεί σε ιδιαίτερα σύντομα χρονικά διαστήματα. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να μην είναι δυνατή η συλλογή ικανών δειγμάτων που να επιτρέπουν τον υπολογισμό των ορίων ελέγχου. Ακόμη και στην περίπτωση όπου εξαχθούν τα όρια ελέγχου και σχεδιασθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα, η παραγωγική διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί οπότε τα διαγράμματα ελέγχου δεν έχουν απολύτως καμία χρησιμότητα.

Τα κλασσικά διαγράμματα ελέγχου μπορεί να τροποποιηθούν προκειμένου να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις σύντομων παραγωγικών διαδικασιών. Συγκεκριμένα, είναι δυνατός ο μετασχηματισμός των δεδομένων της παραγωγικής διαδικασίας ούτως ώστε να είναι ανεξάρτητα από την μονάδα μέτρησης. Τα διαγράμματα αυτά ελέγχου ονομάζονται σταθεροποιημένα διαγράμματα ελέγχου. Η φιλοσοφία των διαγραμμάτων αυτών είναι όμοια με την φιλοσοφία μετασχηματισμού μεταβλητών τυχαίας κανονικής κατανομής σε τυχαία κανονική μεταβλητή με μέσο όρο 0 και διακύμανση 1 αφαιρώντας τον μέσο όρο και διαιρώντας με την τυπική απόκλιση (Mayer, 1983).

Οι συνηθισμένοι μετασχηματισμοί είναι  $(x - \bar{x})/\bar{R}$  και  $R/\bar{R}$ . Για τα διαγράμματα μέσης τιμής, τα όρια ελέγχου στον μετασχηματισμό  $(x - \bar{x})/\bar{R}$  είναι UCL = A2 και LCL = -A2. Όρια ελέγχου για τα διαγράμματα ακραίας διαφοράς με βάση τον μετασχηματισμό  $R/\bar{R}$  είναι UCL = D4 και LCL = D3. Τα διαγράμματα αυτού του τύπου μπορούν να προσαρμοσθούν και για κάθε τύπο διαγραμμάτων ελέγχου με διαλογή χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό:  $Z = (\text{στατιστικό δείγμα} - \text{μέσος όρος διαδικασίας}) / \text{τυπική απόκλιση}$ . Για παράδειγμα, σχεδιάζοντας ένα σταθμισμένο διάγραμμα p-chart χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός:

$$z = (p - \bar{p})/s_p$$

### 5.6.2 Διαγράμματα ελέγχου εκθετικής εξομάλυνσης (EWMA charts)

Τα διαγράμματα εκθετικής εξομάλυνσης (EWMA - Exponentially Weighted Moving Average control charts), γνώρισαν εφαρμογές κυρίως σε χημικές βιομηχανίες όπου μόνο μια παρατήρηση ανά χρονική περίοδο είναι δυνατόν να είναι διαθέσιμη. Τα διαγράμματα αυτού του είδους, λαμβάνουν υπόψη τους όλα

τα προηγούμενα δείγματα όπως και τα αθροιστικά διαγράμματα με τη διαφορά όμως ότι τα διαγράμματα εκθετικής εξομάλυνσης ενσωματώνουν πληροφορίες από προηγούμενα δεδομένα και όχι μόνο από τις τελευταίες παρατηρήσεις. Ο όρος εκθετικά σταθμισμένα αναφέρεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα είναι σταθμισμένα με το υψηλότερο βαθμό στάθμισης να αφορά στα πιο πρόσφατα δεδομένα (*Lucas & Saccucci, 1990*).

Το στατιστικό στοιχείο που αποτυπώνεται στο διάγραμμα είναι

$$z_t = a\bar{x}_t + (1-a)z_{t-1}$$

όπου:

$z_t$  είναι ο εκθετικά σταθμισμένος μέσος όρος  $t$  παρατηρήσεων

$\bar{x}_t$  η τιμή της παρατήρησης  $t$

$z_{t-1}$  ο προηγούμενος εκθετικά σταθμισμένος μέσος όρος

$a$  συντελεστής με τιμή που κυμαίνεται στο διάστημα  $0 - 1$ .

Ο παραπάνω τύπος είναι δυνατόν να εκφρασθεί εναλλακτικά ως εξής:

$$z_t = z_{t-1} + a(\bar{x}_t - z_{t-1})$$

Με την εναλλακτική αυτή σχέση προκύπτει ότι η τρέχουσα τιμή του  $z$  ισούται με την προηγούμενη τιμή προσαυξημένη κατά ένα ποσοστό της διαφοράς μεταξύ της τρέχουσας και της προηγούμενης παρατήρησης. Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση όπου το  $a$  ισούται με  $1$ , ο τύπος παραπέμπει στο κλασικό διάγραμμα  $\bar{x}$  - chart.

Το τυπικό σφάλμα του εκθετικά σταθμισμένου μέσου όρου είναι:

$$s_z = s_c \sqrt{\frac{a}{2-a}}$$

### **5.6.3 Αθροιστικά διαγράμματα ελέγχου (CuSum Charts)**

Τα αθροιστικά διαγράμματα ελέγχου (Cumulative Sum Control Charts – CuSum charts), σχεδιάστηκαν για να αναγνωρίζουν μικρές μεν αλλά υπολογίσιμες μετατοπίσεις μιας διαδικασίας πολύ πιο σύντομα σε σχέση με τα κοινά διαγράμματα. Δεδομένου ότι τα διαγράμματα αυτού του είδους δίνουν μια

πρόωρη ένδειξη για αλλαγές στην διαδικασία, είναι σύμφωνα με την φιλοσοφία του να ενεργείς σωστά, τον σωστό χρόνο αποφεύγοντας την παραγωγή μη συμμορφούμενων προϊόντων. Θα πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι τα αθροιστικά διαγράμματα ελέγχου είναι πιο πολύπλοκα σε σχέση με τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου Shewhart και για τον λόγο αυτό αρκετοί ερευνητές έχουν προσεγγίσει την προοπτική συνδυασμού των δύο τύπων διαγραμμάτων ελέγχου. Μια εκ των προσεγγίσεων αυτών αποτελούν τα διαγράμματα διπλής μέτρησης τα οποία αναπτύχθηκαν με στόχο να συνδυάσουν την πρακτικότητα και την απλότητα των διαγραμμάτων Shewhart με την βελτιωμένη απόδοση των αθροιστικών διαγραμμάτων ελέγχου (Marquardt, 1997).

Τα αθροιστικά διαγράμματα ελέγχου υπολογίζουν και χρησιμοποιούν το άθροισμα των αποκλίσεων των κατάλληλων στατιστικών εκτιμητριών διαδοχικών δειγμάτων από την αντίστοιχη ονομαστική τιμή. Ειδικότερα, το αθροιστικό διάγραμμα μέσης τιμής χρησιμοποιεί ως συνολική στατιστική του διαγράμματος το μέγεθος:

$$C(i) = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - m_0)$$

όπου

$\bar{x}_j$  η μέση τιμή του δείγματος j

$m_0$  η ονομαστική μέση τιμή του ελεγχόμενου χαρακτηριστικού ποιότητας X

Κατά κανόνα, το χαρακτηριστικό ποιότητας που ελέγχεται θεωρείται τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή  $N(\mu, \sigma^2)$ . Επειδή το άθροισμα  $C(i)$  συνδυάζει πληροφορίες από όλα τα  $i$  διαθέσιμα δείγματα, το αθροιστικό διάγραμμα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στον εντοπισμό μικρών μεταβολών της μέσης τιμής  $\mu$  της τάξης  $0,5\sigma - 1,5\sigma$ . Ειδικά το αθροιστικό διάγραμμα είναι πολύ πιο κατάλληλο και αποτελεσματικό του διαγράμματος  $\bar{x}$  στον εντοπισμό μικρών μεταβολών με δείγματα μεγέθους  $n = 1$ .

#### **5.6.4 Προσαρμοσμένο διάγραμμα ελέγχου (*adaptive control chart*)**

Πρόκειται για διαγράμματα ελέγχου με κύριο χαρακτηριστικό την μεταβολή των παραμέτρων του ανάλογα με την πραγματικού χρόνου ροή δεδομένων (*real time data*) που συλλέγονται μέσω της δειγματοληψίας. Η λογική της σχεδίασης και λειτουργίας του προσαρμοσμένου διαγράμματος ελέγχου στηρίζεται στην δυνατότητα προσαρμογής παραμέτρων όπως το χρονικό διάστημα μεταξύ των δειγματοληψιών ή το μέγεθος δείγματος κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Το πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι η αποτελεσματικότερη αναγνώριση συστηματικών αιτιών χωρίς παράλληλα να αυξάνεται το κόστος των δειγματοληπτικών ελέγχων. Ειδικότερα, ο ρυθμός δειγματοληψίας επιταχύνεται όταν η στατιστική δείγματος είναι μεν εντός των ορίων ελέγχου αλλά πολύ κοντά σε ένα από αυτά. Η επιτάχυνση του ρυθμού συγκέντρωσης πληροφοριών από την διαδικασία υλοποιείται μέσω μείωσης του χρόνου μεταξύ των δειγματοληψιών, με αύξηση του μεγέθους δείγματος ή με συνδυασμό των δύο αυτών παραμέτρων (*Duncan, 1986*).

#### **5.6.5 Ομαδικό διάγραμμα ελέγχου**

Το ομαδικό διάγραμμα ελέγχου (*group control chart*) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η υπό έλεγχο παραγωγική διαδικασία συνίσταται σε πολλές παράλληλες επιμέρους διαδικασίες. Ο έλεγχος της μέσης τιμής και της διασποράς θα μπορούσε θεωρητικά να πραγματοποιηθεί με ξεχωριστά διαγράμματα  $\bar{x}$  για κάθε επιμέρους διαδικασία αλλά αυτό θα οδηγούσε στην παράλληλη τήρηση πολλών διαγραμμάτων ελέγχου και κατ' επέκταση στην δυσκολία συνολικής παρακολούθησης της διαδικασίας. Επιπρόσθετα, αν οι επιμέρους διαδικασίες παρουσίαζαν ιδιαίτερα υψηλό βαθμό συσχέτισης, θα αρκούσε ο έλεγχος μιας και μόνο διαδικασίας. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις, η συσχέτιση των επιμέρους διαδικασιών δεν είναι τόσο υψηλή οπότε και η χρήση των ομαδικών διαγραμμάτων ελέγχου αποτελεί μονόδρομο (*Nelson & Stephenson, 1996*).

Στόχος του ομαδικού διαγράμματος ελέγχου είναι αφενός να εντοπίσει μεταβολές στην συνολική μέση τιμή ή διασπορά όλων των επιμέρους διαδικασιών, αφετέρου δε, να ανιχνεύσει διαφορές μεταξύ των επιμέρους

διαδικασιών. Η κατασκευή του ομαδικού διαγράμματος ελέγχου  $\bar{x}$  διαφέρει από αυτή του αντίστοιχου διαγράμματος Shewhart μόνο ως προς την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης και ενδεχομένως, ως προς τον προσδιορισμό της κεντρικής γραμμής. Κατά την λειτουργία του διαγράμματος, λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα δείγματα από κάθε επιμέρους διαδικασία και υπολογίζονται οι μέσες τιμές όλων των επιμέρους δειγμάτων με την διαφορά ότι στο διάγραμμα σημειώνονται μόνο η ελάχιστη και η μέγιστη από αυτές μαζί με τον αύξοντα αριθμό της επιμέρους διαδικασίας στην οποία αντιστοιχεί. (Mortell & Runger, 1995).

### **5.6.6 Διάγραμμα με ασύμμετρα όρια ελέγχου**

Τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου Shewhart σχεδιάζονται με όρια ελέγχου τα οποία ισαπέχουν από την κεντρική γραμμή απόσταση  $k$  τυπικών αποκλίσεων. Η συμμετρική αυτή διάταξη των ορίων ελέγχου σε σχέση με την Κεντρική Γραμμή ακολουθεί ανάλογα την συμμετρία των συστηματικών αιτιών. Εξαιτίας όμως της εμφάνισης ορισμένων παραγόντων, προκύπτουν ασυμμετρίες που αντιμετωπίζονται με την τοποθέτηση των ορίων ελέγχου σε θέσεις ασύμμετρες ως προς την Κεντρική Γραμμή. Οι κυριότεροι παράγοντες εμφάνισης της εν λόγω ασυμμετρίας είναι η διαφορετική μεταβλητότητα του χαρακτηριστικού ποιότητας όταν η μέση τιμή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της ονομαστικής, η διαφορετική συχνότητα επίδρασης συστηματικών αιτιών που αυξάνουν τη μέση τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας καθώς επίσης και οι διαφορετικές καθοδικές ή ανοδικές μεταβολές της μέσης τιμής. Το ποσοστό ασυμμετρίας που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περίπτωσης όπως για παράδειγμα η αύξηση ή η μείωση της μέσης τιμής (Tagaras, 1989).

## 5.7 Σχεδιασμός διαγραμμάτων ελέγχου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την παρακολούθηση διαδικασιών προκειμένου να ανιχνευθούν και να αντιμετωπισθούν διακυμάνσεις που οδηγούν σε προϊόντα ή υπηρεσίες εκτός προκαθορισμένων προδιαγραφών. Για να επιτευχθεί ο βέλτιστος έλεγχος μιας διαδικασίας θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερο βάρος στον σχεδιασμό του διαγράμματος ελέγχου που θα χρησιμοποιηθεί. Πέρα από την πλήρη γνώση της υπό παρακολούθηση διαδικασίας και του συνόλου των παραμέτρων της, θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να καθορισθεί το ποιοτικό χαρακτηριστικό που θα παρακολουθηθεί. Επιπλέον θα πρέπει να καταστεί σαφής ο λόγος παρακολούθησης του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού σε σχέση με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του προϊόντος (Yang & Yang, 2004).

Ακολουθως, και ανάλογα με την φύση του χαρακτηριστικού ποιότητας (μέτρησης ή διαλογής) και τις ιδιαιτερότητες της διαδικασίας που θα ελέγχεται, επιλέγεται το κατάλληλο διάγραμμα ελέγχου. Τέλος, προσδιορίζονται οι παράμετροι σχεδίασης του διαγράμματος ελέγχου που είναι οι εξής:

- Χρονικό διάστημα μεταξύ δειγματοληψιών
- Μέγεθος δείγματος
- Απόσταση Ορίων Ελέγχου από την Κεντρική Γραμμή

Υπάρχουν δύο τεχνικές σχεδιασμού διαγραμμάτων ελέγχου βασισμένες σε οικονομικά ή στατιστικά αντίστοιχα κριτήρια. Οι βασικές στατιστικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια σχεδίασης ενός διαγράμματος ελέγχου είναι η πιθανότητα σφάλματος τύπου α και η πιθανότητα σφάλματος τύπου β. Η επιλογή των παραμέτρων σχεδίασης ενός διαγράμματος ελέγχου με στατιστικά κριτήρια δεν λαμβάνει υπόψη οικονομικά στοιχεία της παραγωγικής διαδικασίας και του στατιστικού ελέγχου. Ωστόσο ο σχεδιασμός ενός διαγράμματος ελέγχου επηρεάζει το συνολικό κόστος ελέγχου ποιότητας. Κόστος εσφαλμένων διαγνώσεων, κόστος λειτουργίας εκτός στατιστικού ελέγχου και κόστος αποκατάστασης βλαβών είναι ορισμένες παράμετροι του συνολικού κόστους ελέγχου ποιότητας που επηρεάζονται από τον σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου (Su – Fen Yang, 1997).

Σε γενικές γραμμές, ο οικονομικός σχεδιασμός διαγραμμάτων ελέγχου περιλαμβάνει τρία επιμέρους στάδια:

- ∅ Σε πρώτη φάση καθορίζονται τα χαρακτηριστικά της υπό παρακολούθηση διαδικασίας και τα κοστολογικά στοιχεία που επηρεάζουν τον σχεδιασμό του διαγράμματος ελέγχου.
- ∅ Ακολούθως, ορίζεται η συνάρτηση κόστους που περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά και στοιχεία που αναγνωρίστηκαν στο πρώτο στάδιο του σχεδιασμού
- ∅ Τέλος, βελτιστοποιείται η συνάρτηση κόστους ούτως ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο οικονομικό κόστος ελέγχου της διαδικασίας και κατ' επέκταση του συνολικού κόστους ποιότητας.

Πλήθος ερευνητικών προσεγγίσεων έχουν γίνει στο θέμα του οικονομικού σχεδιασμού διαγραμμάτων ελέγχου. Το πρώτο μοντέλο οικονομικού σχεδιασμού διαγραμμάτων ελέγχου πραγματοποιήθηκε από τον Duncan και είχε στόχο τον βέλτιστο σχεδιασμό  $\bar{x}$  διαγραμμάτων ελέγχου (Chiu & Huang, 1996). Το μοντέλο του Duncan αναλύθηκε και επεκτάθηκε από άλλους ερευνητές όσον αφορά στον οικονομικό σχεδιασμό  $\bar{x}-R$  διαγραμμάτων ελέγχου (Yang, 1993) και  $\bar{x}-s$  διαγραμμάτων ελέγχου (Rahim & Lashkari, 1988). Σημαντική επίδραση στο κόστος αναγνώρισης συστηματικών αιτιών μεταβλητότητας και διορθωτικών ενεργειών έχουν τα όρια ελέγχου. Ο καθορισμός των ορίων ελέγχου σε ένα διάγραμμα ελέγχου με βάση οικονομικά κριτήρια παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες και αποτελεί επίσης ένα πεδίο σημαντικών ερευνητικών προσεγγίσεων (Montgomery, 1980).

Είναι αποδεκτό ότι η χρήση οικονομικών κριτηρίων στον σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου επιφέρει σημαντική μείωση του συνολικού κόστους ποιότητας κατά τον έλεγχο παραγωγικών διαδικασιών σε σύγκριση με την χρήση στατιστικών κριτηρίων. Ωστόσο, η χρήση οικονομικών κριτηρίων στον σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου υστερεί σε σύγκριση με την χρήση στατιστικών κριτηρίων λόγω της πολυπλοκότητας της μεθόδου και της δυσκολίας εκτίμησης στοιχείων κόστους στην συνάρτηση κόστους και των παραμέτρων διαδικασίας. Ένας επιπλέον λόγος που εξηγεί την περιορισμένη εφαρμογή της οικονομικής σχεδίασης είναι η επιφυλακτικότητα που διακρίνει τα

στελέχη παραγωγής μιας επιχείρησης έναντι διαγραμμάτων που έχουν σχεδιαστεί με οικονομικά κριτήρια και δεν έχουν ικανοποιητικές στατιστικές ιδιότητες (Chen & Tirupati, 1997).

## 5.8 Πρότυπα για την χάραξη διαγραμμάτων ελέγχου

Στην πράξη οι παράμετροι των διαγραμμάτων ελέγχου προσδιορίζονται συχνά με την βοήθεια πινάκων διεθνών προτύπων. Τα πρότυπα αυτά χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό όχι μόνο των παραδοσιακών Shewhart διαγραμμάτων ελέγχου αλλά και στον σχεδιασμό ειδικών διαγραμμάτων ελέγχου όπως τα αθροιστικά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα σήμερα διεθνή πρότυπα.

**Πίνακας 12** Πρότυπα χάραξης διαγραμμάτων ελέγχου

ΠΡΟΤΥΠΟ	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ANSI / ASQC B1-B3-1996	American National Standards Institute	Οδηγίες για την αντιμετώπιση προβλημάτων που αφορούν στην παρακολούθηση παραγωγικών διαδικασιών ή διαδικασιών που αφορούν στην παροχή υπηρεσιών μέσω διαγραμμάτων ελέγχου.
ISO 8258:1991	International Organization of Standardization	Οδηγίες για την χρήση και την κατανόηση των Shewhart διαγραμμάτων ελέγχου.
ISO / TR 7871:1997	International Organization of Standardization	Βασικές αρχές των CUSUM διαγραμμάτων ελέγχου και οδηγίες για τον σχεδιασμό τους.
ISO / TR 7873:1993	International Organization of Standardization	Καθορίζει τις διαδικασίες για τον στατιστικό έλεγχο διαδικασιών όπου χρησιμοποιούνται διαγράμματα ελέγχου. Τα διαγράμματα αυτά βασίζονται στον υπολογισμό του αριθμητικού μέσου των δειγμάτων ενώ καθορίζονται όρια ελέγχου (warning limits) και όρια δράσης (actions limits).
ISO / TR 7870:1993	International Organization of Standardization	Παρουσιάζει την φιλοσοφία και τα βασικά χαρακτηριστικά των διαγραμμάτων ελέγχου συμπεριλαμβανομένων των Shewhart διαγραμμάτων ελέγχου, των διαγραμμάτων ελέγχου αποδοχής



		(acceptance sampling plans) και των προσαρμοσμένων διαγραμμάτων ελέγχου (adaptive sampling plans).
ISO 7966:1993	International Organization of Standardization	Δίνει οδηγίες για την χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου και καθορίζει γενικές διαδικασίες για τον προσδιορισμό παραμέτρων όπως το μέγεθος του δείγματος, τα όρια ελέγχου και τα κριτήρια απόφασης. Συμπεριλαμβάνονται παραδείγματα για την αντιμετώπιση κάθε πιθανής περίπτωσης όπου η τεχνική των διαγραμμάτων ελέγχου παρουσιάζει συγκριτικό πλεονέκτημα.
ISO / CD 7870-1	International Organization of Standardization	Διαγράμματα Ελέγχου (Μέρος 1 <sup>ο</sup> ) – Γενικές Οδηγίες.
ISO / CD 7870-3	International Organization of Standardization	Διαγράμματα Ελέγχου (Μέρος 3 <sup>ο</sup> ) – Διαγράμματα Ελέγχου Αποδοχής (Acceptance Control Charts).
JIS Z 9020:1999	Japanese Standards Association	Εισαγωγή και γενικές οδηγίες για τον σχεδιασμό διαγραμμάτων ελέγχου.
JIS Z 9021:1998	Japanese Standards Association	Shewhart Διαγράμματα Ελέγχου
AS / NZS 3944:1993	SAI (Standards Australia)	Οδηγίες για την χρήση των Shewhart Διαγραμμάτων Ελέγχου στον στατιστικό έλεγχο διαδικασιών. (Παρόμοιο με το πρότυπο ISO 8258).
AS 3940-1990	SAI (Standards Australia)	Παρέχει οδηγίες για την επιλογή και χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου συμπεριλαμβανομένου και των CUSUM διαγραμμάτων ελέγχου. Συμπληρωματικό των προτύπων AS 3941, AS 3942 και AS 3943.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Ø MacCarthy B. L. & Wasusri T., (2002), "A review of non – standard applications of statistical process control charts", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 19, No. 3, pp. 295 - 320
- Ø Jackson J. E., (1972), "All count distributions are not alike", *Journal of Quality Technology*, Vol 4.
- Ø Johnson N. L., Kotz S. & Kemp A. W., (1992), "Univariate Discrete Distributions, John Wiley & Sons.
- Ø Woodall W. H. & Montgomery D. C. (1993) "Research issues and ideas in statistical process control", *Journal of Quality Technology*, Vol. 31, No. 4, pp. 376 – 386.
- Ø Zhang N. F. (1998), "A statistical control chart for stationary process data", *Technometrics*, Vol. 40, No. 1, pp. 1099 – 1113
- Ø Mayer R., (1980), "Selecting Control Limits", *Quality Progress*, Vol. 16, No. 9, pp. 26 – 26
- Ø Lucas J. M. & Saccucci M. S., (1990), "Exponentially weighted moving average controls schemes: properties and enhancements", *Technometrics*, Vol. 32, pp. 1 – 12.
- Ø Marquardt D. W., (1997), "Twin metric control – CUSUM simplified in a Shewhart framework", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 3, pp. 220 - 233
- Ø Duncan A. J., (1986), "Quality Control and Industrial Statistics, 5<sup>th</sup> edition, Irwin, Homewood
- Ø Nelson P. R. & Stephenson P. L., (1996), "Run Tests for Group Control Charts", *Communications in Statistics – Theory and Methods*, Vol. 25(11), pp. 2739 - 2765
- Ø Mortell R. R. & Runger G. C., (1995), "Statistical process control of multiple stream processes", *Journal of Quality Technology*, Vol. 27, pp. 1 – 12.
- Ø Tagaras G., (1989), "Economic  $\bar{x}$  charts with asymmetric control limits", *Journal of Quality Technology*, Vol. 21, pp. 147 - 154

- Ø Yang S. F. & Yang C. M., (2004), "Economic statistical process control for over – adjusted process mean", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 21, No. 4, pp. 412 - 424
- Ø Su – Fen Yang, (1997), "The economic design of control charts when there are dependent process steps", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 6, pp. 606 - 615
- Ø Chen W. H. & Tirupati D., (1997), "Economic design of  $\bar{x}$  control charts: insights on design variables", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 3, pp. 234 – 259
- Ø Chiu N. H. & Huang B. S., (1996), "Economic design of  $\bar{x}$  control charts under a preventive maintenance policy", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13 No. 1, pp. 61 – 71
- Ø Yang S., (1993), "Economic design of joint  $\bar{x} - R$  control charts: a Markov chain method", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 2, pp. 445 – 474
- Ø Rahim & Lashkari, (1988), "Joint economic design of mean and variance control charts", *Engineering Optimization*, Vol. 14, pp. 165 – 178.
- Ø Montgomery D. C., (1980), " The economic design of control charts: a review and literature survey", *Journal of Quality Technology*, Vol. 12, No. 2, pp. 75 - 87

## **6 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

### **6.1 Εισαγωγή**

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναπτύχθηκαν με κάθε λεπτομέρεια τα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής και τα διαγράμματα ελέγχου. Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των δύο μεθόδων, και στον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνονται σε σύγχρονες επιχειρήσεις που ακολουθούν τις αρχές της διοίκησης ολικής ποιότητας. Ειδικότερα αυτό αφορά στα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής τα οποία χρονολογικά είναι προγενέστερα από τα διαγράμματα ελέγχου και θεωρούνται από πολλούς ξεπερασμένα. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο είναι δυνατός ο συνδυασμός των δύο μεθόδων προκειμένου να γίνει εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που έχει η εφαρμογή τους. Τέλος, παρουσιάζεται μια πρόσφατη έρευνα που αναδεικνύει τον βαθμό στον οποίο χρησιμοποιεί στις μέρες μας η διοίκηση των επιχειρήσεων, τα στατιστικά εργαλεία ποιότητας και ειδικότερα τα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής και τα διάφορα είδη διαγραμμάτων ελέγχου.

## 6.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Δειγματοληπτικών Σχεδίων Αποδοχής

Η δειγματοληψία αποδοχής σαν μέθοδος παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα κυριότερα από τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (*Juran, Gryna & Bingham 1974*).

**Πίνακας 13** Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα δειγματοληψίας αποδοχής

Χρήση Δειγματοληψίας Αποδοχής	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αποτρέπει την χρήση πρώτων υλών που δεν ανταποκρίνονται στις προκαθορισμένες προδιαγραφές.	Υπάρχει πάντα ο κίνδυνος απόρριψης μη ελαττωματικών παρτίδων και αποδοχής ελαττωματικών παρτίδων.
Είναι σημαντικά οικονομικότερος από τον 100 % έλεγχο μιας και απαιτεί τον έλεγχο ενός δείγματος παρτίδας και όχι ολόκληρης της παρτίδας.	Στατιστικά, το δείγμα παρέχει λιγότερες πληροφορίες από το σύνολο του πληθυσμού.
Αποτελεί μοναδική λύση στην περίπτωση όπου τα προϊόντα λόγω της φύσης τους απαιτούν καταστροφικό έλεγχο.	Δεν παρακολουθεί την συμπεριφορά της μεταβλητότητας μιας διαδικασίας ή ενός χαρακτηριστικού.
Προφυλάσσει τον καταναλωτή από ελαττωματικά προϊόντα	
Ο σχεδιασμός ενός δειγματοληπτικού σχεδίου απαιτεί βαθιά γνώση όλων των παραμέτρων και λεπτομερειών της παραγωγικής διαδικασίας γεγονός που οδηγεί σε βελτίωση της ποιότητας διαδικασιών και κατ' επέκταση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων.	
Στην περίπτωση όπου πραγματοποιείται και κατά την διάρκεια της παραγωγής, αποκαλύπτει λάθη της παραγωγικής διαδικασίας.	

### 6.3 Πλεονεκτήματα Χρήσης Διαγραμμάτων Ελέγχου

Η εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου από επιχειρήσεις προσφέρει πλήθος πλεονεκτημάτων (*Grant & Leavenworth, 1996*) με την προϋπόθεση να επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος διαγράμματος ελέγχου. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης διαγραμμάτων ελέγχου παρουσιάζονται από τους (*Mason & Antony, 2000*) και είναι τα εξής:

- § Πρόληψη και όχι καταστολή της παραγωγής μη συμμορφούμενων προϊόντων.
- § Ενδελεχής έλεγχος και παρακολούθηση της διαδικασίας.
- § Αναγνώριση συστηματικών αιτιών μεταβλητότητας της διαδικασίας.
- § Μείωση των διακυμάνσεων και των μετατοπίσεων της διαδικασίας
- § Μείωση παραγωγής προϊόντων εκτός προδιαγραφών και αύξηση της παραγωγικότητας
- § Διαχωρισμός συστηματικών από τυχαίες αιτίες μετατόπισης.
- § Αναβαθμισμένη γνώση των παραμέτρων της υπό έλεγχο διαδικασίας που οδηγεί στην λήψη των κατάλληλων διορθωτικών ενεργειών.
- § Μειωμένη ανάγκη εφαρμογής επιθεωρήσεων.
- § Μείωση του κόστους ποιότητας
- § Η διοίκηση, οι μηχανικοί και το εργατικό δυναμικό αποκτούν κοινή γλώσσα.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης διαγραμμάτων ελέγχου αποτελεί η επεξεργασία δεδομένων πραγματικού χρόνου, που προσφέρει στιγμιαία πληροφόρηση στους μηχανικούς που παρακολουθούν την διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο η συμπεριφορά και οι τυχόν αλλαγές της διαδικασίας γίνονται άμεσα αντιληπτές γεγονός που καθιστούν σταδιακά την από παρακολούθηση διαδικασία προβλέψιμη (*Dimancescu & Dwenger, 1996*). Επιπλέον, η πλήρης γνώση όλων των παραμέτρων της διαδικασίας, συμπεριλαμβανομένων και των αδύνατων σημείων της, επιτρέπει στους σχεδιαστές των προϊόντων (ή υπηρεσιών) της αντίστοιχης διαδικασίας να προβούν σε βελτιώσεις ή νέο σχεδιασμό έχοντας υπόψη τους σημαντικές πληροφορίες και δεδομένα που

καθιστούν την εργασία τους ευκολότερη και αποδοτικότερη (*Oakland & Followell, 1990*).

Ειδικότερα, όσον αφορά στον τομέα παροχής υπηρεσιών, η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου οδηγεί σε μείωση του χρόνου παροχής υπηρεσιών, σε πλήρη εξακρίβωση αιτιών που επηρεάζουν αρνητικά το επίπεδο ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας και τέλος στην μείωση των παραπόνων των πελατών και κατ' επέκταση των δυσαρεστημένων πελατών (*Roes & Dorr, 1997*). Τέλος, τα διαγράμματα ελέγχου λειτουργούν ως εργαλείο διοίκησης από την στιγμή που εξασφαλίζουν υπό έλεγχο διαδικασίες που μπορούν να παράγουν τα προϊόντα εκείνα (ή εναλλακτικά να παρέχουν υπηρεσίες) τα οποία από ποσοτική και ποιοτική άποψη να εξασφαλίζουν τα προσδοκώμενα οφέλη και την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από την διοίκηση (*Brimson, 2004*).

#### 6.4 Σύγχρονες εφαρμογές δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής και διαγραμμάτων ελέγχου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας πρωτοεφαρμόστηκε στην δεκαετία του 1920 με κύριους εκφραστές την δειγματοληψία αποδοχής και τον στατιστικό έλεγχο ποιότητας. Είναι επίσης αποδεκτό ότι οι επιχειρήσεις έχουν ωριμάσει σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με το επίπεδο ποιότητας που προσφέρουν στους καταναλωτές και η ανάγκη υιοθέτησης ενός συστήματος που να παρακολουθεί και να ελέγχει την ποιότητα δεν είναι τόσο επιτακτική όσο ήταν στις αρχές της δεκαετίας του 1920. Επιπλέον, οι τελευταίες δύο δεκαετίες οριοθετούνται από μία νέα μέθοδο στατιστικού ελέγχου, τον σχεδιασμό και διενέργεια στατιστικών πειραμάτων με στόχο τη μείωση της μεταβλητότητας στα κύρια χαρακτηριστικά ποιότητας των προϊόντων. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα αρκετοί ερευνητές ασκούν έντονη κριτική και αμφισβητούν την αξία που έχουν η δειγματοληψία αποδοχής και τα διαγράμματα ελέγχου (σαν το κύριο εργαλείο του στατιστικού ελέγχου ποιότητας) στις μέρες μας.

Όσον αφορά στα διαγράμματα ελέγχου η κριτική εστιάζεται στο γεγονός ότι τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου Shewhart δεν μπορούν να ανταποκριθούν στον έλεγχο σύγχρονων διαδικασιών όπου οι εμφανιζόμενες μεταβλητότητες έχουν ιδιαίτερα μικρό εύρος και είναι ιδιαίτερα δύσκολο να ανιχνευθούν. Επιπλέον, η αδυναμία των παραδοσιακών διαγραμμάτων ελέγχου στον έλεγχο των σύγχρονων διαδικασιών εντοπίζεται και στην πολυπλοκότητα που τις χαρακτηρίζει με το πλήθος των χαρακτηριστικών και των παραμέτρων που θα πρέπει να ελεγχθούν.

Η κριτική αυτή μπορεί να χαρακτηρισθεί επιφανειακή για τον απλούστατο λόγο ότι η συνεχής έρευνα που γίνεται στον τομέα του στατιστικού ελέγχου ποιότητας έχει οδηγήσει στην εμφάνιση νέων τύπων διαγραμμάτων ελέγχου όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Διαγράμματα ελέγχου όπως τα αθροιστικά (CUSUM Control Charts), εκθετικής εξομάλυνσης (EWMA Control Charts), πολλαπλών χαρακτηριστικών μέτρησης (Hotelling H<sup>2</sup>) και δυναμικών διαγραμμάτων ελέγχου (Adaptive Control Charts), έχουν την δυνατότητα αναγνώρισης ακόμη και αμελητέων μετατοπίσεων της υπό έλεγχο διαδικασίας



ενώ καλύπτουν και τις ανάγκες ελέγχου των πιο πολύπλοκων και πολυσύνθετων διαδικασιών. Επιπρόσθετα, τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου Shewhart συνεχίζουν να αξιοποιούνται όχι μόνο για την απλότητα και την πρακτικότητα που τα διακρίνει αλλά και για το γεγονός ότι συνδυάζονται με τα προαναφερθέντα εξελιγμένα διαγράμματα ελέγχου προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που έχουν.

Τέλος, ραγδαία είναι η αύξηση της εφαρμογής των διαγραμμάτων ελέγχου στην παρακολούθηση διαδικασιών που αναφέρονται στον τομέα παροχής υπηρεσιών. Τα διαγράμματα ελέγχου έχουν πάψει να αποτελούν πλέον εργαλείο παρακολούθησης διαδικασιών αποκλειστικά κατασκευαστικού και παραγωγικού κλάδου και χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις που ανήκουν σε διάφορους τομείς παροχής υπηρεσιών. Ο τομέας παροχής υπηρεσιών υγείας (Boggs, 1998) και (Green, 1999), ο τομέας λιανικής πώλησης φαγητού (Sulek, 1995), ο τραπεζικός τομέας (Gardiner & Mitra, 1994) και ο τομέας ης εκπαίδευσης (Jensen & Markland, 1996) αποτελούν ενδεικτικές περιπτώσεις χρήσης διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση παραμέτρων των ακολουθούμενων διαδικασιών. Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι τομείς παροχής υπηρεσιών όπου εφαρμόζονται τα διαγράμματα ελέγχου μαζί με το αντίστοιχο τύπο διαγράμματος που χρησιμοποιείται.

**Πίνακας 14** Χρήση διαγραμμάτων ελέγχου σε διαδικασίες που αφορούν παροχή υπηρεσιών

Χρήση διαγραμμάτων ελέγχου σε διαδικασίες τομέα παροχής υπηρεσιών		
Κλάδος Υπηρεσιών	Μετρήσιμα Χαρακτηριστικά Ποιότητας	Διάγραμμα Ελέγχου
Τράπεζες	Χρόνος διεκπαιρέωσης συναλλαγών	$\bar{x} - R$
	Αριθμός λαθών	P
Εκπαίδευση	Ικανοποίηση από την παρεχόμενη εκπαίδευση	U

	Ποσοστό πτυχιούχων που αποκτούν εργασία εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος	C
	Αριθμός παραπόνων που λαμβάνονται από βιβλιοθηκάριο	P
Υγεία	Ποσοστό ιατρικών λαθών	P
	Χρόνος εισαγωγής σε θάλαμο εντατικής	$\bar{x} - R$
Ασφάλειες	Απαιτούμενος χρόνος για διεκπεραίωση αξίωσης	$\bar{x} - R$
	Αριθμός λανθασμένων καταχωρήσεων ανά 100 έγγραφα	C
Εστιατόρια	Χρόνος παράδοσης	$\bar{x} - R$
Ξενοδοχεία	Χρόνος μεταφοράς από το αεροδρόμιο στο ξενοδοχείο	$\bar{x} - R$
Δημόσιες Υπηρεσίες	Αριθμός λαθών στην μέτρηση λογαριασμών κατανάλωσης νερού ή ρεύματος	P
	Χρόνος αναμονής για την εγκατάσταση νέας τηλεφωνικής σύνδεσης	$\bar{x} - R$
Μεταφορές (αερομεταφορές)	Απωλεσθέντες αποσκευές	Np
	Αριθμός λαθών στις κρατήσεις θέσεων	C
	Καθυστέρηση πτήσης	$\bar{x} - R$

Μια πρόσθετη σύγχρονη χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου αποτελεί η εφαρμογή τους ως εργαλεία πρόβλεψης. Συγκεκριμένα, τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται στην δημιουργία ενός μοντέλου που να παρέχει ακριβείς προβλέψεις και επιπλέον στην παρακολούθηση της σταθερότητας του μοντέλου κατά τη διάρκεια του χρόνου. Στην περίπτωση όπου οι παράμετροι του μοντέλου βρεθούν εκτός ελέγχου απαιτείται επανυπολογισμός των παραμέτρων ή ακόμη και αναπροσαρμογή του μοντέλου συνολικά προκειμένου να διορθωθεί η ακρίβεια των προβλέψεων (*Atienza, Ang & Tang, 1997*). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου για την δημιουργία μοντέλου που διευκολύνει την διαχείριση αποθέματος (*Hill,*

1996) όπως επίσης και η εξέλιξη μοντέλου μέσα από την εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου που προβλέπει την ζήτηση στην αγορά μπίρας (Koksalan, 1999).

Ιδιαίτερα επικριτική είναι η στάση αρκετών ερευνητών σε σχέση με την "βιωσιμότητα" της δειγματοληψίας αποδοχής ως μεθόδου στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Υποστηρίζουν ότι η δειγματοληψία αποδοχής είναι μια ξεπερασμένη πλέον λύση και δεν ενδείκνυται η χρήση της ιδιαίτερα δε σε σταθερές διεργασίες οι οποίες βρίσκονται κάτω από στατιστικό έλεγχο. Στην επιχειρηματολογία τους προσθέτουν το γεγονός ότι όσο και να πλησιάζει στο ιδανικό μια μέθοδο δειγματοληψίας αποδοχής, πάντα ελλοχεύει ο κίνδυνος απόρριψης μιας καλής παρτίδας ή η αποδοχή μιας κακής παρτίδας.

Επιπρόσθετα, η δειγματοληψία αποδοχής δεν υπεισέρχεται στην μεταβλητότητα που παρουσιάζει μια παραγωγική διαδικασία σε αντίθεση με τις σύγχρονες τεχνικές στατιστικού ελέγχου. Για παράδειγμα, μια τυχαία απορύθμιση μηχανής, η οποία οδηγεί σε παραγωγή προϊόντων που δεν πληρούν τις προδιαγραφές, γίνεται αντιληπτή από οποιαδήποτε σύγχρονη τεχνική στατιστικού ελέγχου σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα σε αντίθεση με την δειγματοληψία αποδοχής η οποία απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο ειδικά δε στην περίπτωση όπου πραγματοποιείται με το πέρας της παραγωγικής διαδικασίας και όχι σε κάποιο εμβόλιμο στάδιο. Τέλος, δεν είναι λίγοι εκείνοι που υποστηρίζουν ότι η δειγματοληψία αποδοχής έχει ξεπερασθεί και ταιριάζει σε επιχειρήσεις μιας άλλης εποχής όπου οι προδιαγραφές δεν ήταν αυστηρά καθορισμένες και η ύπαρξη μικροελαττωμάτων ήταν σύνηθες φαινόμενο.

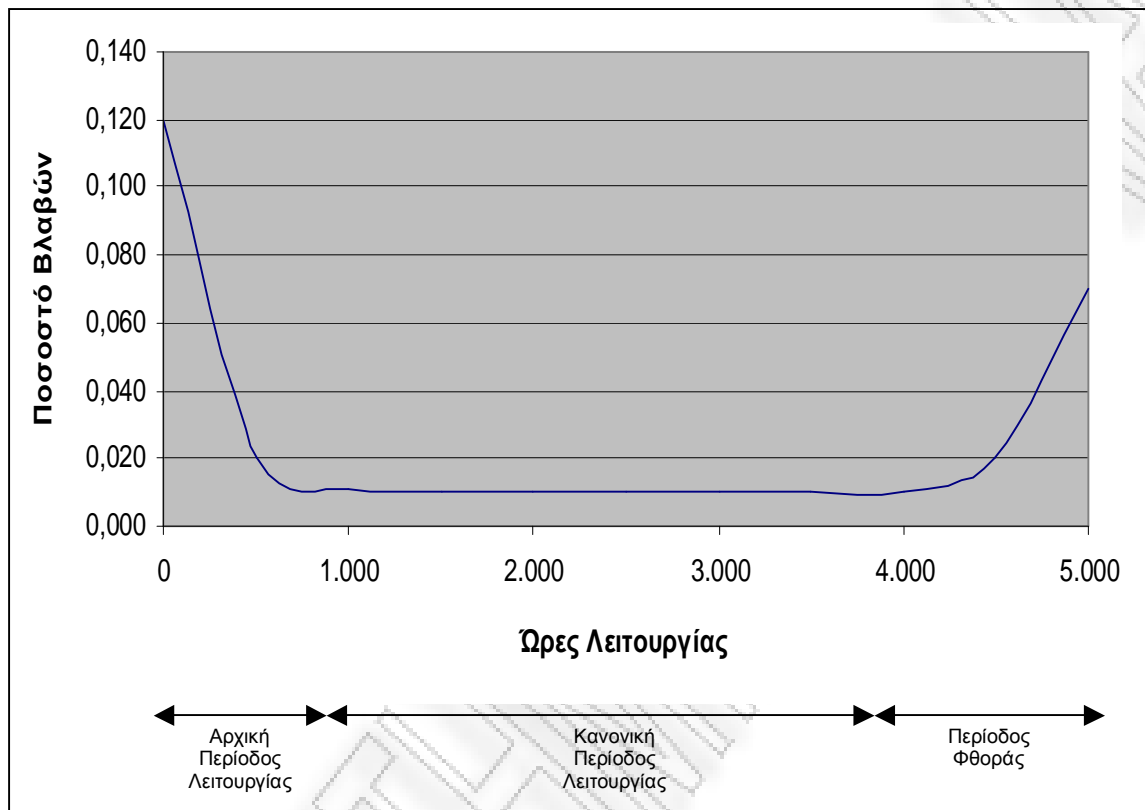
Ωστόσο, υπάρχουν ακόμη και σήμερα σημαντικά πεδία εφαρμογής της δειγματοληψίας αποδοχής που την διατηρούν ως ένα σημαντικό σύγχρονο εργαλείο στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Κατ' αρχάς, η χρησιμοποίηση της δειγματοληψίας αποδοχής αποτελεί μονόδρομο στις περιπτώσεις όπου μια επιχείρηση βρίσκεται στα πρώτα στάδια της εξέλιξης της και το παρελθόν της σε θέματα ποιότητας είναι σχετικά περιορισμένο. Και αυτό διότι απαιτείται ένα ορισμένο χρονικό διάστημα προκειμένου οι παραγωγικές διαδικασίες να βρεθούν κάτω από στατιστικό έλεγχο και να εφαρμοσθεί στατιστικός έλεγχος

ποιότητας. Επιπρόσθετα, μέσω των δειγματοληπτικών ελέγχων θα συγκεντρωθούν οι απαραίτητες πληροφορίες που θα επιτρέψουν στην επιχείρηση να έχει πλήρη γνώση όλων των παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας και παράλληλα να δημιουργήσει αρχείο ποιότητας όσον αφορά στις σχέσεις της με τους εκάστοτε προμηθευτές (*Juran & Gruna, 1993*). Στην κατεύθυνση αυτή κινείται το πρόγραμμα μηδενικών ελαττωματικών, η εφαρμογή του οποίου εξασφαλίζει μεγαλύτερη πίεση στον προμηθευτή προκειμένου να παράγει και να παραδίδει τις πρώτες ύλες στις προκαθορισμένες προδιαγραφές από την πρώτη φορά συνεργασίας. Επιπλέον, το συγκεκριμένο πρόγραμμα επιτρέπει μικρότερο αριθμό δειγμάτων και κατ' επέκταση μικρότερο επίπεδο επιθεώρησης ενώ προσφέρει μεγαλύτερη προστασία στους καταναλωτές για ποσοστά ελαττωματικών υψηλότερα της τιμής της αποδεκτής στάθμης ποιότητας (*Pooler, 1997*).

Ακόμη και στην περίπτωση όπου η επιχείρηση εφαρμόζει στατιστικό έλεγχο ποιότητας, οι δειγματοληπτικοί έλεγχοι βοηθούν στην συλλογή πολύτιμων πληροφοριών οι οποίες όχι μόνο αποτρέπουν την πιθανότητα να βρεθεί η διαδικασία εκτός στατιστικού ελέγχου αλλά ταυτόχρονα ανατροφοδοτεί το σύστημα με στοιχεία που οδηγούν στη συνεχή βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας (*Fitzimons, 1989*).

Τέλος, μια πρόσθετη σύγχρονη χρήση της δειγματοληψίας αποδοχής αποτελεί η βελτίωση της αξιοπιστίας των προϊόντων. Στα προϊόντα τα οποία χρησιμοποιεί ένας καταναλωτής, έχει την απαίτηση να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του για εκείνο το χρονικό διάστημα το οποίο ορίζουν οι εκάστοτε προδιαγραφές. Η ετοιμότητα είναι μια έννοια η οποία εκφράζει την ικανότητα αυτή του προϊόντος να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του χρήστη κατά την διάρκεια ζωής του. Συγκεκριμένα μπορούμε να ορίσουμε την ετοιμότητα ενός προϊόντος ως την πιθανότητα να έχει ικανοποιητική απόδοση σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο και κάτω από καθορισμένες συνθήκες. Στατιστικά έχει αποδειχθεί ότι η χρονική περίοδος που ακολουθεί την αγορά ενός καινούριου προϊόντος συνοδεύεται από αρκετές βλάβες. Σταδιακά ο αριθμός των βλαβών ελαττώνεται και σταθεροποιείται ενώ καθώς ολοκληρώνεται η διάρκεια ζωής του προϊόντος, ο αριθμός των βλαβών αυξάνεται και πάλι. Αν παραστήσουμε γραφικά τον ρυθμό βλαβών συναρτήσει του χρόνου ζωής ενός

προϊόντος, προκύπτει η καμπύλη ετοιμότητας η οποία λόγω της μορφής της, σχήμα μπανιέρας, ονομάζεται χαρακτηριστικά Bath Curve.



**Σχήμα 23** Καμπύλη ετοιμότητας (Bath Curve).

Με την χρήση δειγματοληψίας αποδοχής είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί έλεγχος της διάρκειας ζωής των προϊόντων και με τον τρόπο αυτό να βελτιωθεί η αξιοπιστία τους (Graves, Murphy & Ringuet, 1999). Από την προς παραλαβή μερίδα, παίρνουμε τυχαία ένα δείγμα μεγέθους  $n$ . Στη συνέχεια θέτουμε σε λειτουργία τα προϊόντα του δείγματος. Όταν κάποιο τυχαίο προϊόν πάθει βλάβη, σημειώνουμε την βλάβη και το αντικαθιστούμε με ένα άλλο που παίρνουμε από την μερίδα. Αν η λειτουργία των προϊόντων του δείγματος διαρκεί  $t$  ώρες, οι ώρες λειτουργίας  $N$  θα είναι ίσες με:  $N = n t$ . Αν ορίσουμε με  $K$  τον αριθμό βλαβών που παρατηρήθηκαν στις  $N$  αυτές ώρες λειτουργίας, ακολουθεί σύγκριση του  $K$  με το κριτήριο παραδοχής  $C$  που έχουμε θέσει με βάση τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Αν το  $K$  προκύψει μικρότερο ή ίσο του  $C$  η μερίδα παραλαμβάνεται, διαφορετικά απορρίπτεται. Παράλληλα, μας δίνεται η δυνατότητα να χαράξουμε την χαρακτηριστική καμπύλη με βάση την κατανομή Poisson και να προσδιορίσουμε τον κίνδυνο παραδίδοντος και

παραλαμβάνοντας συναρτήσει όχι του ποσοστού σκάρτων όπως έχουμε δει έως τώρα αλλά σε σχέση με τον ρυθμό βλαβών  $\lambda$  (Evans & Lindsay, 1999).

Ρυθμός βλαβών  $\lambda$  ορίζεται η πιθανότητα βλάβης σε καθορισμένη μονάδα χρόνου ενώ μέση ζωή  $\theta$  χαρακτηρίζεται ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών βλαβών (MTBF – Mean Time Between Failure ή MTTF – Mean Time To Fail). Ο ρυθμός βλαβών  $\lambda$  στην μονάδα του χρόνου π.χ. στην ώρα, εκτιμάται από την συχνότητα εμφάνισης βλαβών που παρουσιάστηκε σε μια σειρά δοκιμών.

$$\lambda = \text{Αριθμός βλαβών} / \text{Αριθμός ωρών δοκιμών}$$

Η παραπάνω σχέση προϋποθέτει ότι ο ρυθμός βλαβών δεν εξαρτάται από την ηλικία των τεμαχίων που δοκιμάζονται όπως συμβαίνει κατά την κανονική περίοδο λειτουργίας του προϊόντος (καμπύλη ετοιμότητας).

## 6.5 Χρήση υπολογιστών στην εφαρμογή δειγματοληπτικών σχεδίων και διαγραμμάτων ελέγχου

Η χρήση των υπολογιστών στην εφαρμογή στατιστικού ελέγχου ποιότητας και ειδικότερα των διαγραμμάτων ελέγχου έχει σημειώσει ραγδαία αύξηση τα τελευταία χρόνια ενώ οι τάσεις για το κοντινό μέλλον είναι εξίσου ανοδικές. Τα πιο γνωστά στατιστικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται είναι τα ακόλουθα:

- Minitab
- WinSPC
- Statistica
- Statgraphics
- SQC Pack
- 

Με την βοήθεια των προγραμμάτων αυτών, οι χρήστες διευκολύνονται σε μεγάλο βαθμό στην διαχείριση και επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, ελαχιστοποιούνται οι χειρονακτικοί υπολογισμοί και κατ' επέκταση απλοποιείται η χάραξη των διαγραμμάτων ελέγχου (*Antony, Balbontin & Taner, 2000*). Προϋπόθεση βέβαια για την σωστή χρήση των πληροφοριακών αυτών προγραμμάτων από τους αρμόδιους χρήστες αποτελεί η πλήρη κατανόηση της υπό έλεγχο διαδικασίας. Σε διαφορετική περίπτωση δεν γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα προγράμματα αυτά ενώ πολύ πιθανή είναι η παρερμηνεία των αποτελεσμάτων που εξάγουν και η οποία οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα και σε λήψη εσφαλμένων διορθωτικών ενεργειών (*Hewson, 1996*).

Σημαντική είναι η συνεισφορά των πληροφοριακών προγραμμάτων στην εκπαίδευση των στελεχών προκειμένου να ανταπεξέλθουν στην χρήση διαγραμμάτων ελέγχου. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί το πρόγραμμα SQCC\_DEF το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα Turbo Pascal 7.0 και χρησιμοποιείται για την βελτίωση των δεξιοτήτων στελεχών επιχειρήσεων στην χρησιμοποίηση των c και u διαγραμμάτων ελέγχου (*Freeman & Mintzas, 1999*).

Ιδιαίτερα σημαντική είναι επίσης η χρήση των υπολογιστών στην έρευνα που πραγματοποιείται για την εξέλιξη και προαγωγή των διαγραμμάτων ελέγχου ως βασικού εργαλείου του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Αναβάθμιση των υφιστάμενων διαγραμμάτων ελέγχου, ανακάλυψη νέων τύπων, επιλογή βέλτιστου διαγράμματος ελέγχου, συνδυασμός ιδιοτήτων διαφορετικών διαγραμμάτων αλλά και νέες προσεγγίσεις στον οικονομικό σχεδιασμό τους αποτελούν τις πιο χαρακτηριστικές θεματικές ενότητες όπου η χρήση των υπολογιστών έχει οδηγήσει σε σημαντικές καινοτομίες και βελτιώσεις. Ενδεικτικά αναφέρουμε την χρήση του στατιστικού προγράμματος SMOBELS το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα DELPHI. Ο βασικός σκοπός του εν λόγω προγράμματος είναι να βοηθήσει στην επιλογή του κατάλληλου μοντέλου διαδικασίας και στον καθορισμό του αντίστοιχου οικονομικού σχεδιασμού του διαγράμματος ελέγχου που θα χρησιμοποιηθεί (Turnes, Lee Ho & Imana, 2002).

Μια ακόμη περίπτωση χρήσης προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών για την διευκόλυνση ερευνητικών προσεγγίσεων πάνω στην ανάπτυξη των διαγραμμάτων ελέγχου αποτελεί η χρήση προγράμματος γραμμένο σε γλώσσα C στην έρευνα του (Zhang Wu, 1994). Συγκεκριμένα, το εν λόγω πρόγραμμα χρησιμοποιείται στην ανάδειξη του πλεονεκτήματος του  $\bar{x}$  διαγράμματος ελέγχου σε σχέση με το συνδυασμένο  $\bar{x}-s$  διάγραμμα ελέγχου σε περιπτώσεις όπου η συχνότητα των μετατοπίσεων της μέσης τιμής της διαδικασίας είναι μεγαλύτερη από την μετατόπιση της τυπικής απόκλισης. Τέλος, σε μεταγενέστερη έρευνα του ίδιου ερευνητή (Zhang Wu, 1996) σε σχέση με την ελαχιστοποίηση του μέσου όρου ελαττωματικών προϊόντων μέσω βελτιστοποίησης των ορίων ελέγχου σε  $\bar{x}$  διάγραμμα ελέγχου, γίνεται χρήση προγράμματος γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C.

Σημαντική είναι η χρησιμοποίηση υπολογιστών προγραμμάτων στον σχεδιασμό και εφαρμογή δειγματοληπτικών σχεδίων αποδοχής. Τα πιο γνωστά στατιστικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται είναι τα ακόλουθα:

- Ø Sampling Plan Analyzer
- Ø Posdem



- Ø Acceptance Sampling Plan Designer
- Ø SAS/QC software

Τα προγράμματα αυτά, προσφέρουν στους χρήστες που ασχολούνται με τα δειγματοληπτικά σχέδια πλήθος δυνατοτήτων. Ειδικότερα, δίνουν την δυνατότητα γρήγορου υπολογισμού των χαρακτηριστικών μεγεθών ενός δειγματοληπτικού σχεδίου όπως η Αποδεκτή Στάθμη Ποιότητας (AQL - Acceptance Quality Level), η Απορριπτέα Στάθμη Ποιότητας (RQL – Rejected Quality Level), η Μέση Εξερχόμενη Ποιότητα (AOQ – Average Outgoing Quality). Επιπλέον υπολογίζουν άμεσα και χαράσσουν την χαρακτηριστική καμπύλη δειγματοληψίας (OC Curve). Με τα προγράμματα αυτά δίνεται η δυνατότητα εισάγοντας τα επιθυμητά επίπεδα προστασίας να δημιουργηθούν εναλλακτικά δειγματοληπτικά σχέδια και να επιλεγθεί εκείνο που καλύπτει σε βέλτιστο βαθμό τις εκάστοτε ανάγκες.

Ανάλογα προγράμματα με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, χρησιμοποιούνται και στην έρευνα που αφορά τα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής. Συγκεκριμένα, η ερευνητική προσέγγιση των (*Dunsmore & Wright, 1995*), με στόχο την λήψη απόφασης αποδοχής σε διαδοχικά δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής, υποστηρίζεται από την εφαρμογή ενός λογισμικού προγράμματος που είναι γραμμένο σε γλώσσα FORTRAN. Σημαντική είναι η συνεισφορά των προγραμμάτων λογισμικού στην βελτιστοποίηση των δειγματοληπτικών σχεδίων μέσω της ελαχιστοποίησης του μεγέθους δείγματος. Ειδικότερα, ο (*Brooks, 1999*) χρησιμοποιεί πρόγραμμα γραμμένο σε γλώσσα Turbo Pascal και Turbo C προκειμένου να αναπτύσσει δειγματοληπτικά σχέδια με παραμέτρους το μέγεθος δείγματος και το ποσοστό απόκλισης από τις επιθυμητές τιμές του ρίσκου παραγωγού και καταναλωτή. Με γνώμονα επομένως την μέγιστη δυνατή μείωση του μεγέθους δείγματος και κατ' επέκταση την ελαχιστοποίηση του κόστους, προκύπτουν τα επιθυμητά δειγματοληπτικά σχήματα.

## 6.6 Συνδυασμένη Χρήση Δειγματοληπτικών Σχεδίων Αποδοχής και Διαγραμμάτων Ελέγχου.

Είναι γενικά αποδεκτό, ότι ένα από τα δίλημματα που απασχολούν πάρα πολλές επιχειρήσεις είναι το εξής: στην προσπάθεια επίτευξης υψηλών επιπέδων ποιότητας, ποιο είναι το ιδανικό μέσο του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας (Statistical Quality Control) που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, τα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής ή τα διαγράμματα ελέγχου. Πολλοί είναι εκείνοι που υποστηρίζουν ότι η δειγματοληψία αποδοχής είναι μια ξεπερασμένη πλέον λύση και δεν ενδείκνυται η χρήση της ιδιαίτερα δε σε σταθερές διεργασίες οι οποίες βρίσκονται κάτω από στατιστικό έλεγχο. Στην επιχειρηματολογία τους προσθέτουν το γεγονός ότι όσο και να πλησιάζει στο ιδανικό μια μέθοδο δειγματοληψίας αποδοχής, πάντα ελλοχεύει ο κίνδυνος απόρριψης μιας καλής παρτίδας ή η αποδοχή μιας κακής παρτίδας. Τέλος, τονίζουν το γεγονός ότι η δειγματοληψία αποδοχής σαφώς αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την αποφυγή ελαττωματικών προϊόντων αλλά από την άλλη πλευρά δεν προσφέρει κάτι στην προσπάθεια μη εμφάνισης τους, με άλλα λόγια δε δρα σαν εργαλείο πρόληψης αλλά σαν μέθοδο “καταστολής”. (*Bounds, Yorks & Adams, 1999*).

Το μεγαλύτερο τμήμα των αντιδράσεων κατά της χρήσης δειγματοληψίας αποδοχής αποδίδεται στον γκουρού της ποιότητας W. Edwards Deming, ο οποίος, πολλοί πιστεύουν, συνηγορούσε στην εξάλειψη της χρήσης του. Στην πραγματικότητα, αυτό το οποίο υποστήριζε ο Deming ήταν η μείωση της εξάρτησης της παραγωγής από την χρήση δειγματοληπτικών ελέγχων. Με άλλα λόγια, αν μια επιχείρηση καταναλώνει πόρους και χρόνο αποκλειστικά σε δειγματοληπτικούς ελέγχους θεωρώντας ότι εξασφαλίζουν την επίτευξη των προκαθορισμένων προδιαγραφών τότε η προσπάθεια για βελτίωση της ποιότητας δεν θα έχει αντίκρισμα. Εκεί που θα πρέπει να στοχεύσει η επιχείρηση είναι από την μια πλευρά η πρόληψη εμφάνισης ελαττωματικών προϊόντων και από την άλλη η βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας.

Πολλά έχουν γραφτεί για τα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου σε σχέση με την δειγματοληψία αποδοχής για τον έλεγχο μιας παραγωγικής διαδικασίας. Παρά το γεγονός όμως ότι η πρόληψη

εμφάνισης ελαττωματικών προϊόντων στην παραγωγική διαδικασία είναι περισσότερο επιθυμητή από την “καταστολή” τους μέσω της δειγματοληψίας, εν τούτοις η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου δεν μειώνει την ανάγκη χρησιμοποίησης δειγματοληψίας αποδοχής. Ιδεατά, με την χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου δεν παράγονται ελαττωματικά προϊόντα και η χρήση της δειγματοληψίας αποδοχής δεν είναι απαραίτητη. Στην πραγματικότητα όμως, όλες οι παραγωγικές διαδικασίες έχουν ρίσκο αποτυχίας και επομένως ενέργειες απόρριψης και αποδοχής προϊόντων είναι απαραίτητες (Evans & Lindsay, 1999).

Από την άλλη πλευρά οι υποστηρικτές της δειγματοληψίας αποδοχής υποστηρίζουν τις περιπτώσεις όπου μια διεργασία δεν βρίσκεται κάτω από στατιστικό έλεγχο ή ακόμη κι αν είναι, το ενδεχόμενο για κάποιο λόγο να βρεθεί εκτός. Επιπρόσθετα τονίζουν τις ειδικές περιπτώσεις που είναι δυνατόν να εμφανισθούν όπως για παράδειγμα ο καταστροφικός έλεγχος που τυχόν απαιτείται για τον έλεγχο ορισμένων παρτίδων ή η απαίτηση ενός προμηθευτή για την χρησιμοποίηση κάποιου ειδικού δειγματοληπτικού σχεδίου. Όπως παρατηρούμε στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων.

**Πίνακας 15** Διαφορές μεταξύ Διαγραμμάτων Ελέγχου & Δειγματοληπτικών Σχεδίων Αποδοχής

<b>Διαφορές μεταξύ Διαγραμμάτων Ελέγχου &amp; Δειγματοληπτικών Σχεδίων Αποδοχής</b>		
	<b>Διαγράμματα Ελέγχου</b>	<b>Δειγματοληπτικά Σχέδια Αποδοχής</b>
<b>Απόφαση για:</b>	Προσαρμογή ή Διατήρηση	Αποδοχή ή Απόρριψη
<b>Διορθωτικές ενέργειες σε:</b>	Διαδικασία	Προϊόν
<b>Εστίαση σε:</b>	Μελλοντικό Προϊόν	Παραχθέν Προϊόν

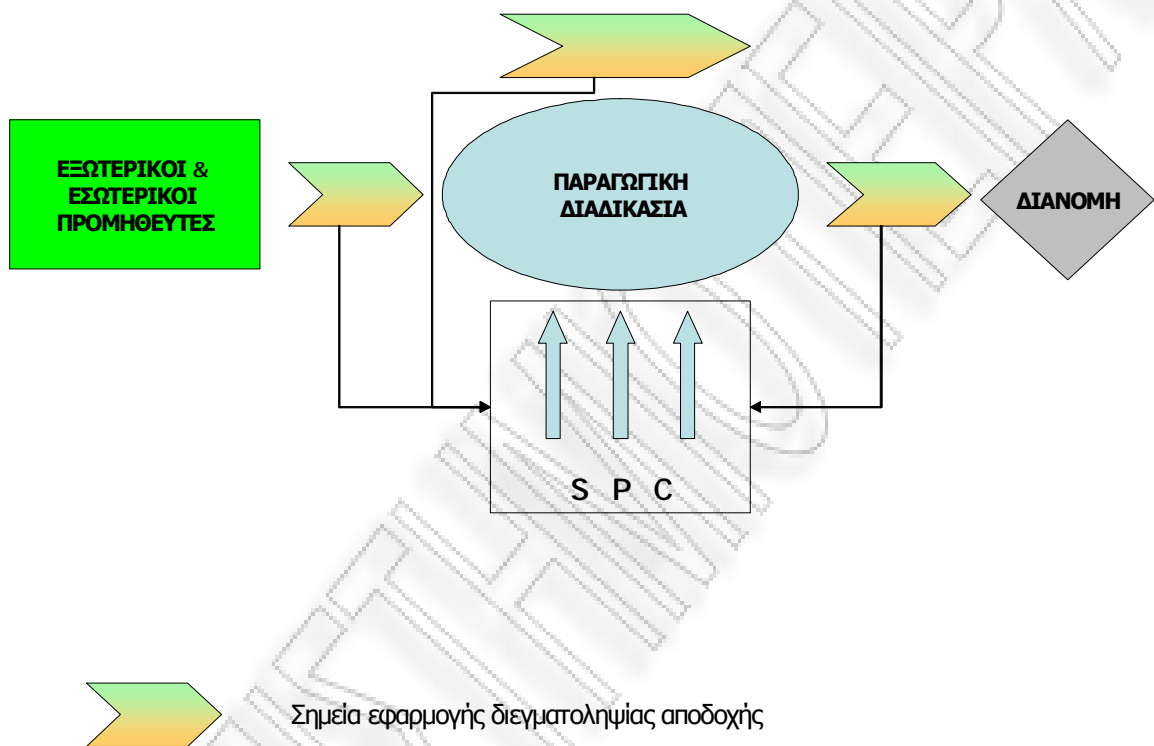
Στον στατιστικό έλεγχο διαδικασιών τα διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας και την λήψη αποφάσεων που οδηγούν σε βελτίωση της. Επιπρόσθετα, οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα εξασφαλίζουν ότι τα μελλοντικά προϊόντα θα είναι αποδεκτά και σύμφωνα προς τις προκαθορισμένες προδιαγραφές. Σε αντίθεση, τα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής χρησιμοποιούνται για την λήψη αποφάσεων σχετικά με την διάθεση των προϊόντων και οι ενέργειες πραγματοποιούνται σε παραγόμενες παρτίδες προϊόντων προκειμένου να εξασφαλισθεί η ποιότητα των προκαθορισμένων προδιαγραφών.

Το ζήτημα επομένως δεν είναι η χρήση στατιστικού ελέγχου διαδικασιών ή δειγματοληψίας αποδοχής αλλά ο συνδυασμός των δύο τεχνικών στην παραγωγική διαδικασία. Και οι δύο τεχνικές απαιτούν περιοδικούς ελέγχους των προϊόντων. Το ζήτημα είναι να χρησιμοποιείται ο ίδιος όγκος πληροφοριών και στις δύο περιπτώσεις. Πώς όμως συμβιβάζονται τελικά οι δύο αυτές διαφορετικές προσεγγίσεις. Ιδανική λύση και συνάμα χρυσή τομή θα αποτελούσε η παράλληλη χρήση των δύο αυτών μεθόδων με την δειγματοληψία αποδοχής να λειτουργεί ως μηχανισμός συλλογής, αρχειοθέτησης και ανατροφοδότησης ιδιαίτερα σημαντικών πληροφοριών.

Τα αποτελέσματά που προέρχονται από τους δειγματοληπτικούς ελέγχους θα πρέπει να καταγράφονται και στην συνέχεια να αναλύονται συναρτήσσει τόσο των συνθηκών και παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας όσο και του ιστορικού ποιότητας των εκάστοτε προμηθευτών. Παράλληλα, οι πληροφορίες αυτές θα βοηθούν σημαντικά στην καταγραφή των βλαβών και ελαττωμάτων που εμφανίζονται με αποτέλεσμα την αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων σε μια παραγωγική διαδικασία και την ιεράρχηση τους με βάση την πιθανότητα εμφάνισης (Σχήμα 6.2).

Με τον τρόπο αυτό η διαδικασία αναλύεται σε βάθος, εντοπίζονται οι πιθανές αιτίες μεταβλητότητας και καταχωρούνται με βάση: i) την πιθανότητα εμφάνισης τους και ii) το εύρος της μετατόπισης που είναι δυνατόν να προκαλέσουν στην διαδικασία. Ο τρόπος πλέον αντιμετώπισης καταστάσεων αυτού του είδους και η επιλογή των κατάλληλων διορθωτικών ενεργειών απλοποιείται σε μεγάλο

βαθμό ενώ ακόμη και στην περίπτωση όπου απαιτείται ανασχεδιασμός της ακολουθούμενης διαδικασίας, αυτή πραγματοποιείται με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Σχηματικά, οι περιπτώσεις στις οποίες υπεισέρχεται η δειγματοληψία αποδοχής από την προμήθεια των πρώτων υλών μέχρι την διανομή του τελικού προϊόντος, σε συνδυασμό με τον στατιστικό έλεγχο διεργασιών παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 24** Συνδυασμός διαγραμμάτων ελέγχου & δειγματοληψίας αποδοχής

Στην περίπτωση όπου έχουμε δειγματοληψία χαρακτηριστικών (π.χ. μήκος, όγκος, βάρος κ.τ.λ.) είναι δυνατός ο συνδυασμός του στατιστικού ελέγχου διαδικασιών με την δειγματοληψία αποδοχής ως εξής:

Διορθωτικές ενέργειες είναι απαραίτητο να παρθούν όσον αφορά στην διαδικασία προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα τα μελλοντικά προϊόντα να είναι αποδεκτά. Παρ' όλα αυτά καμία ενέργεια δεν είναι απαραίτητη όσον αφορά την αποδοχή ή μη αποδοχή των παρτίδων. Και αυτό διότι απορρίπτοντας προϊόντα όταν ένα σημείο βρίσκεται εκτός των ορίων ελέγχου είναι δυνατόν να οδηγήσει σε απόρριψη καλών παρτίδων. Με ανάλογο σκεπτικό εγκυμονεί πολλούς κινδύνους η διατήρηση της παραγωγικής διαδικασίας ως έχει, χωρίς βελτιώσεις, μόνο και μόνο επειδή ικανοποιούνται τα κριτήρια αποδοχής των παρτίδων.

Συμπερασματικά, κρίνεται απαραίτητη η συνύπαρξη ορίων τόσο για την παραγωγική διαδικασία όσο και για τα παραχθέντα προϊόντα. Με άλλα λόγια, στην περίπτωση όπου το αποτέλεσμα υπέρβασης ενός ορίου είναι οι διορθωτικές κινήσεις στην παραγωγικά διαδικασία τότε το όριο εξυπηρετεί τους σκοπούς ενός ορίου ελέγχου. Όταν η διορθωτικές κινήσεις αναφέρονται στις προδιαγραφές των παραγόμενων προϊόντων τότε το όριο εξυπηρετεί τους σκοπούς ενός ορίου αποδοχής, (Taylor, 1999).

## 6.7 Έρευνες χρήσης δειγματοληψίας αποδοχής και διαγραμμάτων ελέγχου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δειγματοληψία αποδοχής και τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν δύο από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Πρόκειται για δύο στατιστικές τεχνικές που βοηθούν μια επιχείρηση να βελτιώσει την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων ή την παρεχομένων υπηρεσιών. Είναι επομένως ιδιαίτερα σημαντικό για την διοίκηση μιας επιχείρησης να υιοθετεί την χρήση των μεθόδων αυτών προκειμένου να επιτύχει τους στόχους που έχει θέσει.

Σε έρευνα που διεξήχθη στην Νότια Αφρική και αφορούσε στην χρήση των στατιστικών τεχνικών από επιχειρήσεις (*Hargeaves, 2002*), προέκυψε ότι το 38,4% των επιχειρήσεων χρησιμοποιεί δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής και το 22,1 % χρησιμοποιεί διαγράμματα ελέγχου. Τα ποσοστά αυτά είναι ιδιαίτερα χαμηλά και θα πρέπει οι διοικήσεις των επιχειρήσεων να αντιληφθούν ότι χρησιμοποιώντας πληροφορίες βασισμένες στις στατιστικές αυτές τεχνικές μπορούν να μειώσουν κατά πολύ τα μη συμμορφούμενα προϊόντα τους, να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων τους και να αυξήσουν τους ικανοποιημένους πελάτες. Επιπρόσθετα, αν ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην Μεγάλη Βρετανία (*Caulcutt, 1996*) σχετικά με την χρήση τεχνικών στατιστικού ελέγχου ποιότητας, προκύπτει ότι με εξαίρεση την Ιαπωνία και μερικώς τις Ηνωμένες Πολιτείες, η εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών στατιστικού ελέγχου ποιότητας δεν έχει επεκταθεί και στις υπόλοιπες περιοχές του πλανήτη όπου υπάρχουν σύγχρονες επιχειρήσεις. Συγκεκριμένα, στην Δυτική Ευρώπη, στην Νότια Αφρική και στην Αυστραλία η δειγματοληψία αποδοχής και τα διαγράμματα ελέγχου εξακολουθούν να είναι οι πιο διαδεδομένες τεχνικές στατιστικού ελέγχου ποιότητας.

Επιπλέον, η παραπάνω έρευνα (*Hargeaves, 2002*), ανέδειξε και την δημοτικότητα των διαφόρων ειδών διαγραμμάτων ελέγχου. Συγκεκριμένα, προέκυψε ότι το πιο δημοφιλές διάγραμμα ελέγχου είναι το αθροιστικό διάγραμμα ελέγχου (CuSum – Cumulative Sum control chart) με ποσοστό 23,3%. Ακολουθούν τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου Shewhart με 9,3%

και τα διαγράμματα εκθετικής εξομάλυνσης (EWMA – Exponentially Weighted Moving Average control charts). Στην ίδια περιοχή, μια άλλη έρευνα (*Moolman, 1996*) ανέδειξε ότι το 71% των επιχειρήσεων που εφαρμόζει τεχνικές στατιστικού ελέγχου απασχολούσε για την εφαρμογή των τεχνικών αυτών, προσωπικό μη ειδικευμένο στην στατιστική. Το χαμηλό αυτό ποσοστό αποδεικνύει ότι οι διοικήσεις των επιχειρήσεων δεν έχουν αντιληφθεί ακόμη την σημασία που έχει η στελέχωση της επιχειρήσεις με επιστημονικό προσωπικό ειδικευμένο στην χρήση στατιστικών μεθόδων, τεχνικών και εργαλείων.

Σε μια επιχείρηση δεν αρκεί να εφαρμόζονται στατιστικές μεθόδους ελέγχου ποιότητας αλλά θα πρέπει να εφαρμόζονται και σωστά. Σε διαφορετική περίπτωση οι αποφάσεις και οι διορθωτικές ενέργειες που λαμβάνονται οδηγούν σε αντίθετα με τα προσδοκώμενα, αποτελέσματα. Σε έρευνα που διεξήχθη στην Μεγάλη Βρετανία (*Rungasamy, Antony & Ghosh, 2002*) εξετάστηκαν οι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχημένη εφαρμογή στατιστικού ελέγχου ποιότητας στις επιχειρήσεις. Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν τις προσεγγίσεις αρκετών ερευνητών όπως του (*Dale, 1994*) και του (*Oakland, 1999*) σύμφωνα με την οποία η δέσμευση της διοίκησης αποτελεί ένα από τους κρίσιμους παράγοντες επιτυχημένης εφαρμογής του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Συγκεκριμένα, η έρευνα αναδεικνύει την δέσμευση της διοίκησης, την ομαδικότητα και τον σωστό προσδιορισμό του μετρούμενου ποιοτικού χαρακτηριστικού σαν τους τρεις κρίσιμότερους παράγοντες επιτυχημένης εφαρμογής του στατιστικού ελέγχου ποιότητας.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Ø Juran J. Gryna M. & Bingham R. S., (1974), "Quality Control handbook 3rd edition, Mc Graw Hill, Inc, USA, pp. 24.2 – 24.8
- Ø Grant E. & Leavenworth R. (1996), "Statistical Quality Control", Mc Graw Hill, London
- Ø Mason B. & Antony J., (2000), "Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality", *Managing Service Quality*, Vol. 10, No. 4, pp. 233 – 238.
- Ø Dimancescu D. & Dwenger K. (1996). "World Class New Product Development", *American Management Association*, New York
- Ø Roes, K.C.B. & Dorr, D. (1997), "Implementing statistical process control in service processes", *International Journal of Quality Science*, Vol. 2, No. 3, pp. 149 - 166
- Ø Brimson J. A., (2004), "Stop cane dancing and integrate statistical process control into your process based management system", *Measuring Business Excellence*, Vol. 8, No. 2, pp. 15 - 22
- Ø Boggs P. B., Wheeler D., Washburne W. F. & HAYATI F. (1998), "Peak expiratory flow rate control chart in asthma care", *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, Vol. 81, No. 6, p.p. 552 – 562.
- Ø Green R. S. (1999), "The application of statistical process control to manage global client outcomes in behavioural healthcare", *Evaluation and Program Planning*, Vol. 22, p.p. 199 – 210
- Ø Sulek J. M., Lind M. R. & Maruchok A. S. (1995), "Assessing the outcomes of quality improvement interventions: the role of x chart methodology", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 12, No. 9, p.p. 170 – 182
- Ø Gardiner S. C. and Mitra A. (1994), "Quality control procedures to determine staff allocation in a bank", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 11, No 1, p.p. 6 – 21.
- Ø Jensen J. B. & Markland R.E. (1996), "Improving the application of quality conformance tools in service firms", *Journal of Services Marketing*, Vol. 10, No. 1 p.p. 33 – 55.

- Ø Atienza O. O., Ang B. W. & Tang L. C. (1997), " Statistical Process Control", *International Journal of Quality Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 37 – 51
- Ø Hill J. F. (1996), "Monitoring information and materials to enhance logistics performance", *Logistics Information Management*, Vol. 9, No. 2, p.p. 10 – 15.
- Ø Koksalan M., Erkip N. & Moskowitz, "Explaining beer demand: a residual modelling regression approach using statistical process control", *International Journal of Production Economics*, Vol. 58, p.p. 165 – 176.
- Ø Michael Stuart, Eamonn Mullins, Eileen Drew, (1996), Statistical Quality Control and Improvement, *European Journal of Operational Research*, Vol. 88, pp. 203 – 214.
- Ø Juran, J. M., Gryna, F. M. Jr., (1993), Quality planning and analysis., Tata Mc Graw-Hill Publishing Company LTD, New York, pp. 335-341.
- Ø Fitzimons D. K. (1989), "Gaining acceptance for acceptance sampling" *Quality Progress*, April, p.p. 46 – 48.
- Ø Samuel B. Graves and Jeffrey L. Ringuest, 1996, Producer' s and Consumer' s Risk when proportion defective is a random variable, *Decisions Sciences*, Vol. 22, pp. 753 – 770.
- Ø Evans, J. R. & Lindsay, W. M., 1999, The management and control of quality, 4th edition., *South Western College Publishing*, U.S.A., pp. 567-568.
- Ø Antony J., Balbontin A. & Taner T., (2000), "Key ingredients for the effective implementation of statistical process control", *Work Study*, Vol. 49, No. 6, pp. 242 – 247.
- Ø Hewson, C., O' Sullivan P. & Stenning K. (1996). "Training needs associated with statistical process control", *Training for Quality*, Vol. 4, No 4, p.p. 32 – 36.
- Ø Freeman J. & Mintzas G., (1999), "Simulating c and u control schemes", *The TQM Magazine*, Vol. 11, No. 4, pp. 242 - 247.

- Ø Turnes O., Ho Lee L., & Imana C. R., (2002), "Comparison of semi – economic  $\bar{x}$  and  $\bar{x}-R$  control charts for non – ageing and ageing process", *Economic Quality Control*, Vol. 17, No 1, pp. 99 - 112
- Ø Zhang Wu, (1994), "Single  $\bar{x}$  control chart scheme", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 11, No. 9, pp. 34 – 42.
- Ø Zhang Wu, (1996), "Asymmetric control limits of the  $\bar{x}$  – bar chart for skewed process distributions", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13, No. 9, pp. 49 – 60.
- Ø Hargeaves C. A., (2002), "Do managers make decisions using statistics", University of Durban – Westville, South Africa
- Ø Caulcutt, R. (1996), "Statistical Process Control", *Assembly Automation*, Vol. 16, No. 4, pp. 10 - 14
- Ø Rungasamy S., Antony J. & Ghosh S. (2002), "Critical success factors for SPC implementation in UK small and medium enterprises: some key findings from a survey", *The TQM Magazine*, Vol. 14, No. 4, pp. 217 - 224
- Ø Dale B. G., (1994), "Managing Quality", Prentice – Hall, Hemel Hempstead
- Ø Oakland J. S., (1999), "Statistical Process Control 4th edition", Butterworth – Heinemann, Oxford.
- Ø Moolman W. H., (1996), "The involment of statisticians in thw application of statistical methods in companies – a study of the Durban – Pinetown region", *Paper presented at the 1996 South African Statistical Association Conference*
- Ø Brooks G. H., (1999), "Acceptance sampling design by computer – optimality concerns", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 1-4, pp. 508 – 513
- Ø Dunsmore I. R. & Wright D. E., (1995), "A decisive approach to the construction of sequential acceptance sampling plans for lifetimes", *Applied Statistics*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-13.
- Ø Pooler V. H. & Pooler D. J., (1997), "Purchasing and supply management, creating the vision, Chapman & Hall, USA, pp. 155 – 159

- Ø Bounds B., Yorks L. & Adams M., (1999), "Total Quality Management toward thw emerging paradigm", Mc Graw – Hill International editions, Singapore, pp. 23 - 53

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει εκτενώς τις έννοιες της δειγματοληψίας αποδοχής και του στατιστικού ελέγχου διαδικασιών, να εμβαθύνει στην χρήση των δύο αυτών μεθόδων στα πλαίσια εφαρμογής στατιστικού ελέγχου ποιότητας και να αναδείξει την σύγκριση που υφίσταται σχετικά με το δήθεν δίλημμα “δειγματοληψία αποδοχής ή στατιστικός έλεγχος διαδικασιών”. Παράλληλα, στα πλαίσια της εργασίας αυτής γίνεται αναφορά στις σύγχρονες εφαρμογές των δύο αυτών μεθόδων και επιπρόσθετα παρουσιάζονται έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τον βαθμό χρήσης των στατιστικών αυτών τεχνικών από τις επιχειρήσεις που εφαρμόζουν στατιστικό έλεγχο ποιότητας.

Από το σύνολο της εργασίας προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα τα οποία έχουν ως εξής:

α Τα διαγράμματα ελέγχου αποτελούν ακόμη και σήμερα το κύριο εργαλείο του στατιστικού ελέγχου διαδικασιών και γενικότερα του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται εδώ και αρκετές δεκαετίες (από την δεκαετία του 1920), εντούτοις η χρήση της είναι εκτενής τόσο σε παραγωγικά και κατασκευαστικά περιβάλλοντα όσο και στον τομέα παροχής υπηρεσιών. Η ανθεκτικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου στην πάροδο του χρόνου έχει ιδιαίτερη σημασία αν αναλογιστούμε την πολυπλοκότητα των σύγχρονων διαδικασιών με το πλήθος παραμέτρων και μεταβλητών που τις διακρίνουν.

α Ιδιαίτερα στον τομέα παροχής υπηρεσιών, η εφαρμογή των διαγραμμάτων ελέγχου έχει σημειώσει ραγδαία αύξηση τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ενώ μέχρι την δεκαετία του 1980, η εφαρμογή διαγραμμάτων ελέγχου για την παρακολούθηση διαδικασιών που αφορούσαν στην παροχή υπηρεσιών ήταν σχεδόν αμελητέα, στις μέρες μας σχεδόν το σύνολο των κλάδων των επιχειρήσεων που ασχολούνται με τις υπηρεσίες εφαρμόζουν διαγράμματα ελέγχου. Νοσοκομεία, τράπεζες, επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην λιανική πώληση τροφίμων,

εστιατόρια, ξενοδοχεία, πανεπιστήμια χρησιμοποιούν τα διαγράμματα ελέγχου σαν μέσο για την παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας που να ικανοποιούν τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των καταναλωτών.

- α Είαι γεγονός, ότι στην Ιαπωνία και στην Βόρεια Αμερική έχει εξαπλωθεί η νέα μέθοδος στατιστικού ελέγχου ποιότητας που επικεντρώνεται στην βελτίωση της ποιότητας κατά την φάση σχεδιασμού προϊόντων και διαδικασιών με την βοήθεια στατιστικών πειραμάτων. Αντίθετα στις υπόλοιπες ανεπτυγμένες και προηγμένες τεχνολογικά περιοχές της υφηλίου (Δυτική Ευρώπη, Αυστραλία, Νότιος Αφρική) η μέθοδος αυτή δεν έχει γνωρίσει ιδιαίτερη απήχηση είτε λόγω καθυστέρησης στην ενσωμάτωσης νέων μεθόδων ή λόγω εμμονής σε παραδοσιακές και δοκιμασμένες τεχνικές. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα διαγράμματα ελέγχου και τα δειγματοληπτικά σχέδια αποδοχής να εξακολουθούν να αποτελούν τα βασικά εργαλεία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Θα πρέπει επίσης να τονισθεί ότι ακόμη και στην Ιαπωνία ή στην Βόρεια Αμερική εξακολουθεί να είναι η συχνή η χρήση των δύο μεθόδων ενώ σημαντικές είναι οι ερευνητικές προσπάθειες που έχουν οδηγήσει σε νέες μορφές διαγραμμάτων ελέγχου και σε πρωτοποριακές χρήσεις της δειγματοληψίας αποδοχής.
- α Ιδιαίτερα σημαντική είναι η έρευνα που έχει γίνει τα τελευταία χρόνια σε σχέση με την δημιουργία νέων διαγραμμάτων ελέγχων. Πέρα από τα παραδοσιακά διαγράμματα ελέγχου Shewhart ευρεία είναι η χρήση των εξελιγμένων διαγραμμάτων ελέγχου όπως τα αθροιστικά (cusum charts), τα διαγράμματα εκθετικής εξομάλυνσης (ewma charts), κ.λ.π. τα οποία ξεπερνούν τους περιορισμούς που υπάρχουν στην χρήση των διαγραμμάτων Shewhart. Επιπλέον, σημαντικές είναι οι ερευνητικές προσεγγίσεις που έχουν γίνει όσον αφορά στον συνδυασμό παραδοσιακών και ειδικών διαγραμμάτων ελέγχου προκειμένου να συνδυαστούν τα προτερήματα και των δύο κατηγοριών διαγραμμάτων ελέγχου. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να επισημανθεί η μεγάλη συνεισφορά των υπολογιστικών προγραμμάτων στις ερευνητικές προσπάθειες που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια αφού έχουν μειωθεί δραστικά οι χειρονακτικοί υπολογισμοί ενώ δίνεται η δυνατότητα στους

ερευνητές να παραμετροποιήσουν και να μοντελοποιήσουν παράγοντες της διαδικασίας ή χαρακτηριστικά προϊόντος ή υπηρεσιών και να καταλήξουν με αυτό τον τρόπο στην βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

- α Η δειγματοληψία αποδοχής δεν έχει ολοκληρώσει τον κύκλο της ως μέθοδος στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Είναι αποδεκτό ότι η μορφή των σύγχρονων επιχειρήσεων, το υφιστάμενο επίπεδο ποιότητας και η πολυπλοκότητα των ακολουθούμενων διαδικασιών δεν επιτρέπουν την εξάπλωση της δειγματοληψίας αποδοχής όπως αυτή σημειώθηκε στις δεκαετίες του 1940, 1950 και 1960. Από την άλλη πλευρά όμως ακόμη και σήμερα η δειγματοληψία αποδοχής εφαρμόζεται σε πλήθος περιπτώσεων, γεγονός που επιβεβαιώνει την αντοχή της, σαν μέθοδο στατιστικού ελέγχου ποιότητας, στον χρόνο.
  
- α Δεν τίθεται θέμα επιλογής μεταξύ στατιστικού ελέγχου διαδικασιών και δειγματοληψίας αποδοχής. Συγκεκριμένα, η χρήση διαγραμμάτων ελέγχου από μια επιχείρηση δεν αποκλείει την εφαρμογή της δειγματοληψίας αποδοχής. Οι δύο μέθοδοι στατιστικού ελέγχου ποιότητας δεν αναιρούνται αλλά λειτουργούν παράλληλα, αλληλοσυμπληρώνονται και συνδυάζουν τα πλεονεκτήματά τους με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του ποιοτικού επιπέδου των παραγόμενων προϊόντων (ή αντίστοιχα των προσφερόμενων υπηρεσιών). Η συμμετοχή αυτή της δειγματοληψίας αποδοχής, παράλληλα με τα διαγράμματα ελέγχου έχει μεγαλύτερη σημασία για νεοσύστατες επιχειρήσεις διότι οι διαδικασίες που ακολουθούν δεν έχουν σταθεροποιηθεί, δεν έχουν παγιωθεί και ως εκ τούτου εμφανίζουν συχνές και αξιοσημείωτες διακυμάνσεις. Στις περιπτώσεις αυτές η χρήση των διαγραμμάτων ελέγχου δεν οδηγεί σε βελτίωση εκτός και αν τροφοδοτείται από στοιχεία που παρέχει η δειγματοληψία αποδοχής.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ø Blake. S. Launsby & Weese. D. L. (1994). "Experimental design meets the realities of the 1990s", *Quality Progress*, October 1994, pp. 99 - 101
- Ø DeVor R. E., Chang T. H. & Sutherland (1992). "Statistical Quality Design and Control", Macmillan Publishing, New York, 1992.
- Ø Hinckley CM, Barkan P. (1997) "The role of variation, mistakes and complexity in production nonconformities", *J. Qual. Technol.*, 27, pp. 242 – 249
- Ø Hewson, C., O' Sullivan P. & Stenning K. (1996). "Training needs associated with statistical process control", *Training for Quality*, Vol. 4, No 4, p.p. 32 – 36.
- Ø Dimancescu D. & Dwenger K. (1996). "World Class New Product Development", *American Management Association*, New York
- Ø Grant E. & Leavenworth R. (1996), "Statistical Quality Control", Mc Graw Hill, London
- Ø Atienza O. O., Ang B. W. & Tang L. C. (1997), " Statistical Process Control", *International Journal of Quality Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 37 – 51
- Ø Hargeaves C. A., ( 2002), "Do managers make decisions using statistics", University of Durban – Westville, South Africa
- Ø Zhang Wu, (1994), "Single  $\bar{x}$  control chart scheme", *International Journal of Quality & Reliability Management*", Vol. 11, No. 9, pp. 34 – 42.
- Ø Moolman W. H., ( 1996), "The involment of statisticians in thw application of statistical methods in companies – a study of the Durban – Pinetown region", *Paper presented at the 1996 South African Statistical Association Conference*
- Ø Dale B. G., (1994), "Managing Quality", Prentice – Hall, Hermel Hempstead
- Ø Oakland J. S., (1999), "Statistical Process Control 4th edition", Butterworth – Heinemann, Oxford.



- Ø Brooks G. H., (1999), "Acceptance sampling design by computer – optimality concerns", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 1-4, pp. 508 - 513
- Ø Dunsmore I. R. & Wright D. E., (1995), "A decisive approach to the construction of sequential acceptance sampling plans for lifetimes", *Applied Statistics*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-13.
- Ø Pooler V. H. & Pooler D. J., (1997), "Purchasing and supply management, creating the vision, Chapman & Hall, USA, pp. 155 - 159
- Ø Ipek (1999), "The application of statistical process control", *Minerals Engineering*, Vol. 12, No. 7, pp. 827 – 835
- Ø Maul G. P., Richardson R. & Jones B. (1996), "Statistical process control applied to gas metal arc welding", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 31, No ½, p.p. 253 – 256.
- Ø Cook G.E. Maxwell, J.E. Barnett R. J. & Strauss A. M. (1997), "Statistical process control application to weld process", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 2, pp. 454 – 463.
- Ø Boggs P. B., Wheeler D., Washburne W. F. & HAYATI F. (1998), "Peak expiratory flow rate control chart in asthma care", *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, Vol. 81, No. 6, p.p. 552 – 562.
- Ø Green R. S. (1999), "The application of statistical process control to manage global client outcomes in behavioural healthcare", *Evaluation and Program Planning*, Vol. 22, p.p. 199 – 210
- Ø Sulek J. M., Lind M. R. & Maruchok A. S. (1995), "Assessing the outcomes of quality improvement interventions: the role of x chart methodology", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 12, No. 9, p.p. 170 – 182
- Ø Jennings A. D. & Drake D. R., (1997), "Machine tool condition monitoring using statistical quality control charts" *International Journal of Tools Manufacture Design, Research and Application*, Vol. 37, No. 9, p.p. 1243 – 1249.
- Ø Paul W. L. & Barnett N. S. (1995), "Control Charting Instrumental Analysis" *Laboratory Automation and Information Management*, Vol. 31, p.p. 141 – 148

- Ø Gardiner S. C. and Mitra A. (1994), "Quality control procedures to determine staff allocation in a bank", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 11, No 1, p.p. 6 – 21.
- Ø Jensen J. B. & Markland R.E. (1996), "Improving the application of quality conformance tools in service firms", *Journal of Services Marketing*, Vol. 10, No. 1 p.p. 33 – 55.
- Ø Roes, K.C.B. & Dorr, D. (1997), "Implementing statistical process control in service processes", *International Journal of Quality Science*, Vol. 2, No. 3, pp. 149 - 166
- Ø Yan Hu, (2001), "Cause – classified Control Chart and its application", *Managerial Auditing Journal*, 16/4, pp. 227 – 233.
- Ø Xie M., Goh T. N. & Cai D. Q., (2001), "An integrated SPC approach for manufacturing processes", *Integrated Manufacturing Systems*, 12/2, pp. 134 – 138.
- Ø Chan C.-I., Tse A.C.B. & Yim F.H.K., (2003), "Comparing and combining individual  $\bar{x}$  – charts &  $\bar{x}$  – bar charts", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 20, No. 7, pp. 827 – 835
- Ø Antony J. & Taner T., (2003), "A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control", *Business Process Management*, Vol. 9, No. 4, pp. 473 – 489
- Ø Ribeiro J. L. D., Schwengber C. & Frittsch C., (2001), "Integrated process control", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 18, No. 4, pp. 444 – 464
- Ø Gittlow H. S., (2001), "Viewing statistics from a quality control perspective", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 18, No. 2, pp. 169 – 179
- Ø Luo H. & Wu Z., (2002), "Optimal np control charts with variable sample sizes or variable sampling intervals", *Economic Quality Control*, Vol. 17, No. 1, pp. 39 – 61
- Ø Mason B. & Antony J., (2000), "Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality", *Managing Service Quality*, Vol. 10, No. 4, pp. 233 – 238.

- Ø Turnes O., Ho Lee L., & Imana C. R., (2002), "Comparison of semi – economic  $\bar{x}$  and  $\bar{x}-R$  control charts for non – ageing and ageing process", *Economic Quality Control*, Vol. 17, No 1, pp. 99 - 112
- Ø Morton A. P., Whitby M., (2001), "The application of statistical process control charts to the detection and monitoring of hospital – acquired infections", *Journal of Quality in Clinical Practice*, Vol. 21, Issue 4, pp. 112 – 117
- Ø Suresh K. K. & Devaarul S., (2002), "Combining process and product control for reducing sampling costs", *Economic Quality Control*, Vol. 17, No. 2, pp. 187 - 194
- Ø Tannock J. D. T., (1997), "An economic comparison of inspection and control charting using simulation", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 14, No. 7, pp. 687 – 699
- Ø Hsu S. H. & Chan T., (1994), "A study of inspection performance and the personality of quality inspectors", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 11, No. 5, pp. 55 – 65
- Ø Wang R. C. & Chen C. H., (1995), "Economic statistical np control chart designs based on fuzzy optimization", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 12, No. 1, pp. 82 – 92
- Ø Tumer I. Y. & Huff E. M., (2002), "On the effects of production and maintenance variations on machinery performance", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 8, No. 3, pp. 226 – 238
- Ø Chen C. C., Yeh T. M. & Yang C. C., (2004), "Customer – focused rating system of supplier quality performance", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 15, No. 7, pp. 599 - 606
- Ø Daya M. B. & Duffuaa S. O., (2003), "Integration of Tagushi' s loss function approach in the economic design of  $\bar{x}$  chart", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 20, No. 5, pp. 607 – 619
- Ø Brimson J. A., (2004), "Stop cane dancing and integrate statistical process control into your process based management system", *Measuring Business Excellence*, Vol. 8, No. 2, pp. 15 - 22

- Ø Michael S. Wall & Ahmad K. Elshennawy, 1989, Economically – Based Acceptance Sampling Plans, *Computers Ind. Engin.* Vol 17, No 1-4, pp. 340 – 346.
- Ø Hayes G.D., Seallan A.J. & Wong J. H. F. (1997), “Applying statistical process control to monitor and evaluate the hazard analysis criticalcontrol point hygiene data”, *Food Control*, Vol. 8, No. 4, pp. 173 - 176
- Ø Grigg, N. P. (1998), “Statistical process control in UK food production: an overview”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 15, No. 2. pp. 223 - 238
- Ø Hill J. F. (1996), “Monitoring information and materials to enhance logistics performance”, *Logistics Information Management*, Vol. 9, No. 2, p.p. 10 – 15.
- Ø Caulcutt, R. (1996), “Statistical Process Control”, *Assembly Automation*, Vol. 16, No. 4, pp. 10 - 14
- Ø Koksalan M., Erkip N. & Moskowitz, “Explaining beer demand: a residual modelling regression approach using statistical process control”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 58, p.p. 165 – 176.
- Ø Fitzimons D. K. (1989), “Gaining acceptance for acceptance sampling” *Quality Progress*, April, p.p. 46 – 48.
- Ø Antony J., Balbontin A. & Taner T., (2000), “Key ingredients for the effective implementation of statistical process control”, *Work Study*, Vol. 49, No. 6, pp. 242 – 247.
- Ø Rungasamy S., Antony J. & Ghosh S. (2002), “Critical success factors for SPC implementation in UK small and medium enterprises: some key findings from a survey”, *The TQM Magazine*, Vol. 14, No. 4, pp. 217 – 224
- Ø Freeman J. & Mintzas G., (1999), “Simulating c and u control schemes”, *The TQM Magazine*, Vol. 11, No. 4, pp. 242 - 247.
- Ø Zhang Wu, (1996), “Asymmetric control limits of the x – bar chart for skewed process distributions”, *International Journal of Quality & Reliability Management*’, Vol. 13, No. 9, pp. 49 – 60.

- ∅ Bounds B., Yorks L. & Adams M., (1999), "Total Quality Management toward thw emerging paradigm", Mc Graw – Hill International editions, Singapore, pp. 23 - 53
- ∅ Crosby, P. B. (1979) Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. NY: McGraw-Hill Book Co.
- ∅ Woodall, W. H. (2000). "Control Charting Based on Attribute Data: Bibliography and Review", *Journal of Quality Technology*, 29, 172-183.
- ∅ Su Fen Yang & Chan – Ming Yang. (2004), " Economic statistical process control for over – adjusted process mean", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 21, No 4, pp. 412 - 424
- ∅ Tsai C. F., Bowerman C. & Tait J. (2000), "A dynamic adaptive system for economic design of multiple control charts", *Integrated Manufacturing Systems*, 11/4, pp. 277 - 285
- § Samuel B. Graves and Jeffrey L. Ringuest, 1996, Producer' s and Consumer' s Risk when proportion defective is a random variable, *Decisions Sciences*, Vol. 22, pp. 753 – 770.
- § Schneider H., (1989), "Failure – censored variables sampling plans for lognormal and Weibull distributions", *Tecnometrics*, Vol. 31, No. 9, pp. 199 - 206
- § Wilfried Seidel, 1997, A possible way out of the pitfall of acceptance sampling by variables: Treating variances as unknown, *Computational Statistics & Data Analysis* 25, pp. 207 – 216
- ∅ Duncan, A. J. (1986). Quality Control and Industrial Statistics, 5th ed., Irwin, Homewood, IL.
- § Charbonneau, H. C., Webster, G. L., 1978, Industrial quality control., Prentice-Hall, Inc., U.S.A., pp.138-140.
- § Wetherill G. B. & Bravo P. C. (1980), "The maching of sampling plans and the design of double sampling plans", *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 143, No. 3, pp. 49 - 67
- § Evans, J. R. & Lindsay, W. M., 1999, "The management and control of quality", 4th edition., South Western College Publishing, U.S.A., pp. 567-568.

- § Suresh, R. & Ramanathan T., (1997), "Acceptance sampling plans by variables for a case of symmetric distribution", *Communication Statistics – Simulation*, Vol. 26, No. 4, pp. 1379 - 1391
- § Feigenbaum, A. V., (1991), Total quality control, 3rd edition revised., Mc Graw-Hill International editions, U.S.A., pp. 465-529.
- § Juran, J. M., Gryna, F. M. Jr., (1993), Quality planning and analysis., Tata Mc Graw-Hill Publishing Company LTD, New York, pp. 335-341.
- § Juran, J. M., Gryna, F. M., (1993), Quality planning and analysis, 3rd edition., Mc Graw-Hill International editions, U.S.A., pp. 456-459.
- § Hanna M. D. & Jobe M. J., (1996), "Including quality costs in the lot – sizing decisions", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13, No. 6, pp. 8 - 17
- § Lindley D. V. & Singpurwalla N. D., (1991), "On the evidence needed to reach agreed action between adversaries, with application to acceptance sampling", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 86, No. 416, pp. 933 - 937
- § Pulak M. & Sultan K., (1996), "The optimum targeting for a single filling operation with rectifying inspection", *Omega International Journal of Management Science*, Vol. 24, No. 6, pp. 727 – 733
- § Tippett L. H. C., (1958), "A guide to acceptance sampling", *Applied Statistics*, Vol. 7, No. 3, pp. 133 - 148
- § Juran, J. M., Gryna, F. M., Bingham, R. S., 1974, Quality control handbook, 3rd edition., Mc Graw-Hill, Inc., U.S.A., pp. 24.2-24.8.
- § Montgomery, D. C., 1997, Introduction to statistical quality control, 3rd edition., John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., pp.607-613.
- § Michael Stuart, Eamonn Mullins, Eileen Drew, 1996, Statistical Quality Control and Improvement, *European Journal of Operational Research* , Vol. 88, pp. 203 – 214.
- Ø ΕΛΟΤ 398.0, (1982), "Κανόνες και πίνακες δειγματοληψίας για ελέγχους ποιότητας με χαρακτηριστικό διαλογής, ΕΛΟΤ – Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης

- ∅ ΕΛΟΤ 398.1, (1982), “Κανόνες και πίνακες δειγματοληψίας για ελέγχους ποιότητας με χαρακτηριστικό διαλογής – Συμπλήρωμα 1, *ΕΛΟΤ – Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης*”
- ∅ ANSI / ASQC Z1.9 – 1980 (1980), “Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent nonconforming”, *American Society for Quality Control*
- ∅ Dodge H. F. & Romig H. G., (1959), “Sampling inspection tables, single and double sampling, John Wiley & Sons
- ∅ ISO 2859 (1974), “Sampling procedures and tables for inspection by attributes”, *International Organization for Standardization*.
- ∅ ISO 3951 (1981), “Sampling procedures and charts for inspection by variables”, *International Organization for Standardization*.
- ∅ MIL-STD 414 (1957), “Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent defective”, *U.S. Department of Defense*
- ∅ MIL-STD 1235B (1982), “Single and Multi – Level continuous sampling procedures and tables for inspection by attributes”, *U.S. Department of Defense*
- ∅ Hald A., (1981), “Statistical theory of sampling inspection by attributes”, *Academic Press*
- ∅ Liederman G. J. & Resnikoff G. J., (1955), “Sampling plans for inspection by variables”, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 50, pp. 457 – 516
- ∅ Wald A., (1947), *Sequential Analysis*, Wiley, New York
- ∅ Dodge H. F., (1943), “A sampling plan for continuous production”, *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 14(3), pp. 264 – 279
- ∅ Grant E. L. & Leavenworth R. S., (1988), “Statistical Quality Control (6<sup>th</sup> edition)”, McGraw – Hill, Inc, New York
- ∅ Perry R. L., (1973), “Skip – Lot sampling plans”, *Journal of Quality Technology*, Vol. 5, pp. 123 – 130.
- ∅ Stephens, K.S., (1995), “How to perform Skip – Lot and Chain Sampling”, *Quality Press*
- ∅ Shirland L. E., (1993), *Statistical Quality Control with microcomputer applications*, John Wiley & Sons

- Ø Solomon H. & Zachs S. (1970), "Optimal design of sampling plan from finite populations: a critical review and indication of new research areas", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 65, No. 330, pp. 653 – 677
- Ø Newcombe P. A. & Allen O. B. (1988), "A three – class procedure for acceptance sampling by variables", *Technometrics*, Vol. 30, No. 4
- Ø Shakun M. F., (1965), "Multivariate acceptance sampling procedures for general specification ellipsoids", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 60, No. 311
- Ø Berger R., (1982), "Multiparameter hypothesis testing and acceptance sampling", *Technometrics*, Vol. 24, No. 4, pp. 295 – 300
- Ø Speevak T. & Yo A. K., (1987), "Multiple attributes sampling acceptance plans involving destructive testing", *Technometrics*, Vol. 29, No. 1, pp. 103 – 107.
- Ø Tagaras G. & H. L. Lee, (1987), "Optimal Bayesian Single Sampling Plans with modified Beta prior distribution", *Naval Research Logistics*, Vol. 34, pp. 798 - 801
- Ø Bennett G. K. & Schmidt J. W., (1974), "The choice of variables sampling plans using cost effective criteria", *AIIE Transactions*, Vol. 6, pp. 178 – 184
- Ø Wall M. S. & Elshenway A. K., (1989), "Economically based acceptance sampling plans", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 1-4, pp. 340 - 346
- Ø Read D. R. & Beattie D. W., (1961), "The variable lot – size acceptance sampling plan for continuous production", *Applied Statistics*, Vol. 10, No. 3, pp. 147 - 156
- Ø MacCarthy B. L. & Wasusri T., (2002), "A review of non – standard applications of statistical process control charts", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 19, No. 3, pp. 295 - 320
- Ø Jackson J. E., (1972), "All count distributions are not alike", *Journal of Quality Technology*, Vol 4.
- Ø Johnson N. L., Kotz S. & Kemp A. W., (1992), "Univariate Discrete Distributions, John Wiley & Sons.



- Ø Woodall W. H. & Montgomery D. C. (1993) "Research issues and ideas in statistical process control", *Journal of Quality Technology*, Vol. 31, No. 4, pp. 376 – 386.
- Ø Zhang N. F. (1998), "A statistical control chart for stationary process data", *Technometrics*, Vol. 40, No. 1, pp. 1099 – 1113
- Ø Mayer R., (1980), "Selecting Control Limits", *Quality Progress*, Vol. 16, No. 9, pp. 26 – 26
- Ø Lucas J. M. & Saccucci M. S., (1990), "Exponentially weighted moving average controls schemes: properties and enhancements", *Technometrics*, Vol. 32, pp. 1 – 12.
- Ø Marquardt D. W., (1997), "Twin metric control – CUSUM simplified in a Shewhart framework", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 3, pp. 220 - 233
- Ø Duncan A. J., (1986), "Quality Control and Industrial Statistics, 5<sup>th</sup> edition, Irwin, Homewood
- Ø Nelson P. R. & Stephenson P. L., (1996), "Run Tests for Group Control Charts", *Communications in Statistics – Theory and Methods*, Vol. 25(11), pp. 2739 - 2765
- Ø Mortell R. R. & Runger G. C., (1995), "Statistical process control of multiple stream processes", *Journal of Quality Technology*, Vol. 27, pp. 1 – 12.
- Ø Tagaras G., (1989), "Economic  $\bar{x}$  charts with asymmetric control limits", *Journal of Quality Technology*, Vol. 21, pp. 147 - 154
- Ø Yang S. F. & Yang C. M., (2004), "Economic statistical process control for over – adjusted process mean", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 21, No. 4, pp. 412 - 424
- Ø Su – Fen Yang, (1997), "The economic design of control charts when there are dependent process steps", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 6, pp. 606 - 615
- Ø Chen W. H. & Tirupati D., (1997), "Economic design of  $\bar{x}$  control charts: insights on design variables", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 3, pp. 234 – 259

- Ø Chiu N. H. & Huang B. S., (1996), "Economic design of  $\bar{x}$  control charts under a preventive maintenance policy", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13 No. 1, pp. 61 – 71
- Ø Yang S., (1993), "Economic design of joint  $\bar{x}-R$  control charts: a Markov chain method", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, No. 2, pp. 445 – 474
- Ø Rahim & Lashkari, (1988), "Joint economic design of mean and variance control charts", *Engineering Optimization*, Vol. 14, pp. 165 – 178.
- Ø Montgomery D. C., (1980), " The economic design of control charts: a review and literature survey", *Journal of Quality Technology*, Vol. 12, No. 2, pp. 75 - 87

## 9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρατίθενται τα δεδομένα των ακόλουθων διαγραμμάτων ελέγχου:

§ Διάγραμμα μέσης τιμής και διακύμανσης  $\bar{x} - R$

§ Διάγραμμα μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης  $\bar{x} - s$

§ Διάγραμμα p – chart

§ Διάγραμμα c – chart

§ Διάγραμμα u – chart

X-bar and R Διαγράμμα Ελέγχου																												
Αριθμός Δειγμάτων																									25			
Μέγεθος Δείγματος																									3			
Grand Average		48,88																							A2	D3	D4	d2
Average Range		30,12																							1,023	0	2,574	1,693
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>			
1	41	78	84	60	46	64	43	31	50	57	24	78	51	41	56	46	99	71	41	41	22	62	64	44	41			
2	70	53	34	36	47	16	53	43	29	83	42	48	56	29	64	41	86	54	2	39	40	70	52	38	63			
3	22	68	48	25	29	56	64	30	57	32	39	50	35	36	16	98	28	53	36	46	46	57	60	62	50			
Μέσος Όρος	44,33	66,33	55,33	40,33	40,67	45,33	53,33	34,67	45,33	57,33	35,00	58,67	47,33	35,33	45,33	61,67	71,00	59,33	26,33	42,00	36,00	63,00	58,67	48,00	51,33			
Κάτω Όριο Ελέγχου x-bar	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07	18,07			
Κεντρική Γραμμή	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88	48,88			
Άνω Όριο Ελέγχου x-bar	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69	79,69			
Διακύμανση	48	25	50	35	18	48	21	13	28	51	18	30	21	12	48	57	71	18	39	7	24	13	12	24	22			
Κάτω Όριο Ελέγχου R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Κεντρική Γραμμή	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12	30,12			
Άνω Όριο Ελέγχου R	77,53	77,53	77,52888	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53	77,53			
Παράμετροι Σχεδίασης Διαγράμματος Ελέγχου																												
n	A2	D3	D4	d2	A3	B3	B4																					
2	1,88	0	3,267	1,128	2,659	0	3,267																					
3	1,023	0	2,574	1,693	1,954	0	2,568																					
4	0,729	0	2,282	2,059	1,628	0	2,266																					
5	0,577	0	2,114	2,326	1,427	0	2,089																					
6	0,483	0	2,004	2,534	1,287	0,03	1,97																					
7	0,419	0,076	1,924	2,704	1,182	0,118	1,882																					
8	0,373	0,136	1,864	2,847	1,099	0,185	1,815																					
9	0,337	0,184	1,816	2,97	1,032	0,239	1,761																					
10	0,308	0,223	1,777	3,078	0,975	0,284	1,716																					

X-bar and s Διαγράμμα Ελέγχου																									
Αριθμός Δειγμάτων		25																							
Μέγεθος Δειγμάτων		10																							
Grand Average		-0,068																							
Avg. std. dev.		1,64																							
		A3	B3	B4	d2																				
		0,975	0,284	1,716	3,078																				
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	-4	0	1	-3	-6	-3	0	2	0	-3	-3	-6	-3	-1	-1	-2	0	0	1	1	-1	0	1	2
2	-2	-2	-1	1	-1	2	-1	-2	0	0	-2	2	-3	1	-1	-2	2	4	3	2	2	0	0	0	2
3	0	0	0	0	0	0	0	-3	-1	-2	2	0	0	5	-1	-2	-1	0	-3	1	2	2	-1	0	1
4	2	3	0	2	-4	0	-2	-1	-1	-1	-1	1	0	0	-2	0	0	0	3	1	1	-1	0	1	2
5	-2	0	3	1	0	2	-1	-2	-3	-1	1	-1	1	1	-1	-4	-1	0	3	-3	2	2	1	1	-1
6	1	0	1	1	1	-1	-1	1	0	0	-2	4	-4	1	0	0	-1	3	1	2	-4	2	0	2	2
7	2	3	2	2	0	2	-3	-3	1	-1	-2	2	3	5	-2	-2	2	0	0	1	1	-1	2	0	2
8	-1	4	0	0	-2	0	0	0	-3	-2	-1	-3	-1	1	-1	-4	-1	0	1	-2	1	0	0	0	1
9	0	-1	2	0	0	-3	-2	-3	-1	-2	1	-4	-1	-1	0	-1	1	1	2	3	1	0	-1	-1	-1
10	7	3	3	1	-2	0	-2	-2	0	0	1	0	-2	0	-1	0	-2	0	-2	0	2	-1	0	0	2
Μέσος Όρος	0,8	0,6	1	0,9	-1,1	-0,4	-1,5	-1,5	-0,6	-0,9	-0,6	-0,2	-1,3	1	-1	-1,6	-0,3	0,8	0,8	0,6	0,9	0,2	0,1	0,4	1,2
Κάτω Όριο Ελέγχου x-bar	-1,66	-1,66	-1,662265	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66	-1,66
Κεντρική Γραμμή	-0,07	-0,07	-0,068	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07
Άνω Όριο Ελέγχου x-bar	1,526	1,526	1,526265	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526	1,526
Τυπική Απόκλιση	2,616	2,591	1,414214	0,738	1,595	2,503	1,08	1,434	1,578	0,876	1,713	2,573	2,584	2,449	0,667	1,506	1,494	1,476	2,098	1,838	1,792	1,317	0,876	0,843	1,229
Κάτω Όριο Ελέγχου s	0,464	0,464	0,464381	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464
Κεντρική Γραμμή	1,635	1,635	1,635144	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635	1,635
Άνω Όριο Ελέγχου s	2,806	2,806	2,805907	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806	2,806
<b>Παράμετροι Σχεδίασης Διαγράμματος Ελέγχου</b>																									
n	A2	D3	D4	d2	A3	B3	B4																		
2	1,88	0	3,267	1,128	2,659	0	3,267																		
3	1,023	0	2,574	1,693	1,954	0	2,568																		
4	0,729	0	2,282	2,059	1,628	0	2,266																		
5	0,577	0	2,114	2,326	1,427	0	2,089																		
6	0,483	0	2,004	2,534	1,287	0,03	1,97																		
7	0,419	0,076	1,924	2,704	1,182	0,118	1,882																		
8	0,373	0,136	1,864	2,847	1,099	0,185	1,815																		
9	0,337	0,184	1,816	2,97	1,032	0,239	1,761																		
10	0,308	0,223	1,777	3,078	0,975	0,284	1,716																		

Διάγραμμα Ελέγχου Μέσου Αριθμού Ελαττωμάτων u							
Average ( $\bar{u}$ )		0,07969724					
Δείγμα	Αριθμός Ελαττωμάτων	Μέγεθος Δείγματος	Μέσος Αριθμός Ελαττωμάτων	Τυπική Απόκλιση	Κάτω Όριο Ελέγχου	Κεντρική Γραμμή	Άνω Όριο Ελέγχου
1	8	92	0,09	0,03	0,00	0,08	0,17
2	15	69	0,22	0,03	0,00	0,08	0,18
3	6	86	0,07	0,03	0,00	0,08	0,17
4	13	85	0,15	0,03	0,00	0,08	0,17
5	5	123	0,04	0,03	0,00	0,08	0,16
6	5	87	0,06	0,03	0,00	0,08	0,17
7	3	74	0,04	0,03	0,00	0,08	0,18
8	8	83	0,10	0,03	0,00	0,08	0,17
9	4	103	0,04	0,03	0,00	0,08	0,16
10	6	60	0,10	0,04	0,00	0,08	0,19
11	7	136	0,05	0,02	0,01	0,08	0,15
12	4	80	0,05	0,03	0,00	0,08	0,17
13	2	70	0,03	0,03	0,00	0,08	0,18
14	11	73	0,15	0,03	0,00	0,08	0,18
15	13	89	0,15	0,03	0,00	0,08	0,17
16	6	129	0,05	0,02	0,01	0,08	0,15
17	6	78	0,08	0,03	0,00	0,08	0,18
18	3	88	0,03	0,03	0,00	0,08	0,17
19	8	76	0,11	0,03	0,00	0,08	0,18
20	9	101	0,09	0,03	0,00	0,08	0,16
21	8	92	0,09	0,03	0,00	0,08	0,17
22	2	70	0,03	0,03	0,00	0,08	0,18
23	9	54	0,17	0,04	0,00	0,08	0,19
24	5	83	0,06	0,03	0,00	0,08	0,17
25	13	165	0,08	0,02	0,01	0,08	0,15

<b>Διάγραμμα Ελέγχου Συνολικού Αριθμού Ελαττωμάτων c</b>				
Average (c-bar)	1,8			
Τυπική Απόκλιση	1,34			
<b>Δείγμα</b>	<b>Αριθμός Ελαττωματικών</b>	<b>Κάτω Όριο Ελέγχου c chart</b>	<b>Κεντρική Γραμμή</b>	<b>Ανω Όριο Ελέγχου c chart</b>
1	2	0	1,8	5,82
2	3	0	1,8	5,82
3	0	0	1,8	5,82
4	1	0	1,8	5,82
5	3	0	1,8	5,82
6	5	0	1,8	5,82
7	3	0	1,8	5,82
8	1	0	1,8	5,82
9	2	0	1,8	5,82
10	2	0	1,8	5,82
11	0	0	1,8	5,82
12	1	0	1,8	5,82
13	0	0	1,8	5,82
14	2	0	1,8	5,82
15	4	0	1,8	5,82
16	1	0	1,8	5,82
17	2	0	1,8	5,82
18	0	0	1,8	5,82
19	3	0	1,8	5,82
20	2	0	1,8	5,82
21	1	0	1,8	5,82
22	4	0	1,8	5,82
23	0	0	1,8	5,82
24	0	0	1,8	5,82
25	3	0	1,8	5,82

Διάγραμμα Ελέγχου Ποσοστού Ελαττωματικών p							
Average (p-bar)			0,022				
Δείγμα	Αριθμός Ελαττωματικών	Μέγεθος Δείγματος	Ποσοστό Ελαττωματικών	Τυπική Απόκλιση	Κάτω Όριο Ελέγχου p chart	Κεντρική Γραμμή	Άνω Όριο Ελέγχου p chart
1	3	100	0,03	0,01	0	0,02	0,07
2	1	100	0,01	0,01	0	0,02	0,07
3	0	100	0,00	0,01	0	0,02	0,07
4	0	100	0,00	0,01	0	0,02	0,07
5	2	100	0,02	0,01	0	0,02	0,07
6	5	100	0,05	0,01	0	0,02	0,07
7	3	100	0,03	0,01	0	0,02	0,07
8	6	100	0,06	0,01	0	0,02	0,07
9	1	100	0,01	0,01	0	0,02	0,07
10	4	100	0,04	0,01	0	0,02	0,07
11	0	100	0,00	0,01	0	0,02	0,07
12	2	100	0,02	0,01	0	0,02	0,07
13	1	100	0,01	0,01	0	0,02	0,07
14	3	100	0,03	0,01	0	0,02	0,07
15	4	100	0,04	0,01	0	0,02	0,07
16	1	100	0,01	0,01	0	0,02	0,07
17	1	100	0,01	0,01	0	0,02	0,07
18	2	100	0,02	0,01	0	0,02	0,07
19	5	100	0,05	0,01	0	0,02	0,07
20	2	100	0,02	0,01	0	0,02	0,07
21	3	100	0,03	0,01	0	0,02	0,07
22	4	100	0,04	0,01	0	0,02	0,07
23	1	100	0,01	0,01	0	0,02	0,07
24	0	100	0,00	0,01	0	0,02	0,07
25	1	100	0,01	0,01	0	0,02	0,07