



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

---

**Μια προσέγγιση στα πιο συνήθη εργαλεία  
Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας**

---

Όνομα: Ευάγγελος  
Επίθετο: Πατσιαρίκας  
Α.Μ. 1201

Επιβλέπων Καθηγητής : Γεώργιος Νενές

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:  
Γεώργιος Νενές, Επίκουρος Καθηγητής  
Σοφία Παναγιωτίδου, Επίκουρη Καθηγήτρια  
Ιωάννης Μπακούρος, Καθηγητής

**Κοζάνη Φεβρουάριος 2018**





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΚΟΖΑΝΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Όνομα: Ευάγγελος**  
**Επίθετο: Πατσιαρίκας**  
**A.M. 1201**

Μια προσέγγιση στα πιο συνήθη εργαλεία  
Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας

Διπλωματική Εργασία

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 12 Μαρτίου 2018

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Νενές, Επίκουρος Καθηγητής, Επιβλέπων

Σοφία Παναγιωτίδου, Επίκουρη Καθηγήτρια, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Ιωάννης Μπακούρος, Καθηγητής, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



## Περίληψη

Η ποιότητα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία των επιχειρήσεων, καθώς η οικονομική ανάπτυξη, η εδραίωση και η ανταγωνιστικότητα μιας επιχείρησης επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και των παρεχόμενων υπηρεσιών της. Η χρήση και αξιοποίηση των κατάλληλων επιστημονικών ποσοτικών μεθόδων, με τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη υψηλή ποιότητα με τον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο, αποτελούν στοιχεία ζωτικής σημασίας για μια επιχείρηση. Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη λογισμικού για την επίλυση και τη βελτιστοποίηση ζητημάτων του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας. Συγκεκριμένα, έγινε ανάπτυξη προγράμματος σε Java το οποίο είναι εφοδιασμένο με τις κυριότερες επιστημονικές μεθόδους και τεχνικές Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας. Το πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι φιλικό προς τον χρήστη, προϋποθέτει ωστόσο ο χρήστης να έχει καλή γνώση σε θεωρητικό υπόβαθρο προκειμένου να είναι σε θέση να κατανοήσει τα εκάστοτε αποτελέσματα. Για τον παραπάνω λόγο στην εργασία αναλύονται πέρα από τις λειτουργίες του λογισμικού και όλα τα εργαλεία που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για την επεξεργασία των εισαγόμενων δεδομένων.

## **Abstract**

Quality plays a decisive role in the success of companies since the economic growth, the establishment and the competitiveness of a company are strongly affected by the quality of its produced goods or related services. Using and taking advantage of the appropriate scientific quantitative methods, which can help in the achievement of the highest demanded quality with the most efficient possible way, constitute vital elements for a group or company. The current thesis focuses on the development of a software capable of providing solutions on Statistical Process Control matters. Specifically, a software written in the Java programming language was created, which is equipped with the most common tools of Statistical Process Control. The software is user-friendly, it is assumed though that the user has a good knowledge of the Statistical Process Control methods in order to understand the outputs in every case. For that reason, this thesis analyses all the tools included in the software as well as its functions.

# Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Πριν την παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτο από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή Γεώργιο Νενέ για την πολύτιμη καθοδήγηση του, την εμπιστοσύνη καθώς και την εκτίμηση που μου έδειξε.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές Ιωάννη Μπακούρο και Σοφία Παναγιωτίδου που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στο φίλο μου Γεώργιο Παρτάλη απόφοιτο της σχολής Πληροφορικής του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την καθοριστική του βοήθεια.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Νικόλαο και Σταυρούλα, καθώς και την αδερφή μου Ουρανία, που μου έχουν προσφέρει την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1. Κίνητρο και υπόβαθρο .....	1
1.2. Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας .....	1
1.3. Οργάνωση διπλωματικής εργασίας .....	2
<b>2. Εισαγωγή στον στατιστικό έλεγχο ποιότητας</b> .....	<b>3</b>
2.1. Ιστορική αναδρομή .....	3
2.2. Έλεγχος ποιότητας αποδοχής .....	5
2.2.1. Έλεγχος ποιότητας αποδοχής με διαλογή .....	5
2.2.2. Απλό δειγματοληπτικό σχήμα .....	6
2.2.3. Διπλό δειγματοληπτικό σχήμα .....	8
2.2.4. Μέθοδοι σχεδίασης δειγματοληπτικών σχημάτων .....	10
2.2.5. Στατιστικά κριτήρια σχημάτων αποδοχής με διαλογή .....	10
2.2.6. Πρότυπα ΕΛΟΤ 398.0 – 398.1 .....	11
2.2.7. Οικονομικά κριτήρια .....	12
2.2.8. Έλεγχος ποιότητας αποδοχής με μέτρηση .....	14
2.2.9. Έλεγχος με εκτίμηση ποσοστού ελαττωματικών .....	15
2.2.10. Έλεγχος μέσης τιμής .....	16
2.2.11. Στατιστικά κριτήρια σχημάτων αποδοχής με μέτρηση .....	16
2.2.12. Διεθνή πρότυπα .....	16
2.3. Έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας .....	17
2.3.1. Ανάλυση δυνατοτήτων .....	17
2.3.2. Εκτίμηση διασποράς .....	18
2.3.3. Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής .....	19
2.3.4. Έλεγχος ποσοστού ελαττωματικών .....	19
2.3.5. Έλεγχος αριθμού ελαττωματικών .....	20
2.3.6. Έλεγχος αριθμού ελαττωμάτων .....	20
2.3.7. Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης .....	22
2.3.8. Έλεγχος εύρους .....	22
2.3.8. Έλεγχος τυπικής απόκλισης .....	23
2.3.10. Έλεγχος μέσης τιμής .....	24



<b>3. Πρόγραμμα</b> .....	<b>25</b>
3.1. Java .....	25
3.2. Εισαγωγή στο λογισμικό .....	26
3.3. Επίλυση προβλημάτων ελέγχου ποιότητας αποδοχής .....	28
3.4. Επίλυση προβλημάτων ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας .....	42
3.5. Μοντελοποίηση .....	47
<b>4. Σύνοψη διπλωματικής εργασίας</b> .....	<b>49</b>
4.1. Σύνοψη και συμπεράσματα .....	49
4.2. Μελλοντικές επεκτάσεις .....	50
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>51</b>

# 1

## Εισαγωγή

### 1.1. Κίνητρο και υπόβαθρο

Με την ποιότητα να αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιτυχία μιας επιχείρησης, είναι σαφές πως η ύπαρξη και εφαρμογή ενός αποτελεσματικού συστήματος διασφάλισής της σε μια παραγωγική διαδικασία καθίσταται εξίσου σημαντική.

Κατά την παραγωγή πανομοιότυπων προϊόντων παρατηρούνται αποκλίσεις από την ονομαστική τιμή των χαρακτηριστικών ποιότητας, γεγονός που δηλώνει την ύπαρξη μεταβλητότητας στις τιμές αυτές. Συνεπώς, ο έλεγχος ποιότητας αποτελεί στατιστικό πρόβλημα και αντιμετωπίζεται με τη χρήση στατιστικών μεθόδων. Εφαρμόζοντας τις κυριότερες επιστημονικές μεθόδους του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας παίρνουμε πολύτιμες πληροφορίες τόσο στατιστικής όσο και οικονομικής φύσεως σχετικά με την παραγωγική διαδικασία. Έτσι μπορεί να οργανωθεί η παραγωγή και να επιτευχθεί το βέλτιστο επιθυμητό επίπεδο ποιότητας με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Ωστόσο, για τον υπολογισμό και ιδιαίτερα για τη βελτιστοποίηση των εξισώσεων των στατιστικών μεθόδων απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός από μαθηματικές πράξεις, πρόβλημα που καλείται να λύσει η συγκεκριμένη εργασία με την ανάπτυξη σχετικού λογισμικού.

### 1.2. Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής ήταν η ανάπτυξη λογισμικού το οποίο θα δίνει απαντήσεις σε προβλήματα που αφορούν τον Στατιστικό Έλεγχο Ποιότητας. Για τη δημιουργία του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε το NetBeans, πλατφόρμα ανάπτυξης λογισμικού γραμμένο σε Java. Πιο συγκεκριμένα τα προβλήματα στα οποία θα δίνει λύσεις το πρόγραμμα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, με την πρώτη να είναι ο Έλεγχος Ποιότητας Αποδοχής και τη δεύτερη να είναι ο Έλεγχος παραγωγικής Διαδικασίας.

Για την πρώτη κατηγορία προβλημάτων έχουμε δύο περιπτώσεις, τον Έλεγχο Ποιότητας Αποδοχής με Διαλογή και τον Έλεγχο Ποιότητας Αποδοχής με Μέτρηση. Στην πρώτη περίπτωση το λογισμικό είναι προγραμματισμένο να δίνει απαντήσεις τόσο σε στατιστικά όσο και σε οικονομικά και σε οικονομικοστατιστικά προβλήματα. Για τα στατιστικά ζητήματα έγινε χρήση των πινάκων από τα πρότυπα ISO 2859 και ΕΛΟΤ 398.0-398.1, καθώς και οι πίνακες Dodge-Roming. Στην περίπτωση των οικονομικών ζητημάτων πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη, λύση και βελτιστοποίηση της εξίσωσης κόστους. Ενώ για προβλήματα οικονομικοστατιστικής φύσης πραγματοποιείται ταυτόχρονα βελτιστοποίηση της εξίσωσης κόστους και του απαιτούμενου στατιστικού κριτηρίου.

Τέλος, τα παραπάνω προβλήματα αντιμετωπίστηκαν για Απλό και Διπλό Δειγματοληπτικό Σχήμα. Στη δεύτερη περίπτωση, του Ελέγχου Ποιότητας Αποδοχής με Μέτρηση, το πρόγραμμα δίνει λύσεις σε στατιστικά προβλήματα κάνοντας χρήση των πινάκων από τα πρότυπα ISO 3951 και ANSI/ASQZ Z1.9-2008.

Αντίστοιχα για τη δεύτερη κατηγορία προβλημάτων έχουμε δύο περιπτώσεις, τα Διαγράμματα Ελέγχου Χαρακτηριστικών Διαλογής και τα Διαγράμματα Ελέγχου Χαρακτηριστικών Μέτρησης. Για την πρώτη περίπτωση γίνεται μελέτη σε Διαγράμματα Ποσοστού Ελαττωματικών, σε Διαγράμματα Αριθμού Ελαττωματικών και σε Διαγράμματα Αριθμού Ελαττωμάτων. Ενώ για τη δεύτερη περίπτωση πραγματοποιείται έλεγχος διασποράς με τα διαγράμματα Ελέγχου Εύρους και Ελέγχου Τυπικής Απόκλισης, καθώς επίσης και έλεγχος μέσης τιμής.

### **1.3. Οργάνωση διπλωματικής εργασίας**

Το υπόλοιπο της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια. Συγκεκριμένα, το κεφάλαιο 2 αναλύει τα σχήματα ελέγχου ποιότητας αποδοχής και τον στατιστικό έλεγχο ποιότητας των παραγωγικών διαδικασιών. Αποτελεί το θεωρητικό μέρος της εργασίας και αναλύει λεπτομερώς τα εργαλεία του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται η παρουσίαση του προγράμματος και περιγράφεται η λειτουργία του. Γίνεται αναφορά στις απαιτήσεις του προγράμματος και εξηγείται η χρήση του σε κάθε στάδιο. Επίσης, συζητά θέματα μοντελοποίησης και αναφέρεται στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια σύνοψη της διπλωματικής εργασίας, αναλύεται η χρησιμότητά της και παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις.

# 2

## Εισαγωγή στον στατιστικό έλεγχο ποιότητας

Σκοπός του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει σε θεωρητικό επίπεδο τα πιο βασικά εργαλεία του Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας, ώστε ο αναγνώστης και εν συνεχεία χρήστης του προγράμματος να κατανοήσει τη λειτουργία τους. Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή της ποιότητας και του έλεγχου ποιότητας. Στη συνέχεια αναλύονται δύο μεγάλες περιοχές του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής και ο έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας.

### 2.1. Ιστορική αναδρομή

Η ποιότητα είναι μια έννοια για την οποία έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί. Με βάση το διεθνές πρότυπο ISO 8402 (1986): “Ποιότητα είναι το σύνολο των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας που συμβάλουν στην ικανότητά του να ικανοποιεί εκφρασμένες ή υπονοούμενες ανάγκες”. Κατά καιρούς οι ειδικοί της ποιότητας, έχουν δώσει τους δικούς τους ορισμούς, για να προσδιορίσουν καλύτερα τη σημασία αυτού του πολυδιάστατου όρου. Δίπλα από κάθε ορισμό αναφέρεται το όνομα του ειδικού και η χρονολογία κατά την οποία δόθηκε.

1. Ποιότητα σημαίνει να ταιριάζει το προϊόν ή η υπηρεσία στο σκοπό ή τη χρήση για την οποία προορίζεται – Juran (1951).
2. Ποιότητα σημαίνει συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις – Crosby (1979).
3. Ποιότητα είναι οτιδήποτε εσύ ορίζεις να είναι π.χ. γεύση, χρώμα, μια προθεσμία, μια μέτρηση, μια λεπτομερής τεχνική προδιαγραφή, μια ημερομηνία παράδοσης – Rogerson, (1987).
4. Ποιότητα είναι οι αναμενόμενες επιθυμίες του πελάτη – David Garvin (1988).
5. Ποιότητα είναι κάτι καλύτερο από αυτό των ανταγωνιστών σου – John Oakland (1989).
6. Η ποιότητα είναι στην ουσία ένας τρόπος να διευθύνεις την εταιρία – Armand V. Feigenbaum (1991).
7. Ποιότητα είναι η φιλοσοφία εργασίας μέσα από την οποία μπορούμε να πραγματοποιήσουμε το όραμά μας και να εκπληρώσουμε την αποστολή μας, με τρόπο πλήρως συμβατό με τις αξίες μας και υποστηριζόμενο από αυτές – Geoffrey Alderman - (1996).
8. Η ποιότητα δεν είναι πια η απλή διαφοροποίηση της ανταγωνιστικότητας, είναι καθαρά ένα χαρακτηριστικό εισόδου στην αγορά – Richard Sullivan (1996).
9. Η ποιότητα αφορά το στένεμα του χάσματος (κενού) μεταξύ αυτού που επιδιώκουμε και αυτού που πραγματικά κάνουμε – Vincent Kane (1996).

Παρά τη διαφορετικότητα που παρουσιάζουν οι ορισμοί, είναι από κοινού αποδεκτό ότι η ποιότητα αποτελείται από δύο γενικές πλευρές: την ποιότητα σχεδιασμού και την ποιότητα κατασκευής. Η

ποιότητα σχεδιασμού αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του προϊόντος ενώ η ποιότητα κατασκευής είναι ο βαθμός συμμόρφωσης στις προδιαγραφές που προβλέπονται από τον σχεδιασμό του προϊόντος.

Η θεωρία και η εφαρμογή της ποιότητας και πιο συγκεκριμένα του ελέγχου ποιότητας έχει περάσει από διάφορα στάδια με το πέρασμα των χρόνων. Σύμφωνα με τους ειδικούς (π.χ. Garvin, 1988) η εξέλιξη της ποιότητας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε 4 στάδια.

Αρχικά στο χρονικό διάστημα από τέλη του 18ου αιώνα μέχρι και τις αρχές του 19ου αιώνα, όταν εμφανίζεται η τυποποίηση, μέχρι και το 1920 η διασφάλιση της ποιότητας στηρίζεται μόνο στην επιθεώρηση και μέτρηση των παραγόμενων προϊόντων και στον εντοπισμό και την επισκευή των ελαττωματικών. Τη συγκεκριμένη περίοδο δε γίνεται έρευνα για τον εντοπισμό των αιτίων και την επιδιόρθωσή τους.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1920 πρωτοεμφανίζεται ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας στα Bell Telephone Laboratories στην Αμερική και αναπτύσσεται σε δύο μεγάλους κλάδους, τον έλεγχο ποιότητας αποδοχής και τον έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας. Ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής άρχισε από το συμπέρασμα ότι ο 100% έλεγχος δεν είναι ο βέλτιστος τρόπος από οικονομική σκοπιά, για τον διαχωρισμό καλών και ελαττωματικών προϊόντων. Έτσι, δημιουργείται το πρότυπο Dodge-Romig το οποίο αποτελείται από δειγματοληπτικά σχήματα ελέγχου παρτίδων αποδοχής και έχει πάρει το όνομα του από τους δημιουργούς του, Harold Dodge και Harry Romig. Σύμφωνα με το παραπάνω πρότυπο η απόφαση για αποδοχή ή απόρριψη μιας παρτίδας εξαρτάται από την ποιότητα περιορισμένου αριθμού μονάδων, που ανήκουν σε τυχαίο δείγμα της συγκεκριμένης παρτίδας. Η αρχική ανάπτυξη του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας έγινε από τον Walter Stewhart, ο οποίος διαπίστωσε ότι η διασπορά τιμών ενός χαρακτηριστικού ποιότητας είναι αναπόφευκτη κατά την παραγωγή. Η διασπορά αυτή μπορεί να οφείλεται τόσο σε τυχαίες και μη ελεγχόμενες αιτίες όσο όμως και σε συστηματικές μεταβολές οι οποίες μπορούν να βρεθούν και να διορθωθούν. Με αυτόν τον τρόπο εισάγεται για πρώτη φορά η έννοια της πρόληψης στον έλεγχο ποιότητας. Έτσι, ο Stewhart αναπτύσσει στατιστικές τεχνικές και στατιστικά διαγράμματα ελέγχου τα οποία εφαρμόζονται και σήμερα.

Το επόμενο στάδιο που χρονολογείται από το 1950 έως το 1980, είναι η διασφάλιση της ποιότητας και χαρακτηρίζεται από την εισαγωγή εννοιών όπως το “Κόστος ποιότητας” από τον Joseph Juran με την πρώτη έκδοση του συγγράμματος Quality Control Handbook, ο “Ολικός έλεγχος ποιότητας” από τον Armand Feigenbaum με την έκδοση του ομώνυμου βιβλίου (Feigenbaum, 1991), η “Ανάλυση αξιοπιστίας” και τα “Μηδενικά ελαττώματα”. Με αυτόν τον τρόπο η έννοια της ποιότητας επεκτείνεται από την παραγωγή σε όλους τους τομείς της επιχείρησης.

Τέλος, στα μέσα της δεκαετίας του 1980 έχουμε την εμφάνιση της στρατηγικής διοίκησης της ποιότητας η οποία αποτελεί την πιο σύγχρονη τάση, αφού εκείνη την περίοδο γίνεται αντιληπτό ότι η ποιότητα δεν είναι απλά ένα πρόβλημα που απαιτεί μια λύση αλλά αποτελεί έναν τομέα τον οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί στρατηγικά η επιχείρηση για την ανάπτυξή της.

## **2.2. Έλεγχος ποιότητας αποδοχής**

Όπως ήδη αναφέρθηκε και πιο πάνω ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής αποτελεί μια μεγάλη κατηγορία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας και οι αρχές του χρονολογούνται στο 1920 στα Bell Telephone Laboratories όπου και αναπτύχθηκαν τα πρώτα δειγματοληπτικά σχήματα από τους Dodge και Romig.

Στόχος των παραπάνω σχημάτων είναι να διαχωρίσουν τις παρτίδες σε αποδεκτές και απορριπτές με βάση τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών. Οι ελεγχόμενες παρτίδες μπορούν να αποτελούνται από εξαρτήματα, πρώτες ύλες, ενδιάμεσα ή και τελικά προϊόντα, ωστόσο πρέπει να είναι του ίδιου τύπου και να έχουν κατασκευαστεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Ο αριθμός μονάδων μιας παρτίδας ονομάζεται μέγεθος παρτίδας ενώ ο αριθμός μονάδων που περιλαμβάνει ένα δείγμα λέγεται μέγεθος δείγματος. Η δειγματοληψία πρέπει να είναι τυχαία και αντιπροσωπευτική για να μπορούμε να πάρουμε έγκυρα αποτελέσματα από τον έλεγχο.

Τα δειγματοληπτικά σχήματα δε βοηθούν στην άμεση βελτίωση της ποιότητας αφού το μόνο που κάνουν είναι να διαχωρίζουν τις ελεγχόμενες παρτίδες σε παρτίδες καλής και κακής ποιότητας. Ωστόσο, έμμεσα η ποιότητα μπορεί να βελτιωθεί από την απόφαση του παραγωγού να εκλάβει την απόρριψη σαν ένδειξη για υψηλότερες ποιοτικές απαιτήσεις των πελατών.

Γενικά στον έλεγχο ποιότητας αποδοχής υπάρχουν τρεις περιπτώσεις:

- 1) Αποδοχή χωρίς έλεγχο, η οποία είναι εφικτή όταν η ποιότητα είναι άριστη ή όταν ο έλεγχος δε συμφέρει από οικονομική άποψη.
- 2) 100% έλεγχος, όπου σημαίνει την επιθεώρηση όλων των μονάδων της παρτίδας και συμβαίνει όταν η ποιότητα δεν είναι ικανοποιητική ή όταν το κόστος των αστοχιών είναι αρκετά υψηλό.
- 3) Δειγματοληπτικός έλεγχος, όπου εφαρμόζεται σε όλες τις ενδιάμεσες περιπτώσεις.

Τέλος, τα σχήματα ελέγχου ποιότητας αποδοχής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση τον τύπο του ελεγχόμενου χαρακτηριστικού ποιότητας:

- 1) Έλεγχος ποιότητας αποδοχής με διαλογή, κατά τον οποίο κάθε μονάδα της ελεγχόμενης παρτίδας διαχωρίζεται σε καλή ή ελαττωματική.
- 2) Έλεγχος ποιότητας αποδοχής με μέτρηση, σύμφωνα με τον οποίο ορισμένο χαρακτηριστικό ποιότητας κάθε μονάδας μετριέται σε συνεχή βάση με συγκεκριμένη κλίμακα.

### **2.2.1. Έλεγχος ποιότητας αποδοχής με διαλογή**

Τα χαρακτηριστικά ποιότητας τα οποία χαρακτηρίζονται με βάση την πληρότητα ή μη συγκεκριμένων ιδιοτήτων ονομάζονται χαρακτηριστικά διαλογής. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό έχει μόνο δύο δυνατές τιμές, ικανοποιητική και μη ικανοποιητική. Έτσι μια μονάδα προϊόντος ανάλογα με το αποτέλεσμα του ελέγχου του χαρακτηριστικού του κατατάσσεται σε καλή (αποδεκτής ποιότητας) ή κακή (απορριπτέας ποιότητας). Τα χαρακτηριστικά διαλογής μπορεί να είναι είτε

ποιοτικά, οπότε η ποιότητα του προϊόντος θεωρείται καλή ή κακή με βάση κάποια κριτήρια, είτε ποσοτικά, όπου η ποιότητα του προϊόντος προκύπτει από τη σύγκριση κάποιου μετρήσιμου μεγέθους με τις δεδομένες ποσοτικές προδιαγραφές.

Ένα ή περισσότερα δείγματα λαμβάνονται τυχαία από την παρτίδα, οι μονάδες τους ελέγχονται και υπολογίζεται ο αριθμός ελαττωματικών ο οποίος συγκρίνεται με τους αριθμούς αποδοχής και απόρριψης του δειγματοληπτικού σχήματος ελέγχου. Η τελική απόφαση για την αποδοχή ή την απόρριψη της κάθε παρτίδας εξαρτάται από το αποτέλεσμα των παραπάνω συγκρίσεων. Ο έλεγχος ποιότητας αποδοχής είναι ουσιαστικά στατιστικός έλεγχος της υπόθεσης ότι οι παρτίδες αποτελούνται από μονάδες με χαμηλό ποσοστό ελαττωματικών.

## 2.2.2. Απλό δειγματοληπτικό σχήμα

Το απλό δειγματοληπτικό σχήμα χαρακτηρίζεται από δύο παραμέτρους:

- 1) Το μέγεθος δείγματος που συμβολίζεται με  $(n)$  και
- 2) Τον αριθμό αποδοχής που συμβολίζεται με  $(c)$  ή  $(Ac)$

Είναι συχνή η χρήση μορφής διατεταγμένου ζεύγους  $(n, c)$  για την περιγραφή του. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται και στη συνέχεια αναλύεται η λειτουργία του.



Σχήμα 2.1: Λειτουργία απλού δειγματοληπτικού σχήματος ελέγχου αποδοχής

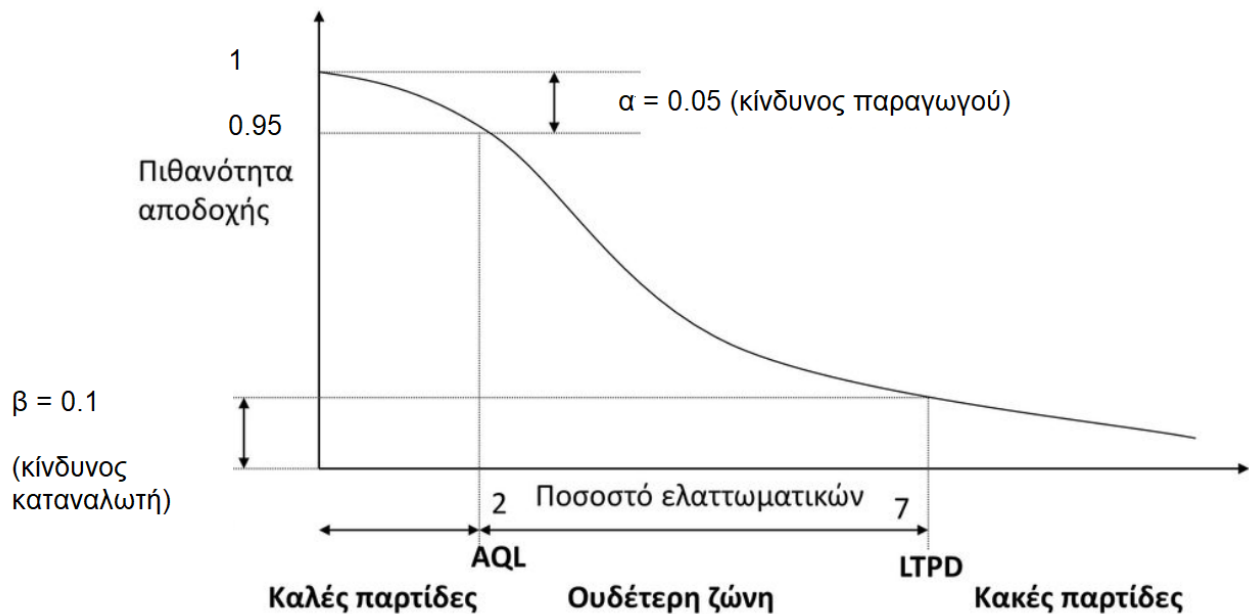
Αρχικά λαμβάνεται τυχαίο δείγμα μεγέθους  $n$  από την παρτίδα μεγέθους  $N$  στην οποία επιθυμούμε να πραγματοποιηθεί έλεγχος. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο έλεγχος και η καταγραφή του αριθμού των ελαττωματικών που εντοπίζονται στο δείγμα, ο οποίος συμβολίζεται με  $d$ . Τέλος, πραγματοποιείται η σύγκριση του αριθμού ελαττωματικών με τον αριθμό αποδοχής και αν ο πρώτος είναι μεγαλύτερος η παρτίδα απορρίπτεται, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα γίνεται αποδεκτή. Η απόφαση για την αποδοχή ή απόρριψη της παρτίδας γίνεται από τις πληροφορίες που μας παρέχει μόνο ένα δείγμα για κάθε παρτίδα.

Σημαντικό στοιχείο της λειτουργίας του απλού δειγματοληπτικού σχήματος είναι η πιθανότητα αποδοχής  $P_a$ . Αν το μέγεθος της παρτίδας  $N$  είναι πάρα πολύ μεγάλο και το ποσοστό

ελαττωματικών της παρτίδας ισούται με  $p$ , ή αν οι μονάδες της παρτίδας κατασκευάζονται από μια παραγωγική διαδικασία τέτοια ώστε η πιθανότητα μια τυχαία μονάδα να είναι ελαττωματική είναι  $p$ , τότε η πιθανότητα αποδοχής υπολογίζεται από τη διωνυμική κατανομή.

$$P_a(p) = P(d \leq c) = \sum_{d=0}^c \frac{n!}{d!(n-d)!} p^d (1-p)^{(n-d)} \quad (2.1)$$

Η χαρακτηριστική καμπύλη (OC – Operating Characteristic Curve) του σχήματος ελέγχου μας δείχνει την πιθανότητα αποδοχής συναρτήσει του  $p$ . Προκύπτει χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση για διάφορες τιμές του  $p$  και είναι ενδεικτική της διαχωριστικής ικανότητας του σχήματος ελέγχου.



Σχήμα 2.2: Χαρακτηριστική καμπύλη ελέγχου ποιότητας αποδοχής

Δύο σημεία της χαρακτηριστικής καμπύλης είναι αξιοσημείωτα. Το πρώτο είναι το μέγιστο ποσοστό ελαττωματικών μονάδων  $p_1$  που θεωρείται ικανοποιητικό και ονομάζεται αποδεκτή στάθμη ποιότητας, ΑΣΠ (AQL - Acceptable Quality Level). Το δεύτερο είναι το ελάχιστο ποσοστό ελαττωματικών μονάδων  $p_2$  που θεωρείται μη ικανοποιητικό και ονομάζεται απορριπτέα στάθμη ποιότητας (LTPD – Lot Tolerance Percent Defective, RQL – Rejectable Quality Level). Η πιθανότητα να απορρίψουμε μια παρτίδα με αποδεκτή στάθμη ποιότητας είναι ο κίνδυνος παραγωγού ή αλλιώς σφάλμα πρώτου ( $\alpha$ ) είδους, ενώ η πιθανότητα να αποδεχτούμε μια παρτίδα με απορριπτέα στάθμη ποιότητας αποτελεί τον κίνδυνο πελάτη ή αλλιώς σφάλμα δευτέρου ( $\beta$ ) είδους. Τα δύο παραπάνω σφάλματα δίνονται από τις εξής σχέσεις:

$$\alpha = 1 - P_a(p_1) \quad (2.2)$$

$$\beta = P_a(p_2) \quad (2.3)$$



Η μηδενική υπόθεση είναι ότι η παρτίδα έχει αποδεκτή στάθμη ποιότητας ( $p = \text{ΑΣΠ}$ ). Έτσι, οι πιο συνηθισμένες τιμές για τα  $\alpha$  και  $\beta$  είναι  $\alpha=0.05$  και  $\beta=0.1$  αντίστοιχα.

Στα σχήματα ελέγχου αποδοχής εφαρμόζεται συχνά επανορθωτικός έλεγχος. Σύμφωνα με τον επανορθωτικό έλεγχο στην περίπτωση που μια παρτίδα απορρίπτεται, υποβάλλεται σε 100% έλεγχο κατά τον οποίο επιδιορθώνονται ή αντικαθίστανται όσες μονάδες είναι ελαττωματικές. Επιπλέον, στις παρτίδες που γίνονται αποδεκτές, όλες οι ελαττωματικές μονάδες επισκευάζονται ή αντικαθίστανται από καλές. Η μέση τιμή του ποσοστού ελαττωματικών των εξερχόμενων παρτίδων ονομάζεται μέση εξερχόμενη ποιότητα (AOQ – Average Outgoing Quality) και υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$AOQ = p \frac{N-n}{N} P_a(p) \quad (2.4)$$

Από τον τύπο είναι κατανοητό ότι η τιμή της μέσης εξερχόμενης ποιότητας επηρεάζεται από το ποσοστό ελαττωματικών των μονάδων από τις παρτίδες που γίνονται αποδεκτές και δεν έχουν υποβληθεί σε έλεγχο καθώς σε όλες τις άλλες περιπτώσεις οι ελαττωματικές μονάδες έχουν επισκευαστεί ή έχουν αντικατασταθεί από καλές.

Ένα χρήσιμο στατιστικό εργαλείο στην περίπτωση του 100% επανορθωτικού ελέγχου είναι ο μέσος συνολικός αριθμός επιθεωρούμενων μονάδων, ο οποίος εν συνεχεία χρησιμεύει στον υπολογισμό του μέσου κόστους ελέγχου. Στην περίπτωση που η παρτίδα γίνεται αποδεκτή ελέγχονται μόνο μονάδες του δείγματος μεγέθους  $n$ , ενώ αν η παρτίδα δε γίνει αποδεκτή πραγματοποιείται έλεγχος σε όλες τις μονάδες της παρτίδας μεγέθους  $N$ . Έτσι, ο μέσος αριθμός επιθεωρούμενων μονάδων (ATI -Average Total Inspections) υπολογίζεται από τη σχέση:

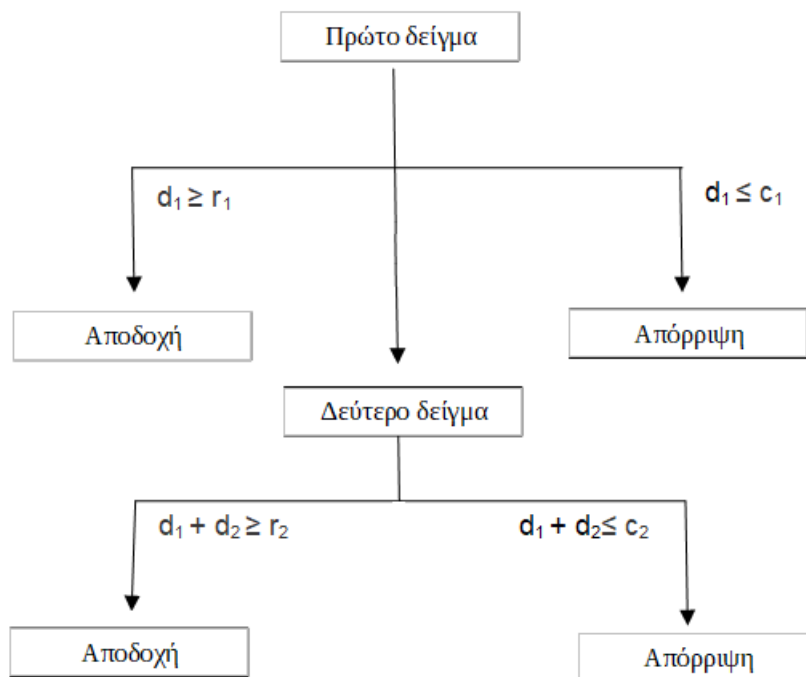
$$ATI = nP_a(p) + N[1 - P_a(p)] = n + (N - n)[1 - P_a(p)] \quad (2.5)$$

### 2.2.3. Διπλό δειγματοληπτικό σχήμα

Το διπλό δειγματοληπτικό σχήμα ελέγχου χαρακτηρίζεται από 6 παραμέτρους:

- 1) Το μέγεθος του πρώτου δείγματος  $n_1$
- 2) Το μέγεθος του δεύτερου δείγματος  $n_2$
- 3) Τον αριθμό αποδοχής του πρώτου δείγματος  $c_1$
- 4) Τον αριθμό αποδοχής του δεύτερου δείγματος  $c_2$
- 5) Τον αριθμό απόρριψης του πρώτου δείγματος  $r_1$
- 6) Τον αριθμό απόρριψης του δεύτερου δείγματος  $r_2$

Πρέπει να ισχύει ότι  $r_2 = c_2 + 1$ , καθώς στην περίπτωση που εξεταστεί και δεύτερο δείγμα θα πρέπει να παρθεί υποχρεωτικά μια απόφαση. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται και στη συνέχεια αναλύεται η λειτουργία του διπλού δειγματοληπτικού σχήματος.



Σχήμα 2.3:Λειτουργία διπλού δειγματοληπτικού σχήματος ελέγχου αποδοχής

Αρχικά λαμβάνεται το πρώτο δείγμα μεγέθους  $n_1$  από την παρτίδα μεγέθους  $N$  και καταγράφεται ο αριθμός των ελαττωματικών μονάδων  $d_1$  που εντοπίζονται κατά τον έλεγχο. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η σύγκριση του αριθμού ελαττωματικών με τους αριθμούς αποδοχής και απόρριψης του πρώτου δείγματος. Τα πιθανά αποτελέσματα από αυτήν τη σύγκριση είναι τρία:

1)  $d_1 \leq c_1$ , η παρτίδα γίνεται αποδεκτή

2)  $d_1 \geq r_1$ , η παρτίδα απορρίπτεται

3)  $c_1 < d_1 < r_1$ , έτσι οδηγούμαστε στη λήψη του δεύτερου δείγματος μεγέθους  $n_2$  στο οποίο πρέπει να παρθεί η οριστική απόφαση για την αποδοχή ή την απόρριψη της παρτίδας. Επομένως ελέγχουμε το δεύτερο δείγμα, καταγράφουμε τον αριθμό ελαττωματικών μονάδων  $d_2$  και στη συνέχεια κάνουμε τη σύγκριση του συνολικού αριθμού ελαττωματικών  $d_1 + d_2$  με τον αριθμό αποδοχής του δεύτερου δείγματος. Όπως είναι αναμενόμενο τα πιθανά αποτελέσματα από αυτήν τη σύγκριση είναι δύο:

1)  $d_1 + d_2 \leq c_2$ , η παρτίδα γίνεται αποδεκτή

2)  $d_1 + d_2 > c_2$  ή  $d_1 + d_2 \geq r_2$ , η παρτίδα απορρίπτεται

Όπως και στο απλό δειγματοληπτικό σχήμα έτσι και στο διπλό ένα σημαντικό στοιχείο της λειτουργίας του είναι η πιθανότητα αποδοχής  $P_a$ . Επειδή στο διπλό δειγματοληπτικό σχήμα έχουμε δύο ευκαιρίες να αποδεχτούμε την παρτίδα, μια για κάθε δείγμα, η συνολική πιθανότητα αποδοχής  $P_a$  ισούται με το άθροισμα της πιθανότητας αποδοχής στο πρώτο δείγμα  $P_{a1}$  και της πιθανότητας αποδοχής στο δεύτερο δείγμα  $P_{a2}$ .

$$P_a(p) = P_{a1}(p) + P_{a2}(p) \quad (2.6)$$

Η πιθανότητα αποδοχής του πρώτου δείγματος υπολογίζεται όπως αυτή του απλού δειγματοληπτικού σχήματος:

$$P_{a1}(p) = P[d_1 \leq c_1] = \sum_{d_1=0}^{c_1} \frac{n!}{d_1!(n_1-d_1)!} p^{d_1} (1-p)^{(n_1-d_1)} \quad (2.7)$$

Όμως η πιθανότητα αποδοχής του δεύτερου δείγματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{a2}(p) = \sum_{i=c_1+1}^{r_1-1} P[d_1 = i] P[d_2 \leq c_2 - i] \quad (2.8)$$

Καθώς το δεύτερο δείγμα λαμβάνεται μόνο στην περίπτωση όπου  $c_1 < d_1 < r_1$ .

Στην περίπτωση του 100% επανορθωτικού ελέγχου, η μέση τιμή του ποσοστού ελαττωματικών των εξερχόμενων παρτίδων στο διπλό δειγματοληπτικό σχήμα δίνεται από τη σχέση:

$$AOQ = p \frac{N-n_1}{N} P_{a1}(p) + p \frac{N-n_1-n_2}{N} P_{a2}(p) \quad (2.9)$$

#### 2.2.4. Μέθοδοι σχεδίασης δειγματοληπτικών σχημάτων

Όπως ήδη σημειώθηκε και παραπάνω οι παράμετροι σχεδίασης των δειγματοληπτικών σχημάτων ελέγχου αποδοχής με διαλογή είναι το μέγεθος δείγματος και ο αριθμός αποδοχής για το απλό δειγματοληπτικό σχήμα, ενώ στην περίπτωση του διπλού σχήματος τα μεγέθη των δειγμάτων και οι αριθμοί αποδοχής και απόρριψης. Η επιλογή αυτών των παραμέτρων γίνεται συνήθως με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούν κάποια κριτήρια στατιστικής φύσης. Αλλιώς η επιλογή τους γίνεται με οικονομικά κριτήρια ώστε να συμπεριληφθούν τα στοιχεία κόστους που έχουν άμεση σχέση με τον έλεγχο αποδοχής. Οι παράμετροι ορίζονται με στόχο την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης συνολικού κόστους στην οποία περιλαμβάνεται το κόστος ελέγχου ανά μονάδα, το κόστος αντικατάστασης ή επιδιόρθωσης ανά μονάδα και το κόστος κακής ποιότητας που οφείλεται στις μονάδες που δεν ελέγχονται σε μια παρτίδα που γίνεται αποδεκτή.

#### 2.2.5 Στατιστικά κριτήρια σχημάτων αποδοχής με διαλογή

Το πιο συχνό κριτήριο που χρησιμοποιείται στην περίπτωση της στατιστικής σχεδίασης σχημάτων ελέγχου αποδοχής είναι αυτό του κινδύνου πελάτη και παραγωγού. Πιο αναλυτικά, η χαρακτηριστική καμπύλη του σχήματος ελέγχου πρέπει να διέρχεται από δύο συγκεκριμένα σημεία. Το πρώτο σημείο είναι το  $(p_1, 1-\alpha)$  και αντιστοιχεί στη στάθμη ποιότητας  $p_1$  με κίνδυνο παραγωγού  $\alpha$ , ενώ το δεύτερο είναι το  $(p_2, \beta)$  και αντιστοιχεί στη στάθμη ποιότητας  $p_2$  με κίνδυνο

πελάτη  $\beta$ . Έτσι, στην περίπτωση του απλού δειγματοληπτικού σχήματος επιλέγονται οι παράμετροι εκείνοι που ικανοποιούν το σύστημα των εξισώσεων:

$$a = 1 - P_a(p_1)$$

$$\beta = P_a(p_2)$$

Στην περίπτωση του επανορθωτικού ελέγχου σε απλά ή διπλά δειγματοληπτικά σχήματα είναι συχνή η χρήση δύο επιπλέον κριτηρίων:

- 1) Το όριο μέσης εξερχόμενης ποιότητας (AOQL) να μην είναι μεγαλύτερο από κάποια ορισμένη επιτρεπτή τιμή
- 2) Ο μέσος αριθμός επιθεωρούμενων μονάδων (ATI) να είναι ο ελάχιστος δυνατός για την πιο πιθανή τιμή ποσοστού ελαττωματικών της παρτίδας

Τα σχήματα που για συγκεκριμένο όριο μέσης εξερχόμενης ποιότητας (AOQL) ή για δεδομένη απορριπτέα στάθμη ποιότητας (LTPD) με κίνδυνο πελάτη  $\beta=0.1$ , ικανοποιούν τον μέσο συνολικό αριθμό επιθεωρούμενων μονάδων επιλέγονται από τους πίνακες Dodge-Romig. Η παράμετρος Process Average των πινάκων αντιστοιχεί στην πιο πιθανή τιμή του ποσοστού ελαττωματικών της παρτίδας που ελέγχεται. Οι πίνακες των σχημάτων AOQL προσδιορίζουν επίσης την τιμή της απορριπτέας στάθμης ποιότητας με κίνδυνο πελάτη  $\beta=0.1$  και αντίστοιχα οι πίνακες LTPD προσδιορίζουν επίσης το όριο μέσης εξερχόμενης ποιότητας.

## 2.2.6 Πρότυπα ΕΛΟΤ 398.0 – 398.1

Ένας άλλος τρόπος για την επιλογή των παραμέτρων των σχημάτων ελέγχου αποδοχής είναι η χρήση πινάκων διεθνών προτύπων. Το πιο διαδεδομένο πρότυπο είναι το ISO 2859 (1974) το οποίο έχει προέλθει από το πρότυπο του αμερικάνικου στρατού MIL-STD-105D. Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης υιοθέτησε το παραπάνω πρότυπο και το εξέδωσε με την ονομασία πρότυπο ΕΛΟΤ 398.0 – 398.1 (1982). Οι διαφορές των δύο προτύπων είναι αμελητέες. Στο πρότυπο περιέχονται πίνακες τόσο για σχήματα απλής όσο και για διπλής δειγματοληψίας. Στη συγκεκριμένη διπλωματική θα εξεταστούν τα απλά δειγματοληπτικά σχήματα.

Το πρότυπο προβλέπει τρεις γενικές στάθμες ελέγχου (I, II, III) και τέσσερις ειδικές στάθμες ελέγχου (S-1, S-2, S-3, S-4). Η επιλογή της στάθμης καθορίζει τη σχέση μεταξύ του μεγέθους παρτίδας  $N$  και του μεγέθους δείγματος  $n$ , η οποία γίνεται μέσω του κωδικού γράμματος μεγέθους δείγματος. Η κύρια παράμετρος των πινάκων είναι η αποδεκτή στάθμη ποιότητας (ΑΣΠ) για την οποία δίνουν 26 διαφορετικές τιμές με τη μικρότερη να ξεκινάει από 0.01% και τη μεγαλύτερη να φτάνει 1000%. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές της ΑΣΠ που είναι μεγαλύτερες από 10% χρησιμοποιούνται όταν ο έλεγχος αφορά αριθμό ελαττωματικών και όχι ποσοστό ελαττωματικών όπως ισχύει για τις μικρότερες τιμές.

Ο καθορισμός της αυστηρότητας του ελέγχου είναι απαραίτητος για την επιλογή των παραμέτρων. Η αυστηρότητα διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: κανονικός έλεγχος, αυστηρός έλεγχος και ελαστικός έλεγχος. Υπάρχει ένας πίνακας που αντιστοιχεί στην κάθε κατηγορία ο οποίος καθορίζει τα μεγέθη δειγμάτων και τους αριθμούς αποδοχής για συγκεκριμένη τιμή της ΑΣΠ και για συγκεκριμένο κωδικό γράμματος μεγέθους δείγματος όπου έχει ήδη προσδιοριστεί από την επιλογή της στάθμης και το μέγεθος της παρτίδας.

### 2.2.7 Οικονομικά κριτήρια

Οι στατιστικοί μέθοδοι σχεδίασης σχημάτων ελέγχου αποδοχής που αναλύθηκαν παραπάνω δε χρησιμοποιούν τα οικονομικά στοιχεία που σχετίζονται άμεσα με την επιλογή του κατάλληλου σχήματος και επηρεάζονται από αυτή. Στόχος όμως όλων αυτών των τεχνικών και γενικότερα του ελέγχου ποιότητας είναι τελικά η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος από οικονομική άποψη.

Η πραγματοποίηση του στόχου αυτού γίνεται σε δύο στάδια. Για τη σχεδίαση ενός σχήματος ελέγχου με οικονομικά κριτήρια πρέπει σε πρώτο στάδιο να γίνει ανάπτυξη της συνάρτησης συνολικού κόστους για δεδομένες τιμές των παραμέτρων σχεδίασης. Σε δεύτερο στάδιο πρέπει να γίνει η βελτιστοποίηση της συνάρτησης κόστους έχοντας σαν μεταβλητές τις παραμέτρους σχεδίασης. Μια εκτενής ανάλυση των σημαντικότερων οικονομικών σχημάτων ελέγχου αποδοχής περιέχεται στη μονογραφία του Hald (1981). Στη συγκεκριμένη διπλωματική έγινε διατριβή στην περίπτωση του 100% επανορθωτικού ελέγχου για την οικονομική βελτιστοποίηση σε απλά και διπλά δειγματοληπτικά σχήματα.

Για την ανάπτυξη της συνάρτησης συνολικού κόστους για συγκεκριμένες παραμέτρους ( $n, c$ ) του απλού ή ( $n_1, n_2, c_1, c_2, r_1, r_2$ ) του διπλού δειγματοληπτικού σχήματος και ορισμένης τιμής του ποσοστού ελαττωματικών  $p$  των παρτίδων που ελέγχονται είναι απαραίτητα τα παρακάτω οικονομικά στοιχεία:

- 1) Κόστος επιθεώρησης ανά μονάδα προϊόντος ( $c_i$ )
- 2) Κόστος επισκευής ή αντικατάστασης ανά ελαττωματική μονάδα προϊόντος που εντοπίζεται κατά τον έλεγχο ( $c_r$ )
- 3) Κόστος ανά ελαττωματική μονάδα που εμπεριέχεται σε παρτίδα που γίνεται αποδεκτή ( $c_d$ )

Γνωρίζοντας πλέον τα στοιχεία εκείνα που επηρεάζουν το συνολικό κόστος καταλήγουμε στις εξής εξισώσεις χρησιμοποιώντας τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν στις στατιστικές μεθόδους:

Μέσο συνολικό κόστος για παρτίδα μεγέθους  $N$  με ποσοστό ελαττωματικών  $p$  για απλό δειγματοληπτικό σχήμα:

$$K(n, c | p) = [nc_i + npc_r + (N - n)pc_d]P_a(p) + (Nc_i + Npc_r)(1 - P_a(p)) \quad (2.10)$$

Ή αλλιώς:

$$K(n, c | p) = Nc_i + Npc_r + (N - n)(pc_d - pc_r - c_i)P_a(p) \quad (2.11)$$

Μέσο συνολικό κόστος για παρτίδα μεγέθους  $N$  με ποσοστό ελαττωματικών  $p$  για διπλό δειγματοληπτικό σχήμα:

$$K(n_1, n_2, c_1, c_2 | p) = [n_1c_i + n_1pc_r + (N - n_1)pc_d]P_{a1}(p) + (Nc_i + Npc_r)P_{r1}(p) + [(n_1 + n_2)c_i + (n_1 + n_2)pc_r + (N - n_1 - n_2)pc_d]P_{a2}(p) + (Nc_i + Npc_r)P_{r2}(p) \quad (2.12)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι το  $c_r$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το  $c_d$  καθώς σε αντίθετη περίπτωση δε θα είχε νόημα ο έλεγχος αφού όσο θα μας κόστιζε να ανακαλύψουμε ένα ελαττωματικό προϊόν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ελέγχου του, τόσο ή ακόμα λιγότερο θα μας κόστιζε να το ανακαλύψουμε μετά.

Ένα επιπλέον στατιστικό στοιχείο που είναι χρήσιμο σε αυτήν τη φάση είναι η οριακή στάθμη ποιότητας ( $p_r$ ) για την οποία ισχύει:

$$p_r = \frac{c_i}{c_d - c_r} \quad (2.13)$$

Συγκρίνοντας την οριακή στάθμη ποιότητας με το ποσοστό ελαττωματικών της παρτίδας που ελέγχεται καταλήγουμε στην άμεση απόφαση για αποδοχή ή απόρριψή της και έτσι υπολογίζεται το συνολικό κόστος της αντίστοιχης περίπτωσης. Στην περίπτωση που πραγματοποιείται έλεγχος σε περισσότερες παρτίδες οι οποίες έχουν διαφορετικό ποσοστό ελαττωματικών ακολουθείται αντίστοιχη μεθοδολογία για την ανάπτυξη των συναρτήσεων συνολικού κόστους τόσο για τα απλά όσο και για τα διπλά δειγματοληπτικά σχήματα.

Το επόμενο βήμα είναι η βελτιστοποίηση των παραπάνω εξισώσεων ως προς τις παραμέτρους σχεδίασης. Το βέλτιστο σχήμα ελέγχου είναι αυτό που οι παράμετροι σχεδίασής του ελαχιστοποιούν τη συνάρτηση συνολικού κόστους. Επιπλέον, είναι εφικτή και η μελέτη ως προς στατιστικά και οικονομικά κριτήρια ταυτόχρονα. Σε αυτήν την περίπτωση βέλτιστο σχήμα ελέγχου είναι αυτό που οι παράμετροι σχεδίασής του ελαχιστοποιούν τη συνάρτηση συνολικού κόστους αλλά την ίδια στιγμή ικανοποιούν και τη συνθήκη για το στατιστικό κριτήριο που έχουμε ορίσει. Κριτήρια στατιστικής φύσης τα οποία συνδυάζονται με την οικονομική μελέτη είναι για παράδειγμα, τα σφάλματα πελάτη και παραγωγού να μην υπερβαίνουν τις ορισμένες τιμές ή ο μέσος συνολικός αριθμός επιθεωρούμενων μονάδων (ΑΤΙ) να μην υπερβαίνει συγκεκριμένη τιμή.

Τέλος, η μέθοδος σχεδίασης σχημάτων ελέγχου αποδοχής με οικονομικά κριτήρια θεωρείται ανώτερη από αυτήν των στατιστικών κριτηρίων όμως σε πολλές περιπτώσεις δεν εφαρμόζεται. Αυτό συμβαίνει διότι η εκτίμηση των στοιχείων κόστους και πιο συγκεκριμένα του κόστους

εξωτερικών αστοχιών είναι ιδιαίτερα περίπλοκη και αμφισβητήσιμη, με αποτέλεσμα η χρήση των μεθόδων με στατιστικά κριτήρια να αποτελεί την εύκολη λύση.

### 2.2.8. Έλεγχος ποιότητας αποδοχής με μέτρηση

Τα χαρακτηριστικά ποιότητας είναι ως επί το πλείστον χαρακτηριστικά μέτρησης. Είναι δηλαδή μεταβλητές που μετρούνται με ορισμένη κλίμακα σε συνεχή βάση, σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά διαλογής που αποτελούν ιδιότητες και απλά καθιστούν το προϊόν καλό ή ελαττωματικό. Στην περίπτωση του σχήματος ελέγχου με διαλογή απλά εξετάζεται αν οι μετρήσεις από το χαρακτηριστικό ποιότητας είναι εντός των προδιαγραφών, ενώ στην περίπτωση του σχήματος ελέγχου με μέτρηση καταγράφονται τα ακριβή αποτελέσματα από τις μετρήσεις.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των σχημάτων ελέγχου με μέτρηση είναι ότι επιτυγχάνουν τις επιθυμητές ιδιότητες της χαρακτηριστικής καμπύλης με μικρότερο δείγμα συγκριτικά με τα σχήματα ελέγχου με διαλογή. Αυτό συμβαίνει διότι οι πληροφορίες που παίρνουμε από αυτό το είδος ελέγχου είναι ακριβέστερες. Το σημαντικότερο μειονέκτημα τους είναι ότι για τη χρήση τους απαιτείται η γνώση της στατιστικής κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας και πιο συγκεκριμένα όλα τα τυποποιημένα σχήματα ελέγχου βασίζονται στην υπόθεση ότι οι τιμές του χαρακτηριστικού ποιότητας ακολουθούν την κανονική κατανομή. Σε αντίθετη περίπτωση τα συμπεράσματα ενδεχομένως αποκλίνουν από την πραγματικότητα και είναι λανθασμένα.

Όταν λοιπόν το χαρακτηριστικό ποιότητας που ελέγχουμε ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και μεταβλητότητα  $\sigma^2$  τότε μπορούμε να διαλέξουμε ανάμεσα στις δύο ομάδες δειγματοληπτικών σχημάτων για την εξέταση του. Η πρώτη περιέχει τα σχήματα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών  $p$  στην παρτίδα, ενώ η δεύτερη περιέχει τα σχήματα ελέγχου μέσης τιμής  $\mu$  του χαρακτηριστικού ποιότητας στην παρτίδα. Οι εκτιμήτριες των  $\mu$  και  $\sigma^2$  είναι η μέση τιμή δείγματος και η μεταβλητότητα δείγματος  $s^2$  αντίστοιχα.

Οι παράμετροι των σχημάτων ελέγχου αποδοχής με μέτρηση είναι το μέγεθος δείγματος  $n$  και η κρίσιμη απόσταση  $k$  ή το μέγιστο ποσοστό ελαττωματικών  $M$  και διαλέγονται είτε με στατιστικά είτε με οικονομικά κριτήρια. Ωστόσο, επειδή τα μαθηματικά πρότυπα είναι πολύ περίπλοκα για τα οικονομικά κριτήρια και έχουν αναπτυχθεί μόνο για την περίπτωση που η μεταβλητότητα του χαρακτηριστικού είναι γνωστή και σταθερή, έχει επικρατήσει η χρήση των στατιστικών κριτηρίων. Ανάλυση της οικονομικής βελτιστοποίησης των σχημάτων ελέγχου αποδοχής με μέτρηση εμπεριέχεται στο σύγγραμμα των Schmidt, Case and Bennett (1974) και σε νεότερες δημοσιεύσεις όπως του Tagaras (1994).

### 2.2.9. Έλεγχος με εκτίμηση ποσοστού ελαττωματικών

Με τη βασική υπόθεση ότι το χαρακτηριστικό ποιότητας που μελετάμε ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και μεταβλητότητα  $\sigma^2$ , μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό ελαττωματικών της παρτίδας  $p$  το οποίο ισούται με το άθροισμα του ποσοστού ελαττωματικών κάτω από το κάτω όριο προδιαγραφών  $L$  (LSL – Lower Specification Limit) και του ποσοστού ελαττωματικών πάνω από το άνω όριο προδιαγραφών  $U$  (USL – Upper Specification Limit).

$$p = p_L + p_U \quad (2.14)$$

Στην περίπτωση μονόπλευρων προδιαγραφών το ποσοστό ελαττωματικών της παρτίδας  $p$  ισούται με  $p_L$  ή  $p_U$  αντίστοιχα. Η λειτουργία του σχήματος μπορεί να οργανωθεί με δύο τρόπους, τη Διαδικασία 1 και τη Διαδικασία 2.

Για τη Διαδικασία 1, αρχικά λαμβάνεται τυχαίο δείγμα μεγέθους  $n$  από την παρτίδα, υπολογίζεται η εκτιμήτρια της μέσης τιμής του και οι δείκτες  $Z_L$  και  $Z_U$ , που εκφράζουν την απόσταση της εκτιμήτριας της μέσης τιμής από το  $L$  και το  $U$  αντίστοιχα σε αριθμό τυπικών αποκλίσεων.

$$Z_L = \frac{\bar{x} - L}{\sigma} \quad (2.15)$$

$$Z_U = \frac{U - \bar{x}}{\sigma} \quad (2.16)$$

Αν οι δείκτες είναι μεγαλύτεροι ή ίσοι από συγκεκριμένη τιμή της κρίσιμης απόστασης  $k$  η παρτίδα γίνεται αποδεκτή. Το μέγεθος δείγματος  $n$  και η κρίσιμη απόσταση  $k$  αποτελούν τις παραμέτρους του σχήματος.

Για τη Διαδικασία 2 λαμβάνεται τυχαίο δείγμα μεγέθους  $n$  από την παρτίδα, υπολογίζεται η εκτιμήτρια της μέσης τιμής του και οι δείκτες  $Z_L$  και  $Z_U$ . Όμως για μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό της εκτιμήτριας του  $p$  χρησιμοποιούνται οι τυχαίες μεταβλητές:

$$Z_L = \frac{\bar{x} - L}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad (2.17)$$

$$Z_U = \frac{U - \bar{x}}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad (2.18)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η εκτιμήτρια του ποσοστού ελαττωματικών:

$$p_L = 1 - \Phi(Z_L) \quad (2.19)$$

$$p_U = 1 - \Phi(Z_U) \quad (2.20)$$

$$p = p_L + p_U$$



Σε περίπτωση που η τυπική απόκλιση  $\sigma$  είναι άγνωστη, υπολογίζεται η τυπική απόκλιση του δείγματος  $s$  η οποία αντικαθιστά το  $\sigma$  στους παραπάνω υπολογισμούς και οι μεταβλητές  $Z_L$  και  $Z_U$  ακολουθούν πλέον κατανομή Student.

Τελικά, γίνεται η σύγκριση της εκτιμήτριας του ποσοστού ελαττωματικών με το ορισμένο μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό ελαττωματικών  $M$ . Εάν και μόνο αν η εκτιμήτρια  $p \leq M$ , η παρτίδα γίνεται αποδεκτή ενώ αν  $p > M$  ή  $Z_L < 0$  ή  $Z_U < 0$ , η παρτίδα απορρίπτεται.

### **2.2.10. Έλεγχος μέσης τιμής**

Κατά τη χρήση σχήματος μέσης τιμής εξετάζεται η μέση ποιότητα των παρτίδων. Η μηδενική υπόθεση είναι ότι η παρτίδα αποτελείται από μονάδες των οποίων η μέση τιμή είναι  $\mu = \mu_0$ , όπου  $\mu_0$  είναι η επιθυμητή μέση τιμή. Για την αποδοχή της παρτίδας ελέγχεται αν η μέση τιμή της είναι εντός των ορίων της περιοχής αποδοχής. Το μέγεθος δείγματος και τα όρια αποδοχής αποτελούν τις παραμέτρους των σχημάτων ελέγχου μέσης τιμής.

### **2.2.11. Στατιστικά κριτήρια σχημάτων αποδοχής με μέτρηση**

Τα σχήματα ελέγχου με εκτίμηση ποσοστού ελαττωματικών σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η χαρακτηριστική καμπύλη να περνά από δύο συγκεκριμένα σημεία  $(p_1, 1-\alpha)$  και  $(p_2, \beta)$  με το  $p_1$  να αντιστοιχεί στην αποδεκτή στάθμη ποιότητας και το  $p_2$  στην απορριπτέα στάθμη ποιότητα αντίστοιχα.

Ομοίως τα σχήματα ελέγχου μέσης τιμής σχεδιάζονται έτσι ώστε η χαρακτηριστική καμπύλη να περνά από δύο συγκεκριμένα σημεία  $(\mu_1, 1-\alpha)$  και  $(\mu_2, \beta)$  με το  $\mu_1$  να αντιστοιχεί στην αποδεκτή μέση ποιότητα παρτίδας και το  $\mu_2$  στην απορριπτέα μέση ποιότητα αντίστοιχα.

### **2.2.12. Διεθνή πρότυπα**

Τα σχήματα εκτίμησης ποσοστού ελαττωματικών είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην πράξη όσον αφορά τα σχήματα ελέγχου αποδοχής με μέτρηση. Η χρήση των διεθνών προτύπων είναι αρκετά συχνή για τον προσδιορισμό του μεγέθους δείγματος και των κριτηρίων αποδοχής για τα σχήματα εκτίμησης ποσοστού ελαττωματικών. Τα πιο δημοφιλή πρότυπα είναι το διεθνές πρότυπο ISO 3951 (1981) και το αμερικάνικο πρότυπο ANSI/ASQZ Z1.9 (2008) τα οποία αποτελούν εξέλιξη του προτύπου MIL-STD-414 (1957).

Τα πρότυπα περιέχουν πίνακες με βασική παράμετρο την αποδεκτή στάθμη ποιότητας οι οποίοι καθορίζουν τις υπόλοιπες παραμέτρους του σχήματος. Αρχικά γίνεται η μετατροπή της αποδεκτής στάθμης ποιότητας στην προτυποποιημένη τιμή της.

Στη συνέχεια καθορίζεται η στάθμη ελέγχου, που ορίζει τη σχέση μεταξύ του μεγέθους της παρτίδας (N) και του μεγέθους δείγματος (n). Το πρότυπο προβλέπει τρεις γενικές στάθμες ελέγχου (I, II, III) και δύο ειδικές (S-3, S-4). Συνήθως χρησιμοποιείται η γενική στάθμη II. Όπως και στο πρότυπο ISO 2859 (1974) έτσι και εδώ διακρίνονται τρία επίπεδα αυστηρότητας ελέγχου, το κανονικό, το ελαστικό και το αυστηρό. Η διαδικασία της επιλογής των παραμέτρων και ο έλεγχος αποδοχής γίνεται με διαφορετικό τρόπο για τα πρότυπα ISO 3951 και ANSI/ASQZ Z1.9. Το πρότυπο ISO 3951 χρησιμοποιεί τη Διαδικασία 1 που αναφέρθηκε παραπάνω ενώ το πρότυπο ANSI/ASQZ Z1.9 τη Διαδικασία 2. Επιπλέον, για την αποδοχή της παρτίδας στην περίπτωση του ISO 3951 πρέπει να ισχύουν οι συνθήκες της Διαδικασίας 1 ενώ για το πρότυπο ANSI/ASQZ Z1.9 ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα στην περίπτωση ύπαρξης δύο ορίων:

$$\begin{aligned}p_L &\leq M_L \\p_U &\leq M_U \\p_L + p_U &\leq \max\{M_L, M_U\}\end{aligned}$$

### 2.3. Έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας

Ο στατιστικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας αναπτύχθηκε παράλληλα με τον έλεγχο ποιότητας αποδοχής από τον Walter Stewhart τη δεκαετία του 1920. Αποτελεί την περισσότερο χρησιμοποιημένη μέθοδο διασφάλισης ποιότητας καθώς οι τεχνικές του έχουν σκοπό να εξασφαλίσουν την ομαλή λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας και όχι απλά να ελέγξουν τα τελικά της προϊόντα όπως στην περίπτωση του ελέγχου αποδοχής ποιότητας.

Το βασικό εργαλείο του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας είναι το διάγραμμα ελέγχου. Στόχος των διαγραμμάτων ελέγχου είναι ο εντοπισμός συστηματικών μεταβολών της παραγωγικής διαδικασίας εξαιτίας των οποίων παρατηρούνται αποκλίσεις των τιμών των χαρακτηριστικών ποιότητας από τις επιθυμητές τιμές. Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας είναι η ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας που συνεπάγεται τη μελέτη των χαρακτηριστικών της διαδικασίας σε ελεγχόμενη κατάσταση ομαλής λειτουργίας. Στη συνέχεια είναι σκόπιμη η σχεδίαση ενός διαγράμματος ελέγχου για την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας. Τα διαγράμματα ελέγχου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του χαρακτηριστικού ποιότητας, τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής και τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης. Μια εκτενής ανάλυση των διαγραμμάτων εμπεριέχεται στο σύγγραμμα του Γ.Ν. Ταγαρά με τίτλο "Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας" (2001).

#### 2.3.1. Ανάλυση δυνατοτήτων

Το πρώτο βήμα για την ανάλυση δυνατοτήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας είναι ο προσδιορισμός των φυσικών ορίων ανοχών. Για παράδειγμα αν  $\mu$  είναι η μέση τιμή του

χαρακτηριστικού που ελέγχεται και  $\sigma$  η τυπική του απόκλιση, το άνω και κάτω όριο φυσικών ανοχών είναι  $\mu+3\sigma$  και  $\mu-3\sigma$  αντίστοιχα. Εφόσον η κατανομή του χαρακτηριστικού είναι κανονική τα φυσικά όρια περιέχουν το 99,73% των τιμών της τυχαίας μεταβλητής που αντιστοιχεί στο χαρακτηριστικό ποιότητας. Δηλαδή το 0,27% των προϊόντων θα έχουν τιμές χαρακτηριστικού ποιότητας εκτός των ορίων. Ωστόσο, πιο συχνά πραγματοποιείται μελέτη της τυπικής απόκλισης  $\sigma$  ή της μεταβλητότητας  $\sigma^2$  αντί για τη μελέτη της μέσης τιμής που θεωρείται απλούστερο πρόβλημα. Επομένως, σε πρώτη φάση γίνεται η εκτίμηση της διασποράς της παραγωγικής διαδικασίας και σε δεύτερη φάση πραγματοποιείται η σύγκριση των φυσικών ορίων με τις επιθυμητές προδιαγραφές.

### 2.3.2. Εκτίμηση διασποράς

Η ανάλυση της εκτίμησης διασποράς βασίζεται στο γεγονός ότι οι τιμές του χαρακτηριστικού ποιότητας ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Με δεδομένη τη μέση τιμή η ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας γίνεται με την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης, η οποία δηλώνει την αναπόφευκτη διασπορά των τιμών του χαρακτηριστικού ποιότητας που οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες και όχι σε συστηματικές αιτίες. Στην πράξη το εύρος των φυσικών ορίων ανοχών μιας παραγωγικής διαδικασίας είναι το εύρος έξι τυπικών αποκλίσεων. Η εκτίμηση της διασποράς μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, είτε χρησιμοποιώντας το εύρος  $R$  είτε χρησιμοποιώντας την τυπική απόκλιση  $s$ . Σε κάθε περίπτωση γίνεται λήψη  $m$  δειγμάτων με το  $m$  να παίρνει συχνά τιμές μεταξύ 20 και 30 και μεγέθους  $n$  το οποίο παίρνει τιμές από 2 έως 20 συνήθως.

Έτσι, στην εκτίμηση με βάση τα εύρη δειγμάτων το εύρος του κάθε δείγματος ισούται με  $R=x_{\max}-x_{\min}$ , όπου  $x_{\max}$  και  $x_{\min}$  είναι η μεγαλύτερη και η μικρότερη τιμή του δείγματος αντίστοιχα. Το σχετικό εύρος  $W$  ισούται με τον λόγο  $R/\sigma$  και όταν οι τιμές του χαρακτηριστικού ποιότητας ακολουθούν κανονική κατανομή  $N(\mu, \sigma^2)$ , η μέση τιμή του  $W$  συμβολίζεται με  $d_2$  και είναι συνάρτηση του μεγέθους δείγματος  $n$ . Άρα  $E(R) = d_2\sigma$ . Από τα στοιχεία του κάθε δείγματος υπολογίζεται το εύρος δείγματος  $R_j$  και έπειτα το μέσο εύρος των  $m$  δειγμάτων.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j}{m} \quad (2.21)$$

Το μέσο εύρος δειγμάτων αντιστοιχεί στην εκτίμηση της μέσης τιμής του εύρους δείγματος. Συνεπώς, η εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης  $\sigma$  δίνεται από την εξής σχέση:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.22)$$

Στην περίπτωση της εκτίμησης με βάση την τυπική απόκλιση ακολουθείται παρόμοια μεθοδολογία. Η μεταβλητότητα  $s^2$  του δείγματος αποτελεί αμερόληπτη εκτιμήτρια της  $\sigma^2$ , όμως η τυπική απόκλιση  $s$  του δείγματος δεν είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια της  $\sigma$ . Όταν οι τιμές του

χαρακτηριστικού ποιότητας ακολουθούν κανονική κατανομή  $N(\mu, \sigma^2)$ , η μέση τιμή της μεταβλητής ισούται με  $E(s) = c_4\sigma$ , όπου το  $c_4$  είναι συνάρτηση του μεγέθους δείγματος. Για κάθε δείγμα υπολογίζεται η τυπική απόκλιση δείγματος  $s_j$  και στη συνέχεια η μέση τιμή της τυπικής απόκλισης των  $m$  δειγμάτων.

$$\bar{s} = \frac{\sum_{j=1}^m s_j}{m} \quad (2.23)$$

Η μέση τυπική απόκλιση των δειγμάτων αντιστοιχεί στην εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης  $\sigma$  του πληθυσμού και δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (2.24)$$

Η εκτίμηση της  $\sigma$  με τη χρήση της μεθόδου των τυπικών αποκλίσεων προτιμάται σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί τα εύρη, καθώς η πρώτη αξιοποιεί την πληροφορία από όλες τις τιμές του δείγματος ενώ η δεύτερη κάνει χρήση μόνο των ακραίων τιμών σε κάθε δείγμα. Οι τιμές των  $d_2$  και  $c_4$  οι οποίες χρησιμοποιούνται στους παραπάνω υπολογισμούς περιέχονται στους πίνακες του προτύπου.

### 2.3.3. Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής

Όταν το χαρακτηριστικό ποιότητας που μελετάται είναι χαρακτηριστικό διαλογής, στόχος των διαγραμμάτων ελέγχου είναι να εντοπίσουν την αύξηση της αναλογίας των ελαττωματικών προϊόντων ή του μέσου αριθμού ελαττωματικών προϊόντων ανά μονάδα εξαιτίας συστηματικών αιτιών. Τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής εκφράζονται από την κεντρική γραμμή που αποτελεί την ονομαστική στάθμη ποιότητας και τα δύο όρια ελέγχου. Το ονομαστικό ποσοστό ελαττωματικών  $p_0$  σε ομαλή λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας προσδιορίζεται από την ανάλυση δυνατοτήτων της.

### 2.3.4. Έλεγχος ποσοστού ελαττωματικών

Ο λόγος του αριθμού ελαττωματικών  $d$  που παράγει η διαδικασία προς το σύνολο των μονάδων  $n$  ονομάζεται ποσοστό ελαττωματικών και συμβολίζεται με  $p$ . Οι μονάδες μπορεί να ελέγχονται ταυτόχρονα για παραπάνω από ένα χαρακτηριστικό διαλογής και να κρίνονται ελαττωματικές αν δεν πληρούν όλες τις απαιτήσεις. Για τη λειτουργία του διαγράμματος ελέγχου  $p$  λαμβάνονται δείγματα μεγέθους  $n$ , καταμετράται ο αριθμός ελαττωματικών  $d$  σε κάθε δείγμα και υπολογίζεται το ποσοστό ελαττωματικών που ισούται τον λόγο  $d/n$ . Ο λόγος αυτός αποτελεί εκτιμήτρια του

ποσοστού ελαττωματικών της παραγωγικής διαδικασίας και ελέγχεται αν βρίσκεται εντός των ορίων ελέγχου. Αν το σημείο βρίσκεται εκτός των ορίων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό ελαττωματικών έχει σημαντική απόκλιση από το ονομαστικό ποσοστό ελαττωματικών. Η κεντρική γραμμή (ΚΓ) του διαγράμματος ελέγχου έχει την ονομαστική τιμή του ποσοστού ελαττωματικών  $p_0$ . Τα όρια απέχουν  $k$  τυπικές αποκλίσεις της εκτιμήτριας του ποσοστού ελαττωματικών από την κεντρική γραμμή. Όταν το κάτω όριο έχει τιμή μικρότερη του μηδενός τότε συνεπάγεται  $KOE=0$ .

$$AOE = p_0 + k \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad (2.25)$$

$$ΚΓ = p_0 \quad (2.26)$$

$$KOE = p_0 - k \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad (2.27)$$

### 2.3.5. Έλεγχος αριθμού ελαττωματικών

Το διάγραμμα ελέγχου αριθμού ελαττωματικών είναι ένας άλλος τρόπος να πραγματοποιηθεί ο στατιστικός έλεγχος ενός χαρακτηριστικού διαλογής και είναι ισοδύναμο με το διάγραμμα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών. Η χρήση του δε συνιστάται όταν το μέγεθος δείγματος είναι μεταβλητό αφού τότε μεταβάλλεται η κεντρική γραμμή και τα σημεία δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα. Η δημιουργία του διαγράμματος είναι ανάλογη με του διαγράμματος ποσοστού ελαττωματικών. Αναλυτικά η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου δίνονται από τις σχέσεις:

$$AOE = np_0 + k\sqrt{np_0(1-p_0)} \quad (2.28)$$

$$ΚΓ = np_0 \quad (2.29)$$

$$KOE = np_0 - k\sqrt{np_0(1-p_0)} \quad (2.30)$$

### 2.3.6. Έλεγχος αριθμού ελαττωμάτων

Ένας εναλλακτικός τρόπος για τον έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων που παράγονται από μια παραγωγική διαδικασία είναι ο έλεγχος του αριθμού ελαττωμάτων. Μια μονάδα προϊόντος είναι πιθανό να έχει παραπάνω από ένα ελαττώματα. Η ύπαρξη ενός ελαττώματος δε σημαίνει απαραίτητα πως το προϊόν είναι ελαττωματικό εφόσον το ελάττωμα μπορεί να είναι δευτερεύουσας σημασίας. Ο έλεγχος με τη χρήση διαγράμματος αριθμού ελαττωματικών γίνεται με δύο τρόπους και βασίζεται στη μέτρηση των ελαττωμάτων που εμφανίζονται σε διαδοχικά τυχαία δείγματα.

Ο πρώτος τρόπος είναι με το διάγραμμα ελέγχου συνολικού αριθμού ελαττωμάτων (διάγραμμα c) και χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος δείγματος είναι σταθερό, ενώ ο δεύτερος τρόπος είναι με το

διάγραμμα ελέγχου μέσου αριθμού ελαττωμάτων ανά μονάδα επιθεώρησης (διάγραμμα  $u$ ) και χρησιμοποιείται όταν το μέγεθος δείγματος είναι μεταβλητό.

Στην περίπτωση του διαγράμματος  $c$ , το σταθερό μέγεθος δείγματος ονομάζεται μονάδα επιθεώρησης και αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ποσότητα της παραγωγής που θεωρείται κατάλληλη για τη συλλογή στοιχείων και δε σημαίνει απαραίτητα μια μονάδα προϊόντος. Τα μεγέθη δειγμάτων στην περίπτωση του διαγράμματος  $u$ , εκφράζονται σε αριθμό μονάδων επιθεώρησης  $n$  χωρίς να είναι απαραίτητα ακέραια πολλαπλάσια της μονάδας επιθεώρησης.

Η λειτουργία του διαγράμματος  $c$  είναι η εξής: ανά τακτά χρονικά διαστήματα λαμβάνεται μια μονάδα επιθεώρησης, καταμετρείται ο αριθμός ελαττωμάτων και στη συνέχεια γίνεται ο έλεγχος στο διάγραμμα. Αν ο αριθμός αυτός είναι μεγαλύτερος από το άνω όριο ελέγχου τότε συμπεραίνουμε πως είναι πολύ πιθανό ο αριθμός ελαττωμάτων, που δημιουργούνται από την παραγωγική διαδικασία, να έχει αυξηθεί συγκριτικά με τον ονομαστικό. Παρόμοιο είναι το συμπέρασμα στην περίπτωση που παρατηρείται κάποια συστηματική διάταξη στο διάγραμμα. Ανάλογη είναι και η λειτουργία του διαγράμματος  $u$ , με βασική διαφορά ότι αλλάζουν τα όρια ελέγχου καθώς εξαρτώνται από το μέγεθος δείγματος. Η κύρια υπόθεση και για τα δύο διαγράμματα είναι ότι ο αριθμός ελαττωμάτων σε μια μονάδα επιθεώρησης ακολουθεί την κατανομή Poisson. Ο ονομαστικός αριθμός ελαττωμάτων μιας μονάδας επιθεώρησης σε κατάσταση ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας προσδιορίζεται από την ανάλυση των δυνατοτήτων της.

Η στατιστική δείγματος για το διάγραμμα  $c$  είναι ο αριθμός ελαττωμάτων στη μονάδα επιθεώρησης και συμβολίζεται με  $c$ . Εφόσον η παραγωγική διαδικασία είναι σε κατάσταση ελέγχου ισχύει ότι  $c=c_0$ . Επίσης, ισχύει για τη μέση τιμή και τη μεταβλητότητα του  $c$  ότι  $E(c)=c_0$  και  $V(c)=c_0$ . Άρα οι σχέσεις που καθορίζουν το διάγραμμα  $c$  είναι:

$$AOE = c_0 + k\sqrt{c_0} \quad (2.31)$$

$$KG = c_0 \quad (2.32)$$

$$KOE = c_0 - k\sqrt{c_0} \quad (2.33)$$

Η στατιστική δείγματος για το διάγραμμα  $u$  είναι ο μέσος αριθμός ελαττωμάτων ανά μονάδα επιθεώρησης  $u=c/n$ , όπου  $n$  είναι το μεταβλητό μέγεθος δείγματος και  $c$  ο συνολικός αριθμός ελαττωμάτων σε  $n$  μονάδες. Εφόσον η παραγωγική διαδικασία είναι σε κατάσταση ελέγχου, ο μέσος συνολικός αριθμός ελαττωμάτων ανά μονάδα επιθεώρησης είναι  $u_0$  και ο μέσος αριθμός ελαττωμάτων σε δείγμα μεγέθους  $n$  είναι  $nu_0$ . Επειδή ο συνολικός αριθμός ελαττωμάτων ακολουθεί κατανομή Poisson, η μεταβλητότητα του είναι ίση προς τη μέση τιμή  $nu_0$ . Επομένως, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της στατιστικής δείγματος  $u$  είναι:

$$\mu_u = E\left(\frac{c}{n}\right) = \frac{1}{n}nu_0 = u_0 \quad (2.34)$$

$$\sigma_u = \sqrt{V\left(\frac{c}{n}\right)} = \sqrt{\frac{1}{n^2} n u_0} = \sqrt{\frac{u_0}{n}} \quad (2.35)$$

Άρα οι σχέσεις που καθορίζουν το διάγραμμα u είναι:

$$AOE = u_0 + k \sqrt{\frac{u_0}{n}} \quad (2.36)$$

$$KG = u_0 \quad (2.37)$$

$$KOE = u_0 - k \sqrt{\frac{u_0}{n}} \quad (2.38)$$

### 2.3.7. Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης

Όπως στον έλεγχο ποιότητας αποδοχής έτσι και στον έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας όταν το χαρακτηριστικό ποιότητας που ελέγχεται είναι χαρακτηριστικό μέτρησης τότε μας παρέχεται μεγαλύτερη ακρίβεια από τις μετρήσεις ενός συνεχούς δείγματος και επιπλέον καταλήγουμε σε συμπεράσματα με δείγματα μικρότερου μεγέθους από αυτά της διαλογής.

Στην περίπτωση που μια παραγωγική διαδικασία παρακολουθείται με χαρακτηριστικό μέτρησης συνιστάται τόσο ο έλεγχος της μέσης τιμής του χαρακτηριστικού όσο και ο έλεγχος της διασποράς του, καθώς υπάρχει η πιθανότητα μια συστηματική αιτία να επηρεάσει τη μέση τιμή του χαρακτηριστικού ή τη μεταβλητότητά του ή και τις δύο ταυτόχρονα. Η κατανομή του χαρακτηριστικού μέτρησης που ελέγχεται πρέπει να είναι κανονική ή να προσεγγίζεται σε μεγάλο βαθμό από την κανονική κατανομή καθώς σε αντίθετη περίπτωση πιθανότατα θα καταλήξουμε σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

### 2.3.8. Έλεγχος εύρους

Το εύρος ενός δείγματος ισούται με  $R = x_{\max} - x_{\min}$ , όπου  $x_{\max}$  και  $x_{\min}$  είναι η μεγαλύτερη και η μικρότερη τιμή του δείγματος αντίστοιχα. Όταν ο πληθυσμός, στον οποίον ανήκουν τα δείγματα που λαμβάνονται, ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ , τότε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του εύρους είναι  $\mu_R = d_2\sigma$  και  $\sigma_R = d_3\sigma$  αντίστοιχα. Τα  $d_2$  και  $d_3$  είναι συναρτήσεις του μεγέθους δείγματος  $n$ .

Η λειτουργία του διαγράμματος ελέγχου είναι παρόμοια με τα υπόλοιπα διαγράμματα διαλογής και μέτρησης. Λαμβάνονται δείγματα μεγέθους  $n$  ανά  $h$  χρονικά διαστήματα, των οποίων τα εύρη υπολογίζονται και συγκρίνονται με τα όρια ελέγχου. Στην περίπτωση που βρεθεί τιμή εύρους δείγματος άνω του ορίου ελέγχου (AOE), πιθανότατα υπάρχει αύξηση στην τυπική απόκλιση του χαρακτηριστικού ποιότητας. Αν βρεθεί τιμή εύρους δείγματος κάτω από το όριο ελέγχου (KOE) τότε υπάρχει πρόβλημα στη διαδικασία μέτρησης και καταγραφής τιμών.

Αν είναι γνωστή η ονομαστική τιμή της τυπικής απόκλισης του χαρακτηριστικού ποιότητας  $\sigma_0$ , η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου  $k$  τυπικών αποκλίσεων δίνονται από τις εξής σχέσεις:

$$AOE = d_2\sigma_0 + kd_3\sigma_0 \quad (2.39)$$

$$KG = d_2\sigma_0 \quad (2.40)$$

$$KOE = d_2\sigma_0 - kd_3\sigma_0 \quad (2.41)$$

Όταν όμως η ονομαστική τυπική απόκλιση δεν είναι γνωστή, γίνεται χρήση της εκτίμησης της  $\sigma$  από την ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι καταλήγουμε στις εξής σχέσεις:

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.42)$$

$$AOE = \bar{R} + kd_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.43)$$

$$KG = \bar{R} \quad (2.44)$$

$$KOE = \bar{R} - kd_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.45)$$

### 2.3.9. Έλεγχος τυπικής απόκλισης

Το διάγραμμα τυπικής απόκλισης ενός χαρακτηριστικού μέτρησης βασίζεται στον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης του δείγματος. Όταν η κατανομή του πληθυσμού είναι κανονική τότε η μέση τιμή της τυπικής απόκλισης είναι  $\mu_s = c_4\sigma$  και η τυπική της απόκλιση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\hat{\sigma}_s = \sigma\sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.46)$$

Όταν η ονομαστική τυπική απόκλιση είναι γνωστή η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου του διαγράμματος τυπικής απόκλισης ορίζονται ως εξής:

$$AOE = c_4\sigma_0 + kc_4\sigma_0\sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.47)$$

$$KG = c_4\sigma_0 \quad (2.48)$$

$$KOE = c_4\sigma_0 - kc_4\sigma_0\sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.49)$$

Αν η τιμή του KOE είναι αρνητική τότε ορίζεται  $KOE = 0$ .



Στην περίπτωση όμως που η ονομαστική τυπική απόκλιση δεν έχει προσδιοριστεί, χρησιμοποιείται η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης από την ανάλυση δυνατοτήτων της παραγωγικής διαδικασίας. Έπειτα από πράξεις καταλήγουμε στους παρακάτω τύπους:

$$\hat{\sigma}_s = \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.50)$$

$$AOE = \bar{s} + k \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.51)$$

$$KG = \bar{s} \quad (2.52)$$

$$KOE = \bar{s} - k \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad (2.53)$$

### 2.3.10. Έλεγχος μέσης τιμής

Το διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής αποτελεί το πιο συχνά χρησιμοποιημένο εργαλείο του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Αποτελεί στατιστικό έλεγχο της υπόθεσης ότι η μέση τιμή  $\mu$  της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας τη στιγμή της δειγματοληψίας ισούται με την ονομαστική μέση τιμή  $\mu_0$  που χαρακτηρίζει την παραγωγική διαδικασία σε κατάσταση ελέγχου.

Κατά τη λειτουργία του λαμβάνονται δείγματα μεγέθους  $n$  ανά  $h$  χρονικές μονάδες και υπολογίζεται η μέση τιμή του κάθε δείγματος. Στη συνέχεια η μέση τιμή κάθε δείγματος τοποθετείται στο διάγραμμα και ελέγχεται αν βρίσκεται εντός των ορίων. Η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου  $k$  τυπικών αποκλίσεων ορίζονται ως εξής:

$$AOE = \mu_0 + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.54)$$

$$KG = \mu_0 \quad (2.55)$$

$$KOE = \mu_0 - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.56)$$

Στην περίπτωση που μια μέση τιμή δείγματος βρεθεί εκτός ορίων ελέγχου ή παρατηρηθούν πολλές διαδοχικές μέσες τιμές δειγμάτων από την ίδια μεριά σε σχέση με την κεντρική γραμμή είναι βέβαιη η επίδραση συστηματικής αιτίας που έχει επηρεάσει τη μέση τιμή του χαρακτηριστικού ποιότητας σε σχέση με την ονομαστική μέση τιμή του.

Όταν η τυπική απόκλιση είναι γνωστή χρησιμοποιείται η ονομαστική της τιμή για τον προσδιορισμό του ελέγχου. Αντίθετα στην περίπτωση που η ονομαστική τιμή της τυπικής απόκλισης δεν έχει προσδιοριστεί, γίνεται η χρήση της εκτιμήτριας της  $\sigma$  από την ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας.

# 3

## Πρόγραμμα

Στόχος του κεφαλαίου είναι η αναλυτική παρουσίαση του λογισμικού. Αρχικά γίνεται αναφορά στην ιστορική εξέλιξη και τις βασικές λειτουργίες της Java. Έπειτα, γίνεται λεπτομερής ανάλυση των λειτουργιών του λογισμικού οι οποίες αποσκοπούν στην επίλυση προβλημάτων ελέγχου ποιότητας αποδοχής και ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας. Στο τέλος, γίνεται μια σύνοψη του κεφαλαίου σχετικά με τη λειτουργικότητα και τη χρησιμότητα του λογισμικού.

### 3.1. Java

Η Java είναι μια αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού που σχεδιάστηκε από την εταιρεία πληροφορικής Sun Microsystems. Στις αρχές του 1991, η Sun αναζητούσε το κατάλληλο εργαλείο για να αποτελέσει την πλατφόρμα ανάπτυξης λογισμικού. Όμως τα εργαλεία της εποχής, τα οποία ήταν γλώσσες όπως η C++ και η C, δε μπορούσαν να καλύψουν τις ανάγκες τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της γλώσσας Oak από τον James Gosling, που εργαζόταν εκείνη την εποχή για τη Sun. Το όνομά της το πήρε από το ομώνυμο δένδρο (βελανιδιά) το οποίο ο Gosling είχε έξω από το γραφείο του. Η Oak ήταν μία γλώσσα που είχε αρκετές ομοιότητες με τη C++ και χαρακτηριζόταν για την απλότητά της. Το όνομα Oak ήταν ήδη κατοχυρωμένο οπότε αυτό είχε ως συνέπεια τη μετονομασία της σε Java, που εκτός των άλλων ήταν το όνομα της αγαπημένης ποικιλίας καφέ για τους δημιουργούς της. Η επίσημη εμφάνιση της Java στη βιομηχανία της πληροφορικής έγινε τον Μάρτιο του 1995. Στις 13 Νοεμβρίου του 2006 η Java έγινε πλέον μια γλώσσα ανοιχτού κώδικα (GPL) όσον αφορά τον μεταγλωττιστή (javac) και το πακέτο ανάπτυξης (JDK, Java Development Kit) και από τότε ακολουθεί ανοδική πορεία. Στις 27 Απριλίου 2010 η εταιρεία λογισμικού Oracle Corporation ανακοίνωσε την εξαγορά της Sun Microsystems και των τεχνολογιών που η δεύτερη είχε στην κατοχή της.

Ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα της Java σε σχέση με τις περισσότερες άλλες γλώσσες προγραμματισμού είναι η ανεξαρτησία του λειτουργικού συστήματος και της πλατφόρμας. Τα προγράμματα που είναι γραμμένα σε Java τρέχουν με τον ίδιο τρόπο σε Windows, Linux, Unix και Macintosh χωρίς να ξαναγίνει μεταγλώττιση (compiling) ή να αλλάξει ο πηγαίος κώδικας για κάθε διαφορετικό λειτουργικό σύστημα. Αυτό συμβαίνει με την Εικονική Μηχανή (Virtual Machine - JVM). Αφού πρώτα γραφεί κάποιο πρόγραμμα σε Java, στη συνέχεια μεταγλωττίζεται μέσω του μεταγλωττιστή javac, ο οποίος παράγει έναν αριθμό από αρχεία .class (κώδικας byte ή bytecode). Ο κώδικας byte είναι η μορφή που παίρνει ο πηγαίος κώδικας της Java όταν μεταγλωττιστεί. Όταν

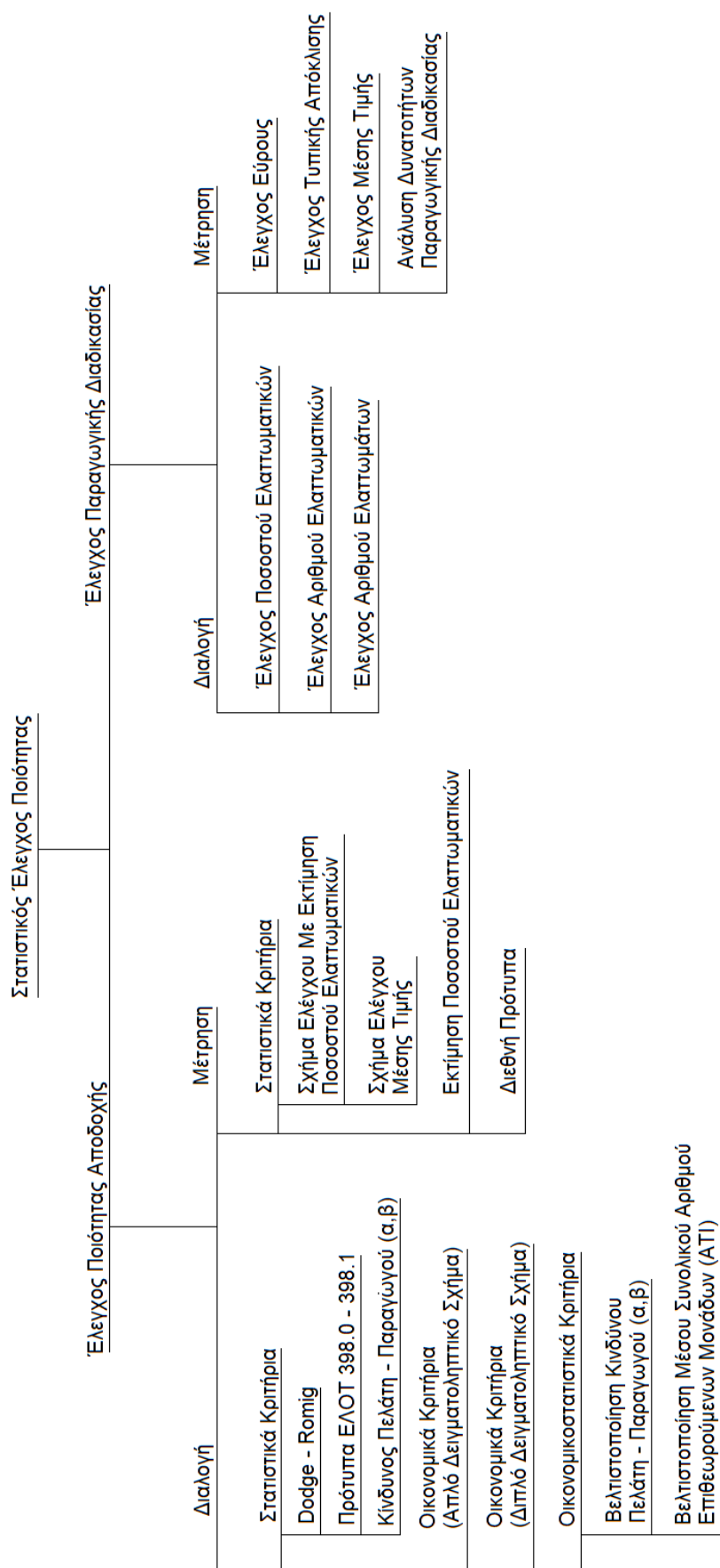
πρόκειται να εκτελεστεί η εφαρμογή σε ένα μηχάνημα, η Java Virtual Machine που πρέπει να είναι εγκατεστημένη σε αυτό θα αναλάβει να διαβάσει τα αρχεία .class. Στη συνέχεια τα μεταφράζει σε γλώσσα μηχανής που να υποστηρίζεται από το λειτουργικό σύστημα και τον επεξεργαστή, έτσι ώστε να εκτελεστεί. Χωρίς αυτή δε θα ήταν δυνατή η εκτέλεση λογισμικού το οποίο είναι γραμμένο σε Java. Η JVM είναι λογισμικό που εξαρτάται από την πλατφόρμα, δηλαδή για κάθε είδος λειτουργικού συστήματος και αρχιτεκτονικής επεξεργαστή υπάρχει διαφορετική έκδοση του. Έτσι υπάρχουν διαφορετικές JVM για Windows, Linux, Unix, Macintosh, κινητά τηλέφωνα, παιχνιδιομηχανές κλπ.

Για να γραφεί κώδικας σε Java δε χρειάζεται τίποτα παραπάνω από έναν επεξεργαστή κειμένου, όπως το Σημειωματάριο (Notepad) των Windows. Όμως, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment - IDE) είναι πολύ χρήσιμο και βοηθάει στον εντοπισμό σφαλμάτων στον κώδικα. Η ανάπτυξη του λογισμικού της διπλωματικής εργασίας έγινε με το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης NetBeans. Τέλος, όλα τα εργαλεία που χρειάζεται κάποιος για να γράψει προγράμματα σε Java παρέχονται δωρεάν.

### **3.2. Εισαγωγή στο λογισμικό**

Η ανάπτυξη του λογισμικού της διπλωματικής εργασίας έγινε με τη χρήση του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης NetBeans, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε η Java για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας, είναι το γεγονός ότι χαρακτηρίζεται για την απλότητά της κατά την ανάπτυξη του κώδικα. Περισσότεροι από 3,5 εκατομμύρια προγραμματιστές έχουν μάθει τη γλώσσα και τη χρησιμοποιούν σε διάφορους φορείς όπως αναφέρουν οι Rogers Cadenhead και Laura Lemay (Sams Teach Yourself Java 6 in 21 Days - 2007).

Για την εκτέλεση του προγράμματος αρκεί η εγκατάσταση του κατάλληλου περιβάλλοντος. Για τον παραπάνω σκοπό προτείνονται τα JDK 8 και JRE 8. Το πρόγραμμα απαρτίζεται από ένα αρχικό παράθυρο στο οποίο ο χρήστης καλείται να επιλέξει μια από τις δύο μεγάλες ομάδες του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, τον έλεγχο ποιότητας αποδοχής και τον έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας, ανάλογα με το πρόβλημα που επιθυμεί να εξετάσει. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σειρά από αντίστοιχες επιλογές για τη διευκρίνιση της φύσης του προβλήματος. Έπειτα ζητούνται από το πρόγραμμα τα απαραίτητα δεδομένα ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση και εφόσον αυτά δοθούν, το πρόγραμμα είναι έτοιμο να εκτελέσει τους κατάλληλους υπολογισμούς για την επίλυση του προβλήματος. Η δομή του προγράμματος φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.1: Δομή του προγράμματος

### **Χρήσιμες οδηγίες**

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταφερθεί σε οποιοδήποτε πεδίο του προγράμματος απλά επιλέγοντας το αντίστοιχο πεδίο. Σε περίπτωση που επιθυμεί να μεταβεί σε προηγούμενο παράθυρο αρκεί να επιλέξει το χαρακτηριστικό κουμπί που βρίσκεται στο πάνω αριστερό μέρος κάθε παραθύρου του προγράμματος (εκτός του αρχικού). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που έχει προηγηθεί η εισαγωγή δεδομένων και στη συνέχεια ο χρήστης επιθυμεί να μεταβεί σε προηγούμενο παράθυρο, όλα τα δεδομένα διαγράφονται.

### **Εισαγωγή δεδομένων**

Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται στα κενά πλαίσια που βρίσκονται δίπλα από κάθε στοιχείο που απαιτεί το πρόγραμμα ανάλογα με την περίπτωση. Γενικά αν ο χρήστης σύρει τον κέρσορα και τον αφήσει πάνω στο πλαίσιο που επιθυμεί να συμπληρώσει το πρόγραμμα θα εμφανίσει το πεδίο ορισμού του. Έτσι το πρόγραμμα βοηθάει κατά κάποιο τρόπο στη συμπλήρωση των απαραίτητων δεδομένων. Έπειτα από τη συμπλήρωση του κάθε κελιού το πρόγραμμα πραγματοποιεί αυτόματο έλεγχο για την ορθότητα της τιμής που έχει δώσει ο χρήστης. Σε περίπτωση εσφαλμένης τιμής το αντίστοιχο κελί γίνεται κόκκινο και η εκτέλεση του υπολογισμού της λύσης του προβλήματος δεν είναι δυνατή μέχρι τη διόρθωση του σφάλματος από τον χρήστη.

### **3.3. Επίλυση προβλημάτων ελέγχου ποιότητας αποδοχή**

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται η ανάλυση του λογισμικού στα πλαίσια του ελέγχου ποιότητας αποδοχής. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο κατηγορίες, τη διαλογή ή τη μέτρηση, η κάθε μια από τις οποίες δίνει λύσεις στα αντίστοιχα προβλήματα. Στη διαλογή πραγματοποιείται επίλυση προβλημάτων τόσο στατιστικής όσο και οικονομικής φύσεως. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων με στατιστικά κριτήρια είναι τρεις, το πρότυπο Dodge-Romig, το πρότυπο ΕΛΟΤ 398.0-398.1 και η μέθοδος των κινδύνων πελάτη-παραγωγού. Για τα προβλήματα οικονομικής φύσης γίνεται μελέτη και βελτιστοποίηση της συνάρτησης κόστους για απλά και διπλά δειγματοληπτικά σχήματα. Επίσης, το πρόγραμμα προσφέρει τη δυνατότητα για μελέτη και βελτιστοποίηση της συνάρτησης κόστους με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί ταυτόχρονα και στατιστικές απαιτήσεις (κίνδυνος πελάτη-παραγωγού, μέσος συνολικός αριθμός επιθεωρούμενων μονάδων ΑΤΙ) που θέτει ο χρήστης. Αντίστοιχα στη μέτρηση έγινε η ανάπτυξη μεθόδων που δίνουν λύσεις σε στατιστικά προβλήματα. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρθηκαν οι λόγοι για τους οποίους η οικονομική μελέτη σε αυτή την περίπτωση δεν έχει γνωρίσει μεγάλη εφαρμογή. Για την κάθε περίπτωση παρουσιάζονται οι απαιτήσεις του λογισμικού όσον αφορά τα δεδομένα που καλείται να εισχωρήσει ο χρήστης και οι πληροφορίες - λύσεις που αυτό παρέχει με τη σειρά του.

## Διαλογή

- Στατιστικά κριτήρια
1. Dodge – Romig

Dodge - Romig

Επιλογή σχήματος

Απλό δειγματοληπτικό σχήμα

Διπλό δειγματοληπτικό σχήμα

Όριο μέσης εξερχόμενης ποιότητας (AOQL) (%)

Απορριπτέα στάθμη ποιότητας (LTPD) (%)

Μέγεθος παρτίδας (N)

Πιθανότερη τιμή ποσοστού ελαττωματικών επί τοις εκατό (%)

OK

Υπολόγισε

### Απαιτήσεις:

Ο χρήστης καλείται αρχικά να διαλέξει το είδος του δειγματοληπτικού σχήματος (απλό ή διπλό δειγματοληπτικό σχήμα) που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει για τον έλεγχο του. Στη συνέχεια επιλέγει το στατιστικό στοιχείο (AOQL ή LTPD) του οποίου την τιμή επιθυμεί να πετύχει και ορίζει την τιμή αυτή. Επίσης, πρέπει να δηλώσει το μέγεθος της παρτίδας (N) που ελέγχεται και την πιθανότερη τιμή του ποσοστού ελαττωματικών αυτής, η οποία αντιστοιχεί στην τιμή Process Average των πινάκων του προτύπου όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο. Εφόσον γίνουν τα

παραπάνω βήματα ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει πατώντας το κουμπί “OK” και στη συνέχεια “Υπολόγισε” ώστε το λογισμικό να λύσει το πρόβλημα.

Αποτελέσματα:

Το λογισμικό κάνοντας χρήση των πινάκων του προτύπου Dodge – Romig βρίσκει το βέλτιστο δειγματοληπτικό σχήμα που ικανοποιεί τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης. Τα στοιχεία που εκτυπώνονται είναι οι χαρακτηριστικές παράμετροι του δειγματοληπτικού σχήματος ( $n$ ,  $c$ , για απλό ή  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  για διπλό δειγματοληπτικό σχήμα) καθώς επίσης και το AOQL ή LTPD ανάλογα με την περίπτωση. Ο αριθμός αποδοχής  $c_2$  του προτύπου αναφέρεται στο άθροισμα των αριθμών αποδοχής του πρώτου και του δεύτερου δείγματος. Σημειώνεται πως όλες οι τιμές των στοιχείων των πινάκων Dodge – Romig έχουν υπολογιστεί με κίνδυνο πελάτη  $\beta=0,1$ .

## 2. Πρότυπα ΕΛΟΤ 398.0 – 398.1

Πρότυπα ΕΛΟΤ 398.0-398.1

←

Μέγεθος Παρτίδας (N)

Αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL) (%)

**Στάθμες Ποιότητας**

Ειδικές Στάθμες

Γενικές Στάθμες

**Είδος ελέγχου**

Κανονικός

Αυστηρός

Ελαστικός

OK

Υπολόγισε

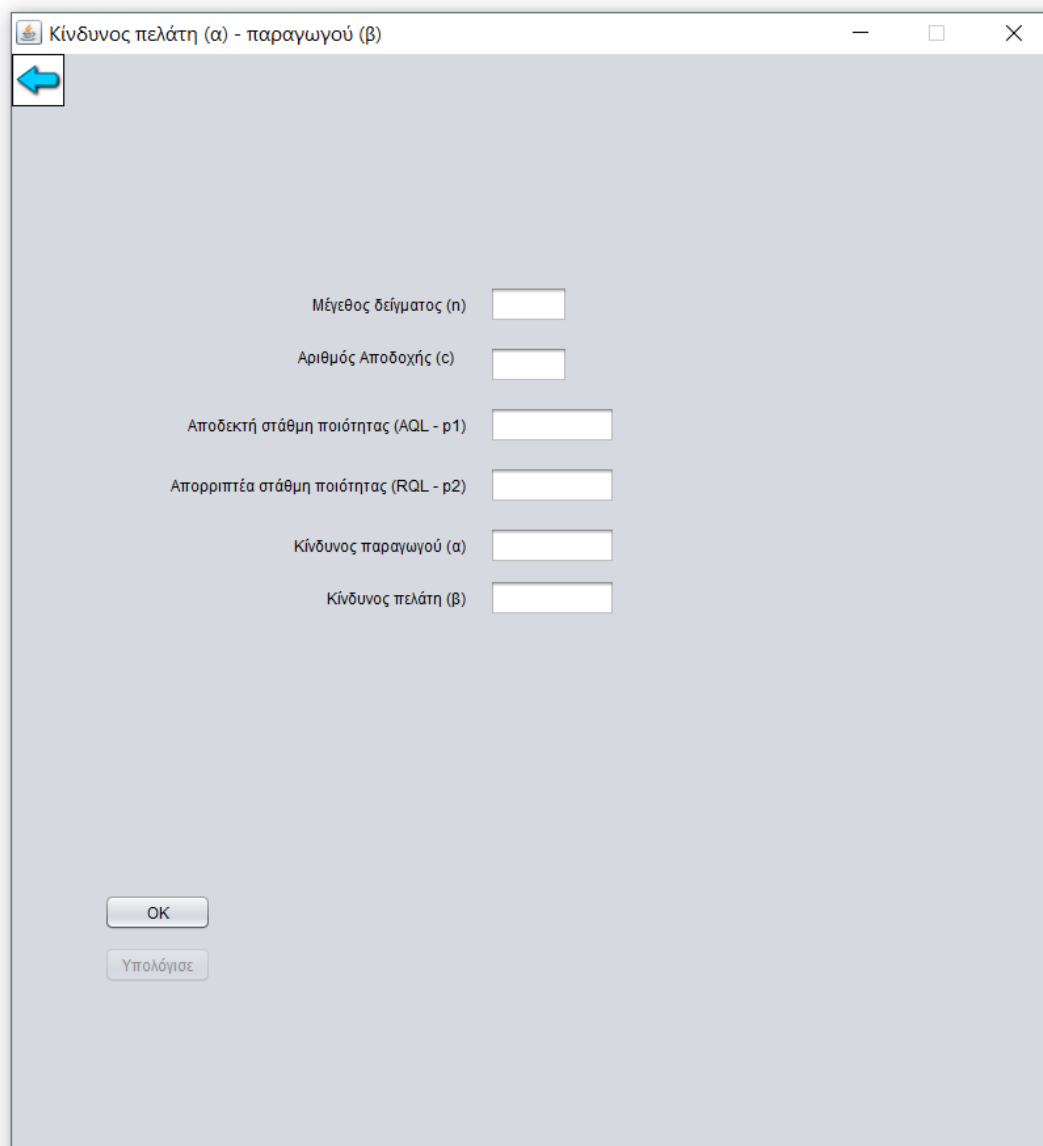
Απαιτήσεις:

Στην περίπτωση των προτύπων ΕΛΟΤ 398.0-398.1 ο χρήστης καλείται να δηλώσει το μέγεθος της παρτίδας (N) και την αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AOQL). Στη συνέχεια διαλέγει μια στάθμη ποιότητας από τις επτά που ορίζει το πρότυπο και επιλέγει το είδος ελέγχου που επιθυμεί ανάμεσα σε κανονικό, ελαστικό και αυστηρό έλεγχο.

Αποτελέσματα:

Το λογισμικό κάνοντας χρήση των πινάκων του προτύπου καταλήγει στο βέλτιστο δειγματοληπτικό σχήμα που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη και εμφανίζει τις χαρακτηριστικές του παραμέτρους (μέγεθος δείγματος n, αριθμός αποδοχής Ac, αριθμός απόρριψης Re)

### 3. Κίνδυνος πελάτη (α) – παραγωγού (β)



Κίνδυνος πελάτη (α) - παραγωγού (β)

←

Μέγεθος δείγματος (n)

Αριθμός Αποδοχής (c)

Αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL - p1)

Απορριπτέα στάθμη ποιότητας (RQL - p2)

Κίνδυνος παραγωγού (α)

Κίνδυνος πελάτη (β)

OK

Υπολόγισε



#### Απαιτήσεις:

Για τη στατιστική σχεδίαση του σχήματος ελέγχου αποδοχής με κριτήρια τους κινδύνους πελάτη και παραγωγού, ο χρήστης πρέπει να ορίσει αρχικά το μέγεθος δείγματος  $n$  και τον αριθμό αποδοχής  $c$ . Το λογισμικό είναι προγραμματισμένο να ελέγχει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των παραμέτρων του σχήματος ελέγχου αποδοχής. Έτσι για παράδειγμα αν  $n=10$  και  $c=2$  τότε το πρόγραμμα θα ελέγξει όλους τους συνδυασμούς από τον  $n=1$  και  $c=0$  μέχρι και τον  $n=10$  και  $c=2$ . Επιπλέον, ο χρήστης πρέπει να ορίσει την αποδεκτή και την απορριπτή στάθμη ποιότητας καθώς και τους κινδύνους πελάτη και παραγωγού τους οποίους δεν επιθυμεί να ξεπερνάνε οι αντίστοιχες τιμές του σχήματος ελέγχου αποδοχής που θα εφαρμοστεί.

#### Αποτελέσματα:

Το λογισμικό προσδιορίζει το δειγματοληπτικό σχήμα που παρουσιάζει τη μικρότερη δυνατή απόκλιση από τις επιθυμητές τιμές των κινδύνων πελάτη και παραγωγού έχοντας σαν μέτρο το άθροισμα των απόλυτων τιμών των διαφορών των κινδύνων πελάτη και παραγωγού του δειγματοληπτικού σχήματος που ελέγχεται από τις επιθυμητές τιμές που έχει ορίσει ο χρήστης. Μετά από την ολοκλήρωση της βελτιστοποίησης το πρόγραμμα εμφανίζει το μέγεθος δείγματος, τον αριθμό αποδοχής και τους κινδύνους πελάτη και παραγωγού που ικανοποιούν τις συνθήκες.

- Οικονομικά κριτήρια

1. Απλό δειγματοληπτικό σχήμα

Οικονομικά Κριτήρια (Απλό Δειγματοληπτικό Σχήμα)

Οικονομική βελτιστοποίηση  Υπολογισμός κόστους

Αριθμός διαφορετικών παρτίδων

Πιθανότητα ελαττωματικών παρτίδας

Κόστος ανα τεμάχιο (ci)

Κόστος ελαττωματικών (cd)

Κόστος επιδιόρθωση ανα τεμάχιο (cr)

Μέγεθος παρτίδας (N)

Μέγεθος δείγματος (n)

Αριθμός αποδοχής (c)

#### Απαιτήσεις:

Για τη μελέτη των απλών δειγματοληπτικών σχημάτων ο χρήστης αρχικά επιλέγει μεταξύ “Οικονομικής βελτιστοποίησης” και “Υπολογισμού κόστους”. Στην πρώτη περίπτωση το λογισμικό προσδιορίζει το δειγματοληπτικό σχήμα που ελαχιστοποιεί την τιμή της συνάρτησης κόστους ελέγχοντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς του μεγέθους δείγματος και του αριθμού αποδοχής που έχει ορίσει ο χρήστης. Σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης καλείται να δηλώσει επιπλέον τις

τιμές της αποδεκτής και της απορριπτέας στάθμης ποιότητας που αποσκοπούν στον υπολογισμό των κινδύνων πελάτη και παραγωγού. Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται ο υπολογισμός της τιμής της συνάρτησης κόστους για το δειγματοληπτικό σχήμα με παραμέτρους  $n$  και  $c$  που έχει ορίσει ο χρήστης. Ο χρήστης αρχικά δηλώνει τον αριθμό των παρτίδων που αποτελούνται από διαφορετικό ποσοστό ελαττωματικών μονάδων και στη συνέχεια ορίζει το ποσοστό εμφάνισης της κάθε παρτίδας και του ποσοστού των ελαττωματικών μονάδων που περιέχονται σε αυτή. Για να σχεδιαστεί η συνάρτηση κόστους πρέπει να οριστούν επίσης τα μεγέθη κόστους όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2. Για αυτό ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις τιμές του κόστους ελέγχου ανά τεμάχιο  $c_i$ , του κόστους ελαττωματικών  $c_d$  και του κόστους επιδιόρθωσης ανά μονάδα  $c_r$ . Τέλος, ορίζονται οι τιμές του μεγέθους παρτίδας, του μεγέθους δείγματος και του αριθμού αποδοχής.

Αποτελέσματα:

Για την οικονομική σχεδίαση του απλού δειγματοληπτικού σχήματος ελέγχου αποδοχής, το λογισμικό αφού εκτελέσει τους απαραίτητους υπολογισμούς για τη βελτιστοποίηση της συνάρτησης κόστους εκτυπώνει την τιμή του κόστους, τις παραμέτρους  $n$  και  $c$  του βέλτιστου δειγματοληπτικού σχήματος καθώς επίσης και τους κινδύνους παραγωγού και πελάτη για το συγκεκριμένο σχήμα. Στην περίπτωση του “Υπολογισμού κόστους” το λογισμικό υπολογίζει και εκτυπώνει την τιμή της συνάρτησης κόστους για το δειγματοληπτικό σχήμα που έχει ορίσει ο χρήστης.

## 2. Διπλό δειγματοληπτικό σχήμα

Οικονομικά Κριτήρια (Διπλό Δειγματοληπτικό Σχήμα)

Οικονομική Βελτιστοποίηση  Υπολογισμός Κόστους

Αριθμός διαφορετικών παρτίδων

Πιθανότητα ελαττωματικών παρτίδας

Πιθανότητα εμφάνισης παρτίδας

Κόστος ανα τεμάχιο ( $c_i$ )

Κόστος ελαττωματικών ( $c_d$ )

Κόστος επιδιόρθωσης ανα τεμάχιο ( $c_r$ )

Μέγεθος Παρτίδας ( $N$ )

Μέγεθος δείγματος ( $n_1$ )  Μέγεθος δείγματος ( $n_2$ )

Αριθμός αποδοχής ( $c_1$ )  Αριθμός αποδοχής ( $c_2$ )

Αριθμός απόρριψης ( $r_1$ )  Αριθμός απόρριψης ( $r_2$ )

Στην περίπτωση της οικονομικής σχεδίασης του διπλού δειγματοληπτικού σχήματος η λειτουργία είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που αναλύθηκε και στο απλό δειγματοληπτικό σχήμα με τη βασική διαφορά ότι ο χρήστης καλείται να ορίσει τις τιμές των παραμέτρων του διπλού δειγματοληπτικού σχήματος (μέγεθος δείγματος, αριθμός αποδοχής και αριθμός απόρριψης για το πρώτο και το δεύτερο δείγμα αντίστοιχα).

- Οικονομικοστατιστικά κριτήρια

1. Βελτιστοποίηση συνάρτησης κόστους με βάση τους κινδύνους πελάτη-παραγωγού ( $\alpha, \beta$ )

Βελτιστοποίηση Κινδύνου πελάτη-παραγωγού ( $\alpha, \beta$ )

←

Αριθμός Διαφορετικών Παρτίδων

Πιθανότητα ελαττωματικών παρτίδας

Πιθανότητα εμφάνισης παρτίδας

Κόστος ανα τεμάχιο ( $c_i$ )

Κόστος ελαττωματικών ( $c_d$ )

Κόστος επιδιόρθωσης ανα τεμάχιο ( $c_r$ )

Μέγεθος παρτίδας ( $N$ )

Κίνδυνος παραγωγού ( $\alpha$ )

Κίνδυνος πελάτη ( $\beta$ )

Μέγεθος δείγματος ( $n$ )

Αριθμός αποδοχής ( $c$ )

Αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL)

Απορριπτέα στάθμη ποιότητας (RQL)

Απαιτήσεις:

Η χρήση αυτής της μεθόδου παρέχει τη δυνατότητα της βελτιστοποίησης της συνάρτησης κόστους για απλά δειγματοληπτικά σχήματα με την ταυτόχρονη ικανοποίηση του στατιστικού κριτηρίου για τους κινδύνους πελάτη και παραγωγού που ορίζει ο χρήστης. Έτσι, η λειτουργία και αυτής της μεθόδου είναι η ίδια με αυτήν των οικονομικών κριτηρίων για απλά δειγματοληπτικά σχήματα με

μόνη διαφορά ότι ο χρήστης πρέπει να δηλώσει τις τιμές των κινδύνων πελάτη και παραγωγού που δεν επιθυμεί να υπερβαίνουν οι αντίστοιχες τιμές του βέλτιστου δειγματοληπτικού σχήματος.

Αποτελέσματα:

Τα αποτελέσματα που μας παρέχει το λογισμικό σε αυτήν την περίπτωση είναι τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν και παραπάνω.

## 2. Βελτιστοποίηση συνάρτησης κόστους με βάση τον μέσο συνολικό αριθμό επιθεωρούμενων μονάδων (ATI)

Βελτιστοποίηση Μέσου συνολικού αριθμού επιθεωρούμενων μονάδων (ATI)

←

Αριθμός Διαφορετικών Παρτίδων

Πιθανότητα ελαττωματικών παρτίδας

Πιθανότητα εμφάνισης παρτίδας

Κόστος ανα τεμάχιο ( $c_i$ )

Κόστος ελαττωματικών ( $c_d$ )

Κόστος επιδιόρθωσης ανα τεμάχιο ( $c_r$ )

Μέγεθος παρτίδας ( $N$ )

Μέγεθος δείγματος ( $n$ )

Αριθμός αποδοχής ( $c$ )

Μέσος συνολικός αριθμός επιθεωρούμενων μονάδων (ATI)

Αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL)

Απορριπτέα στάθμη ποιότητας (RQL)

Απαιτήσεις:

Σε αυτό το πεδίο δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα να μελετήσει τη συνάρτηση κόστους για απλά δειγματοληπτικά σχήματα με τέτοιο τρόπο ώστε το δειγματοληπτικό σχήμα που θα επιλεγεί να έχει ορισμένη τιμή μέσου συνολικού αριθμού επιθεωρούμενων μονάδων (ATI). Ο χρήστης πρέπει να ορίσει τις τιμές των μεγεθών που αναλύθηκαν και παραπάνω και επιπλέον την τιμή του μέσου συνολικού αριθμού επιθεωρούμενων μονάδων (ATI) που δεν επιθυμεί να υπερβαίνει το βέλτιστο δειγματοληπτικό σχήμα.

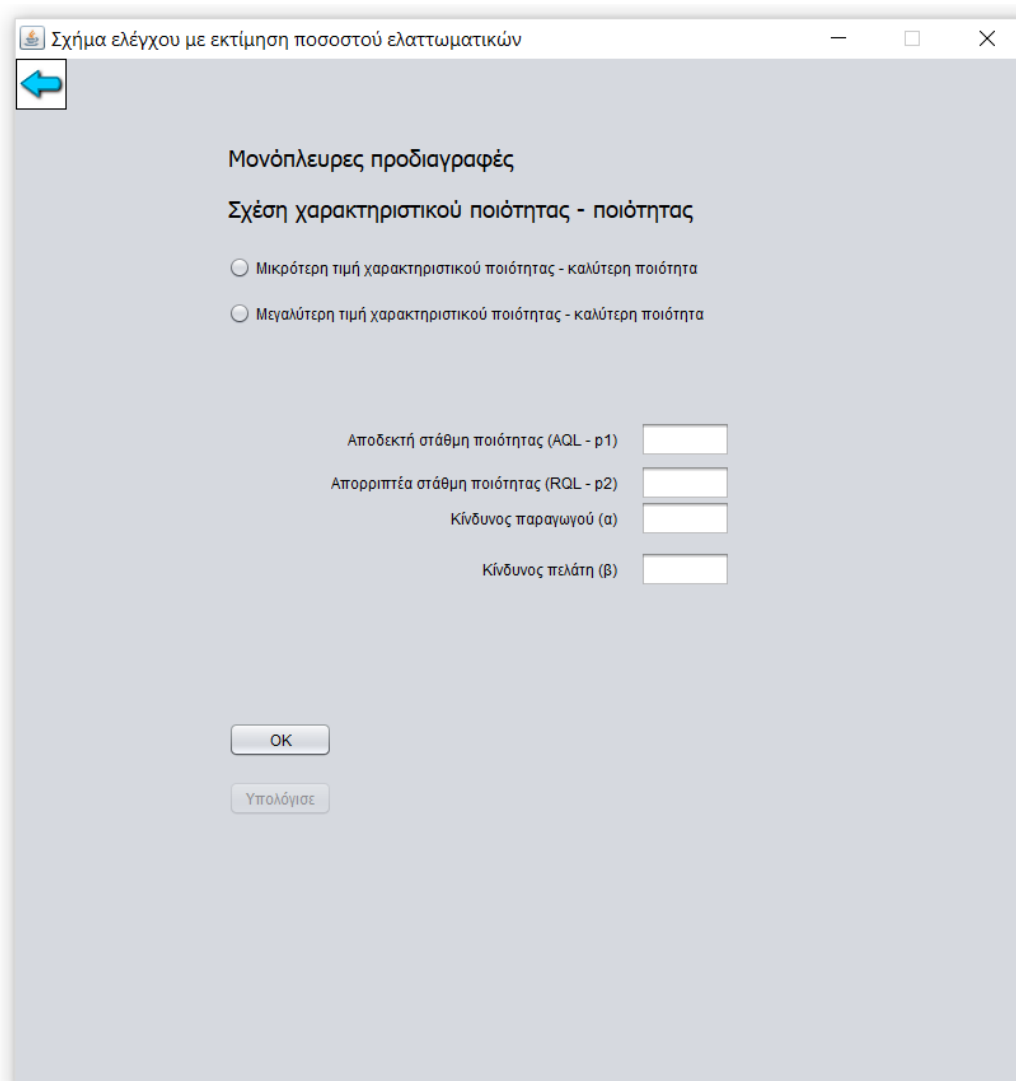
Αποτελέσματα:

Το πρόγραμμα εκτυπώνει επιπλέον τον μέσο συνολικό αριθμό επιθεωρούμενων μονάδων (ATI) του βέλτιστου δειγματοληπτικού σχήματος μαζί με τα υπόλοιπα μεγέθη που ήδη αναφέρθηκαν.

## Μέτρηση

- Στατιστικά κριτήρια

### 1. Σχήμα ελέγχου με εκτίμηση ποσοστού ελαττωματικών



Σχήμα ελέγχου με εκτίμηση ποσοστού ελαττωματικών

Μονόπλευρες προδιαγραφές

Σχέση χαρακτηριστικού ποιότητας - ποιότητας

Μικρότερη τιμή χαρακτηριστικού ποιότητας - καλύτερη ποιότητα

Μεγαλύτερη τιμή χαρακτηριστικού ποιότητας - καλύτερη ποιότητα

Αποδεκτή στάθμη ποιότητας (AQL - p1)

Απορριπτέα στάθμη ποιότητας (RQL - p2)

Κίνδυνος παραγωγού (α)

Κίνδυνος πελάτη (β)

OK

Υπολόγισε

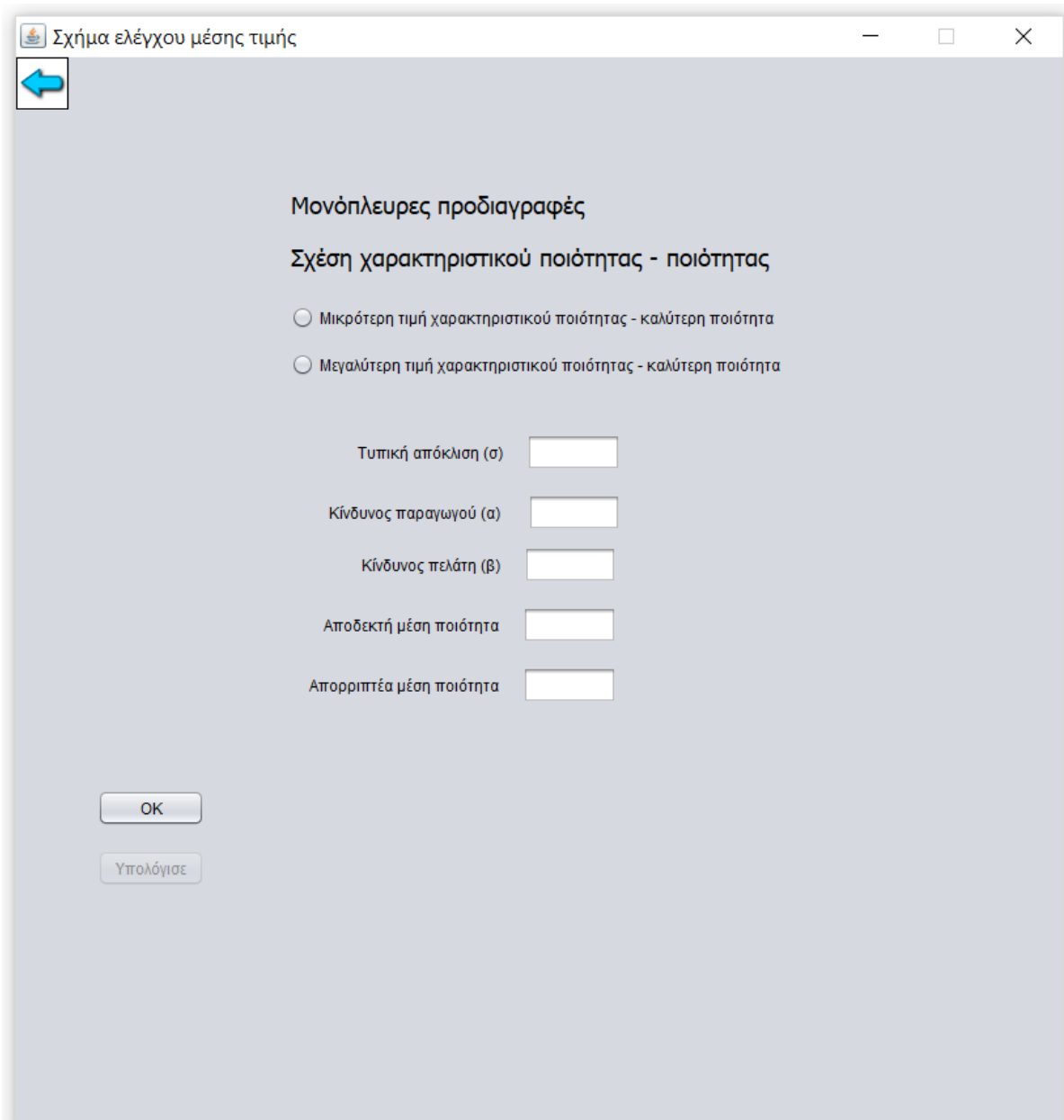
Απαιτήσεις:

Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί να οριστεί η σχέση μεταξύ χαρακτηριστικού ποιότητας και ποιότητας και να δηλωθούν οι τιμές της αποδεκτής και της απορριπτέας στάθμης ποιότητας καθώς και των κινδύνων πελάτη και παραγωγού.

Αποτελέσματα:

Έπειτα από υπολογισμούς που κάνουν χρήση της αθροιστικής ανηγμένης κανονικής κατανομής το λογισμικό καταλήγει στις παραμέτρους  $n, k$  και  $n, M$  των διαδικασιών 1 και 2 αντίστοιχα του σχήματος ελέγχου αποδοχής με εκτίμηση ποσοστού ελαττωματικών του οποίου η καμπύλη διέρχεται από τα σημεία  $(p_1, 1-\alpha)$  και  $(p_2, \beta)$  που έχει ορίσει ο χρήστης.

## 2. Σχήμα ελέγχου μέσης τιμής



Σχήμα ελέγχου μέσης τιμής

Μονόπλευρες προδιαγραφές

Σχέση χαρακτηριστικού ποιότητας - ποιότητας

Μικρότερη τιμή χαρακτηριστικού ποιότητας - καλύτερη ποιότητα

Μεγαλύτερη τιμή χαρακτηριστικού ποιότητας - καλύτερη ποιότητα

Τυπική απόκλιση ( $\sigma$ )

Κίνδυνος παραγωγού ( $\alpha$ )

Κίνδυνος πελάτη ( $\beta$ )

Αποδεκτή μέση ποιότητα

Απορριπτέα μέση ποιότητα

OK

Υπολόγισε



## Απαιτήσεις:

Και σε αυτό το πεδίο το λογισμικό απαιτεί να οριστεί η σχέση μεταξύ χαρακτηριστικού ποιότητας και ποιότητας και να δηλωθούν οι τιμές της αποδεκτής και της απορριπτέας στάθμης ποιότητας καθώς και των κινδύνων πελάτη και παραγωγού. Επιπλέον, ο χρήστης πρέπει να δηλώσει την τιμή της τυπικής απόκλισης καθώς είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της μέσης τιμής του σχήματος ελέγχου.

## Αποτελέσματα:

Έπειτα από υπολογισμούς το λογισμικό καταλήγει στις παραμέτρους του σχήματος ελέγχου αποδοχής μέσης τιμής, οι οποίες είναι το μέγεθος δείγματος και την οριακή μέση τιμή δείγματος. Με αυτόν τον τρόπο σχεδιάζεται δειγματοληπτικό σχήμα του οποίου η καμπύλη διέρχεται από τα σημεία  $(\mu_1, 1-\alpha)$  και  $(\mu_2, \beta)$  που έχει ορίσει ο χρήστης.

- Εκτίμηση ποσοστού ελαττωματικών

Εκτίμηση Ποσοστού Ελαττωματικών

←

Μέση τιμή ( $\mu$ )

Τυπική απόκλιση ( $\sigma$ )

Άνω όριο προδιαγραφών

Κάτω όριο προδιαγραφών

Μέγεθος δείγματος ( $n$ )

OK

Υπολόγισε

Απαιτήσεις:

Για την εκτίμηση του ποσοστού ελαττωματικών ο χρήστης πρέπει να ορίσει το μέγεθος δείγματος, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της κατανομής του χαρακτηριστικού καθώς επίσης και τα όρια προδιαγραφών.

Αποτελέσματα:

Το λογισμικό έπειτα από τη χρήση της διαδικασίας 2 καταλήγει στην εκτιμήτρια του ποσοστού ελαττωματικών.

- Διεθνή πρότυπα

Διεθνή Πρότυπα

←

Μέγεθος Παρτίδας (N)

Αποδεκτή στάθμη ποιότητας Άνω Ορίου (AQLU) (%)

Αποδεκτή στάθμη ποιότητας Κάτω Ορίου (AQLL) (%)

Μέση τιμή

Τυπική Απόκλιση

**Στάθμες Ποιότητας**

**Είδος ελέγχου**

Κανονικός  Αυστηρός  Ελαστικός

**Μεταβλητότητα**

Άγνωστη  Γνωστή

**Επιλογή διαδικασίας**

Διαδικασία 1  Διαδικασία 2

**Όρια Προδιαγραφών**

Άνω όριο προδιαγραφών (U)

Κάτω όριο προδιαγραφών (L)

Απαιτήσεις:

Η μέθοδος των διεθνών προτύπων βασίζεται στο πρότυπο ANSI/ASQC Z1.9-2008. Ο χρήστης καλείται να δηλώσει το μέγεθος της παρτίδας, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του χαρακτηριστικού ποιότητας. Επίσης, πρέπει να δηλώσει τις επιθυμητές αποδεκτές στάθμες ποιότητας άνω και κάτω ορίου οι οποίες μετατρέπονται στις προτυποποιημένες τιμές αποδεκτής στάθμης ποιότητας που ορίζει το πρότυπο. Επιπλέον, ο χρήστης καλείται να επιλέξει μια από τις στάθμες ποιότητας (S-3, S-4, I, II, III) που ορίζει το πρότυπο καθώς επίσης και το είδος ελέγχου που επιθυμεί (κανονικός, αυστηρός, ελαστικός). Επιπροσθέτως, πρέπει να δηλώσει αν η μεταβλητότητα θεωρείται άγνωστη κατά την επιλογή των παραμέτρων από τους πίνακες του προτύπου καθώς οι τιμές των παραμέτρων διαφέρουν ανάλογα με την περίπτωση. Τέλος, ο χρήστης ορίζει το άνω και κάτω όριο των προδιαγραφών και επιλέγει τη διαδικασία (1 ή 2) με την οποία επιθυμεί να γίνει ο έλεγχος για την αποδοχή ή την απόρριψη της παρτίδας.

Αποτελέσματα:

Το λογισμικό κάνοντας χρήση του προτύπου ANSI/ASQC Z1.9-2008 καταλήγει στο συμπέρασμα για την αποδοχή ή την απόρριψη της παρτίδας. Επιπλέον, εκτυπώνεται το μέγεθος του δείγματος με βάση το πρότυπο καθώς επίσης και οι τιμές των παραμέτρων ανάλογα με τη διαδικασία που έχει επιλεγεί. Επίσης, παρουσιάζονται οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν για τη λήψη της απόφασης αποδοχής ή απόρριψης της παρτίδας.

### **3.4. Επίλυση προβλημάτων ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας**

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται η ανάλυση του λογισμικού στο πεδίο του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα σε τρεις εφαρμογές, την ανάλυση παραγωγικής διαδικασίας, τη διαλογή ή τη μέτρηση. Στα πλαίσια της ανάλυσης παραγωγικής διαδικασίας πραγματοποιείται έλεγχος της υπόθεσης ότι οι μετρήσεις ακολουθούν κανονική κατανομή. Η διαλογή αποτελείται από τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής τα οποία διακρίνονται σε διαγράμματα ελέγχου ποσοστού ελαττωματικών, ελέγχου αριθμού ελαττωματικών και ελέγχου αριθμού ελαττωμάτων. Αντίστοιχα η μέτρηση αποτελείται από τα διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης τα οποία διακρίνονται σε διαγράμματα ελέγχου εύρους, ελέγχου τυπικής απόκλισης και ελέγχου μέσης τιμής.

## Ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας

Ανάλυση Δυνατοτήτων Παραγωγικής Διαδικασίας

←

Αριθμός τεμαχίων (n)

Αριθμός δειγμάτων (m)

Άνω Όριο Προδιαγραφών

Κάτω Όριο Προδιαγραφών

Μέση τιμή

Δείγμα

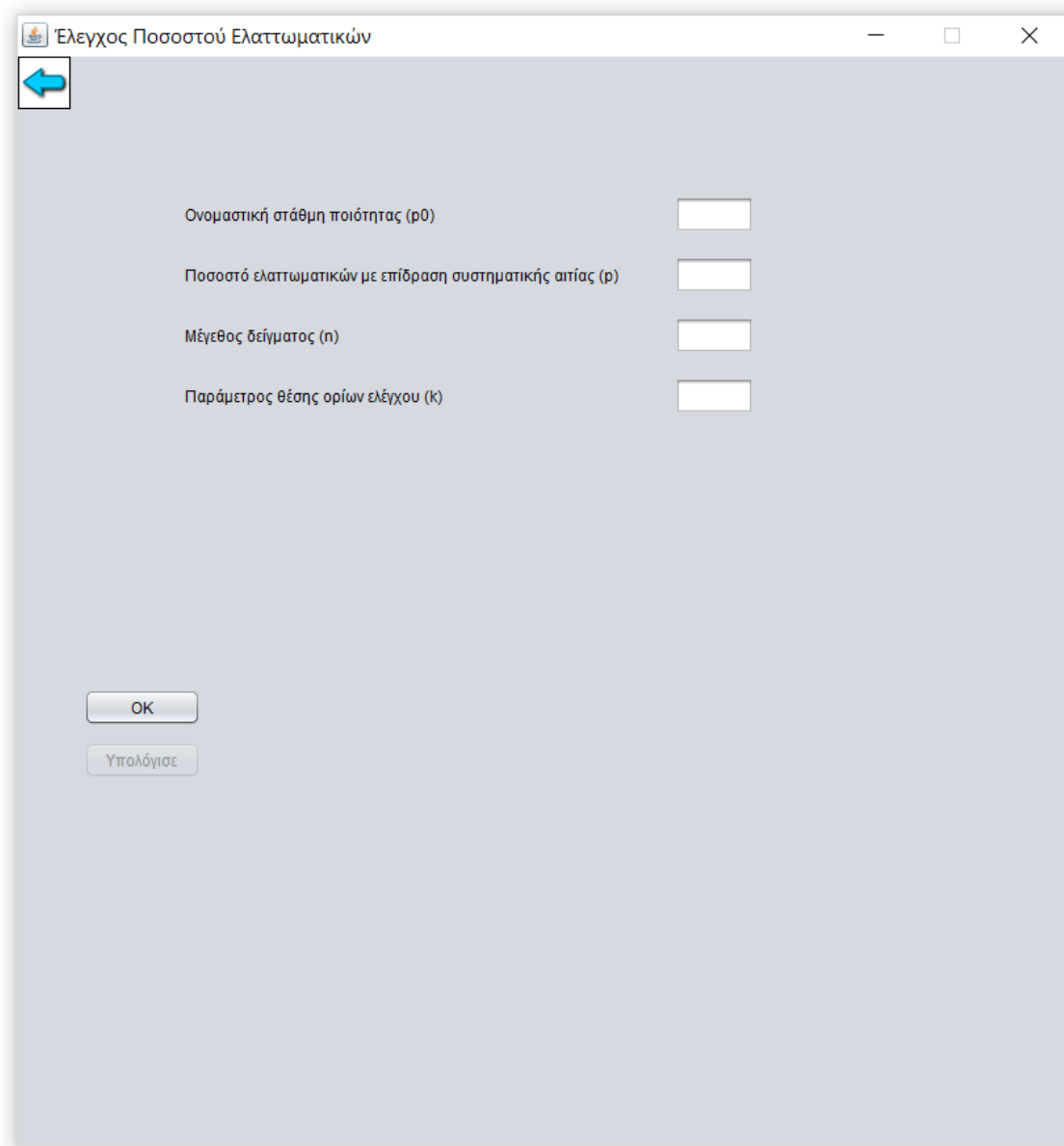
### Απαιτήσεις:

Για την ανάλυση δυνατοτήτων παραγωγικής διαδικασίας ο χρήστης πρέπει να δηλώσει τον αριθμό των δειγμάτων, τον αριθμό των τεμαχίων που περιέχει κάθε δείγμα και στη συνέχεια να εισάγει τις τιμές των μετρήσεων για τα αντίστοιχα τεμάχια. Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν τα όρια προδιαγραφών τα οποία μπορεί να είναι μονόπλευρα ή και αμφίπλευρα. Ο χρήστης μπορεί στην περίπτωση που επιθυμεί να δηλώσει και την ονομαστική μέση τιμή του χαρακτηριστικού αλλιώς αυτή υπολογίζεται από τις τιμές των μετρήσεων.

Αποτελέσματα:

Το λογισμικό είναι σχεδιασμένο να υπολογίζει την εκτίμηση της διασποράς με βάση τα εύρη των δειγμάτων και με βάση την τυπική απόκλιση δείγματος. Όταν οι δύο εκτιμήσεις συμπίπτουν με ακρίβεια δευτέρου δεκαδικού είναι ασφαλής η μηδενική υπόθεση ότι οι συγκεκριμένες μετρήσεις έχουν προέλθει από χαρακτηριστικό, η τιμή του οποίου ακολουθεί την κανονική κατανομή και συνεπώς η πιθανότητα του ποσοστού ελαττωματικών ισοδυναμεί με την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή να πάρει τιμή εκτός των ορίων. Σε αντίθετη περίπτωση η μηδενική υπόθεση είναι εσφαλμένη.

- **Διαλογή**
  - **Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών διαλογής**
1. **Έλεγχος ποσοστού ελαττωματικών**



Έλεγχος Ποσοστού Ελαττωματικών

←

Όνομαστική στάθμη ποιότητας ( $p_0$ )

Ποσοστό ελαττωματικών με επίδραση συστηματικής αιτίας ( $p$ )

Μέγεθος δείγματος ( $n$ )

Παράμετρος θέσης ορίων ελέγχου ( $k$ )

OK

Υπολόγισε

Απαιτήσεις:

Στον έλεγχο ποσοστού ελαττωματικών είναι απαραίτητο να οριστούν: η ονομαστική στάθμη ποιότητας ( $\rho_0$ ), το ποσοστό ελαττωματικών υπό την επίδραση της συστηματικής αιτίας ( $\rho$ ), το μέγεθος δείγματος ( $n$ ) και η παράμετρος θέσης ορίων ελέγχου ( $k$ ).

Αποτελέσματα:

Το πρόγραμμα εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία των διαγραμμάτων ελέγχου καταλήγει στην κεντρική γραμμή (ΚΓ) και τα όρια ελέγχου του διαγράμματος (ΑΟΕ και ΚΟΕ). Σε περίπτωση που το κάτω όριο ελέγχου (ΚΟΕ) έχει αρνητική τιμή, ορίζεται ΚΟΕ=0. Σημειώνεται πως στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές η τιμή της παραμέτρου θέσης ορίων ελέγχου ( $k$ ) ισούται με τρία. Επιπλέον, υπολογίζονται η πιθανότητα σφάλματος πρώτου είδους ( $\alpha$ ) καθώς και η ισχύς του διαγράμματος με την επίδραση της συστηματικής αιτίας ( $1-\beta$ ). Αντίστοιχη είναι και η λειτουργία των υπόλοιπων διαγραμμάτων ελέγχου διαλογής. Για τον λόγο αυτό οι λειτουργίες των διαγραμμάτων ελέγχου αριθμού ελαττωματικών και ελέγχου αριθμού ελαττωμάτων είναι περιττό να σχολιαστούν σε αυτήν την ενότητα.

- Μέτρηση
  - Διαγράμματα ελέγχου χαρακτηριστικών μέτρησης
1. Έλεγχος μέσης τιμής

Έλεγχος Μέσης Τιμής

←

Αριθμός τεμαχίων (n)

Αριθμός δειγμάτων (m)

Δείγμα  +

Παράμετρος θέσης ορίων ελέγχου (k)

Τυπική απόκλιση (σ)

Μέση τιμή (μ)

OK

Υπολόγισε

Απαιτήσεις:

Στον έλεγχο μέσης τιμής ο χρήστης καλείται αρχικά να δηλώσει τον αριθμό των δειγμάτων, τον αριθμό των τεμαχίων που περιέχει κάθε δείγμα και στη συνέχεια να εισάγει τις τιμές των μετρήσεων για τα αντίστοιχα τεμάχια. Έπειτα πρέπει να οριστεί η παράμετρος θέσης ορίων ελέγχου (k). Τέλος, ο χρήστης επιλέγει αν επιθυμεί να ορίσει επιπλέον τη μέση τιμή (μ) και την τυπική απόκλιση (σ) της κατανομής του χαρακτηριστικού ποιότητας. Σε περίπτωση που δεν οριστούν οι τιμές των μ και σ υπολογίζονται από το λογισμικό με βάση τις τιμές των μετρήσεων που έχουν εισαχθεί.

Αποτελέσματα:

Το πρόγραμμα εφαρμόζοντας σε πρώτη φάση τη μεθοδολογία των διαγραμμάτων ελέγχου καταλήγει στην κεντρική γραμμή (ΚΓ) και τα όρια ελέγχου του διαγράμματος (ΑΟΕ και ΚΟΕ). Εάν το κάτω όριο ελέγχου (ΚΟΕ) έχει αρνητική τιμή, ορίζεται  $ΚΟΕ=0$ . Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο έλεγχος για να εντοπιστεί αν κάποιο δείγμα δεν πληρεί τις προϋποθέσεις του διαγράμματος. Σε περίπτωση που κάποιο δείγμα βρεθεί εκτός ορίων καταγράφεται και εκτυπώνεται με την ολοκλήρωση της λειτουργίας του λογισμικού. Για το διάγραμμα ελέγχου μέσης τιμής πραγματοποιείται και ένας επιπλέον έλεγχος καθώς ελέγχεται αν οι τιμές των μετρήσεων εντός των ορίων ελέγχου βρίσκονται διαδοχικά από την ίδια μεριά σε σχέση με την κεντρική γραμμή. Αυτό συμβαίνει διότι όταν όλες οι μετρήσεις βρίσκονται εντός των ορίων ελέγχου δε μπορεί να εντοπίσει κάποιο πρόβλημα. Ωστόσο, αν παρατηρούνται πολλές διαδοχικές μετρήσεις από την ίδια μεριά του διαγράμματος σε σχέση με την κεντρική γραμμή τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κάποια συστηματική αιτία να έχει επιδράσει στην παραγωγική διαδικασία και εξαιτίας της να παρατηρείται το παραπάνω φαινόμενο στο διάγραμμα μέσης τιμής. Με εξαίρεση τον επιπλέον έλεγχο που μόλις περιγράφηκε, αντίστοιχη είναι και η λειτουργία των υπόλοιπων διαγραμμάτων ελέγχου μέτρησης. Για τον λόγο αυτό οι λειτουργίες των διαγραμμάτων ελέγχου εύρους και ελέγχου τυπικής απόκλισης είναι περιττό να σχολιαστούν σε αυτήν την ενότητα.

### 3.5. Μοντελοποίηση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το περιβάλλον του λογισμικού δημιουργήθηκε με τη χρήση του Netbeans. Για το κάθε πεδίο του προγράμματος αντιστοιχεί και μια κλάση της Java. Η κάθε κλάση απαρτίζεται από κώδικα ο οποίος καθορίζει το περιβάλλον του λογισμικού και πραγματοποιεί τις υπολογιστικές μεθόδους που αναπτύχθηκαν παραπάνω για κάθε ξεχωριστό πεδίο. Το υπολογιστικό κομμάτι του κώδικα είναι αυτό που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αξίζει να αναφερθεί. Το μαθηματικό πακέτο (java.math) που περιέχει η Java χρησιμεύει για πολύ απλές μαθηματικές πράξεις όπως υπολογισμοί τετραγωνικών ριζών και δυνάμεων. Για πρόσβαση σε μαθηματικά μοντέλα προσφέρονται διάφορα πακέτα λογισμικού όπως είναι για παράδειγμα το Apache Harmony. Ωστόσο, για τη χρήση της βιβλιοθήκης του Apache Harmony η οποία είναι από τις πιο ευρέως χρησιμοποιημένες στον χώρο της Java, είναι απαραίτητη και η εγκατάσταση του συγκεκριμένου λογισμικού. Με στόχο να μειωθούν οι απαιτήσεις του προγράμματος για να τρέξει σε οποιονδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή όλες οι απαραίτητες μαθηματικές εκφράσεις δημιουργήθηκαν εντός του προγράμματος και δε χρησιμοποιήθηκε κάποια βιβλιοθήκη η οποία θα απαιτούσε την εγκατάσταση επιπρόσθετου λογισμικού όπως είναι αυτό της Apache Harmony Foundation.

Έτσι για παράδειγμα κατά τον υπολογισμό της αθροιστικής ανηγμένης κανονικής κατανομής χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω κώδικας:



```

private double CNDF(double x)
{
int neg = (x < 0d) ? 1 : 0;

    if ( neg == 1)
        x *= -1d;

double k = (1d / ( 1d + 0.2316419 * x));

double y = ((( ( 1.330274429 * k - 1.821255978) * k + 1.781477937) *
k - 0.356563782) * k + 0.319381530) * k;

y = 1.0 - 0.398942280401 * Math.exp(-0.5 * x * x) * y;

return (1d - neg) * y + neg * (1d - y);

}

```

Ο κώδικας είναι σχεδιασμένος να δέχεται σαν όρισμα μια τιμή του z και έπειτα από τους κατάλληλους υπολογισμούς να επιστρέφει την τιμή της αθροιστικής ανηγμένης κανονικής κατανομής που αντιστοιχεί σε αυτήν την τιμή.

# 4

## Σύνοψη διπλωματικής εργασίας

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αρχικά μια σύντομη περίληψη της διπλωματικής εργασίας με σχετική αναφορά στην ανάπτυξη και εκτέλεση του λογισμικού. Στη συνέχεια σχολιάζονται οι περιοχές του στατιστικού ελέγχου ποιότητας που συμπεριλήφθηκαν σε αυτήν και συζητούνται θέματα για πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

### 4.1. Σύνοψη και συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια σφαιρική ανάλυση της ανάπτυξης του λογισμικού καθώς και των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή του. Συνοψίζοντας όσα αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο την ανάπτυξη λογισμικού το οποίο θα είναι εφοδιασμένο με τα πιο συνήθη εργαλεία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Αρχικά έγινε μελέτη των μεθόδων του ελέγχου ποιότητας αποδοχής και του ελέγχου παραγωγικής διαδικασίας. Έπειτα, ακολούθησε η ανάπτυξη του περιβάλλοντος του λογισμικού σε Java, με τη χρήση του NetBeans. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση των μεθόδων που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2. Το λογισμικό σχεδιάστηκε έτσι ώστε να είναι όσο πιο απλό γίνεται, αφού για να εκτελεστεί σε οποιονδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή δε χρειάζεται τίποτα παραπάνω από τον μεταγλωττιστή της Java ο οποίος είναι διαθέσιμος δωρεάν. Οι λειτουργίες του, όπως είναι η άμεση επεξήγηση για το κάθε στοιχείο που καλείται να συμπληρώσει ο χρήστης και ο αυτόματος έλεγχος ορθότητας που πραγματοποιείται κατά την εισαγωγή δεδομένων, το κάνουν αρκετά φιλικό προς τον χρήστη. Είναι αξιοσημείωτο πως η ταχύτητα των υπολογισμών είναι αρκετά υψηλή ακόμα και σε θέματα βελτιστοποίησης που αποτελούνται από αρκετά μεγάλες επαναληπτικές διαδικασίες. Έτσι σε μερικά δευτερόλεπτα ο χρήστης έχει πρόσβαση σε αποτελέσματα από υπολογισμούς που θα απαιτούσαν πολύ χρόνο αν γινότουσαν χωρίς τη βοήθεια του παρόντος λογισμικού. Τέλος, το λογισμικό που αναπτύχθηκε από την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας απευθύνεται στους φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας και ευελπιστεί να αποτελέσει έμπνευση για παρόμοιες μελλοντικές εργασίες πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

## 4.2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Ο στατιστικός έλεγχος ποιότητας αποτελεί ένα επιστημονικό αντικείμενο με μεγάλο θεωρητικό και μαθηματικό υπόβαθρο. Η εκπόνηση της εργασίας έγινε πάνω στον έλεγχο ποιότητας αποδοχής και στον έλεγχο παραγωγικής διαδικασίας που αποτελούν τις δύο από τις τρεις μεγάλες περιοχές του στατιστικού ελέγχου ποιότητας, με την τρίτη να είναι τα στατιστικά πειράματα. Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε σκοπό την ανάπτυξη λογισμικού το οποίο θα εμπεριέχει τα πιο συνήθη εργαλεία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Έτσι στο κομμάτι της στατιστικής μελέτης, από τις μεθόδους που προσφέρονται για την κάθε περιοχή επιλέχτηκαν αυτές που έχουν γνωρίσει τη μεγαλύτερη εφαρμογή. Οικονομική ανάλυση στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μόνο για την περίπτωση της διαλογής του ελέγχου ποιότητας αποδοχής. Ως εκ τούτου, αντικείμενο για μελλοντική μελέτη αποτελεί η ανάπτυξη λογισμικού που θα περιέχει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση στην περιοχή του ελέγχου παραγωγική διαδικασία με την ένταξη και των οικονομικών κριτηρίων σε αυτή. Τέλος, ένα επιπλέον αντικείμενο για μελέτη μπορεί να είναι η ανάπτυξη λογισμικού που θα περιέχει μεθόδους των στατιστικών πειραμάτων.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική

- Γεώργιος Ν. Ταγαράς (2001). “Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας”, Θεσσαλονίκη: Ζήτη.
- 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.

### Ξένα

- Rogers Cadenhead & Laura Lemay (2007). “Sams Teach Yourself Java 6 in 21 Days”, 5th Edition, Sams Publishing, Indianapolis.
- Feigenbaum, A. V., (1991), “Total quality control, 3rd edition revised”, Mc Graw-Hill International editions, U.S.A., 465-529.
- Montgomery, D.C., (2001). “Introduction to Statistical Quality Control”. 4th edition, John Wiley, New York.
- ANSI / ASQC Z1.9 – 2008 (2008), “Sampling procedures and tables for inspection by variables for percent nonconforming”, American Society for Quality Control.
- Juran, J. M., Gryna, F. M., Bingham, R. S., (1974), Quality control handbook, 3rd edition, Mc Graw-Hill, Inc., U.S.A..
- Crosby, P. B. (1979) “Quality is Free: The Art of Making Quality Certain”. NY: McGraw-Hill Book Co.
- Duncan, A. J. (1986). “Quality Control and Industrial Statistics”, 5th ed., Irwin, Homewood, IL.
- Montgomery, D. C., (1997), “Introduction to statistical quality control”, 3rd edition., John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- 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 attributes”, International Organization for Standardization.
- David A. Garvin (1988), “ Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge”, The Free Press.
- Dodge, H.F. (1943). “A sampling Inspection Plan for Continuous Production”, Annals of Mathematical Statistics.

- Dodge, H.F. (1955 $\alpha$ ). "Chain Sampling Inspection Plan", Industrial Quality Control.
- Dodge, H.F. (1955 $\beta$ ). "Skip-Lot Sampling Plan", Industrial Quality Control.
- Dodge, H.F and H.G. Romig. (1959). "Sampling Inspection Tables, Single and Double Sampling", John Wiley & Sons.
- Garvin, D.A. (1988). "Managing Quality", The Free Press.
- Hald, A. (1981). "Statistical Theory of Sampling Inspection by Attributes", Acaemic Press.
- Juran, J. M., (1951). "Quality Control Handbook", New York, McGraw-Hill.
- MIL-STD 414 (1957). "Sampling Procedures and Tables for Inspection by Variables for Percent Defective", U.S. Department of Defense.
- Oakland, J.S. (1993). "Total Quality Management", Butterworth-Heinemann.
- Schmidt, J.W., K.E. Case and G.K. Bennett (1974). "The Choice of Variables Sampling Plans Using Cost Effective Criteria", AIIE Transactions.
- Tagaras, G. (1994). "Economic Acceptance Sampling by Variables with Quadratic Quality Costs", IIE Transactions.

## Περιεχόμενο DVD

Το συνοδευτικό DVD-R περιέχει το εκτελέσιμο αρχείο StatisticalProcessControl.jar το οποίο αποτελεί το λογισμικό της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

## Οδηγίες για τη χρήση

1. Εισάγετε το δίσκο στη μονάδα CD-ROM το σστήματός σας
2. Ανοίξτε το περιεχόμενο του δίσκου
3. Κάντε διπλό κλικ στο εικονίδιο StatisticalProcessControl για να εκτελέσετε το πρόγραμμα.