

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



**ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ**

**ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ «6 Σύγμα».**

Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής
Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των
απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού
Διπλώματος Ειδίκευσης στην Εφαρμοσμένη Στατιστική.

Πειραιάς
Σεπτέμβριος 2008

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



**ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ**

**ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ «6 Σίγμα»**

Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής
Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των
απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού
Διπλώματος Ειδίκευσης στην Εφαρμοσμένη Στατιστική.

Πειραιάς
Σεπτέμβριος 2008

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίσθηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς στην υπ' αριθμ. συνεδρίασή του σύμφωνα με τον Εσωτερικό Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Εφαρμοσμένη Στατιστική.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Κούτρας Μάρκος (Επιβλέπων)
- Αντζουλάκος Δημήτριος
- Κατέρη Μαρία

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμών του συγγραφέα.

UNIVERSITY OF PIRAEUS



**DEPARTMENT OF STATISTICS
AND INSURANCE SCIENCE**

**POSTGRADUATE PROGRAM IN
APPLIED STATISTICS**

**PROCESS CAPABILITY INDICES AND
SIX SIGMA QUALITY**

By
Stefania-Stiliani D. Xintari

MSc Dissertation

submitted to the Department of Statistics and Insurance
Science of the University of Piraeus in partial fulfillment of
the requirements for the degree of Master of Science in
Applied Statistics.

Piraeus, Greece
September 2008

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μάρκο Κούτρα για την καθοδήγησή του σε όλη διαδρομή της εργασίας. Τροφοδοτώντας με ιδέες και χρήσιμες παρατηρήσεις συνέβαλε καθοριστικά σε όλη την πορεία της μελέτης μου.

Περίληψη

Το σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον επιβάλλει σε κάθε επιχείρηση να υιοθετήσει προγράμματα και να εφαρμόσει ειδικές μεθοδολογίες με σκοπό τη συνεχόμενη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας και την υψηλή ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων της. Για τη μέτρηση της απόδοσης και της ικανότητας μίας διεργασίας να παράγει προϊόντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές, άλλες επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τους δείκτες επίδοσης διεργασίας οι οποίοι υπολογίζονται σε συνεχή βάση με χρήση των στατιστικών δεδομένων που συγκεντρώνουν και άλλες υιοθετούν την ποιοτική μεθοδολογία «6 Σίγμα». Αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας αποτελεί η μέθοδος «6 Σίγμα», οι κυριότεροι δείκτες επίδοσης μίας διεργασίας και η μεταξύ τους σχέση.

Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση, ανάπτυξη και εκτίμηση των κυριότερων δεικτών επίδοσης διεργασίας για κανονικές και μονομεταβλητές διεργασίες.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζεται και εξετάζεται η σχέση μεταξύ των δεικτών επίδοσης μιας διεργασίας και της μεθόδου «6 Σίγμα».

Τέλος, στο τελευταίο Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της μεθόδου «6 Σίγμα», από την σκοπιά της οργάνωσης και διοίκησης επιχειρήσεων. Στα πλαίσια της παρουσίασης της διπλωματικής, δίνεται επίσης αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών που είναι διαθέσιμες στο στατιστικό πακέτο *MINITAB* για υπολογισμό δεικτών επίδοσης διεργασίας και χαρακτηριστικών της μεθοδολογίας «6 Σίγμα».

Abstract

The contemporary competitive environment boosts almost every modern enterprise to adopt programs and apply special techniques aiming at the continuous improvement of the productive process and the high quality of its products. The assessment of the efficiency and capability of a process to produce units fulfilling the desired specifications, is achieved either by the calculation of well established process capability indices (evaluated in a continuous framework via the available data in each time instance) or by adopting the most integrated and widely accepted "6 Sigma" program.

In the current MSc thesis we present the "6 Sigma" method, the main process capability indices and the relationship between them.

In the first Chapter we present the most popular process capability indices that have been proposed for normal univariate processes and discuss how they can be estimated through the available data.

In the second Chapter we focus on the relationship between the process capability indices and the "6 Sigma" method.

In the last Chapter we provide details on how the "6 Sigma" method can be implemented from the business administration viewpoint.

In addition, we proceed to a detailed description on how one can use the statistical package *MINITAB* to evaluate process capability indices and related characteristics that are used in the "6 Sigma" methodology.

Περιεχόμενα

Περίληψη	ix
Abstract.....	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xv
Κατάλογος Σχημάτων.....	xvii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ	
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ο δείκτης επίδοσης C_p	4
1.2.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_p	4
1.2.2 Εκτίμηση του δείκτη C_p	7
1.3. Ο δείκτης επίδοσης C_{pk}	8
1.3.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_{pk}	8
1.3.2 Εκτίμηση του δείκτη C_{pk}	12
1.4. Ο δείκτης επίδοσης C_{pm}	14
1.4.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_{pm}	14
1.4.2 Εκτίμηση του δείκτη C_{pm}	17
1.5. Ο δείκτης επίδοσης C_{pmk}	19
1.5.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_{pmk}	19
1.5.2 Εκτίμηση του δείκτη C_{pmk}	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ «6 Σίγμα».....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΜΕΘΟΔΟΣ «6 Σίγμα».	
3.1 Τι είναι η μέθοδος «6 Σίγμα».....	45
3.2 Ιστορικά στοιχεία.....	48

3.3 Σύγκριση μεταξύ της μεθόδου «6 Σίγμα» και της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας.....	50
3.4 Οργάνωση και υλοποίηση της μεθόδου «6 Σίγμα».....	53
3.4.1 Μεθοδολογίες «6 Σίγμα».....	53
3.4.2 Υλοποίηση της μεθόδου «6 Σίγμα».....	57
3.5 Προβλήματα – αντιμετώπιση στην εφαρμογή της πρωτοβουλίας «6 Σίγμα».....	60
3.5.1. Απροθυμία διοίκησης να υποστηρίξει την πρωτοβουλία «6 Σίγμα».....	60
3.5.2 Απροθυμία και αντίσταση στην αλλαγή από το προσωπικό για να υποστηρίξει την πρωτοβουλία «6 Σίγμα».....	61
3.6 Κριτική για τη μέθοδο «6 Σίγμα».....	63
3.6.1 Κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχία της μεθόδου «6 Σίγμα».....	63
3.6.2 Λόγοι αποτυχίας της μεθόδου «6 Σίγμα».....	66
3.6.3 Οφέλη από τη μέθοδο «6 Σίγμα».....	67
3.6.4 Μειονεκτήματα της μεθόδου «6 Σίγμα».....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	71

Βιβλιογραφία 73

Κατάλογος Πινάκων

1-1	Βασικές ιδιότητες του δείκτη C_{pm}	16
1-2	Βασικές ιδιότητες του δείκτη C_{pmk}	20
2-1	Μετρήσεις κεντρικής μονάδας.....	27
2-2	Μετρήσεις περιφερειακής μονάδας.....	28
2-3	Σχέσεις μεταξύ των ποσοτήτων C_p , επίπεδο ποιότητας και $DPMO$	32
2-4	Αναμενόμενες τιμές προϊόντων εκτός προδιαγραφών (σε $DPMO$) για κάθε δεδομένη απόσταση του ορίου προδιαγραφών και κάθε μετατόπιση του μέσου από το στόχο.....	34
2-5	Μετασηματισμένα δεδομένα της κεντρικής μονάδας.....	36
3-1	Βασικότερες διαφορές μεταξύ της διοίκησης ολικής ποιότητας και της μεθόδου «6 Σίγμα».....	50

РАНЕЕЗНАМО ТЕРПАА

Κατάλογος Σχημάτων

2-1	Πολλαπλό διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας.....	29
2-2	Διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.....	31
2-3	Διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% μετά τη μείωση της τυπικής απόκλισης στην τιμή 0.0067.....	33
2-4	Διάγραμμα ελέγχου των μετασχηματισμένων δεδομένων της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% μετά τη μείωση της τυπικής απόκλισης στην τιμή 0.0067.....	37
2-5	Διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% για $\mu=73.999996$ και $\sigma=0.0067$	38
2-6	Πολλαπλό διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας.....	39
2-7	Διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.....	40
2-8	Πολλαπλό διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας μετά την εξαίρεση των ανεπιθύμητων τιμών.....	42
2-9	Διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% μετά την εξαίρεση των ανεπιθύμητων τιμών.....	43
2-10	Διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% για $\sigma=0.0067$	44

РАНЕЕЗНАМО ТЕРПАА

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Οι δείκτες επίδοσης διεργασιών αποτελούν ένα κρίσιμο εργαλείο για κάθε επιχείρηση που έχει σκοπό τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας και την υψηλή ποιότητα των προϊόντων της. Οι δείκτες επίδοσης διεργασιών χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ικανότητας μιας παραγωγικής διαδικασίας να κατασκευάσει προϊόντα τα οποία ικανοποιούν κάποιες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένες με ένα ποιοτικό, μετρήσιμο χαρακτηριστικό (π.χ. βάρος, διάμετρος, μήκος) των παραγόμενων από τη διεργασία προϊόντων, οι τιμές του οποίου είναι επιθυμητό να βρίσκονται εντός κάποιων προκαθορισμένων, από τη φάση σχεδιασμού τους, ορίων. Τα όρια αυτά ονομάζονται *όρια προδιαγραφών*.

Μια παραγωγική διεργασία, ανεξάρτητα από τον άριστο σχεδιασμό της και την αυστηρή επίβλεψη και συντήρηση της, θα παρουσιάζει πάντα μια μορφή φυσικής μεταβλητότητας. Δηλαδή, όσο καλά ρυθμισμένα και να είναι τα μηχανήματα, όσο ικανοί και να είναι οι χειριστές των μηχανημάτων ποτέ δύο παραγόμενα προϊόντα δεν θα είναι πανομοιότυπα. Μια διεργασία η οποία θα λειτουργεί μόνο με την παρουσία φυσικής μεταβλητότητας θα λέμε ότι είναι *εντός στατιστικού ελέγχου*. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν σε μια διεργασία εμφανίζονται και άλλες μορφές μεταβλητότητας οι οποίες δεν οφείλονται σε τυχαίες αιτίες αλλά αφορούν τη συστηματική αλλαγή κάποιου ή κάποιων ποιοτικών χαρακτηριστικών που καθορίζουν την τελική ποιότητα του προϊόντος, θα λέμε ότι η διεργασία λειτουργεί με την παρουσία ειδικής μεταβλητότητας και ότι είναι *εκτός στατιστικού ελέγχου*.

Λόγω της αναπόφευκτης μεταβλητότητας που παρουσιάζεται στις τιμές του μετρήσιμου χαρακτηριστικού των παραγόμενων προϊόντων, αυτές δεν λαμβάνουν σταθερές τιμές. Για το λόγο αυτό θεωρούμε ότι είναι πραγματοποιήσιμες κάποιων τυχαίων μεταβλητών, και επομένως ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή. Συνήθως, υποθέτουμε ότι η εξεταζόμενη διεργασία κατανέμεται κανονικά και περιγράφεται από ένα μόνο

χαρακτηριστικό με σκοπό να απλοποιήσουμε τον ορισμό, την εκτίμηση και τη στατιστική συμπερασματολογία πάνω στους δείκτες.

Ας υποθέτουμε λοιπόν ότι υπάρχει μόνο ένα μετρήσιμο χαρακτηριστικό, έστω X (τυχαία μεταβλητή), που κατανέμεται κανονικά με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , και ότι οι τιμές του πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων προδιαγραφών και συγκεκριμένα εντός του διαστήματος που ορίζουν το κάτω όριο (LSL) και το άνω όριο προδιαγραφών (USL) αντίστοιχα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι, όταν τα όρια προδιαγραφών δεν είναι συμμετρικά, ορισμένοι δείκτες επηρεάζονται και μας δίνουν εσφαλμένα αποτελέσματα με συνέπεια να σχηματίσουμε λανθασμένες εκτιμήσεις. Για το λόγο αυτό οι τιμές τους θα πρέπει να ερμηνεύονται με ιδιαίτερη προσοχή.

Επίσης, στη φάση σχεδιασμού του προϊόντος, καθορίζεται και η επιθυμητή τιμή του χαρακτηριστικού που μας ενδιαφέρει. Η τιμή αυτή για το ποιοτικό μας χαρακτηριστικό ονομάζεται τιμή στόχος (T) και φυσικά βρίσκεται ανάμεσα στο κάτω και άνω όριο προδιαγραφών. Στην περίπτωση που θέλουμε να έχουμε τα όρια προδιαγραφών συμμετρικά τοποθετημένα ως προς την τιμή στόχο, η τιμή στόχος T θα συμπίπτει με την κεντρική τιμή M της περιοχής προδιαγραφών η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$M = \frac{USL + LSL}{2}.$$

Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν τα όρια προδιαγραφών είναι μη συμμετρικά τότε η τιμή στόχος T διαφέρει από την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών M .

Οι δείκτες επίδοσης διεργασιών είναι μη αρνητικές συναρτήσεις των ποσοτήτων μ , σ , LSL , USL και T της διεργασίας. Μια σημαντική ιδιότητα τους είναι ότι δεν επηρεάζονται από τις μονάδες μέτρησης του ποιοτικού χαρακτηριστικού με αποτέλεσμα να επιτρέπουν τη σύγκριση διαδικασιών με διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Μεγάλη τιμή ενός δείκτη επίδοσης διεργασίας αποτελεί συνήθως ένδειξη ότι η διαδικασία είναι ικανή δηλαδή ότι παράγει προϊόντα με τιμές X εντός των ορίων προδιαγραφών και όσο το δυνατό πιο κοντά στην τιμή στόχο T . Αυτό όμως δεν είναι απόλυτο. Προφανώς μια ιδανική διαδικασία είναι εκείνη της οποίας ο μέσος είναι ίσος με την τιμή στόχο και η τυπική απόκλιση είναι ίση με το μηδέν. Αυτό πρακτικά είναι αδύνατον να επιτευχθεί και για το λόγο αυτό στόχος μας είναι να επιτύχουμε διαδικασίες που θα έχουν όσο το δυνατόν μικρότερη τυπική απόκλιση, με μέσο που θα βρίσκεται όσο το δυνατόν κοντύτερα στην τιμή στόχο και ταυτόχρονα όσο το δυνατόν κοντύτερα στο μέσο του διαστήματος προδιαγραφών.

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων δεικτών επίδοσης διεργασίας. Αυτοί είναι οι δείκτες C_p , C_{pk} , C_{pm} και C_{pmk} . Όπως θα δούμε παρακάτω, κάθε ένας από αυτούς προτάθηκε με σκοπό να ξεπεράσει κάποιες από τις αδυναμίες των δεικτών που είχαν προταθεί προηγουμένως.

ΓΑΛΙΕΣΤΕΛΗΜΟ ΓΕΡΑΝΗ

1.2 Ο δείκτης επίδοσης C_p

Έστω ότι σε μια διεργασία, το χαρακτηριστικό X που μας ενδιαφέρει ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ . Τότε γνωρίζουμε ότι η παρατηρούμενη τιμή X του χαρακτηριστικού θα βρίσκεται με βεβαιότητα 99.73% μέσα στο διάστημα $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ δηλαδή εντός ενός διαστήματος εύρους 6σ (φυσικό εύρος) της διεργασίας θα υπάρχει το 99.73% των παραγόμενων προϊόντων. Για να μπορέσουμε να καθορίσουμε το πόσο αποτελεσματική είναι μια διεργασία στο να παράγει προϊόντα με τιμές X εντός των ορίων προδιαγραφών, χρησιμοποιούμε διάφορα μέτρα.

Το πιο απλό μέτρο για την ικανότητα μιας διεργασίας είναι ο δείκτης C_p . Είναι ο παλαιότερος δείκτης που προτάθηκε, ωστόσο χρησιμοποιείται ευρύτατα ακόμη και σήμερα στις περισσότερες βιομηχανίες παρά τις αδυναμίες που παρουσιάζει.

1.2.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_p

Ο δείκτης C_p ορίζεται ως εξής :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

όπου το USL είναι το άνω όριο προδιαγραφών, το LSL είναι το κάτω όριο προδιαγραφών και σ είναι η τυπική απόκλιση της διεργασίας. Ο δείκτης C_p εκφράζει τη σχέση του εύρους των ορίων προδιαγραφών ενός προϊόντος ($USL-LSL$) με το φυσικό εύρος τιμών της διεργασίας ($(\mu-3\sigma)-(\mu+3\sigma)=6\sigma$).

Η ποσότητα

$$P = \left(\frac{1}{C_p} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{6\sigma}{USL - LSL} \right) \cdot 100\%$$

δηλώνει το ποσοστό του εύρους των ορίων προδιαγραφών που χρησιμοποιεί η διεργασία.

Είναι εμφανές ότι επιθυμούμε υψηλή τιμή του δείκτη C_p σε μια διεργασία (κατ'επέκταση μικρή τυπική απόκλιση, δηλαδή μικρή φυσική μεταβλητότητα) και επομένως μικρή τιμή του P .

Ο δείκτης C_p έχει ορισθεί όταν η διεργασία περιγράφεται από μια κανονική κατανομή, κάτι το οποίο δικαιολογεί την επιλογή της τιμής 6 στον παρανομαστή. Έτσι, όταν ο δείκτης C_p λαμβάνει την τιμή 1 και η διεργασία περιγράφεται από μια κανονική κατανομή με μέση

τιμή μ ίση με την κεντρική τιμή του εύρους των προδιαγραφών, τότε το 99.73% των παραγόμενων προϊόντων θα είναι συμμορφούμενα δηλαδή θα βρίσκονται εντός των ορίων προδιαγραφών ή ισοδύναμα το 0.27% των παραγόμενων προϊόντων θα είναι ελαττωματικά. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι όταν ο δείκτης C_p λαμβάνει την τιμή 1 δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το 0.27% των παραγόμενων προϊόντων θα είναι ελαττωματικά αλλά ότι θα παραχθούν το λιγότερο 0.27% προϊόντα που θα είναι ελαττωματικά. Θα μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι παράγονται ακριβώς 0.27% ελαττωματικά (μη συμμορφούμενα) προϊόντα μόνο όταν η μέση τιμή της διεργασίας είναι ίση με την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών.

Όταν η μέση τιμή της διεργασίας, μ , διαφέρει από την κεντρική τιμή του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών δηλαδή όταν $\mu \neq \frac{1}{2}(LSL + USL)$ και ισχύει $C_p = 1$ τότε η διεργασία θα παράγει το λιγότερο 0.27% ελαττωματικά προϊόντα.

Στη συνέχεια θα θεωρούμε ότι οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού X που μελετάμε ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , και ότι έχουν καθοριστεί τα όρια προδιαγραφών LSL και USL στη φάση σχεδιασμού της διεργασίας.

Η πιθανότητα p_c να παραχθεί ένα προϊόν εντός των ορίων προδιαγραφών ονομάζεται απόδοση της διεργασίας και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο

$$\begin{aligned} p_c &= 1 - p_{nc} = 1 - (P(X > USL) + P(X < LSL)) = 1 - (1 - P(LSL < X < USL)) = \\ &= P(LSL < X < USL) = \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

όπου $\Phi(\cdot)$ είναι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής $N(0,1)$.

Παρακάτω θα δείξουμε πως, γνωρίζοντας την τιμή του δείκτη C_p , μπορούμε να υπολογίσουμε το όριο το οποίο δεν είναι δυνατόν να υπερβεί η απόδοση της διεργασίας. Στην περίπτωση όπου

$$\mu = M = \frac{LSL + USL}{2}$$

διαπιστώνουμε ότι

$$LSL = \mu - 3\sigma C_p$$

και

$$USL = \mu + 3\sigma C_p ,$$

επομένως έχουμε ότι

$$p_c = \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) = \Phi(3C_p) - \Phi(-3C_p) = 2\Phi(3C_p) - 1 .$$

Στη γενική περίπτωση και εφόσον $LSL < \mu < USL$ θα έχουμε

$$\mu - LSL \leq \frac{USL - LSL}{2}, \quad USL - \mu \leq \frac{USL - LSL}{2}$$

οπότε

$$\Phi\left(\frac{\mu - LSL}{\sigma}\right) \leq \Phi(3C_p), \quad \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) \leq \Phi(3C_p)$$

και επομένως θα ισχύει ότι

$$p_c \leq 2\Phi(3C_p) - 1$$

δηλαδή η υψηλότερη απόδοση που μπορεί να έχει μία διεργασία είναι

$$2\Phi(3C_p) - 1 .$$

Σημειώνουμε ότι, εάν ο δείκτης C_p λάβει την τιμή 1.33, τότε η διεργασία θεωρείται ικανοποιητική. Για τιμές μικρότερες του 1.33 η διεργασία θεωρείται ότι χρειάζεται παρακολούθηση ενώ για μικρότερες τιμές του 1 η διεργασία θεωρείται μη ικανή και χρειάζεται αναθεώρηση του σχεδιασμού. Σύμφωνα με το κλασικό σύγγραμμα του Montgomery (1997), οι ελάχιστες τιμές, τις οποίες η τιμή του δείκτη C_p θα πρέπει να υπερβαίνει για να θεωρηθεί μια διεργασία ικανή, είναι 1.33 για υπάρχουσα διεργασία, 1.5 για νέα διεργασία, 1.55 για υπάρχουσα διεργασία συσχετιζόμενη με την ασφάλεια του κοινού και τέλος, 1.67 για νέα διεργασία συσχετιζόμενη με την ασφάλεια του κοινού.

Το βασικό μειονέκτημα του δείκτη C_p είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη το μέσο της διεργασίας. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην επηρεάζεται από τη διαφορά του μέσου από την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών και πολλές φορές αδυνατεί να εντοπίσει την περισσότερο ικανή διεργασία. Το μειονέκτημα αυτό του δείκτη C_p ήταν η αιτία για την εισαγωγή του δείκτη C_{pk} που θα παρουσιαστεί στην Ενότητα 1.3 .

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημάνουμε ότι, για να μπορέσουμε να βγάλουμε ακριβή στατιστικά συμπεράσματα, εκμεταλλευόμενοι ουσιαστικά την τιμή ενός δείκτη επίδοσης διεργασίας, θα πρέπει να έχουμε εξασφαλίσει τις επόμενες τρεις συνθήκες:

- 1) ότι η διεργασία είναι εντός στατιστικού ελέγχου,
- 2) ότι η διεργασία περιγράφεται από μία κανονική κατανομή και
- 3) ότι οι παρατηρήσεις μας είναι ανεξάρτητες.

1.2.2 Εκτίμηση του δείκτη C_p

Η μοναδική παράμετρος που περιέχεται στον ορισμό του δείκτη C_p είναι η τυπική απόκλιση, σ , της διαδικασίας. Συνήθως η παράμετρος αυτή είναι άγνωστη και επομένως θα πρέπει να την εκτιμήσουμε.

Έστω ότι μια διεργασία αποδίδει προϊόντα των οποίων οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού X κατανέμονται κανονικά με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ . Τότε συλλέγουμε ένα τυχαίο δείγμα μεγέθους n έστω X_1, X_2, \dots, X_n από την υπό εξέταση διαδικασία και εκτιμούμε τη διασπορά σ^2 μέσω της αμερόληπτης δειγματικής διασποράς

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

όπου

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}.$$

Στη συνέχεια εκτιμούμε την τυπική απόκλιση σ μέσω της δειγματικής τυπικής απόκλισης S και τέλος το δείκτη C_p μέσω της εκτιμήτριας

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6S}.$$

Είναι φανερό ότι, η εκτιμήτρια S δεν είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια του σ , ούτε η \hat{C}_p είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια του δείκτη C_p αφού

$$E(\hat{C}_p) = E\left(\frac{USL - LSL}{6S}\right) = \frac{USL - LSL}{6} \cdot E\left(\frac{1}{S}\right)$$

και επιπλέον

$$E\left(\frac{1}{S}\right) \neq \frac{1}{E(S)}.$$

1.3 Ο δείκτης επίδοσης C_{pk}

Στην παρούσα ενότητα θα αναφερθούμε στο δείκτη C_{pk} , ο οποίος είναι ο δεύτερος δημοφιλέστερος δείκτης επίδοσης διεργασίας, μετά το δείκτη C_p . Όπως θα δούμε παρακάτω, ο δείκτης C_{pk} παρέχει περισσότερες πληροφορίες για την ικανότητα μιας διαδικασίας συγκριτικά με το δείκτη C_p . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά τον υπολογισμό του λαμβάνει υπόψη του, πέρα από την τυπική απόκλιση σ της διαδικασίας, και το μέσο μ της διαδικασίας.

1.3.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_{pk}

Από τον ορισμό του δείκτη επίδοσης διεργασίας C_p , ο οποίος παρουσιάστηκε στην αμέσως προηγούμενη ενότητα, είναι προφανές ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν έχουν καθοριστεί και τα δύο όρια προδιαγραφών δηλαδή το LSL και το USL . Σε κάποιες περιπτώσεις όπου για ένα προϊόν καθορίζεται μόνο το ένα όριο προδιαγραφών (*one-sided specifications*) ο υπολογισμός του δείκτη C_p είναι αδύνατος. Για το λόγο αυτό έχουν προταθεί οι δείκτες C_{pk} , C_{pl} και C_{pu} .

Συγκεκριμένα, ο δείκτης C_{pk} είναι συνδυασμός των δεικτών C_{pl} και C_{pu} όπως θα δούμε παρακάτω. Ο δείκτης C_{pl} μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν έχει καθοριστεί μόνο το κατώτερο όριο προδιαγραφών και ο δείκτης C_{pu} έχει προταθεί για τις περιπτώσεις που έχει καθοριστεί μόνο το ανώτερο όριο προδιαγραφών.

Ο δείκτης C_{pk} ορίζεται από δύο ισοδύναμους αλγεβρικούς τρόπους οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω. Ο πρώτος ορισμός βασίζεται στους δείκτες C_{pl} και C_{pu} .

Σύμφωνα με τον πρώτο ορισμό ο δείκτης C_{pk} ορίζεται ως

$$C_{pk} = \min(C_{pl}, C_{pu})$$

όπου ο δείκτης C_{pl} δίνεται από τον τύπο

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

και εκφράζει πόσο ικανή είναι η διεργασία στην παραγωγή προϊόντων που πληρούν το κάτω όριο προδιαγραφών ενώ ο δείκτης C_{pu} δίνεται από τον τύπο

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

και εκφράζει πόσο ικανή είναι η διεργασία στην παραγωγή προϊόντων που πληρούν το άνω όριο προδιαγραφών .

Εύκολα αποδεικνύεται ότι ο δείκτης C_p ισούται αλγεβρικά με τον αριθμητικό μέσο των δεικτών C_{pl} και C_{pu} με τη διαφορά όμως ότι οι τελευταίοι λαμβάνουν υπόψη και τις δύο παραμέτρους μιας διεργασίας δηλαδή το μέσο και τη διασπορά σε σύγκριση με το δείκτη C_p .

Είναι φανερό ότι, ο δείκτης C_{pk} μπορεί να γραφεί και στη μορφή

$$C_{pk} = \min(C_{pl}, C_{pu}) = \min\left(\frac{\mu - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) = \frac{d - |\mu - M|}{3\sigma}$$

όπου

$$d = \frac{USL - LSL}{2}$$

και

$$M = \frac{USL + LSL}{2}$$

δηλαδή το M ορίζεται ως η κεντρική τιμή του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών (βλέπε Kotz and Lovelace (1998)).

Ο δεύτερος ισοδύναμος ορισμός για το δείκτη επίδοσης C_{pk} προκύπτει από τον πρώτο ορισμό με τον ακόλουθο τρόπο :

$$\begin{aligned} C_{pk} &= \frac{d - |\mu - M|}{3\sigma} = \frac{\frac{USL - LSL}{2} - \left| \mu - \frac{1}{2}(LSL + USL) \right|}{3\sigma} = C_p - \frac{\left| \mu - \frac{1}{2}(LSL + USL) \right|}{3\sigma} = \\ &= C_p - \frac{(USL - LSL) \left| \mu - \frac{1}{2}(LSL + USL) \right|}{6\sigma \frac{(USL - LSL)}{2}} = C_p \left(1 - \frac{\left| \mu - \frac{1}{2}(LSL + USL) \right|}{d} \right) = C_p (1 - k) \end{aligned}$$

όπου ο δείκτης επίδοσης δίνεται από τη σχέση

$$k = \frac{\left| \mu - \frac{1}{2}(LSL + USL) \right|}{d}$$

(βλέπε Αντζουλάκος (2006)).

Επομένως ένας δεύτερος ισοδύναμος ορισμός για το δείκτη επίδοσης διαδικασίας C_{pk} είναι ο

$$C_{pk} = C_p(1 - k)$$

Ο τελευταίος περιγράφει την ικανότητα της διεργασίας λαμβάνοντας υπόψη του μόνο τη θέση της διεργασίας (και όχι τη μεταβλητότητα της) και μετράει την απόσταση του μέσου της διεργασίας από το μέσο του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών, σε σχέση με τα όρια προδιαγραφών.

Παρατηρώντας τον ορισμό του k μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως η τιμή του βρίσκεται πάντοτε στο διάστημα $[0, 1]$ με την προϋπόθεση πως ο μέσος βρίσκεται εντός της περιοχής που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών. Στην περίπτωση που ο μέσος βρίσκεται εκτός της περιοχής προδιαγραφών θεωρούμε την τιμή του δείκτη C_{pk} εξ ορισμού ίση με το μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή του δείκτη C_{pk} δε μπορεί να υπερβεί εκείνη του C_p . Ο δείκτης C_{pk} λαμβάνει την ίδια τιμή με το δείκτη C_p μόνο όταν ο μέσος της διεργασίας ισούται με το μέσο του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που έχουμε $k=0$.

Στην περίπτωση που η τιμή στόχος της διεργασίας δε συμπίπτει με το μέσο του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών, χρησιμοποιείται ο δείκτης

$$k' = \frac{|T - \mu|}{\min(T - LSL, USL - T)}$$

και έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις :

- 1) αν ο δείκτης $k' = 0$, τότε ο μέσος της διεργασίας ισούται με την τιμή στόχο
- 2) αν $0 < k' < 1$ τότε ο μέσος της διεργασίας βρίσκεται μεταξύ της τιμής στόχου και ενός εκ των δύο ορίων προδιαγραφών και η απόσταση του από την τιμή στόχο μετριέται από το δείκτη k και τέλος
- 3) αν $k' = 1$, τότε η διεργασία είναι “κεντραρισμένη” σε ένα από τα δύο όρια προδιαγραφών.

Παρατηρούμε ότι ο δείκτης C_{pk} αποτελείται από το γινόμενο δύο παραγόντων. Ο πρώτος παράγοντας είναι ο δείκτης C_p που μετράει το μέγεθος της διασποράς της διεργασίας ενώ ο

δεύτερος παράγοντας που είναι ο $1-k$ λαμβάνει υπόψη του τη θέση της διεργασίας δηλαδή μετράει την απόσταση του μέσου από την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών.

Η γνώση της τιμής του δείκτη C_{pk} δεν είναι επαρκής για τον ακριβή υπολογισμό της απόδοσης μιας διεργασίας. Όμως καθιστά δυνατό τον υπολογισμό της ικανότητας και της απόδοσης της μόνο σε συνδυασμό με τη γνώση της τιμής του δείκτη C_p .

Στην περίπτωση που μια διεργασία αποδίδει προϊόντα των οποίων οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού X κατανέμονται κανονικά με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , η πιθανότητα p_c να παραχθεί μη ελαττωματικό (συμμορφούμενο) προϊόν ικανοποιεί την ανίσωση

$$2\Phi(3C_{pk}) - 1 \leq p_c \leq \Phi(3C_{pk})$$

όπου $\Phi(\cdot)$ είναι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της τυπικής κανονικής κατανομής $N(0,1)$ (βλέπε Kotz and Lovelace (1998)).

Θα δείξουμε στη συνέχεια ότι η απόδοση μιας διεργασίας ισούται με

$$p_c = \Phi(3(2C_p - C_{pk})) - \Phi(-3C_{pk}).$$

Ας υποθέσουμε αρχικά ότι $LSL \leq \mu \leq M$.

Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

και

$$C_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}.$$

Επομένως η απόδοση της διεργασίας είναι ίση με :

$$\Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right).$$

Επίσης έχουμε ότι

$$2C_p - C_{pk} = \frac{USL - LSL}{3\sigma} - \frac{\mu - LSL}{3\sigma} = \frac{USL - \mu}{3\sigma},$$

οπότε

$$\begin{aligned} \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) &= \Phi\left(3\frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) - \Phi\left(-3\frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) \\ &= \Phi(3(2C_p - C_{pk})) - \Phi(-3C_{pk}) \end{aligned}$$

Παρόμοια γίνεται η απόδειξη για την περίπτωση $M \leq \mu \leq USL$.

Επομένως η απόδοση μιας διαδικασίας ισούται με

$$p_c = \Phi(3(2C_p - C_{pk})) - \Phi(-3C_{pk}).$$

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι συνήθως η ελάχιστη τυπική τιμή που πρέπει να έχει ο δείκτης C_{pk} μιας διεργασίας είναι 1.33.

Ολοκληρώνοντας, οι πληροφορίες που μας δίνει ο δείκτης C_{pk} αναφέρονται κυρίως στην ικανότητα της διεργασίας προς τη μεριά εκείνου του ορίου προδιαγραφών που παράγει περισσότερα ελαττωματικά προϊόντα. Ο δείκτης C_{pk} λαμβάνει υπόψη του και τις δύο παραμέτρους της διεργασίας μ και σ σε αντίθεση με το δείκτη C_p που όπως έχουμε ήδη αναφέρει δεν επηρεάζεται από το μέσο της διεργασίας με αποτέλεσμα να μη δίνει επαρκείς πληροφορίες για την ικανότητα της διεργασίας.

Παρά το γεγονός ότι ο δείκτης C_{pk} ξεπερνά κάποια από τα μειονεκτήματα του δείκτη C_p , θα πρέπει να επισημανθεί ότι, παρότι λαμβάνει υπόψη του το μέγεθος της τυπικής απόκλισης και το μέσο της διεργασίας, δε μας πληροφορεί για το πόσο κοντά βρίσκεται ο τελευταίος στην κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών. Ένα από τα μειονεκτήματα του δείκτη C_{pk} είναι ότι αυξάνεται ανεξέλεγκτα, ανεξαρτήτως της τιμής του μέσου, καθώς η τυπική απόκλιση τείνει να γίνει πολύ μικρή και ότι αγνοεί την τιμή στόχο. Αυτή την αδυναμία του έρχεται να καλύψει ο δείκτης C_{pm} που θα παρουσιαστεί στην Ενότητα 1.4.

1.3.2 Εκτίμηση του δείκτη C_{pk}

Για την εκτίμηση του δείκτη C_{pk} αρκεί να αντικαταστήσουμε το μέσο και την τυπική απόκλιση της διαδικασίας με το δειγματικό μέσο και τη δειγματική τυπική απόκλιση, αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον πρώτο ορισμό του δείκτη C_{pk} που αναφέραμε προηγουμένως καταλήγουμε στην ακόλουθη εκτιμήτρια

$$\hat{C}_{pk} = \min(\hat{C}_{pl}, \hat{C}_{pu}) = \min\left(\frac{\bar{X} - LSL}{3S}, \frac{USL - \bar{X}}{3S}\right) = \frac{d - |\bar{X} - M|}{3S}.$$

Ακολουθώντας το δεύτερο ορισμό του δείκτη C_{pk} και αντικαθιστώντας το μέσο και την τυπική απόκλιση με τα δειγματικά ανάλογα τους, καταλήγουμε στην εκτιμήτρια

$$\hat{C}_{pk} = \hat{C}_p(1 - k) \text{ όπου } \hat{k} = \frac{2|M - \bar{X}|}{USL - LSL}.$$

Οι δύο παραπάνω εκτιμήτριες είναι ισοδύναμες και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε τον ίδιο συμβολισμό.

Οι δείκτες C_{pl} και C_{pu} μπορούν να εκτιμηθούν μέσω των τύπων

$$\hat{C}_{pl} = \frac{\bar{X} - LSL}{3S}$$

και

$$\hat{C}_{pu} = \frac{USL - \bar{X}}{3S}$$

αντίστοιχα. Καμία από τις προηγούμενες εκτιμήτριες δεν είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια της παραμέτρου (δείκτη) που εκτιμά αφού

$$E\left(\frac{1}{S}\right) \neq \frac{1}{E(S)}.$$

1.4 Ο δείκτης επίδοσης C_{pm}

Το αδύνατο σημείο των δεικτών C_p και C_{pk} , όπως έχουμε ήδη αναφέρει, είναι ότι δε λαμβάνουν υπόψη τους την προκαθορισμένη τιμή στόχο T της διεργασίας. Οι πληροφορίες που μας δίνουν αναφέρονται κυρίως στην ικανότητα της διεργασίας να παράγει προϊόντα εντός των ορίων προδιαγραφών χωρίς όμως να μας πληροφορούν για την ποιότητα αυτών των προϊόντων δηλαδή πόσο κοντά βρίσκονται στην τιμή στόχο T . Αυτήν την αδυναμία τους έρχεται να καλύψει ο δείκτης C_{pm} .

Ο δείκτης C_{pm} εμφανίστηκε πρώτη φορά από τους Hsiang and Taguchi (1985) και στη συνέχεια καθιερώθηκε από τους Chan, Cheng and Spiring (1988). Διαφέρει από τους δείκτες που έχουμε αναφέρει έως τώρα δηλαδή τους C_p και C_{pk} , ως προς τον τρόπο με τον οποίο μετράει την απόδοση μιας διαδικασίας.

Σύμφωνα με το δείκτη C_{pm} , για να είναι μία διαδικασία ικανή δεν αρκεί να παράγει προϊόντα, το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων να βρίσκονται εντός του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών, αλλά θα πρέπει ο μέσος της κατανομής να βρίσκεται όσο το δυνατό κοντά στην τιμή στόχο T ώστε να παράγονται προϊόντα υψηλής ποιότητας. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή οι τιμές των προϊόντων που παράγονται βρίσκονται πολύ κοντά στα όρια προδιαγραφών τότε έχουμε προϊόντα χαμηλής ποιότητας. Με αυτόν τον τρόπο ο δείκτης C_{pm} δηλώνει την ικανότητα της διεργασίας αλλά και την ποιότητα των προϊόντων που παράγονται.

1.4.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_{pm}

Ο δείκτης επίδοσης C_{pm} ορίζεται από την ακόλουθη σχέση

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tau}$$

όπου τ^2 είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) δηλαδή

$$\tau^2 = E(X - T)^2 = E[(X - \mu) + (\mu - T)]^2 = E[(X - \mu)^2] + (\mu - T)^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2.$$

Μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ότι ο δείκτης C_{pm} προκύπτει από το δείκτη C_p αντικαθιστώντας στον παρανομαστή την τυπική απόκλιση με την τετραγωνική ρίζα της μέσης

τετραγωνικής απόκλισης από την προκαθορισμένη τιμή στόχο της διαδικασίας. Στην περίπτωση που ο μέσος μ της διαδικασίας συμπίπτει με την τιμή στόχο, οι τιμές των δεικτών C_p και C_{pm} είναι ίσες.

Ο δείκτης C_{pm} μπορεί να γραφεί και ως εξής

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{d}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

όπου είναι εμφανές ότι και οι δύο παράμετροι μ και σ^2 της διαδικασίας συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη C_{pm} καθώς επίσης η τιμή στόχος και τα όρια προδιαγραφών της διεργασίας.

Από τον παραπάνω τύπο διαπιστώνουμε ότι, όταν η τυπική απόκλιση σ της διεργασίας αυξάνεται (μειώνεται), ο παρανομαστής αυξάνεται (μειώνεται) και η τιμή του δείκτη μειώνεται (αυξάνεται). Επίσης, όταν ο μέσος απομακρύνεται (πλησιάζει) την τιμή στόχο, ο παρανομαστής αυξάνεται (μειώνεται) και η τιμή του δείκτη C_{pm} μειώνεται (αυξάνεται).

Οι τρεις δείκτες C_p , C_{pk} και C_{pm} συνδέονται με την ενδιαφέρουσα σχέση

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + 9(C_p - C_{pk})^2}}$$

μόνο στην περίπτωση όπου $M=T$.

Σημειώνουμε ότι δύο εναλλακτικές και ισοδύναμες μορφές του δείκτη C_{pm} συναρτήσεως των δεικτών C_p και C_{pk} είναι οι ακόλουθες:

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} = \frac{C_{pk}}{\left(1 - \frac{|\mu - M|}{d}\right) \sqrt{1 + \frac{(\mu - T)^2}{\sigma^2}}}$$

(βλέπε Kotz and Lovelace (1998)).

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι για $\mu = T = M$ έχουμε ότι $C_{pm} = C_p = C_{pk}$ και επιπλέον για $|\mu - T| \neq 0$ θα ισχύει $C_{pm} < C_p$ ενώ για $|\mu - T| \rightarrow \infty$ έχουμε ότι $C_{pm} \rightarrow 0$.

Επίσης, αφού

$$\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2} \geq |\mu - T|$$

έχουμε ότι

$$C_{pm} \leq \frac{USL - LSL}{6|\mu - T|}.$$

Το τελευταίο αποδεικνύει ότι, όταν η ποσότητα $|\mu - T|$ είναι σταθερή, ο δείκτης C_{pm} είναι άνω φραγμένος σε αντίθεση με τους δείκτες C_p και C_{pk} που μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή αυξομειώνοντας απλά την τιμή της τυπικής απόκλισης σ ακόμα και σε περιπτώσεις που ο μέσος μ της διαδικασίας βρίσκεται πολύ μακριά από την τιμή στόχο. Η ύπαρξη αυτού του ορίου μπορεί να μας εξασφαλίσει ότι, όταν η τιμή του δείκτη C_{pm} είναι αρκετά μεγάλη, τότε η απόσταση του μέσου από την τιμή στόχο δεν μπορεί να είναι μεγάλη.

Συγκεκριμένα, το ανώτερο δυνατό όριο για την απόλυτη διαφορά του μέσου μιας διαδικασίας από την προκαθορισμένη τιμή στόχο, κάτω από την υπόθεση ότι $M = T$ και για οποιαδήποτε τιμή του δείκτη C_{pm} είναι

$$|\mu - T| < \frac{USL - LSL}{6C_{pm}}.$$

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αν $C_{pm} \geq 1$ τότε ο μέσος της διεργασίας απέχει από την τιμή στόχο απόσταση μικρότερη από το 1/6 του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών (και επομένως ο μέσος βρίσκεται μέσα στο μεσαίο τρίτο της περιοχής προδιαγραφών). Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι βασικότερες ιδιότητες του δείκτη C_{pm} (βλέπε Αντζουλάκος (2006)).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1

Βασικές ιδιότητες του δείκτη C_{pm} .

$\mu = T \Leftrightarrow C_{pm} = C_p$
$\mu = T = M \Leftrightarrow C_{pm} = C_p = C_{pk}$
$\mu \neq T \Leftrightarrow C_{pm} < C_p$
$ \mu - T \rightarrow \infty \Rightarrow C_{pm} \rightarrow 0$
$\sigma \downarrow \Rightarrow C_{pm} \uparrow$
$ \mu - T \downarrow \Rightarrow C_{pm} \uparrow$

Αν και ο δείκτης C_{pm} λαμβάνει υπόψη του το μέγεθος της τυπικής απόκλισης και τη θέση του μέσου της διεργασίας σε σχέση με την τιμή στόχο T , αγνοεί τη διαφορά του μέσου από

την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών (που έχει άμεση σχέση με την απόδοση μιας διαδικασίας). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όταν τα όρια προδιαγραφών είναι μη συμμετρικά να αποδίδει την ίδια ικανότητα σε διαδικασίες με ίσες τυπικές αποκλίσεις και μέσους που ισαπέχουν από την τιμή στόχο, αλλά, με σημαντικές διαφορές στην απόδοσή τους.

1.4.2 Εκτίμηση του δείκτη C_{pm}

Για την εκτίμηση του δείκτη C_{pm} έχουν προταθεί δύο διαφορετικές εκτιμήτριες. Αρχικά θα αναφερθούμε στην εκτιμήτρια που προτάθηκε από τους Chan, Cheng and Spiring (1988).

Έστω ότι μια διεργασία αποδίδει προϊόντα των οποίων οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού X που μελετάμε ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , και έχουν καθοριστεί τα όρια προδιαγραφών LSL και USL στη φάση σχεδιασμού της διεργασίας. Τότε συλλέγουμε ένα τυχαίο δείγμα μεγέθους n έστω X_1, X_2, \dots, X_n από την υπό εξέταση διαδικασία και εκτιμούμε την ποσότητα τ μέσω της στατιστικής συνάρτησης

$$\tilde{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} + \frac{n(\bar{X} - T)^2}{n-1}} = \sqrt{S^2 + \frac{n}{n-1}(\bar{X} - T)^2}.$$

Η εκτιμήτρια \tilde{C}_{pm} του δείκτη C_{pm} ορίζεται ως

$$\tilde{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tilde{\tau}}.$$

Αντίθετα, η εκτιμήτρια \hat{C}_{pm} που προτάθηκε από τον Boyles (1991) ορίζεται μέσω του επόμενου τύπου

$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\hat{\tau}}$$

όπου $\hat{\tau}$ είναι η επόμενη εκτιμήτρια της ποσότητας τ η οποία δίνεται από την έκφραση

$$\hat{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} + (\bar{X} - T)^2} = \sqrt{\frac{n-1}{n} S^2 + (\bar{X} - T)^2} = \sqrt{\frac{n-1}{n}} \tilde{\tau}$$

(βλέπε Kotz and Johnson (1993)).

Σημειώνουμε ότι οι δύο εκτιμήτριες \tilde{C}_{pm} και \hat{C}_{pm} έχουν παρόμοιες στατιστικές ιδιότητες αφού συνδέονται μέσω της προφανούς σχέσης

$$\hat{C}_{pm} = \sqrt{\frac{n}{n-1}} \tilde{C}_{pm}$$

και συμπίπτουν ασυμπτωτικά (για $n \rightarrow \infty$).

Οι Subbaiah and Taam (1993), βασιζόμενοι σε αποτελέσματα από προσομοίωση, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η εκτιμήτρια \tilde{C}_{pm} είναι προτιμότερη για σημειακή εκτίμηση ενώ η εκτιμήτρια \hat{C}_{pm} είναι προτιμότερη όταν απαιτείται ο υπολογισμός διαστήματος εμπιστοσύνης.

1.5 Ο δείκτης επίδοσης C_{pmk}

Ο τελευταίος δείκτης που θα εξετάσουμε στο κεφάλαιο αυτό είναι ο δείκτης C_{pmk} . Ο δείκτης C_{pmk} είναι ένας συνδυασμός του δείκτη C_{pk} και του δείκτη C_{pm} αφού όπως θα δούμε παρακάτω, ο αριθμητής του προκύπτει από εκείνον του C_{pk} και ο παρανομαστής του από εκείνον του C_{pm} .

1.5.1 Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη C_{pmk}

Ο δείκτης C_{pmk} προτάθηκε αρχικά από τους Choi and Owen (1990) και στη συνέχεια από τους Pearn, Kotz and Johnson (1992) και ορίζεται από τη σχέση

$$C_{pmk} = \min \frac{(\mu - LSL, USL - \mu)}{3\tau} = \min \left(\frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right).$$

Η χρήση του τύπου αυτού κάνει φανερή τη συμμετοχή όλων των παραμέτρων (μ , σ) και προδιαγραφών (LSL , USL και T) κατά τον υπολογισμό του δείκτη C_{pmk} . Η εισαγωγή του δείκτη C_{pmk} ξεπερνά το σοβαρό μειονέκτημα που όπως είδαμε αντιμετωπίζουν οι δείκτες C_p , C_{pk} και C_{pm} . Είναι ο μόνος δείκτης που λαμβάνει υπόψη του το μέγεθος της τυπικής απόκλισης, τη διαφορά του μέσου από την τιμή στόχο και τη διαφορά του μέσου από την κεντρική τιμή του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών, ακόμα και όταν τα όρια προδιαγραφών δεν είναι συμμετρικά.

Ο C_{pmk} μπορεί να εκφραστεί και ως συνάρτηση των δεικτών C_{pk} και C_{pm} . Έτσι τρεις εναλλακτικές και ισοδύναμες μορφές του C_{pmk} είναι οι

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} = \left(1 - \frac{|\mu - M|}{d}\right) C_{pm} = \frac{d - |\mu - M|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}.$$

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι, για $|\mu - T| = 0$ (δηλαδή $\mu = T$) έχουμε $C_{pmk} = C_{pk}$ και επιπλέον για $|\mu - T| \neq 0$ (δηλαδή $\mu \neq T$) έχουμε $C_{pmk} < C_{pk}$. Επίσης, αφού $C_{pk} \leq C_p$

έχουμε ότι $C_{pmk} \leq C_{pm}$ και για $\mu \neq M$ προκύπτει ότι $C_{pmk} < C_{pm}$. Τέλος, αν $\mu = T = M$ θα ισχύει $C_{pm} = C_p$.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι βασικότερες ιδιότητες του δείκτη C_{pmk} (βλέπε Αντζουλάκος (2006)).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-2

Βασικές ιδιότητες του δείκτη C_{pmk} .

$\mu = M \Rightarrow C_{pmk} = C_{pm} (C_{pk} = C_p)$ $\mu = T \Rightarrow C_{pmk} = C_{pk} (C_{pm} = C_p)$ $\mu = M = T \Rightarrow C_{pmk} = C_{pm} = C_{pk} = C_p$ $C_{pmk} \leq C_{pm}$

Όπως είναι φανερό, ο δείκτης C_{pmk} τείνει στο άπειρο μόνο όταν η τυπική απόκλιση τείνει στο μηδέν και ταυτόχρονα η μέση τιμή τείνει στην τιμή στόχο. Αποδεικνύεται ότι, όταν η τυπική απόκλιση τείνει στο μηδέν, τότε ο δείκτης C_{pmk} τείνει στην τιμή

$$\frac{USL - LSL}{6|\mu - T|} \frac{1}{3}.$$

Με την ύπαρξη αυτού του ορίου μπορούμε για οποιαδήποτε δοθείσα τιμή του C_{pmk} να υπολογίσουμε το ανώτερο δυνατό όριο καθώς η τυπική απόκλιση τείνει στο μηδέν. Το όριο αυτό είναι

$$|\mu - T| < \frac{USL - LSL}{2(1 + 3C_{pmk})}.$$

Είναι φανερό ότι

$$C_{pmk} = 1 \Rightarrow |\mu - T| < \frac{USL - LSL}{8},$$

δηλαδή, αν $C_{pmk} = 1$, τότε ο μέσος της διεργασίας απέχει από την τιμή στόχο απόσταση μικρότερη από το 1/8 του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών. Έτσι, στην περίπτωση αυτή, ο μέσος βρίσκεται μέσα στο μεσαίο τέταρτο της περιοχής προδιαγραφών.

Ένα μειονέκτημα του δείκτη C_{pmk} είναι η πολύπλοκη μορφή του καθώς καθιστά δύσκολη, αν όχι ανέφικτη, την εύρεση κατανομής πιθανών εκτιμητριών του και την εύρεση διαστημάτων εμπιστοσύνης.

1.5.2 Εκτίμηση του δείκτη C_{pmk}

Για την εκτίμηση του δείκτη C_{pmk} έχει προταθεί από τους Pearn, Kotz and Johnson (1992) η παρακάτω εκτιμήτρια η οποία προκύπτει άμεσα από τους τύπους ορισμού του C_{pmk} αντικαθιστώντας τις άγνωστους παραμέτρους μ, σ^2 , με τις αντίστοιχες εκτιμήτριες του.

$$\hat{C}_{pmk} = \min \frac{(USL - \bar{X}, \bar{X} - LSL)}{3\sqrt{\frac{n}{n-1}S^2 + (\bar{X} - T)^2}} = \min \left(\frac{USL - \bar{X}}{3\sqrt{\frac{n}{n-1}S^2 + (\bar{X} - T)^2}}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sqrt{\frac{n}{n-1}S^2 + (\bar{X} - T)^2}} \right)$$

$$= \frac{d - |\bar{X} - M|}{3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} + (\bar{X} - T)^2}}$$

Από τον τύπο ορισμού της \hat{C}_{pmk} είναι φανερό ότι αυτή δεν είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια του δείκτη C_{pmk} .

РАНЕЕ НЕ ПЕРПА

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ «6 Σίγμα».

Όπως γνωρίζουμε, εάν σε μία διεργασία το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και διακύμανση σ , τότε το 99.73% των παραγόμενων προϊόντων θα βρίσκονται μέσα στο διάστημα $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$. Για αυτόν ακριβώς το λόγο το πλάτος του $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)=6\sigma$ ονομάζεται *φυσικό εύρος* ή *φυσική μεταβλητότητα* της διεργασίας. Ένα ποιοτικό επίπεδο σίγμα και κατ'επέκταση η φυσική μεταβλητότητα της διεργασίας, καθώς επίσης και η θέση στην οποία βρίσκονται τα όρια προδιαγραφών σε σχέση με το διάστημα $[\mu-3\sigma, \mu+3\sigma]$ καθορίζουν και επηρεάζουν το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων που παράγονται από τη διεργασία.

Υπάρχουν διάφοροι δείκτες που αναδεικνύουν τη σχέση μεταξύ της φυσικής μεταβλητότητας και των ορίων προδιαγραφών μιας διεργασίας όπως έχουμε αναφέρει. Ο απλούστερος δείκτης που μπορεί να ποσοτικοποιήσει την παραπάνω σχέση είναι ο δείκτης επίδοσης διεργασίας C_p ο οποίος ορίστηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο.

Ο δείκτης επίδοσης διεργασίας C_p είναι ένα σύνηθες μέτρο που χρησιμοποιείται στη μέθοδο «6 Σίγμα» για να βελτιώσει και να περιγράψει εάν η διεργασία πληροί τις προϋποθέσεις και τις απαιτήσεις της. Στην ποιοτική μεθοδολογία «6 Σίγμα», η απόδοση μιας διεργασίας αναφέρεται ως επίπεδο σίγμα. Όσο πιο υψηλό επίπεδο σίγμα έχουμε, δηλαδή όσο η μεταβλητότητα της διεργασίας είναι χαμηλή τόσο καλύτερα θα αποδώσει η μέθοδος «6 Σίγμα» που έχει ως κύριο στόχο την παραγωγή προϊόντων μέσα στα όρια προδιαγραφών δηλαδή την ελαχιστοποίηση των ελαττωματικών προϊόντων.

Για παράδειγμα εάν είχαμε $USL = 90$, $LSL=72$, $\sigma=3$ τότε ο δείκτης επίδοσης διεργασίας C_p θα πάρει την τιμή

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{90 - 72}{6 \cdot 3} = \frac{18}{18} = 1$$

ενώ το ποσοστό των παραγόμενων προϊόντων που βρίσκονται εκτός των ορίων προδιαγραφών ισούται με

$$p = P(X < 72) + P(X > 90).$$

Όταν το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή $\mu=81$ και τυπική απόκλιση $\sigma=3$, θα έχουμε:

$$\begin{aligned} p &= P\left(\frac{X-81}{3} < \frac{72-81}{3}\right) + P\left(\frac{X-81}{3} > \frac{90-81}{3}\right) = P(Z < -3) + P(Z > 3) \\ &= \Phi(-3) + (1 - \Phi(3)) = 0.0027 \end{aligned}$$

δηλαδή 0.27% των προϊόντων βρίσκονται εκτός των ορίων προδιαγραφών.

Στη συνέχεια θεωρούμε ότι ο κατασκευαστής κατορθώνει να μειώσει τη μεταβλητότητα της διεργασίας από την τιμή $\sigma=3$ στην τιμή $\sigma=2.8$. Τότε ο δείκτης επίδοσης διεργασίας C_p θα πάρει την τιμή

$$C_p = \frac{90-72}{6 \cdot (2.8)} = 1.07$$

ενώ το ποσοστό ελαττωματικών προϊόντων θα γίνει

$$\begin{aligned} p &= P\left(\frac{X-81}{2.8} < \frac{72-81}{2.8}\right) + P\left(\frac{X-81}{2.8} > \frac{90-81}{2.8}\right) = \\ &= P(Z < -3.21) + P(Z > 3.21) = 2(1 - \Phi(3.21)) = 0.0014 \end{aligned}$$

δηλαδή μόλις 0.14%.

Το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων εκφράζεται συνήθως σε ελαττώματα ανά εκατομμύρια ευκαιρίες και συμβολίζεται με $DPMO$ (Defects Per Million Opportunities). Επομένως, στην πρώτη από τις δύο περιπτώσεις θα έχουμε $DPMO=2700$ και στη δεύτερη περίπτωση θα έχουμε $DPMO=1400$.

Στην περίπτωση που τα όρια προδιαγραφών κατανέμονται συμμετρικά γύρω από το μέσο της διεργασίας δηλαδή στην περίπτωση όπου

$$USL - \mu = \mu - LSL,$$

μπορούμε να γράψουμε

$$\begin{aligned} p &= P(X > USL) + P(X < LSL) = P\left(\frac{X-\mu}{\sigma} > \frac{USL-\mu}{\sigma}\right) + P\left(\frac{X-\mu}{\sigma} < \frac{LSL-\mu}{\sigma}\right) \\ &= P\left(Z > \frac{USL-\mu}{\sigma}\right) + P\left(Z < \frac{LSL-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

όπου

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

είναι μία τυποποιημένη κανονική τυχαία μεταβλητή.

Επομένως

$$p = 1 - \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right)$$

και λαμβάνοντας υπόψη ότι

$$USL - \mu = \mu - LSL = \frac{1}{2}(USL - LSL) = \frac{6\sigma C_p}{2} = 3\sigma C_p$$

έχουμε ότι το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων θα δίνεται από τον τύπο

$$p = 1 - \Phi(3C_p) + \Phi(-3C_p) = 2(1 - \Phi(3C_p))$$

ο οποίος μπορεί να πάρει τη μορφή

$$\frac{DPMO}{10^6} = p = 2(1 - \Phi(3C_p)).$$

Το βασικό μειονέκτημα του δείκτη C_p είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη το μέσο της διεργασίας. Αυτό έχει σαν συνέπεια να μην επηρεάζεται από τη διαφορά μέσου με την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών και πολλές φορές αδυνατεί να εντοπίσει την περισσότερο ικανή διεργασία. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες τρέχουσας επίδοσης διεργασίας C_{pk} , C_{pl} , C_{pu} όπως έχουμε ήδη αναφέρει στην Ενότητα 1.3.

Έστω ότι μια διεργασία αποδίδει προϊόντα των οποίων οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού X που μελετάμε ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ . Τότε το ποσοστό των προϊόντων που δεν ικανοποιούν το άνω όριο προδιαγραφών θα δίνεται από τον τύπο

$$p_u = P(X > USL) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} > \frac{USL - \mu}{\sigma}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) = 1 - \Phi(3C_{pu}) = \frac{DPMO_u}{10^6}.$$

Αντίστοιχα, το ποσοστό των προϊόντων που δεν ικανοποιούν το κάτω όριο προδιαγραφών θα δίνεται από τον τύπο

$$p_l = P(X < LSL) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} < \frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(-\frac{\mu - LSL}{\sigma}\right) = \Phi(-3C_{pl}) = \frac{DPMO_l}{10^6}.$$

Το συνολικό ποσοστό των προϊόντων που δεν ικανοποιούν το άνω και κάτω όριο προδιαγραφών θα δίνεται από τον τύπο

$$p = p_u + p_l .$$

Όταν $C_p = 2$ λέμε ότι έχουμε μια διεργασία με επίπεδο ποιότητας «6 Σίγμα», η οποία θα παράγει 3.4 ελαττώματα ανά εκατομμύρια ευκαιρίες όταν η μέση τιμή της παραγωγικής διεργασίας έχει μετατοπιστεί κατά 1.5 σίγμα από την προβλεπόμενη ιδανική τιμή της διεργασίας. Αυτός είναι και ο θεμελιώδης στόχος της μεθόδου «6 Σίγμα» που επιδίωξε να υλοποιήσει πρώτη η εταιρία Motorola χρησιμοποιώντας τον όρο επίδοση διεργασίας για τον παρακάτω δείκτη

$$E\Delta = 3C_{pk} + 1.5 \text{ (για } C_{pk} = 1.5 \text{ πετυχαίνουμε επίπεδο ποιότητας «6 Σίγμα»)}.$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία «6 Σίγμα» στοχεύει σε μία συνεχή μείωση της μεταβλητότητας της διεργασίας για την παραγωγή λιγότερο ελαττωματικών προϊόντων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό και τη μέτρηση της μεταβλητότητας κάθε διεργασίας και με τον προσδιορισμό των αιτιών που την προκάλεσαν. Αυτό επιτρέπει την ανάπτυξη λειτουργικών μέσων για τον έλεγχο και τη μείωση του επιπέδου μεταβλητότητας. Η μέθοδος «6 Σίγμα» περιλαμβάνει όχι μόνο τη μείωση της υπάρχουσας μεταβλητότητας αλλά και την αποφυγή οποιασδήποτε μελλοντικής μεταβλητότητας που θα αναπτυχθεί.

Θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια ένα παράδειγμα στο οποίο θα διευκρινιστούν καλύτερα οι προηγούμενες έννοιες. Ας θεωρήσουμε μία βιομηχανία παραγωγής στεφάνων η οποία διαθέτει δύο παραγωγικές μονάδες: την κεντρική μονάδα και την περιφερειακή μονάδα. Ας υποθέσουμε επίσης ότι τα όρια προδιαγραφών για τα παραγόμενα στέφανα, τα οποία προορίζονται για να χρησιμοποιηθούν σε έμβολα μηχανών, είναι 74 ± 0.04 .

Θα χρησιμοποιήσουμε ως δεδομένα τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα, τα οποία αναφέρονται στην εσωτερική διάμετρο στεφάνων και προέκυψαν μέσω προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, πήραμε 25 δείγματα μεγέθους 5 από την κεντρική μονάδα (Πίνακας 2-1) και από 15 δείγματα μεγέθους 5 από την περιφερειακή μονάδα (Πίνακας 2-2), αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1

Μετρήσεις κεντρικής μονάδας.

Εσωτερική διάμετρος στεφάνης σε χιλιοστά

Δείγμα	Παρατηρήσεις				
1	74.030	74.002	74.019	73.992	74.008
2	73.995	73.992	74.001	74.011	74.004
3	73.988	74.024	74.021	74.005	74.002
4	74.002	73.996	73.993	74.015	74.009
5	73.992	74.007	74.015	73.989	74.014
6	74.009	73.994	73.997	73.985	73.993
7	73.995	74.006	73.994	74.000	74.005
8	73.985	74.003	73.993	74.015	73.988
9	74.008	73.995	74.009	74.005	74.004
10	73.988	74.000	73.990	74.007	73.995
11	73.994	73.998	73.994	73.995	73.990
12	74.004	74.000	74.007	74.000	73.996
13	73.983	74.002	73.998	73.997	74.012
14	74.006	73.967	73.994	74.000	73.984
15	74.012	74.014	73.998	73.999	74.007
16	74.000	73.984	74.005	73.998	73.996
17	73.994	74.012	73.986	74.005	74.007
18	74.006	74.010	74.018	74.003	74.000
19	73.984	74.002	74.003	74.005	73.997
20	74.000	74.010	74.013	74.020	74.003
21	73.982	74.001	74.015	74.005	73.996
22	74.004	73.999	73.990	74.006	74.009
23	74.010	73.989	73.990	74.009	74.014
24	74.015	74.008	73.993	74.000	74.010
25	73.982	73.984	73.995	74.017	74.013

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2

Μετρήσεις περιφερειακής μονάδας.

Εσωτερική διάμετρος στεφάνης σε χιλιοστά

Δείγμα	Παρατηρήσεις				
1	74.012	74.015	74.030	73.986	74.000
2	73.995	74.010	73.990	74.015	74.001
3	73.987	73.999	73.985	74.000	73.990
4	74.008	74.010	74.003	73.991	74.006
5	74.003	74.000	74.001	73.986	73.997
6	73.994	74.003	74.015	74.020	74.004
7	74.008	74.002	74.018	73.995	74.005
8	74.001	74.004	73.990	73.996	73.998
9	74.015	74.000	74.016	74.025	74.000
10	74.030	74.005	74.000	74.016	74.012
11	74.001	73.990	73.995	74.010	74.024
12	74.015	74.020	74.024	74.005	74.019
13	74.035	74.010	74.012	74.015	74.026
14	74.017	74.013	74.036	74.025	74.026
15	74.010	74.005	74.029	74.000	74.020

Θα εξετάσουμε αρχικά κατά πόσον, με βάση τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για την κεντρική μονάδα, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η μονάδα έχει πετύχει ποιότητα 6σ.

Για το σκοπό αυτό θα αναλύσουμε την επίδοση της διεργασίας που αφορά τις παρατηρήσεις της κεντρικής μονάδας μέσω του προγράμματος *MINITAB*. Αρχικά εισάγουμε τα δεδομένα που αφορούν την κεντρική μονάδα στις στήλες C1-C5 και ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία

Stat/Quality Tools/Capability Sixpack/Normal

και στο πεδίο *Subgroups across rows of* εισάγουμε C1-C5. Στη συνέχεια δίνουμε τα όρια προδιαγραφών και από το πλαίσιο διαλόγου *Estimate* επιλέγουμε το *Use unbiasing constants* και το *Rbar (for subgroup size >1)*.

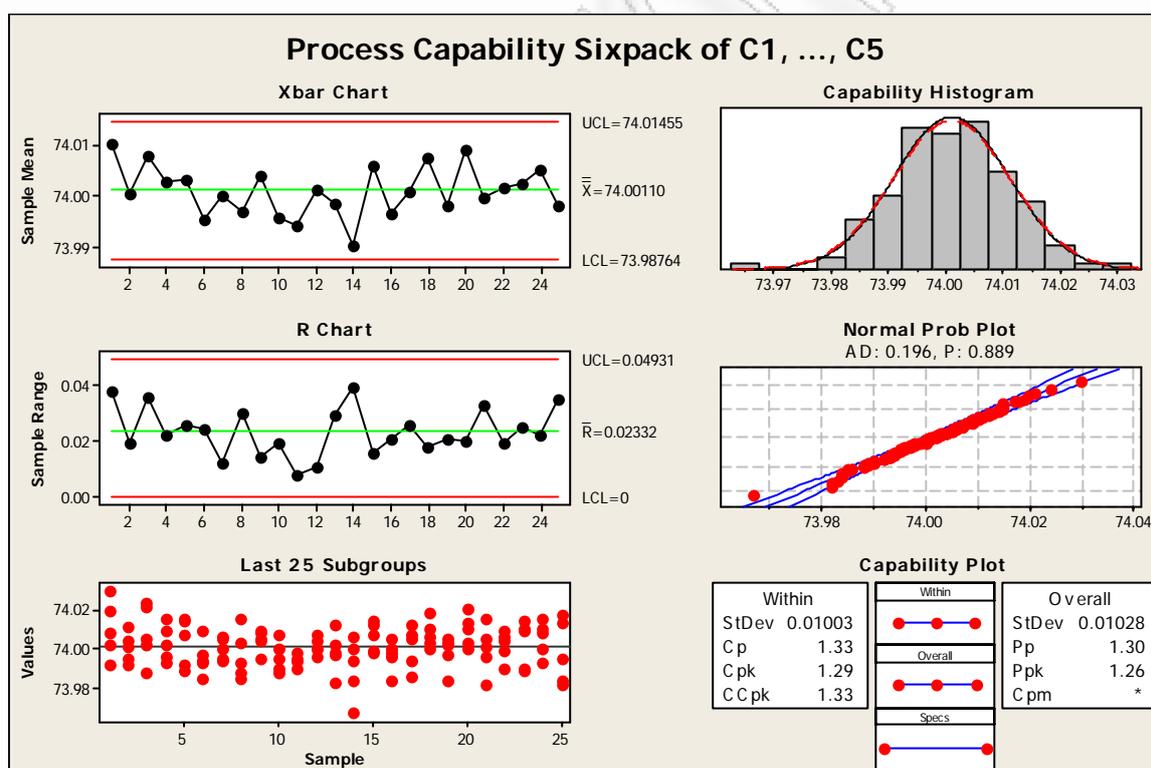
Με τις επιλογές αυτές, η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης σ θα γίνει με χρήση της μέσης δειγματικής απόκλισης (\bar{R}) των 25 δειγμάτων ενώ παράλληλα θα χρησιμοποιηθεί κατάλληλη σταθερά ώστε να προκύψει αμερόληπτη εκτιμήτρια για το σ . Τέλος από το πλαίσιο διαλόγου

Tests, επιλέγουμε και τους 8 προτεινόμενους ελέγχους, ώστε να έχουμε αυτόματη ενημέρωση για πιθανή παραβίαση οποιουδήποτε από τα προτεινόμενα κριτήρια εξόδου της διεργασίας από την εντός ελέγχου κατάσταση.

Αφού συμπληρώσουμε τα στοιχεία που δώσαμε προηγουμένως, θα πάρουμε το επόμενο πολλαπλό διάγραμμα που περιέχει το ΔE *Xbar Chart- R Chart*, ένα ιστόγραμμα με την προσαρμοσμένη κανονική κατανομή, το κανονικό γράφημα πιθανότητας, ένα διάγραμμα χρονοσειράς για τις τελευταίες 25 παρατηρήσεις και ορισμένα αριθμητικά αποτελέσματα (εδώ δίνεται επιπλέον η τιμή του δείκτη επίδοσης διεργασίας $C_p=1.33$ και $C_{pk}=1.29$ ενώ δεν δίνονται οι τιμές των *PPM*).

ΣΧΗΜΑ 2-1

Πολλαπλό διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας.



Από τα παραπάνω γραφήματα έχουμε τις ακόλουθες ενδείξεις:

- Από το κανονικό διάγραμμα πιθανότητας παρατηρούμε ότι οι παρατηρήσεις βρίσκονται πολύ κοντά στην ευθεία και επομένως έχουμε ισχυρή ένδειξη ότι ακολουθούν (προσεγγιστικά) την κανονική κατανομή. Ο αντίστοιχος στατιστικός έλεγχος μπορεί να γίνει με χρήση του παρατηρούμενου επιπέδου σημαντικότητας

για τη στατιστική συνάρτηση *Anderson-Darling*. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα που πήραμε το επίπεδο σημαντικότητας βρίσκεται ίσο με $0.196=19.6\%$ οπότε και πάλι θα αποδεχτούμε τη μηδενική υπόθεση σε επίπεδο 1% και 5%. Δηλαδή έχουμε $p\text{-value}=0.196 > \alpha=0.05$ ή 0.01 , επομένως αποδέχομαι τη μηδενική υπόθεση (απορρίπτοντας την εναλλακτική υπόθεση ότι δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή) και άρα οι παρατηρήσεις της κεντρικής μονάδας ακολουθούν την κανονική κατανομή.

- Από το $\Delta E \bar{X}$ -s διάγραμμα ελέγχου προκύπτει ότι η διεργασία είναι εντός στατιστικού ελέγχου δεδομένου ότι δεν έχουμε σήμα για εκτός ελέγχου διεργασία από τους οκτώ προτεινόμενους ελέγχους.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι για να έχουν ικανοποιητική ερμηνεία οι δείκτες που θα υπολογίσουμε θα πρέπει:

1. Η διεργασία να είναι εντός ελέγχου
2. Ανεξάρτητες μετρήσεις (το αποδεικνύουμε μέσω του τεστ των ροών)
3. Τα δεδομένα να ακολουθούν (έστω και προσεγγιστικά) την κανονική κατανομή, τα οποία ισχύουν.

Επομένως από τον πίνακα τιμών των βασικών δεικτών επίδοσης διεργασίας έχουμε ότι $C_{pk}=1.29$. Ο δείκτης επίδοσης διεργασίας, που χρησιμοποίησε η Motorola για την επίτευξη επίδοσης 6σ μιας διεργασίας, στην περίπτωση μας είναι:

$$ED = 3C_{pk} + 1.5 = 3 \cdot 1.29 + 1.5 = 5.37.$$

Η τιμή αυτή είναι αρκετά κοντά στην τιμή 6 αλλά δεν μπορούμε να πούμε ότι έχει επιτευχθεί η επιθυμητή επίδοση 6σ .

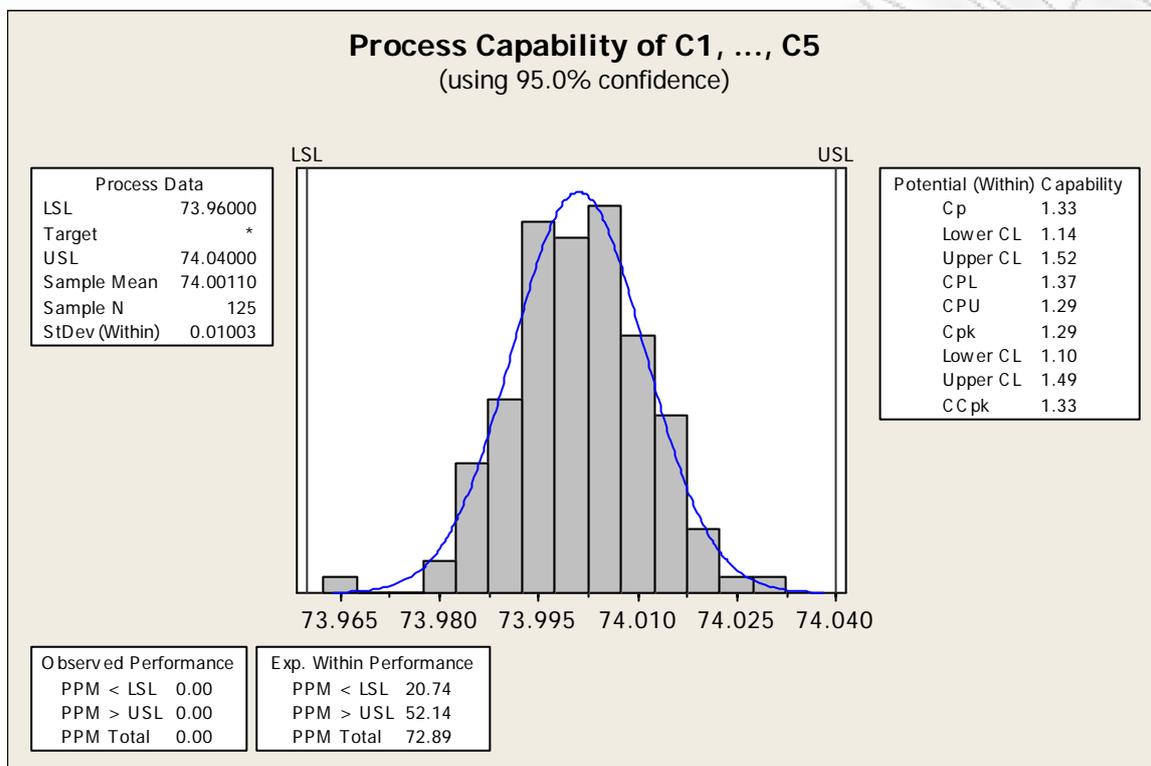
Προκειμένου να πάρουμε περισσότερες πληροφορίες για τις ποσότητες που μας ενδιαφέρουν (δείκτες, *DPMO*, κτλ) ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

Stat/Quality Tools/Capability Analysis/Normal->OK

εισάγοντας τα στοιχεία της μονάδας που μας ενδιαφέρει. Έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα απ' όπου επιβεβαιώνεται ότι δεν επιτυγχάνεται ο στόχος 6σ αφού το ποσοστό των ελαττωματικών προϊόντων είναι σχετικά υψηλό ($DPMO=72.89$).

ΣΧΗΜΑ 2-2

Διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.



Στη συνέχεια θα αναζητήσουμε τρόπους για να προτείνουμε στο τεχνικό τμήμα του εργοστασίου προκειμένου να επιτευχθεί ποιότητα 6σ στην κεντρική μονάδα.

Αρχικά, παρατηρώντας τις τιμές των δεικτών $C_p = 1.33$, $C_{pu} = 1.29$, $C_{pl} = 1.37$ αντιλαμβανόμαστε ότι, παρότι η διεργασία φαίνεται να έχει ικανοποιητική διακύμανση ώστε να επιτυγχάνει υψηλό δείκτη επίδοσης διεργασίας ($C_p \geq 1.33$ οπότε έχουμε μία ικανή διεργασία που μπορεί να οδηγήσει στο στόχο των μηδέν ελαττωματικών προϊόντων) δεν είναι αρκετή για να επιτύχουμε ποιότητα 6σ.

Τα υψηλής ποιότητας πρότυπα υπαγορεύουν τέσσερις σταθερές αποκλίσεις μεταξύ του μέσου όρου και των πιο στενών προδιαγραφών. Αυτό οδηγεί σε τιμή του δείκτη $C_p = 1.33$. Σε αυτό το επίπεδο, η διεργασία θα παράγει περίπου 99.9937% καλής ποιότητας προϊόντα ή 0.0063% ελαττωματικά προϊόντα, αριθμός που παραμένει πολύ υψηλός για μερικούς.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις τιμές C_p μαζί με τα διάφορα ποιοτικά επίπεδα και το αναμενόμενο πλήθος των παραγόμενων προϊόντων που βρίσκονται εκτός των ορίων προδιαγραφών ή *DPMO* - ατέλειες ανά εκατομμύριο (πολλά εγχειρίδια αναφέρονται σε αυτό ως ποσοστό ατέλειας *PPM*):

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3

Σχέσεις μεταξύ των ποσοτήτων C_p , επίπεδο ποιότητας και *DPMO*.

C_p	Επίπεδο ποιότητας	<i>DPMO</i>
1	3 σίγμα	2,700.00
1.33	4 σίγμα	63
1.66	5 σίγμα	0.57
2	6 σίγμα	0.002

Έτσι σε επίπεδο ποιότητας έξι σίγμα, μια διαδικασία θα παράγει πολύ λίγες ατέλειες. Αυτό το επίπεδο αντιπροσωπεύει την τιμή 2 του δείκτη C_p και αναφέρεται συχνότερα ως ποιότητα έξι σίγμα.

Ο στόχος μας είναι να επιτύχουμε ποιότητα 6σ δηλαδή να επιτύχουμε σχεδόν μηδενική τιμή *DPMO*, επομένως τα όρια προδιαγραφών θα πρέπει να βρίσκονται το πολύ σε απόσταση 6σ από το μέσο της διεργασίας. Όμως τα όρια προδιαγραφών είναι προκαθορισμένα από το τεχνικό τμήμα του εργοστασίου οπότε, για να οδηγήσουμε το δείκτη

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

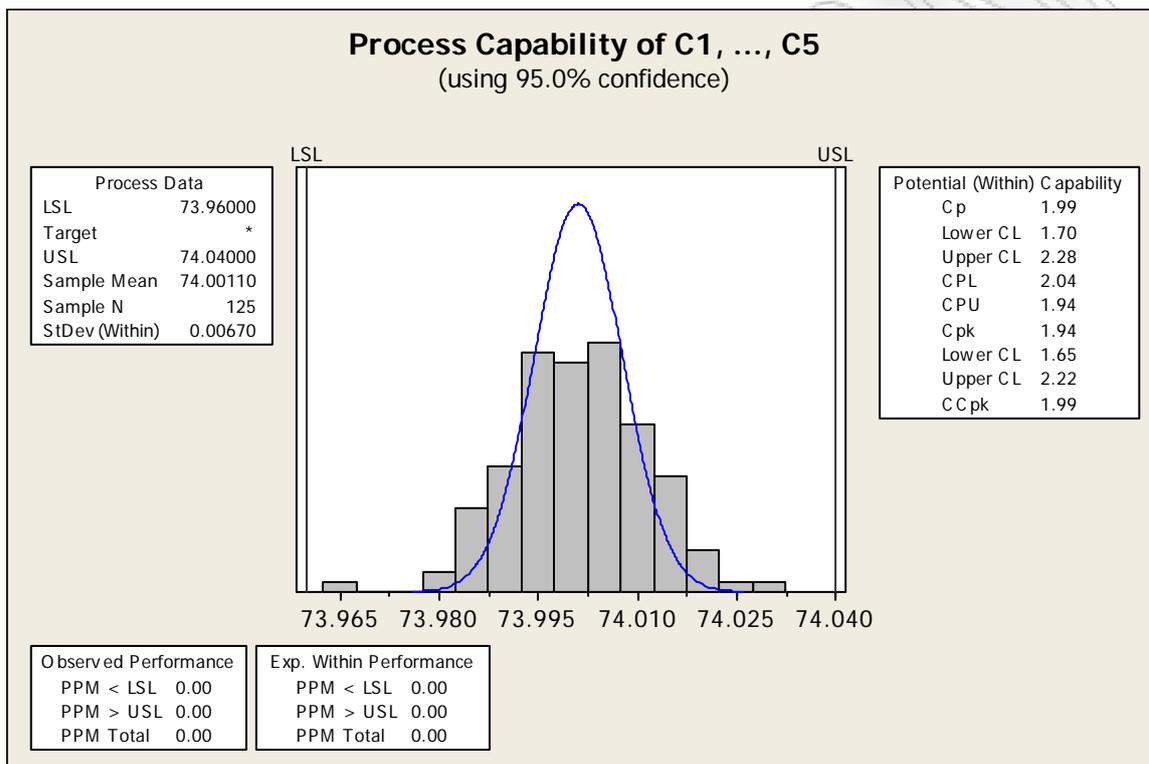
στην τιμή 2 θα πρέπει να ελαττώσουμε την τιμή του σ δηλαδή τη μεταβλητότητα της διεργασίας. Αν θέλουμε να φτάσουμε σε μηδενική σχεδόν τιμή *DPMO* θα έπρεπε να έχουμε $C_p = 2$ απ'όπου προκύπτει

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \Leftrightarrow 2 = \frac{74.04 - 73.96}{6\sigma} \Leftrightarrow \sigma = \frac{0.08}{12} \Leftrightarrow \sigma = 0.0067.$$

Έστω ότι μειώνουμε τη μεταβλητότητα της διεργασίας και έχει την τιμή 0.0067. Τότε πραγματοποιώντας ανάλυση αντίστοιχη με αυτήν που έγινε στα αρχικά δεδομένα και δίνοντας την τιμή *Historical Standard Deviation*: 0.0067, παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

ΣΧΗΜΑ 2-3

Διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% μετά τη μείωση της τυπικής απόκλισης στην τιμή 0.0067.



Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι τα αναμενόμενα προϊόντα εκτός προδιαγραφών είναι σχεδόν 0 *DPMO* ενώ η επίδοση της διεργασίας θα γίνει

$$E\Delta = 3C_{pk} + 1.5 = 3 \cdot 1.94 + 1.5 = 7.32$$

τιμή ιδιαίτερα υψηλή (ποιότητα πάνω από 6σ).

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής είναι λογικό να αναμένει κανείς ότι ο μέσος μ της διεργασίας δεν παραμένει σταθερός αλλά κινείται γύρω από την τιμή στόχο.

Στον ακόλουθο πίνακα έχουμε τις αναμενόμενες τιμές προϊόντων εκτός προδιαγραφών (σε *DPMO*) για κάθε δεδομένη απόσταση του ορίου των προδιαγραφών από το στόχο (ποσότητα που δίνεται στην πρώτη στήλη) και κάθε μετατόπιση του μέσου από το στόχο

$$\mu_0 = \frac{USL + LSL}{2} \quad (\text{βλέπε Κούτρας (2008)}).$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4

Αναμενόμενες τιμές προϊόντων εκτός προδιαγραφών (σε DPMO) για κάθε δεδομένη απόσταση του ορίου προδιαγραφών και κάθε μετατόπιση του μέσου από το στόχο.

	0.01σ	0.03σ	0.25σ	0.5σ	0.75σ	1σ	1.5σ
3σ	88.65	266.23	2403.00	5977.00	12136.00	22718.00	66804.00
3.5σ	17.46	52.45	488.60	1318.20	2969.10	6206.30	22749.80
4σ	2.68	8.05	77.70	229.20	576.00	1349.60	6209.60
4.5σ	0.32	0.96	9.67	31.38	88.34	232.61	1349.90
5σ	0.03	0.09	0.94	3.38	10.68	31.67	232.63
5.5σ	0.00	0.01	0.07	0.29	1.02	3.40	31.67

Για να υπολογίσουμε τα στοιχεία της πρώτης γραμμής εφαρμόζουμε τους παρακάτω τύπους για $m=3$ και $k=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.15, 0.175, 0.2$:

$$DPMO_u = 10^6 \cdot (1 + \Phi(m+k)), \quad DPMO_l = 10^6 \cdot (1 + \Phi(m-k))$$

$$DPMO = DPMO_u + DPMO_l$$

(βλέπε Κούτρας (2008)).

Δημιουργούμε λοιπόν μία στήλη C1 με τις τιμές του k και στη συνέχεια υπολογίζουμε τις παραπάνω ποσότητες ως εξής:

- χρησιμοποιούμε τη διαδικασία *Calc/Calculator* και αποθηκεύουμε στη στήλη C2 τις τιμές $3+k=3+C1$ και στη στήλη C3 τις τιμές $3-k=3-C1$.

- Καλούμε τη διαδικασία

Calc/Probability distributions/Normal

επιλέγουμε *Cumulative probability* και συμπληρώνουμε *Input Column:C2* και *Optional Storage:C4*.

- Επαναλαμβάνουμε το τελευταίο βήμα συμπληρώνοντας *Input Column:C3* και *Optional Storage:C5*.

- Ξανακάνουμε χρήση του *Calc/Calculator* όπου εισάγουμε στο πεδίο *Store result in variable* το όνομα της μεταβλητής C6 και στο πεδίο *Expression* την έκφραση

$$(10^{**6})*(1+C4)-(10^{**6})*(1+C5).$$

Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε τα επόμενα αποτελέσματα

C1	C2	C3	C4	C5	C6
0.01	3.01	2.99	0.99869	0.99861	88.6
0.03	3.03	2.97	0.99878	0.99851	266.2
0.25	3.25	2.75	0.99942	0.99702	2402.7
0.5	3.5	2.5	0.99977	0.99379	5977
0.75	3.75	2.25	0.99991	0.98778	12136.1
1	4	2	0.99997	0.97725	22718.5
1.5	4.5	1.5	1	0.93319	66803.8

και συμπληρώνουμε την πρώτη γραμμή του παραπάνω πίνακα (που αφορά τις αναμενόμενες τιμές προϊόντων εκτός προδιαγραφών). Οι υπόλοιπες γραμμές συμπληρώνονται με επανάληψη της προηγούμενης διαδικασίας για τις τιμές όμως $m=3.5, 4, 4.5, 5, 5.5$.

Παρατηρούμε ότι, αν θέσουμε ως στόχο μια συγκεκριμένη τιμή του *DPMO*, αυτός μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Αφού η απόσταση των ορίων προδιαγραφών είναι περίπου 3.5σ ($\hat{\sigma} = 0.01003$ οπότε $3.5\hat{\sigma} = 0.035105$), τα αναμενόμενα ποσοστά ελαττωματικών προϊόντων, σε *DPMO*, ανάλογα με τη μετατόπιση του μέσου από το στόχο, θα δίνονται στη δεύτερη γραμμή του πίνακα. Στη διεργασία που μελετάμε έχουμε 72.89 *DPMO*, επομένως μια πιθανή μετατόπιση του μέσου είναι από 0.03σ έως 0.25σ . Έτσι, η πρότασή μας στο τεχνικό τμήμα θα ήταν να επιδιώξει με κατάλληλη ρύθμιση τη μείωση της εσωτερικής διαμέτρου των στεφάνων από 0.03σ έως 0.25σ και της μεταβλητότητας σ της διεργασίας στην τιμή 0.0067.

Για να πάρουμε μία εικόνα της κατάστασης που θα διαμορφωνόταν αν επιτυγχάναμε μία μετατόπιση του μέσου κατά 0.001104 και μια μείωση της μεταβλητότητας στην τιμή 0.0067, μπορούμε να δημιουργήσουμε 5 νέες στήλες C16-C20 στις οποίες να τοποθετήσουμε τις τιμές των στηλών C1-C5 μειωμένες κατά 0.001104. Ο πίνακας των μετασχηματισμένων δεδομένων θα έχει την παρακάτω μορφή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-5

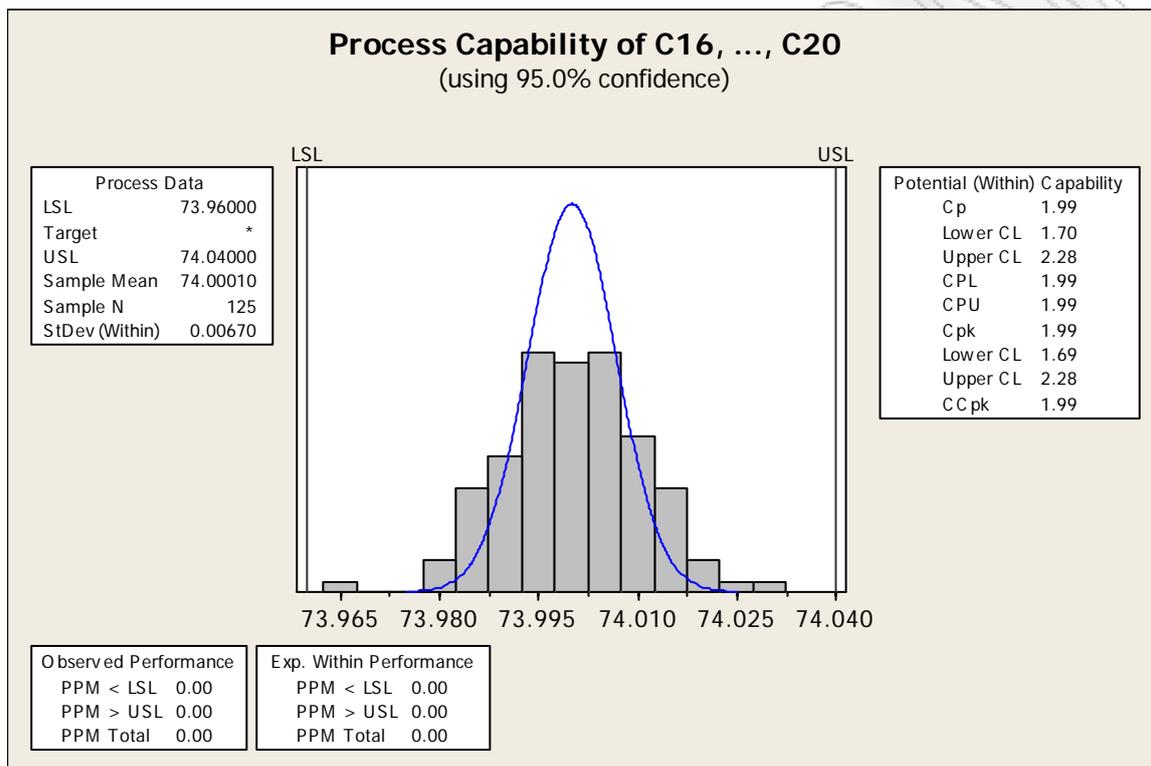
Μετασχηματισμένα δεδομένα της κεντρικής μονάδας.

74.029	74.001	74.018	73.991	74.007
73.994	73.991	74.000	74.010	74.003
73.987	74.023	74.020	74.004	74.001
74.001	73.995	73.992	74.014	74.008
73.991	74.006	74.014	73.988	74.013
74.008	73.993	73.996	73.984	73.992
73.994	74.005	73.993	73.999	74.004
73.984	74.002	73.992	74.014	73.987
74.007	73.994	74.008	74.004	74.003
73.987	73.999	73.989	74.006	73.994
73.993	73.997	73.993	73.994	73.989
74.003	73.999	74.006	73.999	73.995
73.982	74.001	73.997	73.996	74.011
74.005	73.966	73.993	73.999	73.983
74.011	74.013	73.997	73.998	74.006
73.999	73.983	74.004	73.997	73.995
73.993	74.011	73.985	74.004	74.006
74.005	74.009	74.017	74.002	73.999
73.983	74.001	74.002	74.004	73.996
73.999	74.009	74.012	74.019	74.002
73.981	74.000	74.014	74.004	73.995
74.003	73.998	73.989	74.005	74.008
74.009	73.988	73.989	74.008	74.013
74.014	74.007	73.992	73.999	74.009
73.981	73.983	73.994	74.016	74.012

Πραγματοποιώντας ανάλυση αντίστοιχη με αυτήν που έγινε στα αρχικά δεδομένα και δίνοντας την τιμή *Historical Standard Deviation*: 0.0067, παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

ΣΧΗΜΑ 2-4

Διάγραμμα ελέγχου των μετασχηματισμένων δεδομένων της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% μετά τη μείωση της τυπικής απόκλισης στην τιμή 0.0067.



Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι έχουμε μία σημαντική αύξηση των δεικτών C_p και C_{pk} με τιμές $C_p = 1.99$ και $C_{pk} = 1.99$ αντίστοιχα. Επίσης παρατηρούμε ότι τα αναμενόμενα προϊόντα που βρίσκονται εκτός ορίων προδιαγραφών είναι 0 *DPMO* ενώ η επίδοση της διεργασίας γίνεται

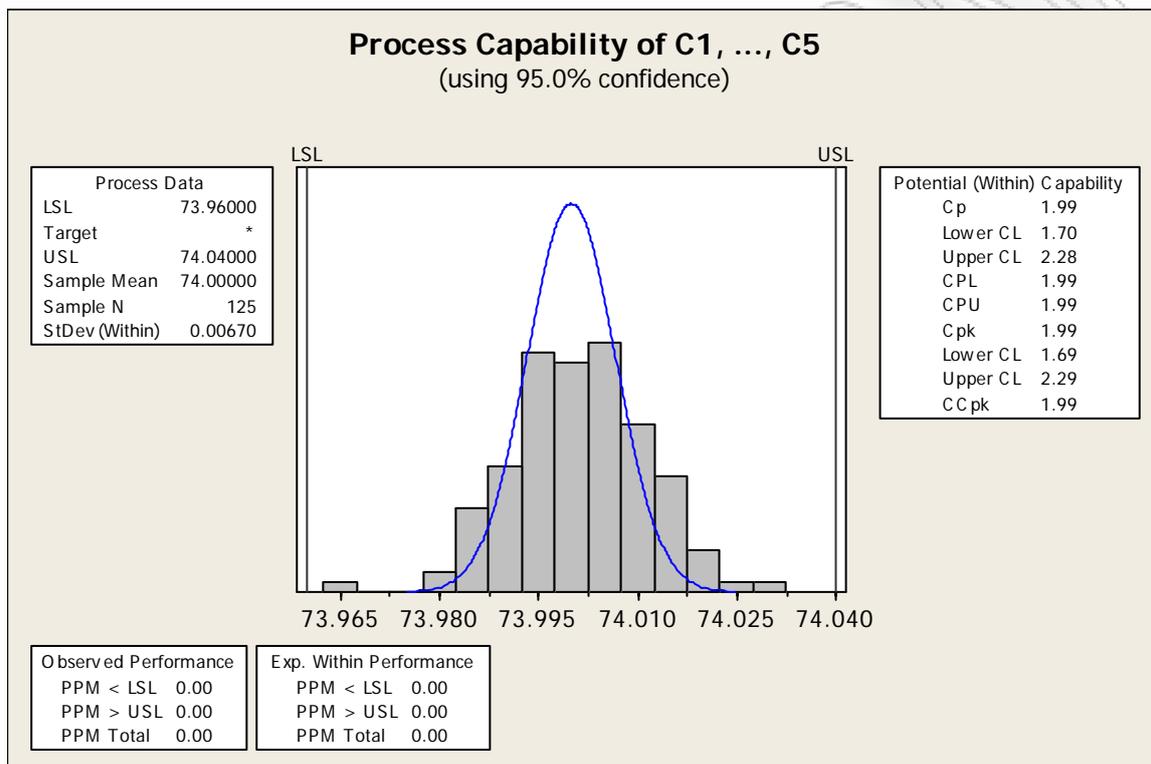
$$ED = 3C_{pk} + 1.5 = 3 \cdot 1.99 + 1.5 = 7.47$$

τιμή ιδιαίτερα υψηλή (ποιότητα πάνω από 6σ).

Ας σημειωθεί ότι οι τιμές των δεικτών επίδοσης διεργασίας με τα αναμενόμενα *DPMO* θα μπορούσαν να ληφθούν και αν χρησιμοποιούσαμε τα αρχικά δεδομένα και δίναμε τις τιμές *Historical Mean*: 73.999996, *Historical Standard Deviation*: 0.0067 οπότε θα παίρναμε το ακόλουθο αποτέλεσμα:

ΣΧΗΜΑ 2-5

Διάγραμμα ελέγχου της κεντρικής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95%
για $\mu=73.999996$ και $\sigma=0.0067$.



Στη συνέχεια θα εξετάσουμε αν με βεβαιότητα 95% η κεντρική μονάδα έχει επιτύχει ποιότητα τουλάχιστον 6σ μετά τη μετατόπιση του μέσου και της μεταβλητότητας.

Από το τελευταίο διάγραμμα (ΣΧΗΜΑ 2-4) παρατηρούμε ότι το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για το δείκτη C_{pk} είναι (1.69, 2.28). Επομένως είμαστε 95% βέβαιοι ότι $C_{pk} \geq 1.69$ το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι

$$E\Delta \geq 3C_{pk} + 1.5 = 3 \cdot 1.69 + 1.5 = 6.57.$$

Επομένως θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι, μετά τη μετατόπιση του μέσου κατά 0.001104 προς τα κάτω και τη μείωση της μεταβλητότητας της διεργασίας στην τιμή 0.0067, έχει επιτευχθεί ποιότητα τουλάχιστον 6σ. Πρέπει να σημειωθεί ότι το τέλειο 6σ δεν μπορεί να επιτευχθεί, παρόλα αυτά μια άνοδος από ένα επίπεδο σίγμα στο αμέσως επόμενο θα παράγει σημαντικά οφέλη.

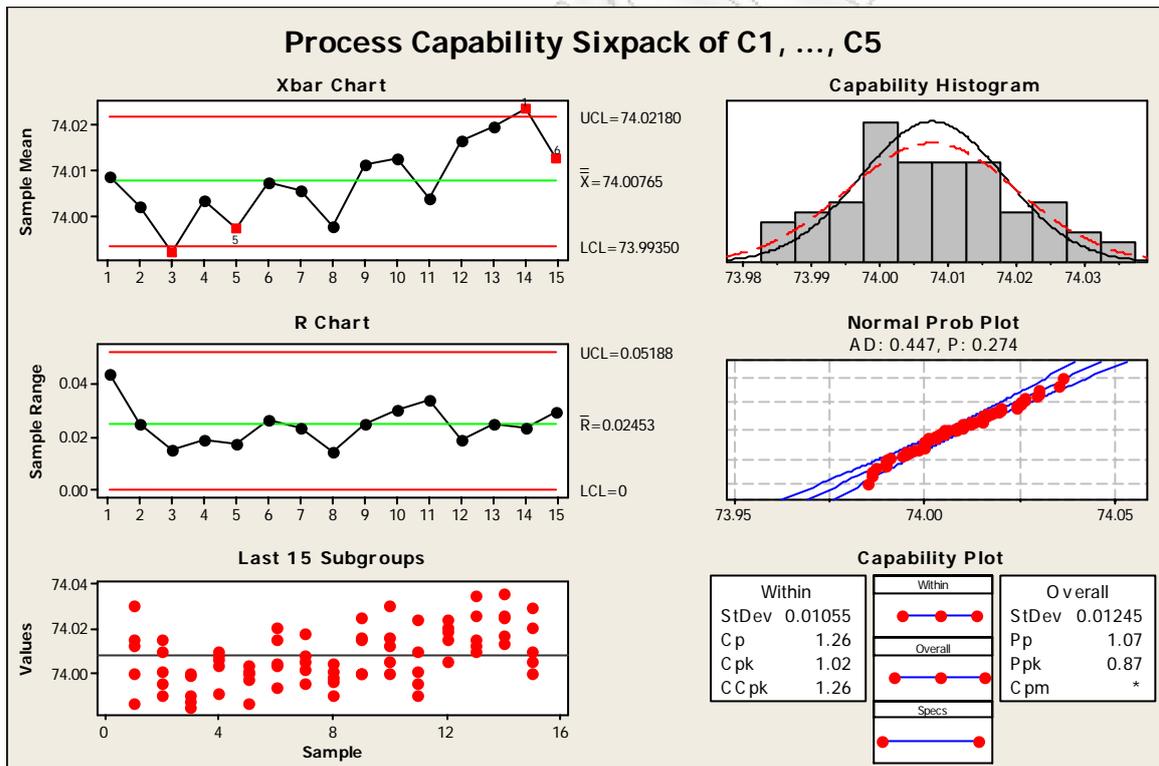
Στη συνέχεια θα συγκριθούν οι δύο παραγωγικές διαδικασίες με βάση

- (i) τη μέση εσωτερική διάμετρο στεφάνων
- (ii) τις παρατηρούμενες αποδόσεις (ποσοστό ελαττωματικών προϊόντων)
- (iii) τους δείκτες επίδοσης και
- (iv) τις αναφερόμενες αποδόσεις.

Για το λόγο αυτό εισάγουμε τα δεδομένα της περιφερειακής μονάδας στις στήλες C1-C5 σε δεύτερο φύλλο εργασίας και επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη διαδικασία, επιλέγοντας ομοίως την μέθοδο εκτίμησης το $Rbar$ (αφού έχουμε μέγεθος δείγματος μόλις 5). Έτσι έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα που μας οδηγούν στα επόμενα συμπεράσματα.

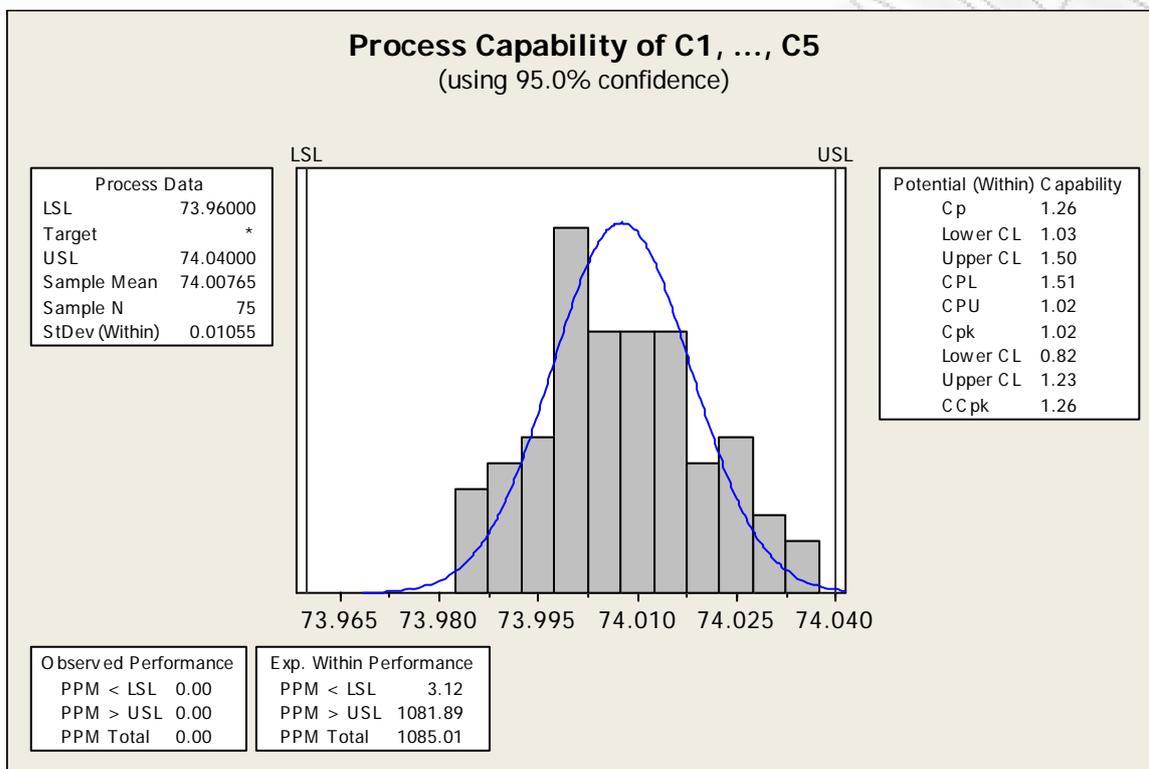
ΣΧΗΜΑ 2-6

Πολλαπλό διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας.



ΣΧΗΜΑ 2-7

Διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.



- (i) Με βάση τη μέση εσωτερική διάμετρο των παραγόμενων στεφάνων, η διαδικασία της κεντρικής μονάδας φαίνεται να υπερτερεί, αφού έχει μέση παρατηρούμενη τιμή 74.00110 ενώ η περιφερειακή μονάδα έχει 74.00765 (η πρώτη τιμή είναι πιο κοντά στην τιμή στόχο 74).
- (ii) Το συνολικό παρατηρούμενο πλήθος προϊόντων ανά εκατομμύριο, τα οποία παραβιάζουν είτε το άνω είτε το κάτω όριο προδιαγραφών (*PPM Total*) για την κεντρική μονάδα είναι 0 *DPMO* και για την περιφερειακή μονάδα είναι επίσης 0 *DPMO*. Αυτή η ποσότητα είναι μηδενική και για τις δύο μονάδες διότι καμία από τις παρατηρήσεις των 40 συνολικά δειγμάτων που χρησιμοποιήσαμε δε βρέθηκε κάτω από το *LSL* ή πάνω από το *USL*. Με βάση αυτό το κριτήριο δεν έχουμε μία σαφή εικόνα για το ποια μονάδα είναι καλύτερη.

Σημειώνεται ότι για να μπορέσει κανείς να εκμεταλλευτεί ουσιαστικά την τιμή ενός δείκτη διεργασίας για να βγάλει στατιστικά συμπεράσματα θα πρέπει να έχει προηγουμένως εξασφαλίσει τις επόμενες δύο συνθήκες:

- ότι η διεργασία είναι εντός στατιστικού ελέγχου (και επομένως μπορούμε να υποθέτουμε ότι ο μέσος και η διακύμανση της διεργασίας έχουν σταθεροποιηθεί) και
- ότι το χαρακτηριστικό που μελετάμε ακολουθεί την κανονική κατανομή.

Όμως από το διάγραμμα \bar{X} της περιφερειακής μονάδας παρατηρούμε ότι 4 μετρήσεις έχουν παραβιάσει τα κριτήρια εξόδου της διεργασίας από την εντός ελέγχου κατάσταση. Έτσι στην περίπτωση της περιφερειακής μονάδας η διεργασία είναι εκτός στατιστικού ελέγχου και επομένως, τα συμπεράσματα και κυρίως αυτά που αφορούν διαστήματα εμπιστοσύνης και ποσοστά που υπολογίζονται με βάση το μοντέλο της κανονικής κατανομής, είναι εξαιρετικά επισφαλή.

Από το κανονικό γράφημα πιθανότητας παρατηρούμε ότι οι παρατηρήσεις μας είναι συγκεντρωμένες αρκετά κοντά στην ευθεία που αντιστοιχεί στην κανονική κατανομή, οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα δεδομένα μας ακολουθούν κατά προσέγγιση την κατανομή αυτή. Ο αντίστοιχος στατιστικός έλεγχος μπορεί να γίνει με χρήση του παρατηρούμενου επιπέδου σημαντικότητας για τη στατιστική συνάρτηση *Anderson-Darling*. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα που πήραμε το παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας βρίσκεται ίσο με $0.447=44.7\%$ οπότε και πάλι θα αποδεχτούμε την μηδενική υπόθεση σε επίπεδο 1% και 5%.

- (iii) Συγκρίνοντας τους δείκτες επίδοσης διεργασίας C_{pk} για τις δύο μονάδες, συμπεραίνουμε ότι και πάλι η κεντρική μονάδα αποδίδει καλύτερα από ότι η περιφερειακή ($C_{pk_1} = 1.29$ της πρώτης έναντι $C_{pk_2} = 1.02$ της δεύτερης). Η επίδοση της περιφερειακής μονάδας μάλιστα είναι ίση με

$$ED = 3C_{pk_2} + 1.5 = 3 \cdot 1.02 + 1.5 = 4.56$$

(πολύ μακριά από το 6σ).

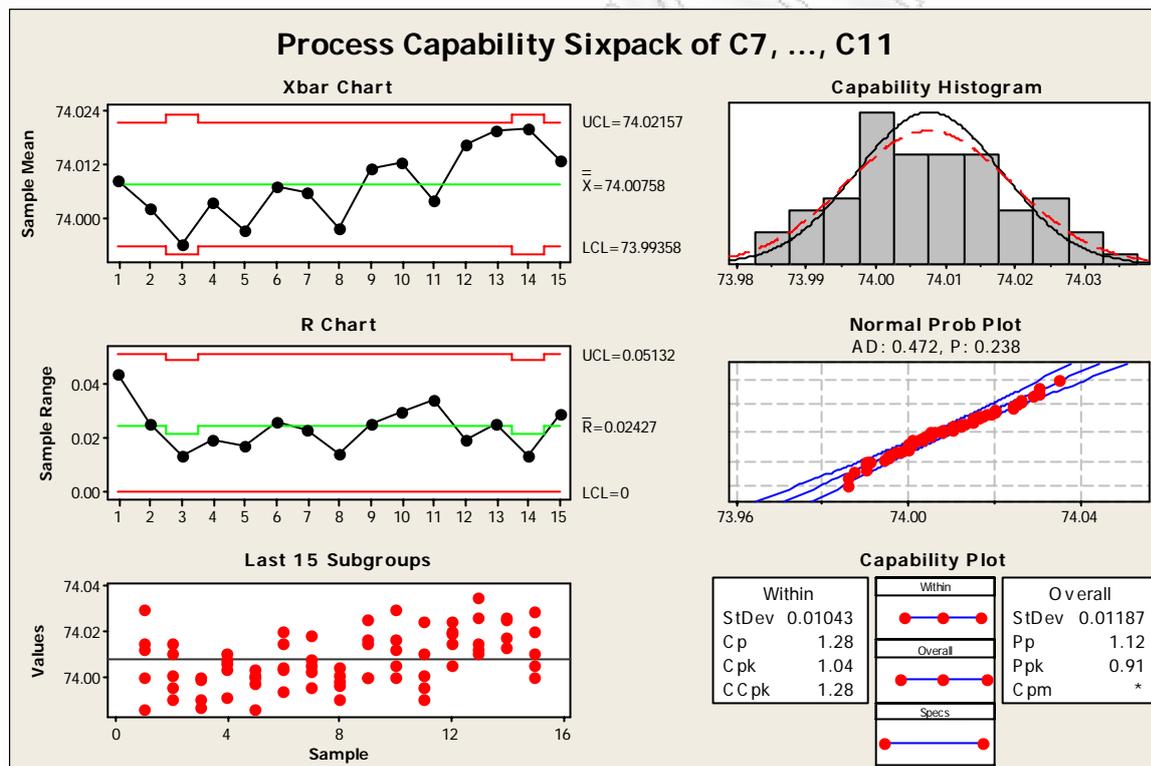
- (iv) Για τις αναμενόμενες αποδόσεις βρίσκουμε $DPMO=72.89$ για την κεντρική μονάδα και $DPMO=1085.01$ για την περιφερειακή μονάδα. Επομένως και με βάση αυτό το κριτήριο, η κεντρική μονάδα θεωρείται καλύτερη από την περιφερειακή μονάδα.

Επαναλαμβάνοντας τη μελέτη των δεδομένων της περιφερειακής μονάδας εξαιρώντας τις παρατηρήσεις που παρουσίαζαν τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη διάμετρο (επειδή ίσως να οφείλονται σε λάθος μετρήσεις) διαπιστώνουμε διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων. Αυτό το επιτυγχάνουμε με τον ακόλουθο τρόπο.

Εάν αντικαταστήσουμε την 3^η παρατήρηση του 3^{ου} δείγματος και την 3^η παρατήρηση του 14^{ου} δείγματος με * (οπότε το πρόγραμμα MINITAB τα θεωρεί ως ελλειπούσες τιμές) και επαναλάβουμε την ανάλυση θα πάρουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

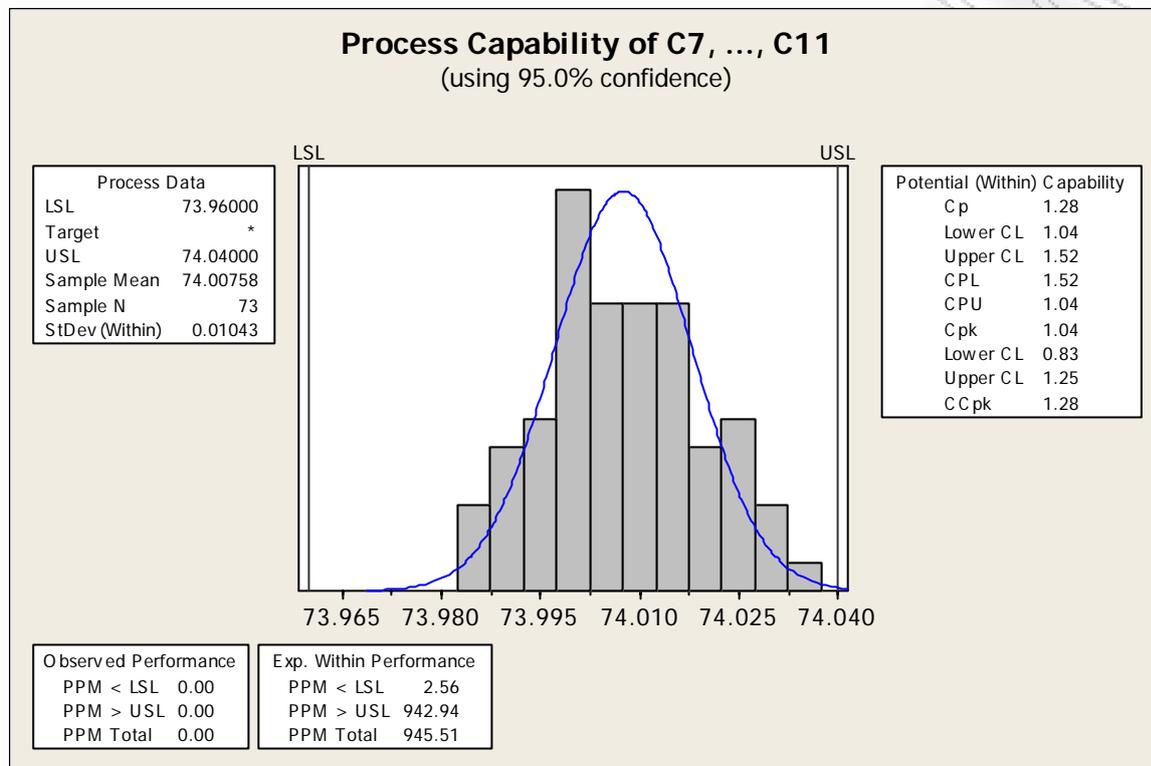
ΣΧΗΜΑ 2-8

Πολλαπλό διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας μετά την εξαίρεση των ανεπιθύμητων τιμών.



ΣΧΗΜΑ 2-9

Διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% μετά την εξαίρεση των ανεπιθύμητων τιμών.



Από το κανονικό διάγραμμα πιθανότητας διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχει πλέον παρατήρηση που να βρίσκεται εκτός των διαστημάτων εμπιστοσύνης (παράλληλα το παρατηρούμενο επίπεδο εμπιστοσύνης για το τεστ *Anderson-Darling* αυξήθηκε από 44.7% που ήταν και έγινε 47.2%). Οι δείκτες επίδοσης αυξήθηκαν επίσης, χωρίς όμως η διαφορά από τους προηγούμενους να είναι εντυπωσιακή.

Τέλος, εάν ο στόχος μας είναι να επιτύχουμε ποιότητα 6σ στην περιφερειακή μονάδα δηλαδή να επιτύχουμε σχεδόν μηδενική τιμή *DPMO*, θα πρέπει τα όρια προδιαγραφών να βρίσκονται το πολύ σε απόσταση 6σ από το μέσο της διεργασίας. Όμως τα όρια προδιαγραφών είναι προκαθορισμένα από το τεχνικό τμήμα του εργοστασίου οπότε, για να οδηγήσουμε το δείκτη

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

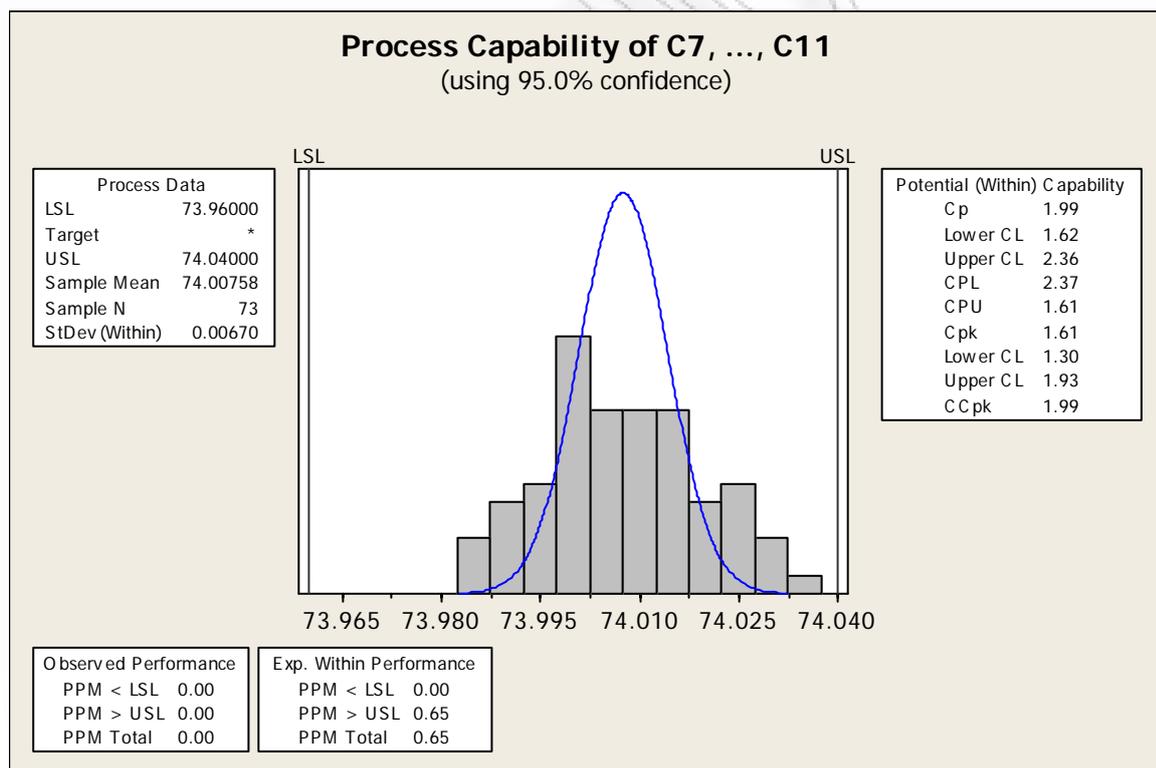
στην τιμή 2 θα πρέπει να ελαττώσουμε την τιμή του σ δηλαδή τη μεταβλητότητα της διεργασίας. Αν θέλουμε να φτάσουμε σε μηδενική τιμή $DPMO$ θα έπρεπε να έχουμε $C_p = 2$ απ' όπου προκύπτει

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \Leftrightarrow 2 = \frac{74.04 - 73.96}{6\sigma} \Leftrightarrow \sigma = \frac{0.08}{12} \Leftrightarrow \sigma = 0.0067.$$

Έστω ότι μειώνουμε τη μεταβλητότητα της διεργασίας και έχει την τιμή 0.0067. Τότε πραγματοποιώντας ανάλυση αντίστοιχη με αυτήν που έγινε στα αρχικά δεδομένα και δίνοντας την τιμή *Historical Standard Deviation*: 0.0067, παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

ΣΧΗΜΑ 2-10

Διάγραμμα ελέγχου της περιφερειακής μονάδας για διαστήματα εμπιστοσύνης 95% για $\sigma=0.0067$.



Σύμφωνα με το τελευταίο διάγραμμα, ακόμα και αν ο μέσος μείνει στα ίδια επίπεδα (74.00758), μειώνοντας την τιμή της τυπικής απόκλισης σε $\sigma=0.0067$ (από 0.01055 που ήταν αρχικά), η διεργασία θα δίνει 0.65 προϊόντα εκτός προδιαγραφών (ανά εκατομμύριο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΣ «6 Σίγμα».

3.1 Τι είναι η μέθοδος «6 Σίγμα».

Η μέθοδος «6 Σίγμα» αποτελεί μια ολοκληρωμένη τεχνική επιχειρησιακής βελτίωσης. Ο κύριος στόχος της είναι να εφαρμόσει μια διαδικασία για να αποβάλει συστηματικά τις ατέλειες και την ανεπάρκεια. Είναι μια επαναστατική διαδικασία που επιτρέπει σε εταιρίες και οργανισμούς να αυξήσουν τα κέρδη τους οργανώνοντας συγκεκριμένες διαδικασίες, έτσι ώστε να βελτιώσουν την ποιότητά τους και να ελαχιστοποιήσουν ατέλειες και λάθη. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ορισθεί ως ένα σύνολο πρακτικών που βελτιώνουν την αποδοτικότητα μειώνοντας τη μεταβλητότητα και αποβάλλουν τις ατέλειες.

Η μέθοδος «6 Σίγμα» που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια ευρέως σε πολλές κορυφαίες εταιρίες στις Ηνωμένες Πολιτείες αλλά και σε όλο τον κόσμο με εντυπωσιακά αποτελέσματα, δεν περιορίζεται μόνο στον κλάδο της βιομηχανίας και των κατασκευαστικών εταιριών. Πιο συγκεκριμένα, η έννοια του «6 Σίγμα» προσδιορίζεται ως μια επιχειρησιακή διαδικασία που επιτρέπει στους οργανισμούς να βελτιωθούν με το σχεδιασμό και τον έλεγχο των καθημερινών επιχειρησιακών δραστηριοτήτων με τρόπους που ελαχιστοποιούν τα ελαττώματα και τους πόρους, αυξάνοντας την ικανοποίηση των τελικών χρηστών.

Ο Defeo (1999) περιγράφοντας το πρόγραμμα «6 Σίγμα» αναφέρει ότι είναι μια προσανατολισμένη προς τα δεδομένα μέθοδος για την επίτευξη σχεδόν τέλειας ποιότητας και διαφέρει από άλλες ποιοτικές προσπάθειες επειδή εντοπίζει τα λάθη προτού να εμφανισθούν.

Οι Harry et al (2000) προσδιορίζουν την έννοια του «6 Σίγμα» ως μια επιχειρησιακή διαδικασία που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να βελτιώσουν δραστικά την κατώτατη γραμμή τους με το σχεδιασμό και τον έλεγχο των καθημερινών επιχειρησιακών δραστηριοτήτων με τρόπους που ελαχιστοποιούν τα σφάλματα και τους πόρους, αυξάνοντας την ικανοποίηση των πελατών.

Οι Breyfogle et al (2001) βασίζουν τον ορισμό τους για το «6 Σίγμα» στην προσέγγιση εκπαίδευσης ποιότητας που είναι γνωστή με την ορολογία «Εξυπνότερες Λύσεις». Η

προσέγγιση των «Εξυπνότερων Λύσεων» θεωρεί τη μεθοδολογία «6 Σίγμα» ως μια στρατηγική επιχειρησιακή πρωτοβουλία παρά ένα πρόγραμμα ποιότητας. Οι «Εξυπνότερες Λύσεις» καθορίζουν ότι η προσέγγιση «6 Σίγμα» αποτελεί μια ευφυή φιλοσοφία ανάμειξης της επιχείρησης με καθιερωμένα στατιστικά εργαλεία για βελτίωση της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας της οργάνωσης στο να καλύπτει τις ανάγκες των πελατών. Αυτό δεν υπονοεί ότι το πρόγραμμα «6 Σίγμα» αντικαθιστά τις υπάρχουσες και τρέχουσες ποιοτικές πρωτοβουλίες σε μια επιχείρηση, αλλά ότι η ανώτερη διοίκηση εστιάζεται στις προαναφερθείσες διαδικασίες ως κρίσιμες, σε όρους ποιότητας, από άποψη πελατών. Τα κρίσιμα συστήματα που βρέθηκαν αποτελούν αντικείμενο έντονων προσπαθειών διερεύνησης και βελτίωσης. Η επιτυχία κάθε πρωτοβουλίας «6 Σίγμα» συνδέεται με ένα σύνολο πολυδιάστατων μετρικών που απαιτούν απόδοση σε παγκόσμια κλίμακα. Εάν αυτό επιτυγχάνεται, οδηγεί σε σημαντικές βελτιώσεις στο μερίδιο αγοράς, σε ανάπτυξη νέων προϊόντων, σε ικανοποίηση πελατών και σε πλούτο των μετόχων. Τελικά, ο στόχος δεν είναι η βελτίωση για χάρη της βελτίωσης αλλά μάλλον η δημιουργία ενός οικονομικού οφέλους για τον πελάτη και τον προμηθευτή.

Σύμφωνα με τον ορισμό του Mario Perez-Wilson (1999), το «6 Σίγμα» είναι ένα βελτιστοποιημένο επίπεδο απόδοσης μηδέν ατελειών σε μια διαδικασία που παράγει ένα προϊόν, μια υπηρεσία ή μια συναλλαγή. Δείχνει ένα επίτευγμα και μια συντήρηση μιας παγκόσμιας ποιότητας απόδοσης. Το «6 Σίγμα» είναι ένα αποτέλεσμα, όχι τα μέσα. Συνεπώς, ο Perez-Wilson δεν θεωρεί το «6 Σίγμα» ως μεθοδολογία, αλλά ως στόχο.

Προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια του «6 Σίγμα», θα ήταν χρήσιμο να απαριθμηθούν μερικές αντίθετες δηλώσεις των χαρακτηριστικών του «6 Σίγμα». Σύμφωνα με τους Breyfogle et al 2001, υπάρχουν οι επόμενοι δέκα μύθοι για τη μέθοδο «6 Σίγμα»:

1. εφαρμόζεται μόνο στην κατασκευαστική εταιρεία
2. αγνοεί τον πελάτη σε αναζήτηση ωφελειών
3. δημιουργεί παράλληλη οργάνωση
4. είναι μια πρόσθετη προσπάθεια
5. απαιτεί μαζική εκπαίδευση
6. απαιτεί μεγάλες ομάδες
7. δημιουργεί γραφειοκρατία
8. είναι ένα ακόμα ποιοτικό πρόγραμμα
9. απαιτεί τις περίπλοκες δύσκολες στατιστικές και

10. δεν είναι οικονομικά αποδοτικό.

Ο θεμελιώδης στόχος της μεθόδου «6 Σίγμα» είναι η εφαρμογή μιας ποσοτικοποιημένης στρατηγικής που εστιάζει στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και στη μείωση των αποκλίσεων μέσω των διαφόρων επιμέρους προγραμμάτων της. Κύριος σκοπός της μεθόδου «6 Σίγμα» είναι η απόκτηση γνώσης στο πώς θα βελτιωθούν οι διαδικασίες για να γίνονται όλα καλύτερα, γρηγορότερα και σε χαμηλότερο κόστος έτσι ώστε να παραδοθεί η υψηλή απόδοση, η αξία και η αξιοπιστία στον πελάτη. Η συγκεκριμένη μέθοδος καθοδηγεί τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς να κάνουν λιγότερα λάθη στις λειτουργίες τους, μειώνοντας τα σφάλματα στην ποιότητα στα πιο πρόωρα πιθανά περιστατικά. Ενώ αναπτύσσεται αρχικά για τον ποιοτικό έλεγχο, η μέθοδος «6 Σίγμα» χρησιμοποιείται στις μέρες μας, για τη βελτίωση κάθε τομέα των επιχειρήσεων, από την παραγωγή μέχρι τη διεύθυνση προσωπικού και από την τεχνική υποστήριξη μέχρι το τμήμα εξυπηρέτησης. Αυτό είναι εφικτό, δεδομένου ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε δραστηριότητα της επιχείρησης κατά την οποία τα στοιχεία του χρόνου, κόστους και ποιότητας αποτελέσματος είναι παρόντα παντού.

Η μοναδικότητα της μεθόδου βασίζεται σε δύο στοιχεία: πρώτον στην ακρίβεια των μετρήσεων λόγω της χρήσης στατιστικής ανάλυσης και δεύτερον στην ικανότητα της πρακτικής εφαρμογής στη γραμμή παραγωγής ή οποιασδήποτε υπηρεσίας. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αύξησης της παραγωγικότητας ή και της ποιότητας, η μέθοδος «6 Σίγμα» μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε μια ακριβή και ξεκάθαρη εικόνα για την παραγωγή ή υπηρεσία αλλά και ταυτόχρονα να προσδιορίζουμε με ακρίβεια την επιτυχία της μεθόδου όσον αφορά τα οικονομικά οφέλη της επιχείρησης αφού είναι σχεδιασμένη να δίνει πραγματικά ποσοτικά αποτελέσματα τα οποία είναι εμφανή στην κερδοφορία της επιχείρησης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος «6 Σίγμα» αντλεί το όνομά της από την υψηλή ποιότητα παραγωγής που προσπαθεί να επιτύχει. Η συγκεκριμένη μέθοδος αναφέρεται σε ένα επίπεδο ατέλειας χαμηλότερου από 3.4 ατέλειες ανά εκατομμύριο ευκαιρίες δηλαδή η επιτυχής εφαρμογή της, προϋποθέτει ότι σε κάθε μια διαδικασία το ελαττωματικό αποτέλεσμα της δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3.4 ελαττώματα ανά εκατομμύριο. Το ελαττωματικό προϊόν βάσει της «6 Σίγμα» είναι οτιδήποτε δεν συνάδει με τις απαιτήσεις των πελατών (βλέπε Μπλέσιος (2005)).

3.2 Ιστορικά στοιχεία

Οι ρίζες της μεθόδου «6 Σίγμα» μπορούν να αναζητηθούν στην πρόωρη βιομηχανική εποχή, κατά τη διάρκεια του δέκατου όγδοου αιώνα στην Ευρώπη. Τότε ο Carl Frederick Gauss εισήγαγε ως θεμελιώδες μέτρο την κανονική καμπύλη. Η εξέλιξη της μεθόδου συνεχίστηκε με τον Walter Shewhart που απέδειξε πως τρεις αποκλίσεις (3σ) από το μέσο όρο θα πρέπει να οδηγούν στη διόρθωση μιας διεργασίας και κατ'επέκταση στην παραγωγή λιγότερο ελαττωματικών προϊόντων. Οι Ιάπωνες είναι γνωστοί για την τελειοποίηση των τεχνολογικών επιτευγμάτων τους. Έτσι δεν ήταν έκπληξη ότι αυτοί ανέλαβαν να τελειοποιήσουν τη μέθοδο «6 Σίγμα». Όλα ξεκίνησαν όταν μία Ιαπωνική εταιρία ανέλαβε ένα εργοστάσιο της Motorola το οποίο κατασκεύαζε τηλεοράσεις Quasar το 1970 και άλλαξε ριζικά ο τρόπος λειτουργίας του. Η νέα διαχείριση αποφάσισε να αλλάξει εντελώς τον τρόπο με τον οποίο υλοποιόντουσαν οι διάφορες διεργασίες. Η Ιαπωνική διοίκηση έδωσε υψηλή έμφαση σε όλες τις δραστηριότητες που οδηγούσαν στην παραγωγή των προϊόντων χρησιμοποιώντας το ίδιο εργατικό δυναμικό, τεχνολογία και σχέδια. Όταν ξεκίνησαν την παραγωγή των τηλεοράσεων διαπιστώθηκε ότι, υπό τη νέα διοίκηση το εργοστάσιο παρήγαγε προϊόντα με μόλις το 1/20 του αριθμού των ελαττωμάτων τα οποία παράγονταν κάτω από τη διοίκηση της Motorola. Το πρόβλημα οφειλόταν στον τρόπο διοίκησης της Motorola.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, η μέθοδος «6 Σίγμα» πήρε μια πιο οριστική μορφή όταν το στέλεχος της εταιρείας Motorola Bill Smith επινόησε τον όρο έξι σίγμα για τη διαδικασία ποιοτικής διαχείρισης που χρησιμοποίησαν οι Ιάπωνες και λόγω της ικανότητας της έχει γίνει εξαιρετικά δημοφιλής σε πολλά περιβάλλοντα εταιρικών και μικρών επιχειρήσεων σε όλο τον κόσμο. Η Motorola όχι μόνο εφάρμοσε αυτό το σύστημα στην οργάνωση της αλλά έχει και τα δικαιώματα δημιουργού.

Ο αρχικός προσανατολισμός της μεθόδου «6 Σίγμα» ήταν η ποιότητα. Σχεδιάστηκε για να μετρηθούν οι ατέλειες και να βελτιωθεί η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος έτσι ώστε η εταιρία Motorola να αυξήσει το μερίδιο της στην αγορά ως προς τις άλλες ανταγωνιστικές εταιρίες, που ήταν και το ζητούμενο. Η στρατηγική «6 Σίγμα» περιλαμβάνει τη χρήση στατιστικών εργαλείων μέσα σε μία μεθοδολογία για την απόκτηση της γνώσης που απαιτείται για την επίτευξη γρηγορότερων, καλύτερων προϊόντων και υπηρεσιών με χαμηλότερο κόστος από τους ανταγωνιστές.

Αυτή η μέθοδος είναι εξαιρετικά επιτυχής σε όλο τον επιχειρησιακό κόσμο και έχει βοηθήσει τις επιχειρήσεις να εξοικονομήσουν δισεκατομμύρια δολάρια μέσω της χαμηλής παραγωγής ελαττωματικών προϊόντων. Παραδείγματος χάριν, από το 1986, η Motorola έχει δηλώσει ότι η μέθοδος «6 Σίγμα» τους έχει εξοικονομήσει 17 δισεκατομμύρια δολάρια. Πρέπει να σημειωθεί ότι το «6 Σίγμα» είναι ένα καταχωρημένο εμπορικό σήμα της εταιρίας Motorola.

Πολλές εταιρίες όπως η AlliedSignal και η General Electric (GE) υιοθέτησαν τη φιλοσοφία της μεθόδου «6 Σίγμα», που βασίζεται στη μείωση του κόστους αλλά ταυτόχρονα και στην ελαχιστοποίηση των ελαττωματικών προϊόντων ή υπηρεσιών τα οποία είναι απαραίτητα για την επιβίωση και την ανάπτυξη μιας επιχείρησης σε ένα έντονο ανταγωνιστικό περιβάλλον. Η υλοποίηση της μεθόδου «6 Σίγμα» έγινε από τον Bob Galvin της Motorola, τον Larry Bossidy της Allied Signal και τον Jack Welch της GE. Αυτοί οι άνθρωποι στόχευαν στην επιτυχία των επιχειρήσεών τους. Μόλις διαπίστωσαν ότι τα εργαλεία και οι τεχνικές της μεθόδου «6 Σίγμα» θα μπορούσαν να τους βοηθήσουν, ανέπτυξαν ένα πλαίσιο για να το πραγματοποιήσουν.

Από τα μέσα του 1990 η μέθοδος «6 Σίγμα» είχε αναπτυχθεί σε μία εταιρική διοικητική πρωτοβουλία και μεθοδολογία, ειδικότερα στη General Electric και σε άλλες μεγάλες εταιρίες κατασκευής, αλλά και οργανώσεις πέρα από το βιομηχανικό τομέα σε ολόκληρο τον κόσμο. Το 1995, ο Jack Welch της GE αποφάσισε να εφαρμόσει τη μέθοδο «6 Σίγμα» στη GE, και μέχρι το 1998 κατόρθωσε να επιφέρει κέρδη άνω των 2 τρις δολαρίων χωρίς να επενδύσει σε εξοπλισμό αλλά απεναντίας επικεντρώθηκε στην εκπαίδευση του προσωπικού και των προμηθευτών. Σε λιγότερο από δέκα έτη, η μέθοδος «6 Σίγμα» έγινε γρήγορα όχι μόνο μια σημαντικά δημοφιλής μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε από πολλές εταιρίες για τη βελτίωση της ποιότητας και της διεργασίας, αλλά δημιούργησε και ανέπτυξε πολλές οργανώσεις υποστήριξης «6 Σίγμα» για την κατάρτιση και γνωμοδότηση των κατάλληλων υπηρεσιών και προϊόντων.

Υπήρξαν πολλές εταιρίες που υιοθέτησαν και συνέβαλαν στην εξέλιξη της μεθοδολογίας «6 Σίγμα». Μία από τις εταιρίες που συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη της μεθόδου ήταν η Asea Brown Boveri. Το 1993 η εταιρία Asea Brown Boveri μετατόπισε τον προσανατολισμό της μεθόδου στην επιχείρηση δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στο τελικό αποτέλεσμα δηλαδή στην ικανοποίηση των πελατών (βλέπε Μπλέσιος (2005), Pande and Holpp (2002) και Pyzdek (2000)).

3.3 Σύγκριση μεταξύ της μεθόδου «6 Σίγμα» και της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας.

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και η μέθοδος «6 Σίγμα» μοιράζονται την ίδια φιλοσοφία για το πώς θα βοηθήσουν τις επιχειρήσεις να ολοκληρώσουν τη συνολική ποιότητα και επισημαίνουν τη σημασία υποστήριξης από την ανώτερη διοίκηση και την ηγεσία. Και οι δύο προσεγγίσεις για τη βελτίωση της ποιότητας καθιστούν σαφές ότι η συνεχής βελτίωση της ποιότητας είναι κρίσιμη για τη μακροπρόθεσμη επιχειρησιακή επιτυχία. Ο T. Pyzdek (2001) δήλωσε ότι η αρχική διαφορά τους είναι στη διοίκηση. Η μέθοδος «6 Σίγμα» σε αντίθεση με τη Διοίκηση Ολικής Ποιότητας δεν αναπτύχθηκε από τεχνικούς που απασχολούνταν μόνο στη διοίκηση, με επακόλουθο να δημιουργούν τις βασικότερες κατευθύνσεις για τον τρόπο διοίκησης.

Σύμφωνα με τον Pyzdek (2001), οι διαφορές μεταξύ της μεθόδου «6 Σίγμα» και της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1

Βασικότερες διαφορές μεταξύ της διοίκησης ολικής ποιότητας και της μεθόδου «6 Σίγμα».

Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (TQM)	Μέθοδος «6 Σίγμα»
Είναι ένας λειτουργικός τομέας μέσα στην επιχείρηση.	Εστιάζει στη λειτουργική αξία των υπαλλήλων παρά στο λειτουργικό καταμερισμό εργασίας.
Εστιάζει στην ποιότητα.	Εστιάζει στους στρατηγικούς στόχους και τους εφαρμόζει με κόστος, πρόγραμμα και με άλλα βασικά επιχειρησιακά και οικονομικά μέτρα.
Παρακινείται από τον ποιοτικό ιδεαλισμό.	Καθοδηγείται από το όφελος.
Παρακολουθεί αόριστα την πρόοδο.	Εξασφαλίζει ότι η επένδυση παράγει το

	αναμενόμενο κέρδος.
Οι υπάλληλοι συμμετέχουν στα καθημερινά τους καθήκοντα (προγραμματισμός, βελτίωση, και έλεγχος).	Οι πόροι που εξασφαλίζονται αλλάζουν τις βασικές επιχειρησιακές διαδικασίες και την ίδια την επιχείρηση.
Δίνει έμφαση στην επίλυση του προβλήματος.	Δημιουργεί ένα νέο περιβάλλον που προωθεί τη δημιουργία των συνεχόμενων προσπαθειών βελτίωσης της ποιότητας.
Εστιάζει στην τυποποιημένη απόδοση.	Εστιάζει στην απόδοση της παγκόσμιας τάξης, δηλαδή στο ποσοστό λάθους 3.4 PPM.
Η ποιότητα είναι μια μόνιμη, πλήρους απασχόλησης εργασία.	Η εργασία «6 Σίγμα» είναι κυρίως προσωρινή, μερικής απασχόλησης.
Παρέχει ένα απεριόριστο σύνολο εργαλείων και τεχνικών χωρίς όμως να παρέχει εκείνο το σαφές πλαίσιο για να τα χρησιμοποιήσουμε αποτελεσματικά.	Παρέχει ένα επιλεγμένο υποσύνολο στατιστικών εργαλείων και τεχνικών με ένα σαφές καθορισμένο πλαίσιο για να τα χρησιμοποιήσουμε και να επιτύχουμε τα αποτελέσματα.
Οι στόχοι που αναπτύσσονται από το ποιοτικό τμήμα της επιχείρησης βασίζονται σε ποιοτικά κριτήρια.	Οι στόχοι που καθορίζονται βασίζονται στην ικανοποίηση των πελατών και στη στρατηγική της ανώτερης διοίκησης της επιχείρησης. Οι στόχοι είναι μετρήσιμοι με συνέπεια να μπορούν να διαπιστωθούν ευκολότερα τα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή της. Οι στόχοι αναθεωρούνται όταν βεβαιωθεί ότι η διεργασία δε βελτιώνεται.
Αναπτύσσεται από το τεχνικό προσωπικό.	Βασίζεται στα Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά (<i>Critical to Quality Characteristics - CTQs</i>).

<p>Εστιάζει στα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Η αναμενόμενη απόδοση δεν είναι καθορισμένη με σαφήνεια.</p>	<p>Το σύστημα «6 Σίγμα» είναι ένα μίγμα μεταξύ βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων, όπως υπαγορεύεται από τις επιχειρησιακές απαιτήσεις.</p>
<p>Εκτελεί συνεχώς πολυδάπανες επιθεωρήσεις στην παραγωγική διαδικασία και επενδύει στον εξοπλισμό ή στις εγκαταστάσεις με σκοπό τη βελτίωση του προϊόντος ή της διεργασίας χωρίς όμως να επιφέρει τα αναμενόμενα κέρδη.</p>	<p>Επενδύει στο ανθρώπινο δυναμικό, στην εκπαίδευση, στη χρήση στατιστικών εργαλείων και τεχνικών για τη μείωση της μεταβλητότητας των διεργασιών και την ικανοποίηση των πελατών και όχι σε πολυδάπανες αγορές εξοπλισμού.</p>

3.4 Οργάνωση και υλοποίηση της μεθόδου «6 Σίγμα».

3.4.1 Μεθοδολογίες «6 Σίγμα».

Για να εφαρμοστεί με επιτυχία η μέθοδος «6 Σίγμα» σχηματίζονται οι λεγόμενες «ομάδες 6 Σίγμα». Οι ομάδες αποτελούνται από άτομα με διαφορετικό μορφωτικό επίπεδο, ικανότητες και καθήκοντα και για να μπορέσουν να εργαστούν σε μία κοινή βάση χρειάζεται να ακολουθήσουν μια κοινή στρατηγική. Η μεθοδολογία «6 Σίγμα» περιλαμβάνει τρεις στρατηγικές, οι οποίες εστιάζουν στις διεργασίες της επιχείρησης. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν τρεις στρατηγικές για τη βελτίωση, το σχεδιασμό/επανασχεδιασμό και τη διαχείριση των διεργασιών. Ο συνδυασμός αυτών των τριών στρατηγικών είναι μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες που προσφέρει η μεθοδολογία «6 Σίγμα». Οι τρεις στρατηγικές παρουσιάζονται εν συντομία παρακάτω (βλέπε Pande and Holpp (2002)).

1. **Βελτίωση των διεργασιών (Process improvement):** Είναι μια στρατηγική η οποία προσπαθεί να εφευρίσκει λύσεις για να αποβάλλει τα αίτια που προκαλούν τα ελαττώματα και τις ατέλειες έτσι ώστε να μειωθεί η μεταβλητότητα της υπάρχουσας διεργασίας και να ικανοποιηθεί ο πελάτης. Η βελτίωση μιας διεργασίας είναι ένα απαραίτητο μέρος για τη διατήρηση της βιωσιμότητας μιας επιχείρησης.
2. **Σχεδιασμός/επανασχεδιασμός διεργασιών (Process design/redesign).** Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιείται
 - όταν μια επιχείρηση θέλει να αντικαταστήσει και όχι να διορθώσει, μία ή περισσότερες διεργασίες,
 - όταν η ανώτερη διοίκηση της επιχείρησης διαπιστώσει ότι η βελτίωση της υπάρχουσας διεργασίας δεν θα φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα και
 - όταν η επιχείρηση αναγνωρίσει την ευκαιρία για την παραγωγή ενός καινούργιου προϊόντος ή υπηρεσίας.
3. **Διαχείριση των διεργασιών (Process management):** Αυτή είναι μια στρατηγική που σκοπό έχει να εστιάσουμε στη διαχείριση των διεργασιών σε όλα τα προγράμματα και τις δραστηριότητες της επιχείρησης και να μην επικεντρωνόμαστε μόνο στα προγράμματα βελτίωσης μιας διεργασίας. Είναι η πιο εξελίξιμη από τις στρατηγικές που αναφέρθηκαν διότι περιέχει αλλαγές στη διοίκηση και στη νοοτροπία μέσα στην επιχείρηση, εξελίσσεται καθώς η επιχείρηση εφαρμόζει και αναπτύσσει τη μέθοδο «6

Σίγμα» και αποκτάει πιο εξειδικευμένες και βαθύτερες γνώσεις για τις διαδικασίες, τους πελάτες και τους υπαλλήλους.

Η μέθοδος «6 Σίγμα» παρέχει συγκεκριμένες μεθοδολογίες για τον επανασχεδιασμό της διαδικασίας ή και τον σχεδιασμό εκ νέου της διαδικασίας, έτσι ώστε οι ατέλειες και τα λάθη να μην προκύψουν ξανά σε αρχικές φάσεις. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η μέθοδος «6 Σίγμα» είναι ένας τρόπος για να βελτιωθούν οι διαδικασίες στην εργασία και στην κατασκευή και ο κύριος στόχος της είναι να αποβάλει τις ατέλειες. Έχει δηλαδή και προληπτικό χαρακτήρα.

Η μέθοδος «6 Σίγμα» δημιουργεί ένα όραμα ηγεσίας που χρησιμοποιεί ένα σύνολο μετρικών και στόχων για να βελτιώσει τα επιχειρησιακά αποτελέσματα με τη χρησιμοποίηση μιας συστηματικής μεθοδολογίας επίλυσης προβλήματος. Υπάρχουν δύο μεθοδολογίες διαχείρισης του προγράμματος επίλυσης προβλήματος που συνδέονται με τη μέθοδο «6 Σίγμα» οι οποίες είναι γνωστές με τα αρχικά DMAIC και DMADV. Η πρώτη μεθοδολογία είναι καθορισμένη με μεγαλύτερη σαφήνεια και λειτουργεί καλύτερα στην περίπτωση που έχουμε ένα πρόβλημα με μια άγνωστη λύση στα υπάρχοντα προϊόντα, τις διαδικασίες ή τις υπηρεσίες. Αποτελεί ένα βασικό συστατικό της μεθόδου «6 Σίγμα» και χρησιμοποιείται στη στρατηγική βελτίωση των διεργασιών για να βελτιώσει την υπάρχουσα διεργασία αποβάλλοντας τα λάθη και τις ατέλειες και να τη φέρει στο επιθυμητό επίπεδο.

Η μεθοδολογία DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) περιγράφει την εφαρμογή των παρακάτω πέντε σταδίων για την επίλυση ενός προβλήματος που αντιμετωπίζει μία επιχείρηση ή ένας οργανισμός.

1. Define (Καθορισμός). Σε αυτό το πρώτο στάδιο, είναι σημαντικό να καθοριστούν οι συγκεκριμένοι στόχοι στην επίτευξη των εκβάσεων που είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις των πελατών και τη στρατηγική των επιχειρήσεων. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται το προϊόν ή η διεργασία που βελτιώνεται. Προσδιορίζονται οι ανάγκες των πελατών και μεταφράζονται σε Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά (*Critical to Quality Characteristics - CTQs*). Ως Κρίσιμα Χαρακτηριστικά ορίζονται εκείνα τα χαρακτηριστικά του προϊόντος ή των υπηρεσιών που επηρεάζουν δραστικά το κόστος ή την ικανοποίηση και τις προσδοκίες του πελάτη. Στην ουσία, χαρτογραφούνται οι λειτουργίες της επιχείρησης ή του οργανισμού για την ολοκλήρωση.
2. Measure (Μέτρηση). Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να κατανοήσουμε τι είναι ελάττωμα και ποια διεργασία ορίζεται ως μη αποδεκτή. Σε αυτό το στάδιο

μετριούνται τα ελαττώματα που παράγονται σχετικά με τα προσδιορισμένα Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και καθορίζονται οι βασικές εσωτερικές διεργασίες που τα επηρεάζουν. Προκειμένου να καθοριστεί αν τα ελαττώματα έχουν μειωθεί ή όχι, χρειάζεται να γίνουν ακριβείς μετρήσεις και να συλλεχθούν τα σχετικά στοιχεία έτσι ώστε να μπορούν να μετρηθούν για μελλοντικές συγκρίσεις και να εκτιμήσουμε την τρέχουσα διεργασία.

3. Analyze (Ανάλυση). Αναλύουμε τα στοιχεία που έχουμε συλλέξει για να διαπιστώσουμε την ικανότητα της διεργασίας. Καθορίζουμε τις σχέσεις και τους παράγοντες που προκαλούν και δημιουργούν τις ατέλειες και τα ελαττώματα. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή αυτή η σχέση γιατί καθορίζει τους παράγοντες που μπορούν να εξασφαλίσουν τη στρατηγική των επιχειρήσεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών.
4. Improve (Βελτίωση). Αυτό το στάδιο στοχεύει στην τροποποίηση και στη βελτιστοποίηση της υπάρχουσας διεργασίας για να μείνει στο προσδιορισμένο μέγιστο αποδεκτό εύρος που θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση αν όχι την εξάλειψη των ελαττωμάτων. Περιλαμβάνει επίσης την επιβεβαίωση των βασικών μεταβλητών που προκαλούν τις ατέλειες και τα ελαττώματα και ποσοτικοποιείται η επίδραση αυτών των μεταβλητών στα Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά. Μια τεχνική που χρησιμοποιείται συχνά για τη συνεχή βελτίωση μιας διεργασίας είναι ο σχεδιασμός πειραμάτων.
5. Control (Έλεγχος). Αυτό είναι το τελευταίο στάδιο στη μεθοδολογία DMAIC. Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να διατηρηθούν οι βελτιώσεις και να εξασφαλιστεί ότι η τροποποιημένη διεργασία επιτρέπει στις βασικές μεταβλητές να παραμείνουν μέσα στο μέγιστο αποδεκτό εύρος. Περιλαμβάνει επίσης τον έλεγχο και τη διόρθωση οποιασδήποτε διαφοράς που θα οδηγούσε ενδεχομένως στην απώλεια ποιότητας. (βλέπε Pande, Neuman and Cavanagh (2002)).

Ουσιαστικά η παραπάνω μεθοδολογία είναι υποδηλωτική του «κύκλου του Deming» ο οποίος είναι γνωστός με τα αρχικά PDCA (Plan-Do-Control-Act). Ο «κύκλος του Deming» είναι ένας κύκλος εκμάθησης που επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν εργαλεία και τεχνικές με στόχο τη βελτιστοποίηση της υπάρχουσας διεργασίας. Βασική ιδέα της φιλοσοφίας του «κύκλου του Deming» είναι η πειθαρχημένη και κυκλική προσέγγιση για τη συνεχή βελτίωση. Η ομοιότητα τους είναι ότι και οι δύο μεθοδολογίες στοχεύουν στη βελτίωση της

ποιότητας μέσω μιας καθορισμένης διεργασίας πρόληψης της αποτυχίας. Η διαφορά τους είναι ότι το PDCA εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε τύπο διεργασίας, ενώ το DMAIC εφαρμόζεται σε επιχειρησιακές κυρίως διεργασίες. Επιπλέον, το DMAIC απαιτεί στοιχεία και στοχεύει πάντα στην επίτευξη ποιοτικού επιπέδου «6 Σίγμα» από άποψη αποτυχιών

Το DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify) είναι η δεύτερη σημαντική μεθοδολογία της μεθόδου «6 Σίγμα». Το DMADV είναι ένας εξαιρετικά αποτελεσματικός τρόπος για να δημιουργηθεί ένα νέο προϊόν ή μια διεργασία. Η χρησιμοποίηση DMADV για τα νέα προγράμματα, μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο προβλέψιμη διαδικασία και τελικά σε ένα υψηλότερο ποιοτικά προϊόν.

Η μεθοδολογία DMADV χρησιμοποιείται στη στρατηγική σχεδιασμός/επανασχεδιασμός διεργασιών και περιγράφει την εφαρμογή των παρακάτω πέντε σταδίων για το σχεδιασμό ενός νέου προϊόντος ή μιας νέας διεργασίας με σκοπό την ικανοποίηση των πελατών.

1. Define (Καθορισμός). Σε πρώτη φάση, καθορίζονται οι στόχοι που πρέπει να είναι σύμφωνοι με τις απαιτήσεις του πελάτη και της επιχειρησιακής στρατηγικής. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται το προϊόν ή η διεργασία που αναμένεται να σχεδιαστεί και προσδιορίζονται οι ανάγκες των πελατών που μεταφράζονται σε Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά. Χαρτογραφούνται οι υπάρχουσες λειτουργίες της επιχείρησης καθώς και πώς θα επηρεασθούν από τις νέες διεργασίες / προϊόντα οι οποίες θα προκύψουν.
2. Measure (Μέτρηση). Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να μετρηθεί η απόδοση και να εναρμονιστεί με τις απαιτήσεις του πελάτη. Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζονται οι βασικές εσωτερικές διεργασίες που επηρεάζουν τα προσδιορισμένα Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και μετριοούνται οι ατέλειες που παράγονται από αυτά.
3. Analyze (Ανάλυση). Σε αυτή τη φάση γίνεται ανάλυση και αξιολόγηση της διεργασίας. Αυτό το στάδιο στοχεύει να χρησιμοποιήσει τη διαδικασία της ανάλυσης για να αναπτύξει και να σχεδιάσει τις καλύτερες εναλλακτικές λύσεις που μπορούν να μειώσουν τα ελαττώματα εφόσον έχουν προσδιοριστεί οι βασικές μεταβλητές που τα προκαλούν.
4. Design (Σχεδιασμός). Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των νέων διεργασιών. Είναι σημαντικό όχι μόνο να σχεδιαστούν οι βασικές μεταβλητές αλλά και να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση αυτών των μεταβλητών στα Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά. Περιλαμβάνει επίσης την

τροποποίηση και τη βελτιστοποίηση της υπάρχουσας διεργασίας για να μείνει στο μέγιστο αποδεκτό εύρος.

5. Verify (Επαλήθευση). Αυτό είναι το τελευταίο στάδιο στη μεθοδολογία DMADV. Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να επαληθευτεί ότι η νέα διεργασία επιτρέπει στις βασικές μεταβλητές να παραμείνουν μέσα στο μέγιστο αποδεκτό εύρος, ότι ο στόχος που ορίστηκε επιτεύχθηκε και ότι έγινε εφικτό να διατηρηθεί η απόδοση. (βλέπε Pande, Neuman and Cavanagh (2002)).

3.4.2 Υλοποίηση της μεθόδου «6 Σίγμα».

Η μέθοδος «6 Σίγμα» βεβαιώνει ότι προκειμένου να επιτευχθούν υψηλής ποιότητας διαδικασίες σε κάθε τομέα των επιχειρήσεων, πρέπει να γίνουν συνεχείς προσπάθειες ώστε να μειωθούν οι παραλλαγές και τα λάθη. Η μέθοδος «6 Σίγμα» προσπαθεί να αποβάλλει αυτές τις παραλλαγές ή τις ατέλειες, μετρώντας, αναλύοντας και ελέγχοντας τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στην επιχείρηση ώστε να βελτιωθούν ή σχεδιάζοντας εκ νέου την διαδικασία, έτσι ώστε να μην προκύψουν ξανά οι ατέλειες και τα λάθη. Προκειμένου να επιτευχθούν τα παραπάνω, η μέθοδος «6 Σίγμα» απαιτεί μια προσεκτική οργάνωση της επιχείρησης και ειδικότερα αφοσίωση από τα κορυφαία κλιμάκια ώστε να βοηθήσουν και να καθοδηγήσουν τους χαμηλότερους εργαζόμενους και τις πολιτικές βαθμίδων.

Για να υλοποιηθεί με επιτυχία η μέθοδος «6 Σίγμα», διαμορφώνεται μια οργανωτική δομή. Η AlliedSignal είναι η εταιρία που δημιούργησε την σημερινή οργανωτική δομή της μεθόδου «6 Σίγμα» η οποία περιλαμβάνει τους εξής ρόλους: Champion (πρωταθλητής), Master Black-Belt (κάτοχος κύριας μαύρης ζώνης), Black-Belt (κάτοχος μαύρης ζώνης), Green-Belt (κάτοχος πράσινης ζώνης). Ενώ οι περισσότεροι από τους ρόλους που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιούνται σε πολλές επιχειρήσεις για την εφαρμογή της μεθόδου «6 Σίγμα», πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι καθολικοί. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι ρόλοι και οι αρμοδιότητες των εμπλεκόμενων ατόμων.

Champion (πρωταθλητής): Συνήθως είναι ένας από τους κορυφαίους ανώτερους υπαλλήλους με υψηλό επίπεδο γνώσης που καταλαβαίνει την μέθοδο «6 Σίγμα» και είναι αφοσιωμένος στην επιτυχία του. Αρμοδιότητα του είναι να δημιουργεί το όραμα και να διευκολύνει την εφαρμογή της μεθόδου «6 Σίγμα». Ο πρωταθλητής είναι εκείνο το πρόσωπο που διασφαλίζει ότι τα προγράμματα συμφωνούν με τους στόχους που έχει

θέσει η επιχείρηση, μετρά την πρόοδο των προγραμμάτων και ενημερώνει τα μέλη, στηρίζει τις βελτιώσεις και παρέχει τους απαραίτητους πόρους στην ομάδα. Οι πρωταθλητές ουσιαστικά φροντίζουν πώς να εκτελούνται τα προγράμματα και αναθέτουν στους ιδιαίτερα εκπαιδευμένους κατόχους κύριας μαύρης ζώνης να βοηθήσουν τους υπεύθυνους συμβούλους των προγραμμάτων για τη ρύθμιση αυτών. Αυτό είναι και το κλειδί της επιτυχίας της μεθοδολογίας «6 Σίγμα». Σε όλες τις επιχειρήσεις, οι πρωταθλητές αποτελούν τους άτυπους ηγέτες που χρησιμοποιούν τη μέθοδο «6 Σίγμα» στην καθημερινή εργασία τους σε κάθε ευκαιρία.

Process Owner (υπεύθυνος διαδικασίας): Είναι ένα πρόσωπο που είναι υπεύθυνο για μια συγκεκριμένη διεργασία. Οι υπεύθυνοι διαδικασίας βοηθούν να ξεκινήσει και συντονίζουν τις δραστηριότητες για τη βελτίωση της μεθόδου «6 Σίγμα» στους τομείς των ευθυνών τους.

Master Black-Belt (κάτοχος κύριας μαύρης ζώνης): Αυτό είναι το πιο υψηλό επίπεδο τεχνικής και οργανωτικής ικανότητας. Έχει αρμοδιότητες πάνω σε συγκεκριμένη λειτουργία ή περιοχή της επιχείρησης. Συνεργάζεται καθημερινά με τους υπεύθυνους των διαδικασιών ώστε να διασφαλίζεται ότι οι στόχοι και τα πλάνα για την ποιότητα έχουν ανατεθεί και καθοριστεί, εποπτεύει τη μέθοδο «6 Σίγμα». Οι κάτοχοι κύριας μαύρης ζώνης αποτελούν την τεχνική ηγεσία του προγράμματος «6 Σίγμα». Κατά συνέπεια, οι κάτοχοι κύριας μαύρης ζώνης πρέπει να τα ξέρουν όλα, καθώς επίσης και να καταλαβαίνουν τη μαθηματική θεωρία στην οποία είναι βασισμένες οι στατιστικές μέθοδοι. Οι κάτοχοι κύριας μαύρης ζώνης πρέπει να είναι σε θέση να βοηθήσουν τους κατόχους μαύρης ζώνης να εφαρμόσουν τις μεθόδους σωστά σε ασυνήθιστες καταστάσεις. Όποτε είναι δυνατόν, η στατιστική κατάρτιση πρέπει να διευθυνθεί μόνο από τους κατόχους κύριας μαύρης ζώνης διαφορετικά θα εμφανιστεί το γνωστό φαινόμενο "διάδοσης του λάθους". Εάν κρίνεται απαραίτητο για τους κατόχους μαύρης ζώνης και τους κατόχους πράσινης ζώνης να παρασχεθεί η κατάρτιση, πρέπει να γίνεται μόνον υπό την καθοδήγηση των κατόχων κύριας μαύρης ζώνης.

Black-Belt (κάτοχος μαύρης ζώνης): Ο ρόλος του είναι σημαντικός για την εκτέλεση της μεθόδου «6 Σίγμα». Πρέπει να συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία των οργανωτικών αλλαγών και της ανάπτυξης. Ο υποψήφιος για το ρόλο του κατόχου μαύρης ζώνης μπορεί να προέλθει από ένα ευρύ φάσμα επιστημών και να μην χρειαστεί να είναι τυπικά εκπαιδευμένος στατιστικός. Εντούτοις, επειδή αναμένεται να χρησιμοποιήσει

μια ευρεία ποικιλία τεχνικών εργαλείων, ο κάτοχος μαύρης ζώνης κατέχει πιθανώς ένα υπόβαθρο μαθηματικών, που είναι το βασικό εργαλείο της ποσοτικής ανάλυσης. Καθοδηγεί και εκπαιδεύει τα άτομα από τα οποία πλαισιώνεται, που συνήθως είναι οι κάτοχοι πράσινης ζώνης και είναι υπεύθυνος για τα αποτελέσματα του προγράμματος «6 Σίγμα». Εκπαιδεύεται στη χρήση εργαλείων «6 Σίγμα» και καταδεικνύει την αξιόπιστη εφαρμογή αυτών. Ένας κάτοχος μαύρης ζώνης θα ολοκληρώσει τυπικά 5 έως 7 προγράμματα ετησίως. Οι κάτοχοι μαύρης ζώνης είναι ιδιαίτερα βραβευθέντες υπάλληλοι και προσλαμβάνονται συχνά για τις βασικές διοικητικές θέσεις οπουδήποτε μέσα στην επιχείρηση. Οι κάτοχοι μαύρης ζώνης δίνουν αναφορά στον κάτοχο κύριας μαύρης ζώνης και είναι θέση πλήρους απασχόλησης.

Green-Belt (κάτοχος πράσινης ζώνης): Συνήθως είναι υπάλληλοι της εταιρίας ειδικά εκπαιδευόμενοι στη μέθοδο «6 Σίγμα». Οι κάτοχοι πράσινης ζώνης είναι υπεύθυνοι του προγράμματος «6 Σίγμα», ικανοί να σχηματίσουν, να καθοδηγήσουν και να διευκολύνουν την ομάδα έργου του προγράμματος «6 Σίγμα» και το αναλαμβάνουν από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση. Η εκπαίδευση τους καλύπτει τη διαχείριση του προγράμματος, τα εργαλεία ποιοτικής διαχείρισης, τα εργαλεία ποιοτικού ελέγχου, την επίλυση προβλήματος και την περιγραφική ανάλυση στοιχείων. Ο πρωταθλητής πρέπει να παρευρεθεί στην κατάρτιση των κατόχων πράσινης ζώνης. Συνήθως, οι κάτοχοι μαύρης ζώνης βοηθούν τους κατόχους πράσινης ζώνης να καθορίζουν τα προγράμματά τους πριν την κατάρτιση, παρευρίσκονται στην κατάρτιση μαζί τους και τους βοηθούν με τα προγράμματά τους μετά από την κατάρτιση. Οι κάτοχοι πράσινης ζώνης, σε αντίθεση με τους κατόχους μαύρης ζώνης και τους κατόχους κύριας μαύρης ζώνης δεν υιοθετούνται αποκλειστικά στο πρόγραμμα «6 Σίγμα», εργάζονται με μειωμένο ωράριο στα προγράμματα και εκθέσεις του προγράμματος «6 Σίγμα» και δίνουν αναφορά στους κατόχους μαύρης ζώνης.

Η μεθοδολογία «6 Σίγμα» απαιτεί εκπαίδευση όσον αφορά τους παραπάνω ρόλους. Καθώς η μέθοδος «6 Σίγμα» εξελίσσεται, όλοι οι υπάλληλοι θα πρέπει να αρχίσουν να συνειδητοποιούν και να συμπεριλαμβάνουν τη μεθοδολογία «6 Σίγμα» στις καθημερινές τους δραστηριότητες (βλέπε Μπλέσιος (2005) και Pande, Neuman and Cavanagh (2002)).

3.5. Προβλήματα – αντιμετώπιση στην εφαρμογή της πρωτοβουλίας «6 Σίγμα».

Όταν μία επιχείρηση προσπαθεί να εφαρμόσει τη μέθοδο «6 Σίγμα» αντιμετωπίζει αρκετά προβλήματα που προκαλούνται κυρίως από την έλλειψη δέσμευσης, κατανόησης, συμμετοχής της ανώτερης διοίκησης και από την απροθυμία και την αντίσταση στην αλλαγή από το προσωπικό. Αυτές οι δυσκολίες αναλύονται παρακάτω.

3.5.1. Απροθυμία διοίκησης να υποστηρίξει την πρωτοβουλία «6 Σίγμα».

Η απροθυμία της διοίκησης να υποστηρίξει την πρωτοβουλία βελτίωσης μέσω της μεθόδου «6 Σίγμα» είναι μία από τις σημαντικότερες δυσκολίες που συναντώνται πριν ακόμη από την εφαρμογή της μεθόδου. Θα ήταν αξιοσημείωτο εάν σε κάθε επιχείρηση, η ανώτερη διοίκηση είχε θετική στάση από την έναρξη ακόμη της μεθόδου «6 Σίγμα». Η διοίκηση δεν είναι πρόθυμη να αφιερώσει χρόνο και άλλους πόρους για τη βελτίωση διεργασιών όταν έχει βραχυπρόθεσμες οικονομικές υποχρεώσεις και πιέσεις. Η συνεχής βελτίωση διεργασιών θεωρείται πολύ σημαντική για την εξέλιξη μιας επιχείρησης αλλά ο φόβος για το επιπρόσθετο οικονομικό βάρος, τα έξοδα και ο χρόνος που πρέπει να διαθέσει για την υλοποίηση της μεθόδου «6 Σίγμα» το κάνουν αυτό συχνά απατηλό. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να αντιμετωπιστεί η απροθυμία της διοίκησης και τελικά να στηρίξει το συνεχές πρόγραμμα βελτίωσης σε όλον τον οργανισμό. Οι παράγοντες αυτοί περιγράφονται με συντομία παρακάτω.

- Ο στόχος της μεθόδου «6 Σίγμα» είναι να αντιμετωπιστούν διάφορα ζητήματα της επιχείρησης με επιτυχία και να φανεί δραματική βελτίωση άμεσα και γρήγορα, δηλαδή μέσα σε διάστημα δύο μηνών. Τα οφέλη της μεθόδου θα πρέπει όχι μόνο να φανούν γρήγορα αλλά και να υπερβούν τις δαπάνες για να προκαλέσουν το ενδιαφέρον στη διοίκηση.
- Θα πρέπει να γίνει σωστή επιλογή των προγραμμάτων βελτίωσης και των ομάδων που θα τα εκτελέσουν για να διαπιστωθεί η αξία τους στη διοίκηση.
- Θα πρέπει να θέτουμε σαφείς και καλά καθορισμένους στόχους για να εξασφαλίσουμε τη γρήγορη και επιτυχημένη ολοκλήρωση τους και να

ικανοποιηθεί η διοίκηση. Οι στόχοι που θα τεθούν πρέπει να είναι ρεαλιστικοί και μετρήσιμοι.

- Οι ίδιες οι ομάδες πρέπει να θέτουν τους στόχους βελτίωσης και να δεσμεύονται για την επιτυχή ολοκλήρωση τους έτσι ώστε να παρακινούνται για να τους πραγματοποιήσουν.
- Τα μέλη των ομάδων πρέπει να έχουν μια λεπτομερή κατάρτιση πάνω στη μέθοδο «6 Σίγμα» για την καλύτερη κατανόηση της.
- Θα πρέπει να παρακολουθούμε την πρόοδο των προγραμμάτων. Να έχουμε σχέδιο εργασίας, βασικά κύρια σημεία, ενδιάμεσες παραδόσεις και ανάθεση καθηκόντων για να ελέγχουμε τα γρήγορα και υψηλής ποιότητας αποτελέσματα.
- Να δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή στη δυναμική των ομάδων. Η επιτυχία ενός προγράμματος εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα της σχέσης μεταξύ των μελών της ομάδας. Οι υπεύθυνοι του προγράμματος θα πρέπει να ελέγχουν τις σχέσεις μεταξύ των μελών της ομάδας, να ενισχύσουν την ανάπτυξη δεξιοτήτων επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων, να διαχειρίζονται σωστά τις συγκρούσεις, να τους καθοδηγήσουν ώστε να παίρνουν σωστές αποφάσεις και να παροτρύνει τα μέλη να παίρνουν πρωτοβουλίες.
- Οι ομάδες θα πρέπει να καθορίσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, να προσδιορίσουν τα προβλήματα, να αξιολογήσουν τις επιλογές και να αναπτύσσουν πλάνα δράσης.

Για περισσότερες πληροφορίες, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να συμβουλευτεί την εργασία του Devane (2000).

3.5.2 Απροθυμία και αντίσταση στην αλλαγή από το προσωπικό για να υποστηρίξει την πρωτοβουλία «6 Σίγμα».

Ένα κρίσιμο συστατικό για την επιτυχία ενός προγράμματος «6 Σίγμα» είναι να ξεπεράσει την αντίσταση στην αλλαγή. Χωρίς την αποδοχή του προσωπικού, οποιαδήποτε διεργασία βελτίωσης είναι καταδικασμένη να αποτύχει. Επομένως η κατάλληλη προσέγγιση στις διάφορες μεθόδους αντίστασης είναι απαραίτητες για την επιτυχία ενός προγράμματος «6 Σίγμα».

Η απροθυμία του προσωπικού να στηρίξει τη μέθοδο «6 Σίγμα» οφείλεται κυρίως

- στο φόβο απόδοσης ευθυνών για πιθανές αποτυχίες,

- στην άγνοια για τη νέα διεργασία βελτίωσης,
- στη δυσκολία κατανόησης της νέας διεργασίας,
- στην αμφισβήτηση των προνομιών,
- στην αποδοκιμασία των εργαλείων και των εφαρμογών του λογισμικού και
- στην έλλειψη γνώσεων για την τεχνολογία.

Για να αντιμετωπιστεί η απροθυμία του προσωπικού θα πρέπει η διοίκηση να

- προστατεύσει τον υπάλληλο από τα αντίποινα και να ενθαρρύνει τη λήψη πρωτοβουλιών,
- παρέχει παραδείγματα σύνδεσης της νέας διεργασίας με άλλες υπάρχουσες διεργασίες. Για να ολοκληρωθεί με επιτυχία η διεργασία θα πρέπει να συνδεθεί με προγράμματα κατάρτισης, ετήσιο απολογισμό και με άλλες διεργασίες της επιχείρησης,
- παρέχει την κατάλληλη κατάρτιση ώστε οι υπάλληλοι να προσαρμόζονται και να εξοικειώνονται σε νέες διεργασίες,
- αναφέρει παραδείγματα άλλων επιτυχημένων επιχειρήσεων με τη μέθοδο «6 Σίγμα»,
- δώσει τη δυνατότητα στους χρήστες να προτάσσουν νέα εργαλεία και εφαρμογές για βελτίωση διεργασιών και
- τους ενημερώσει και να τους εκπαιδεύσει αντίστοιχα.

Για περισσότερες πληροφορίες, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να συμβουλευτεί τις εργασίες των Devane (2000) και Bellanca (2000).

3.6 Κριτική για τη μέθοδο «6 Σίγμα».

3.6.1 Κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχία της μεθόδου «6 Σίγμα».

Μερικοί υποστηρίζουν ότι πολλά από τα εργαλεία που χρησιμοποιεί η μέθοδος «6 Σίγμα» δεν είναι καινούργια. Εντούτοις, ενώ η μέθοδος «6 Σίγμα» χρησιμοποιεί τις συμβατικές μεθόδους, η εφαρμογή της είναι οτιδήποτε άλλο παρά συμβατική. Άντ' αυτού τονίζει τη σημασία εύρεσης ενός νέου τρόπου σκέψης και πράξης. Μεταξύ των πολλών επιχειρήσεων που έχουν εφαρμόσει τη μεθοδολογία «6 Σίγμα», μερικές έχουν δραματική εξέλιξη και θεαματική επιτυχία ενώ άλλες έχουν αποτύχει και αυτό συμβαίνει για διάφορους λόγους. Στην πραγματικότητα, η επιτυχία της μεθόδου «6 Σίγμα» καθοδηγείται κατά ένα μεγάλο μέρος από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Υποχρέωση ηγεσίας. Εφόσον η ανώτερη διοίκηση υποστηρίζει την πρωτοβουλία βελτίωσης με τη μέθοδο «6 Σίγμα», ταυτόχρονα πρέπει να έχει έναν ενεργό ρόλο σε ολόκληρο τον κύκλο ανάπτυξης και βελτίωσης των διεργασιών. Χρησιμοποιώντας την πρόσφατα επίκτητη γνώση τους που αφορά στην κατάρτιση των αρχών και των εργαλείων που χρειάζονται, η ανώτερη διοίκηση κατευθύνει την ανάπτυξη μιας διοικητικής υποδομής για να υποστηρίξουν τη μέθοδο «6 Σίγμα». Ταυτόχρονα λαμβάνονται σταθερά βήματα στην οργάνωση για να δημιουργήσουν ένα καινοτόμο και δημιουργικό περιβάλλον. Αυτό περιλαμβάνει τη μείωση των επιπέδων οργάνωσης στην ιεραρχία, κατάργηση των διαδικαστικών εμποδίων στον πειραματισμό, στην καινοτομία και στην αλλαγή, και άλλες αλλαγές με σκοπό να το καταστήσουν ευκολότερο χωρίς το φόβο της αποτυχίας και των αντιποίνων. Οι περισσότερες καινοτομίες αποτυγχάνουν να παράγουν την προσδοκώμενη πρόοδο. Η ηγεσία θα πρέπει όχι μόνο να ανεχτεί τις γενναίες προσπάθειες που αποτυγχάνουν, αλλά και να καταστήσει σαφές ότι τέτοιες προσπάθειες εκτιμούνται. Η ηγεσία θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι τα προγράμματα ελέγχονται, ότι οι αποτυχίες ερευνώνται και οι επιτυχίες κοινοποιούνται. Θα πρέπει όχι μόνο να εξακριβωθεί η μείωση του κόστους αλλά και η βελτίωση της ικανοποίησης εργασίας των υπαλλήλων και των πελατών. Η μέθοδος «6 Σίγμα» είναι μία μακροπρόθεσμη πρωτοβουλία και για αυτό το λόγο η αξιολόγηση, που θα οδηγήσει στη σωστή κατεύθυνση, είναι ζωτικής σημασίας.

2. Εστιάζει στον πελάτη. Ένα από τα πρώτα βήματα της μεθοδολογίας «6 Σίγμα» είναι η ανάπτυξη και η καθιέρωση μιας στενής επικοινωνίας με τους πελάτες, τους προμηθευτές και τους υπαλλήλους ώστε να καθοριστούν οι απαιτήσεις τους και οι διαδικασίες που σχετίζονται με αυτές.
3. Στρατηγική ανάπτυξη. Επικεντρώνεται στους πόρους της επιχείρησης που είναι η σωστή υποστήριξη, οι σωστές προτεραιότητες, οι κατάλληλοι άνθρωποι να αναλάβουν το πρόγραμμα που ενδείκνυται, και τα σωστά εργαλεία, για τον προσδιορισμό και τη βελτίωση των μέτρων απόδοσης που σχετίζονται με την επιχειρησιακή απόδοση και κατ'επέκταση με την επιτυχία. Σκοπός είναι να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο ώστε να μετρηθεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη και να συγκριθεί με την απόδοση της επιχειρησιακής διαδικασίας. Επίσης, με τη νέα χρήση κατάλληλων μέτρων δίνεται η δυνατότητα μέσα στην επιχείρηση να συγκριθεί η μία διαδικασία με μία άλλη χρησιμοποιώντας την ενιαία κλίμακα *DPMO* (ατέλειες ανά εκατομμύρια ευκαιρίες). Είναι μια ανάγκη για να επανακτηθεί η ανταγωνιστικότητα στην αγορά, μια ανάγκη για να εισαχθούν νέα προϊόντα ή υπηρεσίες, να προσελκυστούν νέοι πελάτες, να διατηρηθούν οι ήδη υπάρχοντες πελάτες ή να βελτιωθεί απλά η αποδοτικότητα.
4. Η επιτυχία της μεθόδου «6 Σίγμα» εξαρτάται και από την ενεργή συμμετοχή όλων των στελεχών της επιχείρησης που την εφαρμόζουν. Η υποδομή της «6 Σίγμα» είναι άρτια. Όλοι οι εργαζόμενοι έχουν συγκεκριμένες αρμοδιότητες και έχει αποδειχθεί ότι αποδίδει καλύτερα μία ειδικά εκπαιδευμένη ομάδα σε κάθε επιχειρησιακό τομέα για τον εντοπισμό ατελειών και για τις απαραίτητες βελτιώσεις. Η ανώτερη διοίκηση είναι εκείνη που καθορίζει και αναθεωρεί την πρόοδο του προγράμματος. Ο πρωταθλητής διευκολύνει την εφαρμογή και την ανάπτυξη του προγράμματος. Ο κάτοχος κύριας μαύρης ζώνης παρέχει την κατάρτιση στις στρατηγικές και τα εργαλεία. Ο κάτοχος μαύρης ζώνης καταδεικνύει την αξιόπιστη εφαρμογή των εργαλείων και ελέγχει το πρόγραμμα ενώ ο κάτοχος πράσινης ζώνης υποστηρίζει τον κάτοχο μαύρης ζώνης και μαζί διαμορφώνουν τις ομάδες ατόμων του προγράμματος «6 Σίγμα». Επιπλέον, η αναγνώριση και τα κίνητρα παρακινούν τις ομάδες του προγράμματος για να επιτύχουν τους επιχειρησιακούς τους στόχους.

5. Πειθαρχημένο πλαίσιο. Η επιτυχία της μεθόδου «6 Σίγμα» βασίζεται και στη σωστή εφαρμογή των πέντε φάσεων της μεθόδου διαμέσου των προγραμμάτων που ορίζονται από τις ανώτερες βαθμίδες και υλοποιούνται από τις μεσαίες βαθμίδες. Τα προγράμματα «6 Σίγμα» εφαρμόζονται κυρίως χρησιμοποιώντας τη μέτρηση, την ανάλυση, τη βελτίωση και τον έλεγχο. Η μεθοδολογία DMAIC ιδρύει ένα σαφές πρωτόκολλο για να διευκολύνει την εσωτερική επικοινωνία. Επιπλέον, από επιχειρησιακή προοπτική, το «6 Σίγμα» είναι επίσης ένα πλαίσιο για συνεχή επιχειρησιακή βελτίωση.
6. Εκπαίδευση και κατάρτιση. Η μεθοδολογία «6 Σίγμα», χρησιμοποιεί την ποιότητα και τα στατιστικά εργαλεία για να μετατρέψει ένα πρόβλημα σε μια πρακτική λύση. Κατά συνέπεια, η εκπαίδευση και η κατάρτιση που παρέχεται από την ανώτερη διοίκηση ως τους κατώτατους υπαλλήλους, σκοπό έχουν να υιοθετήσουν τη φιλοσοφία της μεθόδου «6 Σίγμα» και να εφαρμόσουν τις τεχνικές βελτίωσης συστημάτων σε όλα τα επίπεδα. Η αποτελεσματικότητα της εκπαίδευσης του προσωπικού και η ενημέρωση της διοίκησης είναι σημαντικοί παράγοντες για την επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου «6 Σίγμα» αφού μπορούν να καθορίσουν την αποδοχή της μεθόδου από το προσωπικό και τη διοίκηση.

Τελικά, η προσέγγιση και η ανάπτυξη της μεθόδου «6 Σίγμα» την καθιστούν διακριτή συγκριτικά με άλλες ποιοτικές πρωτοβουλίες. Η προσέγγιση «6 Σίγμα» περιλαμβάνει τη χρήση των στατιστικών εργαλείων μέσα σε μια δομημένη μεθοδολογία για την απόκτηση της γνώσης που απαιτείται για να επιτύχουν καλύτερα, γρηγορότερα, και με λιγότερο κόστος προϊόντα και υπηρεσίες. Η επαναλαμβανόμενη, πειθαρχημένη εφαρμογή της κύριας στρατηγικής στο πρόγραμμα, όπου τα προγράμματα επιλέγονται βασισμένα στους βασικούς επιχειρησιακούς στόχους, οδηγεί σε εντυπωσιακά κέρδη (βλέπε Μπλέσιος (2005) και Pande (2002)).

3.6.2. Λόγοι αποτυχίας της μεθόδου «6 Σίγμα».

Η επιτυχημένη εφαρμογή διάφορων μεθόδων βελτίωσης διεργασιών δεν εξασφαλίζει ότι θα συνεχιστεί μακροπρόθεσμα η βιωσιμότητα της επιχείρησης. Η μακροπρόθεσμη επιτυχία απαιτεί τη δραστηριοποίηση του πελάτη απέναντι στις απροσδόκητες καινοτομίες που παρέχονται από τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες μιας επιχείρησης. Η συνεχής επιβίωση μιας επιχείρησης απαιτεί την καινοτομία. Η καινοτομία είναι αποτέλεσμα της δημιουργικής δραστηριότητας και όχι της ανάλυσης. Η δημιουργικότητα δε μπορεί να επιτευχθεί με τους αριθμούς. Στην πραγματικότητα, η υπερβολική προσοχή σε μία αυστηρή διαδικασία όπως η μέθοδος «6 Σίγμα» μειώνει ουσιαστικά τη δημιουργικότητα. Μία επιχείρηση είναι δημιουργική όταν παρουσιάζει την επιθυμητή μεταβλητότητα, αφθονία πόρων και αποτελεσματικό στρατηγικό σχέδιο ανάπτυξης.

Για να μπορέσει λοιπόν μία επιχείρηση να διατηρήσει τη βιωσιμότητά της μακροπρόθεσμα πρέπει να λάβει υπόψη της τους παρακάτω παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν στην αποτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου «6 Σίγμα».

- Δίνεται υπερβολική έμφαση στα στατιστικά εργαλεία και στις στατιστικές τεχνικές με αποτέλεσμα να χαθεί η πραγματική αξία της μεθόδου «6 Σίγμα».
- Δίνεται υπερβολική έμφαση στο κόστος. Η μέθοδος «6 Σίγμα» δεν απαιτεί την δαπάνη σημαντικών κεφαλαίων παρά μονάχα για την επένδυση στην εκπαίδευση και ανάπτυξη των συμμετεχόντων στη διαδικασία. Οι δαπάνες κατάρτισης δικαιολογούνται πλήρως από την αποταμίευση ανά πρόγραμμα. Εάν η επιχείρηση δεν ασπαστεί τη φιλοσοφία της μεθόδου «6 Σίγμα» και θεωρήσει ότι είναι ένα πρόγραμμα μείωσης των εξόδων της τότε δεν θα μπορέσει να τη στηρίξει, να την αναπτύξει και να αποκομίσει τα προσδοκώμενα οφέλη.
- Δε δίνεται το απαραίτητο ενδιαφέρον στο δυναμικό της ομάδας. Δεν προσδιορίζονται οι αιτίες, δεν καθορίζεται το πρόβλημα, δεν αξιολογούνται σωστά τα προγράμματα και οι μεθοδολογίες για την αντιμετώπιση της μεταβλητότητας, και δεν αναπτύσσονται οι τρόποι και οι ικανότητες εκείνες που θα οδηγήσουν στην επιτυχία των ομάδων με αποτέλεσμα να μην καταδεικνύεται η αξία τους.

- Η επιτυχής εφαρμογή της μεθόδου «6 Σίγμα» δεν είναι αποκλειστική ευθύνη του κατόχου μαύρης ζώνης αλλά ολόκληρης της οργανωτικής δομής στην οποία βασίζεται η μέθοδος «6 Σίγμα».
- Η ανώτερη διοίκηση δε μπορεί να διακρίνει τα συνήθη από τα ειδικά αίτια που προκαλούν την μεταβλητότητα.
- Η ανώτερη διοίκηση δεν πρέπει μόνο να δεσμευτεί αλλά και να συμμετάσχει ενεργά στη διαδικασία βελτίωσης της επιχείρησης και να καθοδηγεί την ανάπτυξη μιας διοικητικής υποδομής για την υποστήριξη της μεθόδου «6 Σίγμα».
- Υπάρχει αδυναμία διαχείρισης της αλλαγής.

Για περισσότερες πληροφορίες, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να συμβουλευτεί την εργασία του Eckes (2001).

3.6.3 Οφέλη από τη μέθοδο «6 Σίγμα».

Η μέθοδος «6 Σίγμα» έχει αποφέρει τεράστια επιχειρησιακά οφέλη σε πολλές εταιρίες και οργανώσεις σε όλον τον κόσμο. Τα οφέλη αποκομίζονται από τα μεμονωμένα προγράμματα βελτίωσης ή σχεδιασμού που προσδιορίζονται και εκτελούνται από τους υπαλλήλους της επιχείρησης.

Όλες οι επιχειρήσεις που έχουν εφαρμόσει τη μέθοδο «6 Σίγμα» έχουν αποκομίσει κατά κύριο λόγο τα παρακάτω οφέλη.

- Πέτυχαν καλύτερη κυκλοφορία κεφαλαίου με λιγότερες απώλειες πράγμα το οποίο είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των κερδών.
- Απέκτησαν τεχνογνωσία και εμπειρία με αποτέλεσμα να βελτιωθούν οι ικανότητες, η αποτελεσματικότητα της εργασίας και η απόδοση όλου του προσωπικού, και να χρησιμοποιηθούν τα νέα μετρικά της μεθόδου «6 Σίγμα» που επέτρεψαν να αξιολογηθούν οι ατέλειες που συνδέονται με την ανάπτυξη και την παραγωγή του προϊόντος ή της υπηρεσίας. Η έμφαση που δόθηκε στα νέα μέτρα βοήθησε να γίνουν καλύτερα κατανοητές οι απαιτήσεις των πελατών. Επιπλέον καθιερώθηκε κοινή γλώσσα και κοινή ορολογία ανάμεσα στα τμήματα της επιχείρησης σε παγκόσμιο επίπεδο.

- Η μείωση των ελαττωμάτων και των ατελειών βοήθησε στην αποτελεσματική διαχείριση και επένδυση των πόρων της επιχείρησης με αποτέλεσμα το γρήγορο και άμεσο κέρδος που οδήγησε σε ραγδαίες αλλαγές μέσα στο ανταγωνιστικό περιβάλλον.
- Δημιούργησαν ορατούς στόχους απόδοσης. Καθόρισαν τους στόχους και επικεντρώθηκαν σε εκείνους που έχουν προτεραιότητα και συνδέονται άμεσα με την ικανοποίηση του πελάτη.
- Βελτιώθηκαν οι εσωτερικές διαδικασίες με τη στενή επικοινωνία, την ομαδική εργασία και την ενεργή συμμετοχή όλων, και εντόπισαν και καθόρισαν τις απαιτήσεις των πελατών που είχε ως επακόλουθο τα γρήγορα και υψηλής ποιότητας επιθυμητά αποτελέσματα.
- Οι προσπάθειες υλοποίησης των μεθόδων βελτίωσης αύξησαν την ικανοποίηση, την εμπιστοσύνη και τη διατήρηση του πελάτη και έφεραν σημαντικές βελτιώσεις στη διαχείριση των χρημάτων.
- Η μέθοδος «6 Σίγμα» έδωσε τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις που την υιοθέτησαν να αυξήσουν την ποιότητα, την απόδοση και την παραγωγικότητα τους με αποτέλεσμα να έχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι άλλων επιχειρήσεων.
- Μειώθηκαν σημαντικά οι δαπάνες.
- Εστίασαν στα σοβαρά δεδομένα και εξασφάλισαν με αυτόν τον τρόπο τα ποσοτικά προσδιορίσιμα στοιχεία για τις αναμενόμενες βελτιώσεις.

Για περισσότερες πληροφορίες, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να συμβουλευτεί την εργασία των Pande and Holpp (2002).

3.6.4 Μειονεκτήματα της μεθόδου «6 Σίγμα».

Για την πλειοψηφία των επιχειρήσεων, η μέθοδος «6 Σίγμα» έχει βοηθήσει ώστε να γίνουν ανταγωνιστικοί στην αγορά και να μειώσουν τις δαπάνες τους. Ωστόσο πρέπει να σημειώσουμε ορισμένα μειονεκτήματα που υπάρχουν.

- Οι μεθοδολογίες και οι τεχνικές που εφαρμόζονται στη μέθοδο «6 Σίγμα» είναι αποτελεσματικές για τη μείωση της μεταβλητότητας μιας διεργασίας αλλά είναι

ανεπαρκείς για να βελτιώσουν και να επιταχύνουν το ρυθμό ανάπτυξης της διεργασίας .

- Το κόστος εφαρμογής της μεθόδου «6 Σίγμα» είναι αρκετά μεγάλο αφού θεωρείται ως μία από τις πιο ακριβές και πολύπλοκες για να υλοποιηθούν διεργασίες.
- Για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου «6 Σίγμα» θα πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη υποστήριξη και ο ενθουσιασμός από όλους τους υπαλλήλους όλων των επιπέδων. Ωστόσο η μη ύπαρξη αυτών μπορεί τελικά να οδηγήσει στην αποτυχία.
- Επικρατεί μια παρερμηνεία της ποιότητας. Μερικοί υποστηρίζουν ότι ο καθορισμός της ποιότητας ως τη μειωμένη ύπαρξη ελαττωμάτων και ατελειών απεικονίζει μία περιορισμένη άποψη της ποιότητας. Στην πραγματικότητα, ακόμη και οι μηδέν ατέλειες υπολείπονται.
- Ορισμένες φορές δεν μετριέται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου «6 Σίγμα».
- Η έλλειψη χρόνου δημιουργίας της οργανωτικής δομής, εκπαίδευσης του προσωπικού και χρήσης των στατιστικών εργαλείων.
- Αμφισβητείται η οργανωτική δομή της μεθόδου «6 Σίγμα» και ο τρόπος εμπλοκής αυτών.
- Είναι μία ριζική μακροπρόθεσμη μεθοδολογία που απαιτεί δέσμευση.

Εκτενέστερη αναφορά στο συγκεκριμένο θέμα υπάρχει στην εργασία του *Eckes* (2000).

РАНЕКЪМЪО РЕПАА

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς, οδηγούν αναπόφευκτα τις εταιρίες στην αλλαγή της επιχειρηματικής τους πολιτικής με αποτέλεσμα να στρέφονται σε μεθόδους που βοηθούν στην ανάπτυξη και τη βελτίωση της λειτουργίας τους, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ή υπηρεσιών και ταυτόχρονα στην αύξηση των κερδών τους. Οι επιχειρήσεις υιοθετούν όλο και περισσότερο τη μέθοδο «6 Σίγμα» σε μια προσπάθεια να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων και των διεργασιών, και να αυξήσουν την παραγωγικότητα τους, έτσι ώστε να επιτύχουν ή να διατηρήσουν μια κυρίαρχη θέση στην αγορά και να επιτευχθεί το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Μερικές όμως από τις επιχειρήσεις χρησιμοποιούν μόνο τους δείκτες επίδοσης διεργασίας για να μετρήσουν και να αναλύσουν την ικανότητα μιας διεργασίας προκειμένου να παράγουν όσο το δυνατόν λιγότερα ελαττωματικά προϊόντα. Παρότι και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της απόδοσης μιας διεργασίας, η μέθοδος «6 Σίγμα» παράγει καλύτερα αποτελέσματα από οποιαδήποτε άλλη ποιοτική μέθοδο.

Στην ποιοτική μεθοδολογία «6 Σίγμα», η απόδοση μιας διεργασίας αναφέρεται στην επιχείρηση ως επίπεδο ποιότητας σίγμα. Όσο πιο υψηλό το επίπεδο ποιότητας σίγμα τόσο καλύτερα εκτελείται και αναπτύσσεται η διεργασία, αυξάνεται η αποδοτικότητα και ελαχιστοποιούνται οι ατέλειες με άμεσο στόχο την βέλτιστη ικανοποίηση των καταναλωτών. Ο βαθμός ικανοποίησης των καταναλωτών επηρεάζεται από το τελικό προϊόν και συγκεκριμένα από την ποιότητα και το κόστος. Συγκεκριμένα, η αύξηση των ελαττωματικών προϊόντων οδηγεί στην αυξανόμενη δυσαρέσκεια των καταναλωτών και σε οικονομικές απώλειες για την επιχείρηση.

Η μέθοδος «6 Σίγμα» παρέχει ένα δομημένο περιβάλλον στο οποίο η δημιουργικότητα, η καινοτομία και η παραγωγικότητα μπορούν να συνυπάρξουν. Για να συμβάλει η μέθοδος «6 Σίγμα» στη μακροπρόθεσμη επιτυχία μιας επιχείρησης θα πρέπει να κατορθώσει να παραμείνουν σε υψηλά επίπεδα η παραγωγικότητα, η ποιότητα και η καινοτομία. Ουσιαστικά είναι μια ποσοτική μέθοδος βασισμένη σε μια επιστημονική ανάλυση στοιχείων και μια

συνεχή αναζήτηση για αποδοτικότερες λύσεις με απώτερο σκοπό την ικανοποίηση των καταναλωτών.

Η ποιοτική πρωτοβουλία «6 Σίγμα» εστιάζει πρώτα στον καταναλωτή, κατόπιν στη διεργασία και μετά στο προσωπικό. Εάν δε δοθεί η κατάλληλη προσοχή, υπευθυνότητα και σχολαστικότητα στη διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου τότε μπορεί να προβεί αντιπαραγωγική για την επιχείρηση. Για το λόγο αυτό, ακολουθώντας την επιστημονική μέθοδο:

- προσδιορισμό των προβλημάτων
- εύρεση και επιβεβαίωση των αιτιών που τα προκαλούν
- τρόποι αντιμετώπισής τους και
- διατήρηση της προόδου,

επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα. Για να εξασφαλιστεί η επιτυχία της μεθόδου μακροπρόθεσμα θα πρέπει να γίνονται ποιοτικοί και ποσοτικοί έλεγχοι. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι στατιστικοί δείκτες απόδοσης και αναπτύσσονται ώστε να εξασφαλίσουν ότι τα προβλήματα και οι ατέλειες μειώνονται ή εξαλείφονται με την επανάληψη της διεργασίας. Ουσιαστικά αυτή είναι η διαδικασία που χρησιμοποιείται στη μέθοδο «6 Σίγμα».

Τα οφέλη από τη συγκεκριμένη μέθοδο εντοπίζονται σε όλα τα επίπεδα μιας επιχείρησης. Μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε εταιρία αρκεί να έχει τις απαραίτητες προϋποθέσεις όπως ενδεικτικά είναι η πλήρης δέσμευση, η στήριξη και αφοσίωση της διοίκησης, η αποδοχή και η οικειοποίηση της μεθόδου από το σύνολο του προσωπικού με σκοπό τη μακροπρόθεσμη βελτίωση των διεργασιών στην επιχείρηση, και τέλος ο σωστός επιχειρηματικός σχεδιασμός για τον εντοπισμό των πραγματικών αναγκών.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις της μεθόδου «6 Σίγμα». Για την επιτυχή εφαρμογή της μπορούμε είτε να βελτιώσουμε την ήδη υπάρχουσα διεργασία, είτε να αναπτύξουμε και να σχεδιάσουμε νέα προϊόντα ή υπηρεσίες χρησιμοποιώντας τις μεθοδολογίες DMAIC και DMADV αντίστοιχα. Για να υλοποιηθεί με επιτυχία η μέθοδος πρέπει να διαμορφωθεί η κατάλληλη οργανωτική δομή σε συνδυασμό με κατάλληλα εκπαιδευμένους ανθρώπους αφοσιωμένους σε αυτό τον στόχο.

Με αυτόν τον τρόπο η επιχείρηση θα εξασφαλίσει τη σταθερή βελτίωση των διεργασιών της προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ικανοποίηση των πελατών και ως εκ τούτου να επιτύχει αύξηση των κερδών της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- Αντζουλάκος, Δ. (2006). *Στατιστικός Έλεγχος Ποιότητας*, Σημειώσεις παραδόσεων του μαθήματος του *Στατιστικού Ελέγχου Ποιότητας* στα πλαίσια του Μ.Π.Σ. στην Εφαρμοσμένη Στατιστική, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- Κούτρας, Μ. (2008). *Συμπληρωματικό Υλικό τόμου Α της ΔΙΠ 60*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Μπλέσιος, Ν.(2005). *Διοίκηση Ολικής Ποιότητας*, Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της *Διοίκησης Ολικής Ποιότητας* του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνο-οικονομικά Συστήματα», Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

Ξένα

- Boyles, R. A. (1991). The Taguchi Capability Index, *Journal of Quality Technology*, **23**(1), 17-26.
- Chan, L. K., Cheng S. W. and Spiring, F. A. (1988). A New Measure of Process Capability C_{pm} , *Journal of Quality Technology*, **20**(3), 162-175.
- Choi, B. C. and Owen, D. B. (1990). A Study of a new Process capability Index, *Communications in Statistics-Theory and Methods*, **19**(4), 1231-1245.
- Eckes, G. (2001). *The Six Sigma Revolution, How General Electric and Others Turned Process into Profits*, John Wiley & Sons.
- Hsiang, T. C. and Taguchi, G. (1985). A Tutorial on Quality Control and Assurance: The Taguchi Methods. *Proceedings of the ASA Annual Meeting*, Las Vegas, Nevada.
- Kotz, S. and Johnson, N. L.(1993). *Process Capability Indices*. Chapman and Hall, London.
- Kotz, S. and Lovelace, C. R. (1998). *Process Capability Indices in Theory and Practice*. Arnold.
- Montgomery, D. C. (1997). *Introduction to Statistical Quality Control*, John Wiley & Sons.
- Pande, S. P. and Holpp, L. (2002). *What is Six Sigma*. McGraw-Hill, Two Penn Plaza, New York.

- Pande, S. P., Neuman, P. R. and Cavanagh, R. R. (2002). *The Six Sigma Way, Team Fieldbook: An Implementation Guide For Process Improvement Teams*. McGraw-Hill.
- Pearn, W. L., Kotz, S. and Johnson, N. L. (1992). Distributional and Inferential Properties of Process Capability Indices, *Journal of Quality Technology*, **24**(4), 216-231.
- Subbaiah, P. and Taam, W. (1993). Inference on the Capability Index C_{pm} , *Communications in Statistics-Theory and Methods*, **22**(2), 537-560.

Διαδικτυακό Υλικό

- Bellanca, R. (2000). Managing Six Sigma Change Resistance. <http://www.isixsigma.com/library/content/c031027a.asp>
- Devane, T. (2000). Turning Management Reluctance into Six Sigma Support. <http://www.isixsigma.com/library/content/c040308a.asp>
- Pyzdek, T. (2000). The Six Sigma Revolution. <http://www.pyzdek.com/six-sigma-revolution.htm>
- Pyzdek, T. (2001). Why Six Sigma is not TQM?. http://www.pyzdek.com/six_sigma_vs_tqm.htm

