



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ 6 ΣΙΓΜΑ (SIX SIGMA) ΓΙΑ ΤΗΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΜΙΚΡΟΜΕΣΑΙΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ***

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ν. ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ

ΑΘΗΝΑ 2014





Περίληψη

Η μεθοδολογία 6 Σίγμα (Six Sigma) έχει εφαρμοστεί με επιτυχία, σε μεγάλες κυρίως επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο, από τα μέσα της δεκαετίας του 80 μέχρι σήμερα. Πρόκειται για μια πολύπλευρη στρατηγική τα εργαλεία της οποίας επιτυγχάνουν την εξισορρόπηση μεταξύ της ικανοποίησης των αναγκών των καταναλωτών και της διατήρησης της οικονομικής ευρωστίας των επιχειρήσεων. Η παρούσα διπλωματική εργασία ωστόσο, εξετάζει την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της σε μια μικρομεσαία επιχείρηση. Αρχικά, έγινε η περιγραφή των 72 βασικότερων στατιστικών εργαλείων και μεθόδων της ανάλυσης Six Sigma και ακολούθως επιλέχθηκε η διενέργεια της μελέτης περίπτωσης εφαρμογής της, μέσω της προσέγγισης βελτίωσης των διαδικασιών DMAIC. Η μελέτη περίπτωσης έγινε στο φανοβαφείο αυτοκινήτων της εταιρείας Γεράσιμος Φλαμιάτος Α.Ε., αντιπροσωπεία της Toyota στην περιοχή της Παιανίας. Η υλοποίηση της ανάλυσης έλαβε χώρα χρησιμοποιώντας μια ομάδα επιλεγμένων εργαλείων της μεθοδολογίας Six Sigma, αφού προηγήθηκε η εκτενής περιγραφή τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μια πολύ μικρή επιχείρηση μπορεί να καρπωθεί τα οφέλη της μεθοδολογίας Six Sigma χωρίς να χρειαστεί να εκπαιδεύσει το προσωπικό της, αλλά ούτε και να δαπανήσει επιπλέον κεφάλαιο.





Abstract

Since the mid 80s, the Six Sigma methodology has been successfully applied mainly to large enterprises all around the world. Six Sigma is a versatile strategy which contains tools that aim at balancing the satisfaction of consumer's needs with the financial strength of the company. This diploma thesis examines the effectiveness of the implementation of this particular methodology in small and medium-sized businesses. At first, the 72 basic statistical tools and methods of Six Sigma were described and then the DMAIC approach of process improvement was chosen for the case study of Six Sigma. The company where the implementation of Six Sigma was examined was the auto body repair and painting Gerasimos Flamiatos S.A, a Toyota dealership that is located in Paiania. The implementation of the analysis took place by using a group of selected tools of the Six Sigma methodology that were thoroughly described in this thesis. The results were positive, as it was proved that a microenterprise can reap the benefits of the Six Sigma methodology without the need of training their staff nor spending additional asset.





Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή στις Μεθόδους 6 Σίγμα (Six Sigma)	9
1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας	9
1.2 Η Ανάλυση 6 Σίγμα (Six Sigma)	9
1.3 Μύθοι για τη Μεθοδολογία 6 Σίγμα (Six Sigma).....	12
1.4 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	12
1.5 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	13
Κεφάλαιο 2^ο: Βασικά Στοιχεία της Μεθοδολογίας Six Sigma	15
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	15
2.2 Η μεθοδολογία 6 Σίγμα (Six Sigma) ως Μέσο Εκπαίδευσης.....	17
2.3 Οι Προσεγγίσεις της Ανάλυσης Six Sigma	20
2.3.1 DMAIC	21
2.3.2 DMADV	24
2.4 Λίστα Στατιστικών Εργαλείων και Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)	25
Κεφάλαιο 3^ο: Ανάπτυξη Επιλεγμένων Στατιστικών Εργαλείων και Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)	37
3.1 Εργαλεία Απαικόνισης Δεδομένων	37
3.1.1 Διάγραμμα Χρόνου (Run Chart)	38
3.1.2 Διάγραμμα Διασποράς (Scatter Plot)	38
3.1.3 Διάγραμμα Ελέγχου IX-MR (IX-MR Control Chart)	39
3.1.4 Dot Graph.....	40
3.1.5 Box Plot	41
3.1.6 Ιστόγραμμα (Histogram)	43
3.1.7 Stem and Leaf Displays	44
3.1.8 Isogram.....	45
3.1.9 Tukey Mean Difference Plot.....	45
3.1.10 Multi-Vari Chart	46
3.2 Εργαλεία Περιγραφής Τυχαίας Συμπεριφοράς.....	47
3.2.1 Βασικά Στοιχεία Θεωρίας Πιθανοτήτων.....	48
3.2.2 Βασικά Στοιχεία για τις Μονοδιάστατες Τυχαίες Μεταβλητές.....	49
3.2.3 Νόμοι των Πιθανοτήτων	50
3.2.4 Υπεργεωμετρική Κατανομή.....	52
3.2.5 Διωνυμική Κατανομή.....	52
3.2.6 Κατανομή Poisson	53
3.2.7 Κανονική Κατανομή.....	54
3.3 Εργαλεία Εκτίμησης των Ιδιοτήτων των Πληθυσμών.....	55
3.3.1 Εκτίμηση της Μέσης Τιμής.....	57
3.3.2 Εκτίμηση της Τυπικής Απόκλισης	58
3.3.3 Ορθολογική Υπο-ομαδοποίηση Δείγματος.....	59
3.3.4 Έλεγχος Σταθερότητας μέσω των Διαγραμμάτων Ελέγχου X-s και IX-MR.....	61
3.3.5 Στατιστικά Διαστήματα Ανοχής.....	64
3.3.6 Εκτίμηση της Αξιοπιστίας με τις Κατανομές του Χρόνου Επελεύσεως Βλαβών.....	64
3.3.7 Εκτίμηση της Πιθανότητας Εμφάνισης Ελαττωματικών Προϊόντων π, της Διωνυμικής Κατανομής.....	68
3.3.8 Εκτίμηση της Μέσης Τιμής του Αναμενόμενου Αριθμού Ελαττωμάτων λ, της Κατανομής Poisson.....	69
3.3.9 Διαγράμματα Ελέγχου np, p, c, u.....	70



3.4	Επιλεγμένα Εργαλεία για την Εφαρμογή της Προσέγγισης DMAIC	72	
3.4.1	Τεχνικές Συλλογής Δεδομένων για της Ανάγκες των Καταναλωτών και των Συνεργαζόμενων Επιχειρήσεων (Voice Of Customer and Voice Of Business Gathering Techniques).....	72	
3.4.2	Αντιληπτό Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά (Market Perceived Quality Profile)	73	
3.4.3	Χάρτης Διαδικασίας (Process Map)	78	
3.4.4	Οι Πέντε Δυνάμεις του Porter (Porter’s Five Forces).....	78	
3.4.5	Ανάλυση Προτερημάτων Αδυναμιών Ευκαιριών-Απειλών (Strengths Weaknesses Opportunities Threats Analysis)	79	
3.4.6	Ανάλυση Διακύμανσης (Analysis of Variance-ANOVA).....	83	
3.4.7	Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης (Measurement System Analysis).....	90	
3.4.8	Σπίτι Της Ποιότητας (House Of Quality)	95	
3.4.9	Εκτίμηση Αποτυχιών και Ανάλυση Αποτελεσμάτων (Failure Mode and Effects Analysis-FMEA).....	99	
3.4.10	Αξιολόγηση Προτάσεων του Pugh (Pugh Concept Evaluation)	102	
3.4.11	Ανάλυση Κόστους/Οφέλους (Cost/Benefit Analysis).....	103	
3.4.12	Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας (Process Capability Analysis).....	106	
Κεφάλαιο 4^ο : Μελέτη Περίπτωσης Εφαρμογής της Μεθοδολογίας 6 Σίγμα (Six Sigma) στην Πολύ Μικρή Ελληνική Επιχείρηση «Toyota-Παιανία».....			113
4.1	Περιγραφή της Επιχείρησης «Toyota-Παιανία»	113	
4.2	Φάση Προσδιορισμού (Define Phase)	116	
4.2.1	Τεχνικές Συλλογής Δεδομένων για τις Ανάγκες των Καταναλωτών (Voice Of Customer Gathering Techniques)	116	
4.2.2	Αντιληπτό Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά (Market Perceived Quality Profile)	116	
4.2.3	Χάρτης Διαδικασιών (Process Map).....	119	
4.2.4	Οι Πέντε Δυνάμεις του Porter (Porter’s Five Forces).....	122	
4.2.5	Ανάλυση Προτερημάτων-Αδυναμιών-Ευκαιριών-Απειλών (SWOT Analysis).....	124	
4.3	Φάση Μέτρησης (Measure Phase)	127	
4.3.1	Δειγματοληψία (Sampling)	127	
4.3.2	Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης (MSA).....	127	
4.3.3	Gage R&R.....	131	
4.3.4	Διάγραμμα Fishbone.....	136	
4.3.5	Boxplot.....	138	
4.4	Φάση Ανάλυσης (Analyze Phase)	142	
4.4.1	Ανάλυση Συσχέτισης (Correlation Analysis).....	142	
4.4.2	Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA)	144	
4.4.3	Διάγραμμα Pareto	145	
4.4.4	Σπίτι Της Ποιότητας (House Of Quality)	147	
4.4.5	Εκτίμηση Αποτυχιών και Ανάλυση Αποτελεσμάτων (FMEA).....	149	
4.5	Φάση Βελτίωσης (Improve Phase)	154	
4.5.1	Αξιολόγηση Προτάσεων του Pugh (Pugh Concept Evaluation).....	154	
4.5.2	Ανάλυση Κόστους/Οφέλους (Cost/Benefit Analysis)	156	
4.6	Φάση Ελέγχου (Control Phase)	159	
4.6.1	Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας (Process Capability Analysis).....	159	
4.6.2	Διαγράμματα Ελέγχου (Control Charts)	163	
4.7	Συμπεράσματα της Μελέτης Περίπτωσης	165	
Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα των Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)			173
5.1	Δυσκολίες εφαρμογής των Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)	173	
5.2	Γενικά Συμπεράσματα	174	
5.3	Μελλοντική Εργασία	174	



Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή στις Μεθόδους 6 Σίγμα (Six Sigma)

1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Το θέμα που αναλύεται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η παρουσίαση των μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma) για τη βελτίωση των διαδικασιών μιας επιχείρησης, καθώς και η μελέτη περίπτωσης εφαρμογής τους σε μια πολύ μικρή ελληνική επιχείρηση.

Η παρουσίαση και η εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma γίνεται με γνώμονα ότι απευθύνεται στον ιδιοκτήτη μιας πολύ μικρής επιχείρησης που διαθέτει την διοικητική κουλτούρα ώστε να αποδεχτεί τη χρησιμότητά της, αλλά έχει περιορισμένο διαθέσιμο επενδυτικό κεφάλαιο και ελλιπείς γνώσεις στατιστικής και χρήσης Η/Υ. Για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία εφαρμογής της ανάλυσης, η παρουσίαση του κάθε σταδίου της, περιλαμβάνει και στοιχεία από το ακαδημαϊκό υπόβαθρο που απαιτείται για να κατανοήσει κανείς τη λειτουργία των μεθόδων που περιγράφονται.

Επιπροσθέτως, κάθε εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma που εμπεριέχεται στη διπλωματική εργασία, συνοδεύεται από παραστατικές οδηγίες υλοποίησής του, ακολουθώντας μια σειρά αριθμημένων βημάτων. Η εφαρμογή των εργαλείων μπορεί να γίνει είτε από εξοικειωμένους χρήστες Η/Υ με τη χρήση κάποιου στατιστικού προγράμματος, είτε από αρχάριους χρήστες, διενεργώντας χειρωνακτικά όλους τους υπολογισμούς.

Εν κατακλείδι, κύριος σκοπός της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η προσπάθεια δημιουργίας ενός εγχειριδίου βελτίωσης διαδικασιών, το οποίο μπορεί να συμβουλευτεί ο ενδιαφερόμενος ιδιοκτήτης πολύ μικρής επιχείρησης που θέλει να καρπωθεί τα οφέλη της μεθοδολογίας Six Sigma.

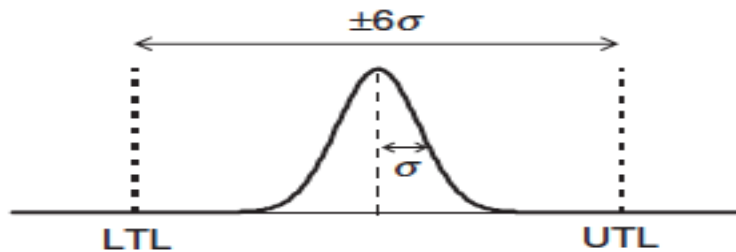
1.2 Η Ανάλυση 6 Σίγμα (Six Sigma)

Πριν γίνει η παρουσίαση του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και η περιγραφή των θεματικών εννοιών της, πρέπει να δοθεί απάντηση στο εύλογο ερώτημα που γεννάται στο σημείο αυτό, σχετικά με το τι ακριβώς είναι η ανάλυση Six Sigma και σε τι διαφέρει από τις λοιπές μεθόδους βελτίωσης των διαδικασιών.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι στην ανάλυση Six Sigma μπορεί να αναφερθεί κανείς χρησιμοποιώντας είτε τον όρο μεθοδολογία, είτε στρατηγική, είτε περιγράφοντάς την ως ένα σύνολο εργαλείων και τεχνικών. Οποιοσδήποτε προσδιοριστικός όρος και αν επιλεγεί, οι δύο αντιπροσωπευτικές λέξεις που την χαρακτηρίζουν είναι ο αριθμός έξι (Six) και το ελληνικό γράμμα σίγμα (Sigma).

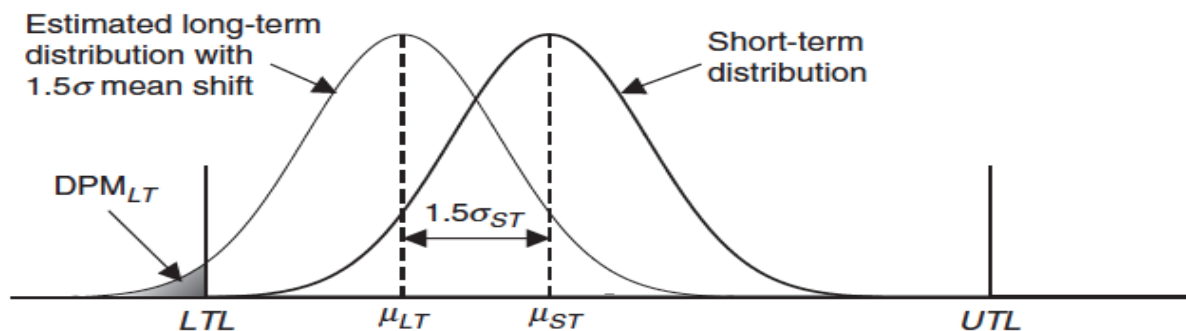
Ξεκινώντας από την τελευταία εκ των δύο λέξεων, το γράμμα σίγμα αναφέρεται στον συμβολισμό που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για να περιγράψει τον όρο της τυπικής απόκλισης (Standard

Deviation) ενός συνόλου τιμών. Ως γνωστόν, η τυπική απόκλιση στη στατιστική και στην θεωρία των πιθανοτήτων υπολογίζει την διακύμανση των τιμών ενός συνόλου από την μέση τιμή του. Αντίστοιχα, ο αριθμός έξι δηλώνει το πλήθος των τυπικών αποκλίσεων, που η μέση τιμή του συνόλου τιμών απέχει από το κοντινότερο όριο προδιαγραφών. Η αρχή στην οποία βασίζεται η ανάλυση Six Sigma είναι το γεγονός ότι εντός του προαναφερθέντος διαστήματος, πρακτικά δεν εμφανίζονται ελαττωματικά προϊόντα. Συνδυάζοντας τις δύο αυτές έννοιες, προκύπτει το βασικό πόρισμα της ανάλυσης, που είναι το εξής: «μια παραγωγική διαδικασία αγγίζει την ποιότητα Six Sigma αν σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα επιτυγχάνει την εμφάνιση μόλις 3.4 ελαττωματικών προϊόντων, σε σύνολο ενός εκατομμυρίου (Defects Per Million Opportunities)». Το πόρισμα γενικεύεται για όλες τις διαδικασίες της επιχείρησης, καθώς και για την παροχή υπηρεσιών.



Σχήμα 1.1: Εύρος έξι τυπικών αποκλίσεων

Ο μεγαλύτερος εχθρός της ανάλυσης Six Sigma είναι η απόκλιση (Variation) που παρατηρείται στα μετρούμενα μεγέθη μιας διαδικασίας. Είναι σαφές, ότι σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα παρατηρείται πολύ μεγαλύτερη απόκλιση των τιμών, από ότι σε βραχυπρόθεσμο. Μάλιστα, η εταιρεία Motorola στην οποία εφαρμόστηκε η ανάλυση Six Sigma, αναφέρει ότι η εμφάνιση των 3.4 ελαττωματικών προϊόντων στο εύρος των 6σ (Έξι Τυπικών Αποκλίσεων), οφείλεται στη μετακίνηση της μέσης τιμής της διαδικασίας κατά 1.5σ (Σχήμα 1.2), που έλαβε χώρα με την πάροδο του χρόνου. Η μετακίνηση αυτή οφείλεται είτε σε πραγματική μεταβολή της μέσης τιμής της διαδικασίας στο χρόνο, είτε στη διαφορά που παρουσιάζει ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο με την εκτίμησή της σε μακροπρόθεσμο.



Σχήμα 1.2: Μετακίνηση της μέσης τιμής κατά 1.5 τυπική απόκλιση



Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, το βασικό πόρισμα της ανάλυσης Six Sigma ουσιαστικά αναφέρεται στο εύρος των 4.5 τυπικών αποκλίσεων που απέχει η μέση τιμή της υπό μελέτης διαδικασίας, από το κοντινότερο όριο προδιαγραφών. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι αριθμοί των ελαττωματικών προϊόντων σε σύνολο ενός εκατομμυρίου (DPMO) για τις διάφορες τιμές του εύρους των αποκλίσεων.

Εύρος	Εύρος έπειτα από την μετατόπισή της μέσης τιμής κατά 1.5σ	DPMO
1σ	-0.5σ	691,462
2σ	0.5σ	308,538
3σ	1.5σ	66,807
4σ	2.5σ	6,210
5σ	3.5σ	233
6σ	4.5σ	3.4
7σ	5.5σ	0.019

Πίνακας 1.1: Συσχέτιση εύρους τυπικών αποκλίσεων και DPMO

Για να έχει μια επιχείρηση όφελος από την εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma, δεν χρειάζεται να στοχεύσει στην επίτευξη των μόλις 3.4 ελαττωματικών προϊόντων, στο σύνολο του ενός εκατομμυρίου. Αξίζει να σημειωθεί, ότι εκτός από την εταιρεία Motorola, ελάχιστες είναι οι επιχειρήσεις που έχουν καταφέρει να βελτιώσουν σε τόσο υψηλό βαθμό την ποιότητά τους, ύστερα από την εφαρμογή της ανάλυσης. Ως στρατηγική Six Sigma ορίζεται η εφαρμογή των κατάλληλων εργαλείων και μεθόδων που θα συντελέσουν στην βελτίωση των διαδικασιών της επιχείρησης, στο βαθμό όμως του επιπέδου σίγμα που εκείνη θα ορίσει, σύμφωνα με τις ανάγκες των καταναλωτών που εξυπηρετεί.

Δεν είναι λίγες οι φορές που η ανάλυση Six Sigma συγχέεται με τις μεθόδους της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, λόγω της ομοιότητας του σκοπού που επιτελούν, την ικανοποίηση δηλαδή των καταναλωτών. Στην πραγματικότητα όμως, πρόκειται για δύο εντελώς διαφορετικές στρατηγικές.

Η πρώτη διαφορά τους έγκειται στο ότι οι μέθοδοι της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας στοχεύουν καθαρά και μόνο στο να φέρουν σε πέρας την δύσκολη αποστολή της ικανοποίησης των απαιτήσεων των καταναλωτών, βελτιώνοντας την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών. Πολλές φορές όμως, τα συμφέροντα των καταναλωτών είναι αντικρουόμενα με εκείνα της επιχείρησης, με αποτέλεσμα να θυσιάζονται πόροι οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την οικονομική ευρωστία της επιχείρησης. Την εξομάλυνση επιτυγχάνει η ανάλυση Six Sigma που είναι μια πολύπλευρη στρατηγική, τα εργαλεία της οποίας φροντίζουν να εξισορροπούν την ικανοποίηση των καταναλωτών με την οικονομική ευρωστία της επιχείρησης.

Η δεύτερη διαφορά τους βρίσκεται στον τρόπο λήψης των αποφάσεων. Συνήθως, για την εφαρμογή της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας υπεύθυνο είναι το Τμήμα Ποιότητας, το οποίο είναι αποκομμένο από τα συνεργαζόμενα τμήματα της επιχείρησης (Οικονομικό, Πωλήσεων, κλπ). Αντίθετα, για τον τρόπο

εφαρμογής της ανάλυσης Six Sigma, οι αποφάσεις λαμβάνονται από την ίδια τη Διοίκηση της επιχείρησης.

Η τελευταία βασική διαφορά τους, έγκειται στο γεγονός ότι η εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma περιλαμβάνει πιο συστηματική χρήση στατιστικών και ποιοτικών εργαλείων για τη βελτίωση των διαδικασιών και ορίζεται από μια πιο πειθαρχημένη προσέγγιση.

1.3 Μύθοι για τη Μεθοδολογία 6 Σίγμα (Six Sigma)

Παρόλο που η ανάλυση Six Sigma συμπληρώνει σχεδόν 30 χρόνια εφαρμογής ως μια επιτυχημένη στρατηγική βελτίωσης των διαδικασιών, ο αριθμός των ιδιοκτητών επιχειρήσεων που αμφιβάλλουν για τα αποτελέσματά της είναι μεγάλος. Αιτία του φαινομένου, είναι η κυρίαρχη παρουσία ορισμένων «μύθων» στον κλάδο της Διοίκησης των Επιχειρήσεων, σχετικά με τον τρόπο εφαρμογής της ανάλυσης και τα χαρακτηριστικά της. Παρατίθενται λοιπόν οι σημαντικότεροι από τους προαναφερθέντες μύθους για την ανάλυση Six Sigma.

- Η εφαρμογή της είναι εφικτή μόνο σε μεγάλες επιχειρήσεις
- Μπορεί να αποφέρει οφέλη στη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών και μόνο
- Απαιτείται η πρόσληψη εξωτερικού συνεργάτη για την εφαρμογή της
- Απαιτείται η εκπαίδευση των στελεχών σε κάποια από τις ζώνες
- Είναι μια πολύπλοκη στρατηγική που περιλαμβάνει πολλά στατιστικά εργαλεία τα οποία δύσκολα γίνονται κατανοητά
- Δεν στοχεύει στην ικανοποίηση των απαιτήσεων των καταναλωτών
- Είναι μια παραλλαγή της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας
- Πρόκειται για ένα «λογιστικό τέχνασμα», χωρίς απτές αποδείξεις εξοικονόμησης πόρων
- Πρόκειται απλά για ένα είδος εκπαίδευσης
- Πρόκειται για ένα «μαγικό χάπι» που διορθώνει προβλήματα με ελάχιστο κόπο

Στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας θα αποδειχτεί ότι όλοι οι παραπάνω ισχυρισμοί είναι αβάσιμοι. Η επιλογή της επιχείρησης στην οποία διεξήχθη η μελέτη περίπτωσης εφαρμογής της ανάλυσης Six Sigma, έγινε με βασικό γνώμονα την κατάρριψη των προαναφερθέντων αυτών μύθων.

1.4 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Στη διπλωματική αυτή εργασία αναλύεται η εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma σε μια τυπική πολύ μικρή επιχείρηση, επιλέγοντας και χρησιμοποιώντας ορθολογικά την ομάδα των εργαλείων που μπορεί να προσαρμοστεί στα ελληνικά δεδομένα.

Εσωτερικές αδυναμίες της επιχείρησης, όπως το χαμηλό επενδυτικό κεφάλαιο, η αποφυγή ανάληψης ρίσκου, η έλλειψη πληροφόρησης για τη μεθοδολογία αυτή, η έλλειψη ρευστότητας και η ανησυχία για μακροπρόθεσμη απόσβεση του αναλωθέντος κεφαλαίου είναι εμπόδια που η ανάλυση Six



Sigma αντιμετωπίζει με ευκολία, λόγω της προσαρμοστικότητας και της εξελικτικότητας των μεθόδων της.

Επιπροσθέτως, όπως προαναφέρθηκε, επιδίωξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να λειτουργήσει ως ένα εγχειρίδιο για τον ιδιοκτήτη μιας επιχείρησης που θέλει να καρπωθεί τα οφέλη της ανάλυσης Six Sigma. Για το σκοπό αυτό, κάθε εργαλείο που χρησιμοποιείται συνοδεύεται από εμπειριστατωμένες οδηγίες χρήσης.

1.5 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Κεφάλαιο 2^ο:

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται τα βασικά στοιχεία της μεθοδολογίας Six Sigma, η ιστορική αναδρομή, οι ζώνες εκπαίδευσης και οι τέσσερις προσεγγίσεις της. Επίσης, παρατίθεται η λίστα των 72 εργαλείων και μεθόδων που εμπεριέχει.

Κεφάλαιο 3^ο:

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα εργαλεία τριών βασικών κατηγοριών της ανάλυσης Six Sigma καθώς και ένα σύνολο επιλεγμένων εργαλείων από τη λίστα του δευτέρου κεφαλαίου, η εφαρμογή των οποίων συνιστάται για τη διεκπεραίωση της προσέγγισης DMAIC σε μια πολύ μικρή ελληνική επιχείρηση. Εκτός από τις οδηγίες εφαρμογής του κάθε εργαλείου, εμπεριέχονται και τα βασικά στοιχεία στατιστικής και θεωρίας πιθανοτήτων που είναι απαραίτητα για την διενέργεια των υπολογισμών.

Κεφάλαιο 4^ο:

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η μελέτη περίπτωσης εφαρμογής της μεθοδολογίας Six Sigma και συγκεκριμένα της προσέγγισης DMAIC, στην πολύ μικρή ελληνική επιχείρηση «Toyota-Παιανία», που ασχολείται με τη φανοποιία και τη βαφή αυτοκινήτων. Στο τέλος του κεφαλαίου, παρατίθενται τα ειδικά συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης.

Κεφάλαιο 5^ο:

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται οι πιθανές δυσκολίες της εφαρμογής της μεθοδολογίας Six Sigma, τα γενικά συμπεράσματα της ανάλυσης, καθώς και ιδέες για μελλοντική εργασία σχετικά με τη στρατηγική Six Sigma.





Κεφάλαιο 2^ο: Βασικά Στοιχεία της Μεθοδολογίας Six Sigma

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ανάλυση Six Sigma πρωτοεμφανίστηκε ως μια μέθοδος επίλυσης προβλημάτων στην αμερικάνικη εταιρεία Motorola, στα μέσα της δεκαετίας του 80. Έναυσμα για τη δημιουργία της αποτέλεσε το γεγονός ότι σε μια σύσκεψη στελεχών στην παραπάνω εταιρεία, όταν Διευθύνων Σύμβουλος (CEO) είχε ήδη αναλάβει ο Bob Galvin από το 1981, διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων της δεν ήταν η επιθυμητή. Στη σύσκεψη αποφασίστηκε η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και τέθηκε ο αρχικός στόχος του δεκαπλασιασμού της ποιότητας των προϊόντων και των υπηρεσιών της σε διάστημα 5 ετών. Πρέπει να σημειωθεί, ότι επρόκειτο για μια επαναστατική ιδέα στον παραγωγικό κλάδο, καθώς μέχρι τότε οι αμερικάνικες εταιρείες θεωρούσαν ότι η ποιότητα κοστίζει, η Motorola πίστευε ότι η βελτίωση της ποιότητας θα μειώσει τελικά τα κόστη.

Τα δύο βασικά πρόσωπα πίσω από την σύλληψη της ιδέας της μεθοδολογίας Six Sigma, ήταν δύο στελέχη της Motorola, ο Mikael Harry και ο Bill Smith. Ο πρώτος ονομάστηκε ο «νονός» της μεθοδολογίας Six Sigma, ενώ ο δεύτερος ο «πατέρας» της. Το 1985, ο Smith έγραψε μια έκθεση για τη σχέση ανάμεσα στη φυσική ζωή ενός προϊόντος και το πόσο συχνά είχε επισκευαστεί κατά την παραγωγική του διαδικασία. Συμπέρανε, ότι ο εντοπισμός και η διόρθωση ενός ελαττωματικού προϊόντος στο στάδιο της παραγωγής, αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης και άλλων ελαττωμάτων στα πρώτα στάδια χρήσης του από τον πελάτη. Επιπλέον, ανακάλυψε ότι αν ένα προϊόν δεν παρουσιάζει ανάγκη διόρθωσής του κατά την παραγωγική διαδικασία, η πιθανότητα εμφάνισης ελαττώματος στον πελάτη ήταν πολύ μικρή.

Με γνώμονα τα συμπεράσματα του Smith, τα στελέχη της Motorola κατέληξαν στην υιοθέτηση μιας ανάλυσης που θα στόχευε στην εύρεση τρόπων για την αποφυγή εμφάνισης ελαττωμάτων στα προϊόντα. Ο Galvin, στις 15 Ιανουαρίου 1985, παρουσίασε ένα μακροπρόθεσμο πρόγραμμα ποιότητας, που το ονόμασε «Πρόγραμμα Ποιότητας Six Sigma» (The Six Sigma Quality Program), το οποίο καθιέρωσε την ανάλυση Six Sigma ως την απαιτούμενη βαθμίδα ικανότητας μιας παραγωγικής διαδικασίας, για την επίτευξη των 3.4 ελαττωματικών προϊόντων σε σύνολο ενός εκατομμυρίου. Στη συνέχεια, γενικεύτηκε η έννοια και το περιεχόμενο της Six Sigma ώστε να περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες παραγωγής προϊόντων μιας επιχείρησης, καθώς και την παροχή υπηρεσιών. Ο πρωταρχικός στόχος της διοίκησης αναπροσαρμόστηκε ως εξής: «Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και των υπηρεσιών κατά δέκα φορές μέχρι το 1989 και τουλάχιστον κατά 100 φορές μέχρι το 1991. Επίτευξη ποιότητας Six Sigma μέχρι το 1992». Έτσι, δημιουργήθηκε η στρατηγική Six Sigma ως μια πειθαρχημένη μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων.



Λίστα Εταιρειών		
3M	Ford Motor Company	Raytheon
Acme Markets	General Dynamics	ResMed
Advanced Micro Devices	General Electric	Samsung Group
Agilent Technologies	Genpact	Sears
Air Canada	GlaxoSmithKline	Sears
ALCAN	HCL Technologies	SGL Group
Amazon.com	Heinz Co.	SGL Group
AXA	Hertel	Shinhan Bank
BAE Systems	Honeywell	Shinhan Card
Bank of America	HSBC Group	Shop Direct Group
BD Medical	Idearc Media	Siemens AG
Bechtel Corporation	Ingram Micro	SKF
Boeing	Inventec	Staples Inc.
Cabot Microelectronics Ltd	ITC Welcomgroup Hotels, Palaces and Resorts	Starwood Hotels & Resorts Worldwide
CAE Inc	ITT Corporation	Sterlite Optical Technologies
Canada Post	JEA	Target Corporation
Caterpillar Inc.	Korea Telecom	Teradyne
Chartered Quality Institute	KTF	Textron
CIGNA	LG Group	The Hertz Corporation
Cintas Uniforms	Lockheed Martin	The McGraw-Hill Companies
Cognizant Technology Solutions	Mando Corporation	The Vanguard Group
Computer Sciences Corporation	Maple Leaf Foods	TomoTherapy, Inc.
Cookson Group	McKesson Corporation	Trane
CoorsTek	Merrill Lynch	TRW
Corning	Microflex Inc.	TSYS (Total System Services)
Cummins Inc.	Motorola	Tyco International
Deere & Company	Mumbai's dabbawalas	Unipart
Dell	Network Rail	United States Air Force
Delphi Corporation	NewPage Corporation	United States Army
Denso	Nielsen Company	United States Marine Corps
Deutsche Telekom	Nortel Networks	United States Navy
DHL	Northrop Grumman	UnitedHealth Group
Dominion Resources	Owens-Illinois	Vodafone
Dow Chemical Company	Pakistan International Airlines	Volt Information Sciences
DSB Bank	Pakistan State Oil	Whirlpool
DuPont	Patheon	Wipro
Eastman Kodak Company	Penske Truck Leasing	Xchanging
EMC	PepsiCo	Xerox
Finning	Precision Castparts Corp.	
Flextronics	Quest Diagnostics	

Πίνακας 2.1: Οι 118 μεγαλύτερες εταιρείες που έχουν εφαρμόσει με επιτυχία τη μεθοδολογία Six Sigma

Η επιτυχία αυτή της Motorola, αλλά και ο τρόπος επίτευξής της δεν άργησε να γίνει γνωστός παγκοσμίως και πολλές επιχειρήσεις ενδιαφέρθηκαν για την ανάλυση Six Sigma. Το 1991, η εταιρεία Allied Signal (συγχωνεύτηκε με την Honeywell το 1999), δοκίμασε την εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma σε συνεργασία με τον Mikael Harry, όταν Διευθύνων Σύμβουλος ήταν ο Lawrence Bossidy, και



κατόρθωσε να καρπωθεί τα οφέλη της σε διάστημα μόλις έξι μηνών. Το 1995 ο Διευθύνων Σύμβουλος της General Electric, Jack Welch, ενδιαφέρθηκε για την ανάλυση Six Sigma και προσκάλεσε με τον Bossidy να λάβει μέρος στο διοικητικό συμβούλιο της GE και να μοιραστεί μαζί τους τις εμπειρίες του σχετικά με τα οφέλη της ανάλυσης. Το 1996, ο Welch ανακοίνωσε την εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma στην GE με σκοπό να την μετατρέψει στην μεγαλύτερη εταιρεία του κόσμου. Από τότε μέχρι σήμερα η ανάλυση Six Sigma έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε πληθώρα επιχειρήσεων, οι κυριότερες από τις οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 1.1.

2.2 Η μεθοδολογία 6 Σίγμα (Six Sigma) ως Μέσο Εκπαίδευσης

Ένα από τα στοιχεία που διαφοροποιεί την μεθοδολογία Six Sigma από τις υπόλοιπες στρατηγικές βελτίωσης και την κάνει πιο αποτελεσματική, είναι η ύπαρξη ειδικευμένων στελεχών για την εφαρμογή της. Από τα πρώτα χρόνια εφαρμογής της, η εκπαίδευση των εργαζομένων ήταν απαραίτητη προϋπόθεση για την έναρξή της.

Το 1988, ο Mikael Harry εισήγαγε την κλίμακα προσόντων για την εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma εμπνευσμένος από τις ζώνες του καράτε και ονομάζοντας τους υπεύθυνους υλοποίησης της ανάλυσης ως «Κατόχους Μαύρης Ζώνης» (Black Belts). Στη συνέχεια, το 1993 αποφάσισε να επεκτείνει την κλίμακα των προσόντων ώστε να χωριστούν τα στελέχη που ασχολούνταν με την ανάλυση Six Sigma ανάλογα με τις γνώσεις τους, την εμπειρία τους, το μερίδιο ευθύνης που είχαν αλλά και το σύνολο των αρμοδιοτήτων τους. Στην τελική μορφή της, η κλίμακα προσόντων που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα περιλαμβάνει τους εξής ρόλους σε φθίνουσα ιεραρχική σειρά:

- Ανώτερο Διοικητικό Στέλεχος (Executive Leader-EL)
- Πρωταθλητής (Champion-CH)
- Κάτοχος Κύριας Μαύρης Ζώνης (Master Black Belt-MBB)
- Κάτοχος Μαύρης Ζώνης (Black Belt-BB)
- Κάτοχος Πράσινης Ζώνης (Green Belt-GB)
- Κάτοχος Κίτρινης Ζώνης (Yellow Belt-YB)
- Μέλος Ομάδας Έργου (Project Team Members-PTM)

Ακολουθώς, αναλύονται οι αρμοδιότητες και το επίπεδο εκπαίδευσης της κάθε βαθμίδας.

Ανώτερο Διοικητικό Στέλεχος (Executive Leader-EL)

Σε όλες τις μεγάλες επιχειρήσεις, το δύσκολο έργο του Executive Leader το αναλαμβάνει είτε ο Διευθύνων Σύμβουλος (CEO), είτε ένας από τα ανώτατα στελέχη της διοίκησης, ενώ σε μια μικρότερη επιχείρηση, ορίζεται ως υπεύθυνος ο ιδιοκτήτης της. Βασική αρμοδιότητα του Executive Leader είναι η προώθηση της φιλοσοφίας της μεθοδολογίας Six Sigma σε όλα τα στελέχη της επιχείρησης. Πρέπει να τους εμπνέει το σεβασμό και να πιστεύει με όλες του τις δυνάμεις στην επίτευξη του στόχου της



ανάλυσης. Μπορεί να το επιτύχει αυτό με την αμέριστη συμπαράστασή του προς τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας, αλλά και την πλήρη αφοσίωσή του στην διεκπεραίωση του έργου. Επίσης, ένα από τα καθήκοντά του είναι η εύρεση του απαραίτητου κεφαλαίου που απαιτείται για την εκπαίδευση των στελεχών στις αντίστοιχες ζώνες, καθώς και η επιτήρηση της σωστής διεξαγωγής της εκπαίδευσης. Με άλλα λόγια, ο ρόλος αυτός λειτουργεί ως κινητήρια δύναμη για την ορθολογική εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma στην επιχείρηση.

Πρωταθλητής (Champion-CH)

Τον ρόλο του Πρωταθλητή (Champion) στις μεγάλες επιχειρήσεις, συνήθως τον αναλαμβάνει ένα από τα διοικητικά στελέχη, ενώ στις μικρότερες ο συγκεκριμένος ρόλος μπορεί να συμπίπτει με εκείνον του Executive Leader. Πρέπει να είναι ένα άτομο που ασκεί μεγάλη επιρροή στα υπόλοιπα στελέχη και να υπάρχει τουλάχιστον ένας ανά επιχείρηση. Η βασική αρμοδιότητά του είναι η τήρηση της εύρυθμης εφαρμογής της ανάλυσης σύμφωνα με το αρχικό χρονοδιάγραμμα, η οποία επιτυγχάνεται με τη διαρκή εποπτεία της, αλλά και την καθημερινή καταγραφή της προόδου που σημειώνεται. Είναι καθήκον του Champion να επιλέξει ποιοι θα είναι οι Black Belts καθώς και το πως αυτοί θα κατανεμηθούν στα διάφορα τμήματα της ανάλυσης Six Sigma. Ένα ακόμη καθήκον της συγκεκριμένης βαθμίδας είναι η εξακρίβωση ότι τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας Six Sigma συμβαδίζουν με τους στρατηγικούς στόχους που έχουν τεθεί από τη διοίκηση της επιχείρησης.

Κάτοχος Κύριας Μαύρης Ζώνης (Master Black Belt-MBB)

Ως Κάτοχοι Κύριας Μαύρης Ζώνης ορίζονται τα στελέχη που έχουν διεκπεραιώσει την εκπαίδευση που τους εξασφαλίζει την μαύρη ζώνη, έχουν αναλάβει και έχουν φέρει εις πέρας τουλάχιστον ένα ολοκληρωμένο έργο Six Sigma στο παρελθόν και είναι ικανοί να μεταλαμπαδεύσουν τις γνώσεις και την εμπειρία τους στα υπόλοιπα στελέχη της επιχείρησης. Πρόκειται ουσιαστικά για τον σύμβουλο του Executive Leader, του Champion αλλά και όλων των Black Belts. Οι βασικές αρμοδιότητές τους είναι η εκπαίδευση των στελεχών της επιχείρησης στις μεθόδους της μεθοδολογίας Six Sigma και η αντιμετώπιση των προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν σε κάποιο στάδιο της ανάλυσης. Η θέση αυτή μπορεί να καλυφθεί και από έναν εξωτερικό συνεργάτη, καθώς όπως αναφέρθηκε, η σε βάθος εμπειρία στην μεθοδολογία Six Sigma είναι βασική προϋπόθεση του συγκεκριμένου ρόλου, αλλά και γιατί η συμβολή του δεν είναι απαραίτητη σε καθημερινή βάση, αλλά μόνο στα κομβικά σημεία της ανάλυσης.

Κάτοχος Μαύρης Ζώνης (Black Belt-BB)

Για να γίνει κάποιος κάτοχος μαύρης ζώνης πρέπει να έχει ολοκληρώσει την βασική εκπαίδευση στις μεθόδους και τα εργαλεία της Six Sigma, η οποία διαρκεί συνήθως τέσσερις εβδομάδες (κατανεμημένες σε διάστημα μερικών μηνών). Κάθε μεγάλη επιχείρηση στοχεύει στο να έχει περίπου το 10% των στελεχών της τη μαύρη ζώνη, καθώς η εκπαίδευσή τους περιλαμβάνει τη διεκπεραίωση



τουλάχιστον ενός έργου Six Sigma που έχει άριστα αποτελέσματα. Αποτελούν την καρδιά της ανάλυσης Six Sigma και χωρίς αυτούς το έργο εφαρμογής της δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί. Το καθήκον τους είναι η εφαρμογή του συνόλου των εργαλείων της ανάλυσης ως «οι ηγέτες της ομάδας», η επίλυση προβλημάτων, ο προσδιορισμός των στόχων και η επίτευξή τους, η εύρεση των ελαττωμάτων και η διόρθωσή τους καθώς και η καταπολέμηση των αιτιών εμφάνισης των αποτυχιών. Συνήθως, ασχολούνται με την μεθοδολογία Six Sigma σε πλήρη απασχόληση.

Κάτοχος Πράσινης Ζώνης (Green Belt-GB)

Την πράσινη ζώνη, μπορεί να την αποκτήσει ένα στέλεχος ύστερα από εκπαίδευση δύο εβδομάδων στις μεθόδους της ανάλυσης Six Sigma. Η εκπαίδευση περιλαμβάνει τη συμμετοχή του στελέχους σε ένα έργο Six Sigma, ώστε να καταλάβει τις βασικές αρχές των μεθόδων και των εργαλείων που χρησιμοποιούνται. Στις μεγάλες επιχειρήσεις, οι Green Belts σπάνια θα κατέχουν ηγετική θέση σε ένα έργο, ενώ αντίθετα στις μικρότερες, που οι ανώτεροι και πιο έμπειροι ρόλοι δεν μπορούν να καλυφθούν, συχνά είναι αυτοί οι καθοδηγητές της εφαρμογής της ανάλυσης σε συνεργασία με κάποιον εξωτερικό συνεργάτη. Δουλεύουν κυρίως σε μερική απασχόληση στο έργο Six Sigma και οι αρμοδιότητές τους είναι η συλλογή των δεδομένων, η διενέργεια πειραμάτων και των σειρών μετρήσεων, καθώς και η ανάλυση των στοιχείων που συλλέγονται.

Κάτοχος Κίτρινης Ζώνης (Yellow Belt-YB)

Η βαθμίδα της κίτρινης ζώνης της κλίμακας των προσόντων δεν χρησιμοποιείται από όλες τις επιχειρήσεις. Οι κάτοχοί της έχουν ολοκληρώσει μια εκπαίδευση στην ανάλυση Six Sigma μόλις 1-2 ημερών και η συμμετοχή τους στο έργο είναι περιορισμένη. Συνήθως τα στελέχη της συγκεκριμένης βαθμίδας χρησιμοποιούνται όταν οι υπόλοιπες θέσεις δεν μπορούν να καλυφθούν ή υπάρχουν ελλείψεις προσωπικού, ενώ δουλεύουν στο έργο με μερική απασχόληση.

Μέλος Ομάδας Έργου (Project Team Member-PTM)

Η Ομάδα Έργου, απαρτίζεται από στελέχη τα οποία δεν έχουν εκπαιδευτεί στις μεθόδους και τα εργαλεία της ανάλυσης Six Sigma και ο ρόλος τους είναι κυρίως υποστηρικτικός. Οι αρμοδιότητές τους επικεντρώνονται στην συλλογή των στοιχείων που απαιτούνται για την εφαρμογή των εργαλείων.

Γίνεται κατανοητό, ότι κάθε επιχείρηση ανάλογα με τους στόχους και τις ανάγκες της καλείται να επιλέξει ποιους ρόλους θα εισάγει στην εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma. Δεν υπάρχει ένας κανόνας που να ορίζει πόσα ακριβώς στελέχη θα πρέπει να εκπαιδευτούν και το πως θα κατανεμηθούν στις διάφορες φάσεις της ανάλυσης. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζεται μια ενδεικτική κατανομή του εργατικού προσωπικού που απαιτείται για την εφαρμογή της ανάλυσης σε μια πολύ μικρή και μια μικρή επιχείρηση.

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1, στην παρούσα διπλωματική εργασία θα καταβληθεί προσπάθεια να αποδειχθεί ότι μια πολύ μικρή επιχείρηση μπορεί να καρπωθεί τα οφέλη της στρατηγικής Six Sigma χωρίς να χρειαστεί να εκπαιδεύσει τους εργαζόμενους. Για το σκοπό αυτό δεν θα ακολουθήσουμε τον παραπάνω τρόπο για την εφαρμογή της ανάλυσης αφού απαιτεί τη δαπάνη κεφαλαίου για την εκπαίδευση των εργαζομένων.

Πολύ Μικρή Επιχείρηση		Μικρή Επιχείρηση	
Κύκλος Εργασιών έως 2 εκ. €	Αριθμός εργαζομένων: <10	Κύκλος Εργασιών έως 10 εκ. €	Αριθμός εργαζομένων: 10-50
Απαραίτητα Στελέχη Six Sigma	Θα καλύπτονται από:	Απαραίτητα Στελέχη Six Sigma	Θα καλύπτονται από:
Champion	τον Ιδιοκτήτη ή το Διευθυντή	Champion	τον Ιδιοκτήτη ή το Διευθυντή
Master Black Belt	Εξωτερικό Συνεργάτη	Master Black Belt	Εξωτερικό Συνεργάτη
Black Belt	1 υπάλληλο που θα απασχολείται τουλάχιστον το 50- 100% του χρόνου του	Black Belts	2-3 υπαλλήλους που θα απασχολούνται τουλάχιστον το 50- 100% του χρόνου τους
Green Belt	1 υπάλληλο που θα απασχολείται το 20% του χρόνου του	Green Belts	1-5 υπαλλήλους που θα απασχολούνται το 20% του χρόνου τους
Μέλη της Ομάδας Έργου	Πελάτες, Προμηθευτές	Μέλη της Ομάδας Έργου	Εθελοντές υπαλλήλους, Πελάτες, Προμηθευτές

Πίνακας 2.2: Κατανομή στελεχών επιχείρησης στις βαθμίδες της μεθόδου Six Sigma

2.3 Οι Προσεγγίσεις της Ανάλυσης Six Sigma

Η ανάλυση Six Sigma άρχισε ως μια προσέγγιση problem-solving με σκοπό τη μείωση των αποκλίσεων των παραγόμενων προϊόντων από τις κατασκευαστικές τους προδιαγραφές. Σήμερα, το πεδίο εφαρμογής της έχει διευρυνθεί σημαντικά και έχει εξαπλωθεί σε τομείς όπως η βελτίωση των διαδικασιών, ο σχεδιασμός προϊόντων και υπηρεσιών, η διοίκηση post-launch λειτουργιών, η ανάπτυξη προϊόντων κλπ. Η υιοθέτησή της συνιστάται σε κάθε επιχείρηση ανεξαρτήτως μεγέθους, προϊόντικής γκάμας και τεχνολογικού επιπέδου του εξοπλισμού της. Η μεθοδολογία Six Sigma εμπεριέχει τέτοια πληθώρα εργαλείων που με την κατάλληλη επιλογή, χρησιμοποίηση και το σωστό συνδυασμό τους μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε οποιαδήποτε επιχείρηση.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία συμβάλλει:

- στο να προσδιοριστούν τα λειτουργικά και τα σταθερά κόστη που μπορούν να αποφευχθούν
- στην αναγνώριση και την καταπολέμηση των σφαλμάτων
- στην αύξηση του κέρδους της επιχείρησης
- στην βελτίωση της ικανοποίησης του καταναλωτή



- στη βελτίωση της ικανοποίησης του εργαζόμενου που συμμετέχει στην ανάλυση, καθώς και το επίπεδο αφοσίωσής του σε αυτή
- στη μεγέθυνση και την εξάπλωση της επιχείρησης.

Ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής της, αλλά και τον τρόπο υλοποίησης της ανάλυσης Six Sigma, ορίζονται οι τέσσερις βασικές προσεγγίσεις της:

❖ DMAIC

Η κύρια συνιστώσα της ανάλυσης Six Sigma που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των υφιστάμενων διαδικασιών. Ο παράγοντας που η συγκεκριμένη προσέγγιση προσπαθεί να εξαλείψει είναι η διακύμανση των τιμών (Variation), που είναι και ταυτόχρονα ο μεγαλύτερος εχθρός μιας υπό έλεγχο σταθερής διαδικασίας.

❖ Design For Six Sigma

Η συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση των υφιστάμενων διαδικασιών με νέες πιο αποδοτικές. Πραγματεύεται κυρίως τον σχεδιασμό νέων διαδικασιών, η υλοποίηση των οποίων θα αυξήσουν το επίπεδο ποιότητας της επιχείρησης.

❖ Lean and Lean Six Sigma

Η προσέγγιση αυτή αποτελεί συνέχεια της DMAIC μόνο που οι παράγοντες που κυρίως ερευνώνται είναι η ταχύτητα εκτέλεσης και η ροή των διαδικασιών, η εύρεση των διαδικασιών που δεν προσδίδουν αξία στο προϊόν και η καταπολέμησή τους, καθώς και η μείωση των νεκρών χρόνων εργασίας.

❖ Six Sigma For Marketing

Πρόκειται για τη νεότερη από τις τέσσερις προσεγγίσεις και ουσιαστικά αποτελεί τον συνδυασμό των δύο τελευταίων. Εφαρμόζεται κυρίως στο χώρο του Marketing και των Πωλήσεων με σκοπό την βελτίωση της οικονομικής ευρωστίας της επιχείρησης. Καλύπτει το κενό που αφήνουν οι δύο προηγούμενες προσεγγίσεις, καθώς τα τμήματα του Marketing και των Πωλήσεων απαιτούν την ύπαρξη και την εφαρμογή ειδικευμένων εργαλείων μιας και είναι κάπως ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα τμήματα της επιχείρησης.

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η βασική project-based μέθοδος της Six Sigma ανάλυσης, η DMAIC, μαζί με τα απαραίτητα εργαλεία, λόγω της απλότητας της εφαρμογής της και της βραχυπρόθεσμης αποδοτικότητάς της.

2.3.1 DMAIC

Η μεθοδολογία DMAIC πήρε το όνομά της από τα ακρωνύμια των πέντε φάσεων που εμπεριέχει:

- Φάση του Προσδιορισμού (The Define Phase)
- Φάση της Μέτρησης (The Measure Phase)
- Φάση της Ανάλυσης (The Analyze Phase)



- Φάση της Βελτίωσης (The Improve Phase)
- Φάση του Ελέγχου (The Control Phase)

Πρόκειται για την πιο βασική προσέγγιση της ανάλυσης Six Sigma καθώς μπορούμε με ασφάλεια να πούμε ότι οι υπόλοιπες ουσιαστικά απορρέουν από αυτή. Όπως αναφέρθηκε, είναι μια μέθοδος επίλυσης προβλημάτων, αλλά και εύρεσης των κύριων αιτιών εμφάνισης των σφαλμάτων που παρουσιάζονται στις διάφορες διαδικασίες. Η αρχή στην οποία βασίζεται η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ότι η επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος της τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής Y, γίνεται μόνο με την αναζήτηση των κρίσιμων ανεξάρτητων X μεταβλητών και την εύρεση του κατάλληλου συνδυασμού τους. Με άλλα λόγια, αναζητούνται οι τιμές, αλλά και ο συνδυασμός των κρίσιμων εκείνων παραγόντων που θα συντελέσουν στην επίτευξη των στόχων της ανάλυσης. Παραλλαγή της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι η μέθοδος DMAIC, όπου το δεύτερο «I» συμβολίζει τη νέα φάση που εισάγεται, εκείνη της Καινοτομίας (Innovate).

Οι πέντε φάσεις της προσέγγισης DMAIC και τα βασικά βήματα που προτείνονται είναι:

➤ **The Define Phase**

- Προσδιορισμός του προβλήματος της διαδικασίας
- Προσδιορισμός του υπεύθυνου της διαδικασίας (Process Sponsor)
- Αρχή κατασκευής του Project Charter, σύνθεση της ομάδας έργου και κατασκευή του διαγράμματος RACI
- Έρευνα των αναγκών και των απαιτήσεων των καταναλωτών και μέσω αυτών προσδιορισμός των Κρίσιμων για την Ποιότητα Χαρακτηριστικών (Critical To Quality Characteristics) των προϊόντων ή των υπηρεσιών. Το βήμα αυτό πραγματοποιείται με την εφαρμογή των εργαλείων Μέθοδος Ανάπτυξης Ποιότητας (Quality Function Deployment) και του Σπιτιού Της Ποιότητας (House Of Quality).
- Καταγραφή των CTQ χαρακτηριστικών που δεν ικανοποιούνται, μέσω της δημιουργίας των Problem Statements και επιλογή των μετρητικών μεθόδων παρακολούθησής τους
- Επιλογή των CTQ χαρακτηριστικών των προϊόντων ή των υπηρεσιών (με χρήση του διαγράμματος Pareto) και των μετρητικών μεθόδων παρακολούθησής τους
- Προσδιορισμός των απαραίτητων πόρων που θα χρειαστούν
- Κατασκευή του Project Plan

➤ **The Measure Phase**

- Καθορισμός των εξαρτημένων (Y's) και ανεξάρτητων (X's) μεταβλητών του προβλήματος
- Προσδιορισμός των αποδεκτών τιμών των μεταβλητών
- Επικύρωση του συστήματος μέτρησης (με τη μέθοδο Gage R&R) και χρησιμοποίησή του για τη συλλογή νέων δεδομένων για τις μεταβλητές



- Υπολογισμός της ικανότητας της εξαρτημένης μεταβλητής Y να καλύπτει τις απαιτήσεις των καταναλωτών. Επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό του Επιπέδου Σίγμα ή εφαρμόζοντας την Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας (Process Capability Analysis)
- **The Analyze Phase**
 - Προσδιορισμός των ανεξάρτητων μεταβλητών (X's) που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις εξαρτημένες μεταβλητές (Y's) που μελετάμε και δημιουργούν το πρόβλημα
 - Καθορισμός της συνάρτησης $Y = f(X)$ που προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών
 - Καθορισμός της μηδενικής και της εναλλακτικής υπόθεσης συσχέτισης των μεταβλητών
 - Επιλογή των τεχνικών που θα χρησιμοποιηθούν για να εξεταστεί η υπόθεση και εφαρμογή τους στα δεδομένα που συλλέξαμε κατά την φάση της μέτρησης
 - Ανάλυση των αποτελεσμάτων και καταγραφή συμπερασμάτων
- **The Improve Phase**
 - Επιλογή μεθόδου ανεύρεσης συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών ώστε να επαναπροσδιορίσουμε το πρόβλημα (χρησιμοποιώντας το εργαλείο Design Of Experiments).
 - Καθορισμός του στόχου του πειράματος, του Πειραματικού Σχεδιασμού (Experimental Design) και των μεταβλητών που θα εμπεριέχονται
 - Τοποθέτηση αρχικών τιμών στις μεταβλητές, διενέργεια του πειράματος και συλλογή αποτελεσμάτων
 - Αξιολόγηση και επικύρωση αποτελεσμάτων
 - Κατασκευή διαγραμμάτων για τα συμπεράσματα
- **The Control phase**
 - Επιλογή της μεταβλητής η οποία θα ελεγχθεί
 - Επιλογή του διαγράμματος ελέγχου ανάλογα με τον τύπο της μεταβλητής μέσω του εργαλείου Στατικός Έλεγχος Διαδικασίας (Statistical Process Control).
 - Προσδιορισμός του αριθμού των δειγμάτων και του μεγέθους του δείγματος
 - Προσδιορισμός της μεθόδου μέτρησης και των κριτηρίων της
 - Υπολογισμός των παραμέτρων του διαγράμματος ελέγχου
 - Κατασκευή ενός Σχεδίου Ελέγχου (Control Plan) για τη διασφάλιση των αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν
 - Εκπαίδευση των εργαζομένων και επεξήγηση των διαγραμμάτων

Η εφαρμογή της Six Sigma ανάλυσης απαιτεί προκαθορισμένο αριθμό βημάτων τα οποία όμως δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Για το σκοπό αυτό, η αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ των μελών της ομάδας κρίνεται αναγκαία. Επιπροσθέτως, ο ιδιοκτήτης της επιχείρησης πρέπει να έχει διαρκή



ενασχόληση με την ομάδα έργου (αν δεν συμμετέχει σε αυτή) και να αναζητεί τρόπους επιβράβευσης των στελεχών της, παρέχοντας κίνητρα για πιο αποδοτική εργασία.

Η επιλογή των εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε φάση της ανάλυσης εξαρτάται από τους στόχους που έχουν τεθεί από τη διοίκηση, αλλά και από τη φύση της υπό μελέτη διαδικασίας. Η μέθοδος DMAIC δεν αποτελεί έναν αλγόριθμο σίγουρης επιτυχίας, αλλά η επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος επιτυγχάνεται μόνο με την ορθολογική επιλογή και χρήση των σωστών εργαλείων, τη σωστή στιγμή και τη σωστή διαδικασία.

2.3.2 DMADV

Μια δεύτερη προσέγγιση της Six Sigma ανάλυσης μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή της μεθοδολογίας DFSS και συγκεκριμένα του μοντέλου DMADV (Define-Measure-Analyze-Design-Verify). Η διαφοροποίησή του σε σχέση με την ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο DMAIC έγκειται στο ότι δεν αποσκοπεί στην βελτίωση των υπάρχουσών διαδικασιών μιας επιχείρησης. Αντιθέτως, χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση των διαδικασιών αυτών με άλλες πιο αποδοτικές, όταν κρίνεται αναγκαίο, αλλά και για τη δημιουργία νέων, σε τομείς του έργου που χαρακτηρίζονται ανεπαρκείς σε θέματα ανάλυσης.

Η προσέγγιση DMADV πήρε το όνομά της από τα ακρωνύμια των πέντε φάσεων που εμπεριέχει:

- Φάση του Προσδιορισμού (The Define Phase)
- Φάση της Μέτρησης (The Measure Phase)
- Φάση της Ανάλυσης (The Analyze Phase)
- Φάση του Σχεδιασμού (The Design Phase)
- Φάση της Επαλήθευσης (The Verify Phase)

Υπάρχουν πολλά «Roadmaps» τα οποία μπορεί κάποιος να ακολουθήσει για να εφαρμόσει την μεθοδολογία του Design For Six Sigma με επιτυχία. Το πιο διαδεδομένο και εύκολα εφαρμόσιμο σε μεγαλύτερο εύρος επιχειρήσεων είναι όπως αναφέρθηκε το DMADV.

Αναφέρονται ενδεικτικά κάποια άλλα από τα μοντέλα του DFSS:

- PIDOV (Plan-Identify-Design-Optimize-Validate)
- ICOV (Identify-Characterize-Optimize-Verify)
- IIDOV (Invent-Innovate-Design-Optimize-Verify)
- CDOV (Concept-Design-Optimize-Verify)

Πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα «roadmaps» έχουν ως στόχο τη δημιουργία διαδικασιών της Six Sigma ανάλυσης. Η απόφαση μιας επιχείρησης για την εφαρμογή του Design For Six Sigma είναι πολύ πιο σημαντική από το Roadmap το οποίο θα επιλέξει να ακολουθήσει.



2.4 Λίστα Στατιστικών Εργαλείων και Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)

Ένα από τα βασικότερα κομμάτια της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση όλων των εργαλείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις προσεγγίσεις της μεθοδολογίας Six Sigma. Παρόλο που η μελέτη περίπτωσης αναπτύχθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο DMAIC, στη λίστα εμπεριέχονται τα εργαλεία και των τριών προσεγγίσεων.

Η μορφή της λίστας είναι έτσι διαμορφωμένη, ώστε ο ιδιοκτήτης μιας πολύ μικρής επιχείρησης, ή ο Executive Leader της ομάδας εφαρμογής της ανάλυσης Six Sigma, να μπορεί να επιλέξει το εργαλείο που επιθυμεί ανάλογα με το σκοπό που θέλει να επιτύχει. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσα από τα εργαλεία παρουσίαζαν παρόμοια χαρακτηριστικά συγχωνεύτηκαν σε ένα, ενώ στον αντίποδα, εργαλεία των οποίων οι παραλλαγές κρίθηκαν ότι χρειάζονται διαφορετική προσέγγιση και εφαρμογή, παρουσιάστηκαν ως ξεχωριστά εργαλεία. Σε ορισμένες ονομασίες εργαλείων διατηρήθηκε ο πιο κοινός αγγλικός όρος περιγραφής τους.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε εργαλείο καταγράφηκαν:

- Ο αύξων αριθμός του
- Η πιο χρησιμοποιούμενη ονομασία του
- Ο σκοπός που επιτελεί
- Οι ενδεικτικές χρήσεις του

Πρέπει να σημειωθεί, ότι είναι στο χέρι του υπεύθυνου εφαρμογής της ανάλυσης να επιλέξει ποιο εργαλείο θα χρησιμοποιηθεί σε ποια φάση της ανάλυσης. Υπάρχουν εργαλεία, όπως η Ανάλυση Ικανότητας διαδικασίας, που μπορούν να εφαρμοστούν σε περισσότερες από μια φάσεις της προσέγγισης. Αντίθετα, εργαλεία όπως οι Πέντε Δυνάμεις του Porter εφαρμόζονται αυστηρά σε μια συγκεκριμένη φάση.

Παρατίθεται λοιπόν η λίστα με τα 72 εργαλεία της ανάλυσης Six Sigma.



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
α/α	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
1	Run Chart	Απεικόνιση της πορείας ενός μεγέθους ως προς το χρόνο	1. Σύγκριση προγραμματισμένων και πραγματικών παραγγελιών 2. Παρακολούθηση της πορείας των κερδών/ζημιών 3. Παρακολούθηση των πωλήσεων
2	Διάγραμμα Διασποράς/Ανάλυση Συσχέτισης (Scatter Plot/Correlation Analysis)	Απεικόνιση της συσχέτισης δύο μεταβλητών	1. Επιλογή κατάλληλου συνδυασμού μεταξύ δύο μεταβλητών (π.χ. του κυβισμού ενός αυτοκινήτου και της κατανάλωσής του) 2. Εύρεση της επιρροής μιας μεταβλητής στην τιμή της άλλης
3	Dot Graph	Εποπτεία της διακύμανσης των τιμών δύο ή περισσότερων μεταβλητών χρησιμοποιώντας:	1. Σύγκριση μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών των προϊόντων 2. Ομαδοποίηση προϊόντων με κοινά χαρακτηριστικά ή διαχωρισμός προϊόντων που βρίσκονταν στην ίδια ομάδα και δεν είναι ομοιογενή 3. Επιλογή κατάλληλου συνδυασμού μεταξύ δύο μεταβλητών (π.χ. του κυβισμού ενός αυτοκινήτου και της κατανάλωσής του) 4. Εύρεση της επιρροής μιας μεταβλητής στην τιμή της άλλης
	3.1 Dot Plot	Ομαδοποίηση σε κλάσεις	
	3.2 Individual Value Plot	Μεμονωμένες Παρατηρήσεις	
4	Box Plot	Εποπτεία της διακύμανσης των τιμών μιας μεταβλητής	1. Έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας 2. Εμφάνιση σημείων εκτός των αποδεκτών ορίων 3. Επιλογή κατάλληλου συνδυασμού μεταξύ δύο μεταβλητών (π.χ. του κυβισμού ενός αυτοκινήτου και της κατανάλωσής του) 4. Εύρεση της επιρροής μιας μεταβλητής στην τιμή της άλλης
5	Histogram	Εποπτεία της συχνότητας εμφάνισης των τιμών μιας μεταβλητής	1. Αναζήτηση του target group μιας προϊοντικής γκάμας (π.χ. χωρίζοντας τους καταναλωτές σε ηλικιακές ομάδες και μετρώντας τις προτιμήσεις τους) 2. Επιλογή κατάλληλου συνδυασμού μεταξύ δύο μεταβλητών (π.χ. του κυβισμού ενός αυτοκινήτου και της κατανάλωσής του) 3. Εύρεση της επιρροής μιας μεταβλητής στην τιμή της άλλης 4. Εύρεση των τιμών των χαρακτηριστικών που εμφανίζονται πιο πολλές φορές
6	Stem and Leaf Displays	Εποπτεία της συχνότητας εμφάνισης των τιμών μιας μεταβλητής	1. Εύρεση της διαμέσου και της διακύμανσης των τιμών σε ένα δείγμα 2. Χωρίς τη σχεδίαση διαγράμματος, γίνεται ο έλεγχος του αν οι τιμές των μεταβλητών είναι εκτός των ορίων
7	Isogram	Απεικόνιση και σύγκριση των τιμών μιας μεταβλητής μετά από δύο διαδοχικές μετρήσεις	1. Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις ή των μετρητικών οργάνων 2. Έλεγχος του ανθρώπινου δυναμικού που είναι υπεύθυνο για τη διεξαγωγή των μετρήσεων
8	Tukey Mean Difference Plot	Απεικόνιση και σύγκριση των τιμών μιας μεταβλητής μετά από δύο διαδοχικές μετρήσεις	1. Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις ή των μετρητικών οργάνων 2. Έλεγχος του ανθρώπινου δυναμικού που είναι υπεύθυνο για τη διεξαγωγή των μετρήσεων



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
a/a	Ονομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
9	Multi-Vari Plot	Απεικόνιση της συσχέτισης περισσότερων των δύο μεταβλητών με:	1. Επιλογή κατάλληλου συνδυασμού μεταξύ πολλών μεταβλητών (π.χ. του κυβισμού ενός αυτοκινήτου, της κατανάλωσής του και της ροπής του) 2. Εύρεση της επιρροής μιας μεταβλητής στις τιμές των υπολοίπων μεταβλητών
	9.1 Scatter Plot Matrices	Ιστορικά δεδομένα	
	9.2 Multi-vari Charts	Πειραματικά δεδομένα	
10	Νόμοι Πιθανοτήτων	Υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος	1. Λήψη αποφάσεων σχετικά με μια διαδικασία, αφού έχει υπολογιστεί το ρίσκο που περιλαμβάνει (π.χ. Η πιθανότητα να πάθει βλάβη η μοναδική εφεδρική μηχανή που χρησιμοποιείται ενώ η κύρια δεν έχει επισκευαστεί ακόμα)
11	Υπεργεωμετρική Κατανομή	Αν ένας πληθυσμός εμπεριέχει X ελαττωματικά και $N-X$ σωστά αντικείμενα, το εργαλείο αυτό αποτελεί το μοντέλο που υπολογίζει την πιθανότητα, το δείγμα να εμπεριέχει ακριβώς x ελαττωματικά και $n-x$ σωστά αντικείμενα	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή
12	Διωνυμική Κατανομή	Υπολογίζει την πιθανότητα ένα δείγμα να έχει ακριβώς x ελαττωματικά, από την επιλογή n συνολικά αντικειμένων από έναν μη πεπερασμένο πληθυσμό με σταθερή πιθανότητα επιλογής ελαττωματικού αντικειμένου ίση με p	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή 2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές
	12.1 Εκτίμηση της σταθερής πιθανότητας εμφάνισης ελαττωματικών αντικειμένων p	Εκτίμηση της πιθανότητας p και υπολογισμός του αντίστοιχου διαστήματος εμπιστοσύνης	
13	Κατανομή Poisson	Υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης ακριβώς x ελαττωματικών σε ένα δείγμα, όταν είναι γνωστή η μέση τιμή λ του αριθμού των αναμενόμενων ελαττωμάτων σε αυτό	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή 2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές
	13.1 Εκτίμηση της μέσης τιμής του αναμενόμενου αριθμού ελαττωμάτων λ	Εκτίμηση της μέσης τιμής του λ και υπολογισμός του πραγματικού και του πιθανού διαστήματος εμπιστοσύνης	
14	Κανονική Κατανομή/Normal Probability Plot	Ελέγχει αν ένα σύνολο τιμών είναι κανονικά κατανομημένο και υπολογίζει την πιθανότητα η τιμή ενός μεγέθους, το οποίο προσεγγίζεται από την κανονική κατανομή, να πάρει μια τιμή μέσα από ένα συγκεκριμένο διάστημα	1. Προσδιορισμός της κανονικότητας ή μη ενός συνόλου τιμών 2. Λήψη αποφάσεων σχετικά με μια διαδικασία, αφού έχει υπολογιστεί το ρίσκο που περιλαμβάνει (π.χ. η πιθανότητα τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος να παίρνουν τιμές μέσα σε ένα διάστημα)
15	Εκτίμηση της μέσης τιμής	Εκτίμηση της μέσης τιμής ενός πληθυσμού που ακολουθεί την κανονική κατανομή και ο υπολογισμός του αντίστοιχου διαστήματος εμπιστοσύνης	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή 2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
a/a	Ονομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
16	Εκτίμηση της τυπικής απόκλισης	Εκτίμηση της τυπικής απόκλισης ενός πληθυσμού που ακολουθεί την κανονική κατανομή και ο υπολογισμός του αντίστοιχου διαστήματος εμπιστοσύνης	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή 2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές
17	Ορθολογική Υπομαδοποίηση ενός δείγματος	Υπολογισμός των διαστημάτων εμπιστοσύνης της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης ενός πληθυσμού σε βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο επίπεδο	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή 2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές 3. Σύγκριση βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων εκτιμήσεων
18	Στατιστικά διαστήματα ανοχής	Υπολογισμός του εύρους των αριθμών μέσα στο οποίο βρίσκεται ένα ποσοστό των μεμονωμένων παρατηρήσεων ενός πληθυσμού που ακολουθεί την κανονική κατανομή	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή 2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές
19	Εκτίμηση της αξιοπιστίας με τις κατανομές του χρόνου επέλευσης βλαβών	Υπολογισμός των διαστημάτων εμπιστοσύνης των εξής μεγεθών για κάθε κατανομή:	1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή 2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές 3. Λήψη αποφάσεων σχετικά με τη συντήρηση ή την αντικατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού και των μηχανημάτων
	19.1 Εκθετική Κατανομή	Της πιθανότητας επέλευσης βλαβών λ, της μέσης διάρκειας ζωής ενός αντικειμένου τη στιγμή που παθαίνει βλάβη MTTF, του χρόνου κατά τον οποίο το 100p% του πληθυσμού των αντικειμένων αναμένεται να έχει πάθει βλάβη b100p, της συνάρτησης επιβίωσης R(t)	
	19.2 Κατανομή Weibul	Της χαρακτηριστικής ζωής η, της μέσης διάρκειας ζωής ενός αντικειμένου τη στιγμή που παθαίνει βλάβη MTTF, του χρόνου κατά τον οποίο το 100p% του πληθυσμού των αντικειμένων αναμένεται να έχει πάθει βλάβη b100p, της συνάρτησης επιβίωσης R(t)	
20	Benchmarking	Δημιουργία στρατηγικής για τη βελτίωση των διαδικασιών μιας επιχείρησης μέσω της παρακολούθησης και της καταγραφής του τρόπου εφαρμογής των διαδικασιών αυτών από μια επιχείρηση "πρότυπο"	1. Βελτίωση ή αναδιοργάνωση της στρατηγικής της επιχείρησης ακολουθώντας το πλάνο μιας επιχείρησης "πρότυπο" 2. Σύγκριση με τις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις, παραδειγματισμός από τα λάθη ή τις επιτυχίες τους 3. Επέκταση της επιχείρησης 4. Εμφάνιση καινοτόμων ιδεών



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
a/a	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
21	Αντιληπτο Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά (Market Perceived Quality Profile-MPQP)	Καθορισμός των βασικών χαρακτηριστικών των προϊόντων ή των υπηρεσιών που τα καθιστούν ανταγωνιστικά και ο υπολογισμός του χάσματος ανάμεσα στην επιχείρησή μας και τους ανταγωνιστές σχετικά με την ικανοποίηση των καταναλωτών	<ol style="list-style-type: none">1. Εμφάνιση των CTQ χαρακτηριστικών των προϊόντων2. Σύγκριση με τις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις3. Εξαγωγή συμπερασμάτων για την ικανοποίηση των καταναλωτών4. Αναδιοργάνωση της στρατηγικής της επιχείρησης5. Στρατηγική ανάλυση για την εισαγωγή σε μια νέα αγορά ή την κατασκευή ενός νέου προϊόντος
22	Οι πέντε Δυνάμεις του Porter (Porter's Five Forces)	Διαπίστωση της θέσης μιας επιχείρησης σε σχέση με τις ανταγωνιστικές της και η δημιουργία μιας επιχειρηματικής στρατηγικής για τη βελτίωσή της	<ol style="list-style-type: none">1. Στρατηγική ανάλυση για την εισαγωγή σε μια νέα αγορά2. Στρατηγική ανάλυση για το πως θα χειριστούμε τις αγορές στις οποίες κινούνται τα προϊόντα της επιχείρησης3. Ανάλυση των αγοραστών και των προμηθευτών του περιβάλλοντος της επιχείρησης καθώς και των ανταγωνιστικών προϊόντων που απειλούν να υποκαταστήσουν τα δικά μας4. Αντληση πληροφοριών για την ανάλυση SWOT
23	Ανάλυση Real-Win-Worth (RWW)	Επιλογή των επιχειρηματικών εκείνων ιδεών που μπορούν να σταθούν σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον και η αξιολόγησή τους ως προς το όφελος που θα αποκομίσουμε έναντι των δαπανηθέντων πόρων	<ol style="list-style-type: none">1. Αναζήτηση και ταξινόμηση των παραγόντων που επηρεάζουν και κρίνουν μια επένδυση ως προς την κερδοφορία της2. Λήψη αποφάσεων σχετικά με ένα επιχειρηματικό πλάνο ύστερα από την ανάλυση της αγοράς στην οποία θα απευθυνθεί καθώς και των οικονομικών στοιχείων του
24	Ανάλυση SWOT-Προτερήματα, Αδυναμίες, Ευκαιρίες, Απειλές (SWOT Analysis-Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)	Καθορισμός των δυνατοτήτων μιας επιχείρησης σε σχέση με τις ανταγωνιστικές της καθώς και η ανάλυση της ισορροπίας μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων που επιδρούν σε αυτή	<ol style="list-style-type: none">1. Εντοπισμός, οργάνωση και ταξινόμηση των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν την επιχείρηση2. Εντοπισμός του τμήματος της αγοράς που απευθύνεται το προϊόν εφαρμόζοντας την ανάλυση στα διάφορα τμήματα3. Εντοπισμός των δυνατοτήτων αλλά και των αδυναμιών της επιχείρησης στα διάφορα τμήματα της αγοράς4. Λήψη αποφάσεων σχετικά με την εφαρμογή ενός επιχειρηματικού πλάνου
25	Ανάλυση Κόστους/Οφέλους (Cost/Benefit Analysis)	Αξιολόγηση επενδύσεων και επιχειρηματικών έργων	<ol style="list-style-type: none">1. Υπολογισμός των οικονομικών μεγεθών που κρίνουν αν μια επένδυση αξίζει να γίνει ή όχι2. Λήψη αποφάσεων για την επένδυση
26	Προσομοίωση Monte carlo	Εκτίμηση των πιθανών τιμών που μπορούν να πάρουν τα μεγέθη ενός επιχειρηματικού έργου ή μιας διαδικασίας, η εποπτεία της διακύμανσης των τιμών αυτών, η διαπίστωση σφαλμάτων και ο υπολογισμός του αντίστοιχου ρίσκου εφαρμογής τους	<ol style="list-style-type: none">1. Προβλέψεις του αριθμού των πωλήσεων2. Προβλέψεις της διάρκειας ενός project3. Προβλέψεις των οικονομικών μεγεθών4. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με το ρίσκο επιτυχίας ενός έργου5. Εντοπισμός δυσλειτουργιών σε μια διαδικασία
27	Διάγραμμα Pareto	Καθορισμός των παραγόντων με την μεγαλύτερη επίδραση στο μέγεθος υπό παρακολούθηση όταν ο συντελεστής βαρύτητας είναι σταθερός	<ol style="list-style-type: none">1. Εντοπισμός των προϊόντων που εκτελούν τις περισσότερες πωλήσεις2. Εντοπισμός και ταξινόμηση των προϊόντων που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο μεικτό κέρδος3. Υλικά αποθήκης που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη κίνηση4. Εντοπισμός και ταξινόμηση των επενδυτικών ευκαιριών5. Εύρεση των CTQ χαρακτηριστικών
	27.1 Σταθμισμένο Διάγραμμα Pareto	Καθορισμός των παραγόντων με την μεγαλύτερη επίδραση στο υπό παρακολούθηση μέγεθος όταν έχουν διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας	



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
α/α	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
28	Stratification	Απεικόνιση ενός μεγέθους που είναι χωρισμένο σε υπο-ομάδες ώστε να διαφαινούνται όλα του τα χαρακτηριστικά	1. Ανάλυση δεδομένων 2. Απεικόνιση των υποομάδων ώστε να φαίνονται τα χαρακτηριστικά τους (π.χ. απεικόνιση και σύγκριση της παραγωγικότητας κάθε εργαζόμενου σε μια συγκεκριμένη διεργασία και όχι της συνολικής τους παραγωγικότητας)
29	Scorecards	Εποπτεία της σωστής και ομαλής λειτουργίας μιας διαδικασίας, ενός έργου, μιας επιχείρησης ή εάν τα αρμόδια στελέχη χρησιμοποιούν τα σωστά εργαλεία. Παρακολούθηση της πορείας της και των αποτελεσμάτων:	1. Οργάνωση, διοίκηση και εποπτεία της σωστής λειτουργίας μιας διαδικασίας, ενός έργου ή μιας επιχείρησης 2. Αξιολόγηση του προσωπικού και των μεθόδων ή εργαλείων που χρησιμοποιούν 3. Συνεχής παρακολούθηση μιας διαδικασίας και της εκπλήρωσης των στόχων που έχουν τεθεί
	29.1 Tool Scorecards	Των εργαλείων	
	29.2 Task Scorecards	Των διεργασιών	
	29.3 Review Scorecards	Της συνολικής διαδικασίας	
30	Brainstorming Technique	Παραγωγή και καταγραφή ιδεών σε περιορισμένο χρόνο	1. Εμφάνιση καινοτόμων ιδεών 2. Λήψη αποφάσεων όταν υπάρχει χρονικός περιορισμός 3. Επίλυση προβλημάτων κατά τη διάρκεια της συνάντησης, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα
31	Αξιολόγηση Προτάσεων του Pugh (Pugh Concept Evaluation)	Επιλογή της καταλληλότερης λύσης σε πάσης φύσεως προβλήματα, πάντα όμως σε σύγκριση με μια λύση που ορίζεται ως σημείο αναφοράς	1. Επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών προϊόντων, στην παραγωγή ή στη προώθηση των οποίων θα προχωρήσουμε, αφού αναλύσουμε το πως ανταπεξέρχονται στα διάφορα κριτήρια των καταναλωτών 2. Ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων αφού έχουν συγκριθεί με ένα προϊόν "πρότυπο"
32	Μέθοδος Ανάπτυξης Ποιότητας (Quality Function Deployment-QFD)	Μετατροπή των αναγκών των καταναλωτών σε προδιαγραφές προϊόντων και υπηρεσιών ύστερα από την ταξινόμησή τους σχετικά με την επίδραση που έχουν σε αυτά	1. Εμφάνιση των CTQ χαρακτηριστικών των προϊόντων ερευνώντας τις ανάγκες των καταναλωτών 2. Ταξινόμηση των CTQ χαρακτηριστικών και εύρεση του καλύτερου συνδυασμού τους ώστε να μεγιστοποιηθεί η ικανοποίηση των καταναλωτών 3. Σύγκριση των προϊόντων με άλλα των ανταγωνιστών
	32.1 Σπίτι Της Ποιότητας (House Of Quality-HOQ)		
33	Solution Selection Matrix	Ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων που προκύπτουν σε ένα πρόβλημα και η επιλογή της βέλτιστης λύσης	1. Επιλογή κατάλληλου εργαζόμενου για μια διαδικασία 2. Επιλογή κατάλληλου εργαλείου που θα χρησιμοποιηθεί 3. Γενικά, επιλογή της βέλτιστης λύσης και ταξινόμηση των εναλλακτικών
34	TRIZ	Επιλογή της καταλληλότερης λύσης σε πάσης φύσεως προβλήματα, προσεγγίζοντας το κάθε πρόβλημα με τα 40 εργαλεία της ανάλυσης TRIZ (Inventive Principles) τα οποία προσαρμόζονται στα εκάστοτε χαρακτηριστικά του προβλήματος	1. Διατύπωση και επίλυση προβλημάτων σχετικά με την παραγωγική διαδικασία, τα αποθέματα, το παραγόμενο προϊόν και την αξιοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού
35	Checklists	Συλλογή και οργάνωση των δεδομένων και επισήμανση των προγραμματισμένων δραστηριοτήτων αλλά και το ποιος θα τις εκτελέσει	1. Καθορισμός των αρμοδιοτήτων των εργαζομένων 2. Καθορισμός των ενεργειών που πρέπει να γίνουν είτε για την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας είτε για την ομαλή λειτουργία της επιχείρησης 3. Συλλογή δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δειγματοληπτικό έλεγχο 4. Οργάνωση της επιχείρησης και λήψη αποφάσεων



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
α/α	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
36	Data Collection Matrix	Συλλογή, οργάνωση και διαχείριση των δεδομένων	<ol style="list-style-type: none"> 1. Καθορισμός των αρμοδιοτήτων των εργαζομένων 2. Καθορισμός των ενεργειών που πρέπει να γίνουν είτε για την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας είτε για την ομαλή λειτουργία της επιχείρησης 3. Συλλογή δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δειγματοληπτικό έλεγχο και έλεγχος της εγγυήτητάς τους 4. Εντοπισμός των CTQ χαρακτηριστικών 5. Οργάνωση της επιχείρησης και λήψη αποφάσεων
37	GOSPA (Goals, Objectives, Strategies, Plans, and Actions)	Ιεραρχική απεικόνιση των στόχων και του τρόπου που θα επιτευχθούν ώστε να δημιουργηθεί μια μεθοδολογία που είναι σύμφωνη με την αρχική στρατηγική που έχει τεθεί	<ol style="list-style-type: none"> 1. Οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας με την ιεράρχηση των στόχων 2. Καθορισμός της στρατηγικής της επιχείρησης 3. Έλεγχος της συμφωνίας των στόχων της επιχείρησης και των τρόπων που θα επιτευχθούν με τη γενική στρατηγική της επιχείρησης
38	Matrix Diagrams	Απεικόνιση της συσχέτισης δύο ή και περισσότερων μεταβλητών, παραγόντων ή ομάδων και η ταξινόμηση και διαχείριση των δεδομένων καθώς και η λήψη αποφάσεων	<ol style="list-style-type: none"> 1. Συλλογή και οργάνωση των δεδομένων 2. Εύρεση της συσχέτισης μεταξύ δύο οντοτήτων (προβλημάτων-μέρη της επιχείρησης που εμφανίστηκαν, προβλημάτων-ομάδων που θα τα αντιμετωπίσουν, αιτιών-αποτελεσμάτων, στόχοι-τρόποι που θα επιτευχθούν κ.λ.π.) 3. Λήψη αποφάσεων για την παραγωγική διαδικασία, το marketing, τη στρατηγική της επιχείρησης, αλλαγή του τρόπου διαχείρισης αποθεμάτων κ.λ.π.
39	Tree Diagram	Ιεράρχηση ενός προβλήματος και η εμφάνιση των παραγόντων που επιδρούν σε αυτό αναλύοντας τα επιμέρους υποπροβλήματα	<ol style="list-style-type: none"> 1. Επίλυση ενός προβλήματος αναλύοντας τα επιμέρους προβλήματα (π.χ. Για την επίτευξη της γενικής στρατηγικής της επιχείρησης πρέπει να αναλυθούν οι επιμέρους στόχοι των τμημάτων όπως της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, του τμήματος πωλήσεων, του οικονομικού τμήματος κ.λ.π.) 2. Εντοπισμός στοιχείων που είναι δύσκολο να βρεθούν αντιμετωπίζοντας την επιχείρηση σαν μια οντότητα (π.χ. τα CTQ χαρακτηριστικά των προϊόντων, τους τομείς που ενδείκνυται η μείωση των νεκρών χρόνων των μηχανών και των εργαζομένων κ.λ.π.)
40	Cause-and-Effect Prioritization Matrix	Ταξινόμηση των διαδικασιών σύμφωνα με την επίδρασή τους στο τελικό προϊόν πάντα με κριτήριο την ικανοποίηση των καταναλωτών	<ol style="list-style-type: none"> 1. Εμφάνιση των CTQ διεργασιών και ταξινόμηση τους 2. Επιλογή της βέλτιστης λύσης για το σχεδιασμό του προϊόντος 3. Τροποποίηση και οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας σύμφωνα με τις βέλτιστες διεργασίες
	40.1 Διάγραμμα Αιτιών/Αποτελεσμάτων /Διάγραμμα Fishbone		
41	Prioritization Matrices	Ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων και επιλογή της βέλτιστης σε ένα σημαντικό πρόβλημα. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα και τη σημασία του προβλήματος χωρίζεται σε:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Επιλογή κατάλληλου εργαζόμενου για μια διαδικασία 2. Επιλογή κατάλληλου εργαλείου που θα χρησιμοποιηθεί 3. Επιλογή του προϊόντος που θα εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες των καταναλωτών 3. Γενικά, επιλογή της βέλτιστης λύσης και ταξινόμηση των εναλλακτικών
	41.1 Full Analytical Criteria Method		
	41.2 Consensus Criteria Method		
	41.3 Combination I.D./Matrix Method		
42	Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας (Capability Analysis/Process Capability analysis)	Έλεγχος της σταθερότητας μιας διαδικασίας αλλά και του αν μπορεί να καλύψει τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί από τους καταναλωτές	<ol style="list-style-type: none"> 1. Έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας 2. Αξιολόγηση της επίδοσης μιας διαδικασίας 3. Σύγκριση και επιλογή μεταξύ δύο διαδικασιών
	42.1 Rolled Throughput Yield		



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
α/α	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
43	Control Charts	Εποπτεία μιας διαδικασίας. Ανάλογα με τον τύπο του μετρήσιμου μεγέθους χωρίζονται σε:	1. Έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας 2. Εμφάνιση σημείων εκτός των αποδεκτών ορίων και λήψη αποφάσεων σχετικά με την ύπαρξη τυχαίου ή συστηματικού σφάλματος 3. Απεικόνιση δειγματοληπτικού ελέγχου ποιότητας 4. Καθορισμός των Control Limits (Voice Of the Process) και των Specification Limits (Voice Of the Customer)
	43.1 Διαγράμματα Ελέγχου X-s και IX-MR	Εποπτεία της σταθερότητας μιας διαδικασίας	
	43.2 Διαγράμματα Ελέγχου np,p,c,u	Εποπτεία του αριθμού των ελαττωμάτων ή ελαττωματικών και της σταθερότητας μιας διαδικασίας	
44	Χάρτης Διαδικασίας /Process Map	Εποπτεία μιας διαδικασίας και ανάλυση των επιμέρους τμημάτων της	1. Οργάνωση των διαδικασιών 2. Σύγκριση της συμφωνίας της πορείας μιας διαδικασίας με τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης 3. Εμφάνιση των σημείων μιας διαδικασίας που χρειάζονται βελτίωση 4. Περιγραφή των πόρων που απαιτούνται για κάθε διαδικασία καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές 5. Απεικόνιση όχι μόνο της πραγματικής διαδικασίας αλλά και προσομοίωση της βέλτιστης
	44.1 Διάγραμμα Ροής /Flowchart		
45	Value Stream Analysis/Value Stream Mapping	Προσδιορισμός των επιμέρους βημάτων ή δραστηριοτήτων μιας διαδικασίας που προσθέτουν αξία στο προϊόν ή εκείνων που δεν προσθέτουν αξία και πρέπει να ελαχιστοποιηθούν	1. Αύξηση του αριθμού των διεργασιών που προσθέτουν αξία στο προϊόν ή της διάρκειας τους αν αυτή είναι ανάλογη με την προστιθέμενη αξία που παρέχουν 2. Μείωση της διάρκειας των διεργασιών που έχουν ουδέτερη σχέση με την προστιθέμενη αξία 3. Μείωση του αριθμού των διεργασιών που αφαιρούν αξία από το προϊόν ή της διάρκειας τους αν αυτή είναι ανάλογη με την αξία που χάνει το προϊόν 4. Οργάνωση των διαδικασιών 5. Εμφάνιση των σημείων μιας διαδικασίας που χρειάζονται βελτίωση
46	Activity Network Diagram	Εύρεση του πιο σύντομου τρόπου εκτέλεσης μιας σειράς δραστηριοτήτων για την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας ή ενός έργου	1. Αναδιοργάνωση των διαδικασιών της επιχείρησης 2. Σύγκριση της συμφωνίας της χρονικής πορείας μιας διαδικασίας με τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης 3. Εύρεση του "κρίσιμου δρόμου" για τη διεκπεραίωση ενός έργου καθώς και των εναλλακτικών 4. Ελάττωση του συνολικού χρόνου περάτωσης ενός έργου μειώνοντας το χρόνο διεκπεραίωσης των επιμέρους δραστηριοτήτων του "κρίσιμου" δρόμου 5. Εύρεση των δραστηριοτήτων εκείνων που τυχόν αλλαγές στο χρόνο διεκπεραίωσής τους δεν επηρεάζουν τον "κρίσιμο δρόμο"
	46.1 Arrow Diagrams		
	46.2 Critical Path Method		
47	Gantt Chart	Υπολογισμός της διάρκειας εκτέλεσης ενός έργου και η συνεχής εποπτεία της πορείας του στο χρόνο	1. Σύγκριση της συμφωνίας της χρονικής πορείας μιας διαδικασίας με τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης 2. Εποπτεία της πορείας μιας διαδικασίας ή ενός έργου καθώς και των δραστηριοτήτων που εκτελούνται παράλληλα 3. Οργάνωση των δραστηριοτήτων μιας διαδικασίας
48	PERT (Program Evaluation and Review Technique Chart)	Εύρεση του πιο σύντομου τρόπου εκτέλεσης μιας σειράς δραστηριοτήτων για την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας ή ενός έργου, η εκτίμηση του χρόνου διεκπεραίωσης καθώς και ο υπολογισμός της πιθανότητας το έργο να έχει εκτελεστεί σε ένα δοσμένο χρονικό διάστημα	1. Αναδιοργάνωση των διαδικασιών της επιχείρησης 2. Σύγκριση της συμφωνίας της χρονικής πορείας μιας διαδικασίας με τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης 3. Εύρεση του "κρίσιμου δρόμου" για τη διεκπεραίωση ενός έργου καθώς και των εναλλακτικών 4. Ελάττωση του συνολικού χρόνου περάτωσης ενός έργου μειώνοντας το χρόνο διεκπεραίωσης των επιμέρους δραστηριοτήτων του "κρίσιμου δρόμου" 5. Εύρεση των δραστηριοτήτων εκείνων που τυχόν αλλαγές στο χρόνο διεκπεραίωσής τους δεν επηρεάζουν τον "κρίσιμο δρόμο" 6. Υπολογισμός της πιθανότητας το έργο να εκτελεστεί μέσα στα χρονικά όρια που έχουν τεθεί



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
α/α	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
49	Process Decision Program Charts	Ιεράρχηση των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την επίτευξη ενός έργου ή μιας διαδικασίας σε διαφορετικά επίπεδα κρισιμότητας, εύρεση τυχόν δυσλειτουργιών σε αυτές καθώς και τρόπους αντιμετώπισής τους	<ol style="list-style-type: none">1. Οργάνωση των διαδικασιών2. Μελέτη της περίπτωσης αποτυχίας μιας δραστηριότητας καθώς και της αιτίας που θα την προκαλέσει3. Εύρεση τρόπων καταπολέμησης της πιθανότητας αποτυχίας μιας δραστηριότητας4. Εμφάνιση των σημείων μιας διαδικασίας που χρειάζονται βελτίωση
50	RACI Matrix (Responsible, Accountable, Consulted, Informed)	Προσδιορισμός των αρμοδιοτήτων των στελεχών μιας ομάδας έργου καθώς και το ποιο τμήμα της επιχείρησης είναι υπεύθυνο για την κάθε επιμέρους δραστηριότητα μιας διαδικασίας	<ol style="list-style-type: none">1. Οργάνωση του προσωπικού μιας επιχείρησης ή μιας ομάδας έργου2. Προγραμματισμός της εκτέλεσης ενός έργου3. Προσδιορισμός των υπευθύνων για κάθε διαδικασία4. Εμφάνιση των αιτιών των προβλημάτων στην οργάνωση και την εκτέλεση των διαδικασιών5. Καταπολέμηση των αιτιών αυτών με την αναδιάταξη του προσωπικού
51	SIPOC (Supplier-Input-Process-Output-Customer)	Περιγραφή και ανάλυση ενός έργου ή μιας διαδικασίας	<ol style="list-style-type: none">1. Προσδιορισμός των προμηθευτών, των εσόδων, των διαδικασιών, των εξόδων και των πελατών που εμπλέκονται σε ένα έργο2. Σύγκριση της συμφωνίας της οργάνωσης μιας διαδικασίας ή ενός έργου με τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης
52	Project Charter	Προσδιορισμός και καταγραφή των στόχων της επιχείρησης, μιας ομάδας έργου ή μιας διαδικασίας αλλά και των προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν	<ol style="list-style-type: none">1. Σύγκριση της συμφωνίας της οργάνωσης μιας διαδικασίας ή ενός έργου με τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης2. Εποπτεία της πορείας ενός έργου από τους ενδιαφερόμενους (stakeholders)3. Προσδιορισμός των υπευθύνων για κάθε διαδικασία4. Οργάνωση και προγραμματισμός ενός έργου
	52.1 SMART Problem and Goal Statement for a Project Charter		
53	Stakeholder Analysis	Προσδιορισμός των μεμονωμένων ανθρώπων ή των ομάδων που επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από ένα έργο καθώς και η εφαρμογή διορθωτικών κινήσεων με σκοπό τη βελτίωση των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους	<ol style="list-style-type: none">1. Προσδιορισμός των ενδιαφερομένων (stakeholders)2. Βελτίωση των σχέσεων μεταξύ της επιχείρησης και των «stakeholders»3. Εξασφάλιση με τον τρόπο αυτό της στήριξής τους4. Αντιμετώπιση τυχόν απογοητευμένων «stakeholders» με την εφαρμογή διορθωτικών μέτρων5. Αξιοποίηση των VOB δεδομένων6. Διασφάλιση της ορθής λειτουργίας της επιχείρησης και της στήριξης του έργου
54	Work Breakdown Structure (WBS)	Ιεραρχική δόμηση ενός έργου ή μιας διαδικασίας, προσδιορισμός των επιμέρους δραστηριοτήτων αλλά και του τρόπου που θα εκτελεστούν	<ol style="list-style-type: none">1. Οργάνωση ενός έργου ή μιας διαδικασίας2. Προσδιορισμός των επιμέρους δραστηριοτήτων αλλά και των δραστηριοτήτων «κλειδιά»3. Αξιολόγηση του χρόνου διεκπεραίωσης της κάθε δραστηριότητας και τελικά του συνολικού έργου4. Κατασκευή ενός αρχικού πλάνου του έργου που μελετάμε και προσδιορισμός των στόχων
55	Εκτίμηση Αποτυχιών και Ανάλυση Αποτελεσμάτων (Failure Modes and Effects Analysis-FMEA)	Αναγνώριση των προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν στη διάρκεια ενός έργου ή μιας διαδικασίας, ανάλυση των επιπτώσεων τους στο έργο ή στην επιχείρηση, υπολογισμός της κρισιμότητας του κάθε προβλήματος και ταξινόμησή τους καθώς και προσδιορισμός της μεθόδου αντιμετώπισής τους	<ol style="list-style-type: none">1. Προσδιορισμός των αιτιών που οδηγούν στην εμφάνιση του προβλήματος2. Προσδιορισμός των διορθωτικών ενεργειών που πρέπει να γίνουν αλλά και το ποιος θα τις εκτελέσει3. Ταξινόμηση των προβλημάτων ανάλογα με τη σημαντικότητά τους αφού υπολογιστεί ο δείκτης RPN4. Προσδιορισμός των συνεπειών που μπορεί να προκύψουν από το συγκεκριμένο πρόβλημα και της έκτασής τους5. Παροχή ενός ολοκληρωμένου Control Plan



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
a/a	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
56	Fault Tree Analysis (FTA)	Απεικόνιση της top-down ανάλυσης ενός προβλήματος, εμφάνιση των παραγόντων που επιδρούν σε αυτό αναλύοντας τα επιμέρους υποπροβλήματα και η εφαρμογή διορθωτικών κινήσεων για την καταπολέμησή τους	<ol style="list-style-type: none">1. Προσδιορισμός των αιτιών που οδηγούν στην εμφάνιση του προβλήματος2. Προσδιορισμός των διορθωτικών ενεργειών που πρέπει να γίνουν3. Προσδιορισμός των σχέσεων μεταξύ των παραγόντων που επιδρούν στο πρόβλημα4. Προσδιορισμός των συνεπειών που μπορεί να προκύψουν από το συγκεκριμένο πρόβλημα
57	Poka-Yoke	Αποφυγή σφαλμάτων ή αντιμετώπισή τους αν εμφανιστούν	<ol style="list-style-type: none">1. Πρόληψη κατά της εμφάνισης σφαλμάτων σε μια διαδικασία2. Διαχείριση των σφαλμάτων που παρατηρήθηκαν και εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών3. Άμεση προειδοποίηση των εργαζομένων ότι παρουσιάστηκε σφάλμα τη στιγμή που συμβαίνει4. Αναδιοργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας για την αποφυγή σφαλμάτων
58	Risk Mitigation Plan	Αναγνώριση των ρίσκων που παρουσιάζονται στη διάρκεια ενός έργου ή μιας διαδικασίας και ποσοτικοποίηση τους, επιλογή της μεθόδου ή του εργαλείου που θα χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπισή τους και εποπτεία των αποτελεσμάτων για την αποφυγή επανεμφάνισής τους	<ol style="list-style-type: none">1. Προσδιορισμός των προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν σε μια διαδικασία καθώς και τα αποτελέσματά τους2. Υπολογισμός των αντίστοιχων ρίσκων και ταξινόμησή τους3. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την αντιμετώπισή τους4. Πρόληψη κατά της εμφάνισης σφαλμάτων σε μια διαδικασία5. Αναδιοργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας για την μείωση των αντίστοιχων ρίσκων
	58.1 Risk Identification		
	58.2 Risk Quantification		
	58.3 Risk Response		
	58.4 Risk Control		
59	Ανάλυση Διακύμανσης (Analysis of Variance-ANOVA)	Αναζήτηση της συσχέτισης μεταξύ δύο δειγμάτων ή μεταβλητών μέσω του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης	<ol style="list-style-type: none">1. Προσδιορισμός των διαφορών μεταξύ δύο ή περισσότερων δειγμάτων2. Έλεγχος της επίδρασης μιας βελτίωσης σε ένα προϊόν3. Στατιστικός έλεγχος υποθέσεων, συνθηκών δηλαδή που ερευνούμε αν ικανοποιούνται4. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή5. Λήψη αποφάσεων σχετικά με την επένδυση σε ένα βελτιωμένο προϊόν αφού έχουμε αναλύσει τα δείγματα από αυτό και το παλαιότερο
	59.1 One-Way Anova		
	59.2 Two-Way Anova without Replicates		
	59.3 Two-Way Anova with Replicates		
60	Design Of Experiment (DOE)	Προσδιορισμός των μεταβλητών ή του κατάλληλου συνδυασμού τους, που συμβάλλει σε μεγαλύτερο βαθμό στην επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος	<ol style="list-style-type: none">1. Εμφάνιση και ταξινόμηση των κρίσιμων παραγόντων ενός προβλήματος που πρέπει να μελετηθούν2. Εμφάνιση των παραγόντων που δεν επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το αποτέλεσμα και μπορούν να αγνοηθούν3. Βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας4. Προσδιορισμός του βέλτιστου συνδυασμού των τιμών των κρίσιμων παραγόντων για την επίτευξη του αποτελέσματος5. Λήψη αποφάσεων σχετικά με την εφαρμογή των αλλαγών στις τιμές των παραγόντων
61	5-Whys	Προσδιορισμός των αιτιών ενός προβλήματος	<ol style="list-style-type: none">1. Αναζήτηση των παραγόντων που συνέβαλαν στην εμφάνιση ενός γεγονότος2. Λήψη αποφάσεων σχετικά με την αντιμετώπιση ενός προβλήματος3. Εμφάνιση της συσχέτισης μεταξύ του προβλήματος και των πιθανών αιτιών εμφάνισής του



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
α/α	Όνομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
62	Hypothesis Testing	Αναζήτηση της συσχέτισης δύο μεταβλητών μέσω του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων και η επιλογή διορθωτικών κινήσεων αν κάποια μεταβλητή βρίσκεται εκτός των αποδεκτών ορίων και η εξαγωγή συμπερασμάτων	<ol style="list-style-type: none">1. Στατιστικός έλεγχος υποθέσεων, συνθηκών δηλαδή που αναζητούμε αν ικανοποιούνται (π.χ. είναι ο μέσος όρος του δείγματος ίδιος με αυτόν ολόκληρου του πληθυσμού;)2. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή3. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές4. Αναζήτηση συσχέτισης ή στατιστικών διαφορών μεταξύ δύο δειγμάτων5. Αναζήτηση του αν η αιτία της διαφορετικότητας είναι τυχαία ή αν υπάρχει στατιστικό σφάλμα στη διαδικασία6. Λήψη αποφάσεων σχετικά με την επένδυση σε ένα βελτιωμένο προϊόν αφού έχουμε αναλύσει τα δείγματα από αυτό και το παλαιότερο
63	Interrelationship Diagram	Εύρεση των σχέσεων που συνδέουν τις διαδικασίες μεταξύ τους και επιλογή των κρίσιμων διαδικασιών με τις περισσότερες συσχετίσεις	<ol style="list-style-type: none">1. Προσδιορισμός των διαδικασιών που απαιτούν τη μεγαλύτερη προσοχή2. Τροποποίηση και οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας σύμφωνα με τις βέλτιστες διεργασίες3. Προσδιορισμός των αποτελεσμάτων κάθε διαδικασίας4. Προσδιορισμός των προαπαιτούμενων διαδικασιών που είναι απαραίτητες για την λειτουργία της κάθε διαδικασίας
64	Regression Analysis	Προσδιορισμός της εξίσωσης των ανεξάρτητων μεταβλητών (παραγόντων που επηρεάζουν την τιμή του μεγέθους που μελετάμε) που προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό την πορεία των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής (το μέγεθος το οποίο μελετάμε και προβλέπουμε την πορεία του)	<ol style="list-style-type: none">1. Εύρεση της συσχέτισης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών2. Εύρεση των κρίσιμων παραγόντων του προβλήματος3. Έλεγχος της κανονικότητας των δειγμάτων4. Εκτίμηση των τιμών των εξαρτημένων μεταβλητών σε ένα πρόβλημα5. Εύρεση της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών που δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα6. Εφαρμογή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης αυτής για την καλύτερη οργάνωση της επιχείρησης και την μεγιστοποίηση του κέρδους
	64.1 Simple Linear Regression		
	64.2 Multiple Regression		
65	Y=f(x)	Προσδιορισμός των εξαρτημένων και των ανεξάρτητων μεταβλητών ενός προβλήματος	<ol style="list-style-type: none">1. Αντιστοίχιση ενός στόχου της επιχείρησης σε μια εξαρτημένη μεταβλητή και εύρεση των παραγόντων που επιδρούν είτε αρνητικά είτε θετικά στην επίτευξή του (ανεξάρτητες μεταβλητές)2. Ανάλυση ενός σύνθετου προβλήματος σε μια γενική εξαρτημένη μεταβλητή της οποίας η τιμή επηρεάζεται από κάποιες ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες γίνονται εξαρτημένες όταν το σύνθετο πρόβλημα αναλυθεί στα επιμέρους υποπροβλήματα
66	Δειγματοληψία /Sampling	Υπολογισμός του απαραίτητου μεγέθους ενός δείγματος από ένα πληθυσμό για κάθε δειγματοληπτική διαδικασία	<ol style="list-style-type: none">1. Δειγματοληπτικός έλεγχος στην παραγωγή2. Λήψη αποφάσεων ανάλογα με τον αν τα υπολογιζόμενα μεγέθη βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια και αν το διάστημα εμπιστοσύνης κρίνεται ασφαλές3. Υπολογισμός του μεγέθους ενός δείγματος4. Εύρεση της καταλληλότερης μεθόδου δειγματοληψίας για κάθε διαδικασία



Εργαλεία Ανάλυσης Six Sigma			
α/α	Ονομασία:	Σκοπός που επιτελεί:	Ενδεικτικές Χρήσεις:
67	Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης) (Measurement System Analysis)	Εξασφάλιση της σταθερότητας μιας διαδικασίας ελέγχοντας την αξιοπιστία του μετρητικού συστήματος και υπολογίζοντας τη μεταβλητότητα των τιμών που προκύπτουν	1. Υπολογισμός την συνεισφοράς της τυπικής απόκλισης ή της διακύμανσης του μετρητικού συστήματος, στην συνολική τυπική απόκλιση ή διακύμανση της διαδικασίας 2. Εντοπισμός λαθών στη διαδικασία ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας 3. Αποφυγή εξαγωγής λανθασμένων συμπερασμάτων για την αιτία εμφάνισης τυχόν μεταβλητότητας στις τιμές που προκύπτουν 4. Χρήση του εργαλείου πριν τη διεξαγωγή οποιασδήποτε μέτρησης
	67.1 Gage R&R		
68	Affinity Diagram	Οργάνωση και κατηγοριοποίηση δεδομένων	1. Εύρεση των κριτηρίων των καταναλωτών για την επιλογή ενός προϊόντος 2. Συλλογή και αξιοποίηση των VOC δεδομένων 3. Εύρεση συσχετίσεων μεταξύ των δεδομένων 4. Σχεδιασμός και προώθηση προϊόντων
69	Conjoint Analysis	Εύρεση του κατάλληλου συνδυασμού των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, που θα συμβάλει στην μεγιστοποίηση της ικανοποίησης των καταναλωτών	1. Εύρεση των CTQ χαρακτηριστικών αλλά και του κατάλληλου συνδυασμού τους 2. Σχεδιασμός και προώθηση προϊόντων 3. Εύρεση των κριτηρίων των καταναλωτών για την επιλογή ενός προϊόντος
70	Critical to Quality Matrix	Μετατροπή των προτιμήσεων και των αναγκών των καταναλωτών στα CTQ χαρακτηριστικά των προϊόντων	1. Εύρεση των CTQ χαρακτηριστικών 2. Εύρεση της μονάδας μέτρησης των χαρακτηριστικών αυτών
71	KJ Analysis	Λεπτομερής οργάνωση και κατηγοριοποίηση δεδομένων	1. Εύρεση των κριτηρίων των καταναλωτών για την επιλογή ενός προϊόντος 2. Συλλογή και αξιοποίηση των VOC δεδομένων 3. Εύρεση συσχετίσεων μεταξύ των δεδομένων 4. Σχεδιασμός και προώθηση προϊόντων
72	Voice Of Customer-Voice Of Business Gathering Techniques	Αντληση πληροφοριών και συλλογή δεδομένων σχετικά με τις προτιμήσεις και τις ανάγκες των καταναλωτών αλλά και τους στόχους και τις ανάγκες της επιχείρησης	1. Συλλογή των VOC δεδομένων 2. Συλλογή των VOB δεδομένων 3. Αναζήτηση της συσχέτισης μεταξύ τους και προσπάθεια εξισορρόπησής τους

Κεφάλαιο 3^ο: Ανάπτυξη Επιλεγμένων Στατιστικών Εργαλείων και Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα εργαλεία της μεθοδολογίας Six Sigma και διατυπώνονται οι οδηγίες για τον τρόπο εφαρμογής τους. Αρχικά, στις ενότητες 3.1, 3.2, 3.3, αναλύονται οι τρεις κατηγορίες εργαλείων που αποτελούν τη βάση της ανάλυσης Six Sigma, ανεξάρτητα από το έργο που θα επιλεγεί. Η πρώτη κατηγορία, περιλαμβάνει όλα τα είδη διαγραμμάτων που μπορεί να συναντήσει κανείς στη διάρκεια της υλοποίησης της στρατηγικής, ενώ η δεύτερη και η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνουν το σύνολο των στατιστικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή των πειραμάτων, αλλά και τη συλλογή των δεδομένων που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή των υπολοίπων εργαλείων της μεθοδολογίας Six Sigma.

Στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου, γίνεται η επιλογή και η ανάπτυξη των εργαλείων της λίστας της ενότητας 2.4, που θεωρούνται πιο αποτελεσματικά, όσον αφορά την εφαρμογή τους σε μια μικρομεσαία επιχείρηση. Για τα προαναφερθέντα εργαλεία, παρουσιάζεται ο αναλυτικός τρόπος εφαρμογής τους μέσω μιας σειράς βημάτων και επίσης παρατίθενται οι αντίστοιχες φόρμες που πρέπει να συμπληρωθούν. Πρέπει να σημειωθεί, ότι ένα ακόμη βασικό κριτήριο επιλογής των εργαλείων ήταν η κάλυψη και των πέντε φάσεων της μεθοδολογίας DMAIC, καθώς και όλων των θεματικών ενοτήτων της μεθοδολογίας Six Sigma (Ανάλυση Ανταγωνιστικής Θέσης, Διοίκηση Έργων, Αξιολόγηση Διαδικασιών κλπ).

3.1 Εργαλεία Απεικόνισης Δεδομένων

Η πρώτη κατηγορία εργαλείων που θα μελετηθεί είναι αυτή της απεικόνισης των δεδομένων. Καμία διαδικασία της ανάλυσης Six Sigma δεν μπορεί να ξεκινήσει αν πρώτα δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα αφενός, του τί θα αποτελέσει το αντικείμενο της επεξεργασίας και αφετέρου του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα CTQ (Critical To Quality) χαρακτηριστικά.

		Είδος Δεδομένων			
		Ένα Δείγμα	Δύο Δείγματα	Ζεύγος Δειγμάτων	Περισσότερα από Δύο Δείγματα
Εργαλεία Απεικόνισης Δεδομένων	Dot Graph	Scatter	Isogram	Multi-vari	
	Boxplot	Dot graph	Tukey mean-difference	Scatter	
	Histogram	Boxplot		Dot graph	
	Stem-and-Leaf			Boxplot	

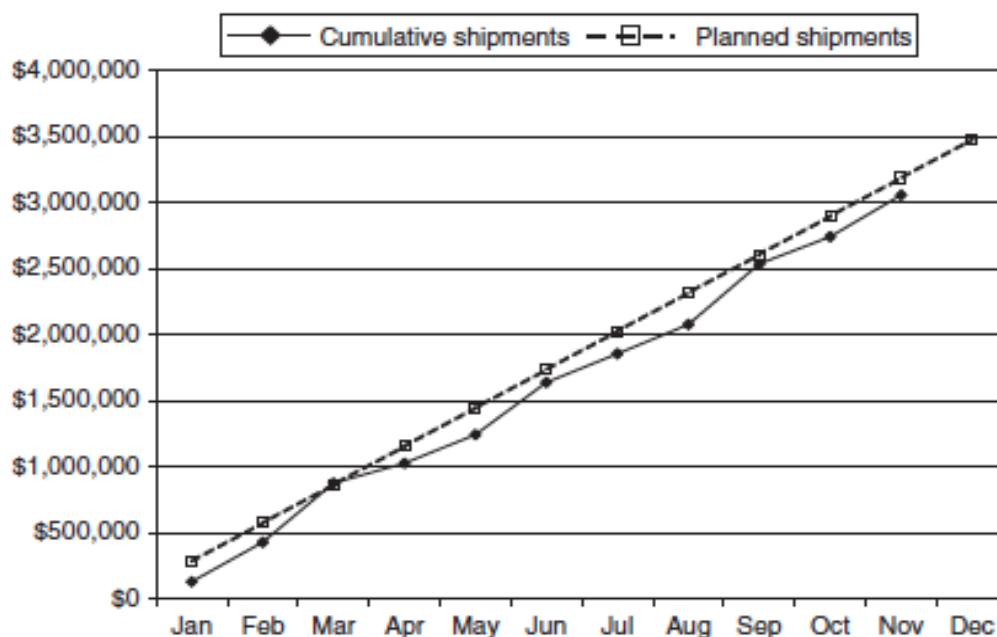
Πίνακας 3.1: Κατηγοριοποίηση Εργαλείων Απεικόνισης Δεδομένων

Στον Πίνακα 3.1, εμφανίζονται τα Εργαλεία Απεικόνισης Δεδομένων τα οποία κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον αριθμό των δειγμάτων που μπορούν να επεξεργαστούν. Από τον πίνακα έχουν αποκλειστεί τα εργαλεία Διάγραμμα Χρόνου (Run Chart) και Διάγραμμα Ελέγχου ΙΧ-MR, καθώς δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με αυτό το κριτήριο.

3.1.1 Διάγραμμα Χρόνου (Run Chart)

Πρόκειται για το γνωστό διάγραμμα συναρτήσεως του χρόνου, δηλαδή το διάγραμμα που περιγράφει την πορεία ενός μεγέθους στο χρονικό διάστημα που μελετάται. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται ο χρόνος t εκφρασμένος σε ημέρες, μήνες ή έτη και στον κάθετο άξονα το μέγεθος του οποίου η εξέλιξη παρακολουθείται.

Στο Σχήμα 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα Διάγραμμα Χρόνου που μας δείχνει τη σχέση μεταξύ των σωρευτικών και των προγραμματιζόμενων αποστολών μιας επιχείρησης στη διάρκεια ενός έτους.

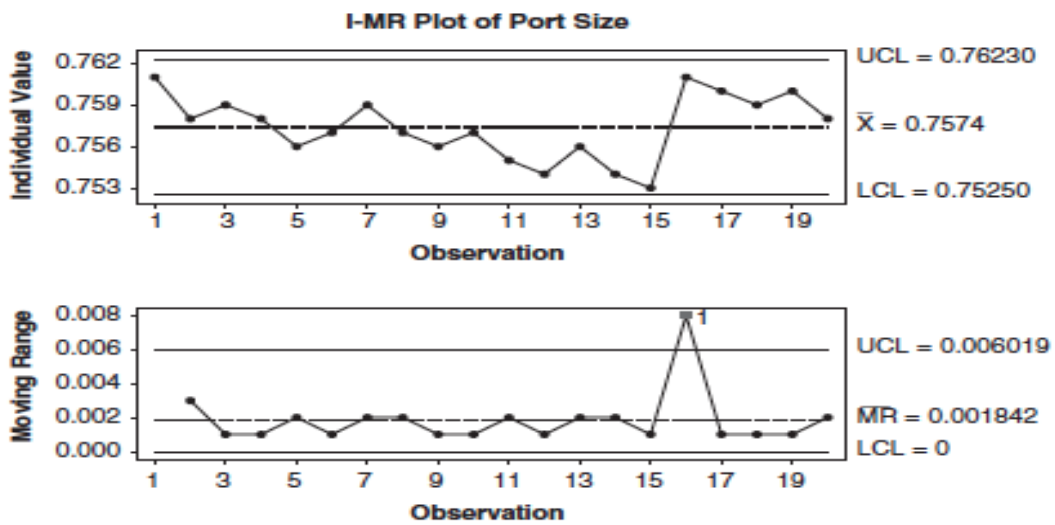


Σχήμα 3.1: Διάγραμμα Χρόνου

Προφανώς όσο πιο λιτό είναι ένα Διάγραμμα Χρόνου τόσο πιο φιλικό γίνεται για το χρήστη και επίσης μειώνονται οι πιθανότητες παρερμηνεύσεώς του. Μεταβολή του λόγου πλάτους-ύψους (aspect ratio) του διαγράμματος μπορεί να αποκρύψει ή να εμφανίσει ορισμένα δεδομένα.

3.1.2 Διάγραμμα Διασποράς (Scatter Plot)

Το δεύτερο εργαλείο που μελετάται είναι το Διάγραμμα Διασποράς ή Διάγραμμα Σημείων, που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε ζεύγος μεταβλητών. Σε κάθε έναν από τους δύο άξονες τοποθετείται μια μεταβλητή και σημειώνονται με κουκίδες οι διάφοροι συνδυασμοί.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα Ελέγχου IX-MR

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Individual X Chart:
 1. Τοποθετούνται με τη σειρά τα σημεία X_i στο διάγραμμα για $i=1$ μέχρι n
 2. Υπολογίζεται το $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$
 3. Υπολογίζεται το $UCL_X = \bar{X} + 2.66 \times \overline{MR}$
 4. Υπολογίζεται το $LCL_X = \bar{X} - 2.66 \times \overline{MR}$
- Moving Range Chart
 1. Τοποθετούνται με τη σειρά τα σημεία $MR_i = |X_i - X_{i-1}|$ για $i=2$ μέχρι n
 2. Υπολογίζεται το $\overline{MR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n MR_i$
 3. Υπολογίζεται το $UCL_{MR} = 3.267 \times \overline{MR}$
 4. Υπολογίζεται το $LCL_{MR} = 0$

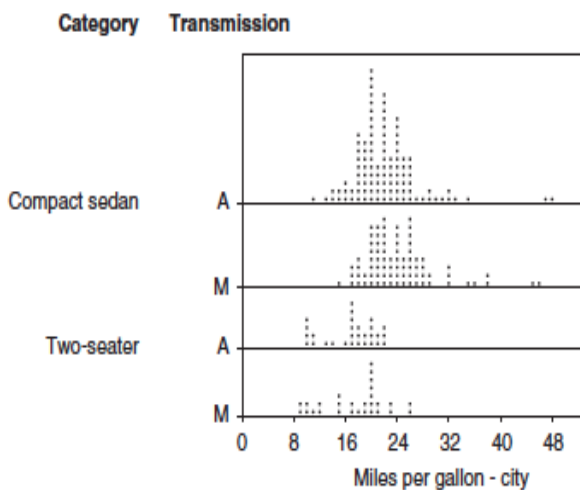
3.1.4 Dot Graph

Το Dot Graph είναι η πιο απλή μέθοδος απεικόνισης της διασποράς της συσχέτισης δύο μεγεθών. Έχοντας τοποθετήσει κάθε μια από τις μεταβλητές στους άξονες x και y αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη κλίμακα μπορούμε να αναπαραστήσουμε τα δεδομένα με κουκίδες. Υπάρχουν δύο είδη του συγκεκριμένου εργαλείου:

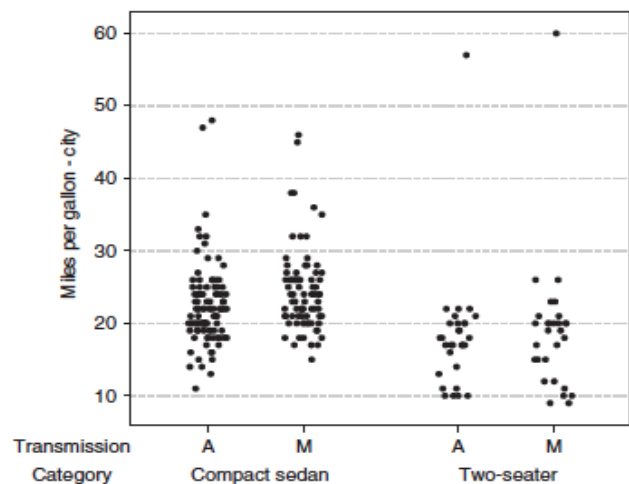
- Το Dotplot, κατά το οποίο ομαδοποιούνται τα δεδομένα σε ίσες κλάσεις (bins) και απεικονίζεται κάθε κλάση με μια στήλη από κουκίδες
- Το Individual Value Plot κατά το οποίο απεικονίζεται με κουκίδες κάθε μια τιμή του άξονα ξεχωριστά.

Τονίζεται πως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο πως θα ομαδοποιηθούν οι κλάσεις, καθώς εύκολα μπορούν τα δεδομένα να παρερμηνευτούν (ειδικά κοντά στο μηδέν). Όταν κάποιος πρέπει να επιλέξει ποιο από τα δύο είδη του Dot Graph θα χρησιμοποιήσει συνιστάται να σχεδιάσει και τα δύο και έπειτα να χρησιμοποιήσει εκείνο που υπογραμμίζει τα σημαντικά για εκείνον CTQ χαρακτηριστικά.

Ακολουθούν ένα Dotplot (Σχήμα 3.4) και ένα Individual Value plot (Σχήμα 3.5) για το παράδειγμα με την κατανάλωση των αυτοκινήτων μόνο που τώρα υπάρχουν δύο τύποι αυτοκινήτων (Compact Sedan και Two-Seater) και δύο είδη ταχυτήτων (Automatic και Manual).



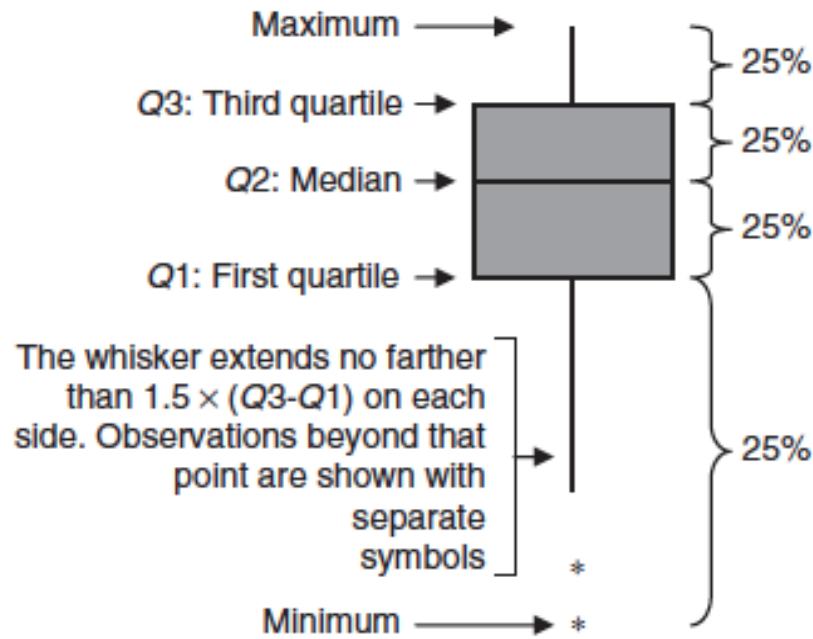
Σχήμα 3.4: Dotplot



Σχήμα 3.5: Individual Value Plot

3.1.5 Box Plot

Το επόμενο εργαλείο που θα μελετηθεί είναι το εργαλείο απεικόνισης Boxplot. Σύμφωνα με το εργαλείο αυτό τα δεδομένα περιγράφονται μέσω πέντε αριθμών (Minimum, First Quartile, Median, Third Quartile, Maximum) που χωρίζουν το διάγραμμα σε τέσσερα μέρη και το καθένα περιέχει τον ίδιο αριθμό παρατηρήσεων (25% του συνόλου των παρατηρήσεων). Αν κάποια σημεία απέχουν μεγαλύτερη από $1.5 \times (Q_3 - Q_1)$ απόσταση από το Minimum ή το Maximum, συμβολίζονται στο διάγραμμα με αστερίσκο. Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου Boxplot παρουσιάζεται παρακάτω στο Σχήμα 3.6:



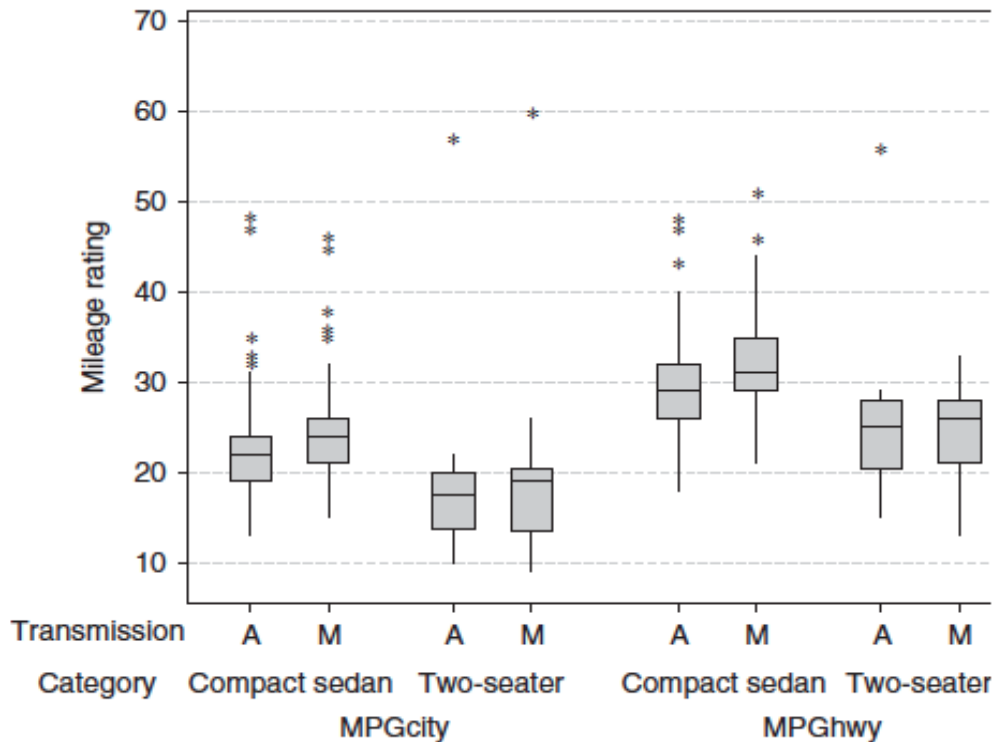
Σχήμα 3.6: Οι δείκτες του Διαγράμματος Boxplot

Ο υπολογισμός των αριθμών του Boxplot γίνεται με τα παρακάτω βήματα:

1. Τοποθετούνται τα X_i κατά αύξουσα σειρά για i από 1 έως n
2. Για να βρεθεί το Third Quartile υπολογίζεται το $\frac{3(n+1)}{4}$
 - Αν το αποτέλεσμα είναι ακέραιος τότε $Q_3 = X_{\frac{3(n+1)}{4}}$
 - Αν όχι, $Q_3 = \frac{1}{2}(X_{\lfloor \frac{3(n+1)}{4} \rfloor} + X_{\lceil \frac{3(n+1)}{4} \rceil})$
3. Για να βρεθεί το Median ή το Second Quartile υπολογίζεται το $\frac{n+1}{2}$
 - Αν το αποτέλεσμα είναι ακέραιος τότε $Q_2 = X_{\frac{n+1}{2}}$
 - Αν όχι, $Q_2 = \frac{1}{2}(X_{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} + X_{\lceil \frac{n+1}{2} \rceil})$
4. Για να βρεθεί το First Quartile υπολογίζεται το $\frac{n+1}{4}$
 - Αν το αποτέλεσμα είναι ακέραιος τότε $Q_1 = X_{\frac{n+1}{4}}$
 - Αν όχι, $Q_1 = \frac{1}{2}(X_{\lfloor \frac{n+1}{4} \rfloor} + X_{\lceil \frac{n+1}{4} \rceil})$

Το εργαλείο αυτό έχει το πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων εργαλείων απεικόνισης ότι, με την πρώτη ματιά, μπορεί κανείς να διακρίνει αν υπάρχει συμμετρία στη διαδικασία ή όχι. Επιπροσθέτως, ενδείκνυται η χρησιμοποίησή του για τη σύγκριση πολλών μεγεθών στο ίδιο διάγραμμα. Ωστόσο, ένα αρνητικό στοιχείο του εργαλείου είναι ότι η απεικόνιση γίνεται μόνο μέσω πέντε αριθμών και τυχόν συμβόλων, με αποτέλεσμα πολλές φορές να διαστρεβλώνεται η αλήθεια των αποτελεσμάτων.

Ακολουθεί η εφαρμογή του εργαλείου Boxplot στο παράδειγμα με τα αυτοκίνητα (Σχήμα 3.7), μόνο που τώρα η κατανάλωση έχει χωριστεί σε μέσα στην πόλη και σε αυτοκινητόδρομο.



Σχήμα 3.7: Διάγραμμα Boxplot

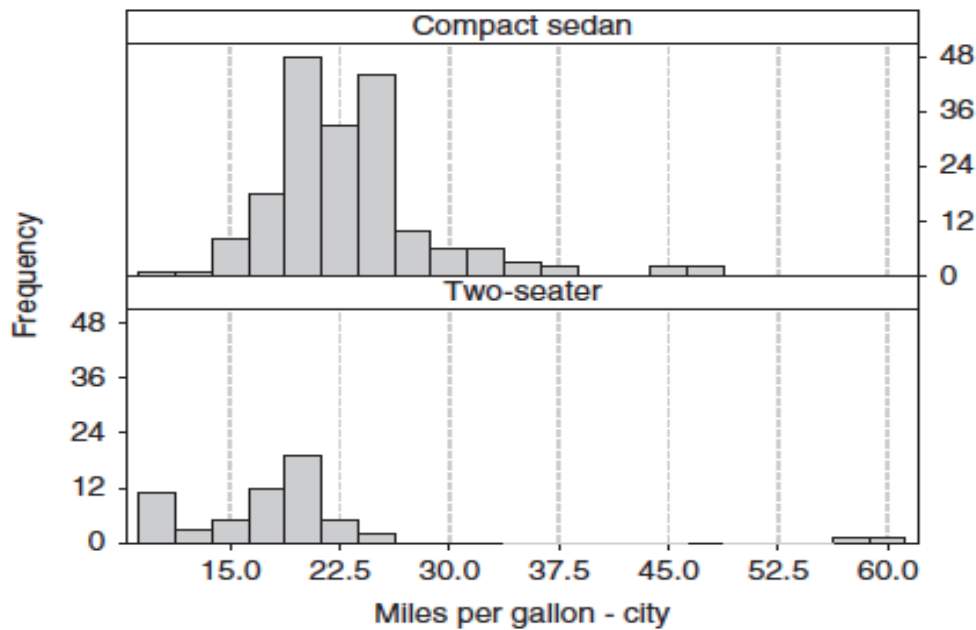
3.1.6 Ιστόγραμμα (Histogram)

Ένα άλλο εργαλείο που θα μελετηθεί είναι το γνωστό Ιστόγραμμα, που εφαρμόζεται σε πληθώρα εφαρμογών. Για να κατασκευαστεί, χωρίζονται οι παρατηρήσεις σε ίσες κλάσεις και σχηματίζονται τα παραλληλόγραμμα που έχουν ως ύψος, την συχνότητα εμφάνισης των παρατηρήσεων και ως πλάτος, το αντίστοιχο πλάτος των κλάσεων.

Η επιλογή του αριθμού και του μεγέθους των κλάσεων είναι στο χέρι του σχεδιαστή του διαγράμματος. Σημειώνεται ότι, τα ίδια δεδομένα, χρησιμοποιώντας διαφορετικό πλάτος κλάσεων, δίνουν τελείως διαφορετικά διαγράμματα. Υπάρχουν ορισμένοι κανόνες επιλογής των κλάσεων: (έστω n ο αριθμός των παρατηρήσεων και k ο αριθμός των κλάσεων)

- The logarithmic rule: $k = \lceil \log_2 n \rceil + 1$
- The square root rule: $k = \sqrt{n}$

Ακολουθεί το Ιστόγραμμα στο παράδειγμα της κατανάλωσης των αυτοκινήτων.



Σχήμα 3.8: Ιστόγραμμα Συχνοτήτων

3.1.7 Stem and Leaf Displays

Η μέθοδος Stem-and-Leaf, ανήκει σε μια ομάδα εργαλείων που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιούνταν ευρέως την εποχή που οι υπολογιστές μπορούσαν να διαβάσουν μόνο γράμματα και αριθμούς. Είναι βέβαια η μόνη από τις μεθόδους αυτές που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα.

Ουσιαστικά είναι μια μορφή Ιστογράμματος, μόνο που κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας τις ίδιες τις τιμές των παρατηρήσεων. Έχει τα εξής πλεονεκτήματα έναντι του τυπικού Ιστογράμματος:

- Μπορεί να κατασκευαστεί οπουδήποτε και από οποιονδήποτε
- Αφού έχει δημιουργηθεί η μέθοδος Stem-and-Leaf, ο χρήστης μπορεί να ανακατατάξει τα δεδομένα όπως επιθυμεί.

Ακολουθεί η βηματική διαδικασία κατασκευής του:

1. Τοποθετούνται οι παρατηρήσεις με την σειρά που εμφανίστηκαν
2. Υπολογίζεται το εύρος των τιμών και επιλέγονται τα σημαντικά ψηφία (stems) και τα δευτερεύοντα (leaves)
3. Γράφονται τα «stems» καθέτως σε αύξουσα σειρά
4. Από τη δεξιά μεριά των stems γράφονται τα «leaves» όλων των παρατηρήσεων με τη σειρά που εμφανίστηκαν
5. Εντοπίζεται σε ποια σειρά βρίσκεται η διάμεσος των παρατηρήσεων και σημειώνεται αριστερά του «stem» σε παρένθεση ο αριθμός των «leaves» που ανήκουν στο συγκεκριμένο «stem»

6. Στις σειρές πάνω από το «stem» της διαμέσου, γράφουμε αριστερά των «stems» το συνολικό αριθμό των παρατηρήσεων από την αρχή μέχρι και τη γραμμή αυτή
7. Στις σειρές κάτω από το «stem» της διαμέσου, γράφουμε αριστερά των «stems» το συνολικό αριθμό των παρατηρήσεων από το τέλος μέχρι και τη γραμμή αυτή

Ακολουθεί ένα παράδειγμα κατασκευής Stem-and-Leaf Display (Σχήμα 3.9) με $n=100$ παρατηρήσεις και διάμεσο ίση με 600.6mm.

```
Stem-and-leaf of Length  N  = 100
Leaf Unit = 0.10

 1   597   2
 4   597   688
17   598   0000222224444
28   598   888888888888
41   599   0000022244444
44   599   666
49   600   00224
(6)  600   668888
45   601   0000000000222222222222222244444444444444444
10   601   666666888
 1   602   2
```

Σχήμα 3.9: Stem-And-Leaf Display

3.1.8 Isogram

Το Isogram έχει σχεδιαστεί για την απεικόνιση και τη σύγκριση των τιμών μίας μεταβλητής μετά από δύο διαφορετικές σειρές μετρήσεων. Πρόκειται για ένα Scatter Plot μόνο που στους άξονες x και y έχει τοποθετηθεί η ίδια μεταβλητή. Το διάγραμμα χωρίζεται από την ευθεία $y=x$ που περνά από την αρχή των αξόνων και μας επιτρέπει να κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ των δύο σειρών μετρήσεων.

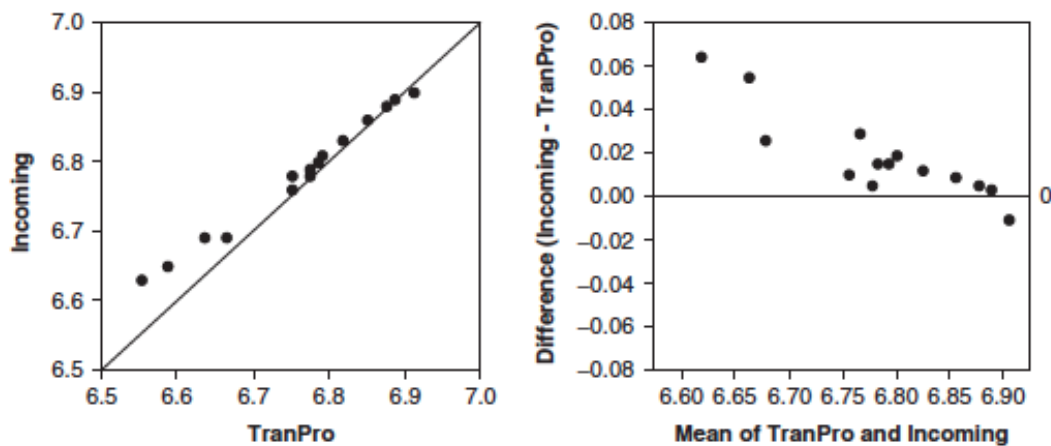
Το επόμενο εργαλείο, το Tukey Mean-Difference Plot έχει σχεδιαστεί για τον ίδιο ακριβώς σκοπό, επομένως η σύγκριση και η σχεδίαση του Isogram θα αναπτυχθεί στην επόμενη παράγραφο με ένα κοινό παράδειγμα μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων.

3.1.9 Tukey Mean Difference Plot

Όπως προαναφέρθηκε, το συγκεκριμένο εργαλείο έχει σχεδιαστεί για την απεικόνιση και τη σύγκριση των τιμών μίας μεταβλητής μετά από δύο διαφορετικές σειρές μετρήσεων. Στον άξονα x του Tukey Mean-Difference Plot τοποθετούνται οι αριθμητικοί μέσοι των δύο τιμών, που προκύπτουν από τις δύο σειρές μετρήσεων, και έχουν υπολογιστεί για το σύνολο των παρατηρήσεων. Από την άλλη, στον άξονα y τοποθετούνται οι αντίστοιχες διαφορές των δύο αυτών τιμών. Το διάγραμμα χωρίζεται στη μέση από την ευθεία $y=0$ και μας επιτρέπει να κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ των δύο σειρών μετρήσεων.

Το Tukey Mean-Difference Plot είναι ουσιαστικά ένα Isogram μετατοπισμένο ωρολογιακά κατά 45 μοίρες. Λόγω του ότι δεν χρειάζεται οι δύο άξονες να είναι χωρισμένοι σε ίσα διαστήματα, το διάγραμμα αυτό μπορούμε να το μεγαλώσουμε κατά όποιο άξονα θέλουμε όσο χρειάζεται, έτσι ώστε να φαίνονται καθαρά μέχρι και οι μικρότερες λεπτομέρειες. Συμπερασματικά, το Tukey Mean-Difference Plot μπορεί να απεικονίσει τα δεδομένα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Βέβαια, πολλές φορές η χρήση του Isogram είναι πιο βολική λόγω της εύκολης σχεδίασής του.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα και η σχηματική απεικόνιση των δύο μεθόδων για την καλύτερη κατανόησή τους. Έστω ότι γίνεται η μέτρηση του Voltage Ratio 15 εξαρτημάτων, δύο φορές για το κάθε εξάρτημα, μία από τον προμηθευτή (TranPro Measurement) και μια φορά από τον πελάτη (Incoming Measurement). Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων φαίνονται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10: Διαγράμματα Isogram και Tukey Mean Difference

3.1.10 Multi-Vari Chart

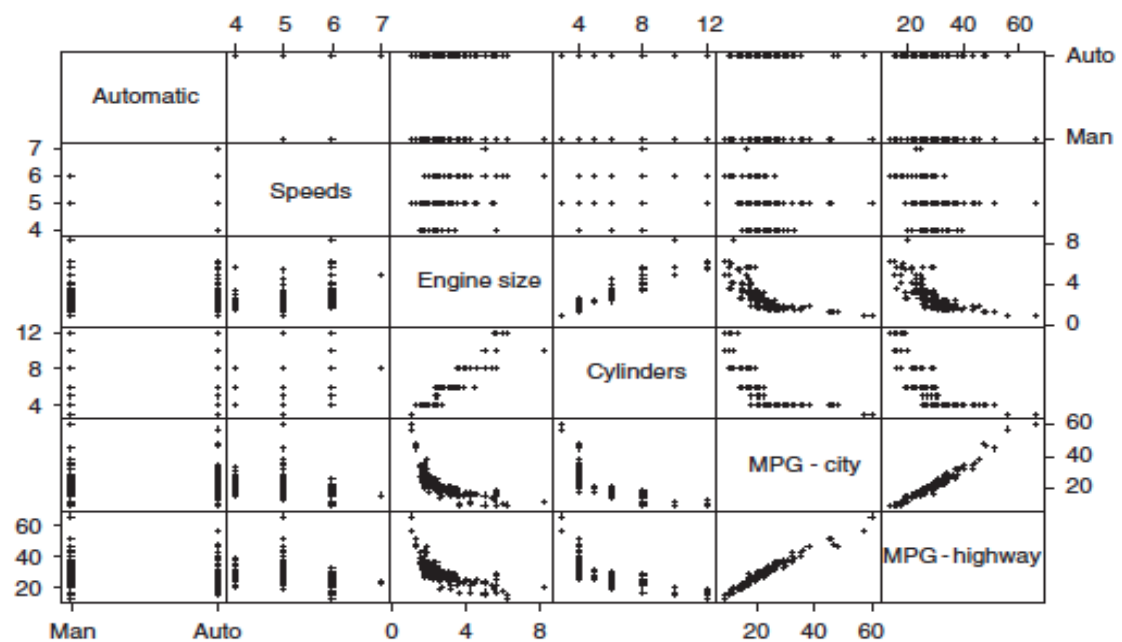
Τελευταίο εργαλείο Απεικόνισης Δεδομένων που θα μελετηθεί είναι τα Multivariate Plots, που χρησιμοποιούνται για τη συσχέτιση πολλών διαφορετικών μεταβλητών

Ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που επεξεργάζονται είναι δύο ειδών:

- Scatter Plot Matrices που επεξεργάζονται historical data και απεικονίζουν τις συσχετίσεις μεταξύ πολλών ζευγών μεταβλητών. Ένα πακέτο δεδομένων με k μεταβλητές, έχει $m = \frac{k(k-1)}{2}$ ζεύγη μεταβλητών. Είδαμε ότι κάθε ζεύγος μεταβλητών μπορεί να απεικονιστεί εύκολα με ένα Scatter Plot. Ο συνδυασμός λοιπόν των ανεξάρτητων Scatter Plots σε ένα πίνακα $k \times k$, δημιουργεί το Scatter Plot Matrix. Στο Σχήμα 3.11 Παρουσιάζεται το Scatter Plot Matrix του παραδείγματος με τα αυτοκίνητα.
- Multi-vari Charts τα οποία επεξεργάζονται experimental data. Γενικά, τα πειραματικά δεδομένα προς επεξεργασία έχουν την εξής δομή:

- Υπάρχουν δύο ή περισσότερες μεταβλητές εισόδου (factors) που παίρνουν συγκεκριμένες τιμές (settings)
- Υπάρχει μία ή περισσότερες μεταβλητές εξόδου (responses) που υπολογίζονται σε κάθε εκτέλεση του πειράματος
- Το πείραμα είναι ισορροπημένο, με την έννοια ότι γίνεται ο ίδιος αριθμός πειραμάτων για κάθε level του καθενός factor
- Γίνονται περισσότερα από ένα πειράματα για τα συγκεκριμένα factors και levels

Τα Multi-vari Charts χρησιμοποιούνται κυρίως για την απεικόνιση δεδομένων στην ανάλυση Gage R&R.



Σχήμα 3.11: Scatter Plot Matrices

3.2 Εργαλεία Περιγραφής Τυχαίας Συμπεριφοράς

Όλες οι διαδικασίες, με τις οποίες έρχεται σε επαφή ο άνθρωπος, χαρακτηρίζονται από την αβεβαιότητα προκαθορισμού του αποτελέσμά τους. Το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας μπορεί να απέχει σημαντικά από το αναμενόμενο, μπορεί όμως και να εκτιμηθεί σωστά ικανοποιώντας ένα ορισμένο κριτήριο ακρίβειας. Η τυχαία αυτή συμπεριφορά των διαδικασιών οφείλεται στον χαρακτήρα των μεταβλητών που τις περιγράφουν, που ονομάζονται τυχαίες μεταβλητές (τ.μ. ή Random Variables).

Συνεπώς, οι διαδικασίες που θα συναντήσουμε κατά την εφαρμογή της Six Sigma ανάλυσης σε μια επιχείρηση, θα πρέπει να μελετηθούν χωρίς να γνωρίζουμε με ακρίβεια το αποτέλεσμά τους. Βέβαια, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα εργαλεία και υιοθετώντας ορισμένες παραδοχές, μπορούμε να περιορίσουμε τη μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων τους στα επιθυμητά κατά περίπτωση πλαίσια.

Εκτός από τα εργαλεία περιγραφής της τυχαίας συμπεριφοράς των διαδικασιών, το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει και βασικά στοιχεία της θεωρίας των πιθανοτήτων, αναγκαία για την κατανόηση τόσο των συγκεκριμένων εργαλείων, όσο και των εργαλείων των επομένων ενοτήτων.

Το πρώτο κομμάτι με το οποίο θα ασχοληθούμε, που αποτελεί και κομβικό σημείο για την κατανόηση των τυχαίων μεταβλητών μιας διαδικασίας, είναι η καταγραφή των βασικών στοιχείων της θεωρίας των πιθανοτήτων. Ένα μέρος των βασικών αυτών στοιχείων, παρατίθεται πριν αρχίσουμε τη μελέτη των εργαλείων, ενώ στη συνέχεια γίνονται παρεμβάσεις, όπου κρίνεται απαραίτητο, ώστε να γίνεται κατανοητή η λειτουργία των εργαλείων. Παρατίθενται επίσης, και τα βασικά στοιχεία των μονοδιάστατων τυχαίων μεταβλητών-κατανομών. Έπειτα θα αναλύσουμε με σειρά τα παρακάτω εργαλεία της ανάλυσης Six Sigma για την περιγραφή της τυχαίας συμπεριφοράς των διαδικασιών:

1. Νόμοι των Πιθανοτήτων
2. Υπεργεωμετρική Κατανομή
3. Διωνυμική Κατανομή
4. Κατανομή Poisson
5. Κανονική Κατανομή

3.2.1 Βασικά Στοιχεία Θεωρίας Πιθανοτήτων

- *Πείραμα*: Κάθε πράξη ή παρατήρηση που μπορεί να επαναληφθεί (κάτω από τις ίδιες συνθήκες) απεριόριστες φορές, αλλά το αποτέλεσμα της δεν είναι γνωστό από πριν.
- *Δειγματικός Χώρος*: Το σύνολο όλων των δυνατών αποτελεσμάτων ενός πειράματος, έστω Ω .
- *Γεγονός*: Ένα υποσύνολο του Ω , έστω A , όπου: $A \subseteq \Omega$. Το συμπλήρωμα του A , συμβολίζεται ως: \bar{A} ή A^c . Έστω A, B δύο γεγονότα του Ω , τότε ορίζεται η ένωση των δύο γεγονότων ως $A \cup B$ και η τομή τους ως $A \cap B$.
- *Δυναμοσύνολο*: Μια οικογένεια γεγονότων του Ω , έστω F , με τις ιδιότητες:
 - $\Omega \in F$
 - Αν $A \in F$ τότε: $A^c \in F$
 - Αν $A_n \in F$, ($n=1,2,\dots$) τότε: $\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n \in F$
- *Μέτρο Πιθανότητας*: Μια συνολοσυνάρτηση, έστω $P: F \rightarrow \mathcal{R}$, με τις ιδιότητες:
 - $P(\Omega) = 1$
 - $P(A) \geq 0$, για κάθε $A \in F$
 - $P(\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n) = \sum_{n=1}^{\infty} P(A_n)$, αν A_i, A_j ασυμβίβαστα
 - δηλαδή, αν: $A_i \cap A_j = \emptyset$, για κάθε $i \neq j$, και $A_i, A_j \in F$
- *Χώρος Πιθανοτήτων*: Λέγεται η τριάδα (Ω, F, P) .
- *Γεγονός*: Λέγεται επίσης και κάθε στοιχείο της F .
- *Πιθανότητες των αντίστοιχων ενδεχομένων*: Λέγονται οι τιμές της P .

- *Νόμοι De' Morgan:*
 - $\overline{(\cup_{i=1}^n A_i)} = \cap_{i=1}^n \bar{A}_i$
 - $\overline{(\cap_{i=1}^n A_i)} = \cup_{i=1}^n \bar{A}_i$
- *Ισχύουν:*
 - $\emptyset \in F$
 - Αν $A_n \in F, (n=1,2,\dots)$ τότε: $\cap_{i=1}^n A_n \in F$

Και για κάθε $A, B \in F$:

- $P(A) \leq 1$
- $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$
- $P(A \cap \bar{B}) = P(A) - P(A \cap B)$
- $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$
- $P(A) \leq P(B),$ αν $A \subseteq B$
- Έστω ο δειγματικός χώρος Ω , ο οποίος εμπεριέχει n πιθανά αποτελέσματα, με την ίδια πιθανότητα εμφάνισης. Αν το γεγονός $A, A \subseteq \Omega$, εμπεριέχει k από τα n πιθανά αποτελέσματα, η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός A είναι: $P(A) = \frac{k}{n}$.

3.2.2 Βασικά Στοιχεία για τις Μονοδιάστατες Τυχαίες Μεταβλητές

- Σε κάθε σημείο ενός Δειγματικού Χώρου Ω αντιστοιχούμε έναν πραγματικό αριθμό. Η αντιστοιχία αυτή είναι συνάρτηση που ορίζεται στο Ω και ονομάζεται τυχαία μεταβλητή (τ.μ.).
- Δεδομένης μιας τ.μ. X ορίζουμε ως συνάρτηση κατανομής (σ.κ. ή Cumulative Distribution Function (CDF)) ή απλά κατανομή της X . Τη συνάρτηση F με τύπο $F(x) = P(X \leq x), x \in \mathcal{R}$.
- *Διακριτή τυχαία μεταβλητή* λέγεται μια τ.μ. X (με κατανομή F) αν υπάρχει πεπερασμένο ή αριθμήσιμο πλήθος τιμών της $x_0 < x_1 \dots$, τέτοιο ώστε:
 - $p_n = P(X = x_n) > 0, x \in \mathcal{R}$ και
 - $\sum_{n=0}^{\infty} p_n = P(x \in \{x_0 < x_1 \dots\}) = 1$
 - Η ακολουθία $\{p_n\}$ λέγεται *συνάρτηση πιθανότητας* (σ.π. ή Probability Mass Function (PMF))
- *Συνεχής τυχαία μεταβλητή* λέγεται μια τ.μ. X (με κατανομή F) αν για όλες τις x της X ισχύει $P(X = x) = 0$, δηλαδή αν η F είναι συνεχής συνάρτηση.
 - Επιπλέον υπάρχει συνεχής συνάρτηση $f(x) \geq 0$, που καλείται *συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας* (σ.π.π. ή Probability Density Function (PDF)) της τ.μ. X τέτοια ώστε:
$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)dt, x \in \mathcal{R}$$
 - Ισχύουν: $f(x) = F'(x)$ και $F(\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)dt = 1$
- Έστω X μια μη-αρνητική τυχαία μεταβλητή με συνάρτηση κατανομής F . Ορίζουμε ως:

- Μέση Τιμή (Expectation) της X την ποσότητα

$$E(X) = \int_0^{+\infty} x dF(x) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{\infty} x_n p_n, \text{ για } X \text{ διακριτή} \\ \int_0^{+\infty} x f(x) dx, \text{ για } X \text{ συνεχή} \end{cases}$$

- Διασπορά (Variance) της X την ποσότητα

$$V(X) = E[(X - E(X))^2] = E(X^2) - E^2(X)$$

- Τυπική απόκλιση (Standard Deviation) της X την ποσότητα

$$SD(X) = \sqrt{V(X)}$$

- Coefficient of Variation της X την ποσότητα

$$CV(X) = \frac{SD(X)}{E(X)}$$

3.2.3 Νόμοι των Πιθανοτήτων

Το πρώτο εργαλείο της κατηγορίας που θα μελετηθεί είναι οι νόμοι των πιθανοτήτων, σύμφωνα με τους οποίους, η ομάδα έργου της επιχείρησης, που έχει αναλάβει την εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma, μπορεί να υπολογίσει την πιθανότητα να συμβεί κάποιο γεγονός. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι οτιδήποτε, από την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων μέχρι την αδυναμία εξυπηρέτησης κάποιου πελάτη, την καταστροφή μιας μηχανής, τον τραυματισμό ενός εργαζόμενου κλπ. Γίνεται κατανοητό λοιπόν, το πόσο σημαντικό είναι να μπορέσουν να υπολογισθούν οι πιθανότητες αυτές, ώστε να μπορέσει η επιχείρηση να επιτύχει τους στόχους της, εφαρμόζοντας την μεθοδολογία Six Sigma.

Για την καλύτερη ανάπτυξη του συγκεκριμένου εργαλείου, θα χωρίσουμε τις μεθοδολογίες υπολογισμού των πιθανοτήτων, ανάλογα με την σχέση μεταξύ των γεγονότων.

- Υπολογισμός Πιθανότητας συνδυασμού γεγονότων

- $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$
- $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$
- Αν A, B ασυμβίβαστα γεγονότα, τότε: $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$

- Υπολογισμός Δεσμευμένης Πιθανότητας

Ορίζεται $P(A|B)$ η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός A με δεδομένο ότι έχει συμβεί το γεγονός B .

- $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \Rightarrow P(A \cap B) = P(B) \times P(A|B)$
- Γενικεύεται για τρία γεγονότα και όμοια για $n \in \mathbb{N}$ γεγονότα ως εξής: $P(A \cap B \cap \Gamma) = P(A) \times P(B|A) \times P(\Gamma|A \cap B)$

- Υπολογισμός της Πιθανότητας της τομής δύο ανεξάρτητων γεγονότων



- Δύο γεγονότα $A, B \in F$ λέγονται ανεξάρτητα εάν: $P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$
- Αν τα $A, B \in F$ είναι ανεξάρτητα και $P(B) > 0$ τότε: $P(A|B) = P(A)$ και $P(B|A) = P(B)$
- Αν τα $A, B \in F$ είναι ανεξάρτητα, τότε:
 - Τα \bar{A}, B είναι ανεξάρτητα
 - Τα A, \bar{B} είναι ανεξάρτητα και
 - Τα \bar{A}, \bar{B} είναι ανεξάρτητα
- Γενικεύεται για τρία γεγονότα και όμοια για $n \in \mathbb{N}$ γεγονότα ως εξής
Τρία γεγονότα $A, B, \Gamma \in F$ λέγονται ανεξάρτητα εάν:
 - $P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$
 - $P(A \cap \Gamma) = P(A) \times P(\Gamma)$
 - $P(B \cap \Gamma) = P(B) \times P(\Gamma)$ και
 - $P(A \cap B \cap \Gamma) = P(A) \times P(B) \times P(\Gamma)$

Πριν προχωρήσουμε στην ανάπτυξη των επόμενων εργαλείων, που αναφέρονται στον υπολογισμό των πιθανοτήτων δειγματοληψίας, πρέπει να αναφέρουμε κάποια βασικά στοιχεία σχετικά με τον τρόπο που μπορεί να γίνει μια δειγματοληψία. Πρέπει να σημειωθεί ότι, για να υπολογιστούν οι πιθανότητες αυτές, πρέπει να γνωρίζουμε τον αριθμό των διαφορετικών «τρόπων», με τους οποίους μπορεί να γίνει η επιλογή ενός δείγματος μεγέθους k από μια μερίδα μεγέθους n . Εννοείται ότι $k \leq n$.

Η πρώτη μέθοδος δειγματοληψίας που θα μελετηθεί είναι εκείνη κατά την οποία το αντικείμενο που επιλέχθηκε τυχαία από τη μερίδα μεγέθους n , αφού το επεξεργαστούμε κατάλληλα, το επανατοποθετούμε πίσω στη μερίδα μεγέθους n από όπου προήλθε. Συνεπώς, κάθε φορά που επιλέγουμε ένα αντικείμενο, ο πιθανός αριθμός των διαφορετικών αντικειμένων είναι n και έτσι, αν γίνουν k επιλογές ο συνολικός αριθμός δειγμάτων που μπορούν να επιλεγθούν θα είναι n^k . Σημειώνεται ότι, κατά τη συγκεκριμένη δειγματοληψία μπορεί να προκύψει δείγμα k μεγαλύτερο από τη μερίδα n .

Η επόμενη μέθοδος δειγματοληψίας, που δεν επιτρέπει την ύπαρξη δείγματος μεγαλύτερου της μερίδας, διαφέρει από τη προηγούμενη, πρώτον στο ότι τα αντικείμενα που επιλέγονται δεν επιστρέφονται στη μερίδα και δεύτερον στο ότι η σειρά επιλογής των αντικειμένων έχει σημασία. Δηλαδή, το πρώτο αντικείμενο που θα επιλεγθεί τυχαία, θα έχει n πιθανές τιμές ενώ το δεύτερο αντικείμενο θα έχει $n - 1$, το τρίτο $n - 2$ κ.λπ. Συνεπώς, ο αριθμός των δειγμάτων που μπορούν να προκύψουν από την επιλογή k αντικειμένων θα είναι $n \times (n - 1) \times \dots \times (n - k + 1)$. Συμπερασματικά, επειδή η σειρά των αντικειμένων έχει σημασία, ο αριθμός των δυνατών μεταθέσεων (permutations) δίνεται από τη σχέση: $nP_k = \frac{n!}{(n-k)!}$.

Στον αντίποδα, αν η σειρά επιλογής δεν έχει σημασία, τότε από την επιλογή των k αντικειμένων από την μερίδα μεγέθους n , μπορούν να παραχθούν $nC_k = \binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)! \times k!}$ συνδυασμοί (combinations). Σημειώνεται, ότι σε κάθε συνδυασμό αντιστοιχούν $k!$ μεταθέσεις. Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια των μεταθέσεων και των συνδυασμών, όταν η σειρά επιλογής δεν έχει σημασία, τότε συνεπάγεται ότι $\{\text{αντικείμενο1}, \text{αντικείμενο2}\} \equiv \{\text{αντικείμενο2}, \text{αντικείμενο1}\}$ και έχουμε τον συνδυασμό του αντικείμενου 1 με το 2. Αντίθετα, όταν η σειρά έχει σημασία, $\{\text{αντικείμενο1}, \text{αντικείμενο2}\} \neq \{\text{αντικείμενο2}, \text{αντικείμενο1}\}$ και έχουμε δύο μεταθέσεις των αντικειμένων 1 και 2.

3.2.4 Υπεργεωμετρική Κατανομή

Υποθέτουμε ότι επιλέγονται n αντικείμενα από ένα πληθυσμό (ή μερίδα) με πεπερασμένο πλήθος αντικειμένων έστω N . Αν ο πληθυσμός αυτός εμπεριέχει X ελαττωματικά και $N - X$ σωστά αντικείμενα, το εργαλείο αυτό αποτελεί το μοντέλο που υπολογίζει την πιθανότητα, το δείγμα να εμπεριέχει ακριβώς x ελαττωματικά και $n - x$ σωστά αντικείμενα.

Η εφαρμογή της υπεργεωμετρικής κατανομής έχει τις εξής παραδοχές:

- Το πρόβλημα έχει διανυσματικό χώρο, έστω S , ο οποίος περιέχει ίδιας πιθανότητας αποτελέσματα. Δηλαδή, κάθε συνδυασμός των n αντικειμένων που επιλέγονται είναι το ίδιο πιθανός.
- Η δειγματοληψία γίνεται χωρίς αντικατάσταση και χωρίς να έχει σημασία η σειρά επιλογής των αντικειμένων. Συνεπώς, προκύπτουν $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)! \times k!}$ συνδυασμοί δειγμάτων.

Επίσης, έχει τους εξής περιορισμούς, όπου έστω και ένας να μην τηρείται, η πιθανότητα που υπολογίζεται με το εργαλείο αυτό, είναι μηδενική.

- $N, D, n, x \in \mathbb{N}$, συμπεριλαμβανομένου και του μηδενός
- $0 \leq x \leq n \leq N$
- $0 \leq x \leq D$
- $0 \leq n - x \leq N - D$

Τελικά, η πιθανότητα ότι το δείγμα θα περιέχει ακριβώς x ελαττωματικά αντικείμενα είναι ίση με:

$$P_{\text{hypergeometric}} = \frac{\binom{D}{x} \times \binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}$$

3.2.5 Διωνυμική Κατανομή

Για την επεξήγηση του συγκεκριμένου εργαλείου της ανάλυσης Six Sigma, πρέπει πρώτα να ορίσουμε την δοκιμή Bernoulli.

Έστω πείραμα τύχης με διανυσματικό χώρο Ω και έστω

- ένα ενδεχόμενο του «E» (καλούμενο επιτυχία, «ε») και
- το συμπληρωματικό του « \bar{E} » (καλούμενο αποτυχία, «α»)

Ένα τέτοιο πείραμα καλείται δοκιμή Bernoulli και έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κάθε δοκιμή έχει μόνο δύο αποτελέσματα, όπως αποτυχία-επιτυχία ή ναι-όχι
- Σε ένα πείραμα με πολλές δοκιμές Bernoulli, η πιθανότητα εμφάνισης κάθε αποτελέσματος είναι σταθερή σε κάθε δοκιμή
- Σε ένα πείραμα με πολλές δοκιμές Bernoulli, όλες οι δοκιμές είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες

Η εφαρμογή της Διωνυμικής Κατανομής έχει τις εξής παραδοχές:

- Επιλέγονται n αντικείμενα από έναν μη πεπερασμένο πληθυσμό.
- Κάθε αντικείμενο, είναι είτε ελαττωματικό είτε σωστό.
- Όταν επιλέγουμε ανεξάρτητα αντικείμενα, υποθέτουμε ότι η πιθανότητα εμφάνισης ελαττώματος σε κάθε ένα από αυτά είναι αμοιβαία ανεξάρτητη.
- Η πιθανότητα επιλογής ελαττωματικού αντικειμένου είναι σταθερή και ίση με π .

Το εργαλείο αυτό, αποτελεί το μοντέλο που υπολογίζει την πιθανότητα ένα δείγμα να έχει ακριβώς x ελαττωματικά αντικείμενα, από την επιλογή n συνολικά αντικειμένων, από έναν μη πεπερασμένο πληθυσμό. Επειδή όπως αναφέρθηκε, όλες οι δοκιμές είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες, κάθε πιθανό δείγμα έχει πιθανότητα εμφάνισης ακριβώς x ελαττωματικών ίση με $\pi^x \times (1 - \pi)^{n-x}$. Όμως, αφού έχουμε $\binom{n}{x} = \frac{n!}{(n-x)!x!}$ πιθανούς συνδυασμούς δειγμάτων, προκύπτει τελικά η ζητούμενη πιθανότητα ως:

$$P_{binomial} = \binom{n}{x} \times \pi^x \times (1 - \pi)^{n-x}$$

Πρόκειται για διακριτή κατανομή, με:

- PMF: $p_n = P(X = x) = \binom{n}{x} \times \pi^x \times (1 - \pi)^{n-x}$, $x = 0, 1, \dots, n$
- CDF: $F(x) = P(X \leq x') = \begin{cases} 0, & \text{αν } x' < 0 \\ \sum_{n=0}^{x'} \binom{n}{x} \times \pi^x \times (1 - \pi)^{n-x}, & \text{αν } 0 \leq x' \leq n \\ 1, & \text{αν } x' \geq n \end{cases}$
- $E(X) = n \times \pi$
- $V(X) = n \times \pi \times (1 - \pi)$

3.2.6 Κατανομή Poisson

Το συγκεκριμένο εργαλείο, υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης ακριβώς x ελαττωματικών αντικειμένων στο δείγμα, όταν είναι γνωστή η μέση τιμή του αριθμού των αναμενόμενων ελαττωμάτων σε αυτό, έστω λ . Η ζητούμενη πιθανότητα προκύπτει:

$$P_{Poisson} = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^x}{x!}$$

Η ιδιαίτερη σημασία της κατανομής Poisson έγκειται στο ότι, έχει μια μόνο παράμετρο, με αποτέλεσμα η κατασκευή πινάκων που δίνουν το αποτέλεσμα της παραπάνω πιθανότητας για διάφορες τιμές του λ και του x , να είναι εύκολα εφικτή.

Πρόκειται για διακριτή κατανομή, με:

- PMF: $p_n = P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^x}{x!}$, $x = 0, 1, 2 \dots$ και $\lambda > 0$
- CDF: $F(x) = P(X \leq x') = \begin{cases} 0, & \text{αν } x' < 0 \\ \sum_{n=0}^{x'} \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^n}{n!}, & \text{αν } 0 \leq x' \end{cases}$
- $E(X) = \lambda$
- $V(X) = \lambda$

3.2.7 Κανονική Κατανομή

Τελευταίο εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma σχετικά με την περιγραφή της τυχαίας συμπεριφοράς, είναι η γνωστή σε όλους κανονική κατανομή με το σχήμα καμπάνας. Το εργαλείο αυτό έχει δύο παραμέτρους, τη μέση τιμή μ και την τυπική απόκλιση σ . Θεωρείται η σπουδαιότερη κατανομή της Θεωρίας των πιθανοτήτων και της Στατιστικής. Ο λόγος που εξηγεί την εξέχουσα θέση της είναι ότι, πολλές τυχαίες μεταβλητές περιγράφονται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή ή περιγράφονται από κατανομές που μπορούν να προσεγγισθούν από την κανονική κατανομή. Η σύνδεση των λοιπών κατανομών με την κανονική, έγκειται στο ότι, σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα, το άθροισμα και επομένως και η μέση τιμή, μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παρατηρήσεων, ακολουθεί κατά προσέγγιση κανονική κατανομή ανεξαρτήτως από ποια κατανομή ακολουθούν οι παρατηρήσεις.

Πρόκειται για συνεχή κατανομή, με:

- PDF: $f(x) = \frac{1}{\sigma \times \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$, $-\infty < x < +\infty$
- CDF: $F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma \times \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du$, $-\infty < x < +\infty$
- $E(X) = \mu$
- $V(X) = \sigma^2$

Το εμβαδόν του χωρίου που περικλείεται από την καμπύλη της συνάρτησης πυκνότητας (PDF) και τον άξονα των τιμών της X είναι ίσο με 1 και εκφράζει την πιθανότητα η X να πάρει κάποια τιμή μεταξύ $-\infty$ και $+\infty$. Δυστυχώς όμως, καμία από τις γνωστές τεχνικές ολοκλήρωσης δεν μας επιτρέπει τον αναλυτικό υπολογισμό του κατάλληλου, κατά περίπτωση, ορισμένου ολοκληρώματος της $f(x)$. Στην πράξη, για να υπολογίσουμε τις πιθανότητες που αφορούν τις τιμές της τυχαίας μεταβλητής που ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ χρησιμοποιούμε τον πίνακα της τυποποιημένης κατανομής $N(0,1)$. Ο πίνακας τυποποιημένης κανονικής κατανομής μας δίνει την πιθανότητα $P(Z \leq z)$ για όλα τα z από 0 έως 3.59 με βήμα 0,01. Ας συμβολίσουμε αυτή την πιθανότητα με $\Phi(z)$, δηλαδή $\Phi(z) =$



$P(Z \leq z)$. Ισχύει ότι $\Phi(-z) = 1 - \Phi(z)$ και άρα $P(Z \leq z) = \Phi(-z) = 1 - \Phi(z)$. Σημειώνεται ότι πρέπει να γίνει η αντικατάσταση $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$ όπου x το ζητούμενο σημείο και μ, σ οι παράμετροι της κανονικής κατανομής.

3.3 Εργαλεία Εκτίμησης των Ιδιοτήτων των Πληθυσμών

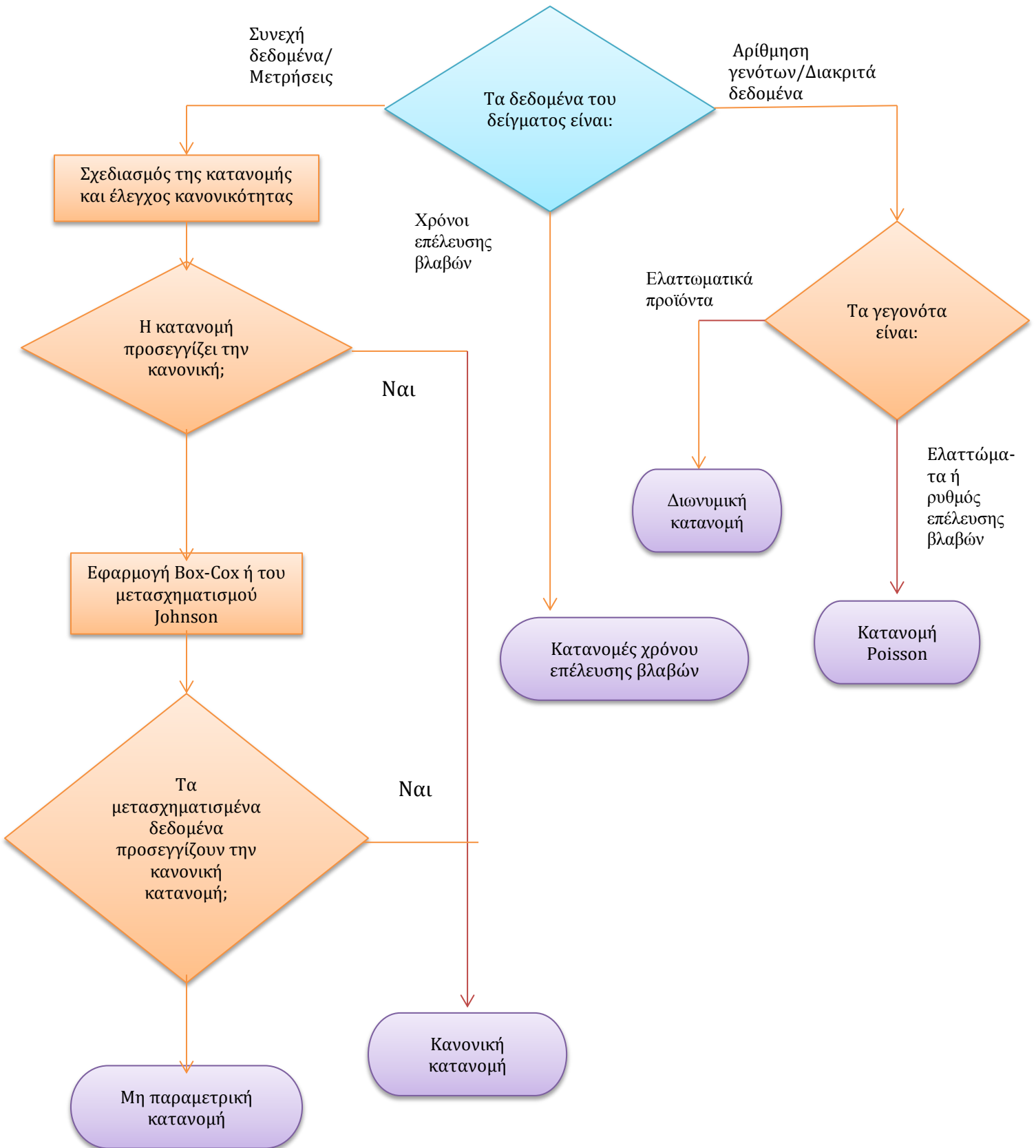
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τα εργαλεία της ανάλυσης Six Sigma, που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό εκτιμήσεων των βασικών μεγεθών ενός πληθυσμού. Υπολογίζονται οι εκτιμήσεις των μεγεθών αυτών, καθώς η εύρεση της πραγματικής τιμής τους απαιτεί μια πολυδάπανη διαδικασία δειγματοληψίας, η οποία τις περισσότερες φορές δεν είναι εφικτή. Καλούμαστε λοιπόν να βρούμε το μοντέλο εκείνο που συνδυάζει την ακρίβεια του αποτελέσματος με το κόστος στον επιθυμητό βαθμό, ώστε να αποφανθούμε για τα αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, έγινε εκτενής περιγραφή της θεωρίας των πιθανοτήτων που απαιτείται για την κατανόηση των βασικών στατιστικών εργαλείων και δεν θα αναφερθούμε περαιτέρω σε αυτή, παρά μόνο σε ορισμένα σημεία, όπου εισάγονται νέες κατανομές.

Θα χρησιμοποιήσουμε λοιπόν την επαγωγική στατιστική, σύμφωνα με την οποία αφού μελετήσουμε ένα δείγμα από ένα πληθυσμό, το οποίο επαληθεύει την μηδενική υπόθεση, ότι δηλαδή δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ της παρατηρούμενης και της θεωρητικά αναμενόμενης τιμής, και αφού υπολογίσουμε τις βασικές ιδιότητες του δείγματος, θα εξάγουμε συμπεράσματα για τις ιδιότητες ολόκληρου του πληθυσμού σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης. Το διάστημα αυτό, υπολογίζεται ως $100(1 - \alpha)\%$ με το α να παίρνει συνήθως τιμές από 1 μέχρι 20.

Πριν προχωρήσουμε στην ανάπτυξη των εργαλείων, παρατίθενται στην επόμενη σελίδα ένα διάγραμμα ροής (Σχήμα 3.12), σύμφωνα με το οποίο ο υπεύθυνος της ομάδας έργου μπορεί να επιλέξει, ανάλογα με την περίπτωση, την κατανομή που περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα του εκάστοτε δείγματος. Σημειώνεται όμως, πως δεν υπάρχει ένας αλγόριθμος εύρεσης του ακριβούς μοντέλου που περιγράφει τα δεδομένα ενός δείγματος, αλλά μόνο του μοντέλου εκείνου που προσεγγίζει καλύτερα τα δεδομένα. Αναλυτικά τα εργαλεία που θα μελετήσουμε είναι:

1. Εκτίμηση της μέσης τιμής
2. Εκτίμηση της τυπικής απόκλισης
3. Ορθολογική Υπο-ομαδοποίηση ενός δείγματος
4. Έλεγχος σταθερότητας μέσω των διαγραμμάτων ελέγχου $\bar{X} - s$ και $IX - MR$
5. Στατιστικά διαστήματα ανοχής
6. Εκτίμηση της αξιοπιστίας με τις κατανομές του χρόνου επέλευσης βλαβών
7. Εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ελαττωματικών προϊόντων π , της διωνυμικής κατανομής
8. Εκτίμηση της μέσης τιμής του αναμενόμενου αριθμού ελαττωμάτων λ , της κατανομής Poisson
9. Διαγράμματα Ελέγχου np, p, c, u

Σχήμα 3.12: Διάγραμμα ροής για την επιλογή κατάλληλης κατανομής



3.3.1 Εκτίμηση της Μέσης Τιμής

Το πρώτο εργαλείο της κατηγορίας αυτής είναι η εκτίμηση της μέσης τιμής ενός πληθυσμού που ακολουθεί την κανονική κατανομή. Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο της περιγραφής της τυχαίας συμπεριφοράς, η κανονική κατανομή έχει το σχήμα «καμπάνας» και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται από τη σχέση: $f(x) = \frac{1}{\sigma \times \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$, $-\infty < x < +\infty$. Η κανονική κατανομή έχει δύο παραμέτρους, τη μέση τιμή μ και την τυπική απόκλιση σ , τις οποίες αν γνωρίζουμε, η μορφή της μπορεί να καθοριστεί πλήρως.

Έχοντας ένα δείγμα n στοιχείων και υπολογίζοντας τη μέση τιμή του δείγματος, μπορούμε να αποφανθούμε για την εκτίμηση της μέσης τιμής ολόκληρου του πληθυσμού. Η εύρεση της μέσης τιμής \bar{x} του δείγματος αποτελεί λοιπόν την σημειακή εκτίμηση $\hat{\mu}$ της μέσης τιμής του πληθυσμού. Συνεπώς έχουμε: $\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$. Σημειώνεται ότι η μέση τιμή \bar{x} του δείγματος είναι ένας αμερόληπτος και σταθερός εκτιμητής.

Επειδή η τιμή αυτή αποτελεί μια εκτίμηση, θα πρέπει να υπολογίσουμε και το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης, που είναι το διάστημα των αριθμών, στο οποίο εμπεριέχεται η πραγματική τιμή της μέσης τιμής του πληθυσμού μ με πιθανότητα $100(1 - \alpha)\%$. Η τυπική απόκλιση του δείγματος δίνεται από τη σχέση: $s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}$ και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του διαστήματος εμπιστοσύνης και αριθμός α συμβολίζει την πιθανότητα της εσφαλμένης εκτίμησης και ισοκατενέμεται στα δύο όρια.

Το διάστημα εμπιστοσύνης ορίζεται από δύο αριθμούς, το κάτω και το άνω όριο εμπιστοσύνης τα οποία υπολογίζονται από τις σχέσεις:

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το μ

$$L_{\mu} = \bar{x} - T_7\left(n, \frac{\alpha}{2}\right) \times s$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το μ

$$U_{\mu} = \bar{x} + T_7\left(n, \frac{\alpha}{2}\right) \times s$$

όπου οι τιμές της συνάρτησης T_7 μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του συγκεκριμένου διαστήματος είναι μέσω των σχέσεων:

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το μ

$$L_{\mu} = \bar{x} - \frac{t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times s}{\sqrt{n}}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το μ

$$U_{\mu} = \bar{x} + \frac{t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times s}{\sqrt{n}}$$

όπου οι τιμές της συνάρτησης t μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

3.3.2 Εκτίμηση της Τυπικής Απόκλισης

Το επόμενο εργαλείο που θα μελετηθεί είναι η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης ενός πληθυσμού που ακολουθεί την κανονική κατανομή. Μαζί με την εκτίμηση της μέσης τιμής, είναι τα δύο πιο σημαντικά εργαλεία και εκείνα που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα στην ανάλυση Six Sigma.

Έχοντας ένα δείγμα n στοιχείων και υπολογίζοντας την τυπική απόκλιση του δείγματος, μπορούμε να αποφανθούμε για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης ολόκληρου του πληθυσμού. Η εύρεση της τυπικής απόκλισης s του δείγματος αποτελεί λοιπόν την σημειακή εκτίμηση $\hat{\sigma}$ της τυπικής απόκλισης

του πληθυσμού και υπολογίζεται από τη σχέση: $\hat{\sigma} = s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}$.

Όπως και στην περίπτωση της εκτίμησης της μέσης τιμής, θα πρέπει να υπολογίσουμε και το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης.

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ

$$L_{\sigma} = \frac{s}{T_2(n, 1 - \frac{\alpha}{2})}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ

$$U_{\sigma} = \frac{s}{T_2(n, \frac{\alpha}{2})}$$

όπου οι τιμές της συνάρτησης T_2 μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις μας ενδιαφέρει η τυπική απόκλιση να μην ξεπερνά το άνω όριο και μόνο. Για το λόγο αυτό δεν επιμερίζεται το ρίσκο α και στα δύο όρια, αλλά μόνο στο άνω το οποίο και υπολογίζουμε από τη σχέση: $U_{\sigma} = \frac{s}{T_2(n, \alpha)}$. Προφανώς το κάτω όριο τίθεται ίσο με μηδέν, δηλαδή:

$$L_{\sigma} = 0.$$

Σε ορισμένα στατιστικά τεστ προτιμάται η εκτίμηση της διακύμανσης σ^2 που υπολογίζεται από τη σχέση: $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$, καθώς σε αντίθεση με την τυπική απόκλιση, αποτελεί έναν αμερόληπτο εκτιμητή. Τα αντίστοιχα όρια υπολογίζονται από τις σχέσεις:

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ^2

$$L_{\sigma^2} = \frac{s^2(n-1)}{X_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ^2

$$U_{\sigma^2} = \frac{s^2(n-1)}{X^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}}$$

όπου οι τιμές της συνάρτησης X^2 μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

3.3.3 Ορθολογική Υπο-ομαδοποίηση Δείγματος

Πριν προχωρήσουμε στην ανάπτυξη του επόμενου εργαλείου, θα πρέπει να παραθέσουμε τις διαφορές των εκτιμήσεων που παρατηρούνται στις ιδιότητες των πληθυσμών, σε βραχυπρόθεσμο και σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την τυπική απόκλιση ενός δείγματος είναι ο χρονικός ορίζοντας στον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί. Πιο συγκεκριμένα, η τυπική απόκλιση σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα αυξάνει σημαντικά σε σχέση με την βραχυπρόθεσμη τιμή της. Μπορούμε να περιγράψουμε τη σχέση που συνδέει τις δύο τυπικές αποκλίσεις του ίδιου δείγματος με ένα ορθογώνιο τρίγωνο που έχει, ως μια κάθετη την βραχυπρόθεσμη τυπική απόκλιση σ_{ST} και ως υποτείνουσα την μακροπρόθεσμη σ_{LT} . Σύμφωνα με το Πυθαγόρειο θεώρημα λοιπόν, η σχέση που τις συνδέει θα είναι: $\sigma_{LT} = \sqrt{\sigma_{ST}^2 + \sigma_{Shift}^2}$, συμβολίζοντας ως σ_{Shift} την απομένουσα κάθετη και ουσιαστικά τη διαφορά τους.

Τα δύο προηγούμενα εργαλεία, υποθέτουν πως $\sigma_{LT} = \sigma_{ST}$, ότι δηλαδή η τυπική απόκλιση παραμένει ίδια και στους δύο ορίζοντες (μηδενική υπόθεση), με αποτέλεσμα η διαδικασία να διέπεται από σταθερό χαρακτήρα. Στην πράξη, οι περισσότερες διαδικασίες είτε θα είναι απολύτως σταθερές είτε εντελώς ασταθείς, με αποτέλεσμα η ανάγκη εκτίμησης των τιμών των ιδιοτήτων των πληθυσμών και στους δύο ορίζοντες να είναι επιτακτική.

Εδώ έγκειται και η μεγάλη σημασία του συγκεκριμένου εργαλείου, της ορθολογικής υπο-ομαδοποίησης (rational subgrouping) των παρατηρήσεων ενός δείγματος, που έχει ως αποτέλεσμα να κάνει εμφανή τόσο τα βραχυπρόθεσμα όσο και τα μακροπρόθεσμα χαρακτηριστικά μιας διαδικασίας. Η αυτοκινητοβιομηχανία Action Group (1992) ορίζει ως ορθολογική υπο-ομαδοποίηση, τη δημιουργία υπο-ομάδων που είναι έτσι διαλεγμένες ώστε να έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα τα στοιχεία τους να μην διαφέρουν σημαντικά, αλλά και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη πιθανότητα κάθε υπο-ομάδα να διαφέρει κατά το μέγιστο από την άλλη. Αξίζει να σημειωθεί, ότι δεν υπάρχει ένας βέλτιστος τρόπος διαχωρισμού των δειγμάτων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μιας διαδικασίας σε υπο-ομάδες, καθώς κάθε διαδικασία απαιτεί διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης ανάλογα με τη φύση και το χαρακτήρα της.

Έστω ότι σε ένα δείγμα έχουμε:

- k υπο-ομάδες
- n παρατηρήσεις σε κάθε υπο-ομάδα.

Τότε ορίζουμε:

- X_{ij} η j-οστή παρατήρηση στην υπο-ομάδα i
- \bar{X}_i η μέση τιμή των παρατηρήσεων της υπο-ομάδας i που υπολογίζεται ως:
 - $\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij}$
- $\bar{\bar{X}}$ η μέση τιμή των μέσων τιμών των i υπο-ομάδων που υπολογίζεται ως:
 - $\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i$
- s_i η τυπική απόκλιση της υπο-ομάδας i που υπολογίζεται ως:
 - $s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}$
- \bar{s} η μέση τυπική απόκλιση των i υπο-ομάδων που υπολογίζεται ως:
 - $\bar{s} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i$
- s η συνολική τυπική απόκλιση του δείγματος που υπολογίζεται ως:
 - $s = \sqrt{\frac{1}{nk-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2}$

Σύμφωνα με το εργαλείο αυτό της Six Sigma ανάλυσης, έχοντας ένα δείγμα χωρισμένο σε k υπο-ομάδες όπου κάθε υπο-ομάδα έχει n παρατηρήσεις διατυπώνονται οι εξής σχέσεις για τα όρια του διαστήματος εμπιστοσύνης της τυπικής απόκλισης σ τόσο σε βραχυπρόθεσμο όσο και σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα:

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ_{ST}

$$L_{\sigma_{ST}} = \frac{\bar{s}}{T_2(d_s k(n-1) + 1, 1 - \frac{\alpha}{2})}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ_{ST}

$$U_{\sigma_{ST}} = \frac{\bar{s}}{T_2(d_s k(n-1) + 1, \frac{\alpha}{2})}$$

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ_{LT}

$$L_{\sigma_{LT}} = \frac{\bar{s}}{T_2(nk, 1 - \frac{\alpha}{2})}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ_{LT}

$$U_{\sigma_{LT}} = \frac{\bar{s}}{T_2(nk, \frac{\alpha}{2})}$$

όπου οι τιμές της συνάρτησης T_2 μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Ενώ όταν ενδιαφερόμαστε μόνο για το άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης της τυπικής απόκλισης έχουμε:

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ_{ST}

$$U_{\sigma_{ST}} = \frac{\bar{s}}{T_2(d_s k(n-1) + 1, \alpha)}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το σ_{LT}

$$U_{\sigma_{LT}} = \frac{\bar{s}}{T_2(nk, \alpha)}$$

όπου οι τιμές της συνάρτησης T_2 μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Στον αντίποδα, το διάστημα εμπιστοσύνης της εκτίμησης της μέσης τιμής στην περίπτωση των υποομάδων είναι το ίδιο σε βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο επίπεδο.

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το μ_{LT} ή το μ_{ST}

$$L_{\mu} = \bar{X} - T_7(nk, \frac{\alpha}{2}) \times s$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το μ_{LT} ή το μ_{ST}

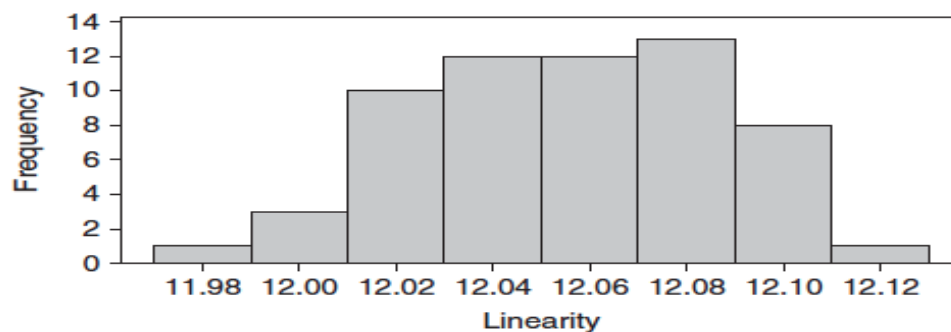
$$U_{\mu} = \bar{X} + T_7(nk, \frac{\alpha}{2}) \times s$$

όπου οι τιμές της συνάρτησης T_7 μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

3.3.4 Έλεγχος Σταθερότητας μέσω των Διαγραμμάτων Ελέγχου $\bar{X} - s$ και $IX - MR$

Η σταθερότητα μιας διαδικασίας μπορεί να αποδειχτεί από την αποτύπωσή της σε ένα διάγραμμα. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν δύο τύποι διαγραμμάτων, το $\bar{X} - s$ που χρησιμοποιείται όταν έχουμε υποομάδες και το $IX - MR$ που χρησιμοποιείται για μεμονωμένες παρατηρήσεις. Η ανάπτυξη του $IX - MR$ διαγράμματος έγινε στο κεφάλαιο της παρουσίασης των εργαλείων απεικόνισης δεδομένων και δεν θα αναλωθούμε άλλο στην επεξήγηση ή στον τρόπο κατασκευής του.

Για την καλύτερη κατανόηση του $\bar{X} - s$ διαγράμματος θα χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα μιας δειγματοληψίας που περιλαμβάνει ένα δείγμα 60 παρατηρήσεων. Το ιστόγραμμα με τις συχνότητες εμφάνισης των τιμών των παρατηρήσεων φαίνεται στο σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Ιστόγραμμα συχνοτήτων παραδείγματος

Όπως αναφέρθηκε, το διάγραμμα ελέγχου $\bar{X} - s$ λειτουργεί με υποομάδες, οπότε για το σκοπό αυτό θα χωρίσουμε τις παρατηρήσεις σε 10 υπο-ομάδες των 6 παρατηρήσεων η κάθε μια. Σημειώνεται ότι η ομαδοποίηση έγινε ορθολογικά, ώστε να υπογραμμίζονται τόσο τα βραχυπρόθεσμα όσο και τα μακροπρόθεσμα χαρακτηριστικά.

Το διάγραμμα $\bar{X} - s$ αποτελείται από δύο ξεχωριστά διαγράμματα, το διάγραμμα των μέσων τιμών \bar{X} και το διάγραμμα της τυπικής απόκλισης s , ο συνδυασμός όμως των οποίων μας δίνει τα τελικά συμπεράσματα για τη σταθερότητα της διαδικασίας. Για να κατασκευάσουμε το διάγραμμα $\bar{X} - s$ ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα χρησιμοποιώντας τους τύπους που αναφέρθηκαν στο εργαλείο «Ορθολογική Υπο-ομαδοποίηση»:

Κατασκευή διαγράμματος \bar{X}

- Αφού υπολογίσουμε τις μέσες τιμές των υπο-ομάδων \bar{X}_i για $i=1$ έως k , τις τοποθετούμε σε διάγραμμα όπου στον οριζόντιο άξονα έχει τον αύξοντα αριθμό της υπο-ομάδας και στον κάθετο την αντίστοιχη τιμή της μέσης τιμής
- Τοποθετούμε την κεντρική γραμμή που ισούται με: $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i$
- Τοποθετούμε το άνω όριο ελέγχου που ισούται με: $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \times \bar{s}$
- Τοποθετούμε το κάτω όριο ελέγχου που ισούται με: $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \times \bar{s}$

Κατασκευή διαγράμματος s

- Αφού υπολογίσουμε τις τυπικές αποκλίσεις των υποομάδων s_i για $i=1$ έως k , τις τοποθετούμε σε διάγραμμα όπου στον οριζόντιο άξονα έχει τον αύξοντα αριθμό της υπο-ομάδας και στον κάθετο την αντίστοιχη τιμή της τυπικής απόκλισης
- Τοποθετούμε την κεντρική γραμμή που ισούται με: $CL_s = \bar{s} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i$
- Τοποθετούμε το άνω όριο ελέγχου που ισούται με: $UCL_s = B_4 \times \bar{s}$
- Τοποθετούμε το κάτω όριο ελέγχου που ισούται με: $LCL_s = B_3 \times \bar{s}$

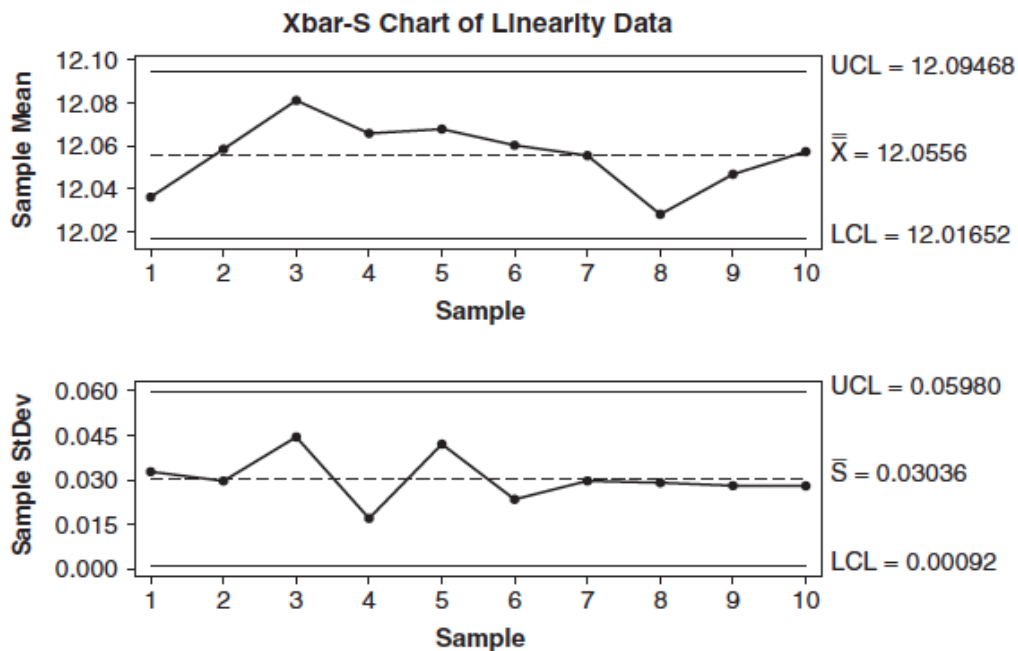
όπου οι τιμές των συντελεστών A_3, B_3, B_4 μπορούν να βρεθούν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα, μπορούμε τώρα να κατασκευάσουμε το ζητούμενο διάγραμμα, το οποίο έχει τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 3.14:

Η ανάλυση της σταθερότητας της διαδικασίας της δειγματοληψίας ξεκινάει από το διάγραμμα s και από το αν υπάρχουν σημεία εκτός των ορίων ελέγχου. Στο παράδειγμά μας όλα τα σημεία βρίσκονται στην ασφαλή περιοχή των ορίων που σημαίνει ότι το διάγραμμα s βρίσκεται υπό έλεγχο και μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό των εκτιμήσεων της τυπικής απόκλισης σε βραχυπρόθεσμο και σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα ως εξής:

$$\triangleright \hat{\sigma}_{ST} = \frac{\bar{s}}{C_4(n)}$$

$$\triangleright \hat{\sigma}_{LT} = \frac{s}{C_4(nk)}$$



Σχήμα 3.14: Διάγραμμα Ελέγχου $\bar{X} - s$ παραδείγματος

Στην περίπτωση που η διαδικασία αποδεικνυόταν ασταθής θα έπρεπε να αναζητήσουμε και να μελετήσουμε τους παράγοντες αστάθειας και αν είναι δυνατόν να τους απαλείψουμε. Όταν η διαδικασία δεν είναι σταθερή, η τυπική απόκλιση σε μακροχρόνιο επίπεδο είναι κατά πολύ μεγαλύτερη, καθώς όσο περισσότερος χρόνος περνάει τόσο μεγαλύτερη γίνεται και η επίδραση των παραγόντων αυτών στη διαδικασία. Τις περισσότερες φορές το πρόβλημα λύνεται αλλάζοντας τα κριτήρια με τα οποία έχουν χωριστεί οι υπο-ομάδες.

Για να υπολογίσουμε τώρα τις εκτιμήσεις της μέσης τιμής πρέπει το διάγραμμα \bar{X} να βρίσκεται υπό έλεγχο. Αν παρουσιαστούν χαρακτηριστικά αστάθειας, δεν μπορούμε να προχωρήσουμε αν δεν βρούμε και εξαλείψουμε το πρόβλημα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν σημεία εκτός των ορίων η εκτίμηση της μέσης τιμής υπολογίζεται ως:

$$\triangleright \hat{\mu}_{ST} = \hat{\mu}_{LT} = \bar{X}$$

Ας περάσουμε στο επόμενο διάγραμμα ελέγχου, το διάγραμμα $IX - MR$, που χρησιμοποιείται όταν δεν είναι δυνατή η υπο-ομαδοποίηση των παρατηρήσεων. Σε γενικές γραμμές η κατασκευή του είναι πιο εύκολη από εκείνη του $\bar{X} - s$ λόγω του ότι περιοριζόμαστε σε απλές αφαιρέσεις για τον υπολογισμό και τη σχεδίαση του Moving Range Chart. Επιπροσθέτως είναι λιγότερο ευαίσθητο σε τυχόν αλλαγές των παραγόντων που το επηρεάζουν και η μορφή του είναι λιγότερο κανονικοποιημένη, καθώς η κατανομή των μέσων τιμών \bar{X} προσεγγίζει καλύτερα την κανονική κατανομή από ότι οι μεμονωμένες X τιμές του $IX - MR$ διαγράμματος. Αφού κατασκευάσουμε τα δύο επιμέρους

διαγράμματα και δεν υπάρχουν στοιχεία που να υποδεικνύουν μια μη κανονική κατανομή οι εκτιμήσεις των ιδιοτήτων του πληθυσμού υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\triangleright \hat{\mu}_{ST} = \hat{\mu}_{LT} = \bar{X}$$

$$\triangleright \hat{\sigma}_{ST} = \frac{\overline{MR}}{1.128}$$

$$\triangleright \hat{\sigma}_{ST} = \frac{s}{C_4}$$

3.3.5 Στατιστικά Διαστήματα Ανοχής

Το εργαλείο της ενότητας αυτής συχνά συγχέεται με τα διαστήματα εμπιστοσύνης. Σημειώνεται ότι διάστημα εμπιστοσύνης είναι ένα εύρος αριθμών μέσα στο οποίο βρίσκεται η τιμή μιας παραμέτρου ενός πληθυσμού με πιθανότητα $100(1 - \alpha)\%$. Στον αντίποδα, στατιστικό διάστημα ανοχής (statistical tolerance interval) είναι το εύρος των αριθμών μέσα στο οποίο βρίσκεται ένα ποσοστό των μεμονωμένων παρατηρήσεων ενός πληθυσμού που ακολουθεί την κανονική κατανομή, με πιθανότητα $100(1 - \alpha)\%$. Το στατιστικό διάστημα ανοχής ορίζεται ως $(\bar{x} - k_2s, \bar{x} + k_2s)$ με τις τιμές του k_2 να βρίσκονται από τους αντίστοιχους πίνακες.

Το διάστημα αυτό προκύπτει από τα δύο επιμέρους στατιστικά όρια:

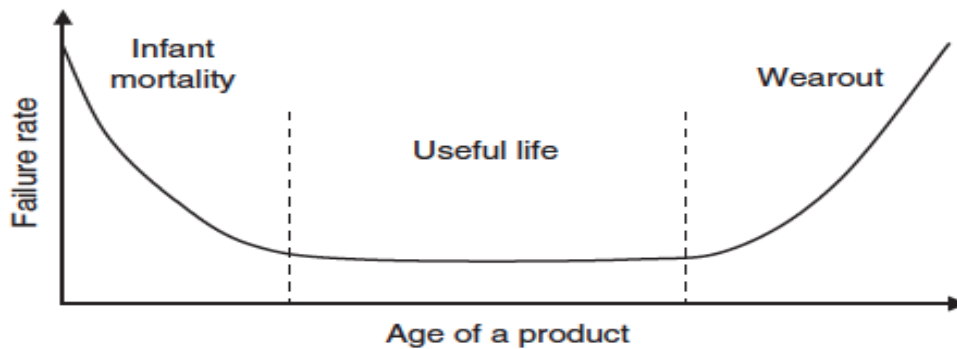
- \triangleright Το άνω στατιστικό όριο, που είναι μεγαλύτερο από ένα ποσοστό p των μεμονωμένων παρατηρήσεων ενός πληθυσμού, που ακολουθεί την κανονική κατανομή, με σιγουριά $100(1 - \alpha)\%$ και ορίζεται ως: $\bar{x} + ks$
- \triangleright Το κάτω στατιστικό όριο, που είναι μικρότερο από ένα ποσοστό p των μεμονωμένων παρατηρήσεων ενός πληθυσμού, που ακολουθεί την κανονική κατανομή, με σιγουριά $100(1 - \alpha)\%$ και ορίζεται ως: $\bar{x} - ks$

όπου οι τιμές του k υπολογίζονται από τους αντίστοιχους πίνακες.

Η χρησιμότητά τους στην εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma είναι τεράστια, καθώς με τα στατιστικά διαστήματα ανοχής μπορείς όχι μόνο να κρίνεις αν μια διαδικασία βρίσκεται μέσα στα όρια ελέγχου, αλλά και το κατά πόσο τα όρια που έχεις θέσει είναι τα σωστά. Αν λοιπόν αποδειχθεί ότι ένα μη επιτρεπτό ποσοστό βρίσκεται εκτός των ορίων, τότε τίθεται το ερώτημα της ορθότητας της επιλογής τους για τον έλεγχο της συγκεκριμένης διαδικασίας.

3.3.6 Εκτίμηση της Αξιοπιστίας με τις Κατανομές του Χρόνου Επέλευσης Βλαβών

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε τις κατανομές του χρόνου επέλευσης βλαβών, τα χαρακτηριστικά τους αλλά και τις εκτιμήσεις των μεγεθών του πληθυσμού που περιγράφουν. Γενικά ο ρυθμός επέλευσης βλαβών μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω καμπύλη σε σχήμα «μπασιέρας» (Σχήμα 3.15), σύμφωνα με την οποία ένα προϊόν στη διάρκεια της ζωής του περνάει από τρεις φάσεις:



Σχήμα 3.15: Οι τρεις φάσεις της ζωής ενός προϊόντος

- Πρώτη είναι η φάση της αρνητικής φθοράς κατά την οποία η πιθανότητα άμεσης βλάβης μειώνεται με την ηλικία. Ονομάζεται και περιοχή «βρεφικής θνησιμότητας» ή αρχικών βλαβών. Θα την συμβολίζουμε DRF (decreasing failure rate).
- Η επόμενη φάση είναι της σταθερής φθοράς όπου η πιθανότητα άμεσης βλάβης παραμένει σταθερή. Ονομάζεται και περιοχή τυχαίας θνησιμότητας ή τυχαίων βλαβών. Θα την συμβολίζουμε CRF (constant failure rate).
- Τέλος, η φάση της θετικής φθοράς κατά την οποία η πιθανότητα άμεσης βλάβης αυξάνεται με την ηλικία. Ονομάζεται και περιοχή θνησιμότητας λόγω φθοράς. Θα την συμβολίζουμε IRF (increasing failure rate).

Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι καμία γνωστή κατανομή δεν μπορεί να προσεγγίσει τη ζωή ενός προϊόντος και στις τρεις φάσεις της ζωής του. Οι περισσότερες κατανομές μπορούν να χαρακτηριστούν είτε ως DRF ή CRF ή IRF. Οι τρεις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες κατανομές περιγραφής του χρόνου επέλευσης βλαβών είναι η εκθετική κατανομή, η κατανομή Weibull και η λογαριθμοκανονική κατανομή.

Πριν περάσουμε στην περιγραφή της κάθε κατανομής, θα αναφέρουμε κάποια γενικά στοιχεία της θεωρίας της αξιοπιστίας. Ορίζεται ως:

- Αθροιστική κατανομή πιθανότητας ή αθροιστική θνησιμότητα, η συνάρτηση $F_x(t) = P[X \leq t]$. Δηλώνει την πιθανότητα ένα αντικείμενο να πάθει βλάβη εντός χρόνου t από την έναρξη χρήσης του.
- Συνάρτηση επιβίωσης (survivor function) ή συμπληρωματική συνάρτηση κατανομής ή αξιοπιστία, η συνάρτηση $R_x(t) = P[X > t] = 1 - F_x(t)$. Δηλώνει την πιθανότητα να επιβιώσει ένα αντικείμενο χωρίς βλάβη, εντός χρόνου t από την έναρξη χρήσης του.

- Ειδικός ρυθμός επέλευσης βλαβών ή υπό-συνθήκη πιθανότητα επέλευσης βλαβών ή hazard function, η συνάρτηση $h_x(t) = \frac{f_x(t)}{R_x(t)} = \frac{f_x(t)}{1-F_x(t)}$. Με άλλα λόγια, ο ειδικός ρυθμός εμφάνισης βλάβης ισούται με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας προς την αξιοπιστία.
- Mean Time To Failure (MTTF) η μέση διάρκεια ζωής ενός αντικειμένου τη στιγμή που παθαίνει βλαβή.
- b_{100p} , ο χρόνος κατά τον οποίο το 100p% του πληθυσμού των αντικειμένων αναμένεται να έχει πάθει βλάβη.

Μπορούμε τώρα να αναλύσουμε την κάθε κατανομή ξεχωριστά.

Εκθετική κατανομή

Πρόκειται για μια συνήθη συνεχή κατανομή με μοναδική παράμετρο τη λ , γνωστή και ως failure rate ή hazard rate. Χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη δεύτερη φάση της ζωής ενός αντικειμένου κατά την οποία η πιθανότητα επέλευσης βλαβών είναι σταθερή. Μια πολύ βασική ιδιότητα της εκθετικής κατανομής είναι η έλλειψη μνήμης, σύμφωνα με την οποία, ανεξάρτητα από την ηλικία ενός αντικειμένου, η πιθανότητα επέλευσης βλάβης στο μέλλον είναι η ίδια. Σημειώνεται ότι, αν δεν υπάρχουν στοιχεία που να αποτρέπουν τη χρήση της, συνιστάται να είναι η πρώτη επιλογή για την περιγραφή της ζωής ενός προϊόντος.

- PDF: $f_x(t) = \lambda e^{-\lambda t}$
- CDF: $F_x(t) = 1 - e^{-\lambda t}$
- Reliability function: $R_x(t) = e^{-\lambda t}$
- Hazard function: $h_x(t) = \lambda$
- $MTFF = \frac{1}{\lambda}$
- $b_{100p} = \frac{-\ln(1-p)}{\lambda}$

Κατανομή Weibull

Πρόκειται για μια γενικευμένη μορφή της εκθετικής κατανομής και έχει δύο παραμέτρους, την παράμετρο κλίμακας η (scale) που ονομάζεται και χαρακτηριστική ζωή και την παράμετρο μορφής β (shape). Η πρώτη παράμετρος δηλώνει ότι, όταν ο χρόνος επέλευσης βλαβών σε ένα πληθυσμό περιγράφεται από την κατανομή Weibull, τη χρονική στιγμή η το $(1 - e^{-1})\% = 63.2\%$ του πληθυσμού θα έχει ήδη υποστεί βλάβη. Η δεύτερη παράμετρος δηλώνει την φάση της ζωής του προϊόντος που περιγράφει η κατανομή Weibull. Δηλαδή, όταν $\beta < 1$ είμαστε στην πρώτη φάση όπου η πιθανότητα άμεσης βλάβης μειώνεται με την ηλικία (DRF), όταν $\beta = 1$ η κατανομή ταυτίζεται με την εκθετική (CRF) και όταν $\beta > 1$ βρισκόμαστε στην τρίτη φάση όπου η πιθανότητα άμεσης βλάβης

αυξάνεται με την ηλικία (IRF). Για το λόγο αυτό η κατανομή Weibull χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών περιγραφής της αξιοπιστίας.

- PDF: $f_x(t) = \beta\eta^\beta t^{\beta-1} e^{-(\eta t)^\beta}, t \geq 0$
- CDF: $F_x(t) = 1 - e^{-(\eta t)^\beta}$

Λογαριθμοκανονική Κατανομή

Η κατανομή της τυχαίας μεταβλητής $Y = e^X$ καλείται λογαριθμοκανονική κατανομή με παραμετρους μ, σ^2 . Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των IRF μοντέλων.

- PDF: $f_x(t) = \frac{1}{t\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}, t \geq 0$

Αφού αναλύθηκαν οι βασικές κατανομές που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, μπορούμε να περάσουμε στη βασική μεθοδολογία. Πρώτα, πρέπει να γίνει η επιλογή της κατανομής που προσεγγίζει καλύτερα το ρυθμό επέλευσης βλαβών της διαδικασίας. Έπειτα, αν επιλεγεί η κατανομή Weibull πρέπει να ερευνησουμε αν μπορεί να αντικατασταθεί με την απλούστερή της, την εκθετική. Τέλος, εφαρμόζουμε τους αντίστοιχους τύπους εκτίμησης της αξιοπιστίας της κατανομής που επιλέχθηκε. Πρέπει να σημειωθεί ότι για να επιτευχθεί ο υπολογισμός αυτός πρέπει να έχουμε στοιχεία για το χρόνο βλάβης όλων των αντικειμένων του πληθυσμού, πράγμα που τις περισσότερες φορές είναι αδύνατο. Μια επιχείρηση με εργοστάσιο παραγωγής τεμαχίων για παράδειγμα δεν μπορεί να έχει στοιχεία για το πότε σταμάτησε να λειτουργεί το κάθε μηχάνημα, καθώς κάποια από αυτά έχουν χρόνο ζωής μεγαλύτερο και από αυτόν της ίδιας της επιχείρησης. Για το σκοπό αυτό, πιο συχνά χρησιμοποιείται το μοντέλο εκτίμησης της αξιοπιστίας όπου παρουσιάζεται μηδενικός αριθμός βλαβών στα αντικείμενα του πληθυσμού και παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Οι σχέσεις του μοντέλου των μηδενικών βλαβών, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εκτίμησης της αξιοπιστίας είναι διαφορετικές για την εκθετική και την κατανομή Weibull. Παρατίθεται πρώτα η μεθοδολογία που ακολουθείται στην εκθετική κατανομή.

❖ Εκθετική κατανομή

- Έστω T η μεταβλητή που συμβολίζει το συνολικό χρόνο διάρκειας του ελέγχου της διαδικασίας των n αντικειμένων του πληθυσμού.
- Αν το αντικείμενο i δεν υπέστη βλάβη για χρόνο t_i , ο συνολικός χρόνος θα ισούται με:
$$T = \sum_{i=1}^n t_i.$$
- Αν σημειώθηκαν μηδενικές βλάβες στο χρόνο T , τότε:
 - $\hat{\lambda} = 0$
 - $\widehat{MTTF} = \infty$

- Το άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το λ :

$$U_\lambda = -\frac{\ln \alpha}{T}$$

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το MTTF:

$$L_{MTTF} = \frac{1}{U_\lambda}$$

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το b_{100p} :

$$L_{b_{100p}} = \frac{-\ln(1 - p)}{U_\lambda}$$

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για τη συνάρτηση επιβίωσης σε χρόνο t :

$$L_{R(t)} = e^{-U_\lambda t}$$

❖ Κατανομή Weibull

- Έστω T η μεταβλητή που συμβολίζει το συνολικό χρόνο διάρκειας του ελέγχου της διαδικασίας των n αντικειμένων του πληθυσμού.

- Έστω ότι γνωρίζουμε την παράμετρο μορφής β .

- Αν το αντικείμενο i δεν υπέστη βλάβη για χρόνο t_i , ο συνολικός χρόνος θα ισούται με:

$$T_\beta = \sum_{i=1}^n t_i^\beta.$$

- Το άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για τη χαρακτηριστική ζωή η :

- $L_\eta = \left(\frac{T_\beta}{-\ln \alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}$

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το MTTF:

- $L_{MTTF} = \left(\frac{T_\beta}{-\ln \alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}} \times \Gamma \times \left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)$

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το b_{100p} :

- $L_{b_{100p}} = \left(\frac{\ln(1-p)T_\beta}{\ln \alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}$

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για τη συνάρτηση επιβίωσης σε χρόνο t :

- $L_{R(t)} = e^{-\left(\frac{t^\beta \ln \alpha}{T_\beta}\right)}$

3.3.7 Εκτίμηση της Πιθανότητας Εμφάνισης Ελαττωματικών Προϊόντων π , της Διωνυμικής Κατανομής

Σε πολλές εφαρμογές, της ανάλυσης Six Sigma, καλούμαστε να υπολογίσουμε την πιθανότητα εμφάνισης ελαττωματικών προϊόντων, εκείνων δηλαδή που βρίσκονται εκτός των προδιαγραφών. Στην διωνυμική κατανομή που αναλύθηκε στην ενότητα της περιγραφής της τυχαίας συμπεριφοράς, η

πιθανότητα αυτή συμβολίζεται με π και είναι σταθερή. Στο εργαλείο αυτό θα περιγράψουμε το πως μπορούμε να εκτιμήσουμε σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης την πιθανότητα αυτή π .

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες κατανομές που ήταν συνεχείς, η δυωνυμική είναι μια διακριτή κατανομή που δεν περιλαμβάνει μετρήσεις μεγεθών αλλά χαρακτηριστικών. Γενικά, όταν έχουμε το δικαίωμα επιλογής, συνιστάται η χρησιμοποίηση συνεχών κατανομών τυχαίων μεταβλητών, καθώς έτσι μπορούμε να φτάσουμε στο επιθυμητό επίπεδο ποιότητας με ένα μικρότερο δείγμα.

Η εκτίμηση λοιπόν της πιθανότητας π δίνεται από τη σχέση: $\hat{\pi} = p = \frac{x}{n}$, όπου με n συμβολίζεται το μέγεθος του δείγματος και με x ο αριθμός των ελαττωματικών σε αυτό. Το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης υπολογίζεται από τις σχέσεις:

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για την πιθανότητα π :

$$L_{\pi} = p - Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για την πιθανότητα π :

$$U_{\pi} = p + Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

όπου η τιμή της συνάρτησης $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ μπορεί να υπολογιστεί από τους αντίστοιχους πίνακες.

Όταν η πιθανότητα π είναι μεταξύ του 0.1 και του 0.9, η εκτιμηθείσα τιμή είναι πολύ κοντά στην πραγματική. Από την άλλη πλευρά, όταν $\chi = 0$, δηλαδή όταν δεν βρεθεί κανένα ελαττωματικό αντικείμενο στο δείγμα, η εκτίμηση της πιθανότητας θα είναι προφανώς: $\hat{\pi} = p = 0$. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζουμε μόνο το άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης ως εξής:

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το π όταν $\chi = 0$:

$$U_{\pi} = 1 - \alpha^{\frac{1}{n}}$$

3.3.8 Εκτίμηση της Μέσης Τιμής του Αναμενόμενου Αριθμού Ελαττωμάτων λ , της Κατανομής Poisson

Στο κεφάλαιο της περιγραφής της τυχαίας συμπεριφοράς, μελετήσαμε την κατανομή Poisson σαν εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma. Η κατανομή Poisson λοιπόν, υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης ακριβώς x ελαττωματικών αντικειμένων σε ένα δείγμα, όταν είναι γνωστή η μέση τιμή του αριθμού των αναμενόμενων ελαττωμάτων σε αυτό, έστω λ . Η εκτίμηση αυτή υπολογίζεται από τη σχέση: $\hat{\lambda} = \frac{x}{n}$ όπου με n συμβολίζεται το μέγεθος του δείγματος και με x ο αναμενόμενος αριθμός ελαττωμάτων σε αυτό. Γνωρίζοντας το μέγεθος του δείγματος, μπορεί να υπολογιστεί και το πραγματικό διάστημα εμπιστοσύνης της εκτίμησης του λ .

- Πραγματικό κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το λ :

$$L_{\lambda} = \frac{X_{\alpha/2}^2}{2n}$$

- Πραγματικό άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το λ :

$$U_{\lambda} = \frac{X_{1-\alpha/2}^2}{2n}$$

όπου η τιμή της συνάρτησης $X_{\alpha, \nu}^2$ μπορεί να υπολογιστεί από τους αντίστοιχους πίνακες.

Όπως είναι κατανοητό όμως, το μέγεθος του δείγματος τις περισσότερες φορές είτε δεν είναι διαθέσιμο, είτε καλούμαστε να το βρούμε εμείς. Αν υποθέσουμε ότι η κατανομή του $\hat{\lambda}$ προσεγγίζει την κανονική, μπορούμε να χρησιμοποιούμε τους παρακάτω τύπους για να υπολογίσουμε ένα πιθανό διάστημα εμπιστοσύνης.

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για την πιθανότητα π :

$$L_{\lambda} = \hat{\lambda} - Z_{\alpha} \sqrt{\hat{\lambda}}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το MTTF:

$$U_{\lambda} = \hat{\lambda} + Z_{\alpha} \sqrt{\hat{\lambda}}$$

όπου η τιμή της συνάρτησης Z_{α} μπορεί να υπολογιστεί από τους αντίστοιχους πίνακες.

Αξίζει να σημειωθεί, πως όταν είναι δυνατός ο υπολογισμός και των δύο διαστημάτων εμπιστοσύνης, φυσικά και επιλέγεται το πραγματικό έναντι του πιθανολογούμενου. Υπάρχουν περιπτώσεις που καλούμαστε να μετρήσουμε ελαττώματα σε περισσότερα του ενός δείγματα τα οποία μάλιστα είναι και διαφορετικού μεγέθους. Στην περίπτωση αυτή, η εκτίμηση της παραμέτρου λ υπολογίζεται από τη σχέση $\hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$ και το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης από τις σχέσεις:

- Κάτω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το λ :

$$L_{\lambda} = \frac{X_{\alpha/2}^2 \sum X_i}{2 \sum n}$$

- Άνω όριο ενός $100(1 - \alpha)\%$ διαστήματος εμπιστοσύνης για το λ :

$$U_{\lambda} = \frac{X_{1-\alpha/2}^2 (\sum X_i + 1)}{2 \sum n}$$

όπου η τιμή της συνάρτησης $X_{\alpha, \nu}^2$ μπορεί να υπολογιστεί από τους αντίστοιχους πίνακες.

3.3.9 Διαγράμματα Ελέγχου np, p, c, u

Στην ενότητα αυτή, θα παρουσιάσουμε τέσσερα πανομοιότυπα διαγράμματα ελέγχου. Τα διαγράμματα np και p χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της σταθερότητας μιας διαδικασίας ανάλογα με τον αριθμό των ελαττωματικών προϊόντων που παρατηρούνται στα δείγματα, ενώ τα διαγράμματα c

και u για τον έλεγχο της σταθερότητας μιας διαδικασίας ανάλογα με το ρυθμό εμφάνισης ελαττωμάτων στα δείγματα αυτά. Μόνο μια σταθερή διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη DFSS ανάλυση για την διενέργεια προβλέψεων των μεγεθών που περιλαμβάνει.

Control Chart np

Το συγκεκριμένο διάγραμμα ελέγχου απαιτεί την ύπαρξη k ορθολογικών υπο-ομάδων (rational subgroups) ίσου μεγέθους n και μετράει τον αριθμό των ελαττωματικών προϊόντων σε κάθε υπο-ομάδα. Για την κατασκευή του, στον οριζόντιο άξονα βάζουμε τον αύξοντα αριθμό της υπο-ομάδας ενώ στον κάθετο τον αριθμό των ελαττωματικών προϊόντων np της ομάδας αυτής. Η κεντρική γραμμή, καθώς και τα όρια ελέγχου κατασκευάζονται σύμφωνα με τις σχέσεις:

- $CL_{np} = \bar{np} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (np)_i$
- $UCL_{np} = \bar{np} + 3 \sqrt{\bar{np} \left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)}$
- $LCL_{np} = \bar{np} - 3 \sqrt{\bar{np} \left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)}$

Control Chart p

Το επόμενο διάγραμμα χρησιμοποιείται έναντι του np που περιγράφηκε προηγουμένως όταν οι υπο-ομάδες δεν περιέχουν τον ίδιο αριθμό αντικειμένων. Έχουμε λοιπόν k υπο-ομάδες των n_i αντικειμένων η κάθε μια για i από 1 έως k . Για την κατασκευή του, στον οριζόντιο άξονα βάζουμε τον αύξοντα αριθμό της υπο-ομάδας, ενώ στον κάθετο τον αριθμό των ελαττωματικών προϊόντων np της ομάδας αυτής διαιρεμένο με το μέγεθος n_i της υποομάδας. Η κεντρική γραμμή καθώς και τα όρια ελέγχου κατασκευάζονται σύμφωνα με τις σχέσεις:

- $CL_p = \bar{p} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k p_i$
- $UCL_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$
- $LCL_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$

Από τις σχέσεις υπολογισμού των ορίων ελέγχου βλέπουμε ότι δεν σχηματίζουν μια ευθεία γραμμή, καθώς σε κάθε υπο-ομάδα διαμορφώνονται διαφορετικά όρια ανάλογα με το μέγεθος της n_i .

Control Chart c

Το διάγραμμα ελέγχου c χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της σταθερότητας μιας διαδικασίας Poisson και απαιτεί την ύπαρξη k ορθολογικών υπο-ομάδων (rational subgroups) ίσου μεγέθους n και μετράει τον αριθμό ελαττωμάτων σε κάθε υπο-ομάδα. Για την κατασκευή του, στον οριζόντιο άξονα βάζουμε τον αύξοντα αριθμό της υπο-ομάδας, ενώ στον κάθετο τον αριθμό των ελαττωμάτων c της ομάδας αυτής. Η κεντρική γραμμή καθώς και τα όρια ελέγχου κατασκευάζονται σύμφωνα με τις σχέσεις:

- $CL_c = \bar{c} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k c_i$
- $UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$
- $LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$

Control Chart u

Το επόμενο διάγραμμα χρησιμοποιείται έναντι του c που περιγράφηκε προηγουμένως όταν οι υπο-ομάδες δεν περιέχουν τον ίδιο αριθμό αντικειμένων. Έχουμε λοιπόν k υπο-ομάδες των n_i αντικειμένων η κάθε μια για i από 1 έως k . Για την κατασκευή του, στον οριζόντιο άξονα βάζουμε τον άξοντα αριθμό της υπο-ομάδας, ενώ στον κάθετο, τον αριθμό των ελαττωμάτων της ομάδας αυτής διαιρεμένο με το μέγεθος n_i της υπο-ομάδας, δηλαδή $u_i = \frac{c_i}{n_i}$. Η κεντρική γραμμή, καθώς και τα όρια ελέγχου κατασκευάζονται σύμφωνα με τις σχέσεις:

- $CL_u = \bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$
- $UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$
- $LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$

Από τις σχέσεις υπολογισμού των ορίων ελέγχου βλέπουμε ότι δεν σχηματίζουν μια ευθεία γραμμή, καθώς σε κάθε υποομάδα διαμορφώνονται διαφορετικά όρια ανάλογα με το μέγεθος της n_i .

3.4 Επιλεγμένα Εργαλεία για την Εφαρμογή της Προσέγγισης DMAIC

3.4.1 Τεχνικές Συλλογής Δεδομένων για της Ανάγκες των Καταναλωτών και των Συνεργαζόμενων Επιχειρήσεων (Voice Of Customer and Voice Of Business Gathering Techniques)

Ίσως το πρωταρχικό εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma, είναι η συλλογή των δεδομένων για τις απαιτήσεις των οντοτήτων που επηρεάζουν την λειτουργία της επιχείρησης και που θα αξιοποιηθούν στην συνέχεια κατά την εφαρμογή των εργαλείων, σε όλες της φάσεις της ανάλυσης Six Sigma. Τα δεδομένα VOC και VOB, όπως θα αναφέρονται στο εξής σε όλη την έκταση της διπλωματικής εργασίας, αποτελούν την κινητήριου δύναμη της ανάλυσης.

Όσο πιο διεξοδικά εφαρμοστεί το συγκεκριμένο εργαλείο τόσο πιο αποδοτική θα είναι η εφαρμογή των υπολοίπων εργαλείων και τόσο τα αποτελέσματά τους θα προσεγγίζουν την πραγματικότητα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τυχόν διαστρέβλωση της αλήθειας μπορεί μόνο να βλάψει την επιχείρησή μας, καθώς τα συμπεράσματα και οι διορθωτικές κινήσεις της ανάλυσης Six Sigma θα βασίζονταν σε ψευδή στοιχεία. Εύκολα μπορεί να αναλογιστεί κανείς, την καταστροφική συνέπεια της απόφασης υιοθέτησης ενός επενδυτικού πλάνου για την βελτίωση μιας διαδικασίας, η οποία όμως ικανοποιεί ένα ασήμαντο για τους καταναλωτές κριτήριο. Το ίδιο δαπανηθέν κεφάλαιο θα μπορούσε να έχει επενδυθεί

στη βελτίωση της διαδικασίας που ικανοποιεί ένα από τα Κρίσιμα για Την Ποιότητα Χαρακτηριστικά (Critical To Quality Characteristics), πετυχαίνοντας σαφώς καλύτερα αποτελέσματα.

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου απαιτεί γνώσεις δειγματοληψίας για την συλλογή των δεδομένων αλλά και γνώσεις στατιστικής για την ορθή αξιολόγησή τους. Ο υπεύθυνος εφαρμογής του εργαλείου, πρέπει δώσει μεγάλη προσοχή στην επιλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων και να μην προβαίνει σε γενικότητες. Ακόμα και αν ένα CTQ χαρακτηριστικό ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας είναι προφανές, για να αξιοποιηθεί το στοιχείο αυτό από ένα εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma θα πρέπει να έχει προκύψει από την διεξαγωγή κάποιας μελέτης.

Οι βασικότερες Τεχνικές Συλλογής VOC/VOB δεδομένων είναι:

- Άμεση επικοινωνία μέσω συνέντευξης
- Τηλεφωνική επικοινωνία και διεξαγωγή στατιστικής έρευνας
- Διεξαγωγή διαδικτυακής έρευνας μέσω μιας φόρμας συμπλήρωσης στοιχείων
- Άντληση στοιχείων από υπάρχουσα βάση δεδομένων
- Προγραμματισμός ομαδικών συζητήσεων μεταξύ της επιχείρησης και των ενδιαφερόμενων οντοτήτων

Ο υπεύθυνος εφαρμογής του εργαλείου μπορεί να επιλέξει ανάλογα με τις ανάγκες της επιχείρησής του, τον τρόπο με τον οποίο θα συλλέξει τα απαραίτητα δεδομένα. Είναι προφανές, ότι κάθε τεχνική έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της και δεν υπάρχει κάποια μέθοδος που να ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες. Για παράδειγμα, ο προγραμματισμός ομαδικών συζητήσεων, είναι ο μόνος άμεσος τρόπος καταγραφής των αντικρουόμενων απόψεων και αναγκών όλων των ομάδων που παρευρίσκονται, αλλά από την άλλη, είναι μια τεχνική που απαιτεί πολύ καλή οργάνωση από την πλευρά της επιχείρησης και είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα διαδικασία.

3.4.2 Αντιληπτό Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά (Market Perceived Quality Profile)

Μια από τις σημαντικότερες κατηγορίες εργαλείων της ανάλυσης Six Sigma είναι εκείνη της Ανταγωνιστικής Θέσης και Αγοράς (Competitive Marketplace and Positioning). Ένα από τα εργαλεία που υπάρχουν στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι και το Αντιληπτό Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά που έχει σαν στόχο τον καθορισμό των βασικών χαρακτηριστικών των προϊόντων και των υπηρεσιών που τα καθιστούν ανταγωνιστικά. Επιπροσθέτως, μέσω του εργαλείου MPQP υπολογίζεται και το χάσμα που δημιουργείται μεταξύ της επιχείρησης στην οποία εφαρμόζεται και τους ανταγωνιστές της, όσον αφορά την ικανοποίηση των καταναλωτών με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του εργαλείου είναι η συλλογή των δεδομένων Voice Of Customer, ώστε να αναγνωριστούν και να ταξινομηθούν οι απαιτήσεις των καταναλωτών. Για ευκολία κατασκευής των ερωτηματολογίων στο στάδιο αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως



κριτήρια των καταναλωτών οι Διαστάσεις Ποιότητας του David Garvin για τα προϊόντα και του Berry για τις υπηρεσίες.

Όσον αφορά τα προϊόντα που παράγουν οι επιχειρήσεις, υπάρχουν οκτώ βασικά κριτήρια, τα οποία είναι:

- Η Απόδοσή τους
- Τα Χαρακτηριστικά τους
- Η Αξιοπιστία τους
- Η Συμμόρφωσή τους με τις προδιαγραφές
- Η Ανθεκτικότητά τους
- Η Δυνατότητα Επισκευής τους
- Η Αισθητική τους
- Η Αντιληπτή Ποιότητά τους.

Όμοια, όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών υπάρχουν 10 βασικά κριτήρια σύμφωνα με τον Berry, τα οποία είναι:

- Η Αξιοπιστία της επιχείρησης
- Η Χρονική Ανταπόκριση
- Η Ανταγωνιστικότητα
- Η Πρόσβαση
- Η Ειλικρίνεια
- Η Ευγένεια
- Η Επικοινωνία
- Η Αξιοπιστία του προσωπικού της επιχείρησης
- Η Ασφάλεια
- Η Κατανόηση
- Η Αισθητική

Το τελικό αποτέλεσμα του εργαλείου MPQP είναι ο υπολογισμός του χάσματος της ποιότητας που παρουσιάζει η επιχείρησή μας σε κάθε κριτήριο. Η πρώτη σύγκριση γίνεται με τους ανταγωνιστές που έλαβαν την υψηλότερη βαθμολογία στον Βαθμό Απόδοσης Ποιότητας κάθε κριτηρίου, ενώ η δεύτερη με τον ανταγωνιστή που κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Το αποτέλεσμα του υπολογισμού του χάσματος είναι είτε μηδέν που σημαίνει ότι η επιχείρησή μας κρατάει τα ηνία του συγκεκριμένου εργαλείου, είτε αρνητικό που σημαίνει ότι κάποιος ανταγωνιστής υπερέχει. Έπειτα από τους υπολογισμούς, μπορεί να γίνει ταξινόμηση των κριτηρίων με βάση την απόλυτη τιμή του χάσματος, καθώς τα κριτήρια με τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή είναι εκείνα στα οποία η επιχείρησή μας μειονεκτεί περισσότερο.

Η εφαρμογή του παρόντος εργαλείου διεξάγεται με την συμπλήρωση των δύο πινάκων που παρατίθενται στην συνέχεια (Πίνακας 3.2 και Πίνακας 3.3). Ακολουθεί η διαδικασία περιγραφής των βημάτων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της φόρμας του εργαλείου MPQP.

1. Η επιλογή του τμήματος της αγοράς στο οποίο θα γίνει η εφαρμογή του εργαλείου.
2. Η εύρεση των m ανταγωνιστικών επιχειρήσεων του κλάδου με βάση τους οποίους θα υπολογιστεί το χάσμα για κάθε κριτήριο.
3. Η εκτίμηση του ποσοστού του μεριδίου της αγοράς που αντιστοιχεί σε κάθε έναν από τους ανταγωνιστές.
4. Ο υπολογισμός του συγκριτικού δείκτη τιμών για κάθε έναν από τους ανταγωνιστές, αν η επιχείρησή μας βαθμολογείται με το 100%.
5. Ο υπολογισμός του συγκριτικού δείκτη άμεσου κόστους για κάθε έναν από τους ανταγωνιστές, αν η επιχείρησή μας βαθμολογείται με το 100%.
6. Η σύγκριση του επιπέδου ποιότητας και της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας ανάμεσα στους ανταγωνιστές, καταγράφοντας αν έχουν ανώτερο, κατώτερο ή ίσο επίπεδο.
7. Η επιλογή των n κριτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του χάσματος
8. Ο υπολογισμός της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου με βάση τα δεδομένα VOC.
9. Ο υπολογισμός του μεριδίου σημαντικότητας του κάθε κριτηρίου ως εξής:

$$\text{Μερίδιο Σημαντικότητας Κριτηρίου} = \frac{\text{Βαρύτητα Κριτηρίου}}{\text{Άθροισμα της Βαρύτητας όλων των Κριτηρίων}}$$

10. Η εκτίμηση του Βαθμού Απόδοσης Ποιότητας κάθε επιχείρησης για κάθε κριτήριο με κλίμακα από 1 έως 10. Συνιστάται, στο ίδιο κριτήριο να μην τοποθετείται ο ίδιος βαθμός σε δύο επιχειρήσεις για την ευκολία των συγκρίσεων.
11. Ο υπολογισμός του συντελεστή βαρύτητας κάθε κριτηρίου για την δική μας επιχείρηση από τη σχέση:

$$\begin{aligned} & (\text{Συντελεστής Βαρύτητας Επιχείρησης}) \\ & = (\text{Μερίδιο Σημαντικότητας}) \times (\text{Βαθμός Απόδοσης Ποιότητας}) \end{aligned}$$

12. Ο υπολογισμός του συντελεστή βαρύτητας του Κατόχου Μεγαλύτερου Βαθμού Απόδοσης Ποιότητας από τη σχέση:

$$\begin{aligned} & (\text{Συντελεστής Βαρύτητας Κατόχου ΜΒΑΠ}) \\ & = (\text{Μερίδιο Σημαντικότητας}) \\ & \times (\text{Βαθμός Απόδοσης Ποιότητας Κατόχου ΜΒΑΠ}) \end{aligned}$$



13. Ο υπολογισμός του συντελεστή βαρύτητας του Κατόχου του Μεγαλύτερου Μεριδίου Αγοράς από τη σχέση:

$$\begin{aligned} & (\text{Συντελεστής Βαρύτητας Κατόχου MMA}) \\ & = (\text{Μερίδιο Σημαντικότητας}) \\ & \times (\text{Βαθμός Απόδοσης Ποιότητας Κατόχου MMA}) \end{aligned}$$

14. Ο υπολογισμός του χάσματος μεταξύ της επιχείρησής μας και του κατόχου του Μεγαλύτερου Βαθμού Απόδοσης από τη σχέση:

$$\begin{aligned} & (\text{Χάσμα ΜΒΑΠ}) \\ & = (\text{Συντελεστής Βαρύτητας Επιχείρησης}) \\ & - (\text{Συντελεστής Βαρύτητας Κατόχου ΜΒΑΠ}) \end{aligned}$$

15. Ο υπολογισμός του χάσματος μεταξύ της επιχείρησής μας και του κατόχου του Μεγαλύτερου Μεριδίου Αγοράς από τη σχέση:

$$\begin{aligned} & (\text{Χάσμα MMA}) \\ & = (\text{Συντελεστής Βαρύτητας Επιχείρησης}) \\ & - (\text{Συντελεστής Βαρύτητας Κατόχου ΜΒΑΠ}) \end{aligned}$$

16. Η εξαγωγή συμπερασμάτων ανάλογα με τα αποτελέσματα των στηλών του χάσματος.



Πίνακας Θέσης Ανταγωνιστών					
Τμήμα Αγοράς					
	Η Επιχείρησή μας	Ανταγωνιστής 1	Ανταγωνιστής 2	...	Ανταγωνιστής m
Μερίδιο Αγοράς (%)					
Δείκτης Τιμών (σε σύγκριση με την Επιχείρησή μας)					
Δείκτης Άμεσου Κόστους (σε σύγκριση με την Επιχείρησή μας)					
Επίπεδο ποιότητας και χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας (Ανώτερο-Ίσο-Κατώτερο)					

Πίνακας 3.2: Ανάλυση Ανταγωνιστών

Market Perceived Quality Profile												
Βασικά κριτήρια των καταναλωτών	Σχετική σημαντικότητα		Βαθμός Απόδοσης Ποιότητας (1-10)					Συντελεστές βαρύτητας			Χάσμα της Επιχείρησής μας και ΜΒΑΠ	Χάσμα της Επιχείρησής μας και ΜΜΑ
	Βαρύτητα Κριτηρίων (1-100)	Μερίδιο Σημαντικότητας	Η Επιχείρησή μας	Ανταγωνιστής 1	Ανταγωνιστής 2	...	Ανταγωνιστής m	Η Επιχείρησή μας	Βέλτιστη Ποιότητα Κριτηρίου	Κάτοχος Μεγαλύτερου Μεριδίου Αγοράς		
Κριτήριο 1												
Κριτήριο 2												
Κριτήριο 3												
...												
Κριτήριο n												
Σύνολο												

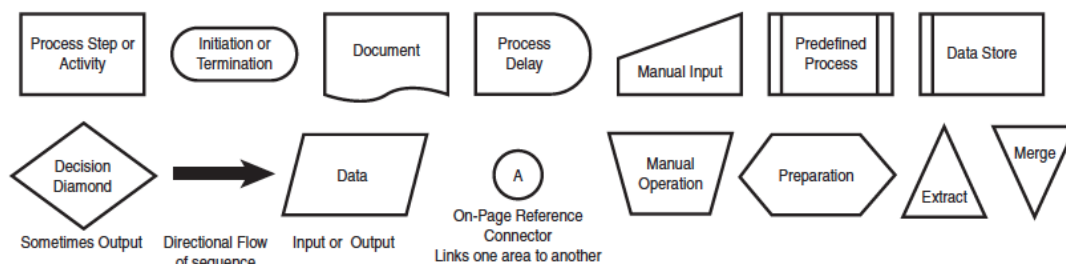
Πίνακας 3.3: Υπολογισμός Χάσματος

3.4.3 Χάρτης Διαδικασίας (Process Map)

Ένα ακόμη πρωταρχικό εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma είναι η κατασκευή του χάρτη των διαδικασιών, που εντάσσεται στην κατηγορία της Αξιολόγησης των Διαδικασιών. Σκοπός του συγκεκριμένου εργαλείου είναι ο διαχωρισμός και η ανάλυση των επιμέρους διεργασιών που συνθέτουν μια πολύπλοκη διαδικασία. Η μελέτη των επιμέρους διεργασιών λοιπόν θα συμβάλλει στην βελτίωση τόσο της λειτουργίας της σύνθετης διαδικασίας όσο και της εποπτείας της.

Με τον τρόπο αυτό, μπορεί κανείς να διακρίνει τις διεργασίες που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα περιθώρια βελτίωσης, εκείνες που δεν προσδίδουν αξία στο προϊόν και πρέπει να περιοριστούν, αλλά και εκείνες που συμβάλλουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην ικανοποίηση των CTQ χαρακτηριστικών.

Η κατασκευή του Χάρτη Διαδικασίας γίνεται με κάποιο από τα πολλά είδη διαγραμμάτων ροής (Flowcharts) ανάλογα με τον τύπο της υπό μελέτη διαδικασίας, αλλά και την ροή των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών. Ανεξαρτήτως της μεθόδου που θα επιλεγεί, οι κανόνες κατασκευής των διαγραμμάτων ροής παραμένουν κοινοί. Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για κάθε διαφορετική ενέργεια, φαίνονται παρακάτω.



Σχήμα 3.16: Σύμβολα Διαγράμματος Ροής

3.4.4 Οι Πέντε Δυνάμεις του Porter (Porter's Five Forces)

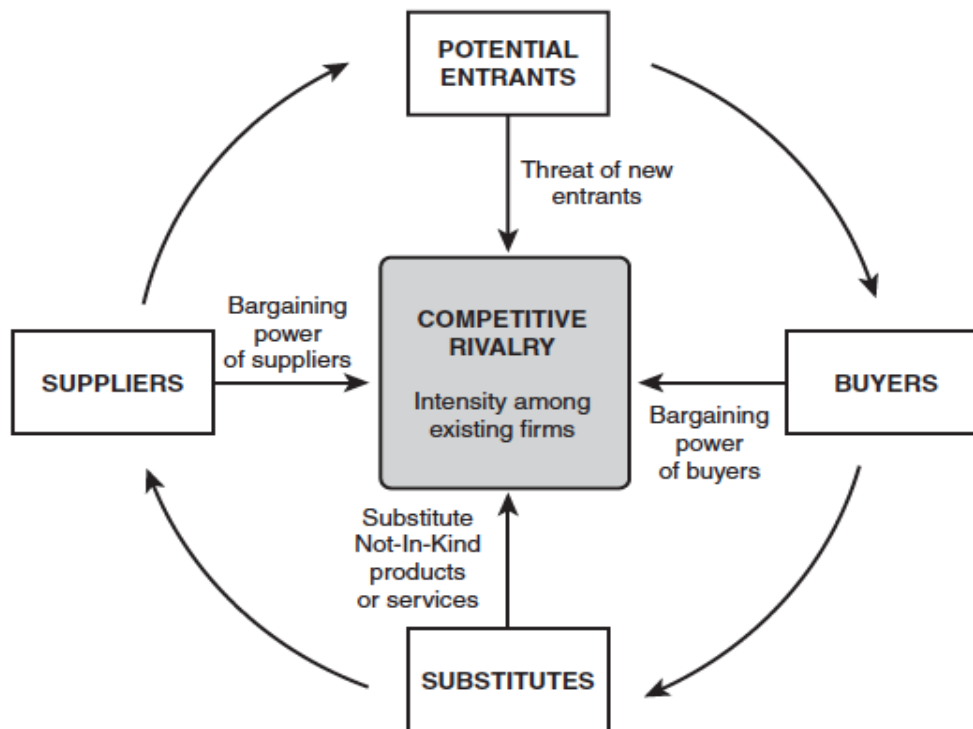
Επόμενο εργαλείο της κατηγορίας Ανταγωνιστική Θέσης και Αγορά (Competitive Marketplace and Positioning) που θα αναπτυχθεί είναι Οι Πέντε Δυνάμεις του Porter. Το εργαλείο αυτό εφαρμόζεται σε όλους τους τομείς της Διοίκησης των Επιχειρήσεων, καθώς αποτελεί το αρχικό στάδιο του εντοπισμού της θέσης της επιχείρησης στον ανταγωνιστικό χάρτη.

Στην ανάπτυξη του εργαλείου ερευνώνται οι πέντε συνιστώσες με την μεγαλύτερη επιρροή στην επιχείρησή μας. Οι πέντε συνιστώσες που πρέπει να μελετηθούν είναι:

- 1) Η απειλή εισόδου νέων ανταγωνιστών (Potential Entrants)
- 2) Η διαπραγματευτική δύναμη των αγοραστών (Buyers)
- 3) Η απειλή υποκατάστατων προϊόντων ή υπηρεσιών (Substitutes)
- 4) Η διαπραγματευτική δύναμη των προμηθευτών (Suppliers)

5) Η αντιπαλότητα μεταξύ των υφιστάμενων επιχειρήσεων του κλάδου (Competitive Rivalry)

Οι συνιστώσες αυτές είναι αλληλένδετες μεταξύ τους, καθώς οι τέσσερις πρώτες συνδέονται μεταξύ τους κυκλικά, ενώ η κάθε μια συνδέεται επίσης και με την συνιστώσα της αντιπαλότητας μεταξύ των υφιστάμενων επιχειρήσεων του κλάδου. Η περιγραφή των συσχετίσεων αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.17: Η αλληλεπίδραση των Πέντε Δυνάμεων του Porter

3.4.5 Ανάλυση Προτερημάτων Αδυναμιών Ευκαιριών-Απειλών (Strengths Weaknesses Opportunities Threats Analysis)

Επόμενο εργαλείο της κατηγορίας Ανταγωνιστή Θέση και Αγορά (Competitive Marketplace and Positioning) που θα αναπτυχθεί είναι η Ανάλυση Προτερημάτων Αδυναμιών Ευκαιριών Απειλών, ή αλλιώς η ανάλυση SWOT. Ο σκοπός που επιτελεί το συγκεκριμένο εργαλείο είναι ο καθορισμός των δυνατοτήτων μιας επιχείρησης σε σχέση με τις ανταγωνιστικές της, καθώς και η εύρεση της ισορροπίας μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών παραγόντων που επιδρούν σε αυτή.

Τα παράγωγα αποτελέσματα μιας τέτοιας ανάλυσης μπορεί να έχουν μόνο θετικό αντίκτυπο στην οργάνωση της επιχείρησης, καθώς όχι μόνο τονίζονται τα πλεονεκτήματά της αλλά υπογραμμίζονται και οι τομείς στους οποίους υστερεί έναντι των ανταγωνιστών της. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τους παράγοντες του εσωτερικού περιβάλλοντος της επιχείρησης και προκύπτουν ύστερα από τη σύγκριση με τις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις του κλάδου.



Το δεύτερο κομμάτι της ανάλυσης SWOT περιλαμβάνει την καταγραφή των συνθηκών που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον της επιχείρησης, δηλαδή την επισήμανση τυχόν ευκαιριών που διακρίνονται και πρέπει να εκμεταλλευτεί, αλλά και την μελέτη των πιθανών απειλών, από τις οποίες πρέπει να προστατευτεί. Το εργαλείο αυτό είναι λοιπόν το πρώτο στάδιο που ακολουθείται για τον εντοπισμό των προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν στις διάφορες λειτουργίες της επιχείρησης και είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της μεθοδολογίας Six Sigma. Πολλά από τα εργαλεία που αναπτύσσονται στη συνέχεια, προϋποθέτουν την ύπαρξη της ολοκληρωμένης ανάλυσης SWOT.

Εκτός από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν, η ανάλυση SWOT περιλαμβάνει και την κατασκευή του διαγράμματος Αξιολόγησης Τμήματος Αγοράς, στο οποίο αποτυπώνονται τα διάφορα τμήματα της αγοράς που εξετάζονται και μπορεί να επιλεγθεί εκείνο με τις καλύτερες προσδοκίες επένδυσης.

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου περιλαμβάνει την συμπλήρωση της φόρμας που παρατίθεται στη συνέχεια. Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο υπεύθυνος εφαρμογής του εργαλείου είναι τα εξής:

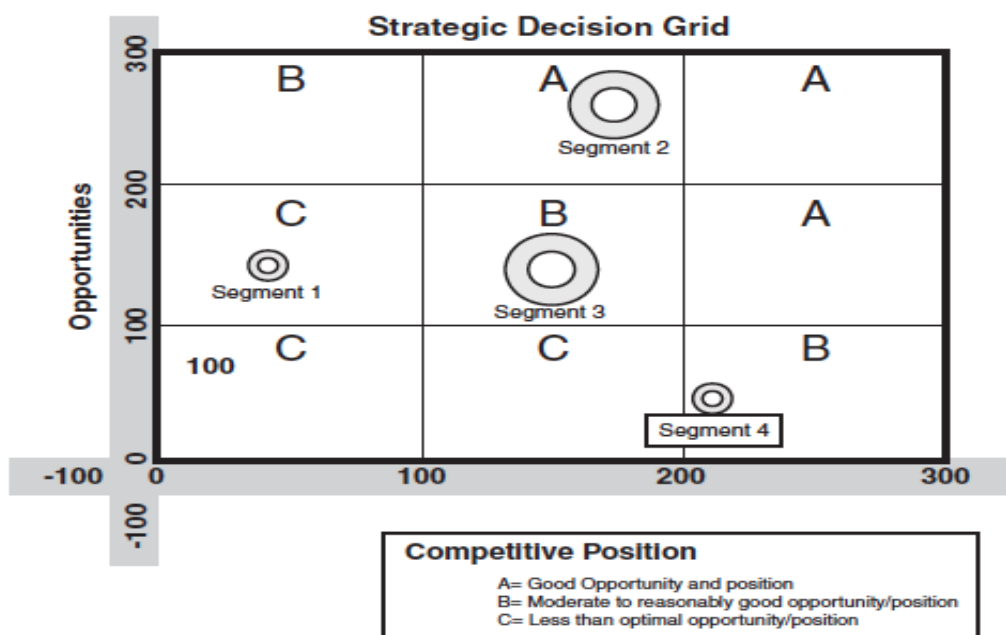
1. Ο εντοπισμός και η καταγραφή στον Πίνακα 3.4 των παραγόντων του εσωτερικού περιβάλλοντος, δηλαδή τα k Προτερήματα και τις i Αδυναμίες της επιχείρησης έναντι των ανταγωνιστών της.
2. Ο εντοπισμός και η καταγραφή στον Πίνακα 3.4 των παραγόντων του εξωτερικού περιβάλλοντος, δηλαδή τις n Ευκαιρίες και τις m Απειλές που μπορεί να αντιμετωπίσει η επιχείρηση.
3. Η επιλογή των p διαφορετικών τμημάτων της αγοράς που θα εξετασθούν.
4. Η δημιουργία του Πίνακα των Ευκαιριών, όπου στην αριστερή του στήλη τοποθετούνται οι εξωτερικοί παράγοντες της επιχείρησης.
5. Η δημιουργία του Πίνακα της Ανταγωνιστικής Θέσης, όπου στην αριστερή του στήλη τοποθετούνται οι εσωτερικοί παράγοντες της επιχείρησης.
6. Η εκτίμηση της βαρύτητας του κάθε παράγοντα και στους δύο πίνακες.
7. Η ταξινόμηση των παραγόντων κάθε πίνακα με βάση τη βαρύτητά τους.
8. Η εκτίμηση του βαθμού επιρροής κάθε εξωτερικού παράγοντα στο αντίστοιχο τμήμα της αγοράς και η καταγραφή του στον Πίνακα των Ευκαιριών. Η επιρροή βαθμολογείται από -1 έως 3 σύμφωνα με την παρακάτω κλίμακα:
 - Υψηλή θετική επιρροή: 3
 - Μέτρια θετική επιρροή: 2
 - Μικρή θετική επιρροή: 1
 - Καμία επιρροή: 0
 - Αρνητική επιρροή: -1

9. Η εκτίμηση του βαθμού της ανταγωνιστικότητας κάθε εσωτερικού παράγοντα στο αντίστοιχο τμήμα της αγοράς και η καταγραφή του στον Πίνακα της Ανταγωνιστικής Θέσης. Η ανταγωνιστικότητα βαθμολογείται από -1 έως 3 σύμφωνα με την παρακάτω κλίμακα, ανάλογα με το αν η επιχείρησή μας:
- Κυριαρχεί ανταγωνιστικά: 3
 - Υπερέχει ανταγωνιστικά: 2
 - Ικανοποιητική ανταγωνιστικά: 1
 - Ουδέτερη ανταγωνιστικά: 0
 - Μειονεκτεί ανταγωνιστικά: -1
10. Ο υπολογισμός και στους δύο πίνακες για κάθε τμήμα της αγοράς, του Score του κάθε παράγοντα ως εξής:

$$\text{Score} = \text{Βαρύτητα} \times \text{Βαθμός.}$$

11. Η άθροιση των Score του κάθε τμήματος σε κάθε έναν από τους δύο πίνακες.
12. Η κατασκευή του διαγράμματος Επιλογής Στρατηγικής, που έχει στον οριζόντιο άξονα το αθροιστικό Score του Πίνακα της Ανταγωνιστικής Θέσης για κάθε τμήμα της αγοράς και στον κάθετο άξονα το αθροιστικό Score του Πίνακα των Ευκαιριών.
13. Ο διαχωρισμός του διαγράμματος Επιλογής Στρατηγικής σε Πλαίσια Α,Β,С που δηλώνουν αντίστοιχα Υψηλές, Μέτριες και Χαμηλές Προσδοκίες.
14. Η εξαγωγή συμπερασμάτων για το πιο προσοδοφόρο τμήμα της αγοράς.

Παρατίθεται ένα παράδειγμα κατασκευής ενός τέτοιου διαγράμματος.



Σχήμα 3.18: Διάγραμμα Αξιολόγησης Τμήματος της Αγοράς

Εσωτερικοί Παράγοντες	Προτερήματα	Αδυναμίες
	Προτέρημα 1	Αδυναμία 1
	Προτέρημα 2	Αδυναμία 2

	Προτέρημα k	Αδυναμία i
Εξωτερικοί Παράγοντες	Ευκαιρίες	Απειλές
	Ευκαιρία 1	Απειλή 1
	Ευκαιρία 2	Απειλή 2

	Ευκαιρία n	Απειλή m

Πίνακας 3.4: Εσωτερικοί και Εξωτερικοί Παράγοντες

Ευκαιρίες /Απειλές	Βαρύτητα	Τμήμα Αγοράς 1		Τμήμα Αγοράς 2		...		Τμήμα Αγοράς ρ	
		Βαθμός	Score	Βαθμός	Score	Βαθμός	Score	Βαθμός	Score
Ευκαιρία 1									
Ευκαιρία 2									
...									
Ευκαιρία n									
Απειλή 1									
Απειλή 2									
...									
Απειλή m									
Σύνολο	100								

Πίνακας 3.5: Πίνακας Ευκαιριών

Προτερήματα /Αδυναμίες	Βαρύτητα	Τμήμα Αγοράς 1		Τμήμα Αγοράς 2		...		Τμήμα Αγοράς ρ	
		Βαθμός	Score	Βαθμός	Score	Βαθμός	Score	Βαθμός	Score
Προτέρημα 1									
Προτέρημα 2									
...									
Προτέρημα k									
Αδυναμία 1									
Αδυναμία 2									
...									
Αδυναμία i									
Σύνολο	100								

Πίνακας 3.6: Πίνακας Ανταγωνιστικής Θέσης

3.4.6 Ανάλυση Διακύμανσης (Analysis of Variance-ANOVA)

Το συγκεκριμένο εργαλείο ανήκει στην γενική κατηγορία «Root Cause» και ο σκοπός που επιτελεί είναι η αναζήτηση της συσχέτισης μεταξύ δύο δειγμάτων ή μεταβλητών μέσω του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων, σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης.

Η μαθηματική του εφαρμογή αντλεί στοιχεία από το κεφάλαιο της εκτίμησης των ιδιοτήτων των πληθυσμών σε ένα διάστημα εμπιστοσύνης και για το λόγο αυτό συνιστάται η χρήση ειδικού Software για την εφαρμογή του, όπως το Minitab, το SPSS Statistics ή το add-in του excel XLSTAT. Λόγω του ότι ερευνάται η εφαρμογή του εργαλείου σε μια πολύ μικρή ελληνική επιχείρηση που πιθανώς είτε δεν θα κατέχει, είτε δεν θα γνωρίζει να χρησιμοποιεί τα προγράμματα αυτά, αναπτύσσεται παρακάτω η «χειρωνακτική» μέθοδος εφαρμογής του.

Όπως αναφέρθηκε, το εργαλείο ANOVA χρησιμοποιείται για την απόδειξη του αν δύο μεγέθη, για παράδειγμα οι μέσες τιμές δύο δειγμάτων, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους ή όχι, αλλά και το που μπορεί να οφείλεται η διαφορά αυτή. Οι βασικές αιτίες που εξετάζονται είναι οι δύο διαφορετικοί παράγοντες εμφάνισης της επαναληψιμότητας, «Repeatability» και «Reproducibility».

Ο όρος Repeatability αναφέρεται στην εμφάνιση μεταβολής στις τιμές που εξετάζονται, ύστερα από μετρήσεις που διεξήχθησαν από έναν χειριστή (Operator), σε ένα μετρούμενο μέγεθος (Part), με το ίδιο μετρητικό όργανο (Measuring Device). Ονομάζεται και Error ή Error Variance και πηγάζει μέσα από έναν από τους παράγοντες (Factors) που εξετάζονται στο πείραμα.

Ο όρος Reproducibility αναφέρεται στην εμφάνιση μεταβολής στις μέσες τιμές των παραγόντων (Factors) που εξετάζονται, ύστερα από συνεχόμενες μετρήσεις που διεξήχθησαν από διαφορετικούς χειριστές (Operators), στο ίδιο μετρούμενο μέγεθος (Part). Ονομάζεται και Operator ή Technician Error και πηγάζει μέσα από τους παράγοντες (Factors) που εξετάζονται στο πείραμα.

Ανάλογα με τον τύπο του πειράματος που εξετάζεται, το εργαλείο ANOVA έχει τρεις βασικές παραλλαγές.

- One-Way ANOVA, όπου συγκρίνονται δύο πηγές διακύμανσης, ανά μετρούμενο μέγεθος (Part) ή ανά παράγοντα (Factor) και ανά ομάδες (Error). Χρησιμοποιείται για την ανάλυση ενός παράγοντα με μια πηγή διακύμανσης και έναν χειριστή.
- Two-Way ANOVA without Replicates, όπου συγκρίνονται τρεις πηγές διακύμανσης, για κάθε έναν από τους δύο παράγοντες (Factors) και το Experimental Error. Χρησιμοποιείται για την ανάλυση δύο παραγόντων και ενός χειριστή.
- Two-Way ANOVA with Replicates, όπου συγκρίνονται τρεις πηγές διακύμανσης, για κάθε έναν από τους δύο παράγοντες (Factors) και το Experimental Error αλλά με πολλαπλές

μετρήσεις. Χρησιμοποιείται για την ανάλυση δύο παραγόντων με τη χρήση πολλών επαναλήψεων στις μετρήσεις και ενός χειριστή.

Η εφαρμογή του εργαλείου βασίζεται στο στατιστικό έλεγχο υποθέσεων και για το σκοπό αυτό, πριν αρχίσει το πείραμα πρέπει να διατυπωθεί η μηδενική υπόθεση H_0 που θα εξετασθεί σε ένα ορισμένο διάστημα εμπιστοσύνης. Η μηδενική υπόθεση ορίζει ότι οι μέσες τιμές των παραγόντων που εξετάζονται είναι ίσες, ενώ η εναλλακτική υπόθεση H_a αναφέρει ότι τουλάχιστον ένας από τους παράγοντες παρουσιάζει διαφορετική μέση τιμή από τους υπόλοιπους.

Το κριτήριο που καθορίζει το αν επαληθεύεται η μηδενική υπόθεση ή όχι, είναι η μεταβλητή $F_{Statistic}$ που υπολογίζεται από την εφαρμογή του εργαλείου και η οποία συγκρίνεται με την $F_{Critical}$, η τιμή της οποίας βρίσκεται από τους πίνακες της κατανομής F για ένα ορισμένο διάστημα εμπιστοσύνης. Αν η τιμή της μεταβλητής $F_{Statistic}$ για οποιονδήποτε παράγοντα προκύψει μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή της $F_{Critical}$, τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Για την πληρέστερη παρουσίαση και την καλύτερη κατανόηση του εργαλείου ακολουθούν δύο παραδείγματα υλοποίησής του χωρίς τη χρήση κάποιου προγράμματος, ένα τύπου One-Way ANOVA και ένα τύπου Two-Way ANOVA with Replicates. Σημειώνεται ότι, παρόλο που για να δώσει το εργαλείο καλύτερα αποτελέσματα πρέπει το μέγεθος του δείγματος να περιλαμβάνει τουλάχιστον 20 παρατηρήσεις, επειδή οι υπολογισμοί γίνονται «στο χέρι», το πείραμα διεξάγεται με λιγότερες.

Το πείραμα των παραδειγμάτων αναφέρεται στη μέτρηση του χρόνου (σε δευτερόλεπτα) που απαιτείται για να διαλυθούν τρία διαφορετικά είδη δισκίων-ταμπλετών στο νερό.

Παράδειγμα 1: One-Way ANOVA

Τα βήματα της διαδικασίας έχουν ως εξής:

1. Περιγραφή του πειράματος και επιλογή του διαστήματος εμπιστοσύνης.

Το πείραμα περιλαμβάνει τρία διαφορετικά είδη ταμπλέτας και διεξάγονται πέντε δοκιμές για κάθε μια. Η θερμοκρασία του νερού που τοποθετούνται τα δισκία παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διαδικασία και το διάστημα εμπιστοσύνης είναι ίσο με 0.05 ή 95%.

2. Διατύπωση των στατιστικών υποθέσεων:

Μηδενική υπόθεση H_0 : Οι μέσες τιμές των τριών ειδών δισκίων στις πέντε δοκιμές είναι ίσες.

Εναλλακτική υπόθεση H_a : Τουλάχιστον μια από τις μέσες τιμές των δισκίων διαφέρει από τις υπόλοιπες.

3. Καταγραφή των μετρήσεων για i από 1 έως 3 και j από 1 έως 5.
4. Συμπλήρωση των πινάκων με τους εξής υπολογισμούς:

- Διακύμανση (Variance): $s^2 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\sum_{j=1}^5 (x_{i,j} - \bar{x})^2}{n-1} \right)$ όπου n το μέγεθος του δείγματος, στο παράδειγμά μας ίσο με 5
- $\sum x_A = \sum_{i=1}^3 (\sum_{j=1}^5 x_{i,j})$, $\sum x_B = \sum_{i=2}^3 (\sum_{j=1}^5 x_{i,j})$, $\sum x_C = \sum_{i=3}^3 (\sum_{j=1}^5 x_{i,j})$
- $\sum x = \sum x_A + \sum x_B + \sum x_C = 202 + 267 + 233 = 702$
- Correction for the Mean: $CM = \frac{(\sum x)^2}{N} = \frac{702^2}{15} = 32,853.6$ όπου N είναι ο συνολικός πληθυσμός, στο παράδειγμά μας ίσος με 15
- Total Sum of Squares:

$$Total\ SS = \sum (x^2) - CM = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 (x_{i,j}^2) - CM$$

- Part Sum of Squares: $Part\ SS = \frac{(\sum x_A)^2}{n_A} + \frac{(\sum x_B)^2}{n_B} + \frac{(\sum x_C)^2}{n_C} - CM$
- Error Sum of Squares: $Error\ SS = Total\ SS - Part\ SS$
- Βαθμοί ελευθερίας:
 - $Total\ df = N - 1$
 - $Part\ df = \text{πλήθος ειδών δισκίων} - 1$
 - $Error\ df = (Total\ df) - (Parts\ df)$
- $Mean\ Square\ for\ Part = \frac{Part\ SS}{Part\ df}$
- $Mean\ Square\ for\ Error = \frac{Error\ SS}{Error\ df}$
- $F_{Statistic} = \frac{Mean\ Square\ for\ Part}{Mean\ Square\ for\ Error}$
- Εύρεση $F_{Critical}$ από τους πίνακες της κατανομής F, όπου ο δείκτης της στήλης είναι το πλήθος Part df και της γραμμής το πλήθος Error df.

5. Σύγκριση $F_{Statistic}$ και $F_{Critical}$:

Παρατηρούμε ότι η τιμή της $F_{Statistic}$ προέκυψε μεγαλύτερη της $F_{Critical}$, που σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται. Με άλλα λόγια, η μέση τιμή του χρόνου διάλυσης στο νερό, μιας τουλάχιστον ταμπλέτας, είναι διαφορετικός από τους υπόλοιπους.

Είδος Δισκίου-Ταμπλέτας	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 3	Δοκιμή 4	Δοκιμή 5	n	Sum	Average	Variance	Sum of each X ²	Sum of Squares
Είδος A	34	39	42	47	40	5	202	40.4	22.30	8250	
Είδος B	55	48	61	49	54	5	267	53.4	27.30	14367	
Είδος C	45	41	47	51	49	5	233	46.6	14.80	10917	
Σύνολο						15	702	234	64.40	33534	

Πίνακας 3.7: Μετρήσεις και Υπολογισμοί Παραδείγματος 1

Source	Sum of Squares	Degrees of freedom	Mean Square	F-Statistic	F-critical
Part	422.8	2	211.40	9.85	3.89
Error	257.6	12	21.47		
Total	680.4	14			

Πίνακας 3.8: Πίνακας Αποτελεσμάτων Παραδείγματος 1

CM	32853.6
Total SS	680.4
Part SS	422.8
Error SS	257.6

Πίνακας 3.9: Υπολογισμοί Παραδείγματος 1

Παράδειγμα 2: Two-Way ANOVA with Replicates

Τα βήματα της διαδικασίας έχουν ως εξής:

1. Περιγραφή του πειράματος και επιλογή του διαστήματος εμπιστοσύνης.

Το πείραμα περιλαμβάνει τρία διαφορετικά είδη ταμπλέτας όπως ακριβώς και το προηγούμενο παράδειγμα, μόνο που τώρα έχουμε πέντε διαφορετικές θερμοκρασίες νερού στο οποίο τοποθετούνται. Κάθε δισκίο τοποθετείται σε κάθε μια θερμοκρασία πέντε φορές, γίνονται δηλαδή πέντε επαναλήψεις και συνεπώς έχουμε συνολικά 75 μετρήσεις. Το διάστημα εμπιστοσύνης είναι ίσο με 0.05 ή 95%.

2. Διατύπωση των στατιστικών υποθέσεων:

Μηδενική υπόθεση H_0 : Οι μέσες τιμές του κάθε είδους ταμπλέτας στις πέντε διαφορετικές θερμοκρασίες είναι ίσες και επίσης σε κάθε μια διαφορετική θερμοκρασία, οι μέσες τιμές των τριών ειδών ταμπλέτας είναι ίσες.

Εναλλακτική υπόθεση H_a : Υπάρχει τουλάχιστον ένας παράγοντας που προκαλεί διαφοροποίηση στις μέσες τιμές των ταμπλετών. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να είναι είτε το διαφορετικό είδος της κάθε ταμπλέτας, είτε η αλληλεπίδραση του κάθε δισκίου με τις διαφορετικές θερμοκρασίες του νερού.

3. Καταγραφή των μετρήσεων

4. Συμπλήρωση των πινάκων με τους εξής υπολογισμούς:

- Διακύμανση (Variance): $s_A^2 = \sum_{j=1}^5 \left(\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{i,j} - \bar{x})^2}{n-1} \right)$ όπου n το μέγεθος του δείγματος, στο παράδειγμά μας ίσο με 5
- Όμοια: $s_B^2 = \sum_{j=2}^5 \left(\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{i,j} - \bar{x})^2}{n-1} \right)$ και $s_C^2 = \sum_{j=3}^5 \left(\frac{\sum_{i=1}^5 (x_{i,j} - \bar{x})^2}{n-1} \right)$
- Έπειτα συμπληρώνεται στον αθροιστικό πίνακα η συνολική διακύμανση:

$s^2 = \sum_{j=1}^{15} \frac{\sum_{i=1}^{15} (x_{i,j} - \bar{x})^2}{n-1}$ όπου n το μέγεθος του δείγματος που τώρα είναι ίσο με 15 για κάθε

μια από τις πέντε διαφορετικές θερμοκρασίες μεταβάλλοντας την τιμή του δείκτη j

- $\sum x_{10} = \sum_{j=1}^{15} (\sum_{i=1}^{15} x_{i,j}) = 651$, $\sum x_{15} = \sum_{j=2}^{15} (\sum_{i=1}^{15} x_{i,j}) = 651$,
 $\sum x_{20} = \sum_{j=3}^{15} (\sum_{i=1}^{15} x_{i,j}) = 736$, $\sum x_{25} = \sum_{j=4}^{15} (\sum_{i=1}^{15} x_{i,j}) = 739$,
 $\sum x_{30} = \sum_{j=5}^{15} (\sum_{i=1}^{15} x_{i,j}) = 750$

- $\sum x = \sum x_{10} + \sum x_{15} + \sum x_{20} + \sum x_{25} + \sum x_{30} = 3,527$

- Correction for the Mean: $CM = \frac{(\sum x)^2}{N} = \frac{3,527^2}{75} = 165,863.03$ όπου N είναι ο συνολικός πληθυσμός, στο παράδειγμά μας ίσος με 75

- Total Sum of Squares:

$$Total SS = \sum (x^2) - CM = \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^5 (x_{i,j}^2) - CM$$

- $\sum x_A = \sum_{j=1}^5 (\sum_{i=1}^5 x_{i,j}) = 1,011$, $\sum x_B = \sum_{j=1}^5 (\sum_{i=6}^{10} x_{i,j}) = 1,332$,
 $\sum x_C = \sum_{j=1}^5 (\sum_{i=11}^{15} x_{i,j}) = 1,184$

- Tablet Sum of Squares:

$$Tablet SS = \frac{(\sum x_A)^2}{n_A} + \frac{(\sum x_B)^2}{n_B} + \frac{(\sum x_C)^2}{n_C} - CM = \frac{1,011^2 + 1,332^2 + 1,184^2}{25} = 2,064.99$$

- Water Sum of Squares: $Water SS = \frac{(\sum x_{10})^2}{15} + \frac{(\sum x_{15})^2}{15} + \frac{(\sum x_{20})^2}{15} + \frac{(\sum x_{25})^2}{15} + \frac{(\sum x_{30})^2}{15} = 664.88$

- Interaction Sum of Squares: Για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου μεγέθους δημιουργείται ένας νέος πίνακας με στοιχεία $y_{i,j}$

Και τελικά παίρνουμε $Interaction SS = \frac{\sum_{i=1}^3 (\sum_{j=1}^5 (y_{i,j} - \bar{y}_j - \bar{y}_i + \bar{y}))^2}{5} = 622$

- Error Sum of Squares:

$$Error SS = Total SS - Tablet SS - Water SS - Interaction SS = 222$$

- Βαθμοί ελευθερίας:

- $Total df = N - 1 = 75 - 1 = 74$

- $Tablets df = \text{πλήθος ειδών δισκίων} - 1 = 2$

- $Water df = \text{πλήθος διαφορετικών θερμοκρασιών} - 1 = 4$

- $Interaction df = (Tablets df) \times (Water df) = 8$

- $Error df = Total df - Tablets df - Water df - Interaction df = 60$

- $Mean Square for Tablets = \frac{Tablet SS}{Tablet df}$

- $Mean Square for Water = \frac{Water SS}{Water df}$

- $Mean\ Square\ for\ Interaction = \frac{Interaction\ SS}{Interaction\ df}$
 - $Mean\ Square\ for\ Error = \frac{Error\ SS}{Error\ df}$
 - $F_{Statistic\ for\ Tablets} = \frac{Mean\ Square\ for\ Tablets}{Mean\ Square\ for\ Error}$
 - $F_{Statistic\ for\ Water} = \frac{Mean\ Square\ for\ Water}{Mean\ Square\ for\ Error}$
 - $F_{Statistic\ for\ Interaction} = \frac{Mean\ Square\ for\ Interaction}{Mean\ Square\ for\ Error}$
 - Εύρεση $F_{critical}$ από τους πίνακες της κατανομής F, όπου ο δείκτης της στήλης είναι το πλήθος df του κάθε παράγοντα και της γραμμής το πλήθος Error df.
5. Σύγκριση $F_{Statistic}$ και $F_{critical}$:

Παρατηρούμε ότι η τιμή της $F_{Statistic}$ προέκυψε μεγαλύτερη της $F_{critical}$ για κάθε παράγοντα, που σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

	Θερμοκρασία νερού (βαθμοί Κελσίου)				
	10	15	20	25	30
Είδος A	34	39	42	47	40
	33	35	39	48	48
	33	37	38	47	47
	33	35	42	45	45
	32	37	40	47	48
Είδος B	55	48	61	49	54
	50	52	60	50	50
	55	53	55	52	54
	54	52	59	49	50
	53	52	60	50	55
Είδος C	45	41	47	51	49
	44	43	49	49	53
	42	40	49	53	49
	45	43	49	51	53
	43	44	46	51	55

Πίνακας 3.10: Μετρήσεις Παραδείγματος 2

Είδος Δισκίου-Ταμπλέτας	Θερμοκρασία νερού (βαθμοί Κελσίου)					Σύνολο
	10	15	20	25	30	
Είδος A	165	183	201	234	228	202.20
Είδος B	267	257	295	250	263	266.40
Είδος C	219	211	240	255	259	236.80
Σύνολο	217.00	217.00	245.33	246.33	250.00	235.13

Πίνακας 3.11: Υπολογισμοί Παραδείγματος 2

Είδος Δισκίου-Ταμπλέτας		Θερμοκρασία νερού (βαθμοί Κελσίου)					Σύνολο
		10	15	20	25	30	
Είδος A	n	5	5	5	5	5	25
	Sum	165	183	201	234	228	1011
	Average	33	36.6	40.2	46.8	45.6	40.44
	Variance	0.5	2.8	3.2	1.2	11.3	19
Είδος B	n	5	5	5	5	5	25
	Sum	267	257	295	250	263	1332
	Average	53.4	51.4	59	50	52.6	53.28
	Variance	4.3	3.8	5.5	1.5	5.8	20.9
Είδος C	n	5	5	5	5	5	25
	Sum	219	211	240	255	259	1184
	Average	43.8	42.2	48	51	51.8	47.36
	Variance	1.7	2.7	2	2	7.2	15.6

Πίνακας 3.12: Υπολογισμοί Παραδείγματος 2

Αθροιστικός Πίνακας	Θερμοκρασία νερού (βαθμοί Κελσίου)					Σύνολο
	10	15	20	25	30	
n	15	15	15	15	15	75
Sum	651	651	736	739	750	3527
Average	43.4	43.4	49.06	49.26	50	
Variance	76.24	42.52	66.06	4.55	15.52	

Πίνακας 3.13: Υπολογισμοί Παραδείγματος 2

CM	165863.05
Total SS	3573.95
Tablet SS	2064.99
Water SS	664.88
Interaction SS	622.08
Error SS	222.00

Πίνακας 3.14: Υπολογισμοί Παραδείγματος 2

Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Means Square	F-Statistic	F-Critical
Tablets	2064.99	2	1032.493333	279.0522523	3.15
Water	664.88	4	166.22	44.92432432	2.53
Interaction	622.08	8	77.76	21.01621622	
Error	222.00	60	3.7		
Total	3573.95	74			

Πίνακας 3.15: Πίνακας Αποτελεσμάτων ANOVA

3.4.7 Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης (Measurement System Analysis)

Ένα από τα βασικότερα εργαλεία της κατηγορίας Ανάλυση της Διακύμανσης και Αξιολόγηση των Διαδικασιών (Variation Analysis and Process Evaluation) είναι η ανάλυση του συστήματος μέτρησης. Απαραίτητη προϋπόθεση πριν αρχίσει οποιαδήποτε εποπτεία μιας διαδικασίας είναι ο έλεγχος του μετρητικού οργάνου και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την διεξαγωγή των μετρήσεων. Πολλές επιχειρήσεις έχουν υλοποιήσει μεθόδους ελέγχου της παραγωγικής τους διαδικασίας χωρίς να έχουν αξιολογήσει το μετρητικό τους σύστημα, με αποτέλεσμα τα συμπεράσματα που προκύπτουν να είναι λανθασμένα. Οι συνέπειες της δράσης αυτής μπορεί να είναι καταστροφικές, αφού μια επιχείρηση μπορεί να προβεί σε κάποια μη συμφέρουσα επένδυση, όπως η αγορά νέου εξοπλισμού και αντικατάσταση του υφιστάμενου, όταν το πρόβλημα έγκειται απλά στην μέθοδο αξιολόγησής του και όχι στα χαρακτηριστικά του. Στον αντίποδα, μπορεί οι μετρήσεις να υποδεικνύουν μια υπό έλεγχο παραγωγική διαδικασία, ενώ στην πραγματικότητα το ποσοστό εμφάνισης ελαττωματικών προϊόντων να είναι ιδιαίτερα υψηλό.

Ένας ακόμη σκοπός που επιτελεί το εργαλείο «MSA» είναι η εξασφάλιση, ότι η τυχόν μεγάλη απόκλιση των τιμών του μετρούμενου μεγέθους οφείλεται αυστηρά σε αυτό καθαυτό το μέγεθος και όχι στους υπόλοιπους παράγοντες διακύμανσης. Συνεπώς, η επιχείρηση μπορεί να συγκεντρώσει με ασφάλεια την προσοχή της στην βελτίωση της διαδικασίας παραγωγής των προϊόντων ή της παροχής των υπηρεσιών. Η εξίσωση που συνδέει την τυπική απόκλιση που οφείλεται στο μετρούμενο μέγεθος και στο μετρητικό σύστημα είναι η $\sigma_{Total}^2 = \sigma_{Product}^2 + \sigma_{Measurement System}^2$, όπου η τυπική απόκλιση του συστήματος μέτρησης ισούται με το άθροισμα της πραγματικής τυπικής απόκλισης του οργάνου ή της διαδικασίας που εφαρμόζεται και της τυπικής απόκλισης λόγω σφάλματος, δηλαδή $\sigma_{Measurement System}^2 = \sigma_{True}^2 + \sigma_{Error}^2$.

Πριν προχωρήσουμε στον τρόπο εφαρμογής του συγκεκριμένου εργαλείου, πρέπει να επεξηγηθούν οι όροι που χρησιμοποιούνται στην ανάλυσή του. Αρχικά, πρέπει να διαφοροποιηθούν οι δύο βασικές έννοιες της ακρίβειας (Accuracy) και της επακρίβειας (precision). Η πρώτη, αναφέρεται στο πόσο κοντά σε ένα στόχο είναι μια μέτρηση, ενώ η δεύτερη εξετάζει την δυνατότητα να επαναληφθούν οι μετρήσεις και να δώσουν το ίδιο αποτέλεσμα. Η επακρίβεια τώρα, εκφράζεται με τους δύο διαφορετικούς όρους της επαναληψιμότητας, «Repeatability» και «Reproducibility». Ο πρώτος ορίζεται ως επαναληψιμότητα λόγω μέτρησης του ίδιου αντικειμένου, από τον ίδιο χειριστή, με το ίδιο μετρητικό όργανο, ενώ ο δεύτερος ως επαναληψιμότητα λόγω μέτρησης του ίδιου αντικειμένου, από διάφορους χειριστές, με το ίδιο μετρητικό όργανο.

Η ανάλυση του συστήματος μέτρησης μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε συνεχή είτε σε διακριτά δεδομένα αλλάζοντας βέβαια τον τρόπο ανάπτυξής της ανάλογα την περίπτωση.

Διακριτά Δεδομένα (Attribute Data)

Ως διακριτά δεδομένα μπορούν να χαρακτηριστούν τα προϊόντα ή οι υπηρεσίες των οποίων τα μεγέθη δεν μπορούν να μετρηθούν με κάποια αριθμητική κλίμακα αλλά μόνο ποιοτικά. Η ανάλυση του συστήματος μέτρησης σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιεί μια κλίμακα με ποιοτικά αποτελέσματα για τον χαρακτηρισμό του κάθε δείγματος. Η απλούστερη κλίμακα που μπορεί να εφαρμοστεί είναι εκείνη των χαρακτηρισμών «καλό» και «κακό» ή «ναι» και «όχι» και αναφέρεται στο αν το προϊόν ή η υπηρεσία βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια που έχουν τεθεί από τη διοίκηση. Βέβαια ο υπεύθυνος εφαρμογής της ανάλυσης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τα ποιοτικά κριτήρια που επιθυμεί ώστε να περιγράψει καλύτερα τη διαδικασία.

Η διεξαγωγή του πειράματος αρχικά προϋποθέτει τη συλλογή ενός ικανοποιητικού αριθμού δειγμάτων που μάλιστα για λόγους αντιπροσωπευτικότητας να είναι μεγαλύτερος του 50. Στη συνέχεια πρέπει να γίνει η επιλογή του αριθμού των χειριστών m αλλά και των δοκιμών k που θα εκτελέσει ο καθένας. Σημειώνεται, ότι το μετρητικό όργανο που χρησιμοποιείται από όλους τους χειριστές για όλες τις δοκιμές και τα διαφορετικά δείγματα πρέπει να είναι το ίδιο.

Αφού επιλεγεί το πρότυπο αναφοράς με βάση το οποίο θα γίνουν οι συγκρίσεις, μπορεί να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας:

# Δείγματος	Πρότυπο Αναφοράς	Χειριστής 1			...			Χειριστής m		
		Δοκιμή 1	...	Δοκιμή k	Δοκιμή 1	...	Δοκιμή k	Δοκιμή 1	...	Δοκιμή k
1										
2										
3										
...										
n										

Πίνακας 3.16: MSA για Διακριτά Δεδομένα

Έχοντας συμπληρώσει λοιπόν τον πίνακα, ο αναλυτής είναι σε θέση να αξιολογήσει τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Για κάθε χειριστή, μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό των επιλογών που συμφωνούν με το πρότυπο αναφοράς και να διερευνηθεί τελικά η αποδοτικότητά του. Συμπερασματικά, αν μόνο ένας χειριστής έχει δώσει λάθος απαντήσεις σε σχέση με το πρότυπο αναφοράς σε ένα συγκεκριμένο δείγμα, ευθύνεται ο ίδιος και η μέθοδος που χρησιμοποίησε (Operator Bias). Αντίθετα, αν όλοι οι χειριστές έχουν δώσει λάθος απαντήσεις υπάρχει σφάλμα στο σύστημα μετρήσεων (Measurement System Bias). Είναι κατανοητό ότι οι ίδιοι χαρακτηρισμοί ισχύουν και στην περίπτωση σωστών απαντήσεων.

Συνεχίζοντας την αξιολόγηση των συμπερασμάτων, αν ένας χειριστής έχει βρει το ίδιο αποτέλεσμα σε όλες τις δοκιμές που πραγματοποίησε, τότε παρουσιάζεται το φαινόμενο της επαναληψιμότητας «Repeatability». Αν όλοι οι χειριστές διαφωνούν με το πρότυπο αναφοράς παρουσιάζεται το φαινόμενο

της επαναληψιμότητας «Reproducibility». Το ίδιο φαινόμενο παρουσιάζεται και όταν όλοι οι χειριστές συμφωνούν με το πρότυπο αναφοράς.

Στη συνέχεια, μπορεί να υπολογιστεί και η αποδοτικότητα της συνολικής διαδικασίας μέτρησης, εξετάζοντας τον αριθμό των δειγμάτων στα οποία όλοι οι χειριστές έδωσαν απαντήσεις που ταίριαζαν με το πρότυπο αναφοράς. Εάν η υπολογιζόμενη απόδοση του συστήματος μέτρησης ανέλθει μεταξύ 80% και 90% χαρακτηρίζεται επαρκής, ενώ αν ανέλθει υψηλότερα θεωρείται άριστη.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα εφαρμογής του εργαλείου ώστε να γίνουν κατανοητά τα συμπεράσματα που μπορεί να εξαχθούν.

# Δείγματος	Πρότυπο Αναφοράς	Χειριστής 1		Χειριστής 2	
		Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2
1	Καλό	Καλό	Κακό	Καλό	Καλό
2	Κακό	Κακό	Καλό	Καλό	Καλό
3	Καλό	Κακό	Κακό	Κακό	Κακό
4	Καλό	Καλό	Κακό	Καλό	Καλό
5	Καλό	Κακό	Κακό	Κακό	Κακό
6	Καλό	Καλό	Καλό	Καλό	Καλό
...					
50	Κακό	Καλό	Κακό	Κακό	Κακό

Πίνακας 3.17: Παράδειγμα Εφαρμογής MSA για Διακριτά Δεδομένα

Η εφαρμογή του εργαλείου όπως αποδείχτηκε, μπορεί να πραγματοποιηθεί και χωρίς τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή γεγονός που καθιστά την ανάλυση των μετρήσεων με διακριτά δεδομένα εύκολη στην χρήση ακόμα και από τον ιδιοκτήτη μιας πολύ μικρής ελληνικής επιχείρησης που δεν είναι εξοικειωμένος με τα προγράμματα αυτά .

Συνιστάται όμως για την εφαρμογή του εργαλείου «MSA» η χρησιμοποίηση στατιστικών προγραμμάτων όπως του Minitab, του SPSS Statistics, ή του Microsoft XLSTAT, καθώς την πραγματοποιούν σε ελάχιστο χρόνο και δεν υπάρχει η πιθανότητα σφάλματος κατά τους υπολογισμούς.

Συνεχή Δεδομένα (Variable Data)

Όσον αφορά τα συνεχή δεδομένα, το εργαλείο «Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης» εφαρμόζεται μέσω της ανάλυσης «Gage R&R». Η εφαρμογή της ανάλυσης αυτής προϋποθέτει την χρήση H/Y, καθώς περιλαμβάνει πληθώρα υπολογισμών και αριθμητικών πράξεων.

Ο υπεύθυνος της εφαρμογής του εργαλείου πρέπει να πάρει σοβαρές αποφάσεις για τον τρόπο συλλογής των μετρήσεων και τη διεξαγωγή του πειράματος. Πρέπει να γίνει η επιλογή του αριθμού των χειριστών m (Operators), αλλά και των δοκιμών k (Trials) που θα εκτελέσει ο καθένας καθώς και η



επιλογή των μετρούμενων μεγεθών (Parts). Σημειώνεται, ότι το μετρητικό όργανο που χρησιμοποιείται από όλους τους χειριστές για όλες τις δοκιμές και τα μετρούμενα μεγέθη πρέπει να είναι το ίδιο.

Μετά την καταγραφή των μετρήσεων χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό εκτελούνται με ευκολία οι υπολογισμοί. Για την καλύτερη κατανόηση του εργαλείου, αλλά και την ανάπτυξη της διαδικασίας εξαγωγής των συμπερασμάτων, παρατίθεται ο πίνακας αποτελεσμάτων από την εφαρμογή μιας σειράς μετρήσεων στο Minitab. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εμπλέκονται 2 χειριστές (Operators) που εκτελούν 3 δοκιμές (Trials) σε κάθε ένα από τα 4 μετρούμενα μεγέθη (Designs). Συνολικά δηλαδή, λαμβάνουν χώρα 24 μετρήσεις.

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Design	3	4.78191	1.59397	167.837	0.000
Operator	1	0.02734	0.02734	2.878	0.106
Repeatability	19	0.18045	0.00950		
Total	23	4.98970			

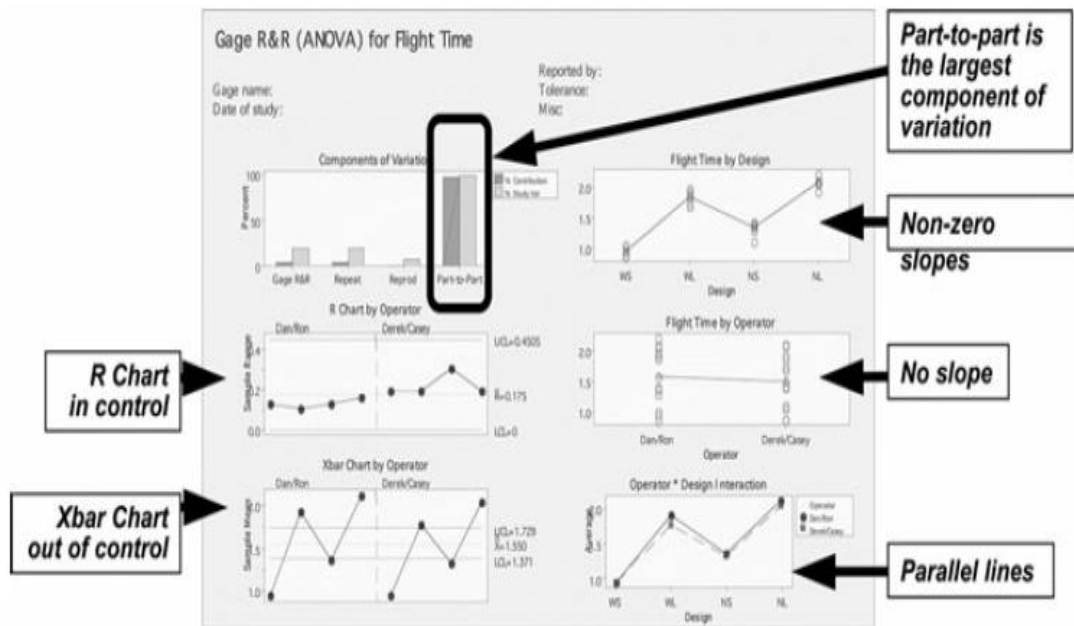
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.010984	3.99
Repeatability	0.009497	3.45
Reproducibility	0.001487	0.54
Operator	0.001487	0.54
Part-To-Part	0.264079	96.01
Total Variation	0.275063	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.104804	0.62882	19.98
Repeatability	0.097453	0.58472	18.58
Reproducibility	0.038558	0.23135	7.35
Operator	0.038558	0.23135	7.35
Part-To-Part	0.513886	3.08332	97.98
Total Variation	0.524464	3.14679	100.00

Number of Distinct Categories = 6

Σχήμα 3.19: Αποτελέσματα Gage R&R στο Minitab



Σχήμα 3.20: Διαγράμματα Gage R&R στο Minitab

Τα μεγέθη που έχουν σημειωθεί μέσα σε πλαίσιο είναι εκείνα από τα οποία εξάγονται τα συμπεράσματα για την αποδοτικότητα του συστήματος μέτρησης. Τα κριτήρια με τα οποία αξιολογείται η διαδικασία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.18.

Αποτελέσματα Gage R&R	Κριτήρια Αποδοχής	Αξιολόγηση
% Contribution (of VarComp)	<1%	Άριστη
	≥1% και ≤9%	Επαρκής
	≥9%	Ανεπαρκής
Total Gage R&R % Study Var.	<10%	Άριστη
	≥10% και ≤30%	Οριακή
	≥30%	Ανεπαρκής
# Distinct Categories	≥5	Άριστη
	=4	Οριακή
	≤3	Ανεπαρκής

Πίνακας 3.18: Κριτήρια Αξιολόγησης Gage R&R

Τελικά, παρατηρούμε ότι ο δείκτης Total Gage R&R % Contribution (of VarComp) είναι ίσος με 3.99% και η αξιολόγησή του κρίνεται «επαρκής». Πρέπει να σημειωθεί ότι στη διαμόρφωση της τιμής του δείκτη, σημαντικότερος παράγοντας είναι εκείνος της επαναληψιμότητας «Repeatability», σε ποσοστό 3.45%.

Ο δείκτης Total Gage R&R % Study Var. διαμορφώθηκε σε 19.98%, δηλαδή μεταξύ 10% και 30%, με αποτέλεσμα να βρίσκεται στην οριακή περιοχή. Τέλος, ο αριθμός των διαφορετικών κατηγοριών προέκυψε ανήλθε σε 6, και αξιολογείται με άριστα. Πρέπει να σημειωθεί, ότι ο σημαντικότερος



παράγοντας εμφάνισης μεταβολής μεταξύ των τιμών, οφείλεται στη διαφορετικότητα των μετρούμενων μεγεθών καθώς ο δείκτης Part-to-Part % Contribution (of VarComp) ανήλθε σε 96.01%.

Το Minitab παρουσιάζει επίσης και μια σειρά διαγραμμάτων για την διαγραμματική απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων (Σχήμα 3.20).

Το συγκεκριμένο λοιπόν σύστημα μετρήσεων σύμφωνα με το εργαλείο «Ανάλυση Συστήματος Μετρήσεων» μπορεί με ασφάλεια να χαρακτηριστεί ως επαρκές με περιθώρια βελτίωσης.

3.4.8 Σπίτι Της Ποιότητας (House Of Quality)

Το εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma, Σπίτι της Ποιότητας (House Of Quality) που θα αναπτυχθεί στη συνέχεια ανήκει στην κατηγορία των εργαλείων που ασχολούνται με την Γέννηση και την Επιλογή Ιδεών και Προτάσεων. Θεωρείται παρακλάδι του γενικότερου εργαλείου Μέθοδος Ανάπτυξης Ποιότητας (Quality Function Deployment), και έχει ως στόχο τη μετατροπή των αναγκών των καταναλωτών σε προδιαγραφές προϊόντων και υπηρεσιών.

Ενδείκνυται η χρησιμοποίησή του από μια επιχείρηση που είναι στο κρίσιμο στάδιο του σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, καθώς και στο στάδιο της βελτίωσης των υφιστάμενων προϊόντων και υπηρεσιών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου είναι η συλλογή δεδομένων σχετικά με τις προτιμήσεις των καταναλωτών (Voice Of Customer Data), καθώς η ανάπτυξη του εργαλείου βασίζεται κυρίως σε αυτά. Επίσης, συνιστάται και η πραγματοποίηση συναντήσεων μεταξύ των μελών της ομάδας έργου ώστε να αποφασίσουν πολυκριτηριακά για το ποιες θα είναι οι υπόλοιπες συνιστώσες του εργαλείου.

Όσον αφορά τις συνιστώσες που αναφέρθηκαν, πρόκειται για τα στοιχεία που εμπεριέχονται στις διάφορες πλευρές του Σπιτιού της Ποιότητας και είναι:

- Οι απαιτήσεις των καταναλωτών, που τοποθετούνται στην αριστερή πλευρά του σπιτιού
- Οι Προδιαγραφές των προϊόντων και των υπηρεσιών, που τοποθετούνται στην άνω πλευρά
- Η αξιολόγηση των ανταγωνιστών, που λαμβάνει χώρα στην δεξιά πλευρά του κτιρίου
- Οι Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των Προδιαγραφών, που τοποθετούνται στην «στέγη» του σπιτιού
- Ο υπολογισμός των συσχετίσεων μεταξύ των Απαιτήσεων των Καταναλωτών και των Προδιαγραφών των Προϊόντων που τοποθετούνται στα θεμέλιά του

Στον Πίνακα 3.19 φαίνεται το αρχικό μοντέλο κατασκευής του σπιτιού.

Στη συνέχεια, καταγράφονται λεπτομερώς τα βήματα της διαδικασίας που πρέπει να ακολουθήσει ο υπεύθυνος εφαρμογής του εργαλείου, για την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου Σπιτιού της Ποιότητας.

1. Συλλογή δεδομένων σχετικά με τις απαιτήσεις ή τις ανάγκες των καταναλωτών και τοποθέτηση τους στην αριστερή πλευρά του πλαισίου.

2. Υπολογισμός της βαρύτητας της κάθε απαίτησης, σύμφωνα πάντα με τους καταναλωτές, χρησιμοποιώντας μια κλίμακα από 1 έως 10. Για την καλύτερη αποτελεσματικότητα του εργαλείου συνιστάται κάθε απαίτηση να έχει διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας.
3. Επιλογή των ανταγωνιστικών επιχειρήσεων του κλάδου με βάση τις οποίες θα γίνει η σύγκριση σχετικά με το βαθμό που ικανοποιεί η κάθε μια τις διάφορες απαιτήσεις των καταναλωτών που έχουν τεθεί. Η επιχείρησή μας, αλλά και κάθε ανταγωνιστής, περιγράφεται από ένα χαρακτηριστικό σύμβολο.
4. Επιλογή των κριτηρίων με βάση τα οποία θα γίνει η αξιολόγηση των ανταγωνιστών. Συνήθως οι βαθμίδες που χρησιμοποιούνται είναι: καλύτερος, 2^{ος} καλύτερος, χειρότερος Όμως, ανάλογα με τον αριθμό των ανταγωνιστών η κλίμακα μπορεί να διαφοροποιηθεί.
5. Καταγραφή των διαφόρων προδιαγραφών των προϊόντων και υπηρεσιών που συμβάλλουν στην ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών που έχουν τεθεί.
6. Εκτίμηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των προδιαγραφών. Για την περιγραφή των αλληλεπιδράσεων χρησιμοποιείται το γράμμα «P» για να δηλώσει ότι η μια προδιαγραφή συντελεί θετικά στο ρόλο της άλλης για την ικανοποίηση μιας απαίτησης. Στον αντίποδα, το γράμμα «N» υποδηλώνει αρνητική αλληλεπίδραση.
7. Συμπλήρωση των κελιών του πίνακα με έναν αριθμό ο οποίος περιγράφει τη συσχέτιση μεταξύ των προδιαγραφών και των απαιτήσεων. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται στο στάδιο αυτό είναι:
 - Σημαντική Θετική συσχέτιση: 9
 - Θετική συσχέτιση: 3
 - Ασήμαντη Θετική συσχέτιση: 1
 - Σε περίπτωση που δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ προδιαγραφής και απαίτησης, το κελί του πίνακα παραμένει κενό.
8. Υπολογισμός της Συνολικής βαθμολογίας της κάθε προδιαγραφής σύμφωνα με τη σχέση:

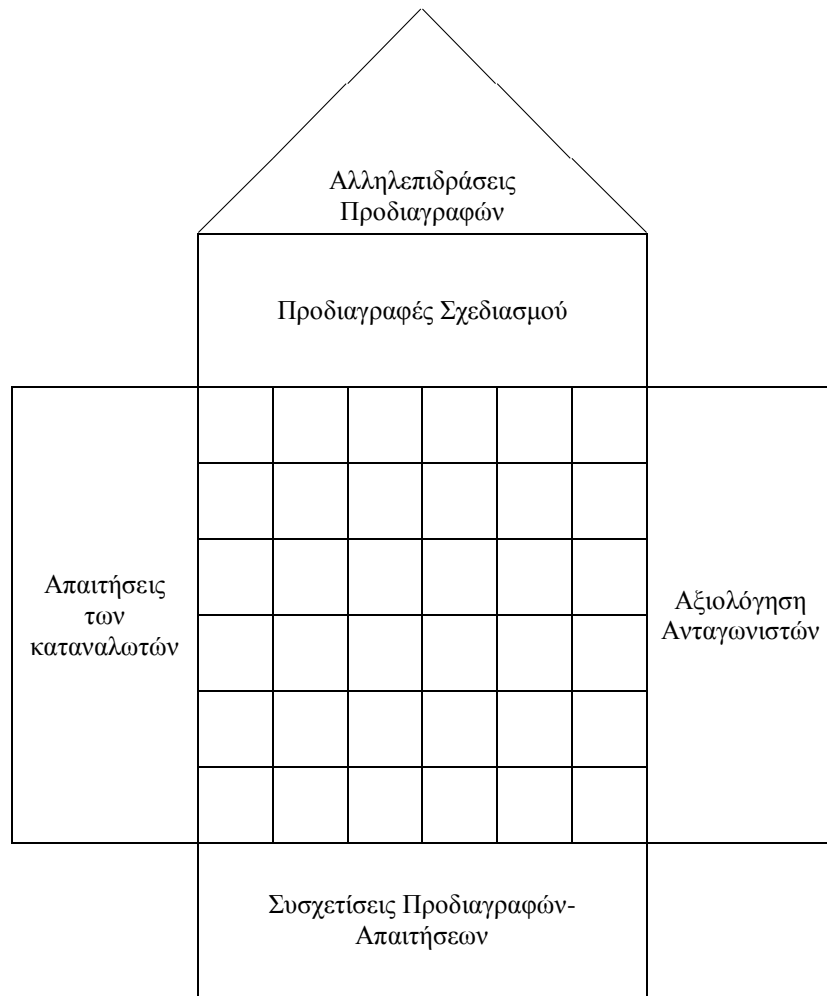
Συνολική Βαθμολογία_{προδιαγραφής j}

$$= \sum_{i=1}^n (\text{Βαρύτητα}_i \times \text{Συσχέτιση}_{i,j}), \text{ για } j \text{ από } 1 \text{ έως } m$$

9. Υπολογισμός της Συγκριτικής Βαθμολογίας σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{Συγκριτική Βαθμολογία}_{\text{προδιαγραφής } j} = \frac{\text{Συνολική Βαθμολογία}_{\text{προδιαγραφής } j}}{\sum_{j=1}^m (\text{Συνολική Βαθμολογία}_{\text{προδιαγραφής } j})}$$

10. Εξαγωγή συμπερασμάτων και ταξινόμηση των προδιαγραφών ανάλογα με τη συγκριτική τους βαθμολογία, τους στόχους της επιχείρησης και την αξιολόγηση των ανταγωνιστών.



Πίνακας 3.19 Δομή του Σπιτιού Της Ποιότητας

Επιχείρηση	★
Ανταγωνιστής 1	⊛
Ανταγωνιστής 2	○
Ανταγωνιστής 3	❖

Πίνακας 3.20: Συμβολισμοί Επιχειρήσεων



Απαιτήσεις Πελατών	Προδιαγραφές Σχεδιασμού Βαρύτητα (1-10)	Προδιαγραφή 1	Προδιαγραφή 2	Προδιαγραφή 3	Προδιαγραφή 4	Προδιαγραφή 5	Προδιαγραφή 6	...	Προδιαγραφή n	Αξιολογήση Ανταγωνιστών		
										Καλύτερος	2ος Καλύτερος	Χειρότερος
Απαίτηση 1												
Απαίτηση 2												
Απαίτηση 3												
...												
Απαίτηση n												
Συνολική Βαθμολογία												
Συγκριτική Βαθμολογία												

Πίνακας 3.21: Το Ολοκληρωμένο Σπίτι Της Ποιότητας

3.4.9 Εκτίμηση Αποτυχιών και Ανάλυση Αποτελεσμάτων (Failure Mode and Effects Analysis-FMEA)

Το επόμενο εργαλείο που θα περιγραφεί ανήκει στην κατηγορία Διαχείριση Κινδύνων και έχει ως βασικό στόχο την πρόληψη των αποτυχιών που μπορούν να παρουσιαστούν στο περιβάλλον μιας επιχείρησης. Για συντομία από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται ως το εργαλείο FMEA.

Για να επιτευχθεί ο σκοπός του εργαλείου, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί φυσικά η έρευνα και η καταγραφή όλων εκείνων των προβλημάτων που μπορούν να προκύψουν. Η εφαρμογή όμως του εργαλείου δεν σταματάει στο σημείο αυτό, καθώς το τελευταίο στάδιό της περιλαμβάνει και την κατάστρωση του σχεδίου αντιμετώπισης των αποτυχιών αυτών. Θα δούμε λοιπόν αναλυτικά πως εφαρμόζεται το εργαλείο FMEA μέσω μιας σειράς βημάτων που οδηγούν τελικά στη συμπλήρωση της φόρμας που παρατίθεται στο τέλος την ενότητας. Η φόρμα αυτή αφού συμπληρωθεί πρέπει να ανανεώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς όχι μόνο διαφοροποιούνται οι επιπτώσεις των κινδύνων στην επιχείρηση, αλλά μεταβάλλονται και οι τύποι των κινδύνων που μπορούν να παρουσιαστούν.

Τα βήματα που ακολουθούνται για τη συμπλήρωση της φόρμας είναι:

1. Η επιλογή του θέματος, του οποίου θα διερευνηθούν οι πιθανές καταστάσεις αποτυχίας και θα προταθούν λύσεις αντιμετώπισής τους.
2. Η επιλογή του υπεύθυνου εφαρμογής του εργαλείου FMEA ή της ομάδας έργου που θα το εκτελέσει.
3. Η επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης των Κινδύνων/Αποτυχιών, καθώς και η κλίμακα βαθμονόμησής τους. Τα βασικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι τρία, η Κρισιμότητα (Severity), η Συχνότητα Εμφάνισης (Occurrence) και η Ανιχνευσιμότητα (Detectability), ενώ η συνήθης κλίμακα είναι από 1 έως 10.
4. Η επιλογή των κατηγοριών ρίσκου ή κινδύνων. Συνιστάται η χρησιμοποίηση των 6M της διοίκησης Mother Nature, Man, Materials, Method, Machines, και Measurement, καθώς καλύπτουν όλο το εύρος των πιθανών αποτυχιών.
5. Η εύρεση όλων των πιθανών τρόπων αποτυχίας που υπάγονται σε κάθε κατηγορία.
6. Η εκτίμηση των πιθανών αποτελεσμάτων της κάθε αποτυχίας.
7. Η αξιολόγηση της κρισιμότητας του κάθε κινδύνου όσον αφορά το πόσο σημαντικές θα είναι οι συνέπειες για την επιχείρηση εάν τελικά παρουσιαστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα.
8. Η εύρεση των πιθανών αιτιών της αποτυχίας.
9. Η αξιολόγηση της πιθανότητας εμφάνισης της αποτυχίας.
10. Η καταγραφή του υφιστάμενου τρόπου με τον οποίο η επιχείρηση ελέγχει το συγκεκριμένο πρόβλημα.



11. Η αξιολόγηση της ευκολίας ανίχνευσης του κινδύνου.
12. Ο υπολογισμός του αριθμού προτεραιότητας κινδύνου (Risk Priority Number) ο οποίος θα αναφέρεται στο εξής ως RPN. Η σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του είναι:
 $RPN = Severity \times Occurrence \times Detectability$.
13. Η αναζήτηση του είδους δράσης που απαιτείται για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Οι βασικές κατηγορίες δράσης είναι:
 - Αποδοχή: Η επιχείρηση αποδέχεται τις συνέπειες εμφάνισης της συγκεκριμένης αποτυχίας είτε επειδή δεν έχουν μεγάλο αντίκτυπο στο θέμα που εξετάζεται, είτε επειδή δεν μπορεί να τις αντιμετωπίσει.
 - Αποφυγή: Η επιχείρηση αναλαμβάνει την εξάλειψη της πιθανότητας εμφάνισης της αποτυχίας και συνήθως επιτυγχάνεται με την διερεύνηση της αιτίας που την προκάλεσε.
 - Μετρίαση: Η επιχείρηση προσπαθεί να ελαττώσει τις συνέπειες από την παρουσίαση του προβλήματος και συνήθως επιτυγχάνεται με την ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης της συγκεκριμένης αποτυχίας.
14. Η κατάστρωση του σχεδίου επείγουσας επέμβασης.
15. Η εκτίμηση του αναμενόμενου αποτελέσματος του σχεδίου.
16. Ο ορισμός του υπεύθυνου υλοποίησης του σχεδίου. Για την καλύτερη εφαρμογή του κάθε σχεδίου δράσης ο υπεύθυνος πρέπει να είναι αυστηρά ένας.

Οι πιθανές αποτυχίες που καταγράφονται στις περισσότερες φόρμες του FMEA είναι πολυάριθμες και για το λόγο αυτό η κατάστρωση του σχεδίου αντιμετώπισης για κάθε μια από αυτές είναι μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία και πολλές φορές αδύνατη. Ενδείκνυται λοιπόν, η ταξινόμηση των αποτυχιών που καταγράφηκαν ανάλογα με το δείκτη RPN που υπολογίστηκε στο βήμα 12 του εργαλείου και η εξέταση μόνο των σημαντικότερων. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το στάδιο αυτό της ανάλυσης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς υπάρχουν κίνδυνοι με μικρό δείκτη RPN, λόγω της χαμηλής πιθανότητας εμφάνισής τους και της εύκολης ανιχνευσιμότητάς τους, που αν παρουσιαστούν όμως, οι συνέπειες για την επιχείρηση θα είναι καταστροφικές.

Όπως προαναφέρθηκε, οι αποτυχίες που μπορούν να παρουσιαστούν εμφανίζουν τεράστια μεταβλητότητα ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Για το σκοπό αυτό, αμέσως μετά την εφαρμογή του εργαλείου FMEA πρέπει να οριστεί και η ημερομηνία αναθεώρησής του καθώς και υπεύθυνος που θα την εκτελέσει.



Θέμα (Topic):	Κρισιμότητα		Συχνότητα εμφάνισης σε ετήσια βάση		Ανιχνευσιμότητα		Δημιουργήθηκε απο (Developed by):
Ημερομηνία Δημιουργίας (Date Completed) :	10	Καταστροφική	10	Πολύ Υψηλή	10	Εντελώς αβέβαιη	
	9	Επικίνδυνη	9			9	
Ημερομηνία Ανανέωσης (Date Refreshed):	8	Πολύ Υψηλή	8	Υψηλή	8	Ελάχιστη	
	7	Υψηλή	7			7	
	6	Μέτρια	6	Μέτρια	6	Χαμηλή	
	5	Χαμηλή	5			5	
	4	Πολύ χαμηλή	4	Χαμηλή	4	Μέτρια-Υψηλή	
	3	Ασύμαντη	3			3	
	2	Πολύ Ασύμαντη	2	Ελάχιστη	2	Πολύ υψηλή	
	1	Καμία	1			1	Σίγουρη

Πίνακας 3.22: Κριτήρια Αξιολόγησης Αποτυχιών

Αξιολόγηση Ρίσκου (Risk Assessment)								Προγραμματισμός Δράσης (Action Planning)				
Κατηγορία Ρίσκου (Risk Category)	Πιθανή Αποτυχία (Potential Failure)		Κρισιμότητα (Severity)	Πιθανές Αιτίες (Cause)	Συχνότητα Εμφάνισης (Occurrence)	Τρέχων Έλεγχος (Current Control)	Ανιχνευσιμότητα (Detectability)	RPN	Είδος Δράσης (Action type)	Σχέδιο Επείγουσας Επέμβασης (Contingency Plan)	Μέτρηση Αποτελέσματος (Outcome Measure)	Υπεύθυνος (Person Accountable)
	Τρόποι Αποτυχίας (Mode)	Αποτελέσματα Αποτυχίας (Effects)										

Πίνακας 3.23: Υπολογισμός RPN

3.4.10 Αξιολόγηση Προτάσεων του Pugh (Pugh Concept Evaluation)

Ένα ακόμη εργαλείο από την κατηγορία Γέννηση και Επιλογή Ιδεών και Προτάσεων που θα αναπτυχθεί, είναι εκείνο της Αξιολόγησης των Προτάσεων του Pugh. Πρόκειται για ένα εύχρηστο εργαλείο με πολύ γενικό εύρος εφαρμογής και ελάχιστη προαπαιτούμενη μελέτη, που έχει ως στόχο την επιλογή της καταλληλότερης λύσης σε πάσης φύσεως προβλήματα. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιείται από επιχειρήσεις που έχουν διατυπώσει πολλές προτάσεις βελτίωσης των διαδικασιών τους, αλλά το κεφάλαιό τους τις περιορίζει στην υλοποίηση ορισμένων μόνο από αυτές.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου εργαλείου, έναντι των υπολοίπων της κατηγορίας, είναι ότι οι προτάσεις δεν αξιολογούνται μόνο ως προς ορισμένα κριτήρια, αλλά και ως τη λύση που ορίζεται ως πρότυπο αναφοράς. Το πρότυπο αναφοράς ονομάζεται DATUM και στην πρώτη εφαρμογή του εργαλείου ορίζεται ως η λύση που αναμένεται να ξεχωρίσει από τις υπόλοιπες.

Έχοντας εφαρμόσει το εργαλείο την πρώτη κιόλας φορά, μπορούμε να αποφανθούμε για το αν η λύση DATUM είναι όντως η βέλτιστη. Όμως, αν αποδειχθεί ότι κάποια άλλη λύση είτε φαντάζει καλύτερη από το πρότυπο αναφοράς, είτε μπορεί να συναγωνιστεί την πρόταση DATUM, δημιουργείται η ανάγκη επανάληψης της εφαρμογής του εργαλείου. Τη δεύτερη φορά λοιπόν θεωρείται ως πρότυπο αναφοράς η λύση που αναδείχτηκε κυρίαρχη ή η πρόταση που απείλησε την λύση DATUM.

Η αξιολόγηση των προτάσεων διενεργείται μέσω της σύγκρισης των κριτηρίων που έχουν τεθεί της κάθε προτεινόμενης λύσης με εκείνη που έχει οριστεί ως πρότυπο αναφοράς. Η βαθμονόμηση της εκάστοτε σύγκρισης γίνεται με την χρησιμοποίηση των συμβόλων «+», «-» και «s» που υποδηλώνουν ότι η συγκεκριμένη λύση είτε υπερέχει, είτε υπολείπεται είτε παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά σε σχέση με την λύση DATUM και το κριτήριο που εξετάζεται κάθε φορά.

Η εφαρμογή του εργαλείου λοιπόν συνιστάται να γίνει όσες φορές χρειάζεται ώστε η επιχείρηση να καταλήξει τελικά με σιγουριά στην βέλτιστη λύση. Στη συνέχεια, παρατίθεται η αρίθμηση των βημάτων που ακολουθούνται για την εφαρμογή του εργαλείου και τη δημιουργία του πίνακα αξιολόγησης των προτάσεων.

1. Η επιλογή των n Κριτηρίων Επιλογής των προτάσεων. Αν έχει ήδη κατασκευαστεί το «Σπίτι της Ποιότητας» (House Of Quality), συνιστάται η χρησιμοποίηση της αριστερής στήλης του σπιτιού, που περιλαμβάνει τις απαιτήσεις των καταναλωτών, ως της στήλης των κριτηρίων στον πίνακα Pugh Concept Evaluation. Επειδή όμως ορισμένα βασικά κριτήρια δεν «μεταφράζονται» σε απαιτήσεις των καταναλωτών, μπορούν να προστεθούν και περισσότερα κριτήρια ανάλογα με τις ανάγκες του υπεύθυνου εφαρμογής του εργαλείου.

2. Η καταγραφή των m Προτεινόμενων Λύσεων. Οι λύσεις αυτές μπορεί να είναι από προτάσεις βελτίωσης μέχρι και προδιαγραφές προϊόντων και υπηρεσιών.
3. Η επιλογή της προτεινόμενης λύσης που θα οριστεί ως Datum. Πρέπει να σημειωθεί, ότι τυχόν λανθασμένη επιλογή DATUM θα οδηγήσει στην εμφάνιση πολλών λύσεων οι οποίες θα υπερέχουν. Για το σκοπό αυτό, η αρχική επιλογή της πρότασης σύμφωνα με την οποία θα γίνονται οι συγκρίσεις είναι πολύ σημαντική στην «σύγκλιση» του συγκεκριμένου εργαλείου.
4. Η διεξαγωγή των συγκρίσεων μεταξύ των προτεινόμενων λύσεων και του προτύπου αναφοράς.
5. Ο υπολογισμός του συνολικού αριθμού των «+», «-» και «s» που εμφάνισε κάθε λύση σε σχέση με την λύση DATUM
6. Η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το αν η επιλογή του προτύπου ήταν σωστή και η ανάγκη επανάληψης της διαδικασίας.

Κριτήρια Επιλογής	Προτεινόμενες Λύσεις					
	Προτεινόμενη Λύση-DATUM	Προτεινόμενη Λύση 1	Προτεινόμενη Λύση 2	Προτεινόμενη Λύση 3	...	Προτεινόμενη Λύση m
Κριτήριο Επιλογής 1	DATUM					
Κριτήριο Επιλογής 2						
Κριτήριο Επιλογής 3						
...						
Κριτήριο Επιλογής n						
Σύνολο (+)						
Σύνολο (-)						
Σύνολο (s)						

Πίνακας 3.24: Pugh Concept Evaluation

Λόγω του ότι τα κριτήρια των καταναλωτών μεταβάλλονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, η προγραμματισμένη αναθεώρηση του συγκεκριμένου εργαλείου κρίνεται επιτακτική. Είναι ευνόητο ότι, ακόμα και η εναλλαγή ενός μόνο κριτηρίου μπορεί να επηρεάσει την επιλογή του προτύπου αναφοράς.

3.4.11 Ανάλυση Κόστους/Οφέλους (Cost/Benefit Analysis)

Ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ανάλυσης Six Sigma είναι η οικονομική αξιολόγηση των επενδύσεων ή των προτάσεων βελτίωσης. Το εργαλείο που διενεργεί τη διαδικασία αυτή ονομάζεται Ανάλυση Κόστους/Οφέλους και εφαρμόζεται σε πολλές στρατηγικές της διοίκησης.

Απαραίτητη προϋπόθεση εφαρμογής του συγκεκριμένου εργαλείου είναι η εύρεση των προτάσεων βελτίωσης που θα μελετηθούν. Επιπροσθέτως, η ανάπτυξη του εργαλείου απαιτεί την καταγραφή και την ανάλυση των χρηματοοικονομικών μεγεθών της επιχείρησης, καθώς και την εκτίμηση των μελλοντικών τιμών τους.

Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιεί ορισμένους χρηματοοικονομικούς δείκτες για να αξιολογήσει μια επένδυση ως προς την αποδοτικότητά της ή την πορεία της επιχείρησης στο χρόνο. Οι σημαντικότεροι δείκτες είναι:

❖ Δείκτης Αποδοτικότητας Ενεργητικού (Return On Assets):

Ο συγκεκριμένος αριθμοδείκτης μετράει την απόδοση των συνολικών περιουσιακών στοιχείων μιας επιχείρησης και επιτρέπει την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της λειτουργίας της. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ROA = \frac{\text{Καθαρά Κέρδη Χρήσης}}{\text{Σύνολο Ενεργητικού}}$$

❖ Δείκτης Αποδοτικότητας Ιδίων Κεφαλαίων (Return On Investment):

Ο αριθμοδείκτης αυτός απεικονίζει την ικανότητα κερδοφορίας μιας επιχείρησης και παρέχει ένδειξη του κατά πόσο επιτεύχθηκε ο στόχος πραγματοποίησης ενός ικανοποιητικού αποτελέσματος από τη χρήση των κεφαλαίων. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ROI = \frac{\text{Καθαρά Κέρδη Χρήσης}}{\text{Σύνολο Ιδίων Κεφαλαίων}}$$

❖ Καθαρή Παρούσα αξία (Net Present Value):

Η ΚΠΑ ορίζεται ως η διαφορά της παρούσας αξίας των ετήσιων εισοδημάτων μείον την παρούσα αξία των ετήσιων εξόδων, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left(\frac{CF_t}{(1+r)^t} \right),$$

όπου n είναι ο ορίζοντας επένδυσης σε χρόνια, r το επιτόκιο αναγωγής και CF_t η καθαρή ταμειακή ροή το έτος t . Οι όροι αποδοχής ή απόρριψης ενός επενδυτικού σχεδίου ανάλογα με την τιμή της ΚΠΑ είναι:

- $ΚΠΑ > 0$, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- $ΚΠΑ = 0$, το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό
- $ΚΠΑ < 0$, η επένδυση απορρίπτεται

❖ Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return):

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης/αναγωγής για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η ΚΠΑ αξία της χρηματοροής μειώνεται. Ο ΕΒΑ είναι το επιτόκιο αναγωγής για το οποίο η καθαρή παρούσα αξία μηδενίζεται. Βρίσκεται δηλαδή, από την λύση της εξίσωσης:

$$\sum_{t=0}^n \left(\frac{CF_t}{(1+r)^t} \right) = 0$$

όπου n είναι ο ορίζοντας επένδυσης σε χρόνια, r το επιτόκιο αναγωγής και CF_t η καθαρή ταμειακή ροή το έτος t . Οι όροι αποδοχής ή απόρριψης ενός επενδυτικού σχεδίου ανάλογα με την τιμή του ΕΒΑ είναι:

- $EBA >$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- $EBA =$ με το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό
- $EBA <$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται.

❖ Χρόνος Ανάκτησης Κεφαλαίου (Payback Period):

Ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να καλυφθεί η δαπάνη της αρχικής επένδυσης από τις ετήσιες ταμειακές ροές μετά φόρων. Το συγκεκριμένο κριτήριο επικρίνεται ως προς δύο σημεία:

- Δεν λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος και
- Δεν λαμβάνει υπόψη τις ταμειακές ροές που πραγματοποιούνται μετά την περίοδο επανείσπραξης του κεφαλαίου επένδυσης.

Εφαρμόζεται όμως ευρέως, καθώς κατά μια έννοια εκφράζει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το επενδυμένο κεφάλαιο βρίσκεται «υπό κίνδυνο». Όσο μικρότερη είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου τόσο ασφαλέστερη θεωρείται η επένδυση.

Για την χρησιμοποίηση των παραπάνω δεικτών και την αξιολόγηση των επενδυτικών σχεδίων, είναι αναγκαία η κατασκευή του πίνακα ταμειακών ροών της επιχείρησης. Τα βήματα που ακολουθούνται για την κατασκευή του είναι:

1. Η επιλογή της επένδυσης της οποίας θα εξετασθεί η κερδοφορία.
2. Η εκτίμηση του επιτοκίου αναγωγής, του συντελεστή φορολόγησης και του συντελεστή απόσβεσης.
3. Η επιλογή του ορίζοντα επένδυσης.
4. Η συλλογή στοιχείων για την εκτίμηση των εσόδων/εξόδων.
5. Ο υπολογισμός του αρχικού κόστους επένδυσης. Το δαπανηθέν κεφάλαιο τοποθετείται στη στήλη των εκροών, στο αντίστοιχο έτος που λαμβάνει χώρα η πληρωμή. Αν ολόκληρο το κόστος επένδυσης καταβάλλεται πριν την έναρξη του έργου, το αντίστοιχο ποσό τοποθετείται στο έτος μηδέν.
6. Ο υπολογισμός των ετήσιων εισροών της επιχείρησης από την εφαρμογή της επένδυσης.
7. Υπολογίζονται τα Πάγια Λειτουργικά Κόστη της επιχείρησης από την εφαρμογή της επένδυσης.
8. Ο υπολογισμός των Μεικτών Αποτελεσμάτων ως εξής :

$$\text{Μεικτά Αποτελέσματα} = \text{Εισροές} - \text{Κόστη Πάγια Λειτουργικά.}$$

9. Ο υπολογισμός των Αποσβέσεων ως εξής :

$$\text{Αποσβέσεις} = \text{Κόστος Επένδυσης} \times \text{Συντελεστής Απόσβεσης.}$$

10. Ο υπολογισμός του Συνόλου των Αποσβέσεων ως το άθροισμα των ετήσιων αποσβέσεων μέχρι εκείνο το έτος.
11. Ο υπολογισμός των Καθαρών Αποτελεσμάτων ως εξής :

$$\text{Καθαρά Αποτελέσματα} = \text{Μεικτά Αποτελέσματα} - \text{Αποσβέσεις}.$$
12. Ο υπολογισμός του Φόρου ως εξής :
 - Αν $\text{Καθαρά Αποτελέσματα} > 0$
 Τότε $\text{Φόρος} = \text{Καθαρά Αποτελέσματα} \times \text{Συντελεστής Φορολόγησης},$
 - Ενώ αν $\text{Καθαρά Αποτελέσματα} \leq 0$
 Τότε $\text{Φόρος} = 0.$
13. Ο υπολογισμός των Καθαρών Κερδών ως εξής :

$$\text{Καθαρά Κέρδη} = \text{Καθαρά Αποτελέσματα} - \text{Φόρος}.$$
14. Ο υπολογισμός της Εναπομένουσας Αξίας στο τέλος του ορίζοντα της επένδυσης ως εξής :

$$\text{Εναπομένουσα Αξία} = \text{Κόστος Επένδυσης} - \text{Σύνολο Αποσβέσεων}.$$
15. Ο υπολογισμός των Καθαρών Ροών ως εξής :

$$\text{Καθαρές Ροές} = \text{Καθαρό Κέρδος} - \text{Εκροές} - \text{Εναπομένουσα Αξία}.$$
16. Ο υπολογισμός της Καθαρής Παρούσας Αξίας.
17. Ο υπολογισμός του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης.
18. Η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κερδοφορία της επένδυσης.

Έτος	Εκροές	Εισροές	Κόστη Πάγια Λειτουργικά	Μεικτά Αποτελέσματα	Αποσβέσεις	Σύνολο Αποσβέσεων	Καθαρά Αποτελέσματα Προ Φόρων	Φόρος	Καθαρό Κέρδος	Εναπομένουσα Αξία	Καθαρές Ροές
0											
1											
2											
3											
4											
5											
										NPV	
										IRR	

Πίνακας 3.25: Αξιολόγηση Επενδύσεων

3.4.12 Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας (Process Capability Analysis)

Το συγκεκριμένο εργαλείο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βαθμού που μια διαδικασία ικανοποιεί τις ανάγκες των καταναλωτών. Ανήκει στην κατηγορία Ανάλυση της Διακύμανσης και Αξιολόγηση των Διαδικασιών (Variation Analysis and Process Evaluation) και περιλαμβάνει τον υπολογισμό των δεικτών που προσδιορίζουν την ικανότητα μιας διαδικασίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί από τους καταναλωτές.

Απαραίτητες προϋποθέσεις εφαρμογής του εργαλείου είναι:

- η υπό μελέτη διαδικασία να βρίσκεται υπό «στατιστικό έλεγχο» (Statistical Control), δηλαδή οι μεταβολές των τιμών της να είναι τυχαίες και να παρουσιάζουν σταθερό ρυθμό εμφάνισης
- η κατανομή των τιμών της υπό μελέτη διαδικασίας να προσεγγίζει την κανονική κατανομή.

Λόγω του μεγάλου αριθμού των πράξεων, αλλά και του μεγέθους του δείγματος που μπορεί να εξετασθεί, συνιστάται η χρησιμοποίηση στατιστικού προγράμματος σε Η/Υ για την εφαρμογή του εργαλείου. Επιπροσθέτως, προγράμματα όπως το Minitab, μαζί με τα αποτελέσματα παραθέτουν και τη διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας, όπου γίνεται εμφανής ο βαθμός στον οποίο ικανοποιούνται οι ανάγκες των καταναλωτών.

Πριν την εφαρμογή του εργαλείου τα μεγέθη που πρέπει να υπολογιστούν ή να εκτιμηθούν είναι:

- Το Άνω Όριο Προδιαγραφών (Upper Specification Limit) που έχει τεθεί από τους καταναλωτές.
- Το Κάτω Όριο Προδιαγραφών (Lower Specification Limit) που έχει τεθεί από τους καταναλωτές.
- Η τυπική απόκλιση s (Standard Deviation) του δείγματος που εξετάζεται.
- Η μέση τιμή m (Mean) του δείγματος που εξετάζεται.

Οι βασικότεροι τρόποι περιγραφής της ικανότητας μιας διαδικασίας είναι:

❖ Αριθμός των Ελαττωμάτων

- Αριθμός Ελαττωμάτων ανά Αντικείμενο (Defects Per Unit)

$$DPU = \frac{\text{Συνολικός Αριθμός Ελαττωμάτων}}{\text{Συνολικός Αριθμός Αντικειμένων}}$$

- Αριθμός Ελαττωμάτων Ανά Εκατομμύριο Παρατηρήσεις (Defects Per Million Opportunity)

$$DPMO = DPU \times 1,000,000$$

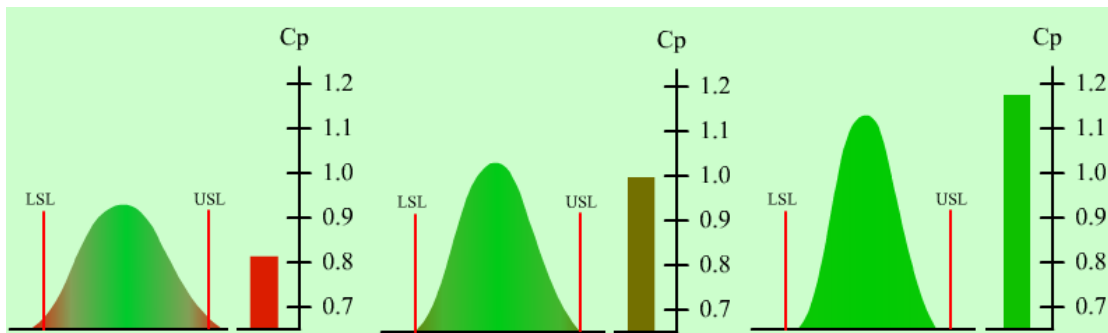
❖ Δείκτες Ικανότητας Διαδικασιών (Process Capability Indexes)

Οι δύο πιο διαδεδομένοι δείκτες προσδιορισμού της δυνατότητας μιας διαδικασίας να ικανοποιεί τις προδιαγραφές των καταναλωτών σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα είναι ο C_p και ο C_{pk} .

- C_p :

Ορίζεται ως $C_p = \frac{USL-LSL}{6s}$ και εκφράζει τη σχέση του εύρους των ορίων προδιαγραφών του εξεταζόμενου μεγέθους, με το φυσικό εύρος των τιμών της διεργασίας. Το βασικό μειονέκτημα του δείκτη C_p είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη τη μέση τιμή της διεργασίας. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην επηρεάζεται από τη διαφορά της μέσης τιμής από το κέντρο

της περιοχής των προδιαγραφών και πολλές φορές αδυνατεί να εντοπίσει την περισσότερο ικανή διεργασία. Αν ο δείκτης C_p προκύψει μεγαλύτερος από 1.5 τότε η διαδικασία θεωρείται ικανή. Αντίθετα, αν προκύψει στο διάστημα από 1 έως 1.5 θεωρείται ότι μπορεί να καλύψει τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί μόνο οριακά και υπάρχουν περιθώρια βελτίωσής της. Τέλος, αν προκύψει μικρότερος της μονάδας η διαδικασία χαρακτηρίζεται «ανίκανη». Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το πως μεταβάλλονται οι κατανομές για τις διάφορες τιμές του C_p , κρατώντας όμως σταθερά τα άνω και κάτω όρια προδιαγραφών.



Σχήμα 3.21 Μεταβολή Κατανομής συναρτήσει του C_p

- C_{pk} :

Εξαιτίας του μειονεκτήματος του δείκτη C_p εξετάζεται ο συγκεκριμένος δείκτης ικανότητας ο οποίος εμπεριέχει και την μέση τιμή της διαδικασίας στον υπολογισμό του. Ορίζεται ως η διαφορά του πληρέστερου ορίου προδιαγραφών από τη μέση τιμή προς το μισό του φυσικού εύρους τιμών της διεργασίας. Με άλλα λόγια ισούται με: $C_{pk} = \min\left(\frac{USL-m}{3s}, \frac{m-LSL}{3s}\right)$. Αν ο δείκτης C_p προκύψει μεγαλύτερος από 1.33 τότε η διαδικασία θεωρείται ικανή. Αντίθετα, αν προκύψει στο διάστημα από 1 έως 1.33 θεωρείται ότι μπορεί να καλύψει τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί μόνο οριακά και υπάρχουν περιθώρια βελτίωσής της. Τέλος, αν προκύψει μικρότερος της μονάδας η διαδικασία χαρακτηρίζεται «ανίκανη». Σημειώνεται, ότι για να επιτευχθεί η ποιότητα 6σ πρέπει η τιμή του δείκτη να πάρει την τιμή 2.

- C_{pm} :

Ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων που η μέση τιμή της διαδικασίας απέχει από την τιμή στόχο T που εξετάζεται. Όταν $C_p=C_{pk}$ τότε η μέση τιμή m και η τιμή T ταυτίζονται. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης C_{pm} τόσο πιο ικανή είναι η διαδικασία.

- C_m :

Ορίζεται ως Ικανότητα της Μηχανής και ισούται με $C_m = \frac{USL-LSL}{8s}$. Αν ο δείκτης C_m προκύψει μεγαλύτερος από 1.33 τότε η διαδικασία θεωρείται ικανή.

- Λόγος Ικανότητας (Capability Ratio):

Ορίζεται ως το αντίστροφο του δείκτη Cp και ισούται με $CR = \frac{6s}{USL-LSL}$. Όσο μικρότερος ο λόγος τόσο το καλύτερο. Αν ο λόγος ικανότητας προκύψει μικρότερος από 0.5, η διαδικασία θεωρείται ικανή.

Αντίστοιχοι με τους δείκτες Cp και Cpk, αλλά αναφερόμενοι σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, είναι οι δείκτες Pp και Ppk. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση σ του πληθυσμού.

- Pp:

Ορίζεται ως $Pp = \frac{USL-LSL}{6\sigma}$ και όσο μεγαλύτερος προκύψει τόσο πιο ικανή είναι η διαδικασία.

- Ppk:

Ορίζεται ως $Ppk = \min\left(\frac{USL-m}{3\sigma}, \frac{m-LSL}{3\sigma}\right)$ και όσο μεγαλύτερος προκύψει τόσο πιο ικανή είναι η διαδικασία.

- Z_L:

Ορίζεται ως $Z_L = m - LSL$ και όσο μεγαλύτερος προκύψει τόσο πιο ικανή είναι η διαδικασία. Πρέπει $Z_L > 3$ για να είναι η διαδικασία αποδεκτή και $Z_L > 6$ για να αγγίζει την ποιότητα 6σ.

- Z_U:

Ορίζεται ως $Z_U = USL - m$ και όσο μεγαλύτερος προκύψει τόσο πιο ικανή είναι η διαδικασία. Πρέπει $Z_U > 3$ για να είναι η διαδικασία αποδεκτή και $Z_U > 6$ για να αγγίζει την ποιότητα 6σ.

- Z_{min}:

Ορίζεται ως $Z_{min} = \min(Z_L, Z_U)$ και όσο μεγαλύτερος προκύψει τόσο πιο ικανή είναι η διαδικασία. Πρέπει $Z_{min} > 3$ για να είναι η διαδικασία αποδεκτή και $Z_{min} > 6$ για να αγγίζει την ποιότητα 6σ.

❖ Yield

- First Pass Yield:

Ορίζεται ως $FPY = \frac{\text{Αριθμός Μη-ελαττωματικών Αντικειμένων}}{\text{Συνολικός Αριθμός Αντικειμένων}} = (1 - p)^n$, όπου p είναι η πιθανότητα εμφάνισης ελαττώματος. Σημειώνεται, ότι ο συγκεκριμένος δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη τα ελαττωματικά αντικείμενα τα οποία μετά τη διόρθωσή τους επανατοποθετούνται στο σύνολο.

- Rolled Throughput Yield:

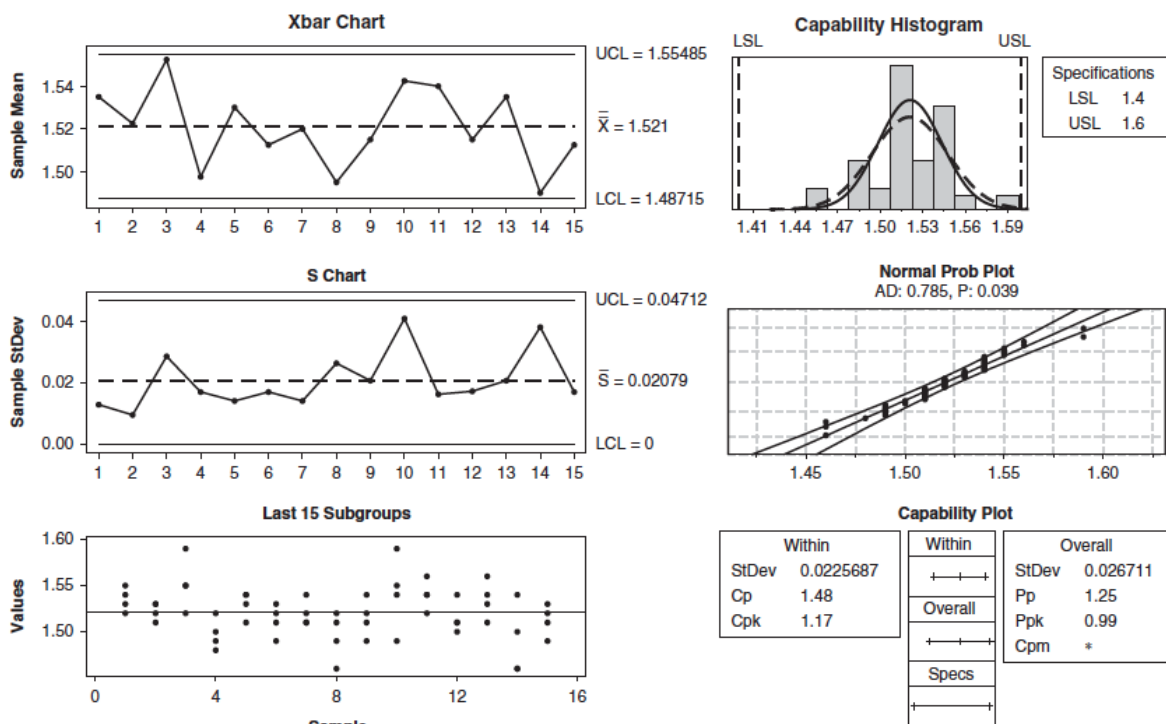
Ορίζεται ως ο υπολογισμός του συνολικού DPMO μιας διαδικασίας μέσω του γινομένου των DPMO κάθε επιμέρους βήματός της. Δίνεται από τον τύπο:

$DPMO_{Total} = \left(1 - \frac{DPMO_1}{1,000,000}\right) \times \left(1 - \frac{DPMO_2}{1,000,000}\right) \times \dots \times \left(1 - \frac{DPMO_n}{1,000,000}\right)$ για μια διαδικασία που εμπεριέχει n βήματα.

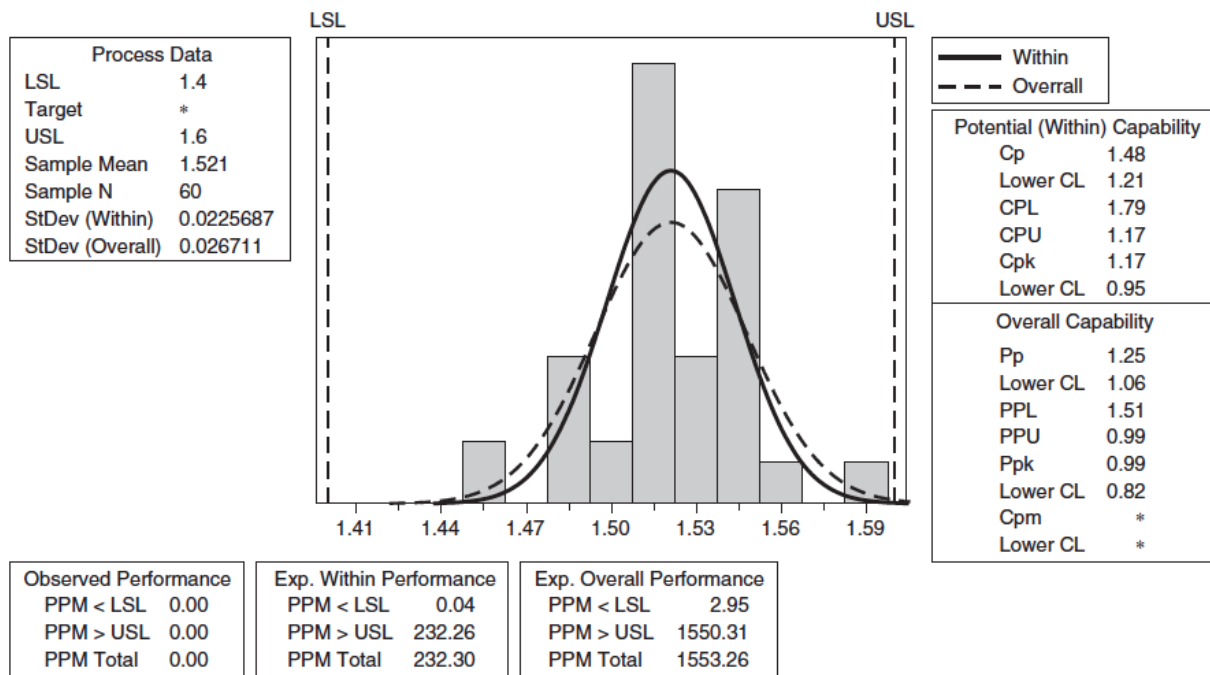
Έχοντας λοιπόν αναπτύξει τους δείκτες αξιολόγησης της ικανότητας μιας διαδικασίας, μπορούμε να περάσουμε στην ανάπτυξη των βημάτων που ακολουθούνται για την εφαρμογή του εργαλείου.

1. Η επιλογή της προς αξιολόγηση διαδικασίας.
2. Η εκτίμηση του Άνω και του Κάτω Ορίου των Προδιαγραφών. Το βήμα αυτό επιτυγχάνεται ύστερα από τη διεξαγωγή έρευνας και τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις απαιτήσεις των καταναλωτών.
3. Η συλλογή και η καταγραφή των δεδομένων της διαδικασίας.
4. Ο έλεγχος της κανονικότητας της διαδικασίας μέσω της κατασκευής του Normal Probability Plot.
5. Ο υπολογισμός των δεικτών ικανότητας.
6. Η Εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ικανότητα της διαδικασίας να αντεπεξέλθει στις ανάγκες των καταναλωτών.

Η εφαρμογή του εργαλείου Ικανότητα Διαδικασίας στο Minitab δίνει τα αποτελέσματα που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.22: Διαγράμματα Ανάλυσης Ικανότητας Διαδικασίας στο Minitab



Σχήμα 2.23: Αποτελέσματα Ανάλυσης Ικανότητας Διαδικασίας στο Minitab



Κεφάλαιο 4^ο : Μελέτη Περίπτωσης Εφαρμογής της Μεθοδολογίας 6 Σίγμα (Six Sigma) στην Πολύ Μικρή Ελληνική Επιχείρηση «Toyota-Παιανία»

4.1 Περιγραφή της Επιχείρησης «Toyota-Παιανία»

Η μεθοδολογία 6 Σίγμα (Six Sigma) όπως έχει προαναφερθεί μπορεί να εφαρμοστεί σε πληθώρα επιχειρήσεων ανεξαρτήτως της φύσης και του μεγέθους τους. Για την καλύτερη εφαρμογή της και για να επιτευχθεί ο στόχος της διπλωματικής εργασίας αναζητήθηκαν διάφοροι τύποι πολύ μικρών ελληνικών επιχειρήσεων.

Τα κριτήρια τα οποία λήφθηκαν υπόψη για την τελική επιλογή της επιχείρησης στην οποία θα εφαρμοστεί η στρατηγική της ανάλυσης Six Sigma ήταν:

- Ο αριθμός των εργαζομένων να είναι μικρότερος από 10
- Ο σκοπός που επιτελεί η επιχείρηση να είναι η παροχή υπηρεσιών ώστε να αποδειχθεί ότι η ανάλυση δεν περιορίζεται στον έλεγχο μιας παραγωγικής διαδικασίας και μόνο
- Ο τύπος της επιχείρησης να είναι κοινός και εγκατεστημένος στην ελληνική κοινωνία εδώ και χρόνια και όχι περιορισμένος στο σύγχρονο τρόπο ζωής
- Το κέρδος της επιχείρησης να μην είναι ικανό να καλύψει την εκπαίδευση του προσωπικού της στις μεθόδους της ανάλυσης Six Sigma ώστε να λάβουν κάποια από τις ζώνες.

Τελικά, επιλέχθηκε η μελέτη εφαρμογής να γίνει στην επιχείρηση «Toyota-Παιανία» που παρέχει υπηρεσίες φανοποιίας και βαφής αυτοκινήτων. Η επιχείρηση διαθέτει ιδιόκτητο χώρο 700 τ.μ. στην περιοχή της Παιανίας και στεγάζεται σε δύο επίπεδα. Απασχολεί σε μόνιμη βάση 9 εργαζόμενους στις εξής θέσεις:

- Ένας διευθυντής φανοποιείου
- Τρεις εργαζόμενοι στο χώρο του φανοποιείου
- Ένας υπεύθυνος βαφής
- Τρεις εργαζόμενοι στο χώρο βαφών
- Ένας γραμματέας

Στο κάτω επίπεδο εκτελούνται οι εργασίες φανοποιίας και βρίσκονται τα εξής τμήματα:

- Τα γραφεία της επιχείρησης
- Τρεις ειδικά διαμορφωμένοι χώροι εργασίας
- Η αποθήκη ανταλλακτικών

- Ο αεροσυμπιεστής
- Ο χώρος Parking των αυτοκινήτων
- Διάφοροι υποστηρικτικοί χώροι



Εικόνα 4.1: Κάτω επίπεδο-Χώροι Εργασίας Φανοποιείου

Στο άνω επίπεδο εκτελούνται οι εργασίες βαφής και βρίσκονται τα εξής τμήματα:

- Τρεις ειδικά διαμορφωμένοι χώροι εργασίας
- Δύο φούρνοι βαφής
- Η αποθήκη χρωμάτων και ο χώρος παρασκευής τους
- Διάφοροι υποστηρικτικοί χώροι



Εικόνα 4.2: Άνω επίπεδο-Χώρος προεργασίας της βαφής



Η εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma έγινε με γνώμονα το DMAIC Roadmap με σκοπό τη βελτίωση των υπαρχουσών διαδικασιών. Σε κάθε φάση του DMAIC χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εργαλεία:

Define Phase

- Τεχνικές Συλλογής Δεδομένων για τις Ανάγκες των Καταναλωτών (Voice Of Customer Gathering Techniques)
- Αντιληπτό Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά (Market Perceived Quality Profile)
- Χάρτης Διαδικασιών (Process Map)
- Οι πέντε δυνάμεις του Porter (Porter's Five Forces)
- Ανάλυση Προτερημάτων-Αδυναμιών-Ευκαιριών-Απειλών (SWOT Analysis)

Measure Phase

- Δειγματοληψία (Sampling)
- Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης (Measurement System Analysis)
- Gage R&R
- Διάγραμμα Fishbone
- Boxplot

Analyze Phase

- Ανάλυση Συσχέτισης (Correlation Analysis)
- Ανάλυση Διακύμανσης (Analysis Of Variance)
- Διάγραμμα Pareto
- Σπίτι Της Ποιότητας (House Of Quality)
- Εκτίμηση Αποτυχιών και Ανάλυση Αποτελεσμάτων (Failure Modes and Effects Analysis)

Improve Phase

- Αξιολόγηση Προτάσεων του Pugh (Pugh Concept Evaluation)
- Ανάλυση Κόστους/Οφέλους (Cost/Benefit Analysis)

Control Phase

- Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας (Process Capability Analysis)
- Διαγράμματα Ελέγχου (Control Charts)

Η επιλογή των εργαλείων για κάθε επιμέρους φάση της ανάλυσης έγινε ύστερα από τη μελέτη της λίστας των εργαλείων της στρατηγικής Six Sigma. Βασικό κριτήριο ήταν η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης ώστε να αποδειχθεί ότι μια πολύ μικρή ελληνική επιχείρηση μπορεί σε σύντομο χρονικό διάστημα να αποκομίσει τα οφέλη της μεθοδολογίας Six Sigma χωρίς να δαπανήσει κεφάλαιο για την εκπαίδευση του προσωπικού της.

4.2 Φάση Προσδιορισμού (Define Phase)

4.2.1 Τεχνικές Συλλογής Δεδομένων για τις Ανάγκες των Καταναλωτών (Voice Of Customer Gathering Techniques)

Σε διάρκεια δύο μηνών ερωτήθηκαν οι πελάτες της επιχείρησης Toyota-Παιανία, καθώς και οι βασικοί προμηθευτές της, έτσι ώστε να βρεθούν τα Critical To Quality (CTQ) χαρακτηριστικά των υπηρεσιών. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της άμεσης επικοινωνίας μέσω συνέντευξης για την άντληση των δεδομένων από τους πελάτες και η μέθοδος της τηλεφωνικής επικοινωνίας για τους προμηθευτές. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι ερωτηθέντες πελάτες είχαν ήδη επιλέξει την επιχείρηση Toyota-Παιανία για να τους παρέχει τις υπηρεσίες που είχαν ανάγκη, οι απαντήσεις τους δεν μπορούν να χαρακτηριστούν αμερόληπτες. Για το σκοπό αυτό, ερωτήθηκαν και καταναλωτές που δεν έχουν επισκεφτεί ποτέ την επιχείρηση, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του ερωτηματολογίου. Τα στοιχεία που αντλήθηκαν από την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν σε πολλά από τα επόμενα εργαλεία και παρουσιάζονται στις αντίστοιχες ενότητες.

4.2.2 Αντιληπτό Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά (Market Perceived Quality Profile)

Το επόμενο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε στη φάση του Προσδιορισμού έχει ως στόχο τον καθορισμό των βασικών χαρακτηριστικών των υπηρεσιών της φανοποιίας και της βαφής αυτοκινήτων που τις καθιστούν ανταγωνιστικές, στον κλάδο αυτό. Ακόμη, υπολογίζεται το χάσμα που παρατηρείται σε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά αυτά, ανάμεσα στην δική μας επιχείρηση και τις ανταγωνιστικές του κλάδου.

Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή του εργαλείου ήταν η εύρεση των κύριων ανταγωνιστών της και η κατασκευή του Πίνακα 4.1 της Θέσης των Ανταγωνιστών. Λόγω του ότι υπάρχουν δύο τμήματα της αγοράς στα οποία η Toyota-Παιανία απευθύνεται, κατασκευάστηκαν δύο διαφορετικοί πίνακες, ένας για τους γενικούς πελάτες και ένας για τους πελάτες της αντιπροσωπείας της Toyota.

Σε κάθε έναν από τους πίνακες συγκρίθηκαν για τις τέσσερις επιχειρήσεις:

- Το ποσοστό του μεριδίου της αγοράς το οποίο καταλαμβάνουν
- Το επίπεδο του δείκτη τιμών, αν η Toyota-Παιανία βαθμολογείται με το 100%
- Το επίπεδο του δείκτη άμεσου κόστους (συνολικά πάγια και λειτουργικά κόστη), αν η Toyota-Παιανία βαθμολογείται με το 100%
- Το επίπεδο ποιότητας και χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας

Επόμενο βήμα ήταν η κατασκευή του Πίνακα 4.2, για την κατασκευή του οποίου χρησιμοποιήθηκαν τα VOC δεδομένα που είχαν συγκεντρωθεί από την εφαρμογή του αντίστοιχου εργαλείου. Κατασκευάστηκε μόνο ένας πίνακας, εκείνος για το μερίδιο της αγοράς που αφορά τους γενικούς πελάτες, καθώς εκεί εμφανίζονται τέσσερις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις και έχει μεγαλύτερη αξία η



εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου. Επιλέχθηκαν δώδεκα βασικά κριτήρια των καταναλωτών για την παροχή των υπηρεσιών, η βαρύτητα των οποίων μετρήθηκε σε κλίμακα από 1 έως 100. Η επιλογή των κριτηρίων έγινε σύμφωνα με τα 10 κριτήρια του Berry για την παροχή υπηρεσιών, ενώ προστέθηκαν και δύο ακόμη. Η βαρύτητα των κριτηρίων υπολογίστηκε αφού ζητήθηκε από 40 πελάτες της επιχείρησης να ταξινομήσουν τα 12 κριτήρια σε σειρά προτίμησης. Ύστερα, εκτιμήθηκε ο βαθμός απόδοσης ποιότητας κάθε επιχείρησης σε κλίμακα από 1 έως 10 για κάθε ένα από τα προαναφερθέντα κριτήρια. Τέλος, υπολογίστηκε το χάσμα που δημιουργείται ανάμεσα στην Toyota-Παιανία και τον κάτοχο της βέλτιστης ποιότητας κάθε κριτηρίου.

Οι αρνητικές τιμές του πίνακα φανερώνουν τα κριτήρια που η επιχείρησή μας υστερεί σε σχέση με τους ανταγωνιστές της, ενώ οι μηδενικές τιμές τα κριτήρια στα οποία κατέχει τη βέλτιστη ποιότητα.

Τα κύρια σημεία στα οποία υστερεί λοιπόν η Toyota-Παιανία είναι:

- Η πρόσβαση στο χώρο λόγω των οδικών έργων που λαμβάνουν χώρα συχνά στη περιοχή τα τελευταία χρόνια, καθώς και λόγω του ότι ενώ το φανοποιείο-βαφείο βρίσκεται πάνω στη λεωφόρο Λαυρίου, η είσοδος των αυτοκινήτων γίνεται από την πίσω πλευρά
- Η ασφάλεια των αυτοκινήτων στην περίπτωση που υπάρχουν πολλά αυτοκίνητα στο χώρο της επιχείρησης και θα πρέπει ορισμένα από αυτά αναγκαστικά να φυλάσσονται στον εξωτερικό χώρο Parking

Αντίθετα, η επιχείρησή μας υπερτερεί έναντι των ανταγωνιστών της σε θέματα αξιοπιστίας, χρονικής ανταπόκρισης, ευγένειας, ειλικρίνειας, ανθεκτικότητας της βαφής και αισθητικής.

Πίνακας Θέσης Ανταγωνιστών							
Γενικοί Πελάτες (30% του συνόλου)					Πελάτες TOYOTA (70% του συνόλου)		
	Toyota-Παιανία	Toyota-Γλυκά Νερά	Γενικό Συνεργείο	FIAT		TOYOTA-Παιανία	TOYOTA-Γλυκά Νερά
Μερίδιο Αγοράς (%)	40%	30%	10%	20%	Μερίδιο Αγοράς (%)	55%	45%
Δείκτης Τιμών	100%	110%	70%	80%	Δείκτης Τιμών	100%	110%
Δείκτης Άμεσου Κόστους	100%	120%	60%	70%	Δείκτης Άμεσου Κόστους	100%	120%
Επίπεδο ποιότητας και χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας (Ανώτερο-Ίσο-Κατώτερο)	Ίσο	Ίσο	Κατώτερο	Κατώτερο	Επίπεδο ποιότητας και χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας (Ανώτερο-Ίσο-Κατώτερο)	Ίσο	Ίσο

Πίνακας 4.1: Ανάλυση της Θέσης των Ανταγωνιστών



Market Perceived Quality Profile										
Βασικά κριτήρια των καταναλωτών	Σχετική σημαντικότητα		Βαθμός Απόδοσης Ποιότητας (1-10)				Συντελεστές βαρύτητας			Χάσμα TOYOTA-Παιανία και βέλτιστης Ποιότητας Κριτηρίου
	Βαρύτητα Κριτηρίων (1-100)	Μερίδιο Σημαντικότητας	Toyota-Παιανία	Toyota-Γλυκά Νερά	Γενικό Συνεργείο	FIAT	Toyota-Παιανίας	Βέλτιστη Ποιότητα Κριτηρίου	Κάτοχος Μεγαλύτερου Μεριδίου Αγοράς	
Αξιοπιστία Επιχείρησης	78	11.49%	8	7	4	6	0.919	0.919	0.046	0.000
Χρονική Ανταπόκριση	85	12.52%	8	7	5	6	1.001	1.001	0.050	0.000
Επάρκεια Τεχνικών Γνώσεων	15	2.21%	6	7	3	9	0.133	0.199	0.009	-0.066
Πρόσβαση στο χώρο	71	10.46%	6	8	7	5	0.627	0.837	0.042	-0.209
Ευγένεια	65	9.57%	9	7	6	8	0.862	0.862	0.038	0.000
Ειλικρίνεια	60	8.84%	8	7	4	6	0.707	0.707	0.035	0.000
Ασφάλεια αυτοκινήτων	44	6.48%	7	9	5	6	0.454	0.583	0.026	-0.130
Κατανόηση των πελατών	55	8.10%	8	7	9	6	0.648	0.729	0.032	-0.081
Ανθεκτικότητα	40	5.89%	8	7	5	6	0.471	0.471	0.024	0.000
Δυνατότητα Επισκευής/Εγγύηση	30	4.42%	6	7	5	8	0.265	0.353	0.018	-0.088
Εμφάνιση/Αισθητική	75	11.05%	9	8	4	7	0.994	0.994	0.044	0.000
Απόδειξη υπηρεσίας	61	8.98%	8	9	3	6	0.719	0.809	0.036	-0.090
Σύνολο	679	100.00%								

Πίνακας 4.2: Υπολογισμός του Χάσματος

4.2.3 Χάρτης Διαδικασιών (Process Map)

Ένα αναγκαίο εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma είναι εκείνο της κατασκευής του χάρτη των βασικών διαδικασιών μιας επιχείρησης. Καμία πρόταση βελτίωσης δεν μπορεί να έχει επιτυχία αν πρώτα δεν έχει χωριστεί η παραγωγική διαδικασία (ή στην περίπτωση μας η διαδικασία της παροχής των υπηρεσιών) σε επιμέρους διεργασίες.

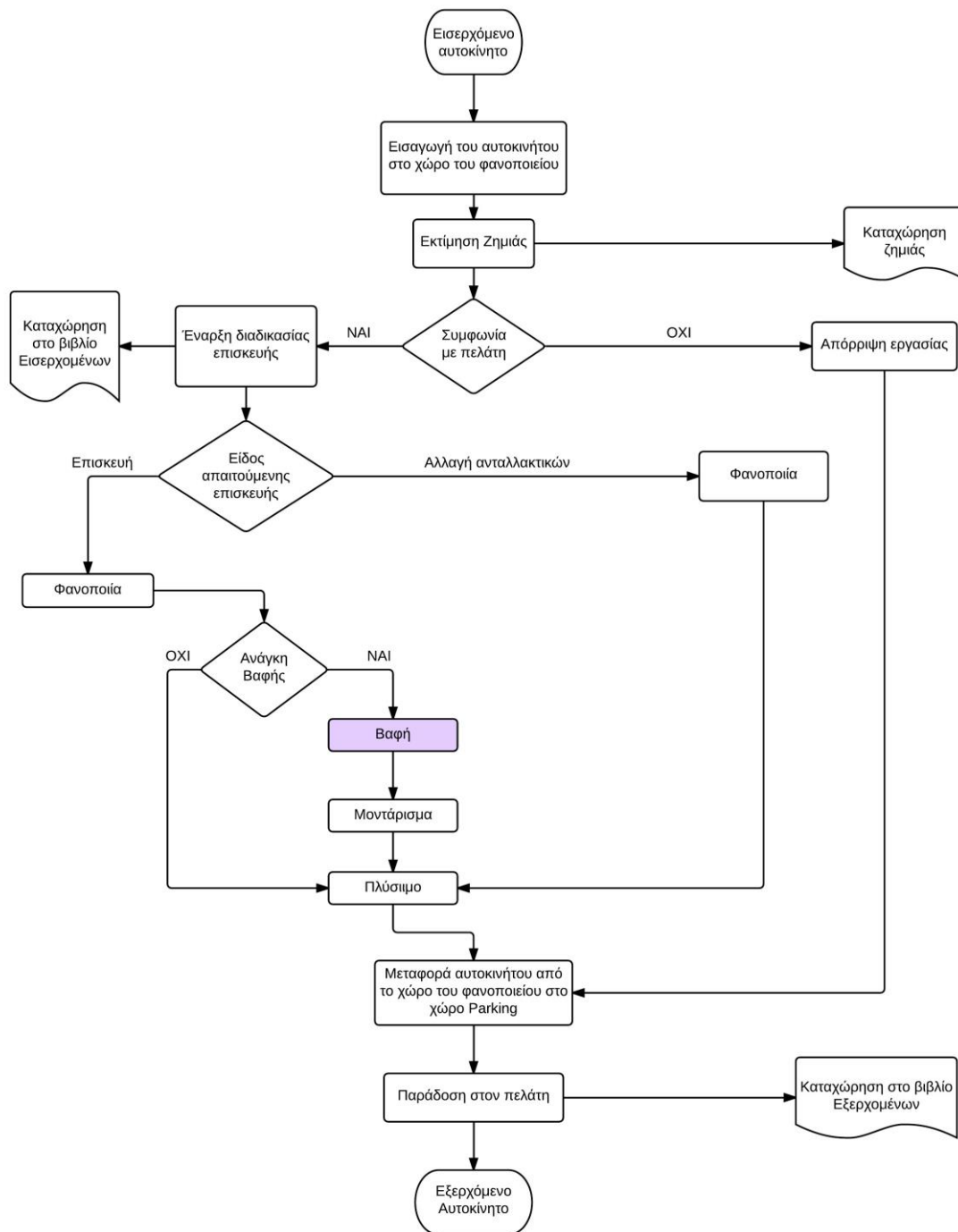
Επιλέχθηκε η χρήση των διαγραμμάτων ροής, καθώς αποτελούν την πιο διαδεδομένη μέθοδο κατασκευής του Χάρτη των Διαδικασιών. Για τις ανάγκες της Toyota-Παιανία δημιουργήθηκαν δύο διαγράμματα ροής, ένα γενικό, ώστε να γίνουν κατανοητά τα βασικά στάδια της φανοποιίας και της βαφής και ένα ειδικό όπου περιγράφεται η διαδικασία της βαφής ενός οχήματος από τη στιγμή της επιλογής του χρώματος μέχρι την έξοδό του από το φούρνο.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι επιλέχθηκε η ανάλυση της διαδικασίας της βαφής, καθώς είναι ο τομέας στον οποίο επικεντρώνονται τα περισσότερα από τα εργαλεία που ακολουθούν στη συνέχεια. Πρέπει να σημειωθεί, ότι δόθηκε έμφαση στη συγκεκριμένη διαδικασία λόγω του ότι σύμφωνα με τα στοιχεία VOC, ένα από τα βασικότερα κριτήρια των καταναλωτών ήταν η ομοιομορφία της βαφής. Ένα ακόμη βασικό κριτήριο για τους πελάτες είναι η τήρηση του χρονοδιαγράμματος, καθώς όλοι θέλουν να γνωρίζουν την ακριβή ώρα και ημερομηνία παράδοσης του οχήματός τους. Λόγω του ότι η διαδικασία της βαφής, με όλες τις επιμέρους διεργασίες που περιλαμβάνει, καταλαμβάνει περίπου το 60% του χρόνου παραμονής ενός οχήματος στο χώρο της επιχείρησης, επιλέχθηκε η εκτενέστερη ανάλυσή της με σκοπό την αναζήτηση περιθωρίων βελτίωσης.

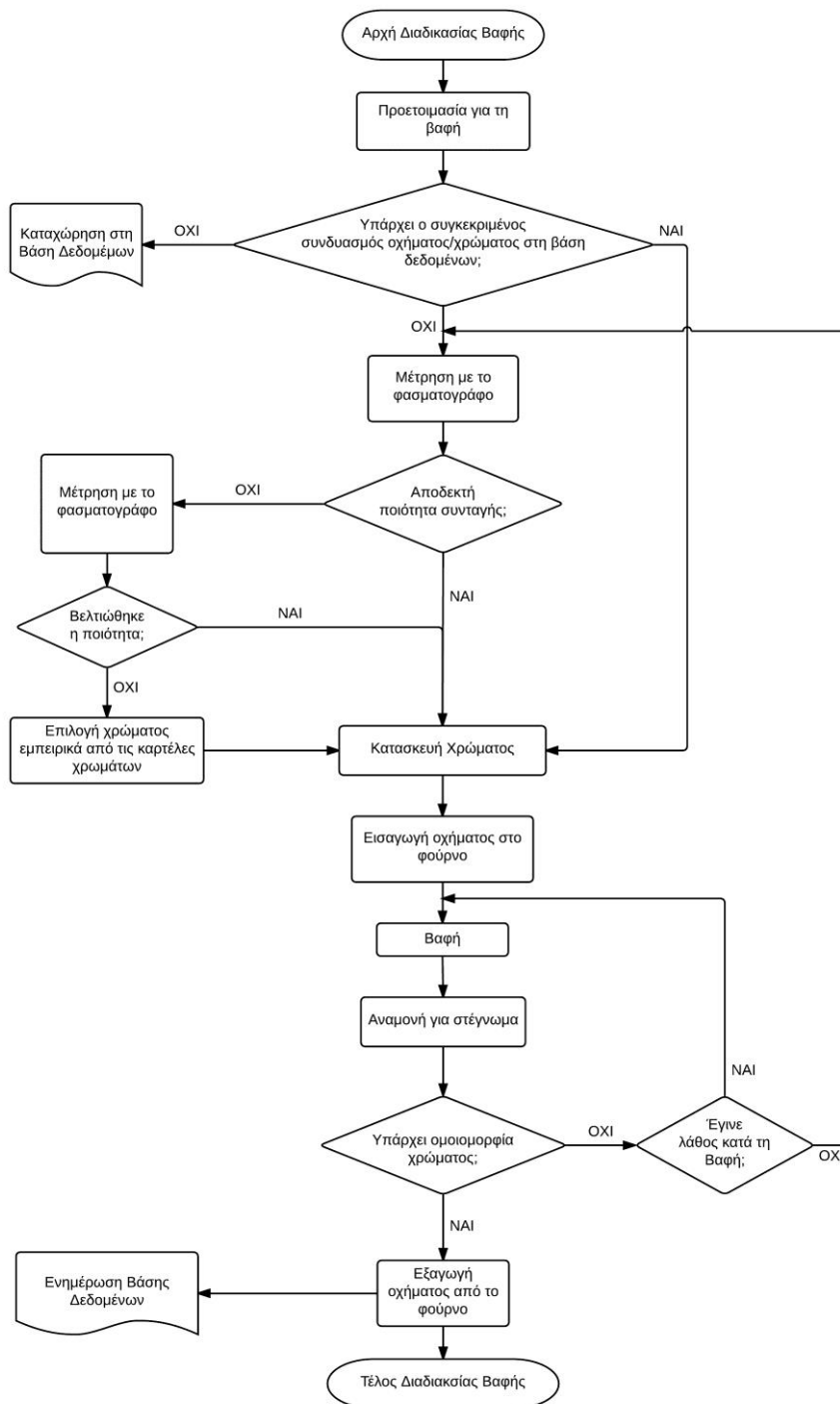
Έπειτα από την κατασκευή του διαγράμματος ροής της διαδικασίας της βαφής, αλλά και από την παρατήρηση των αντίστοιχων χρόνων ολοκλήρωσης των επιμέρους διεργασιών που αυτή εμπεριέχει, μπορούμε να τη διαχωρίσουμε σε τέσσερα βασικά τμήματα. Οι επιμέρους λοιπόν διεργασίες που προέκυψαν, τοποθετημένες βάσει της σειράς ολοκλήρωσής τους, είναι οι εξής:

1. Προετοιμασία οχήματος για βαφή
2. Επιλογή χρώματος
3. Κατασκευή χρώματος
4. Βαφή οχήματος

Από την εφαρμογή του εργαλείου κατασκευής του Process Map, έγινε κατανοητό ότι επιτεύχθηκε η καλύτερη εποπτεία των διαδικασιών που ακολουθούνται, που ήταν και ο βασικός στόχος του εργαλείου. Επίσης, καταφέραμε να χωρίσουμε τη διαδικασία της βαφής σε επιμέρους τμήματα, κάθε ένα από τα οποία απαιτεί διαφορετικό τρόπο προσέγγισης.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα Ροής της συνολικής διαδικασίας της παροχής υπηρεσιών



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα Ροής της διαδικασίας της βαφής

4.2.4 Οι Πέντε Δυνάμεις του Porter (Porter's Five Forces)

Το συγκεκριμένο εργαλείο, ανήκει στην κατηγορία Ανταγωνιστική Θέση και Αγορά και ο σκοπός που επιτελεί είναι η διαπίστωση της θέσης μια επιχείρησης σε σχέση με τις ανταγωνιστικές της και η δημιουργία μιας επιχειρηματικής στρατηγικής για τη βελτίωσή της.

Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου αντλήθηκαν πληροφορίες από τη διοίκηση της επιχείρησης Toyota-Παιανία, σχετικά με τις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις, το μερίδιο της αγοράς στο οποίο απευθύνεται, καθώς και τους εξωτερικούς παράγοντες που επιδρούν σε αυτήν. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στη φάση αυτή της ανάλυσης διασταυρώθηκαν και με τις απαντήσεις που έδωσε στις ίδιες ερωτήσεις ένας από τους βασικότερους προμηθευτές ανταλλακτικών της επιχείρησης, ο οποίος συνεργάζεται και με άλλες επιχειρήσεις του κλάδου στην περιοχή της Παιανίας.

Οι πέντε συνιστώσες που πρέπει να μελετηθούν είναι:

- 1) Η απειλή εισόδου νέων ανταγωνιστών
- 2) Η διαπραγματευτική δύναμη των αγοραστών
- 3) Η απειλή υποκατάστατων προϊόντων ή υπηρεσιών
- 4) Η διαπραγματευτική δύναμη των προμηθευτών
- 5) Η αντιπαλότητα μεταξύ των υφιστάμενων επιχειρήσεων του κλάδου

Η απειλή εισόδου νέων ανταγωνιστών

Η περιοχή της Παιανίας κατακλύζεται από επιχειρήσεις του κλάδου των αυτοκινήτων που ασχολούνται είτε με την πώληση μεταχειρισμένων και καινούργιων οχημάτων, είτε με την επισκευή, τη φανοποιία και τη βαφή τους. Την τελευταία δεκαετία όσες νέες επιχειρήσεις προσπάθησαν να αποκτήσουν ένα σεβαστό μερίδιο της αγοράς απέτυχαν, καθώς δεν είχαν κάτι παραπάνω να προσφέρουν από τους ανταγωνιστές τους.

Ένας ακόμη βασικός λόγος αποτυχίας είναι ότι το κεφάλαιο που απαιτείται είναι μεγάλο και η απόσβεσή του γίνεται μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Μια επένδυση λοιπόν στο συγκεκριμένο κλάδο στην περιοχή της Παιανίας σίγουρα κρίνεται μη συμφέρουσα.

Οι μόνες επιχειρήσεις που θα μπορούσαν να σταθούν στον ανταγωνισμό είναι εκείνες που θα συνεργάζονταν με κάποια επίσημη αντιπροσωπεία αυτοκινήτων, παράρτημα της οποίας δεν υπάρχει στην περιοχή. Το 70% των πελατών ενός φανοποιείου-βαφείου αφορά κατόχους αυτοκινήτων μάρκας της αντιπροσωπείας, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τη δικιά μας επιχείρηση.

Η διαπραγματευτική δύναμη των αγοραστών

Όπως συμβαίνει στις περισσότερες επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παροχή υπηρεσιών έτσι και στην Toyota-Παιανίας ο παράγοντας του αγοραστή-πελάτη παίζει καίριο ρόλο στη λειτουργία της. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου τύπου επιχείρησης είναι η επαφή με τις



ασφαλιστικές εταιρίες των πελατών. Τις περισσότερες φορές η ασφαλιστική εταιρεία είναι εκείνη που καλύπτει το κόστος της παροχής υπηρεσιών και ουσιαστικά ο πελάτης δεν ενδιαφέρεται για το ύψος του κόστους, καθώς επιλέγει την τοποθέτηση ακριβών, καινούργιων και γνήσιων ανταλλακτικών για το αυτοκίνητό του.

Στον αντίποδα, όταν ο πελάτης είναι εκείνος που καλύπτει το κόστος της εργασίας και των ανταλλακτικών είναι ιδιαίτερα απαιτητικός με τις επιλογές του. Τις περισσότερες φορές επιλέγει τη χρησιμοποίηση μεταχειρισμένων ανταλλακτικών θυσιάζοντας την ποιότητα της εργασίας για το χαμηλότερο κόστος. Οι τιμές βέβαια των ανταλλακτικών καθορίζονται από τους προμηθευτές με αποτέλεσμα η μόνη έκπτωση που μπορεί να απαιτηθεί είναι σε βάρος του κέρδους της επιχείρησης Toyota-Παιανίας.

Η απειλή υποκατάστατων προϊόντων ή υπηρεσιών

Όσον αφορά τις υποκατάστατες υπηρεσίες που μπορούν να προσφερθούν, σίγουρα ποτέ δεν φθάνουν το υφιστάμενο επίπεδο ποιότητας. Αρκετές ανταγωνιστικές επιχειρήσεις, κυρίως μικρότερες σε μέγεθος, επιλέγουν να «μπαλώσουν» κάποια ζημιά με μια πρόχειρη αλλά φτηνή δουλειά. Τέτοιου τύπου εργασία όμως έχει μόνο προσωρινά οφέλη, καθώς θα χρειαστεί ξανά επισκευή σε διάρκεια μόλις λίγων μηνών. Σε επίπεδο τεχνολογίας η επιχείρηση Toyota-Παιανίας κρατάει τα ηνία σε σχέση με τους ανταγωνιστές της και τουλάχιστον στο άμεσο μέλλον, δεν απειλείται.

Η διαπραγματευτική δύναμη των προμηθευτών

Η ομάδα εκείνη με την μεγαλύτερη επιρροή στην επιχείρηση είναι οι προμηθευτές των ανταλλακτικών και των χρωμάτων. Καμία εργασία δεν μπορεί να αρχίσει εάν δεν έχουν συμφωνηθεί πρώτα οι τιμές των ανταλλακτικών που θα προμηθευτεί η επιχείρηση, καθώς και η ημερομηνία αλλά και η ώρα παραλαβής τους. Τυχόν καθυστέρηση στην παραλαβή έχει άμεσο αντίκτυπο στην ικανοποίηση του πελάτη, ενώ οι υψηλές τιμές ελαχιστοποιούν το περιθώριο κέρδους της επιχείρησης.

Βέβαια, το ότι ο αριθμός των προμηθευτών είναι μεγάλος και υπάρχει τεράστιος ανταγωνισμός μεταξύ τους είναι μια κατάσταση η οποία ωφελεί την επιχείρησή μας σε σημαντικό βαθμό. Πολλές φορές γίνονται εκπτώσεις για μεγάλου όγκου παραγγελίες από τον ίδιο προμηθευτή και συχνά οι ίδιοι οι προμηθευτές προωθούν ορισμένες προσφορές για τα προϊόντα τους.

Η προμήθεια των χρωμάτων δεν γίνεται κατά τον ίδιο το τρόπο. Κάθε βαφείο έχει συμφωνήσει με μια εταιρεία χρωμάτων η οποία είναι και ο αποκλειστικός προμηθευτής της. Η Toyota-Παιανία έχει επιλέξει και χρησιμοποιεί τα χρώματα της εταιρίας Sikkens. Στην περίπτωση αυτή, είναι προφανές ότι η διαπραγματευτική δύναμη της Sikkens είναι τεράστια, καθώς εκείνη είναι που ουσιαστικά καθορίζει το κόστος της βαφής. Ο αποκλειστικός προμηθευτής είναι υποχρεωμένος να παρέχει στην Toyota-Παιανία το απόθεμα που χρειάζεται, να βελτιώνει συνεχώς την ποιότητά του και να είναι συνεπής στα χρονοδιαγράμματα αν στοχεύει σε μια ανανέωση του συμβολαίου μετά τη λήξη του.

Η αντιπαλότητα μεταξύ των υφιστάμενων επιχειρήσεων του κλάδου

Όπως αναφέρθηκε, το 70% των πελατών ενός φανοποιείου-βαφείου αυτοκινήτων προέρχεται μέσα από την αντιπροσωπεία του. Σε κάθε περιοχή δεν μπορούν να σταθούν περισσότερες από μία επιχειρήσεις με την ίδια αντιπροσωπεία, καθώς τα επίπεδα απασχόλησης θα έπεφταν σχεδόν στα μισά και για τους δύο. Στην Παιανία το φανοποιείο-βαφείο που μελετάμε είναι το μοναδικό της Toyota, και ο πιο κοντινός ανταγωνιστής της εντός της αντιπροσωπείας βρίσκεται στα Γλυκά Νερά.

Αντιπαλότητα μεταξύ των υφιστάμενων επιχειρήσεων του κλάδου υπάρχει για το υπόλοιπο 30% του μεριδίου των πελατών. Παράγοντες, όπως το τεχνολογικό επίπεδο που χρησιμοποιείται, το χαμηλό κόστος της παροχής υπηρεσιών, η ακριβής τήρηση του χρονοδιαγράμματος, οι τεχνικές γνώσεις, η υψηλή ποιότητα εργασίας και η άριστη επικοινωνία με τον πελάτη έχουν συμβάλει στο να κατέχει η Toyota-Παιανία το 40% του μεριδίου της αγοράς. Η Toyota-Γλυκά Νερά κατέχει το 30% του μεριδίου, η FIAT-Παιανία το 20% και ένα γενικό συνεργείο το 10%. Τα υπόλοιπα γενικά συνεργεία είναι μικρά σε μέγεθος και δεν μπορούν να μετρηθούν σε αυτή την κλίμακα του μεριδίου της αγοράς.

Η ανάλυση των πέντε δυνάμεων του Porter συντέλεσε στο να γίνει κατανοητή η θέση της επιχείρησης μέσα στο περιβάλλον της. Λόγω του ότι ο ανταγωνισμός κυμαίνεται σε χαμηλά κυρίως επίπεδα, υπάρχουν προοπτικές μεγιστοποίησης του κέρδους της. Έγινε επίσης κατανοητό ότι οι σχέσεις με τους προμηθευτές είναι υψίστης σημασίας και η εξάρτηση από αυτούς μεγάλη. Για το σκοπό αυτό η επιχείρηση πρέπει να προβεί στην αναζήτηση νέων προμηθευτών ώστε να έχει εκείνη τη δυνατότητα να επιλέξει την πιο συμφέρουσα προσφορά. Επιπροσθέτως, έγινε σαφές ότι η Toyota-Παιανία κατέχει κυρίαρχη θέση στο μερίδιο της αγοράς και πρέπει οι επενδυτικές της κινήσεις να συμβάλλουν στη διατήρηση της θέσης αυτής.

4.2.5 Ανάλυση Προτερημάτων-Αδυναμιών-Ευκαιριών-Απειλών (SWOT Analysis)

Ο σκοπός που επιτελεί το εργαλείο της ανάλυσης των Προτερημάτων Αδυναμιών Ευκαιριών και Απειλών μιας επιχείρησης (Strengths Weaknesses Opportunities Threats) είναι ο καθορισμός των δυνατοτήτων της σε σχέση με τους ανταγωνιστές της, καθώς και η ανάλυση της ισορροπίας μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων που επιδρούν σε αυτή. Επιπροσθέτως, συμβάλλει στον προσδιορισμό του μεριδίου της αγοράς στο οποίο η επιχείρηση έχει τις καλύτερες προοπτικές επέκτασης.

Για τη συμπλήρωση των πινάκων βρέθηκαν και καταγράφηκαν, σε συνεργασία με τη διοίκηση της επιχείρησης, οι εσωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιχείρηση Toyota-Παιανία (Προτερήματα-Αδυναμίες) και έπειτα οι εξωτερικοί (Ευκαιρίες-Απειλές). Ύστερα, τοποθετήθηκαν σε δύο ξεχωριστούς πίνακες οι δύο κατηγορίες παραγόντων και εκτιμήθηκε για κάθε στοιχείο του πίνακα ο συντελεστής βαρύτητάς του. Επόμενο βήμα ήταν βαθμολόγηση της επιρροής των μεμονωμένων

στοιχείων σε κάθε ένα από τα δύο μερίδια της αγοράς που μελετήθηκαν, τους γενικούς πελάτες και τους πελάτες Toyota, με κλίμακα από -1 για τη δυσμενέστερη επιρροή, έως 3 για την ευνοικότερη.

Τέλος, έγινε η διαγραμματική απεικόνιση των μεριδίων της αγοράς, σε συνεργασία με τη διοίκηση της επιχείρησης, σε δύο άξονες, ο οριζόντιος εκ των οποίων περιγράφει την ανταγωνιστική της θέση ενώ ο κάθετος τις ευκαιρίες που εμπεριέχονται στο περιβάλλον της καθεμιάς. Προέκυψε εν τέλει ότι τα δύο τμήματα της αγοράς βρίσκονται πολύ κοντά στο «χάρτη» της ανάλυσης SWOT. Από τη μία στο μερίδιο των γενικών πελατών η επιχείρηση Toyota-Παιανία έχει καλύτερη ανταγωνιστική θέση, ενώ αντίθετα στους πελάτες της Toyota έχει περισσότερες ευκαιρίες για επέκταση. Πρέπει να σημειωθεί ότι και τα δύο μερίδια προέκυψαν κεντρικά και άνω του χάρτη, σε επίπεδο δηλαδή ευνοϊκό για τυχόν επενδύσεις.

Εσωτερικοί Παράγοντες	Προτερήματα	Αδυναμίες
	Σωστή οικονομική διαχείριση	Υψηλά λειτουργικά κόστη
	Καλή φήμη/brand name	Τήρηση Χρονοδιαγράμματος
	Ηγέτης στην αγορά	Έλλειψη εξελιγμένου τεχνολογικού εξοπλισμού
	Έμπιστοι εργαζόμενοι	
	Υψηλή Παραγωγικότητα	
	Ποιότητα βαφής	
Εξωτερικοί Παράγοντες	Ευκαιρίες	Απειλές
	Τεχνολογική πρόοδος	Εξάρτηση από τις ασφαλιστικές εταιρίες
	Δυνατότητα συνεργασίας με νέες εταιρίες	Μείωση της αγοραστικής δύναμης των καταναλωτών
	Είσοδος νέων προμηθευτών	Αύξηση των τιμών των προμηθευτών
		Κλείσιμο εταιριών που συνεργάζεται η επιχείρηση
		Αύξηση φορολογίας
		Είσοδος ανταγωνιστικών επιχειρήσεων του κλάδου
	Αύξηση της τιμής του πετρελαίου	

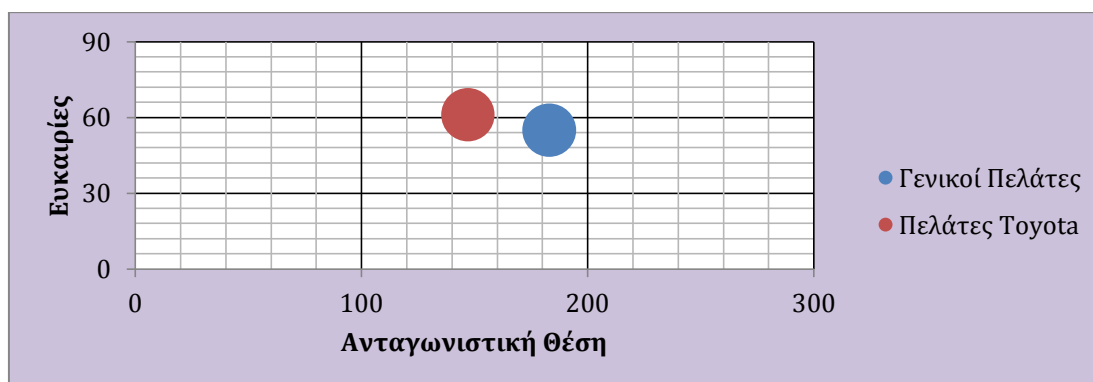
Πίνακας 4.3: Εσωτερικοί και Εξωτερικοί Παράγοντες

Ευκαιρίες/Απειλές	Βαρύτητα	Γενικοί Πελάτες		Πελάτες Toyota	
		Τμήμα Αγοράς 1		Τμήμα Αγοράς 2	
		Βαθμός	Score	Βαθμός	Score
Κλείσιμο εταιριών που συνεργάζεται η επιχείρηση	22	-1	-22	-1	-22
Δυνατότητα συνεργασίας με νέες εταιρίες	17	3	51	2	34
Είσοδος νέων προμηθευτών	14	3	42	3	42
Αύξηση των τιμών των προμηθευτών	13	-1	-13	0	0
Εξάρτηση από τις ασφαλιστικές εταιρίες	10	1	10	1	10
Μείωση της αγοραστικής δύναμης των καταναλωτών	8	-1	-8	0	0
Αύξηση της τιμής του πετρελαίου	6	0	0	0	0
Αύξηση φορολογίας	5	-1	-5	0	0
Είσοδος αναταγωνιστικών επιχειρήσεων του κλάδου	3	0	0	-1	-3
Τεχνολογική πρόοδος	2	0	0	0	0
Σύνολο	100		55		61

Πίνακας 4.4: Υπολογισμός της τιμής του άξονα Ευκαιριών

Προτερήματα/Αδυναμίες	Βαρύτητα	Γενικοί Πελάτες		Πελάτες Toyota	
		Τμήμα Αγοράς 1		Τμήμα Αγοράς 2	
		Βαθμός	Score	Βαθμός	Score
Ηγέτης στην αγορά	25	3	75	3	75
Ποιότητα βαφής	18	3	54	1	18
Υψηλά λειτουργικά κόστη	15	-1	-15	0	0
Τήρηση Χρονοδιαγράμματος	14	1	14	2	28
Καλή φήμη/brand name	10	3	30	1	10
Υψηλή Παραγωγικότητα	7	1	7	1	7
Σωστή οικονομική διαχείριση	5	2	10	1	5
Έμπιστοι εργαζόμενοι	4	1	4	1	4
Έλλειψη εξελιγμένου τεχνολογικού εξοπλισμού	2	2	4	0	0
Σύνολο	100		183		147

Πίνακας 4.5: Υπολογισμός της τιμής του άξονα Ανταγωνιστικής Θέσης



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα αξιολόγησης τμήματος της αγοράς

4.3 Φάση Μέτρησης (Measure Phase)

4.3.1 Δειγματοληψία (Sampling)

Στην φάση αυτή της ανάλυσης μετρήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται από τα στατιστικά εργαλεία της μεθοδολογίας Six Sigma, όπως η Ανάλυση Διακύμανσης (Analysis of Variance), η Αξιολόγηση Συστήματος Μέτρησης (Measurement System Analysis) και η μέθοδος Gage R&R. Επιπροσθέτως, τα δεδομένα που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν και για τη διαγραμματική απεικόνιση των διαδικασιών.

Αρχικά, με τη χρήση ενός χρονομέτρου μετρήθηκαν οι χρόνοι ολοκλήρωσης τεσσάρων επιμέρους διαδικασιών κατά την εργασία της βαφής του εξαρτήματος ενός αυτοκινήτου. Ποιο συγκεκριμένα, μετρήθηκαν συνολικά 50 διαφορετικές εργασίες για 50 διαφορετικά αυτοκίνητα στη διάρκεια δύο μηνών. Για λόγους αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος επιλέχθηκε να μην γίνονται περισσότερες από 5 μετρήσεις την ημέρα, καθώς λόγω της κούρασης των εργαζομένων οι αντίστοιχοι χρόνοι θα παρουσίαζαν μεγαλύτερη μεταβλητότητα.

Έπειτα, για τις ανάγκες της αξιολόγησης του μετρητικού συστήματος που υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ δύο σημείων του αμαξώματος λήφθηκε άλλη μια σειρά μετρήσεων. Στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν δύο αυτοκίνητα, ένα Toyota Corolla 3dr 1997 και ένα Toyota Starlet 1996, που είχαν επισκευαστεί και ήταν έτοιμα να παραδοθούν στους πελάτες. Σε κάθε ένα από τα αυτοκίνητα, μετρήθηκαν 5 ζεύγη διαφορετικών αποστάσεων του αμαξώματος, χρησιμοποιώντας το εργαλείο που ονομάζεται «μετρικό». Η διενέργεια του πειράματος και της συλλογής των δεδομένων έγινε από τρεις διαφορετικούς εργαζόμενους, κάθε ένας από τους οποίους εκτελούσε τρεις μετρήσεις τη φορά. Συνολικά δηλαδή έγιναν 90 μετρήσεις με το «μετρικό».

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της δειγματοληψίας παρατίθενται στην ενότητα του αντίστοιχου εργαλείου που ασχολείται με την επεξεργασία τους.

4.3.2 Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης (MSA)

Το μετρητικό όργανο που χρησιμοποιείται στη διαδικασία της βαφής είναι το iFex Spectro, ένας φασματογράφος που όταν εφαρμοστεί στην επιφάνεια ενός αυτοκινήτου δίνει τις πιθανές «συνταγές» του συγκεκριμένου χρώματος.

Τα αποτελέσματα του συνταγολογίου που προκύπτουν αναφέρονται στα χρώματα της εταιρίας Sikkens και μόνο, βασικού προμηθευτή της επιχείρησης Toyota-Παιανία. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι συνταγές που δίνονται δεν περιορίζονται στη μάρκα του αυτοκινήτου που μετρήθηκε, καθώς πολλές φορές το χρώμα το οποίο ταιριάζει καλύτερα μπορεί να ανήκει στη χρωματική γκάμα άλλης αυτοκινητοβιομηχανίας.



Εικόνα 4.3: Φασματογράφος

Αφού γίνουν οι μετρήσεις, ο φασματογράφος συνδέεται με τον Η/Υ για να γίνει η μεταφορά και η μετάφραση των δεδομένων μέσω ενός προγράμματος που ονομάζεται Formula Express. Οι συνταγές που προτείνονται βαθμολογούνται ως προς την καταλληλότητά τους από το πρόγραμμα με βαθμονόμηση από 1 έως 5, με το 1 να χαρακτηρίζει τη βέλτιστη επιλογή και το 5 την χειρότερη. Στην Εικόνα 4.5 η βαθμολογίες καταγράφονται στη δεύτερη στήλη του πίνακα. Σημειώνεται, ότι στις περισσότερες μετρήσεις η βαθμολογία είναι μεγαλύτερη του 2 και ότι υπάρχουν διαφορετικές συνταγές με την ίδια ακριβώς βαθμολογία. Συνεπώς, εξαρτάται από τον υπεύθυνο κατασκευής των χρωμάτων να επιλέξει τη συνταγή εκείνη που θα δώσει το καλύτερο αποτέλεσμα.

Εναρξη ανάμιξης

Toyota, Dark Blue, Πέρλα σε δυο επιστρώσεις
TOY8P4, Τυποποιημένο
11/4/2014, Επιστροφή 1

1.00 Λίτρο
Απόχρωση
Autowave MM 2.0

Αριθμός μίγμ.: 1043

Ανάμιξη απόχρωσης

Προσθέστε το επιλεγμένο συστατικό τώρα.

361

-5.3 g

Συστατικά απόχρωσης			
Χρώμα μίξης	Περιγραφή	Ποσότητα	Προστέθ...
342	Blue (violet) transp	283.5	0.0
361	Yellow (orange)	5.3	0.0
101	White transp.	18.3	0.0
577	Green (yellow) trans	51.4	0.0
332VA	Violet (blue) pearl	69.2	0.0
534	Blue (violet)	150.7	0.0
333PB	Blue (green) pearl	210.2	0.0
400	Deep black	229.4	0.0

Βοήθεια Ακύρω Παύση Παράλειψη Επόμενο

Εικόνα 4.4: Συστατικά χρώματος TOY8P4

Όπως βρέθηκε από το διάγραμμα Pareto που αναλύεται σε επόμενη ενότητα, το κατά πόσο ταιριάζει το χρώμα ενός ανταλλακτικού με το αμάξωμα του αυτοκινήτου είναι το Critical to Quality χαρακτηριστικό της παροχής υπηρεσιών της εταιρίας. Γίνεται κατανοητό δηλαδή ότι στη διαδικασία της επιλογής του χρώματος πρέπει να δοθεί η ύψιστη σημασία ώστε να μηδενιστούν οι πιθανότητες σφάλματος.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε να γίνει η αξιολόγηση του συγκεκριμένου μετρητικού συστήματος, αλλά και των χειριστών του με το συγκεκριμένο εργαλείο. Πρόκειται για την περίπτωση εφαρμογής του εργαλείου Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης για Διακριτά Δεδομένα. Για την διεξαγωγή της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν:

- Τρεις εργαζόμενοι-χειριστές της Toyota-Παιανία, καθένας από τους οποίους εκτελεί 2 μετρήσεις για κάθε αυτοκίνητο
- 20 διαφορετικά αυτοκίνητα των οποίων οι βέλτιστες συνταγές έχουν περαστεί στη βάση δεδομένων της Toyota-Παιανία από προηγούμενη εργασία με το συγκεκριμένο μοντέλο.

Κάθε εργαζόμενος-χειριστής καλείται να επιλέξει το χρώμα βαφής εμπειρικά σε τυχόν ισοβαθμία των προτεινόμενων συνταγών. Στη συνέχεια, συγκρίνεται η επιλογή του καθενός με την καταγεγραμμένη στη βάση επιλογή.

Αφού έγινε η καταγραφή των δεδομένων του πειράματος υπολογίζεται το ποσοστό των σωστών επιλογών του κάθε χειριστή, καθώς και η συνολική αποδοτικότητα του μετρητικού συστήματος.

Συνταγές για Υποψήφιο						
	Κατά...	Περιγραφή	Μάρκα	Κωδικός απόχρωσης	Akzo Code	Τύπος εφέ
★★★★	3	Αναζήτηση Υποψ...	Toyota	127, 1E7, 550688, 6100, 9...	TOY1E7(D2)	Εφέ - C3
★★★★	3	Αναζήτηση Υποψ...	Dongfeng Honda	NH-700M	DFH9702	Εφέ - C3
★★★★	3	Αναζήτηση Υποψ...	Acura	NH700M, NH-700M	ACU9564	Εφέ - C1
★★★★	3	Αναζήτηση Υποψ...	TATA	551125, D3, INDAT9708, ...	TAT9708	Εφέ - C2
★★★★	3	Αναζήτηση Υποψ...	Volkswagen	42706, 7Q, LG9R, P4, P4P4...	VWLG9R(D)	Εφέ - C2

Εικόνα 4.5: Βαθμολογίες των συνταγών



# Αυτοκινήτου	Αποτελέσματα βάσης δεδομένων	Χειριστής 1		Χειριστής 2		Χειριστής 3		Συμφωνία μέτρησης και καταχωρημένης επιλογής
		Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	Δοκιμή 1	Δοκιμή 2	
1	Toyota Corolla-199	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	Toyota Aygo-1e0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	Toyota Avensis-1c0	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
4	Toyota Yaris-3p0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	Toyota Hilux-1e9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	VW Polo- 1a7w	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗
7	Lexus 450-062	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	Toyota Yaris-6r4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	Toyota Aygo-1f7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	Toyota Prius-8s2	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
11	Fiat Punto-210	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
12	Toyota Aygo-211	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	Toyota Starlet-756	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	VW Jetta-1d7x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15	Toyota IQ-070	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	Toyota Auris-8s1	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗
17	Mazda 2-22r	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	Toyota Rav4-1g3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
19	Toyota Yaris-8s5	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗
20	Toyota Urban-209	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ποσοστό σωστών επιλογών βάσης-χειριστή		95.00%		85.00%		90.00%		87.50%
						Ποσοστό σωστών επιλογών διαδικασίας		

Πίνακας 4.6: MSA για Διακριτά Δεδομένα

Συμπερασματικά, ύστερα από την εφαρμογή του εργαλείου, παρατηρείται ότι «χειριστής 1» έχει το υψηλότερο ποσοστό σωστών επιλογών, που αγγίζει το 95%. Καλείται λοιπόν ο εργαζόμενος αυτός να υποδείξει στους λιγότερο αποτελεσματικούς χειριστές την τεχνική που χρησιμοποιεί, καθώς και να τους βοηθήσει να βελτιωθούν. Συνολικά, ο βαθμός απόδοσης της διαδικασίας επιλογής του χρώματος μέσω του φασματογράφου είναι 87.50%.

4.3.3 Gage R&R

Το συγκεκριμένο εργαλείο μπορεί να θεωρηθεί ως μια υποπερίπτωση του γενικού εργαλείου που παρουσιάστηκε προηγουμένως, Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης, μόνο που εφαρμόζεται όταν τα χαρακτηριστικά του μετρούμενου μεγέθους είναι Συνεχή Δεδομένα.

Η ανάλυση Gage R&R έχει ως στόχο την εξασφάλιση της σταθερότητας μιας διαδικασίας, ελέγχοντας την αξιοπιστία του μετρητικού συστήματος με τον υπολογισμό της μεταβλητότητας των τιμών που προκύπτουν. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο εργαλείο στην επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη Δειγματοληψία, σχετικά με τις αποστάσεις του αμαξώματος που μετρήθηκαν σε δύο αυτοκίνητα. Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται το Toyota Starlet 1996 και οι αποστάσεις οι οποίες μετρήθηκαν. Στο Toyota Corolla 3dr 1997 μετρήθηκαν οι ίδιες ακριβώς αποστάσεις μόνο που έχουν διαφορετική ονομασία.

Το πρώτο βήμα της εφαρμογής της ανάλυσης Gage R&R απαιτεί την καταγραφή των 90 μετρήσεων στον Πίνακα 4.7 και τον υπολογισμό:

- Του μέσου όρου των μετρήσεων ανά χειριστή (Appraiser) και της διαφοράς μέγιστης και ελάχιστης τιμής
- Του μέσου όρου των μετρήσεων ανά μετρούμενο μέγεθος (Part)
- Του μέσου όρου των μετρήσεων ανά μετρούμενο μέγεθος και ανά χειριστή, καθώς και της διαφοράς μέγιστης και ελάχιστης τιμής
- Το μέσο όρο των μετρήσεων της κάθε δοκιμής

Έπειτα βρέθηκαν οι ονομαστικές τιμές των αποστάσεων των δύο οχημάτων, σύμφωνα με την κατασκευαστική εταιρία, οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 4.6. Βλέπουμε ότι η απόκλιση των πειραματικών και των ονομαστικών μεγεθών δεν είναι μεγάλη παρόλο που τα δύο αυτοκίνητα προέρχονται από επιδιόρθωση μετά από τρακάρισμα. Ακόμη, εκτιμήθηκε από τον Διευθυντή του φανοποιείου, ότι διάστημα ανοχής για τις μετρήσεις είναι τα $\pm 0.7\text{cm}$, και χρησιμοποιήθηκε η τιμή αυτή για τους υπόλοιπους υπολογισμούς της ανάλυσης.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες των αποτελεσμάτων της ανάλυσης Gage R&R (Πίνακας 4.8, Πίνακας 4.9), καθώς και τα αντίστοιχα διαγράμματα ελέγχου της διαδικασίας (Σχήμα 4.5, Σχήμα 4.6, Σχήμα 4.7).

Παρατηρούμε ότι ο βασικός παράγοντας μεταβλητότητας είναι η διαφοροποίηση μεταξύ των μετρούμενων μεγεθών (parts) που αγγίζει το 99.99%. Ο δείκτης Total Gage R&R που θέλαμε να προκύψει όσο μικρότερος γίνεται, υπολογίστηκε ίσως με 1.28%, ποσοστό πολύ πιο χαμηλό από το 10%, που θεωρείται οριακά αποδεκτό.

Οι δείκτες ακρίβειας, Repeatability (επαναληψιμότητα λόγω μέτρησης του ίδιου αντικειμένου, από τον ίδιο χειριστή, με το ίδιο μετρητικό όργανο) και Reproducibility (επαναληψιμότητα λόγω μέτρησης

του ίδιου αντικειμένου, από διάφορους χειριστές, με το ίδιο μετρητικό όργανο) βρίσκονται και αυτά σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αντιθέτως, ο αριθμός των Distinct Categories προέκυψε, όπως θα θέλαμε, ίσως με 110, πολύ μεγαλύτερος δηλαδή από τον οριακά αποδεκτό 5.



Εικόνα 4.6: Μετρούμενες αποστάσεις στο Toyota Starlet 1996

Ονομαστικές Τιμές (cm)					
Μοντέλο	TOYOTA Corolla 3dr 1997		Μοντέλο	TOYOTA Starlet 1996	
	Parts			Parts	
1	aa	135.9	2	ff	127.7
3	bb	72.4	4	aa	64.8
5	cc	150.5	6	bb	141.2
7	dd	95.3	8	cc	88.2
9	ll	129	10	pp	123.2

Πίνακας 4.6



Εικόνα 4.7: Τηλεσκοπικό Μετρικό Σύστημα



Χειριστές	Δοκιμή #	Part										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Χειριστής 1	1	135.5	127.2	72.3	64.6	150.2	141.1	95.3	88.1	129.2	123.1	112.66
	2	135.7	127.7	72.6	64.8	150.1	141.3	95.5	88.4	129.2	123.1	112.84
	3	135.9	128.2	72.2	64.6	150.2	141	95.6	87.7	129.2	123.3	112.79
	Average	135.700	127.700	72.367	64.667	150.167	141.133	95.467	88.067	129.200	123.167	112.763
	Range	0.400	1.000	0.400	0.200	0.100	0.300	0.300	0.700	0.000	0.200	0.36
Χειριστής 2	1	135.1	127.3	72.3	64.5	150.5	140.8	95.1	87.7	128.8	123	112.51
	2	135.3	127	72.2	64.6	150.2	140.9	95.3	87.7	128.8	122.7	112.47
	3	134.9	126.9	72.3	64.6	150	141.1	95.5	87.8	128.9	122.6	112.46
	Average	135.100	127.067	72.267	64.567	150.233	140.933	95.300	87.733	128.833	122.767	112.480
	Range	0.400	0.400	0.100	0.100	0.500	0.300	0.400	0.100	0.100	0.400	0.28
Χειριστής 3	1	135.8	128.1	72.5	64.6	150.8	141.7	95.9	88.7	129.8	123.8	113.17
	2	135.8	128.4	72.4	64.6	150.3	141.4	95.2	88.1	129.9	123.7	112.98
	3	135.8	128.3	72.9	64.6	150.6	141.5	95.8	88.3	129.1	123.7	113.06
	Average	135.800	128.267	72.600	64.600	150.567	141.533	95.633	88.367	129.600	123.733	113.070
	Range	0.000	0.300	0.500	0.000	0.500	0.300	0.700	0.600	0.800	0.100	0.38
Part Average	135.533	127.678	72.411	64.611	150.322	141.200	95.467	88.056	129.211	123.222	112.771	

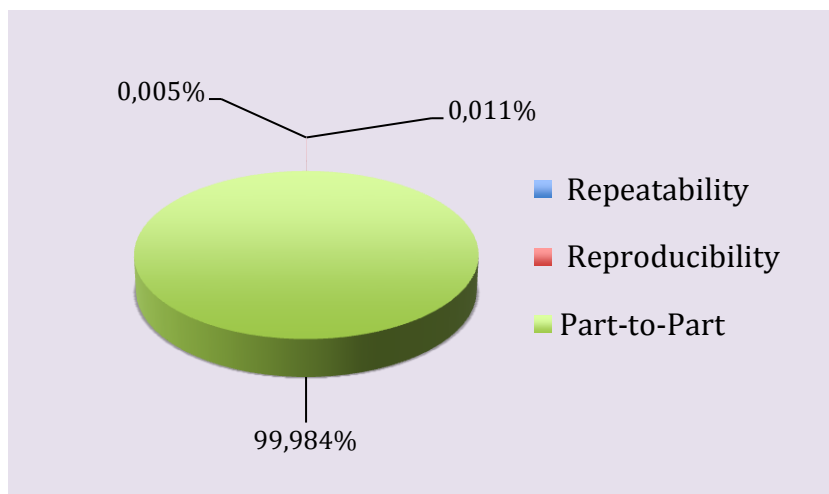
Πίνακας 4.7: Τα δεδομένα της Ανάλυσης Gage R&R

Summary Results		
	% Study Variation	% Tolerance
Total Gage R&R	1.28%	165.94%
Repeatability	0.72%	92.91%
Reproducibility	1.06%	137.49%
Part-to-Part	99.99%	12933.60%

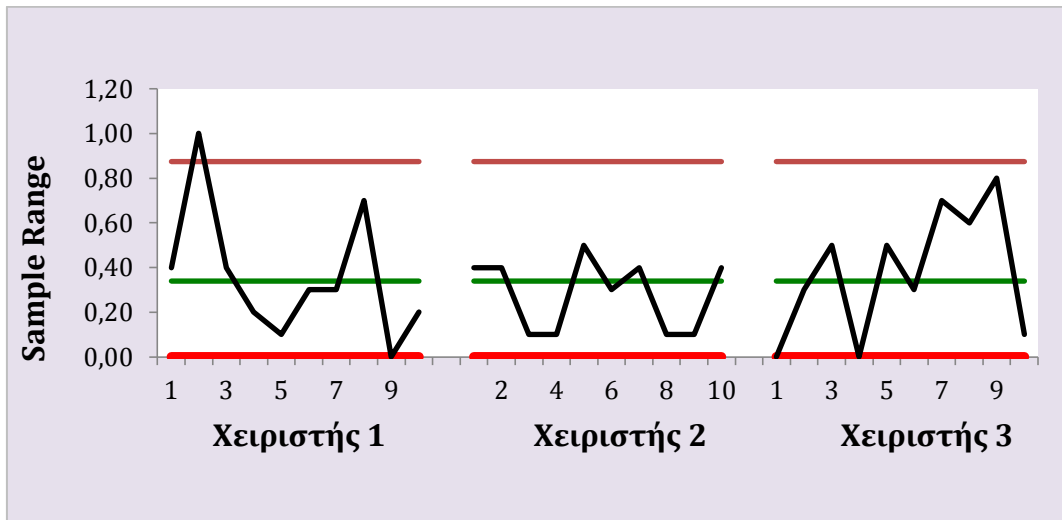
Πίνακας 4.8: Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Gage R&R					
Source	Variance Component	% Contribution			
Total Gage R&R	0.14993	0.016%			
Repeatability	0.04700	0.005%			
Reproducibility	0.10293	0.011%			
Appraiser	0.08357	0.009%			
Appraiser-Part	0.01936	0.002%			
Part-to-Part	910.73634	99.984%			
Total Variation	910.88627	100.000%			
Number of Distinct Categories		110			
Source	Standard Deviation	Study Variation (6s)	% Study Variation	% Tolerance	
Total Gage R&R	0.38720	2.32322	1.28%	165.94%	
Repeatability	0.21679	1.30077	0.72%	92.91%	
Reproducibility	0.32082	1.92492	1.06%	137.49%	
Appraiser	0.28908	1.73449	0.96%	123.89%	
Appraiser-Part	0.13913	0.83480	0.46%	59.63%	
Part-to-Part	30.1784	181.07045	99.99%	12933.60%	
Total Variation	30.1809	181.08535	100.00%	12934.67%	

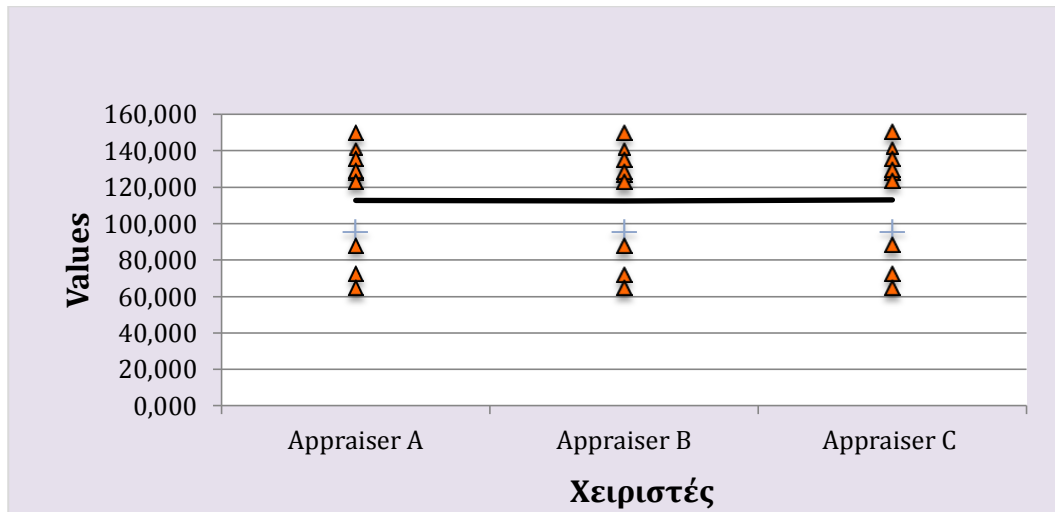
Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα Ανάλυσης Gage R&R



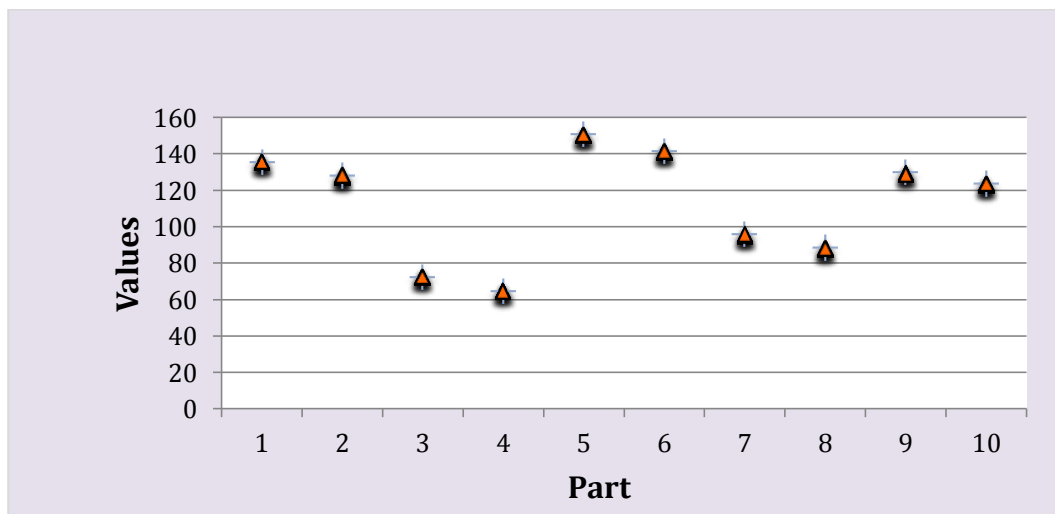
Σχήμα 4.4: Παράγοντες Διακύμανσης



Σχήμα 4.5: Range Control Chart



Σχήμα 4.6: Μετρήσεις ανά Χειριστή



Σχήμα 4.7: Μετρήσεις ανά Μετρούμενο Μέγεθος



Όσον αφορά τα μετρούμενα μεγέθη στην Εικόνα 4.6 σε κάθε χρώμα γραμμής αντιστοιχούν οι εξής αποστάσεις:

- Πορτοκαλί: ff-Starlet και aa-Corolla
- Μπλε: aa-Starlet και bb-Corolla
- Κόκκινο: bb-Starlet και cc-Corolla
- Πράσινο: cc-Starlet και dd-Corolla
- Μαύρο: pp-Starlet και ll-Corolla

Συνεχίζοντας, με τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων της ανάλυσης Gage R&R, πρέπει να τονιστεί ότι όλοι οι δείκτες κυμαίνονται μέσα στα επιθυμητά πλαίσια, πράγμα που σημαίνει ότι η χρησιμοποίηση του Τηλεσκοπικού Μετρικού Συστήματος (Εικόνα 4.7) για τον υπολογισμό των αποστάσεων του αμαξώματος, κρίνεται ορθολογική.

Όσον αφορά τους εργαζόμενους που είναι υπεύθυνοι για το χειρισμό του οργάνου, παρόλο που υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις τους, η μεθοδολογία που ακολουθούν τους επιτρέπει να κινούνται μέσα στα αποδεκτά όρια ανοχών. Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα Range Control μόνο ο χειριστής 1 υπερέβη μία μόνο φορά το άνω όριο ανοχής.

4.3.4 Διάγραμμα Fishbone

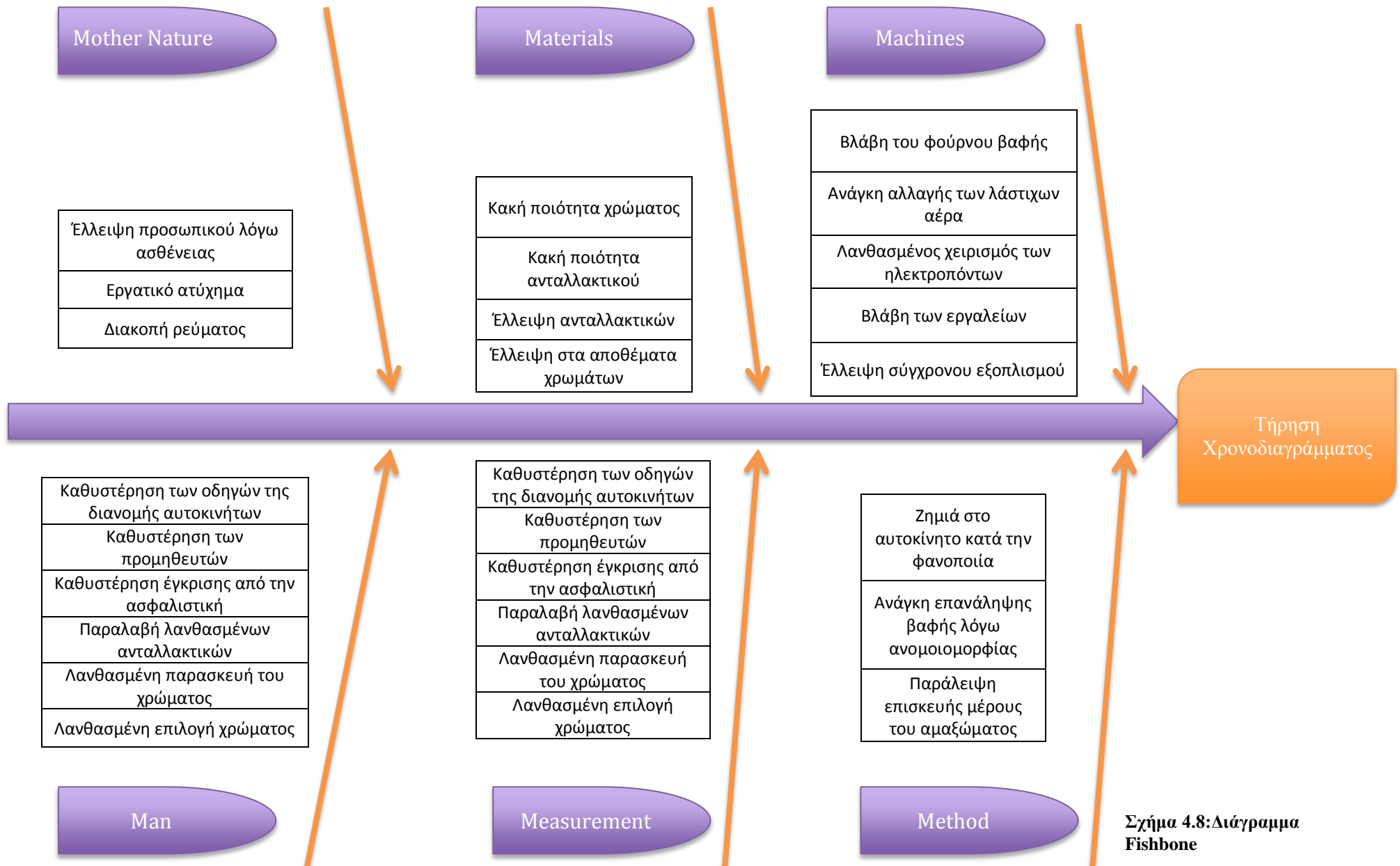
Το διάγραμμα Fishbone είναι γνωστό και ως Διάγραμμα Αιτίων-Αποτελεσμάτων (Cause-and Effect Diagram) και ο σκοπός που επιτελεί είναι η καταγραφή των αιτίων εμφάνισης ενός προβλήματος.

Από την συλλογή των στοιχείων VOC κατά τη Φάση του Προσδιορισμού της εφαρμογής της Six Sigma ανάλυσης, βρέθηκε ότι ένα πολύ σημαντικό κριτήριο των καταναλωτών είναι η τήρηση του συμφωνηθέντος χρονοδιαγράμματος. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να εφαρμοστεί το διάγραμμα Fishbone στην αναζήτηση των αιτίων της χρονικής καθυστέρησης των εργασιών της επιχείρησης Toyota-Παιανία.

Για την καλύτερη ανάπτυξη του εργαλείου χρησιμοποιήθηκαν τα 6M της διοίκησης των επιχειρήσεων, ώστε να γίνει η περιγραφή των βασικών αιτίων της χρονικής καθυστέρησης. Τα 6M ορίζονται ως:

- Mother Nature
- Materials
- Machines
- Man
- Measurement
- Method

Στις έξι αυτές κατηγορίες λοιπόν, προστέθηκαν οι επιμέρους αιτίες του προβλήματος.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα Fishbone

Ύστερα από την ολοκλήρωση του διαγράμματος, μπορεί κανείς να έχει μια πλήρη εικόνα σχετικά με το που μπορεί να οφείλεται η καθυστέρηση της παροχής υπηρεσιών και να αναζητήσει λύσεις. Γίνεται κατανοητό, ότι οι περισσότερες από αυτές έχουν να κάνουν με τον ανθρώπινο παράγοντα και το πως οι εργαζόμενοι χρησιμοποιούν τον εξοπλισμό της επιχείρησης. Η αναζήτηση λύσεων είναι μια χρονοβόρα και τις περισσότερες φορές κοστοβόρα διαδικασία και θα ασχοληθούμε μαζί της στις επόμενες φάσεις της ανάλυσης Six Sigma.

Η δημιουργία του διαγράμματος Fishbone είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του εργαλείου Failure Mode and Effects Analysis στην φάση της Ανάλυσης της προσέγγισης DMAIC.

4.3.5 Boxplot

Το επόμενο εργαλείο ανήκει στην κατηγορία της Απεικόνισης των Δεδομένων και έχει ως στόχο την εποπτεία της διακύμανσης μιας μεταβλητής. Για την εφαρμογή του εργαλείου χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά την Δειγματοληψία και αφορούν την μέτρηση του χρόνου διεκπεραίωσης των τεσσάρων επιμέρους διαδικασιών της βαφής, όπως προέκυψαν από το Διάγραμμα Ροής της διαδικασίας.

Οι τέσσερις διαδικασίες χωρίστηκαν σε δύο υπο-ομάδες ανάλογα με το αντικείμενό τους και τοποθετήθηκαν στο ίδιο γράφημα. Στους Πίνακες 4.10 και 4.11 παρουσιάζονται οι μετρήσεις για τις δύο υπο-ομάδες και στα Σχήματα 4.9 και 4.10 έγινε η απεικόνισή τους μέσω των διαγραμμάτων Boxplot.

- 1^η Υπο-ομάδα: Διαδικασία Επιλογής Χρώματος και Διαδικασία Παρασκευής Χρώματος
- 2^η Υπο-ομάδα: Διαδικασία Προεργασίας της Βαφής και Διαδικασία Βαφής

Η πρώτη υπο-ομάδα που θα μελετήσουμε είναι εκείνη της επιλογής και της παρασκευής του χρώματος με μέση τιμή του χρόνου ολοκλήρωσης της υπο-ομάδας τα 16.6 λεπτά. Οι δύο διαδικασίες, όπως φαίνεται και από το γράφημα Boxplot, εκ πρώτης όψεως εμφανίζουν κοινή συμπεριφορά, καθώς η διαφορά Upper και Lower Quartile είναι περίπου ίδια.

Μπορεί να παρατηρήσει κανείς όμως, ότι κατά την επιλογή του χρώματος, παρουσιάζονται και οι μεγαλύτερες ακραίες τιμές, καθώς η χρονική διάρκεια μπορεί να φτάσει από τα 4.6 έως και τα 31 λεπτά. Στον αντίποδα, για την παρασκευή του χρώματος τα αντίστοιχα όρια κυμαίνονται από 3.8 έως 14.2 λεπτά. Η μεγάλη αυτή διαφοροποίηση οφείλεται στην αδυναμία του φασματογράφου να προτείνει την κατάλληλη συνταγή με την πρώτη δοκιμή και στην αδυναμία του εργαζόμενου να επιλέξει εμπειρικά το σωστό χρώμα. Στην περίπτωση της παρασκευής του χρώματος, οι άνω ακραίες τιμές παρουσιάζονται στην περίπτωση που γίνει κάποιο σφάλμα κατά την τοποθέτηση των διαφόρων συστατικών στο χρωματικό μείγμα και είναι αναγκαία η επανάληψή της.



Απαιτούμενος χρόνος της διαδικασίας επιλογής του χρώματος (min)				Απαιτούμενος χρόνος της διαδικασίας παρασκευής του χρώματος (min)			
1	6.2	26	12.3	1	3.9	26	5.4
2	10.1	27	11.1	2	4.2	27	4.7
3	5.5	28	10.3	3	4	28	8.4
4	7.1	29	23.5	4	5.7	29	8.1
5	11.2	30	8.8	5	8.3	30	9.4
6	28.1	31	5.1	6	8.8	31	7.9
7	4.6	32	5.9	7	4.7	32	8.6
8	10.4	33	9.7	8	5.8	33	6.9
9	5.9	34	18.4	9	9.1	34	4.7
10	9.2	35	10.3	10	8.2	35	4.9
11	9.3	36	7.8	11	8.9	36	5.4
12	10.1	37	5.4	12	4.5	37	5.5
13	10.3	38	9.3	13	6.7	38	6.2
14	9.2	39	9.7	14	8.1	39	5.8
15	10.8	40	12.4	15	3.8	40	8.3
16	17.7	41	7.7	16	5.4	41	7.6
17	7.4	42	8.2	17	5.1	42	14.2
18	5.4	43	9.4	18	4.3	43	8.4
19	5.9	44	10.1	19	4.6	44	5.6
20	10.4	45	12.2	20	5.9	45	7.1
21	7.3	46	10.8	21	5.7	46	5.9
22	9.2	47	8.4	22	5.9	47	6.2
23	7.3	48	31	23	6.8	48	6.5
24	9.4	49	7.1	24	6.9	49	5.7
25	10.8	50	9.1	25	7.1	50	5.2
Lower Quartile		7.325		Lower Quartile		5.25	
Minimum		4.6		Minimum		3.8	
Median		9.35		Median		5.9	
Maximum		31		Maximum		14.2	
Upper Quartile		10.7		Upper Quartile		8.05	

Πίνακας 4.10: Μετρήσεις χρόνου 1^{ης} Υπο-ομάδας

Η δεύτερη υπο-ομάδα που μελετήσαμε, περιλαμβάνει τη διαδικασία της προετοιμασίας του αυτοκινήτου για τη βαφή, καθώς και την κύρια διαδικασία της βαφής που λαμβάνει χώρα μέσα στο



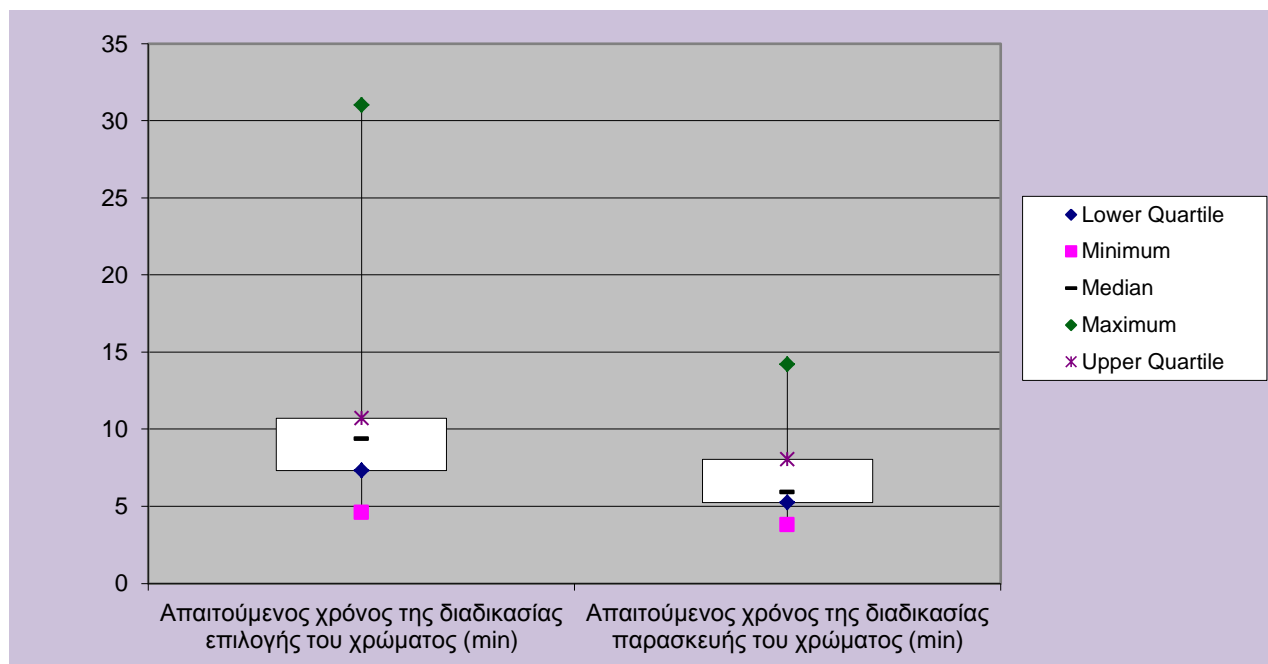
φούρνο. Η μέση τιμή του χρόνου ολοκλήρωσης της υπο-ομάδας υπολογίστηκε στα 107.14 λεπτά, πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο της προηγούμενης.

Η σημαντικότερη διαφοροποίηση των δύο διαδικασιών έγκειται στο χάσμα μεταξύ του Lower και του Upper Quartile. Κατά την προεργασία της βαφής η διαφορά αγγίζει τα 58 λεπτά, ενώ αντίθετα κατά τη διαδικασία της βαφής είναι ίση με μόλις 23.5 λεπτά. Επιπροσθέτως, τα δύο διαγράμματα διαφοροποιούνται και ως προς το άνω άκρο των τιμών τους, καθώς η βαφή σε περίπτωση σφάλματος μπορεί να φτάσει και τα 121 λεπτά.

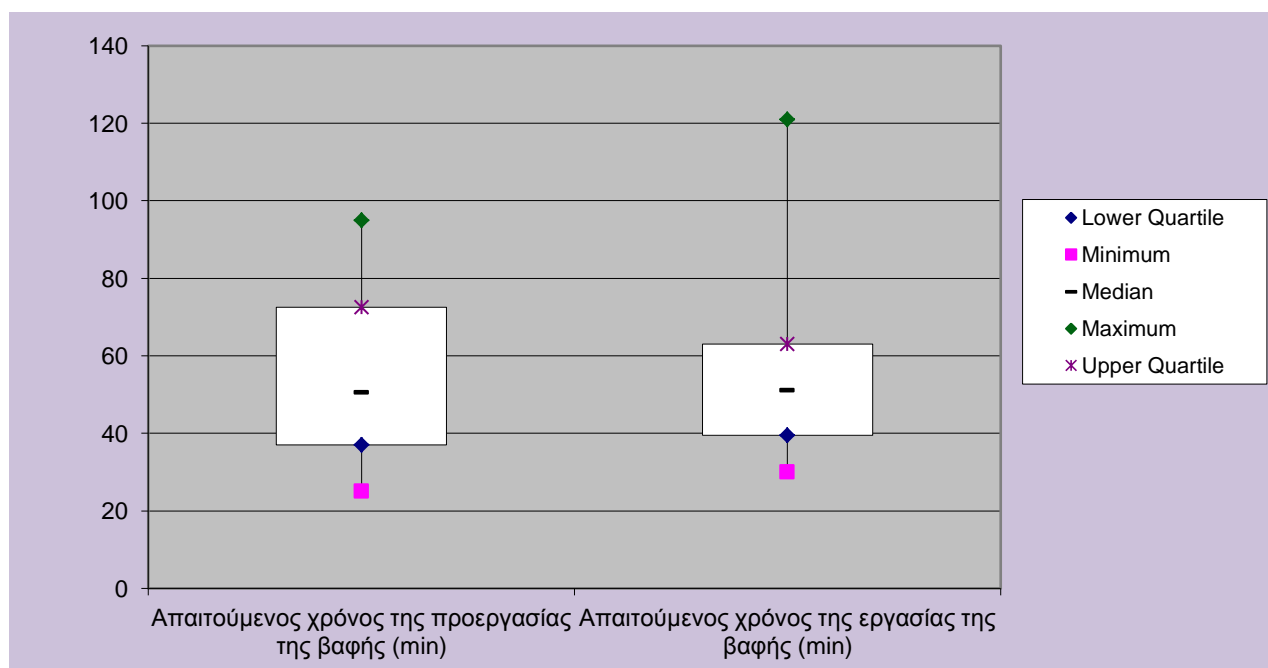
Απαιτούμενος χρόνος της προεργασίας της βαφής (min)				Απαιτούμενος χρόνος της εργασίας της βαφής (min)			
1	53	26	32	1	65	26	78
2	48	27	35	2	48	27	63
3	75	28	43	3	32	28	36
4	50	29	47	4	45	29	56
5	56	30	49	5	56	30	52
6	62	31	81	6	65	31	49
7	95	32	52	7	39	32	30
8	37	33	30	8	43	33	121
9	30	34	31	9	82	34	56
10	42	35	60	10	31	35	71
11	77	36	28	11	33	36	78
12	48	37	74	12	39	37	42
13	68	38	30	13	41	38	63
14	86	39	41	14	55	39	55
15	80	40	56	15	46	40	58
16	29	41	27	16	59	41	70
17	37	42	59	17	98	42	58
18	28	43	78	18	69	43	51
19	38	44	76	19	32	44	34
20	49	45	25	20	37	45	71
21	63	46	44	21	45	46	31
22	87	47	91	22	32	47	44
23	80	48	51	23	41	48	47
24	90	49	55	24	34	49	65
25	31	50	67	25	59	50	51
Lower Quartile		37		Lower Quartile		39.5	
Minimum		25		Minimum		30	
Median		50.5		Median		51	
Maximum		95		Maximum		121	
Upper Quartile		72.5		Upper Quartile		63	

Πίνακας 4.11: Μετρήσεις χρόνου 2^{ης} Υπο-ομάδας

Η εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου συντέλεσε στην υπογράμμιση μέσω της γραφικής τους απεικόνισης, των διαδικασιών εκείνων που απαιτούν το μεγαλύτερο χρόνο εργασίας. Ως προ τη συμμετρία, μπορούμε να πούμε ότι και οι τέσσερις διαδικασίες προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Το πόσο ικανοποιητικά προσεγγίζεται η κανονική κατανομή θα αποδειχθεί και στη συνέχεια του κεφαλαίου μέσω της εφαρμογής του εργαλείου Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας κατά τη Φάση του Ελέγχου



Σχήμα 4.9: Απεικόνιση Μετρήσεων 1^{ης} Υπο-ομάδας μέσω Boxplot



Σχήμα 4.10: Απεικόνιση Μετρήσεων 2^{ης} Υπο-ομάδας μέσω Boxplot



4.4 Φάση Ανάλυσης (Analyze Phase)

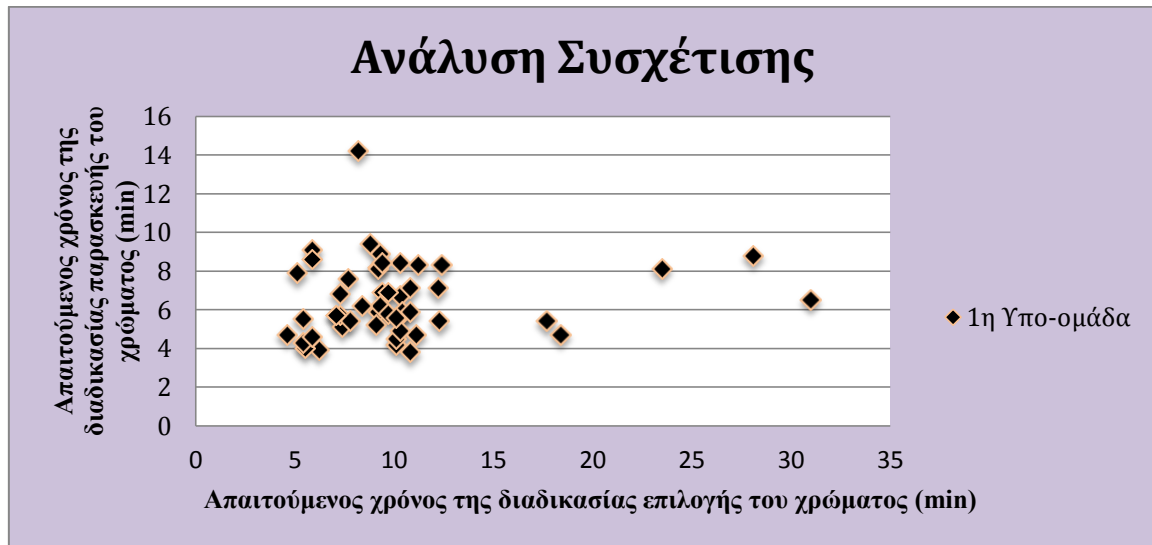
4.4.1 Ανάλυση Συσχέτισης (Correlation Analysis)

Στο κομμάτι αυτό της μεθοδολογίας Six Sigma κρίθηκε αναγκαία η αναζήτηση της συσχέτισης μεταξύ των χρόνων των τεσσάρων διεργασιών της διαδικασίας της βαφής που μετρήθηκαν κατά την φάση Measure. Είναι σαφές ότι δεν μπορεί να ξεκινήσει η προσπάθεια βελτίωσης του χρόνου βαφής εάν πρώτα δεν έχουν αναλυθεί σε βάθος οι παράγοντες που επιδρούν σε αυτή. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε η απεικόνιση των χρόνων των δύο υπο-ομάδων μέσω του εργαλείου Ανάλυση Συσχέτισης.

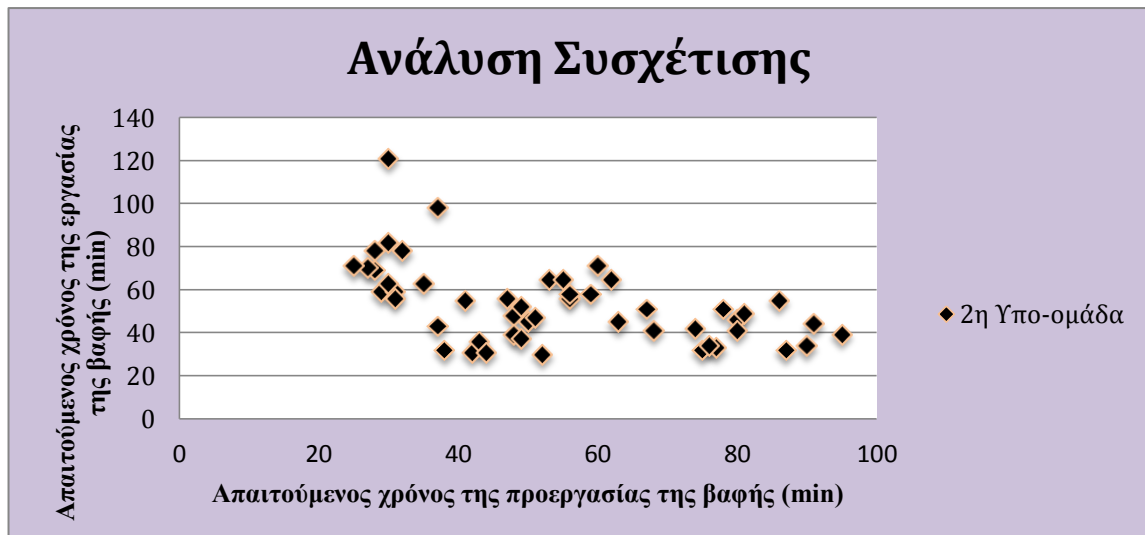
Ξεκινώντας με την πρώτη υπο-ομάδα στο άνω διάγραμμα, εκείνη της επιλογής και της παρασκευής του χρώματος, παρατηρούμε ότι η σχέση των δύο χρόνων μπορεί να θεωρηθεί τυχαία. Με άλλα λόγια, ο χρόνος που απαιτείται για να επιλεγεί το χρώμα δεν επηρεάζει τον αντίστοιχο χρόνο παρασκευής του. Αυτό οφείλεται στο ότι ο βασικός παράγοντας που καθορίζει το χρόνο παρασκευής ενός χρώματος είναι η πολυπλοκότητα της συνταγής. Οι ακραίες τιμές οφείλονται σε τυχόν λανθασμένη τοποθέτηση κάποιου συστατικού και την απαίτηση επανάληψης της παρασκευής. Στον αντίποδα, οι ακραίες τιμές κατά τη φάση της επιλογής μπορεί να οφείλονται είτε σε αδυναμία του εργαζόμενου να επιλέξει την καλύτερη απόχρωση του χρώματος, είτε σε σφάλμα του φασματογράφου. Στην ανάπτυξη του εργαλείου Measurement System Analysis έγινε η αξιολόγηση της διεργασίας της επιλογής του χρώματος με το φασματογράφο.

Στην ανάλυση της συσχέτισης της δεύτερης υπο-ομάδας τα πράγματα είναι διαφορετικά. Η αρνητική σχέση μεταξύ της προεργασίας και της βαφής είναι εμφανής, καθώς όσο μειώνεται ο χρόνος που αφιερώνει ο εργαζόμενος του βαφείου για την προετοιμασία του οχήματος, τόσο αυξάνεται τελικά ο χρόνος που το όχημα παραμένει στο φούρνο βαφής. Βέβαια, ένας σημαντικός ακόμη παράγοντας είναι και το μέγεθος του ανταλλακτικού που απαιτεί βάψιμο, καθώς είναι προφανές ότι ένας προφυλακτήρας απαιτεί σαφώς λιγότερη προεργασία από ότι για παράδειγμα μια πόρτα.

Η απεικόνιση λοιπόν των μετρήσεων μέσω του Διαγράμματος Διασποράς έκανε κατανοητή την ανάγκη αφιέρωσης περισσότερου χρόνου στην προεργασία του οχήματος. Συνιστάται στον Υπεύθυνο βαφείου να επιθεωρεί κάθε όχημα προτού εισέλθει στο φούρνο ώστε αν τυχόν εντοπίσει κάποια ατέλεια να διορθωθεί άμεσα και να μην χρειαστεί να διακοπεί η βαφή. Επιπροσθέτως, πρέπει να τοποθετηθεί ένα κάτω όριο ελέγχου στον χρόνο προεργασίας, για παράδειγμα τα 40 λεπτά, ώστε η ποιότητα του αποτελέσματος να είναι πάντοτε η επιθυμητή. Στις Εικόνες 4.8 και 4.9 παρουσιάζονται εξωτερικά και εσωτερικά οι φούρνοι βαφής.



Σχήμα 4.11: Χρονική Συσχέτιση Επιλογής-Παρασκευής Χρώματος



Σχήμα 4.12: Χρονική Συσχέτιση Προεργασίας-Εργασίας Βαφής



Εικόνα 4.8: Οι δύο φούρνοι βαφής της επιχείρησης «Toyota-Παιανία»



Εικόνα 4.9: Το εσωτερικό του φούρνου βαφής

4.4.2 Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA)

Το συγκεκριμένο εργαλείο εφαρμόστηκε στην ανάλυση Gage R&R κατά την αξιολόγηση του μετρητικού συστήματος και έχει ως στόχο την αναζήτηση της συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων. Τα δεδομένα των μετρήσεων για τα 5 ζεύγη αποστάσεων που μετρήθηκαν στα δύο αυτοκίνητα από τους τρεις χειριστές παρατίθενται στον Πίνακα 4.12.

		Μετρούμενα Μεγέθη									
		Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5	Part 6	Part 7	Part 8	Part 9	Part 10
Χειριστής 1	Δοκιμή1	135.5	127.2	72.3	64.6	150.2	141.1	95.3	88.1	129.2	123.1
	Δοκιμή2	135.7	127.7	72.6	64.8	150.1	141.3	95.5	88.4	129.2	123.1
	Δοκιμή3	135.9	128.2	72.2	64.6	150.2	141	95.6	87.7	129.2	123.3
Χειριστής 2	Δοκιμή1	135.1	127.3	72.3	64.5	150.5	140.8	95.1	87.7	128.8	123
	Δοκιμή2	135.3	127	72.2	64.6	150.2	140.9	95.3	87.7	128.8	122.7
	Δοκιμή3	134.9	126.9	72.3	64.6	150	141.1	95.5	87.8	128.9	122.6
Χειριστής 3	Δοκιμή1	135.8	128.1	72.5	64.6	150.8	141.7	95.9	88.7	129.8	123.8
	Δοκιμή2	135.8	128.4	72.4	64.6	150.3	141.4	95.2	88.1	129.9	123.7
	Δοκιμή3	135.8	128.3	72.9	64.6	150.6	141.5	95.8	88.3	129.1	123.7

Πίνακας 4.12: Μετρήσεις αποστάσεων αμαξώματος που συλλέχθηκαν κατά τη Δειγματοληψία

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Two-way ANOVA with Replicates, εξετάζοντας τους παράγοντες της εναλλαγής των χειριστών και των μετρούμενων μεγεθών (Parts). Εξετάζεται η μηδενική υπόθεση H_0 , ότι οι μέσες τιμές των μετρήσεων των 10 μετρούμενων μεγεθών (Parts) από τους 3 Χειριστές είναι ίσες. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στον Πίνακα 4.13.

Υπενθυμίζεται από τη θεωρία της ενότητας 3.4.6 ότι η $F_{Statistic}$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F_{Statistic} = \frac{Mean\ Square\ for\ Factor}{Mean\ Square\ for\ Error}$$

ενώ η εύρεση της $F_{Critical}$ από τους πίνακες της κατανομής F, όπου ο δείκτης της στήλης είναι το πλήθος Factor df και της γραμμής το πλήθος Error df. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με το Παράδειγμα 2 της ενότητας 3.4.6.

Από τον πίνακα των τιμών της κατανομής F, για $\alpha=0.05$ (Παράρτημα) παίρνουμε τις εξής τιμές του $F_{critical}$:

- $F_{critical,Part} = F_{v_1,v_2} = F_{9,60} = 2.04$
- $F_{critical,Χειριστής} = F_{v_1,v_2} = F_{2,60} = 3.15$
- $F_{critical,Αλληλεπίδρασης} = F_{v_1,v_2} = F_{18,60} = 1.79$

Παρατηρούμε, ότι το $F_{Statistic}$ είναι μεγαλύτερο από το $F_{Critical}$, για τα μετρούμενα μεγέθη, για τους χειριστές αλλά και για την μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Συμπερασματικά, λόγω του ότι και οι τρεις παράγοντες έχουν αυτό το χαρακτηριστικό, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
	<u>Degrees of Freedom</u>	<u>Sum of Squares</u>	<u>Mean Square</u>	<u>F-Statistic</u>	<u>P Value</u>
Part	9	73770.5893	8196.73215	78009.083	0.000
Χειριστής	2	5.2242	2.61211	24.860	0.000
Αλληλεπίδραση Χειριστή-Part	18	1.8913	0.10507	2.236	0.011
Εξοπλισμός-Error	60	2.8200	0.04700		
Total	89	73780.5249			

Πίνακας 4.13: Αποτελέσματα της Ανάλυσης Διακύμανσης

4.4.3 Διάγραμμα Pareto

Κατά τη διάρκεια της Φάσης του Προσδιορισμού συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με τις προτιμήσεις των καταναλωτών σε θέματα παροχής υπηρεσιών φανοποιίας και βαφής. Στη συνέχεια, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα αυτά ώστε να δοθεί σε κάθε ένα από τα κριτήρια των καταναλωτών ένας συντελεστής βαρύτητας και να μπορέσουν τελικά να χρησιμοποιηθούν κατά την εφαρμογή του εργαλείου Αντιληπτό Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά.

Είχε ζητηθεί λοιπόν από 20 πελάτες της επιχείρησης Toyota-Παιανία να κατατάξουν τα 12 κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του συγκεκριμένου εργαλείου κατά φθίνουσα σειρά προτίμησης. Όμως, λόγω του ότι οι πελάτες είχαν ήδη επιλέξει την επιχείρησή μας για να τους

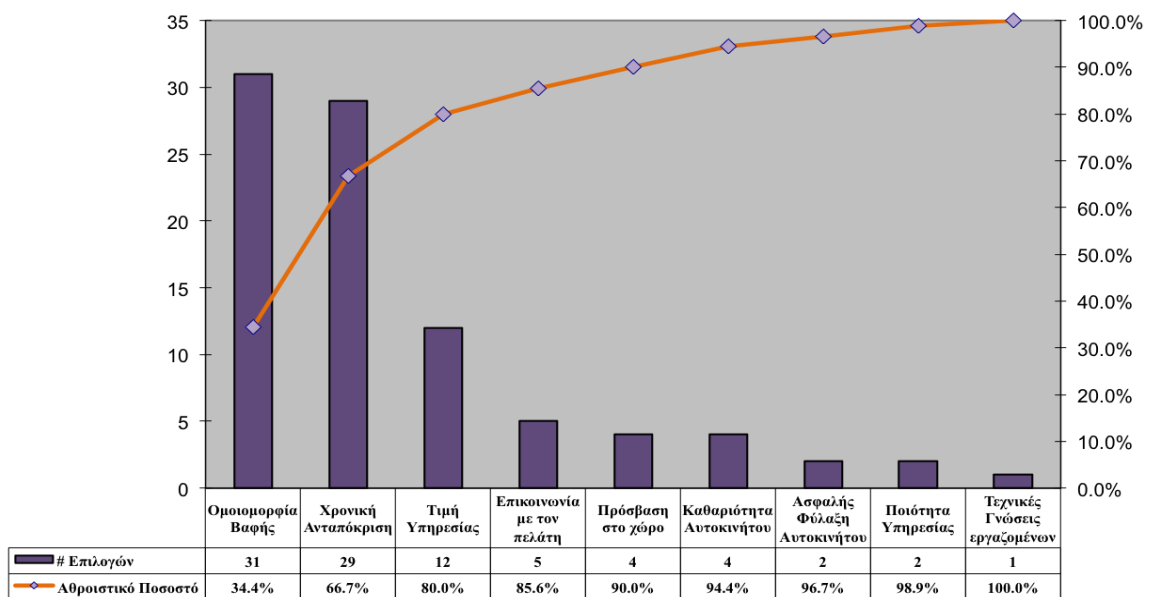
προσφέρει την παροχή υπηρεσιών στο όχημά τους, είχαν μελετήσει εξαρχής τα προτερήματα και τα ελαττώματά της. Συμπερασματικά, δεν μπορούμε να αποφανθούμε για τα Critical To Quality χαρακτηριστικά της διαδικασίας της φανοποιίας και της βαφής από το συγκεκριμένο δείγμα, καθώς δεν είναι αντιπροσωπευτικό.

Για το σκοπό αυτό, ρωτήθηκαν σε αυτή τη φάση της ανάλυσης 90 οδηγοί αυτοκινήτων, που έχουν επισκεφτεί κάποιο φανοποιείο-βαφείο τουλάχιστον μια φορά στο παρελθόν, σχετικά με το ποιο είναι εκείνο το χαρακτηριστικό της παροχής υπηρεσιών που θα κρίνει την τελική επιλογή της επιχείρησης. Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου φαίνονται στον Πίνακα 4.14.

CTQ Χαρακτηριστικά	# Επιλογών	Ποσοστό	Αθροιστικό Ποσοστό
Ομοιομορφία Βαφής	31	34.4%	34.4%
Χρονική Ανταπόκριση	29	32.2%	66.7%
Κόστος Υπηρεσίας	12	13.3%	80.0%
Επικοινωνία με τον πελάτη	5	5.6%	85.6%
Πρόσβαση στο χώρο	4	4.4%	90.0%
Καθαριότητα Αυτοκινήτου	4	4.4%	94.4%
Ασφαλής Φύλαξη Αυτοκινήτου	2	2.2%	96.7%
Ποιότητα Υπηρεσίας	2	2.2%	98.9%
Τεχνικές Γνώσεις εργαζομένων	1	1.1%	100.0%
Σύνολο	90	100%	

Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου

Στη συνέχεια, επιλέχθηκε η απεικόνιση των αποτελεσμάτων, μέσω του διαγράμματος Pareto με σταθερό συντελεστή βαρύτητας, υπολογίζοντας και το αθροιστικό ποσοστό των βασικών κριτηρίων.



Σχήμα 4.13: Διάγραμμα Pareto για τα CTQ χαρακτηριστικά

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι τα Critical To Quality χαρακτηριστικά είναι δύο, η ομοιομορφία της βαφής και η χρονική ανταπόκριση της παροχής υπηρεσιών, με αθροιστικό ποσοστό ίσο με 66.7%. Αν θεωρηθεί και η τιμή ως ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά, τότε το ποσοστό φτάνει ακριβώς την τιμή 80%, που επαληθεύει και την ανάλυση του Pareto. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα αποτελέσματα της εφαρμογής του συγκεκριμένου εργαλείου συμπίπτουν με εκείνα του MPQP στη φάση του Define.

Συνιστάται λοιπόν, η επιχείρηση Toyota-Παιανία να επικεντρώσει το χρόνο και το κεφάλαιό της στη βελτίωση των δύο αυτών χαρακτηριστικών.

4.4.4 Σπίτι Της Ποιότητας (House Of Quality)

Το συγκεκριμένο εργαλείο, γνωστό και ως Μέθοδος Ανάπτυξης Ποιότητας, εφαρμόζεται αφού πρώτα έχουν βρεθεί τα Critical To Quality χαρακτηριστικά των προϊόντων ή των υπηρεσιών. Στην περίπτωση της επιχείρησης Toyota-Παιανία, τα CTQ χαρακτηριστικά της παροχής υπηρεσιών φανοποιίας και βαφής αυτοκινήτων βρέθηκαν κατά τη συλλογή των VOC δεδομένων, καθώς και κατά την εφαρμογή του διαγράμματος Pareto.

Ο σκοπός που επιτελεί το εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma, Σπίτι Της Ποιότητας, είναι η μετατροπή των αναγκών των καταναλωτών και των CTQ χαρακτηριστικών, σε προδιαγραφές προϊόντων και υπηρεσιών. Για το σκοπό αυτό, πρώτο βήμα της κατασκευής του «σπιτιού» είναι η τοποθέτηση στην αριστερή πλευρά όλων των απαιτήσεων των καταναλωτών. Μάλιστα, εκτιμήθηκε και ένας συντελεστής βαρύτητας, της τάξεως από 1-10, που δηλώνει την κρίσιμότητα της κάθε ανάγκης.

Επόμενο βήμα είναι η καταγραφή και η τοποθέτηση στο χώρο της «σκεπής» του συνόλου των παραγόντων που επιδρούν θετικά ή αρνητικά στις κρίσιμες ανάγκες των καταναλωτών. Λόγω του ότι έχουμε να κάνουμε με την παροχή υπηρεσιών οι παράγοντες δεν λειτουργούν τόσο ως προδιαγραφές της παρεχόμενης υπηρεσίας, αλλά περισσότερο ως προτάσεις βελτίωσης της ικανοποίησης που δέχονται οι καταναλωτές.

Για το σκοπό αυτό υιοθετήθηκε μια κλίμακα για τη βαθμονόμηση της συσχέτισης μεταξύ αναγκών και παραγόντων ως εξής:

- Σημαντική θετική αλληλεπίδραση: 9
- Θετική αλληλεπίδραση: 3
- Ασήμαντη θετική αλληλεπίδραση: 1

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει καμία συσχέτιση το κελί του πίνακα παραμένει κενό. Στα τετράγωνα, στην κορυφή της «σκεπής», τοποθετείται ο χαρακτηρισμός της συσχέτισης μεταξύ των παραγόντων, «Θ» για θετική συσχέτιση, «Α» για αρνητική και «Ο» για την ουδέτερη συσχέτιση. Στην περίπτωσή μας οι παράγοντες είναι όλοι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.

Στη συνέχεια, στην δεξιά πλευρά του «σπιτιού» συγκρίνεται η Toyota-Παιανία με τρεις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις του κλάδου σχετικά με το βαθμό που ικανοποιεί η κάθε μια τις κρίσιμες

ανάγκες των καταναλωτών. Στοιχεία για τη ολοκλήρωση του συγκεκριμένου βήματος αντλήθηκαν από την εφαρμογή του εργαλείου Market Perceived Quality Profile.

Απαιτήσεις Πελατών	Προδιαγραφές Υπηρεσίας									
	Βαρύτητα (1-10)	Βελτίωση της Επικοινωνίας με τους Προμηθευτές	Βελτίωση της Επικοινωνίας μεταξύ του Διευθυντή Φανοποιείου και του Υπεύθυνου Βαφείου	Βελτίωση Επικοινωνίας με την αντιπροσώπευση της Toyota	Τεχνικές Γνώσεις Εργαζομένων Βαφείου	Ειλικρίνεια/Επικοινωνία με τον πελάτη	Ανανέωση της βάσης δεδομένων των χρωμάτων	Καλύτερος	2ος Καλύτερος	Χειρότερος
Τήρηση Χρονοδιαγράμματος	8	9	9			1		★	⊕	❖
Ομοιομορφία Βαφής	9		3		9		3	★	⊕	❖
Παροχή Αυτοκινήτου Αντικατάστασης	10			9		3		⊕	★	❖
Αξιοπιστία Ποιότητας	6	3	3		3	3	3	★	⊕	❖
Κατανόηση του προβλήματος του πελάτη/Επικοινωνία	5	1		3		9		❖	★	○
Συνολική Βαθμολογία		95	117	105	99	101	45			
Συγκριτική βαθμολογία		16.90%	20.82%	18.68%	17.62%	17.97%	8.01%			

Πίνακας 4.15: Το Σπίτι Της Ποιότητας

Toyota-Παιανίας	★
Toyota-Γλυκά Νερά	⊕
Fiat	○
Γενικό Συνεργείο	❖

Πίνακας 4.16: Οι Συμβολισμοί των Ανταγωνιστικών Επιχειρήσεων

Τέλος, υπολογίστηκε η συνολική βαθμολογία κάθε παράγοντα, αλλά και η ποσοστιαία του συνεισφορά στην ικανοποίηση των καταναλωτών. Βλέπουμε ότι πέντε στους έξι παράγοντες εμφανίζουν ισάξια συνεισφορά, ενώ η πρόταση ανανέωσης της βάσης δεδομένων των χρωμάτων είναι φανερό ότι μειονεκτεί. Στον Πίνακα 4.15 παρουσιάζεται η κατασκευή ολοκληρωμένου του Σπιτιού Της Ποιότητας και στον Πίνακα 4.16 οι συμβολισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των ανταγωνιστικών επιχειρήσεων.

4.4.5 Εκτίμηση Αποτυχιών και Ανάλυση Αποτελεσμάτων (FMEA)

Το επόμενο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε έχει ως στόχο την αναγνώριση των προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια της παροχής υπηρεσιών φανοποιείας και βαφής αυτοκινήτων, αλλά και τον προσδιορισμό της μεθόδου αντιμετώπισής τους. Ο σκοπός του εργαλείου επιτυγχάνεται με την ταξινόμηση των προβλημάτων ανάλογα με τη σημαντικότητά τους, την συχνότητα εμφάνισης και την δυνατότητα ανίχνευσης.

Αρχικά, από το διάγραμμα Fishbone αντλήθηκαν τα στοιχεία των προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν. Λόγω του ότι οι αιτίες που βρέθηκαν αφορούσαν το γενικό αποτέλεσμα της καθυστέρησης του χρονοδιαγράμματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση αυτή ως τα βασικά προβλήματα (Failure Modes) της ανάλυσης.

Πρώτο βήμα της εφαρμογής του εργαλείου ήταν η ποσοτικοποίηση των παραγόντων ταξινόμησης των διαφόρων προβλημάτων. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε μια κλίμακα για κάθε έναν από τους τρεις βασικούς παράγοντες, Κρισιμότητα (Severity), Συχνότητα Εμφάνισης (Occurence) και Ανιχνευσιμότητα (Detectability).

Κρισιμότητα		Συχνότητα εμφάνισης σε ετήσια βάση		Ανιχνευσιμότητα	
10	Καταστροφική	10	Πολύ Υψηλή	10	Εντελώς αβέβαιη
9	Επικίνδυνη	9		9	Αβέβαιη
8	Πολύ Υψηλή	8	Υψηλή	8	Ελάχιστη
7	Υψηλή	7		7	Πολύ χαμηλή
6	Μέτρια	6	Μέτρια	6	Χαμηλή
5	Χαμηλή	5		5	Μέτρια
4	Πολύ χαμηλή	4	Χαμηλή	4	Μέτρια-Υψηλή
3	Ασήμαντη	3		3	Υψηλή
2	Πολύ Ασήμαντη	2	Ελάχιστη	2	Πολύ υψηλή
1	Καμία	1		1	Σίγουρη

Πίνακας 4.17: Κριτήρια Αξιολόγησης Αποτυχιών



Αξιολόγηση Ρίσκου (Risk Assessment)								
Κατηγορία Ρίσκου (Risk Category)	Πιθανή Αποτυχία (Potential Failure)		Κρισιμότητα (Severity)	Πιθανές Αιτίες (Cause)	Συχνότητα Εμφάνισης (Occurrence)	Τρέχων Έλεγχος (Current Control)	Ανιχνευσιμότητα (Detectability)	RPN
	Τρόποι Αποτυχίας (Mode)	Αποτελέσματα Αποτυχίας (Effects)						
Mother Nature	Έλλειψη προσωπικού λόγω ασθένειας	Αδυναμία εκτέλεσης των διαφόρων εργασιών	5	-	2	Γραμματέας	7	70
	Εργατικό ατύχημα	Ασφάλιση, τραυματισμός εργαζόμενου	8	Παράλειψη των μέτρων ασφαλείας από τους εργαζόμενους	2	Επιθεώρηση του Διευθυντή Φανοποιείου	8	128
	Διακοπή ρεύματος	Παύση εργασιών	5	-	4	-	7	140
Materials	Κακή ποιότητα χρώματος	Χαμηλή ποιότητα βαφής	5	Μη ασφαλής φύλαξη του, λάθος επιλογή προμηθευτή	6	Έλεγχος αποθεμάτων από τον υπεύθυνο βαφείου	6	180
	Κακή ποιότητα ανταλλακτικού	Χαμηλή ποιότητα βαφής, αυξημένος χρόνος προεργασίας της βαφής	3	Λάθος επιλογή προμηθευτή	5	Έλεγχος παραλαβών από το Διευθυντή φανοποιείου	5	75
	Έλλειψη ανταλλακτικών	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος, αδυναμία εκτέλεσης των διαφόρων εργασιών	6	Μεγάλη ζήτηση, παλιό μοντέλο αυτοκινήτου	3	Επικοινωνία Διευθυντή φανοποιείου με τους προμηθευτές	7	126
	Έλλειψη στα αποθέματα χρωμάτων	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	8	Λανθασμένος υπολογισμός του αποθέματος	3	Έλεγχος αποθεμάτων από τον υπεύθυνο βαφείου	2	48
Machines	Βλάβη του φούρνου βαφής	Παύση εργασιών, αυξημένα λειτουργικά κόστη	8	Βλάβη εξαρτήματος του φούρνου	3	Επιθεώρηση από τον Υπεύθυνο Βαφείου	5	120
	Ανάγκη αλλαγής των λάστιχων αέρα	Αυξημένα λειτουργικά κόστη, καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	5	Βλάβη εξοπλισμού	4	Εργαζόμενος βαφείου	2	40
	Λανθασμένος χειρισμός των ηλεκτροπόντων	Χαμηλή ποιότητα φανοποιίας, ζημιά του οχήματος	4	Πρόχειρη εργασία	6	Επιθεώρηση από τον Διευθυντή Φανοποιείου	4	96

Πίνακας 4.18: FMEA-Υπολογισμός RPN



Αξιολόγηση Ρίσκου (Risk Assessment)								
Κατηγορία Ρίσκου (Risk Category)	Πιθανή Αποτυχία (Potential Failure)		Κρισιμότητα (Severity)	Πιθανές Αιτίες (Cause)	Συχνότητα Εμφάνισης (Occurrence)	Τρέχων Έλεγχος (Current Control)	Ανιχνευσιμότητα (Detectability)	RPN
	Τρόποι Αποτυχίας (Mode)	Αποτελέσματα Αποτυχίας (Effects)						
Machines	Βλάβη των εργαλείων	Αδυναμία εκτέλεσης των διαφόρων εργασιών, καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	2	Βλάβη εξοπλισμού	4	Εργαζόμενος φανοποιείου	4	32
	Έλλειψη σύγχρονου εξοπλισμού	Χαμηλή ποιότητα φανοποιίας, αδυναμία παροχής ορισμένων υπηρεσιών, χαμηλή παραγωγικότητα	5	Έλλειψη κεφαλαίου και ενημέρωσης	4	Γραμματέας, Διευθυντής φανοποιείου, Υπεύθυνος Βαφείου	2	40
Man	Καθυστέρηση των οδηγών της διανομής αυτοκινήτων	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	4	Κίνηση στους δρόμους, Κακή συνεννόηση	6	Γραμματέας	7	168
	Καθυστέρηση των προμηθευτών	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	6	Κίνηση στους δρόμους, Κακή συνεννόηση με τους προμηθευτές, αυξημένος φόρτος εργασίας	6	Διευθυντής φανοποιείου	7	252
	Καθυστέρηση έγκρισης από την ασφαλιστική εταιρεία	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	5	Υψηλό κόστος επισκευής	6	Γραμματέας	6	180
	Παραλαβή λανθασμένων ανταλλακτικών	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	2	Κακή συνεννόηση με τον προμηθευτή	5	Έλεγχος παραλαβών από το Διευθυντή φανοποιείου	6	60
	Λανθασμένη παρασκευή του χρώματος	Χαμηλή ποιότητα βαφής, αυξημένα λειτουργικά κόστη	7	Χρησιμοποίηση λανθασμένης ποσότητας των συστατικών	2	Επιθεώρηση από τον Υπεύθυνο Βαφείου	7	98
	Λανθασμένη επιλογή χρώματος	Χαμηλή ποιότητα βαφής, αυξημένα λειτουργικά κόστη	7	Τεχνικές γνώσεις εργαζομένων	4	Επιθεώρηση από τον Υπεύθυνο Βαφείου	8	224



Πίνακας 4.18: Συνέχεια: FMEA-Υπολογισμός RPN

Αξιολόγηση Ρίσκου (Risk Assessment)								
Κατηγορία Ρίσκου (Risk Category)	Πιθανή Αποτυχία (Potential Failure)		Κρισιμότητα (Severity)	Πιθανές Αιτίες (Cause)	Συχνότητα Εμφάνισης (Occurrence)	Τρέχων Έλεγχος (Current Control)	Ανιχνευσιμότητα (Detectability)	RPN
	Τρόποι Αποτυχίας (Mode)	Αποτελέσματα Αποτυχίας (Effects)						
Measurement	Λάθος υπολογισμός του χρόνου φανοποίησης-βαφής	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	4	Τεχνικές γνώσεις εργαζομένων	7	Γραμματέας	6	168
	Λανθασμένη μέτρηση του αμαξώματος	Αδυναμία τοποθέτησης του ανταλλακτικού	3	Τεχνικές γνώσεις εργαζομένων	4	Εργαζόμενος φανοποιείου	5	60
	Λάθος του φασματογράφου στην επιλογή του χρώματος	Χαμηλή ποιότητα βαφής, αυξημένα λειτουργικά κόστη	4	Βλάβη εξοπλισμού, αδυναμία εύρεσης του χρώματος	6	Εργαζόμενος βαφείου	4	96
	Σφάλμα της ζυγαριάς	Χαμηλή ποιότητα βαφής, αυξημένα λειτουργικά κόστη	6	Βλάβη εξοπλισμού	1	Εργαζόμενος βαφείου	9	54
Method	Ζημιά στο αυτοκίνητο κατά την φανοποιία	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος, αυξημένα λειτουργικά κόστη	6	Πρόχειρη δουλειά εργαζομένων φανοποιείου	3	Εργαζόμενος φανοποιείου	2	36
	Ανάγκη επανάληψης βαφής λόγω ανομοιομορφίας	Αυξημένα λειτουργικά κόστη, καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος	7	Λάθος επιλογή χρώματος, πρόχειρη βαφή, κακή προεργασία βαφής, τεχνικές γνώσεις εργαζομένων	7	Επιθεώρηση από τον Υπεύθυνο Βαφείου	4	196
	Παράλειψη επισκευής μέρους του αμαξώματος	Καθυστέρηση χρονοδιαγράμματος, χαμηλή ποιότητα βαφής	6	Πρόχειρη δουλειά εργαζομένων φανοποιείου, τεχνικές γνώσεις εργαζομένων	3	Εργαζόμενος φανοποιείου, εργαζόμενος βαφείου	3	54

Πίνακας 4.18: Συνέχεια: FMEA-Υπολογισμός RPN



Στην συνέχεια, συμπληρώθηκε ο Πίνακας 4.18 και υπολογίστηκε ο δείκτης Risk Priority Number (RPN), σύμφωνα με τον οποίο ταξινομούνται οι διάφοροι κίνδυνοι αποτυχίας. Ο δείκτης RPN προκύπτει ως το γινόμενο των τριών κριτηρίων αξιολόγησης κινδύνων, δηλαδή $RPN = Severity \times Occurrence \times Detectability$. Πρέπει να τονιστεί όμως, ότι ο δείκτης αυτός δεν είναι πάντοτε αντιπροσωπευτικός, καθώς πολλές φορές ένα πρόβλημα μπορεί να έχει τραγικές συνέπειες για την επιχείρηση αλλά πολύ μικρή πιθανότητα να συμβεί, με αποτέλεσμα να βρίσκεται χαμηλά στη λίστα.

Τρόποι Αποτυχίας (Failure Mode)	RPN	Προγραμματισμός Δράσης (Action Planning)			
		Είδος Δράσης (Action type)	Σχέδιο Επείγουσας Επέμβασης (Contingency Plan)	Μέτρηση Αποτελέσματος (Outcome Measure)	Υπεύθυνος (Person Accountable)
Καθυστέρηση των προμηθευτών	252	Αποφυγή	Αναζήτηση νέων προμηθευτών	Περισσότερες επιλογές προμηθευτών	Διευθυντής φανοποιείου
		Μετρίαση	Συνεχής τηλεφωνική επικοινωνία με τους προμηθευτές	Ενημέρωση της κατάστασης της παραγγελίας	Γραμματέας
Λάνθασμένη επιλογή χρώματος	224	Μετρίαση	Εκπαίδευση εργαζομένων βαφείου	Βελτίωση των δεξιοτήτων των εργαζομένων	Υπεύθυνος βαφείου
Ανάγκη επανάληψης βαφής λόγω ανομοιομορφίας	196	Αποδοχή	Επιθεώρηση Υπευθύνου βαφής πριν την παράδοση στον πελάτη		Υπεύθυνος βαφείου
Κακή ποιότητα χρώματος	180	Αποφυγή	Αλλαγή προμηθευτή χρωμάτων		Υπεύθυνος βαφείου
Καθυστέρηση των οδηγών της διανομής αυτοκινήτων	168	Αποδοχή	Επικοινωνία με τις συνεργαζόμενες επιχειρήσεις	Ενημέρωση της κατάστασης της διανομής	Γραμματέας
Λάθος υπολογισμός του χρόνου φανοποιίας-βαφής	168	Αποφυγή	Λήψη απόφασης ύστερα από συμφωνία Διευθυντή φανοποιείου και Υπευθύνου βαφής	Δημιουργία φακέλου εκτίμησης χρονοδιαγράμματος	Γραμματέας
Εργατικό ατύχημα	128	Αποφυγή	Αυστηρή επιθεώρηση από τον Διευθυντή φανοποιείου για την τήρηση των μέτρων ασφαλείας		Διευθυντής φανοποιείου
Λανθασμένος χειρισμός των ηλεκτροπόντων	96	Μετρίαση	Εκπαίδευση εργαζομένων φανοποιείου	Βελτίωση των δεξιοτήτων των εργαζομένων	Διευθυντής φανοποιείου
Έλλειψη σύγχρονου εξοπλισμού	40	Αποφυγή	Αγορά νέων ηλεκτροπόντων	Αύξηση της παραγωγικότητας	Διευθυντής φανοποιείου

Πίνακας 4.19: Ταξινόμηση αποτυχιών και εύρεση τρόπων αντιμετώπισής τους

Αφού ολοκληρώθηκε η ανάλυση και έγινε η ταξινόμηση των προβλημάτων ανάλογα με το RPN τους, άρχισε η προσπάθεια αντιμετώπισής τους. Στο στάδιο αυτό, μελετήθηκαν τα προβλήματα με τον

υψηλότερο δείκτη RPN καθώς και εκείνα, που όπως αναφέρθηκε, παρόλο που παρουσιάζουν χαμηλό δείκτη, η προσπάθεια αντιμετώπισής τους είναι υψίστης σημασίας.

Όπως προέκυψε, το πρόβλημα της επιχείρησής μας με τον υψηλότερο RPN είναι η καθυστέρηση της παραλαβής των ανταλλακτικών από τους προμηθευτές και η αντιμετώπισή του μπορεί να γίνει με δύο βασικούς τρόπους. Πρώτον, μπορεί να επιτευχθεί η μετρίαση του ρίσκου που το συνοδεύει με την διαρκή τηλεφωνική επικοινωνία του Γραμματέα με τους προμηθευτές, ώστε να ενημερώνεται η επιχείρηση Toyota-Παιανία σχετικά με το στάδιο που βρίσκεται η παραγγελία ανά πάσα στιγμή. Δεύτερον, μια πιο δραστική λύση που θα οδηγήσει στην αποφυγή του προβλήματος, είναι η αναζήτηση από τον Διευθυντή του φανοποιείου νέων προμηθευτών που να πληρούν σε καλύτερο βαθμό τις χρονικές απαιτήσεις της επιχείρησής μας.

Οι λύσεις που προτάθηκαν είναι πολλές και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.19. Περαιτέρω ανάλυσή τους γίνεται μέσω του εργαλείου Pugh Concept Evaluation που εφαρμόζεται στη φάση Improve της Six Sigma ανάλυσης.

4.5 Φάση Βελτίωσης (Improve Phase)

4.5.1 Αξιολόγηση Προτάσεων του Pugh (Pugh Concept Evaluation)

Ύστερα από την ολοκλήρωση των φάσεων Define, Measure και Analyze όπου έγινε η μελέτη, η ανάλυση και η καταγραφή των διαφόρων διαδικασιών και μεθόδων που ακολουθούνται από την επιχείρηση Toyota-Παιανία, φτάσαμε στο στάδιο Improve όπου πρέπει να βρεθούν οι προτάσεις βελτίωσής τους.

Ο βασικός στόχος της επιχείρησης είναι η διαρκής ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών ώστε να διατηρήσει την ηγετική θέση που κατέχει, όσον αφορά το μερίδιο της αγοράς. Λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, αλλά και των δυσκολιών της βιωσιμότητας μιας σύγχρονης μικρής ελληνικής επιχείρησης, αν συνεχίσει να ασκεί την ίδια πολιτική αργά ή γρήγορα κάποια νέα πρωτοποριακή ανταγωνιστική επιχείρηση θα αναδειχθεί και θα την ξεπεράσει. Η ανάλυση Six Sigma είναι η μέθοδος που θα συμβάλει στο να μην συμβεί το γεγονός αυτό αναδεικνύοντας τρόπους διατήρησης της κυρίαρχης αυτής θέσης.

Παρόλο που οι λύσεις που μπορούν θεωρητικά να προταθούν είναι πολυάριθμες, λίγες μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη και να δώσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το εργαλείο που επιλέχθηκε για την αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων είναι το Pugh Concept Evaluation.

Αρχικά, διατυπώθηκαν τα βασικά κριτήρια που καθιστούν μια λύση αποτελεσματική και καταγράφηκαν στην πρώτη στήλη του πίνακα. Έπειτα αναζητήθηκαν οι προτεινόμενες λύσεις και τοποθετήθηκαν στις λοιπές στήλες του πίνακα. Στη συνέχεια, επιλέχθηκε μια από τις προτεινόμενες λύσεις και ορίστηκε ως επιλογή «Datum», με την οποία γίνεται η σύγκριση των λοιπών προτάσεων



βελτίωσης ως προς τα προαναφερθέντα κριτήρια. Η σύγκριση λαμβάνει χώρα καταγράφοντας για κάθε λύση, αλλά και για κάθε κριτήριο αν η επιλογή Datum υπερτερεί (-), μειονεκτεί (+) ή αν παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά (s). Τελικά, υπολογίζεται το σύνολο των (+), (-), (s) που έλαβε κάθε λύση και γίνεται η αξιολόγησή τους.

Την πρώτη φορά που εφαρμόστηκε το συγκεκριμένο εργαλείο θεωρήθηκε ως Datum η πρόταση της αγοράς τεχνολογικά εξελιγμένων ηλεκτροπόντων, καθώς υπερείχε σε όλους τους τομείς των υπολοίπων (Πίνακας 4.20). Στον αθροιστικό πίνακα όμως, η πρόταση της εκπαίδευσης των εργαζομένων φάνταζε ιδιαίτερη ελκυστική και άξια προσοχής. Για το λόγο αυτό εκτελέστηκε άλλη μια φορά το εργαλείο Pugh Concept Evaluation ώστε να γίνει η σύγκριση των λοιπών λύσεων με την νέα πρόταση Datum, της εκπαίδευσης των εργαζομένων.

Στην περίπτωση αυτή (Πίνακας 4.21), η μόνη λύση που ξεχώρισε, όπως άλλωστε αναμενόταν, ήταν η αγορά του νέου εξοπλισμού και μπορέσαμε τελικά να αποφανθούμε για την καλύτερη πρόταση βελτίωσης της παροχής υπηρεσιών της Toyota-Παιανία.

Όπως αναλύεται και στη συνέχεια στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων της μελέτης περίπτωσης, λόγω του ιδιαίτερα χαμηλού κόστους εφαρμογής τους δοκιμάστηκαν και οι άλλες προτάσεις βελτίωσης.

Κριτήρια Επιλογής	Προτεινόμενες λύσεις						
	Αγορά τεχνολογικά εξελιγμένης ηλεκτροπόντας	Αλλαγή του προμηθευτή χρωμάτων	Εκπαίδευση των εργαζομένων	Δημιουργία χώρου πλύσης των αυτοκινήτων	Δημιουργία χώρου για Reverse Logistics	Βελτίωση του συστήματος φωτισμού	Δημιουργία ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων συνταγών χρωμάτων
Μείωση του λειτουργικού κόστους	DATUM	-	-	-	s	-	-
Βελτίωση της Ποιότητας		-	-	-	-	-	-
Ικανοποίηση των καταναλωτών		s	s	+	-	-	-
Τήρηση Χρονοδιαγράμματος		-	s	-	-	-	s
Ομοιομορφία βαφής		s	+	s	s	+	+
Μικρό κόστος επένδυσης		+	+	+	+	+	+
Αύξηση της παραγωγικότητας		-	-	-	-	-	-
Σύνολο (+)		1	2	2	1	2	2
Σύνολο (-)		4	2	4	4	5	4
Σύνολο (s)		2	3	1	2	0	1

Πίνακας 4.20: 1^η Εφαρμογή Pugh Concept Evaluation

Κριτήρια Επιλογής	Προτεινόμενες λύσεις						
	Εκπαίδευση των εργαζομένων	Αλλαγή του προμηθευτή χρωμάτων	Αγορά τεχνολογικά εξελιγμένης ηλεκτροπόντας	Δημιουργία χώρου πλύσης των αυτοκινήτων	Δημιουργία χώρου για Reverse Logistics	Βελτίωση του συστήματος φωτισμού	Δημιουργία ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων συνταγών χρωμάτων
Μείωση του λειτουργικού κόστους	DATUM	-	+	-	s	-	-
Βελτίωση της Ποιότητας		-	+	-	-	-	s
Ικανοποίηση των καταναλωτών		s	s	+	-	-	s
Τήρηση Χρονοδιαγράμματος		-	s	-	-	-	-
Ομοιομορφία βαφής		-	-	-	-	-	+
Μικρό κόστος επένδυσης		+	-	+	+	+	+
Αύξηση της παραγωγικότητας		-	+	-	s	s	-
Σύνολο (+)	1	3	2	1	1	2	
Σύνολο (-)	5	2	5	4	5	3	
Σύνολο (s)	1	2	0	2	1	2	

Πίνακας 4.21: 2^η Εφαρμογή Pugh Concept Evaluation

4.5.2 Ανάλυση Κόστους/Οφέλους (Cost/Benefit Analysis)

Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου, μελετήθηκε η περίπτωση επένδυσης με την αγορά δύο καινούργιων, εξελιγμένης τεχνολογίας ηλεκτροπόντων.

Τα υφιστάμενα ηλεκτροπόντα που είναι παλαιότερης τεχνολογίας δεν διαθέτουν τα κατάλληλα εξαρτήματα που να επιτρέπουν την κόλληση του αλουμινίου και της ανοξειδωτής λαμαρίνας. Αναγκαστικά, η επιχείρηση Toyota-Παιανία ωθείται στη χρησιμοποίηση άλλων μέσων για την παροχή αυτού του είδους της υπηρεσίας, που όχι μόνο είναι πιο χρονοβόρα στη χρήση, αλλά και η ποιότητα τελικά της παρεχόμενης υπηρεσίας τις περισσότερες φορές δεν είναι η επιθυμητή.

Ύστερα από έρευνα αγοράς του διευθυντή του φανοποιείου για τα διαθέσιμα μοντέλα ηλεκτροπόντων καταλήξαμε στο μοντέλο της εταιρείας Gys «GYSPOT INVERTER B.LX» που κοστολογείται στα 8,500€ (Εικόνα 4.10). Οι ανάγκες της επιχείρησης απαιτούν την αγορά δύο νέων ηλεκτροπόντων με τη χρήση των οποίων η παραγωγικότητα των εργαζομένων του φανοποιείου υπολογίζεται ότι θα αυξηθεί κατά 20%.

Η βελτίωση λοιπόν της παραγωγικότητας όχι μόνο θα μειώσει τα λειτουργικά κόστη, αλλά θα συμβάλει και στην αύξηση των εσόδων της επιχείρησης λόγω της βελτίωσης της ποιότητας της προσφερόμενης υπηρεσίας.

Σήμερα, υπολογίζεται ότι τα έσοδα και τα έξοδα της Toyota-Παιανίας αυξάνονται κατά 0.4% κάθε μήνα. Η επένδυση εκτιμάται ότι θα οδηγήσει το ρυθμό αύξησης των εσόδων στο 0.5% ανά μήνα ενώ αντίθετα θα μειώσει τον αντίστοιχο ρυθμό των εξόδων στο 0.3%. Στον Πίνακα 4.22 παρουσιάζεται η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης

Για τους υπολογισμούς λήφθηκαν υπόψη:

- Το Επιτόκιο Αναγωγής ίσο με 7%
- Ο Συντελεστής Φορολόγησης ίσος με 26%
- Ο Συντελεστής Απόσβεσης ίσος με 10%
- Ο Ορίζοντας επένδυσης τα 2 έτη

Έπειτα έγινε και διερεύνηση μηδενισμού της Καθαρής Παρούσας Αξίας της επένδυσης μεταβάλλοντας το επιτόκιο αναγωγής (Σχήμα 4.14).



Εικόνα 4.10: GYSPOT INVERTER B.LX

Η Καθαρή Παρούσα Αξία προέκυψε θετική και ίση με 10,422.79€ ενώ ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης εκτιμήθηκε ίσος με 14.10%, μεγαλύτερος δηλαδή από το επιτόκιο αναγωγής (Πίνακας 4.23). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η επένδυση αγοράς των νέων τεχνολογικά εξελιγμένων ηλεκτροπόντων κρίνεται συμφέρουσα.



Μήνας	Εκροές	Εισροές	Κόστη Πάγια Λειτουργικά	Μεικτά Αποτελέσματα	Αποσβέσεις	Σύνολο Αποσβέσεων	Καθαρά Αποτελέσματα Προ Φόρων	Φόρος	Καθαρό Κέρδος	Εναπομένουσα Αξία	Καθαρές Ροές
0	€17,000.00										-€17,000.00
1		€22,100.00	€18,800.00	€3,300.00	€141.67	€141.67	€3,158.33	€821.17	€2,337.17		€2,337.17
2		€22,210.50	€18,856.40	€3,354.10	€141.67	€283.33	€3,212.43	€835.23	€2,377.20		€2,377.20
3		€22,321.55	€18,912.97	€3,408.58	€141.67	€425.00	€3,266.92	€849.40	€2,417.52		€2,417.52
4		€22,433.16	€18,969.71	€3,463.45	€141.67	€566.67	€3,321.79	€863.66	€2,458.12		€2,458.12
5		€22,545.33	€19,026.62	€3,518.71	€141.67	€708.33	€3,377.04	€878.03	€2,499.01		€2,499.01
6		€22,658.05	€19,083.70	€3,574.36	€141.67	€850.00	€3,432.69	€892.50	€2,540.19		€2,540.19
7		€22,771.34	€19,140.95	€3,630.39	€141.67	€991.67	€3,488.73	€907.07	€2,581.66		€2,581.66
8		€22,885.20	€19,198.37	€3,686.83	€141.67	€1,133.33	€3,545.16	€921.74	€2,623.42		€2,623.42
9		€22,999.63	€19,255.97	€3,743.66	€141.67	€1,275.00	€3,601.99	€936.52	€2,665.47		€2,665.47
10		€23,114.62	€19,313.73	€3,800.89	€141.67	€1,416.67	€3,659.22	€951.40	€2,707.83		€2,707.83
11		€23,230.20	€19,371.68	€3,858.52	€141.67	€1,558.33	€3,716.86	€966.38	€2,750.47		€2,750.47
12		€23,346.35	€19,429.79	€3,916.56	€141.67	€1,700.00	€3,774.89	€981.47	€2,793.42		€2,793.42
13		€23,463.08	€19,488.08	€3,975.00	€141.67	€1,841.67	€3,833.33	€996.67	€2,836.67		€2,836.67
14		€23,580.40	€19,546.54	€4,033.85	€141.67	€1,983.33	€3,892.18	€1,011.97	€2,880.22		€2,880.22
15		€23,698.30	€19,605.18	€4,093.11	€141.67	€2,125.00	€3,951.45	€1,027.38	€2,924.07		€2,924.07
16		€23,816.79	€19,664.00	€4,152.79	€141.67	€2,266.67	€4,011.12	€1,042.89	€2,968.23		€2,968.23
17		€23,935.87	€19,722.99	€4,212.88	€141.67	€2,408.33	€4,071.21	€1,058.52	€3,012.70		€3,012.70
18		€24,055.55	€19,782.16	€4,273.39	€141.67	€2,550.00	€4,131.73	€1,074.25	€3,057.48		€3,057.48
19		€24,175.83	€19,841.51	€4,334.32	€141.67	€2,691.67	€4,192.66	€1,090.09	€3,102.57		€3,102.57
20		€24,296.71	€19,901.03	€4,395.68	€141.67	€2,833.33	€4,254.01	€1,106.04	€3,147.97		€3,147.97
21		€24,418.19	€19,960.73	€4,457.46	€141.67	€2,975.00	€4,315.79	€1,122.11	€3,193.69		€3,193.69
22		€24,540.28	€20,020.62	€4,519.67	€141.67	€3,116.67	€4,378.00	€1,138.28	€3,239.72		€3,239.72
23		€24,662.98	€20,080.68	€4,582.31	€141.67	€3,258.33	€4,440.64	€1,154.57	€3,286.07		€3,286.07
24		€24,786.30	€20,140.92	€4,645.38	€141.67	€3,400.00	€4,503.71	€1,170.97	€3,332.75	€13,600.00	-€10,267.25

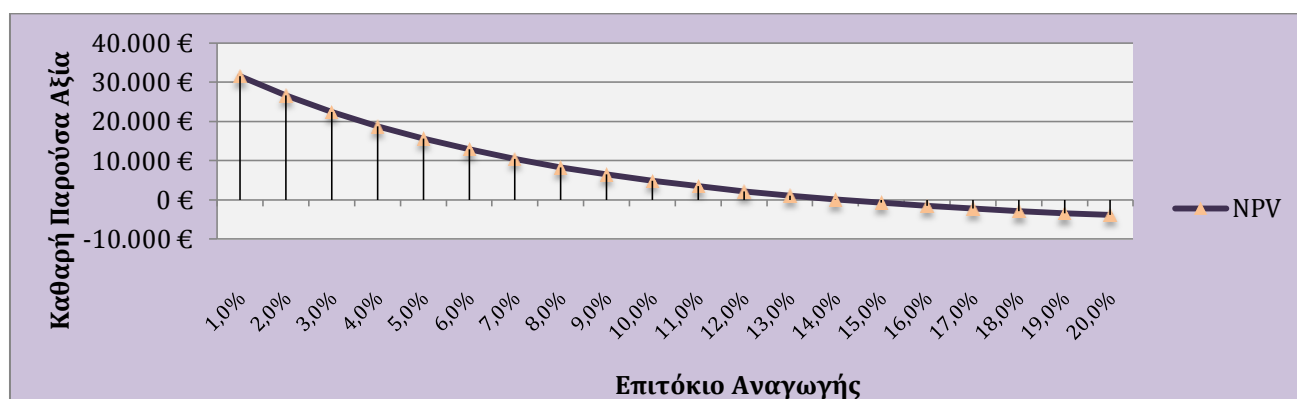
Πίνακας 4.22: Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση της Επένδυσης

NPV	€10,422.79
IRR	14.10%

Πίνακας 4.23: Καθαρή Παρούσα Αξία και Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της Επένδυσης

Επιτόκιο Αναγωγής	NPV
1%	€31,490.41
2%	€26,619.04
3%	€22,406.23
4%	€18,755.80
5%	€15,586.14
6%	€12,828.04
7%	€10,422.79
8%	€8,320.58
9%	€6,479.12
10%	€4,862.46
11%	€3,440.01
12%	€2,185.71
13%	€1,077.31
14%	€95.80
15%	-€775.09
16%	-€1,549.35
17%	-€2,238.96
18%	-€2,854.29
19%	-€3,404.24
20%	-€3,896.54

Πίνακας 4.23: Η Καθαρή Παρούσα Αξία για τις διάφορες τιμές του επιτοκίου Αναγωγής



Σχήμα 4.14: Ανάλυση Ευαισθησίας της Καθαρής Παρούσας Αξίας

4.6 Φάση Ελέγχου (Control Phase)

4.6.1 Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας (Process Capability Analysis)

Η τελευταία ομάδα εργαλείων ανήκει στη φάση του ελέγχου της ανάλυσης Six Sigma. Στο τελικό αυτό στάδιο, έχουν ήδη εφαρμοστεί οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες και εξετάζεται η μελλοντική πορεία των μεγεθών που εξετάστηκαν.



Το βασικό πρόβλημα το οποίο μελετήθηκε καθόλη την έκταση της μελέτης περίπτωσης ήταν η τήρηση του χρονοδιαγράμματος και το επόμενο εργαλείο έχει ως στόχο την εξέταση της σταθερότητας της συνολικής διαδικασίας της βαφής.

Για το σκοπό αυτό, για κάθε μια από τις 50 μετρήσεις των τεσσάρων διεργασιών της βαφής, υπολογίστηκε ο αθροιστικός συνολικός χρόνος διεκπεραίωσης της παροχής της υπηρεσίας για κάθε πελάτη. Θέτοντας ως ανώτατο όριο τα 220 λεπτά και χωρίς να ληφθεί υπόψη κάποιο κατώτατο υπολογίστηκαν τα μεγέθη της Ανάλυσης Ικανότητας Διαδικασίας.

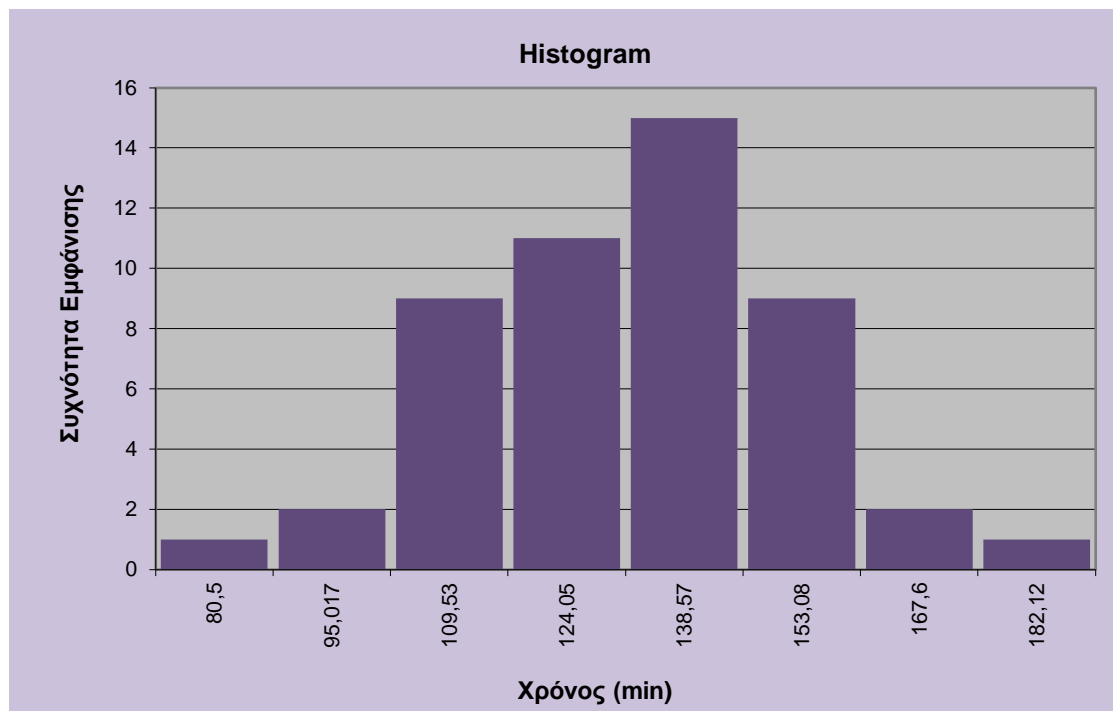
Παρατηρούμε, ότι $C_{pk} = 1.49 \geq 1.33$ (Πίνακας 4.25), που σημαίνει ότι η συνολική διαδικασία της βαφής ξεπερνάει την ποιότητα των τεσσάρων Sigma Level. Με άλλα λόγια, η διαδικασία είναι ικανή να καλύπτει και με το παραπάνω τις ανάγκες των καταναλωτών. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε και το Normal Probability Plot (4.16) για τον έλεγχο της κανονικότητας των μετρήσεων.

# μέτρησης	Συνολικός χρόνος εργασίας	# μέτρησης	Συνολικός χρόνος εργασίας
1	128.1	26	127.7
2	110.3	27	113.8
3	116.5	28	97.7
4	107.8	29	134.6
5	131.5	30	119.2
6	163.9	31	143
7	143.3	32	96.5
8	96.2	33	167.6
9	127	34	110.1
10	90.4	35	146.2
11	128.2	36	119.2
12	101.6	37	126.9
13	126	38	108.5
14	158.3	39	111.5
15	140.6	40	134.7
16	111.1	41	112.3
17	147.5	42	139.4
18	106.7	43	146.8
19	80.5	44	125.7
20	102.3	45	115.3
21	121	46	91.7
22	134.1	47	149.6
23	135.1	48	135.5
24	140.3	49	132.8
25	107.9	50	132.3

Πίνακας 4.24: Συνολικός Χρόνος Βαφής

USL	180
LSL	0
Max.	167.6
Min.	80.5
Aver.	123.896
Range	87.1
Std. Dev.	21.55522
Cp	1.7
Cpk	1.49
Std. Dev.	19.54121
Pp	1.88
Ppk	1.64
Yield	100.00%

Πίνακας 4.25: Υπολογισμός των δεικτών της Ανάλυσης Ικανότητας Διαδικασίας

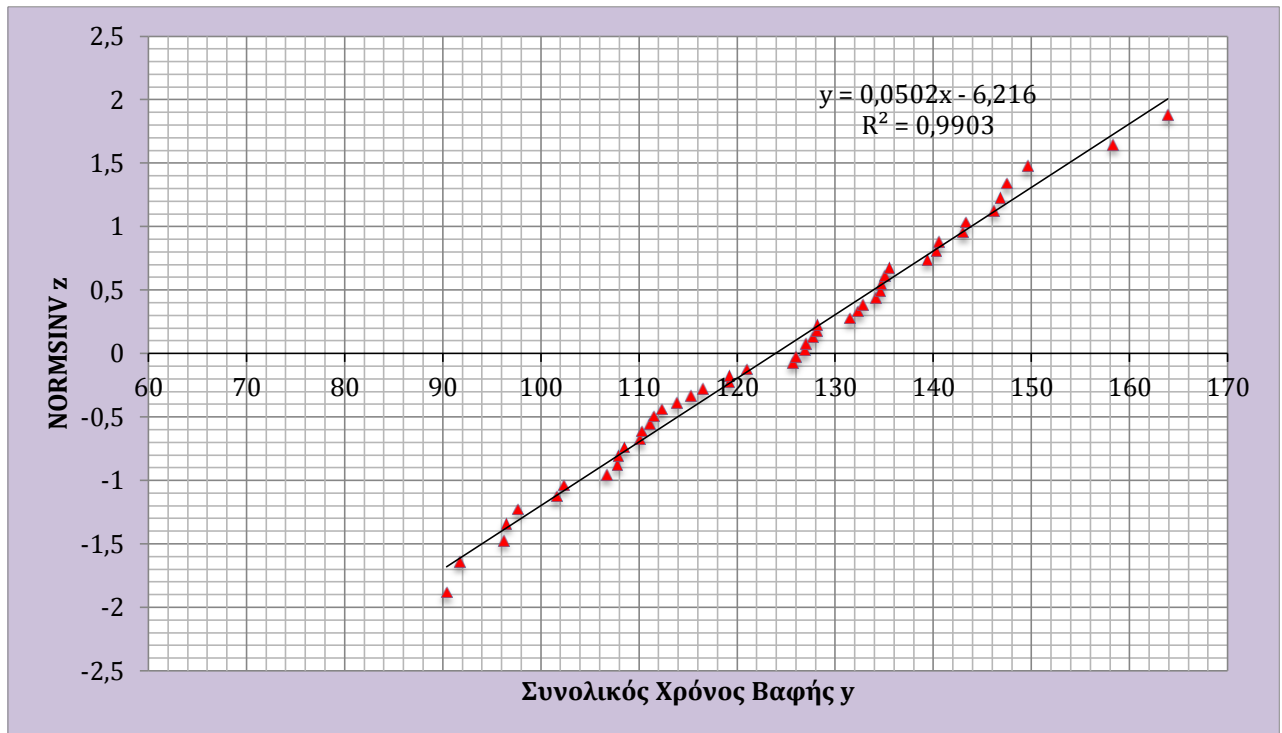


Σχήμα 4.15: Ιστογράμμα Συχνοτήτων

Standard Deviation		Mean	Kurtosis	Skewness
Όλα τα σημεία	19.5412067	123.896	-	0.038365158
Χωρίς τα ακριανά	17.8157382			

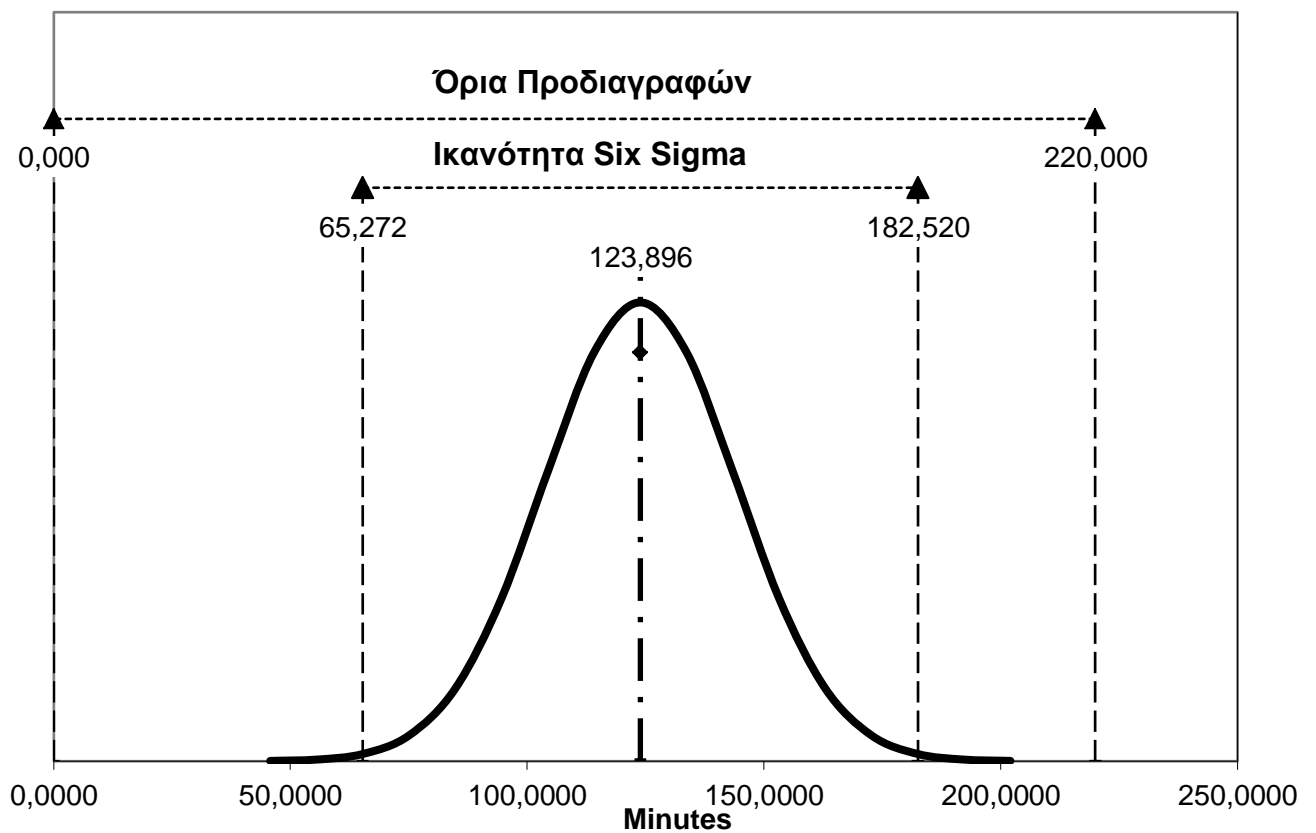
Πίνακας 4.26: Υπολογισμός Στοιχείων για το Normal Propability Plot

Στο Σχήμα 4.17 γίνεται η σύγκριση μεταξύ των ορίων των προδιαγραφών και των ορίων της ικανότητας Six Sigma. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι για να επιτύχει η επιχείρηση Toyota-Παιανία την ποιότητα Six Sigma, τα όρια της συνολικής διαδικασίας της βαφής πρέπει να είναι εκείνα που απεικονίζονται στο σχήμα.



Σχήμα 4.16: Normal Propability Plot

Μέτρηση του χρόνου Βαφής



Σχήμα 4.17: Ικανότητα Six Sigma της συνολικής διαδικασίας της βαφής

4.6.2 Διαγράμματα Ελέγχου (Control Charts)

Τελευταίο εργαλείο της ανάλυσης Six Sigma που εφαρμόστηκε είναι το διάγραμμα ελέγχου της διαδικασίας της βαφής. Επιλέχθηκε η χρήση του διαγράμματος ελέγχου IX-MR λόγω της ευκολίας κατασκευής του και της ευκολίας ανάγνωσής του. Παρατέθηκαν στον οριζόντιο άξονα οι 50 εργασίες βαφής των διαφορετικών πελατών και στον κάθετο οι αντίστοιχοι χρόνοι ολοκλήρωσής τους. Επίσης, εκτός από τα συνήθη άνω και κάτω όρια του διαγράμματος, προστέθηκε ένα αυστηρό άνω όριο των 182.52 λεπτών για τη συνεχή προσπάθεια βελτίωσης των επιμέρους διεργασιών της βαφής, καθώς και το κάτω όριο των 65.272 λεπτών για την εξασφάλιση της υψηλής ποιότητας ακόμα και για τις σύντομες εργασίες. Οι επιλογές δεν είναι τυχαίες, καθώς αποτελούν τα όρια που πρέπει να έχει η διαδικασία ώστε να αγγίζει την ποιότητα Six Sigma.

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

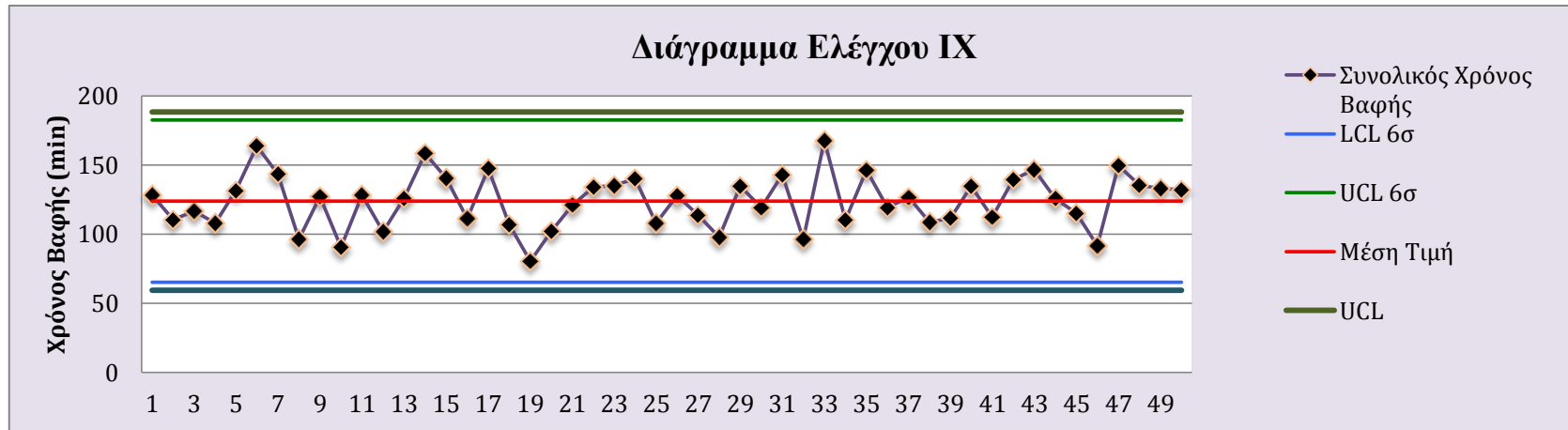
➤ Individual X Chart (Σχήμα 4.18):

- Τοποθετούμε με τη σειρά τα σημεία X_i στο διάγραμμα για $i=1$ μέχρι n
- Υπολογίζουμε το $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 123.896$
- Υπολογίζουμε το $UCL_X = \bar{X} + 2.66 \times \overline{MR} = 188.572$
- Υπολογίζουμε το $LCL_X = \bar{X} - 2.66 \times \overline{MR} = 59.22$

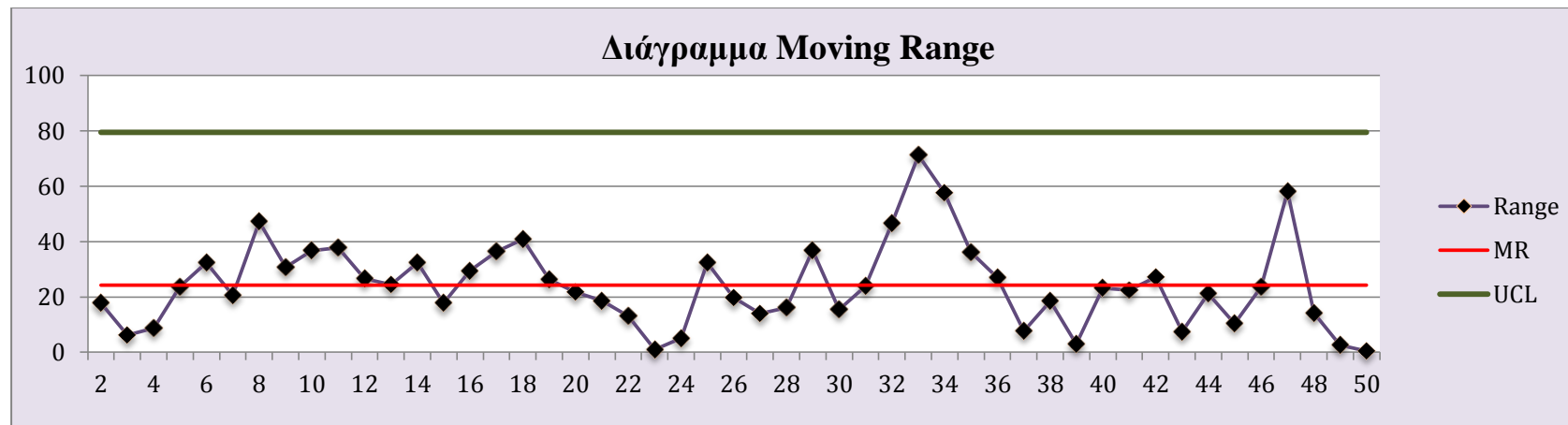
➤ Moving Range Chart (Σχήμα 4.19):

- Τοποθετούμε με τη σειρά τα σημεία $MR_i = |X_i - X_{i-1}|$ για $i=2$ μέχρι n
- Υπολογίζουμε το $\overline{MR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n MR_i = 24.314$
- Υπολογίζουμε το $UCL_{MR} = 3.267 \times \overline{MR} = 79.434$
- Υπολογίζουμε το $LCL_{MR} = 0$

Επίσης, εγκαταστάθηκε στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του Γραμματέα του φανοποιείου το αρχείο excel όπου καθημερινά μπορεί να ενημερώνει ώστε να επιβλέπει με τον τρόπο αυτό την πορεία του μετρούμενου μεγέθους στο χρόνο.



Σχήμα 4.18: Διάγραμμα Ελέγχου ΙΧ



Σχήμα 4.19: Διάγραμμα ελέγχου MR

4.7 Συμπεράσματα της Μελέτης Περίπτωσης

Έχοντας ολοκληρώσει την εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma, μπορούμε να αποφανθούμε για τα αποτελέσματά της. Αδιαμφισβήτητα, σε όποια επιχείρηση και αν έχει εφαρμοστεί παγκοσμίως έχει αποφέρει σημαντικά οφέλη σε διάφορους τομείς, όπως στην μείωση των λειτουργικών εξόδων και των νεκρών χρόνων εργασίας, στη μεγιστοποίηση των εσόδων και της ικανοποίησης των καταναλωτών, στην βελτίωση της παραγωγικότητας και της διοικητικής της οργάνωσης.

Κάθε επιχείρηση θέτει τους δικούς της στόχους κατά τη σχεδίαση του έργου ανάλογα με το κεφάλαιο που διαθέτει προς επένδυση. Σε ορισμένους τομείς του έργου τα οφέλη μπορεί να είναι λιγότερο εμφανή παρουσιάζοντας μακροπρόθεσμο χαρακτήρα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αποδειχθεί ότι η εφαρμογή της στρατηγικής Six Sigma μπορεί να αποδώσει καρπούς σε μια πολύ μικρή επιχείρηση χωρίς την απαίτηση εκπαίδευσης του προσωπικού της σε μια από τις ζώνες. Με άλλα λόγια μελετήθηκε η αποδοτικότητα της στρατηγικής Six Sigma χωρίς τη χρησιμοποίηση κεφαλαίου.

Κάθε μια από τις φάσεις της ανάλυσης παίζει διαφορετικό ρόλο στη σύνθεση του συνολικού οφέλους που θα αποκομίσει η επιχείρηση και κάθε ένα από τα πέντε αυτά στάδια είναι αναγκαίο για την διεκπεραίωση του ολοκληρωμένου DMAIC Roadmap. Στη συνέχεια, αναλύονται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή των εργαλείων της ανάλυσης Six Sigma και διατυπώνονται οι προτάσεις βελτίωσης που προέκυψαν. Κάποιες από τις λύσεις ήδη εφαρμόστηκαν ύστερα από το πέρας της μελέτης περίπτωσης, ενώ κάποιες άλλες εξαρτάται από το Διευθυντή του φανοποιείου το αν τελικά θα πραγματοποιηθούν ή όχι.

Από την αρχή ήδη της ανάλυσης, έγινε σαφές στον Διευθυντή του φανοποιείου, η ηγετική θέση που κατέχει η επιχείρηση «Toyota-Παιανία» έναντι των ανταγωνιστών της. Το γεγονός αυτό συντέλεσε στο να πειστεί ότι για να διατηρήσει η επιχείρησή του την πλεονεκτική αυτή θέση, πρέπει συνεχώς να βελτιώνεται.

Η εφαρμογή λοιπόν της ανάλυσης Six Sigma που του προτάθηκε, φάνταζε για εκείνον ένας εύκολος και οικονομικός τρόπος επίτευξης του προαναφερθέντος σκοπού. Όπως όλοι οι μικροί Έλληνες επιχειρηματίες έτσι και ο Διευθυντής του φανοποιείου στην αρχή ήταν διστακτικός και σίγουρα αν χρειαζόταν να δαπανήσει κεφάλαιο για την εφαρμογή της ανάλυσης, θα την είχε απορρίψει. Βλέποντας όμως τα πρώτα θετικά αποτελέσματα από την εφαρμογή των εργαλείων στη φάση του Προσδιορισμού, που βασίζονταν κυρίως στην ανάλυση της αγοράς και του περιβάλλοντός της, συνειδητοποίησε την πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma.

Από την συλλογή των στοιχείων Voice Of Customer, πήραμε μια πρώτη ιδέα του τι είναι σημαντικό για τους πελάτες μας και από την αξιοποίηση των δεδομένων αυτών από το εργαλείο Αντιληπτό



Προφίλ Ποιότητας στην Αγορά, υπογραμμίστηκαν οι τομείς στους οποίους η επιχείρησή μας υπερέχει ή μειονεκτεί έναντι των ανταγωνιστών του κλάδου. Επιπροσθέτως, έγινε σαφές ότι τα δύο στοιχεία που απασχολούν σε μεγαλύτερο βαθμό τους καταναλωτές είναι η τήρηση του χρονοδιαγράμματος που έχει συμφωνηθεί και η ομοιομορφία του τελικού αποτελέσματος της βαφής.

Ακολούθησε η κατασκευή του γενικού Process Map με ένα διάγραμμα ροής, όπου απεικονίζονται οι διάφορες εργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την παροχή των υπηρεσιών και κατόπιν η κατασκευή του ειδικού διαγράμματος ροής, εκείνο της διαδικασίας της βαφής. Τα δύο αυτά διαγράμματα συντέλεσαν στην καλύτερη εποπτεία και τον έλεγχο των διεργασιών της φανοποιίας και της βαφής, καθώς τώρα μπορεί κανείς να εστιάσει συγκεκριμένα στο στάδιο που χρειάζεται βελτίωση έχοντας μια εικόνα των αλληλένδετων σταδίων και του πώς εκείνα θα επηρεαστούν από τυχόν αλλαγές.

Το εργαλείο «Οι πέντε δυνάμεις του Porter» τόνισε το σοβαρό ρόλο που παίζουν οι προμηθευτές στην εύρυθμη λειτουργία της επιχείρησης, αλλά και τη βιωσιμότητά της. Πρέπει επιχείρησή μας να μειώσει την εξάρτησή της από έναν αποκλειστικό προμηθευτή, πράγμα που μπορεί μόνο να επιτευχθεί με την αναζήτηση νέων, ώστε να διευρύνει τις επιλογές της όσον αφορά την προμήθεια των ανταλλακτικών.

Σύμφωνα με την Ανάλυση SWOT, όπου αναλύθηκαν οι παράγοντες του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος με την μεγαλύτερη επιρροή στην επιχείρηση, έγινε αντιληπτό ότι το βασικότερο μειονέκτημά της είναι τα υψηλά λειτουργικά κόστη και ότι οι διορθωτικές κινήσεις που θα γίνουν πρέπει κυρίως να συμβάλλουν στη μείωσή τους. Επιπροσθέτως, υπογραμμίστηκε ότι η μεγαλύτερη απειλή του εξωτερικού περιβάλλοντος αποτελεί το ενδεχόμενο πτώχευσης και κλεισίματος συνεργαζόμενων εταιριών που αποτελούν πηγή ενός μεγάλου μεριδίου των πελατών της επιχείρησης «Toyota-Παιανία».

Κατά την ανάλυση της Φάσης της Μέτρησης, συλλέχθηκαν τα πειραματικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή των στατιστικών εργαλείων της ανάλυσης Six Sigma. Επιπροσθέτως, διενεργήθηκε η εξέταση της αποτελεσματικότητας των μεθόδων που ακολουθούνται κατά την διαδικασία των μετρήσεων που λαμβάνουν χώρα στην επιχείρηση.

Σύμφωνα με το εργαλείο Ανάλυση Συστήματος Μέτρησης, αποδείχθηκε ότι η διαδικασία της επιλογής του χρώματος με τη βοήθεια του φασματογράφου είναι 87.5% επιτυχής, ποσοστό όχι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Αν όμως αναλογιστεί κανείς ότι χωρίς το φασματογράφο, τον οποίο η επιχείρηση προμηθεύτηκε μόλις ενάμιση χρόνο πριν, το ποσοστό επιλογής του σωστού χρώματος άγγιζε μόνο το 70%, η χρησιμοποίησή του αποτελεί αδήριτη ανάγκη για την βελτίωση της διαδικασίας της βαφής και την αποφυγή επανάληψής της. Μετά το πέρας της εφαρμογής του εργαλείου και σε συμφωνία με τον Υπεύθυνο βαφείου προτάθηκε στον εργαζόμενο που συγκέντρωσε το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας σωστών επιλογών, να υποδείξει στους άλλους δύο την τεχνική που χρησιμοποιεί. Τελικά, αποδείχθηκε ότι ο ένας από τους δύο εργαζόμενους πριν την τοποθέτηση του φασματογράφου



στο αμάξωμα δεν καθάριζε διεξοδικά την επιφάνειά του, αφήνοντας διάφορα στίγματα στο σημείο επαφής του οργάνου και του οχήματος που αλλοίωναν την μέτρηση.

Στην συνέχεια, μέσω της ανάλυσης Gage R&R, που αποτελεί υποπερίπτωση του εργαλείου MSA, εξετάστηκε τόσο η καταλληλότητα του Τηλεσκοπικού Μετρικού Συστήματος που χρησιμοποιούταν για τις μετρήσεις των διαφόρων αποστάσεων στο αμάξωμα όσο και η αποδοτικότητα των χειριστών του. Σύμφωνα με το πόρισμα της ανάλυσης, η μεταβλητότητα που παρουσιάστηκε στις μετρήσεις οφειλόταν κατά 99.98% στη διαφορετικότητα των μετρούμενων μεγεθών (Parts) και μόλις το 0.02% στην επαναληψιμότητα της μέτρησης από τους τρεις χειριστές. Συμπερασματικά, στη διαδικασία της φανοποιίας όσον αφορά τη διεξαγωγή των μετρήσεων δεν συνιστάται η αλλαγή του εξοπλισμού ή η εκπαίδευση των εργαζομένων. Θα δούμε βέβαια στη συνέχεια, ότι μια από τις βασικές προτάσεις βελτίωσης της διαδικασίας της φανοποιίας είναι η αντικατάσταση του τωρινού εξοπλισμού με έναν τεχνολογικά εξελιγμένο.

Στο στάδιο αυτό της μελέτης περίπτωσης, έγινε μια πρώτη διερεύνηση των παραγόντων με τη μεγαλύτερη επιρροή στα δύο βασικά κριτήρια των καταναλωτών, την τήρηση του χρονοδιαγράμματος και την ομοιομορφία της βαφής. Πρώτο βήμα για την επίτευξη του στόχου αυτού, ήταν η κατασκευή του διαγράμματος Fishbone ώστε να βρεθούν οι κύριες αιτίες δημιουργίας του προβλήματος της καθυστέρησης της παροχής υπηρεσιών. Παρόλο που οι παράγοντες που βρέθηκαν ήταν πολυάριθμοι, οι αιτίες, οι οποίες όμως μπορούν να εξαλειφθούν από ενέργειες εντός της επιχείρησης, σχετίζονται κατά κύριο λόγο με τη διαδικασία της βαφής. Για το σκοπό αυτό, μετρήθηκαν οι χρόνοι των τεσσάρων επιμέρους διεργασιών της διαδικασίας της βαφής για 50 διαφορετικούς πελάτες και επιτεύχθηκε η απεικόνισή τους μέσω του περιεκτικού και συνοπτικού διαγράμματος, Boxplot. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται καθαρά η κατανομή των μετρήσεων της κάθε διεργασίας, καθώς και οι ακραίες τιμές που παρουσιάστηκαν.

Επόμενη Φάση του DMAIC Roadmap ήταν εκείνη της Ανάλυσης και ξεκίνησε με την εύρεση της συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων των τεσσάρων επιμέρους διεργασιών της βαφής. Η επίτευξη αυτού του στόχου συντελέστηκε με την εφαρμογή του εργαλείου Ανάλυση Συσχέτισης, σύμφωνα με το οποίο αποδείχθηκε ότι ενώ η επιλογή και η παρασκευή του χρώματος είναι δύο διεργασίες ανεξάρτητες μεταξύ τους, οι διεργασίες της προεργασίας της βαφής και της κυρίως βαφής έχουν μεγάλο βαθμό συσχέτισης. Πιο συγκεκριμένα, προέκυψε ότι όσο λιγότερος χρόνος δαπανάται στην προεργασία, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται έπειτα κατά τη βαφή. Για το σκοπό αυτό, σε συμφωνία με τον Υπεύθυνο του βαφείου αποφασίστηκε να τεθεί ένα κάτω όριο ελέγχου στο χρόνο προεργασίας της βαφής της τάξεως των 40 λεπτών, ακόμη και για τις λιγότερο απαιτητικές εργασίες, ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας. Ακόμη, αναπτύχθηκε το εργαλείο ANOVA ως προέκταση της ανάλυσης «Gage R&R», με σκοπό την αναζήτηση των παραγόντων μεταβλητότητας στη διαδικασία των μετρήσεων των διαφόρων αποστάσεων του αμαξώματος. Αποδείχθηκε τελικά, ότι



οι μέσες τιμές των μετρήσεων ανά χειριστή και ανά μετρούμενο μέγεθος δεν επαληθεύουν την μηδενική υπόθεση, ότι οι μέσες τιμές είναι ίσες, ενώ ο παράγοντας της αλληλεπίδρασης χειριστή και μετρούμενου μεγέθους την επαληθεύει.

Έπειτα, έγινε η εμπειρισταωμένη διερεύνηση των Critical To Quality χαρακτηριστικών των υπηρεσιών της φανοποιίας και της βαφής μέσω του διαγράμματος Pareto ώστε να μπορέσουν να ποσοτικοποιηθούν οι ανάγκες των καταναλωτών. Όπως άλλωστε αναμενόταν, το συμπέρασμα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου ήταν ότι η ομοιομορφία της βαφής και η χρονική ανταπόκριση, συγκέντρωσαν το αθροιστικό ποσοστό των 66.7% των παρατηρήσεων, όσον αφορά τα CTQ χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια, αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα του διαγράμματος Pareto στην κατασκευή του πίνακα House Of Quality, ώστε να μετατραπούν τα CTQ χαρακτηριστικά σε συγκεκριμένες προδιαγραφές των υπηρεσιών και να προταθούν ορισμένοι τρόποι βελτίωσής τους. Η κατασκευή του «σπιτιού» στο συγκεκριμένο εργαλείο συντέλεσε στην καταγραφή και την ποσοστιαία βαθμονόμηση των προτάσεων βελτίωσης ως εξής:

- Βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ του Διευθυντή του φανοποιείου και του Υπεύθυνου βαφείου, 20.82%
- Βελτίωση της επικοινωνίας της επιχείρησης με την αντιπροσωπεία της Toyota, 18.68%
- Ειλικρίνεια/Επικοινωνία με τον πελάτη, 17.97%
- Τεχνικές γνώσεις εργαζομένων βαφείου, 17.62%
- Βελτίωση της επικοινωνίας με τους προμηθευτές, 16.9%
- Ανανέωση της βάσης δεδομένων των χρωμάτων, 8.01%

Για τις προτάσεις αυτές ενημερώθηκε ο Διευθυντής του φανοποιείου και συμφώνησε στη λήψη μέτρων υλοποίησής τους. Για τα ζητήματα της βελτίωσης της επικοινωνίας με τους διάφορους φορείς ορίστηκε υπεύθυνος ο γραμματέας της επιχείρησης, όπου τώρα έχει σαν καθήκον την διαρκή τηλεφωνική επικοινωνία με τους προμηθευτές και την αντιπροσωπεία, ώστε να ενημερώνεται για την τρέχουσα κατάσταση της παραγγελίας. Επιπροσθέτως, έπειτα από την παράδοση του οχήματος στον πελάτη, ο Γραμματέας θα επικοινωνεί μαζί του τηλεφωνικά ώστε να τον ρωτήσει για την ποιότητα της υπηρεσίας και το κατά πόσο έμεινε ικανοποιημένος από τη δουλειά που έγινε. Από την άλλη, ο Διευθυντής του φανοποιείου και ο Υπεύθυνος του βαφείου, αποφασίστηκε ότι θα αναλάβουν την εκπαίδευση των εργαζομένων στα αντίστοιχα τμήματα και επίσης ο τελευταίος θα έχει ως καθήκον την καταγραφή στη βάση δεδομένων κάθε εργασίας βαφής που λαμβάνει χώρα στην επιχείρηση.

Στη συνέχεια, έγινε η καταγραφή και η βαθμολόγηση της σημαντικότητας των προβλημάτων μέσω της εφαρμογής του εργαλείου «Failure Mode And Effects». Στη διεκπεραίωσή του, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που είχαν συλλεχθεί κατά την κατασκευή του διαγράμματος Fishbone και διατυπώθηκαν επίσης οι τυχόν συνέπειες των προβλημάτων αυτών. Τελικά, βρέθηκε ότι τα σημαντικότερα προβλήματα που μπορούν να παρουσιαστούν και οι τρόποι αντιμετώπισής τους είναι:



1. Η καθυστέρηση των προμηθευτών, με RPN ίσο με 252.
Αποφυγή της πιθανότητας εμφάνισης του προβλήματος μέσω της αναζήτησης νέων προμηθευτών και μετρίαση του ρίσκου με τη συνεχή τηλεφωνική επικοινωνία με τους προμηθευτές.
2. Η λανθασμένη επιλογή χρώματος, με RPN ίσο με 224.
Μετρίαση του ρίσκου εμφάνισης του προβλήματος μέσω της εκπαίδευσης των εργαζομένων του βαφείου.
3. Η ανάγκη επανάληψης της βαφής λόγω ανομοιομορφίας, με RPN ίσο με 196.
Αποδοχή του ρίσκου εμφάνισης του προβλήματος, αλλά διενέργεια επιθεώρησης του οχήματος από τον Υπεύθυνο βαφείου πριν την παράδοση στον πελάτη.
4. Η κακή ποιότητα χρώματος, με RPN ίσο με 180.
Αποφυγή της πιθανότητας εμφάνισης του προβλήματος με την αλλαγή του αποκλειστικού προμηθευτή χρωμάτων.
5. Η καθυστέρηση των οδηγών της διανομής αυτοκινήτων, με RPN ίσο με 168.
Αποδοχή του ρίσκου εμφάνισης του προβλήματος αλλά βελτίωση της επικοινωνίας με τις συνεργαζόμενες επιχειρήσεις
6. Ο λανθασμένος χρόνος φανοποιίας και βαφής, με RPN ίσο με 168.
Αποφυγή της πιθανότητας εμφάνισης του προβλήματος μέσω της λήψης απόφασης σχετικά με το χρονοδιάγραμμα ύστερα από συμφωνία του Διευθυντή του φανοποιείου και του Υπεύθυνου του βαφείου.
7. Το εργατικό ατύχημα, με RPN ίσο με 128.
Αποφυγή της πιθανότητας εμφάνισης του προβλήματος μέσω της αυστηρής επιθεώρησης του Διευθυντή του φανοποιείου για την τήρηση των μέτρων ασφαλείας.
8. Ο λανθασμένος χειρισμός των ηλεκτροπόντων, με RPN ίσο με 96.
Μετρίαση του ρίσκου εμφάνισης του προβλήματος μέσω της εκπαίδευσης των εργαζομένων του φανοποιείου.
9. Η έλλειψη σύγχρονου εξοπλισμού, με RPN ίσο με 40.
Αποφυγή της πιθανότητας εμφάνισης του προβλήματος μέσω της αγοράς τεχνολογικά εξελιγμένων ηλεκτροπόντων.

Από τις λύσεις που προτάθηκαν, ορισμένες είχαν ήδη αποφασιστεί ότι θα τεθούν σε εφαρμογή σύμφωνα με το Σπίτι Της Ποιότητας. Τελικά, εφαρμόστηκαν όλες οι προτάσεις αποφυγής, μετρίασης και αποδοχής των προβλημάτων εκτός εκείνες της αλλαγής του αποκλειστικού προμηθευτή χρωμάτων και της αγοράς των νέων ηλεκτροπόντων. Όσον αφορά τον προμηθευτή, αποφασίστηκε ότι θα συζητηθεί όταν λήξει το παρόν συμβόλαιο με την εταιρία που τους προμηθεύει χρώματα, ενώ για την αγορά νέων ηλεκτροπόντων χρειάζεται περεταίρω ανάλυση, αφού απαιτεί την ύπαρξη υψηλού



κεφαλαίου. Η οικονομική ανάλυση της πρότασης αυτής λαμβάνει χώρα κατά τη Φάση της Βελτίωσης στην εφαρμογή του εργαλείου Ανάλυση Κόστους/Οφέλους.

Στη Φάση της βελτίωσης (Improve Phase) της ανάλυσης Six Sigma, έγινε η εφαρμογή του εργαλείου Αξιολόγηση Προτάσεων του Pugh (Pugh Concept Evaluation) ώστε να βρεθεί η πιο συμφέρουσα από τις προτεινόμενες λύσεις βελτίωσης της παροχής υπηρεσιών.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή της καλύτερης πρότασης ήταν:

- Η μείωση του λειτουργικού κόστους
- Η βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών
- Η ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών
- Η συμβολή στην τήρηση χρονοδιαγράμματος
- Η συμβολή στην ομοιομορφία βαφής
- Το μικρό κόστος επένδυσης
- Η αύξηση της παραγωγικότητας

Από την άλλη, οι προτεινόμενες λύσεις ήταν:

1. Η αγορά τεχνολογικά εξελιγμένης ηλεκτροπόντας
2. Η εκπαίδευση των εργαζομένων
3. Η δημιουργία του χώρου πλύσης των αυτοκινήτων
4. Η δημιουργία χώρου για Reverse Logistics
5. Η βελτίωση του συστήματος φωτισμού
6. Η δημιουργία ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων συνταγών χρωμάτων
7. Η αλλαγή του προμηθευτή χρωμάτων

Οι δύο λύσεις οι οποίες υπερίσχυσαν ύστερα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου εργαλείου ήταν η αγορά των τεχνολογικά εξελιγμένων ηλεκτροπόντων και η εκπαίδευση των εργαζομένων. Όσον αφορά την πρώτη λύση, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, θα εξετασθεί η βιωσιμότητά της στην ανάπτυξη του επόμενου εργαλείου. Αντίθετα, η δεύτερη λύση έχει ήδη αποφασιστεί ότι θα τεθεί σε εφαρμογή από το προηγούμενο στάδιο της ανάλυσης, όπως και οι προτάσεις της αλλαγής του αποκλειστικού προμηθευτή χρωμάτων και της δημιουργίας με συνεχή ανανέωση, της ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων

Σχετικά με τις υπόλοιπες προτάσεις που αναπτύχθηκαν, παρόλο που δεν είναι υψίστης σημασίας η εφαρμογή τους, λόγω όμως του χαμηλού κόστους επένδυσης που απαιτούν, είναι εύκολα υλοποιήσιμες. Αποφασίστηκε λοιπόν, να δημιουργηθεί ένα τμήμα στο χώρο στάθμευσης της επιχείρησης Toyota-Παιανία όπου θα γίνεται αποκλειστικά το πλύσιμο των αυτοκινήτων. Λόγω της μεγάλης έκτασης του χώρου Parking το τμήμα αυτό δεν θα δυσχεραίνει την κυκλοφορία στο εσωτερικό του αλλά ούτε και θα επηρεάζει την πληρότητά του. Με τον τρόπο αυτό, τα εργαλεία και ο εξοπλισμός που

χρησιμοποιούνται στη διαδικασία του πλυσίματος θα είναι τακτοποιημένα σε ένα μέρος και ο πελάτης καθώς εισέρχεται στην επιχείρηση θα μπορεί να διακρίνει την πολιτική καθαριότητας που έχει εφαρμοστεί.

Επίσης, αποφασίστηκε η αλλαγή του συστήματος φωτισμού και στους δύο ορόφους της επιχείρησης, τοποθετώντας οικονομικούς λαμπτήρες τύπου LED όπου χρειάζεται. Τέλος, στις γωνίες στους χώρους εργασίας του φανοποιείου τοποθετήθηκαν ειδικοί κάδοι για Reverse Logistics ώστε να συλλέγονται τα άχρηστα υλικά (Εικόνα 4.11). Ύστερα, γίνεται η μεταφορά των κάδων αυτών σε ένα περιφραγμένο τμήμα στο χώρο του Parking που δεν χρησιμοποιείται πλέον για κάποια άλλη διαδικασία, μέχρι να συγκεντωθούν αρκετά και να οδηγηθούν στους ειδικούς κάδους ανακύκλωσης της περιοχής της Παιανίας. Στην Εικόνα 4.12 φαίνεται το σύστημα που χρησιμοποιούσε η επιχείρηση «Toyota-Παιανία» για Reverse Logistics στο παρελθόν.



Εικόνα 4.11: Κάδοι για Reverse Logistics



Εικόνα 4.12: Χώρος για Reverse Logistics πριν την χρησιμοποίηση των κάδων



Επόμενο εργαλείο που εφαρμόστηκε ήταν η Ανάλυση Κόστους/Οφέλους, που είχε ως στόχο να εξετάσει αν η πρόταση της αγοράς νέων εξελιγμένης τεχνολογίας ηλεκτροπόντων είναι συμφέρουσα. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης έδειξε ότι σε ορίζοντα 2 ετών η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης είναι θετική και ανέρχεται στα 10,422.79€ ενώ ο δείκτης IRR είναι ίσος με 14.10%, μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής που τέθηκε ίσο με 7%. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι πρόκειται για μια προσοδοφόρα επένδυση που αποδίδει κέρδη από τον πρώτο κιόλας μήνα. Ο διευθυντής του φανοποιείου λοιπόν ξεκίνησε τη διαδικασία παραγγελίας του νέου εξοπλισμού.

Το τελευταίο στάδιο του DMAIC Roadmap περιλαμβάνει τη φάση του ελέγχου της πορείας των διαδικασιών. Για το σκοπό αυτό, αθροίστηκαν οι χρόνοι των τεσσάρων εργασιών της βαφής και εφαρμόστηκε το εργαλείο Ανάλυση Ικανότητας Διαδικασίας, ώστε να διερευνηθεί η κανονικότητα των τιμών της. Προέκυψε ότι $C_{pk} = 1.49 \geq 1.33$, που σημαίνει ότι η συνολική διαδικασία της βαφής προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την κανονική κατανομή και μάλιστα ξεπερνάει την ποιότητα των τεσσάρων Sigma Level.

Η τελευταία πρόταση βελτίωσης για την επιχείρηση Toyota-Παιανία σύμφωνα με την ανάλυση Six Sigma που έλαβε χώρα, έγκειται στην κατασκευή ενός διαγράμματος ελέγχου των συνολικών χρόνων της υπηρεσίας της βαφής. Δημιουργήθηκε λοιπόν στον προσωπικό υπολογιστή του γραμματέα του φανοποιείου ένα αρχείο excel το οποίο θα ενημερώνεται καθημερινά από τον ίδιο με τους χρόνους ολοκλήρωσης κάθε εργασίας της βαφής. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορεί να έχει την εποπτεία της διαδικασίας και αν κάποια στιγμή παρουσιαστεί τιμή έξω από τα όρια ελέγχου, να αναζητήσει τις αιτίες του φαινομένου. Σημειώνεται, ότι λόγω της ανάλυσης Process Capability που προηγήθηκε και της απόδειξης της κανονικότητας των μετρήσεων, τυχόν σημεία εκτός ορίων ελέγχου θα οφείλονται σε μεμονωμένα τυχαία περιστατικά. Συνιστάται, η μεταβολή των ορίων ελέγχου του συγκεκριμένου διαγράμματος, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες της επιχείρησης.

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα των Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)

5.1 Δυσκολίες εφαρμογής των Μεθόδων 6 Σίγμα (Six Sigma)

Έχοντας ολοκληρώσει την ανάπτυξη του θεωρητικού υπόβαθρου των εργαλείων στο Κεφάλαιο 3, αλλά και τα παραδείγματα υλοποίησής τους στη μελέτη περίπτωσης του Κεφαλαίου 4, μπορεί να ασκηθεί κριτική στη συνολική εφαρμογή της μεθοδολογίας Six Sigma σε μια πολύ μικρή ελληνική επιχείρηση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, βασίστηκε στην υπόθεση ότι μια τέτοια επιχείρηση δεν διαθέτει το διαθέσιμο κεφάλαιο ούτε για να επενδύσει στην εκπαίδευση των εργαζομένων σε κάποια από τις ζώνες, αλλά ούτε και στην πρόσληψη ενός εξωτερικού συνεργάτη για την εφαρμογή της ανάλυσης. Μελετήθηκε δηλαδή το πιο απαισιόδοξο σενάριο. Υπό αυτές λοιπόν τις προϋποθέσεις, είναι κατανοητό ότι το επίπεδο δυσκολίας εφαρμογής της μεθοδολογίας Six Sigma πολλαπλασιάζεται.

Άλλη μια βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της ανάλυσης, είναι το επίπεδο γνώσεων του ιδιοκτήτη της επιχείρησης. Παρόλο που έγινε προσπάθεια επεξήγησης τόσο των στατιστικών όρων, όσο και της θεωρίας των πιθανοτήτων. Με άλλα λόγια, αν ο ιδιοκτήτης της επιχείρησης δεν μπορεί μόνος του να ακολουθήσει τις οδηγίες που περιγράφονται στην παρούσα διπλωματική εργασία για την εφαρμογή των εργαλείων, η ανάγκη πρόσληψης ενός εξωτερικού συνεργάτη ή συμβούλου με εμπειρία στην στρατηγική Six Sigma, κρίνεται επιτακτική. Επιπροσθέτως, ο ιδιοκτήτης της επιχείρησης, πρέπει να κατέχει τις βασικές γνώσεις χρήσης ενός στατιστικού προγράμματος σε Η/Υ (Minitab, IBM SPSS Statistics, Microsoft Excel, XLSTAT κλπ), ακόμα και αν επιλέξει το χειρωνακτικό τρόπο εφαρμογής των εργαλείων καθώς η Φάση του Ελέγχου (Control Phase) διενεργείται μόνο με τη βοήθειά τους.

Τέλος, ο ιδιοκτήτης της πολύ μικρής επιχείρησης πρέπει να καταλάβει σε βάθος τη μεθοδολογία Six Sigma και να ενστερνιστεί το σκοπό της, μιας και η απόφαση εφαρμογής της ανάλυσης απέχει πολύ από την επιτυχή υλοποίησή της. Για το σκοπό αυτό, είναι αναγκαία η συνειδητοποίηση, ότι οι βελτιώσεις των διαδικασιών και οι μειώσεις στα λειτουργικά κόστη, μπορούν να επέλθουν και από ριζικές αλλαγές στον τρόπο διοίκησης της επιχείρησης. Η εφαρμογή της στρατηγικής λοιπόν, απαιτεί την συνεργασία της διοίκησης της επιχείρησης και των εργαζομένων, ώστε να έχει καλύτερη απόδοση αποτελεσμάτων σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Επιπλέον, ο ιδιοκτήτης πρέπει να παρέχει κίνητρα στους εργαζόμενους που θα συμμετέχουν στην ανάλυση ανταμείβοντας την προσπάθειά τους, να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει πιθανές αποτυχίες που μπορεί να παρουσιαστούν και όχι να εγκαταλείψει την προσπάθεια, να προωθεί το κλίμα συνεργασίας στην ομάδα έργου, καθώς και να είναι υπεύθυνος για την εποπτεία των διαδικασιών μετά το πέρας της εφαρμογής της μεθοδολογίας Six Sigma.

5.2 Γενικά Συμπεράσματα

Έγινε σαφές, ότι σε μια πολύ μικρή ελληνική επιχείρηση, η εφαρμογή των μεθόδων και των εργαλείων της ανάλυσης Six Sigma μπορεί να αποφέρει σημαντικά οικονομικά και οργανωτικά οφέλη χωρίς να απαιτείται η ανάλωση κεφαλαίου. Αποδείχτηκε επίσης, ότι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα λειτουργικά κόστη μιας επιχείρησης πηγάζουν κυρίως από την οργάνωση των διαδικασιών της και όχι από τον τρόπο υλοποίησής τους. Επιπροσθέτως, έγινε κατανοητή η σημασία του καθορισμού της ανταγωνιστικής θέσης της επιχείρησης ώστε να σχεδιαστεί το πλάνο δράσης έναντι των ανταγωνιστών της, καθώς και της εύρεσης των Κρίσιμων Για την Ποιότητα Χαρακτηριστικών (Critical To Quality Characteristics) των υπηρεσιών, ώστε να αυξηθεί η ικανοποίηση των καταναλωτών.

Η μέθοδος DMAIC που εφαρμόστηκε, δεν αποτελεί άδικα την πιο διαδεδομένη προσέγγιση της στρατηγικής Six Sigma. Διαπιστώθηκε, ότι πρόκειται για μια ολοκληρωμένη και δομημένη μέθοδο που μπορεί προσαρμοστεί σε όλα τα είδη των επιχειρήσεων, λόγω της μεγάλης ευελιξίας της. Όλοι οι μύθοι για την μεθοδολογία Six Sigma που διατυπώθηκαν στο Κεφάλαιο 1, καταρρίφθηκαν κατά τη μελέτη περίπτωσης, που σκόπιμα επιλέχθηκε να γίνει στο φανοποιείο-βαφείο της πολύ μικρής επιχείρησης «Toyota-Παιανία». Ύστερα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, εξαρτάται από τον ιδιοκτήτη της επιχείρησης να διασφαλίσει στην πάροδο του χρόνου τα οφέλη που προέκυψαν, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη διαρκή εποπτεία των διαδικασιών που μελετήθηκαν.

5.3 Μελλοντική Εργασία

Κλείνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, γίνονται σκέψεις για περαιτέρω διερεύνηση της μεθοδολογίας Six Sigma. Παρόλο που η βάση της προσέγγισης DMAIC παραμένει η ίδια σε όποια επιχείρηση και αν εφαρμοστεί, η επιλογή των εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη της, την καθιστούν κάθε φορά διαφορετική. Λόγω της ύπαρξης των 72 εργαλείων της μεθοδολογίας Six Sigma και της ελαστικότητας χρησιμοποίησής τους στις διάφορες φάσεις της προσέγγισης, οι συνδυασμοί των εργαλείων που προκύπτουν είναι πολυάριθμοι.

Επιπροσθέτως, περαιτέρω διερεύνηση της μεθοδολογίας Six Sigma μπορεί να γίνει με την ανάπτυξη των λοιπών προσεγγίσεων της στρατηγικής. Οι προσεγγίσεις Design For Six Sigma, Lean Six Sigma, Six Sigma For Marketing αντλούν το σύνολο των εργαλείων που εμπεριέχουν από τη γενική λίστα εργαλείων της μεθοδολογίας που παρατίθεται στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος, η εφαρμογή της ανάλυσης Six Sigma μπορεί να γίνει και σε επιχείρηση μεγαλύτερου μεγέθους, στην υλοποίηση της οποίας θα συμμετέχουν και στελέχη της επιχείρησης τα οποία θα έχουν εκπαιδευτεί σε κάποια από τις ζώνες.



Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Δερβάκου, Ν. (2013) *Επιχειρησιακή Έρευνα II: Στοιχεία Θεωρίας Πιθανοτήτων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αραβώσης, Κ., Καρμπέρης, Α., Σωτήρχος, Α. (2011) *Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων*. Αθήνα: Νομική Βιβλιοθήκη.
- Τατσιόπουλος, Η., Μαρμαράς, Ν., Χατζηγιαννάκης, Δ., (2010) *Βιομηχανική Διοίκηση & Κοστολόγηση*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Δερβιτσιώτης, Κ. Ν. (2005) *Διοίκηση Ολικής Ποιότητας*. 2^η Έκδοση. Αθήνα: Νομική Βιβλιοθήκη.
- Παναγιώτου, Ν. (2004) *Οργάνωση Παραγωγής και Διοίκηση Επιχειρήσεων II*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ξενόγλωσση

- Staudter, C., Mollenhauer, P., Meran, R., Von Hugo, C., Hamalides, A. (2009) *Design for Six Sigma + Lean Toolset*. Berlin: Springer.
- Hambleton, L. (2008) *Treasure Chest of Six Sigma Growth Methods, Tools, and Best Practices: a Desk Reference Book for Innovation and Growth*. Indianapolis: Prentice Hall.
- Brue, G. (2006) *Six Sigma for Small Business*. Irvine: Entrepreneur Press.
- Sleeper, A. D. (2005) *Design for Six Sigma Statistics: 59 Tools for Diagnosing and Solving Problems in DFSS Initiatives*. New York City: McGraw-Hill Professional.
- Debashis, S. (2004) *Lessons in SIX SIGMA: 72 Must-Know Truths for Managers*. New Delhi: Response Books.
- Gupta, P. (2004) *Six Sigma Business Scorecard Ensuring Performance for Profit*. New York City: McGraw-Hill Professional.
- Truscott, W. T. (2003) *Six Sigma: Continual Improvement for Businesses*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Brue, G. (2002) *Six Sigma for Managers* New York City: McGraw-Hill Professional.





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας τιμών της Κατανομής F για $\alpha=0.05$

v1 \ v2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19	19.16	19.25	19.3	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.2	2.96	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.3	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.4	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.8	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.4	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.3
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.2	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.7	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3	2.6	2.37	2.21	2.1	2.01	1.94	1.88

Πίνακας τιμών της Κατανομής F για $\alpha=0.05$ (Συνέχεια)

$v_1 \backslash v_2$	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	241.9	243.9	245.9	248	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	19.4	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.5
3	8.79	8.74	8.7	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	5.96	5.91	5.86	5.8	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.5	4.46	4.43	4.4	4.36
6	4.06	4	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.7	3.67
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.3	3.27	3.23
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.9	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.7	2.66	2.62	2.58	2.54
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.4
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.3
13	2.67	2.6	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.3	2.25	2.21
14	2.6	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	2.54	2.48	2.4	2.33	2.29	2.25	2.2	2.16	2.11	2.07
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.1	2.06	2.01	1.96
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	2.35	2.28	2.2	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.9	1.84
21	2.32	2.25	2.18	2.1	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	2.3	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	2.27	2.2	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.9	1.85	1.8	1.75	1.69
27	2.2	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	2.18	2.1	2.03	1.94	1.9	1.85	1.81	1.75	1.7	1.64
30	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	2.08	2	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	1.99	1.92	1.84	1.75	1.7	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.5	1.43	1.35	1.25
∞	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00