

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών *Διοίκηση, Τεχνολογία
και Ποιότητα*

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Επίλυση Προβλημάτων σε Βιομηχανικό Επίπεδο με την
Χρήση της Μεθόδου Lean Six Sigma

Αριστείδης Βανώκας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Ευανθία Βορριά

Δεκέμβριος 2022

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διοίκηση, Τεχνολογία
και Ποιότητα**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Επίλυση Προβλημάτων σε Βιομηχανικό Επίπεδο με την
Χρήση της Μεθόδου Lean Six Sigma**

Αριστείδης Βανώκας

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Ευανθία Βορριά**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
Στην Διοίκηση, Τεχνολογία και Ποιότητα
από τη Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Δεκέμβριος 2022

ΛΕΥΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί ολοένα και μεγαλύτερη επένδυση των επιχειρήσεων στην ποιότητα των προϊόντων-υπηρεσιών που προσφέρουν στο καταναλωτικό κοινό. Η δύναμη του καταναλωτή έχει αυξηθεί με την πορεία των ετών, οι πολλαπλές εναλλακτικές για το ίδιο αγαθό, καθώς και μια αγορά χωρίς σύνορα κρατών, επιδοτούν στο αποτέλεσμα αυτό. Μια σημαντική επένδυση που προσπαθούν να προβούν οι σύγχρονες επιχειρήσεις που στοχεύουν στην αύξηση των κερδών τους, αλλά και στην καθιέρωση τους στις υψηλές θέσεις του καταναλωτικού κοινού, είναι η διασφάλιση ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων-υπηρεσιών τους. Ένας τρόπος για την επιδίωξη των παραπάνω είναι η υιοθέτηση του συστήματος Lean Six Sigma.

Η βιομηχανία για την οποία θα γίνει η ανάλυση και χρήση της φιλοσοφίας Lean Six Sigma, είναι εταιρία διέλασης αλουμινίου, στην Κεντρική Μακεδονία με πολυετή παρουσία στην Ελληνική αλλά και διεθνή αγορά. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από την θεωρητική αλλά και πρακτική χρήση της μεθόδου LSS. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την προηγούμενη χρονιά λειτουργίας της επιχείρησης, με σκοπό η παρούσα διπλωματική εργασία να έχει πραγματικά-ουσιαστικά αποτελέσματα και όχι μόνο θεωρητικά.

Στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας θα γίνει μια ιστορική και θεωρητική ανάλυση των ορισμών του Lean και του Six Sigma καθώς των εργαλείων που έχει η κάθε μέθοδος ξεχωριστά αλλά και η χρήση και των δυο μαζί, σαν ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Στο επόμενο στάδιο θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα του συστήματος. Έπειτα θα γίνει παρουσίαση και ο τρόπος λειτουργίας της επιχείρησης. Τέλος θα γίνει ανάλυση των ποιοτικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η εταιρία στα προϊόντα της, σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί και η προσπάθεια επίλυσης τους με την χρήση του συστήματος Lean Six Sigma.

Summary

In recent years, we have noticed an increasing investment by companies in the quality of the products-services they offer to the consumer public. The power of the consumer has grown over the years, the multiple alternatives for the same good as well as a market without national borders, subsidize this result. An important investment that modern businesses that want to increase their profits and establish themselves in the high positions of the consumer public are trying to make is the quality assurance of the produced products-services. One way to pursue the above is to adopt the Lean Six Sigma system.

The industry for which the Lean Six Sigma system will be analysed and used is an aluminium extrusion company in Central Macedonia with a long-standing presence in the Greek and international markets. This thesis consists of the theoretical as well as practical use of the LSS method. For this purpose, data from previous years of operation of the company were used, in order for this thesis to have real-substantial and not only theoretical results.

In the continuation of the thesis there will be a historical and theoretical analysis of the definitions of Lean and Six Sigma as well as the tools that each method has separately but also the use of both together, as an integrated system. In the next stage, the advantages of the system will be analysed. Then there will be a presentation and how the business operates. Finally, there will be an analysis of the quality problems faced by the company in its products, according to the data collected and the attempt to solve them using the Lean Six Sigma system.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία, δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την στήριξη των γονιών μου, που είναι δίπλα μου, όλα τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου και μη πορείας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Κυρία Βορριά Ευανθία, για την συνεχόμενη υποστήριξη αλλά και καθοδήγηση της, σε όλη την διάρκεια συγγραφής της παρούσας διατριβής, αλλά και στην μύηση μου στην έννοια της Ποιότητας.

Στον αδερφό μου Γιώργο, που με πολλές προτροπές, συνέχισε να με ωθεί προς την ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Στους συναδέλφους μου από το εργασιακό περιβάλλον, Παναγιώτη και Άννα, που η βοήθεια τους στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, ήταν καθοριστική.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, Στέφανο, Νίκο, Γιάννη, Αχιλλέα, Ελένη και Νατάσα για την υπομονή που έκαναν όλο αυτό το διάστημα.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Παρουσίαση του θέματος.....	1
1.2 Χρησιμότητα της έρευνας.....	2
1.3 Στόχοι της έρευνας.....	2
1.4 Δομή της εργασίας.....	3
Κεφάλαιο 2 Λιτή Παραγωγή	5
2.1 Ιστορική Αναδρομή στην Λιτή Παραγωγή	5
2.2 Βασικές Αρχές της Λιτής Παραγωγής.....	6
2.3 Είδη Σπαταλών	7
2.4 Lean Production και η Παραγωγική Διαδικασία της Toyota.	8
2.5 Χρήσιμα Εργαλεία της Λιτής Παραγωγής.....	9
2.6 Οφέλη του Lean Manufacturing.....	11
2.7 Μειονεκτήματα του Lean Manufacturing.....	12
Κεφάλαιο 3 Six Sigma	13
3.1 Εισαγωγή στο Six Sigma	13
3.2 Ιστορική Αναδρομή του Συστήματος Six Sigma	13
3.3 Εφαρμογή Six Sigma.....	14
3.4 Διοίκηση και Οργάνωση Ενός Προγράμματος Six Sigma.....	17
Κεφάλαιο 4 Lean Six Sigma	19
4.1 Εισαγωγή στο Lean Six Sigma.....	19
4.2 Μεθοδολογία Κατά Lean Six Sigma	20
4.3 Εφαρμογή του Lean Six Sigma	20
Κεφάλαιο 5 Περιγραφή της Εταιρίας	22
5.1 Εισαγωγή Προς την Εταιρία	22
5.2 Διέλαση Αλουμινίου	22
5.2.1 Πρώτη Ύλη.....	22
5.2.2 Διαδικασία Διέλασης.....	23
5.3 Συρραφή Προφίλ Αλουμινίου.....	26
5.4 Βαφή Αλουμινίου/ Ηλεκτροστατική Βαφή	26
5.5 Συγκρότημα Οριζόντιας Ηλεκτροστατικής Βαφής.....	27
5.6 Συσκευασία – Φόρτωση.....	27
5.7 Μήτρες	28

5.7.1	Φλατ Μήτρες.....	28
5.7.2	Σωληνωτή Μήτρα.....	29
5.7.3	Τύπου Σωληνωτή	30
5.7.4	Επιπλέον Εξαρτήματα Μητρών.....	30
5.8	Ποιοτικός έλεγχος κατά την διέλαση.....	32
Κεφάλαιο 6 Εφαρμογή Μεθοδολογίας LEAN SIX SIGMA στην Εξεταζόμενη Βιομηχανία		
6.1	Εφαρμογή DMAIC	34
6.2	Βήμα Define (προσδιορισμού).....	34
6.3	Βήμα MEASURE (μέτρηση).....	39
6.4	Βήμα ANALYZE (ανάλυσης).....	45
6.5	Βήμα Improve (βελτίωσης)	47
6.6	Βήμα Control (Έλεγχος).....	48
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα μετά την βελτιωτική κίνηση		
7.1	Περίληψη μελέτης που πραγματοποιήθηκε και αποτελέσματα	54
	Βιβλιογραφία	57

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Διαδικασίες γήρανσης.....	23
Πίνακας 2: Καταμερισμός Σκράπ ανά τμήμα παραγωγής	34
Πίνακας 3: Προβλήματα στην διέλαση	35
Πίνακας 4: Πίνακας προβλημάτων διαστάσεων ανά κωδικούς πελατών	36
Πίνακας 5: Πρόβλημα διαστάσεων ανά προφίλ πελάτη 49000	37
Πίνακας 6: Μετρήσεις διάστασης Νο4.....	39
Πίνακας 7: Σταθερών συντελεστών των ορίων ελέγχου	41
Πίνακας 8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μέσω των τιμών	41
Πίνακας 9: Μετρήσεις διάστασης Νο4 μετά την βελτίωση	49
Πίνακας 10: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την βελτίωση	53

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Διάγραμμα ψαροκόκαλου	15
Σχήμα 2: Εργαλεία της μεθόδου DMAIC	16
Σχήμα 3: Μπιγιέτες αλουμινίου	23
Σχήμα 4: Προθέρμανση μπιγιέτας αλουμινίου	24
Σχήμα 5: Φούρνοι προθέρμανσης μητρών	24
Σχήμα 6: Υδραυλική πρέσα κατά την διάρκεια της διέλασης	25
Σχήμα 7: Συραμμένα προφίλ	26
Σχήμα 8: Κάθετο βαφείο	27
Σχήμα 9: Παράδειγμα φλατ προφίλ αλουμινίου	28
Σχήμα 10: Backer και φλατ μήτρα	28
Σχήμα 11: Feeder plate και φλατ μήτρα.....	29
Σχήμα 12: Παράδειγμα σωληνωτού προφίλ αλουμινίου	29
Σχήμα 13: Αρσενικό και θηλυκό μέρος της μήτρας	30
Σχήμα 14: Προφίλ τύπου σωληνωτό	30
Σχήμα 15: Ολοκληρωμένη διάταξη φλατ μήτρας.....	31
Σχήμα 16: Ολοκληρωμένη διάταξη σωληνωτής μήτρας	31
Σχήμα 17: Συνοδευτικό δελτίο μήτρας.....	32
Σχήμα 18: Παράδειγμα σάρωσης προφίλ	33
Σχήμα 19: Διάγραμμα Pareto Σκράπ σε τόνους ανά τμήμα παραγωγής.....	35
Σχήμα 20: Διάγραμμα Pareto τόνοι ανά πρόβλημα στη διέλαση.....	36
Σχήμα 21: Διάγραμμα Pareto Τόνοι προφίλ με ελαττωματικές διαστάσεις ανά κωδικούς πελατών .	37
Σχήμα 22: Διάγραμμα Pareto προβλήματα διαστάσεων ανά προφίλ πελάτη 49000	38
Σχήμα 23: Μηχανολογικό σχέδιο προφίλ 49581.....	38
Σχήμα 24: Διαγράμματα μέσης τιμής και εύρους πριν την βελτίωση	42
Σχήμα 25: Διάγραμμα κανονικής κατανομής πριν την βελτίωση	43
Σχήμα 26: Διάγραμμα ικανότητας διαδικασίας πριν την βελτίωση	43
Σχήμα 27: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας πριν την βελτίωση	44
Σχήμα 28: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας πριν την βελτίωση (συνέχεια)	45
Σχήμα 29: Διάγραμμα αιτίου αποτελέσματος	46
Σχήμα 30: Συνεργασία γραφίτη-προφίλ αλουμινίου κατά την κατασκευή του πρώτου.....	48
Σχήμα 31: Διάγραμμα μέσης τιμής και εύρους μετά την βελτίωση	50
Σχήμα 32: Διάγραμμα κανονικής κατανομής μετά την βελτίωση.....	50
Σχήμα 33: Διάγραμμα ικανότητας διαδικασίας μετά την βελτίωση.....	51
Σχήμα 34: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας μετά την βελτίωση	52
Σχήμα 35: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας μετά την βελτίωση (συνέχεια)	52
Σχήμα 36: Σύγκριση διαδικασίας πριν και μετά την βελτίωση	53
Σχήμα 37: Χρήση γραφίτη κατά την διέλαση αλουμινίου	55

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο, γίνεται μια πρώτη γνωριμία με την δομή της διπλωματικής διατριβής. Σε αυτή περιλαμβάνονται τα θεωρητικά της μέρη, η παρουσίαση της εξεταζόμενης επιχείρησης, καθώς και η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Σκοπός του εισαγωγικού κεφαλαίου, ο αναγνώστης να αποκτήσει μια συνοπτική εικόνα, για το τι θα αναλυθεί περαιτέρω στη διατριβή.

1.1 Παρουσίαση του θέματος

Τα τελευταία χρόνια, το Lean Six Sigma (LSS) έχουν γίνει δημοφιλείς επιχειρηματικές στρατηγικές, για την ανάπτυξη συνεχούς βελτίωσης. Η συνεχής βελτίωση είναι ο κύριος στόχος για κάθε οργανισμό στον κόσμο, ώστε μέσω αυτής να επιτύχει λειτουργική αριστεία και να βελτιώσει την απόδοση του.

Το Lean ορίζεται ως μια δυναμική διαδικασία αλλαγής, που καθοδηγείται από ένα σύνολο αρχών και βέλτιστων πρακτικών που στοχεύουν στη συνεχή βελτίωση. Η ρίζα του Lean βρίσκεται στο Σύστημα Παραγωγής της Τοyota (TPS) που ιδρύθηκε λίγο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο στη δεκαετία του 1940 στην Ιαπωνία από τον Taiichi Ohno (Womack, et al., 1990). Ως αποτέλεσμα της δημοσίευσης του βιβλίου *The Machine That Changed the World* από τον Womack το 1990, το TPS έγινε γνωστό στις δυτικές χώρες ως Lean Manufacturing.

Το Lean επικεντρώθηκε στην εξάλειψη των δραστηριοτήτων χωρίς προστιθέμενη αξία και της σπατάλης (ή muda) στη βιομηχανία (Womack & Jones, 2003). Τα επτά απόβλητα που είναι απαραίτητα να απαλειφθούν είναι οι περιττές κινήσεις, η υπερπαραγωγή, η αναμονή, οι περιττές μεταφορές, η επιδιόρθωση, η επιπλέον επεξεργασία και τα επιπλέον αποθέματα.

Η λιτή παραγωγή εστιάζει επίσης στη μείωση του συνολικού χρόνου και στη μείωση του χρόνου παράδοσης. Το Lean αποτελείται από πολλά εργαλεία και τεχνικές βελτίωσης, όπως το σύστημα Kanban, το 5S, η ανάλυση αιτίας-αποτελέσματος, η χαρτογράφηση ροής τιμών (VSM) κ.α..

Ωστόσο, το Lean εξακολουθεί να περιέχει ορισμένες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι οργανισμοί, όπως η θεμελιώδης αλλαγή που απαιτείται στην κουλτούρα ενός οργανισμού. Οι Womack & Jones (Womack & Jones, 2005) υποστήριξαν ότι η αλλαγή κουλτούρας είναι μια μεγάλη πρόκληση στο Lean, καθώς η εφαρμογή του Lean απαιτεί μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο σκέψης των ενδιαφερομένων και στη φύση της σχέσης μεταξύ τους, για την μείωση του κόστους και της σπατάλης.

Το Six Sigma ορίζεται ως μια καλά καθιερωμένη προσέγγιση, που επιδιώκει να εντοπίσει και να εξαλείψει ελαττώματα, λάθη ή αποτυχίες, σε επιχειρηματικές διαδικασίες ή συστήματα, εστιάζοντας σε εκείνα τα χαρακτηριστικά απόδοσης, που είναι κρίσιμης σημασίας για τους πελάτες (Antony, 2008). Το Six Sigma αποτελεί μια στατιστική μεθοδολογία, που στοχεύει στη μείωση της διακύμανσης σε οποιαδήποτε διαδικασία, στη μείωση του κόστους παραγωγής, κάνοντας εξοικονόμηση, αυξάνοντας την ικανοποίηση των πελατών, βελτιώνοντας την ποιότητα του προϊόντος έχοντας σκοπό

την μείωση των ελαττωμάτων σε 3,4 ανά εκατομμύριο ευκαιρίες σε έναν οργανισμό (Drohomeretski, et al., 2014).

Ωστόσο, το υψηλό κόστος της εκπαίδευσης Six Sigma αποτελεί εμπόδιο για πολλούς οργανισμούς να αναπτύξουν αυτήν τη μεθοδολογία. Άλλα μειονεκτήματα είναι ο χρόνος που χρειάζεται τόσο για την εφαρμογή του Six Sigma, όσο και για να γίνουν ορατά τα αποτελέσματα. Στην πραγματικότητα, η ανάπτυξη του Six Sigma σε απομόνωση δεν μπορεί να αφαιρέσει όλους τους τύπους σπαταλών από τη παραγωγική διαδικασία και η ανάπτυξη του Lean Management μεμονωμένα δεν μπορεί να ελέγξει τη διαδικασία στατιστικά. Ως εκ τούτου, ορισμένες εταιρείες αποφάσισαν να συγχωνεύσουν και τις δύο μεθοδολογίες, για να ξεπεράσουν τις αδυναμίες αυτές.

Στην πραγματικότητα, το LSS αλληλοσυμπληρώνεται και υπάρχει μια προφανής σχέση μεταξύ των δύο μεθοδολογιών, η οποία καθιστά δυνατή τη συνεργασία των δύο αυτών μεθοδολογιών. Ως εκ τούτου, η ενοποίηση αυτών των δύο προσεγγίσεων δίνει στον οργανισμό περισσότερη αποτελεσματικότητα και βοηθά στην επίτευξη ανώτερης ποιότητας, ταχύτερα από την εφαρμογή κάθε προσέγγισης μεμονωμένα (Salah, et al., 2010). Οι έννοιες Lean και Six Sigma, είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ποιότητα.

1.2 Χρησιμότητα της έρευνας

Σε ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, στην Ελληνική αλλά και Διεθνή βιβλιογραφία, δεν έχει δημιουργηθεί εκτενής έρευνα στην λύση προβλημάτων με την χρήση του Lean Six Sigma ως μια φιλοσοφία, ειδικά στον κλάδο αλουμινίου. Υπάρχουν αρκετές έρευνες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με την χρήση των προτύπων αυτών, αλλά ξεχωριστά.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, στοχεύει στην ενοποίηση των φιλοσοφιών αυτών και την χρήση τους, σε βιομηχανικό περιβάλλον (το οποίο είναι πλήρως αυτοματοποιημένο). Το τελευταίο κάνει ακόμη πιο επίκαιρη την παρούσα έρευνα, καθώς ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις, επενδύουν σε αυτοματοποιημένες λύσεις παραγωγής.

Τέλος η έρευνα αυτή έχει θεωρητικό και πρακτικό χαρακτήρα. Αυτό συμβαίνει διότι βασίζεται στο θεωρητικό κομμάτι της μεθοδολογίας του Lean Six Sigma, αλλά και στην χρήση της. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, είναι της εξεταζόμενης επιχείρησης και βασίζονται σε ιστορικά-πραγματικά στοιχεία του προηγούμενου έτους. Η διπλωματική εργασία, αποτελεί έναν τρόπο απόδειξης πως τα εργαλεία ποιότητας, αποτελούν έναν σύγχρονο τρόπο, για να διασφαλιστούν οι απαιτήσεις των πελατών καθώς και το μέγιστο κέρδος, από πλευρά των εταιριών.

1.3 Στόχοι της έρευνας

Η εξεταζόμενη επιχείρηση, εδρεύει στην Κεντρική Μακεδονία, σε ένα Νομό με έντονη επιχειρηματική δραστηριότητα, καθώς έχει ένα από τα μεγαλύτερα βιομηχανικά πάρκα στην περιφερειακή ενότητα. Είναι μια πλήρως σύγχρονη και αυτοματοποιημένη μονάδα παραγωγής προφίλ αλουμινίου. Τα παραγόμενα προϊόντα της ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των πελατών της, στην εγχώρια αλλά και διεθνή αγορά. Η επιχείρηση στοχεύει στην παραγωγή συστημάτων αλουμινίου, τα γνωστά

κουφώματα, για σπίτια, ξενοδοχειακές επιχειρήσεις αλλά και κάθε είδους κτηριακής εγκατάστασης καθώς και σε βιομηχανικές λύσεις, στις οποίες χρησιμοποιούνται προφίλ αλουμινίου, όπως φωτιστικά σώματα, πέργκολες κ.α..

Η επιχείρηση, παρείχε για τους σκοπούς της έρευνας αυτής, δεδομένα από τα σκράπ προϊόντα της, από το έτος 2021. Στόχος της έρευνας είναι ο προσδιορισμός του πιο σημαντικού προβλήματος που αντιμετωπίζει η βιομηχανία, ο τρόπος επίλυσης του με τη μεθοδολογία Lean Six Sigma, καθώς και η ανασκόπηση των αποτελεσμάτων.

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την χρήση ιστογραμμάτων και διαγραμμάτων Pareto, με σκοπό να βρεθεί σταδιακά το πρόβλημα. Η ανάλυση ξεκίνησε με την αναγνώριση του παραγωγικού τμήματος που έχει τους περισσότερους τόνους σκράπ. Έπειτα έγινε η κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τα προβλήματα που εμφανίζονται στο παραγωγικό στάδιο που βρέθηκε, στο προηγούμενο βήμα. Έπειτα με τον ίδιο τρόπο βρέθηκε ο πελάτης που έχει την περισσότερη ποσότητα από προφίλ αλουμινίου με το πρόβλημα που βρέθηκε και τέλος το ίδιο το προφίλ.

Το βασικό πρόβλημα που προκύπτει μετά την ανάλυση των δεδομένων, είναι σε προφίλ αλουμινίου, που χρησιμοποιείται ως φωτιστικό σώμα. Η σημαντική διάσταση του, αποδείχθηκε πως είναι εκτός ανοχών, με αποτέλεσμα ο πελάτης να μην μπορεί να το χρησιμοποιήσει ορθά.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, με την χρήση του DMAIC της μεθοδολογίας Lean Six Sigma, να πραγματοποιηθεί η ανάλυση σύμφωνα με τα βήματα που απαιτούνται με σκοπό την προσπάθεια να βρεθεί τρόπος, η κρίσιμη αυτή διάσταση να βρίσκεται πάντα εκτός ανοχών.

1.4 Δομή της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη παρουσίαση του προβλήματος που θα αναλυθεί εκτενέστερα στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας. Γίνεται εισαγωγή στους όρους Lean και Six Sigma αλλά και στα βασικά στοιχεία των μεθοδολογιών αυτών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή στην λιτή παραγωγή. Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση της φιλοσοφίας με τις βασικές αρχές που ακολουθεί, καθώς και με τα είδη των σπαταλών που αποτελούν βασικό συστατικό του Lean Production. Γίνεται μια ανάλυση του συστήματος παραγωγής της Toyota καθώς και των εργαλείων της λιτής παραγωγής, για την εφαρμογή του σε βιομηχανικό περιβάλλον. Τέλος παρουσιάζονται τα οφέλη και τα μειονεκτήματα της μεθόδου.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το Six Sigma και πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή σε αυτό. Αναφέρεται ο τρόπος που μπορεί να εφαρμοστεί σε μια επιχείρηση αλλά και το πως μπορεί να γίνει η διοίκηση ενός project Six Sigma. Επίσης γίνεται αναφορά και στα εργαλεία της μεθόδου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχει η ανάλυση της μεθοδολογίας του Lean Six Sigma. Με ποιον τρόπο μπορούν να συνδυαστούν οι δυο αυτές φιλοσοφίες σε ένα ενοποιημένο πρότυπο. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα από την χρήση και των δυο προτύπων μαζί, καθώς και η ανάλυση της εφαρμογής τους σε μια επιχείρηση.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται εξολοκλήρου στην εξεταζόμενη επιχείρηση. Ο τομέας δραστηριότητας της, τα παραγωγικά τμήματα που έχει καθώς και μια εκτενής ανάλυση στου τρόπου διέλασης αλουμινίου. Επίσης αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος της

επιχείρησης στο τμήμα της διέλασης και με ποιους τρόπους η εταιρία διασφαλίζει την ποιότητα, στα παραγόμενα της προϊόντα.

Στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η εφαρμογή του εργαλείου DMAIC, της μεθοδολογίας Lean Six Sigma. Δίνεται έμφαση στα βήματα Define, Measure, Analyze, Improve και Control καθώς και πως με την χρήση του, μπορεί να πραγματοποιηθεί η λύση του προβλήματος που αντιμετωπίζει η εταιρία.

Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο υπάρχει μια περίληψη της έρευνας, οι στόχοι που είχαν θεσπιστεί αρχικά καθώς και τα αποτελέσματα της εφαρμογής, με παρουσίαση συγκριτικών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 2

Λιτή Παραγωγή

2.1 Ιστορική Αναδρομή στην Λιτή Παραγωγή

Η γέννηση της έννοιας του Lean έγινε στην Ιαπωνία, με ιδρυτές τον Taiichi Ohno και Eiji Toyoda. Την άνοιξη του 1950, ο Eiji Toyoda επισκέφτηκε το τεράστιο εργοστάσιο της Ford Rouge στο Ντιτρόιτ της Αμερικής. Τόσο η Ιαπωνία όσο και η Toyota Motor Company, την οποία είχε ιδρύσει η οικογένειά του Eiji Toyoda το 1937, βρίσκονταν σε κρίση. Μετά από 13 χρόνια προσπάθειας, η Toyota μπορούσε να παράγει ελάχιστα αυτοκίνητα συγκριτικά με την τότε μεγάλη δύναμη της εποχής Ford. Ο Eiji Toyoda μελέτησε τον τρόπο λειτουργίας του εργοστασίου της Ford, με σκοπό να υιοθετήσει της αρχές της για την αναβίωση της Toyota. Μετά την επιστροφή του στην Ιαπωνία, ο Eiji Toyoda και ο Taiichi Ohno, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μαζική παραγωγή δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει ικανοποιητικά στην Ιαπωνία. (Κουκούρης, 2013)

Τα προβλήματα που αντιμετώπιζε η Toyota ήταν, πως η εγχώρια αγορά της Ιαπωνίας ήταν μικρή και απαιτούσε μεγάλη γκάμα οχημάτων, όπως μεγάλα φορτηγά για τη μεταφορά προϊόντων στις αγορές, μικρά φορτηγά για τους αγρότες, πολυτελή αυτοκίνητα για την υψηλή κοινωνία της εποχής, αλλά και μικρά αυτοκίνητα κατάλληλα για τους στενούς δρόμους της Ιαπωνίας. Επίσης η Ιαπωνία εκείνη την εποχή, είχε πολύ υψηλές τιμές ενέργειας. Η οικονομία της μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο ήταν κατεστραμμένη, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ικανά κεφάλαια, για την προμήθεια τεχνολογίας από την δύση, προκειμένου να μπορέσουν να ανταγωνιστούν άλλες εταιρίες όπως η Ford, σε παγκόσμιο επίπεδο. Τέλος η αγορά την περίοδο αυτή, αποτελούταν από αυτοκινητοβιομηχανίες οι οποίες ήταν ήδη καθιερωμένες σε παγκόσμιο επίπεδο, που ήθελαν να αυξήσουν την παρουσία τους στην Ιαπωνία αλλά και να υπερασπιστούν το μερίδιό τους στην αγορά αυτοκινήτων, απέναντι στις Ιαπωνικές εταιρίες. (Womack, et al., 1990)

Για όλους τους παραπάνω λόγους, η Toyota αναγκάστηκε να δημιουργήσει μια νέα στρατηγική-νέο τρόπο παραγωγής των αγαθών της, την λιτή παραγωγή ή όπως την ονόμασε και είναι παγκοσμίως διαδεδομένη ως Toyota Production System. Σύμφωνα με τον Pascal (Pascal, 2015), το σύστημα της Toyota, σημαίνει να κάνεις περισσότερα κάνοντας λιγότερα, αναφερόμενο στο λιγότερο χρόνο παραγωγής, στον μικρότερο λειτουργικό χώρο, στη μικρότερη ανθρώπινη προσπάθεια, σε λιγότερο εξοπλισμό καθώς και σε λιγότερες πρώτες ύλες, ικανοποιώντας παρόλα αυτά, τις απαιτήσεις των πελατών.

2.2 Βασικές Αρχές της Λιτής Παραγωγής

Το βιβλίο Lean Thinking των Womack & Jones, (Womack & Jones, 2003) έδωσε στον κόσμο ένα όραμα για το τι ήταν ο Lean. Οι συγγραφείς αναφέρουν πως το Lean Thinking μπορεί να συνοψιστεί σε πέντε αρχές: προσδιορίστε με ακρίβεια την αξία ανά συγκεκριμένο προϊόν, προσδιορίστε τη ροή αξίας για κάθε προϊόν, κάντε την αξία να ρέει χωρίς διακοπές, αφήστε τον πελάτη να αντλήσει αξία από τον παραγωγό και να επιδιώξει την τελειότητα. Η φιλοσοφία της λιτής παραγωγής στηρίζεται σε πέντε βασικές αρχές, οι οποίες διατυπώθηκαν από τους Womack, et al., (Womack, et al., 1990) στο βιβλίο τους The machine that changed the world. Οι αρχές αυτές είναι:

I. Value-καθορισμός της αξίας του πελάτη

Η αξία ορίζεται μόνο από τον τελικό πελάτη και εκφράζεται με κάποιο αγαθό ή υπηρεσία που προτίθεται να αγοράσει, προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες του, σε μια συγκεκριμένη τιμή.

II. Value Stream-Προσδιορισμός της αλυσίδας αξίας

Είναι το σύνολο όλων των δραστηριοτήτων, που απαιτούνται για την κατασκευή του τελικού προϊόντος ή της υπηρεσίας που επιθυμεί ο πελάτης. Σε αυτές περιλαμβάνονται ο σχεδιασμός, η παραγωγή αλλά και η διάθεση του προϊόντος-υπηρεσίας στον τελικό πελάτη. Οι δραστηριότητες αυτές χωρίζονται σε δραστηριότητες προστιθέμενης αξίας και σε αυτές χωρίς προστιθέμενη αξία. Οι πρώτες είναι οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε μια διαδικασία, κατά την οποία η πρώτη ύλη ή οι πληροφορίες μετασχηματίζονται ή διαμορφώνονται ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των πελατών. Οι δραστηριότητες χωρίς προστιθέμενη αξία είναι αυτές οι οποίες απαιτούν υπηρεσίες, πόρους, διαδικασίες, χρόνο και χώρο, αλλά δεν προσθέτουν αξία στο προϊόν ή στην υπηρεσία που χρειάζεται ο πελάτης.

III. Flow-Ροή

Ροή είναι η ομαλή εξέλιξη προϊόντων ή υπηρεσιών. Σε ομαλή ροή παραγωγής, όλος ο εξοπλισμός και η διάταξη επεξεργασίας, σχεδιάζονται με τακτοποιημένο τρόπο, έτσι ώστε η εργασία να μπορεί να ρέει χωρίς περισπασμούς ή διακοπές.

IV. Pull-Έλξη

Ο στόχος της έλξης είναι ο περιορισμός των αποθεμάτων που υπάρχουν στην επιχείρηση, αλλά και της κατεργασίας αυτών, ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζει πως όλα τα απαραίτητα υλικά και πληροφορίες, είναι διαθέσιμα για μια ομαλή ροή εργασίας. Με λίγα λόγια η έλξη επιτρέπει την προμήθεια πρώτων υλών, ώστε να πραγματοποιείται η παραγωγή των προϊόντων, την στιγμή που χρειάζονται καθώς και στις ποσότητες που ζητούνται.

V. Perfection-Τελειότητα

Οι σπατάλες απορρίπτονται στα προηγούμενα 4 βήματα, ωστόσο το πέμπτο βήμα, που αποτελεί την επιδίωξη της τελειότητας, είναι το σημαντικότερο. Στο συγκεκριμένο σημείο πραγματοποιείται η εγκαθίδρυση της λιτής σκέψης ως μέρος της οργανωτικής κουλτούρας της επιχείρησης. Το προσωπικό πρέπει να προσπαθεί για την τελειότητα σε κάθε σημείο της παραγωγικής διαδικασίας, προκειμένου στο σύνολο της, τα προϊόντα να είναι σύμφωνα με τις ανάγκες των πελατών. Τελικός στόχος είναι η εξέλιξη της τελειότητάς μέρα με την ημέρα.

Όλα τα παραπάνω έχουν σαν σκοπό το ένα και μοναδικό στοιχείο που δυσκολεύει και αποτρέπει τις επιχειρήσεις να ικανοποιούν τους πελάτες τους, τις σπατάλες.

2.3 Είδη Σπαταλών

Ο Taghizadegan (Taghizadegan, 2006) αναφέρει πως υπάρχουν επτά βασικοί είδη σπαταλών σε μια επιχείρηση

a) Υπερπαραγωγή:

Είναι όταν τα προϊόντα παράγονται χωρίς καμία παραγγελία ή απαίτηση από τον πελάτη. Τα πλεονάζοντα προϊόντα αποθηκεύονται στην επιχείρηση, με σκοπό την αποστολή στους πελάτες, όταν και αν αυτοί τοποθετήσουν κάποια παραγγελία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σπατάλη πρώτων υλών, εργαζόμενων και μηχανήματων που δεν χρειάζονται, επιπλέον κόστος ενέργειας καθώς επίσης και την συντήρηση του εξοπλισμού αλλά και την λειτουργία μεγάλων αποθηκών. Ο Taiichi Ohno (Taiichi, 1988) καθορίζει την υπερπαραγωγή ως την ρίζα του προβλήματος της σπατάλης αλλά και όλων των υπόλοιπων ειδών της.

b) Αναμονή

Η σπατάλη αναμονής είναι όταν ένας εργαζόμενος πρέπει να περιμένει να παραδοθεί το υλικό ή όταν περιμένει το μηχάνημα να τελειώσει την επεξεργασία κάποιου εξαρτήματος. Επίσης μπορεί να συμβαίνει όταν υπάρχει υπερβολική εργασία σε κάποια διαδικασία, λόγω μεγάλης παρτίδας παραγωγής, προβλημάτων εξοπλισμού ή ελαττωμάτων που απαιτούν εκ νέου επεξεργασία. Οι καθυστερήσεις αυξάνουν τον χρόνο παράδοσης των προϊόντων στους πελάτες

c) Περιττές μεταφορές

Η σπατάλη των περιττών μεταφορών προκαλούνται πολλές φορές από την λανθασμένη διάταξη του χώρου εργασίας, την χρήση μεγάλων μηχανημάτων (όταν δεν χρειάζεται) καθώς και κατά την διάρκεια παραγωγής προϊόντων σε μεγάλες παρτίδες, τα οποία θα πρέπει να μετακινηθούν από τη μια παραγωγική διαδικασία στην άλλη. Η παραγωγική διαδικασία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις μεταφορές και είναι ένα "αναγκαίο κακό", το οποίο όμως πρέπει να ελαχιστοποιείται.

d) Επιδιόρθωση

Η σπατάλη της επιδιόρθωσης σχετίζεται με την κατασκευή και την ανάγκη επιδιόρθωσης ελαττωματικών προϊόντων. Περιλαμβάνει όλο το υλικό, τον χρόνο και την ενέργεια που εμπλέκονται στην κατασκευή και την επιδιόρθωση ελαττωμάτων.

e) Επιπλέον επεξεργασία

Η συγκεκριμένη σπατάλη σχετίζεται με την παραγωγή προϊόντων, ανώτερης ποιότητας, από αυτήν που έχει συμφωνηθεί-οριστεί, από τον πελάτη. Με την σπατάλη αυτήν χρησιμοποιούνται επιπλέον εξοπλισμός, πρώτες ύλες καθώς και ανθρώπινη προσπάθεια στο προϊόν, για το οποίο δεν προσδίδεται προστιθέμενη αξία.

f) Επιπλέον αποθέματα

Μια από τις σπατάλες που έχουν άμεση σύνδεση με την υπερπαραγωγικότητα, είναι τα επιπλέον αποθέματα που έχει μια επιχείρηση στις αποθήκες της. Αυτά μπορεί να είναι πρώτες ύλες, προκειμένου να γίνει η παραγωγή σε μεγάλες παρτίδες, ανταλλακτικός εξοπλισμός προς αποκατάσταση των βλαβών, (αν θα προκύψουν στα μηχανήματα) και άλλα. Όλα τα παραπάνω δείχνουν πως η επιχείρηση δεν λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς και προβαίνει σε μεγάλη σπατάλη οικονομικών πόρων αλλά και χωροταξικών περιοχών της παραγωγικής μονάδας.

g) Περιττές κινήσεις

Η τελευταία αυτή σπατάλη σχετίζεται με το ανθρώπινο δυναμικό. Οι εργαζόμενοι όταν εργάζονται σε ένα πόστο το οποίο πρέπει να μετακινούνται συνέχεια, προκειμένου να χρησιμοποιήσουν κάποια εργαλεία, εξαρτήματα ή ακόμη και το ίδιο το προϊόν στο οποίο εργάζονται, μειώνουν την παραγωγικότητα τους καθώς επίσης αυξάνουν τους κινδύνους για κάποιο εργατικό ατύχημα. Ένα από τα βασικά κριτήρια, για την εξάλειψη της σπατάλης αυτής, είναι ο εργονομικός σχεδιασμός των θέσεων εργασίας, προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγικότητα αλλά και να μειωθούν τα πιθανά εργατικά ατυχήματα.

2.4 Lean Production και η Παραγωγική Διαδικασία της

Toyota.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, προκειμένου η Toyota να μπορέσει όχι μόνο να επιβιώσει αλλά τελικά να γίνει ένα πρότυπο παραγωγικής μονάδας με την ελαχιστοποίηση ή πολλές φορές ακόμη και την εκμηδένιση των σπαταλών, προχώρησε στην δημιουργία του Toyota Productive System ή αλλιώς TPS. Η συγκεκριμένη φιλοσοφία έρχεται σε αντίθεση με την μαζική παραγωγή, που επικρατούσε την δεκαετία του '50 στην Αμερική. Η βασική ιδέα αυτού του συστήματος είναι η διατήρηση μιας συνεχούς ροής προϊόντων στην παραγωγική μονάδα, προκειμένου να προσαρμόζονται ευέλικτα στις αλλαγές της ζήτησης. Βασικοί πυλώνες του οικοδομήματος αυτού, είναι η τεχνική JIT (Just In Time) και η τεχνική Jidoka.

Η πρώτη τεχνική σημαίνει, την παραγωγή μόνο συγκεκριμένων προϊόντων, σε συγκεκριμένη ποσότητα, σε συγκεκριμένο χρόνο μόνο όταν αυτά ζητηθούν. Ως αποτέλεσμα, τα πλεονάζοντα αποθέματα και το πλεονάζον εργατικό δυναμικό θα μειωθούν, επιτυγχάνοντας έτσι τους σκοπούς της αύξησης της παραγωγικότητας και της μείωσης του κόστους. (Voehl, et al., 2014)

Just-In-Time (JIT) είναι μια έννοια που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την έγκαιρη παράδοση όλων των υπηρεσιών ή υλικών στην επόμενη παραγωγική διαδικασία. Ο στόχος του JIT είναι να διασφαλίσει ότι ελαχιστοποιείται η ποσότητα των υλικών που υπάρχουν ανά πάσα στιγμή. Αυτό όμως δεν περιορίζεται μόνο στις πρώτες ύλες ή στα προϊόντα κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Σε αυτά μπορούμε να προσθέσουμε το επιπλέον ανθρώπινο δυναμικό, το επιπλέον εξοπλισμό της επιχείρησης αλλά και της προσπάθειας από τους εργαζομένους. Η ιδέα του JIT θεσπίστηκε για να ελαχιστοποιήσει τη σχεδόν, όλα τα ήδη σπαταλών που αναλύθηκαν προηγουμένως.

Ο δεύτερος πυλώνας είναι η τεχνική Jidoka. Η βασική ιδέα είναι ο σχεδιασμός κάθε σημείου της παραγωγής με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να κλείνει αμέσως εάν εντοπιστεί κάποιο εξάρτημα το οποίο έχει παραχθεί με ελαττώματα. Στην γλώσσα της Τογοτα, ο συγκεκριμένος όρος αναφέρεται ως ο αυτοματισμός με το ανθρώπινο άγγιγμα. (Womack & Jones, 2003). Επίσης κάθε εργαζόμενος μπορεί να διακόψει την παραγωγική διαδικασία, αν αντιληφθεί πως η παραγωγή δεν γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Μια από τις γνωστές ρήσεις της Τογοτα είναι: σταμάτα την παραγωγή ώστε η παραγωγή να μην χρειαστεί να σταματήσει ποτέ. Με το σταμάτημα της παραγωγής, γίνεται και η άμεση επίλυση του προβλήματος, η καταγραφή του με αποτέλεσμα σε δεύτερο χρόνο να μην εμφανιστεί ξανά. Έτσι τα επόμενα παραγωγικά στάδια, έχουν στην διάθεση τους ένα εξάρτημα χωρίς ελαττώματα, που ικανοποιεί τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Συνοψίζοντας Jidoka θα μπορούσαμε να πούμε πως σημαίνει η αναγνώριση-επίλυση των ποιοτικών σφαλμάτων που υπάρχουν σε μια παραγωγή, καθώς επίσης και η δυνατότητα που δίνεται στους εργαζομένους από την διοίκηση, να σταματήσουν όποτε αυτοί κρίνουν πως χρειάζεται, την παραγωγή, με σκοπό την μείωση των ελαττωματικών προϊόντων. (Pascal, 2015)

Ως ένα οικοδόμημα, το TPS θα πρέπει να έχει θεμέλια και βάση και αυτά είναι η σταθερότητα και η τυποποίηση. Η σταθερότητα είναι το πρώτο βήμα προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, θέτοντας υπό έλεγχο, την μεταβλητότητα όλων των διαδικασιών. Μόλις επιτευχθεί, έρχονται οι αλλαγές στα παραγωγικά τμήματα. Γίνονται πιο ευέλικτα και γίνεται πιο εύκολη η ευθυγράμμιση της παραγωγής στις απαιτήσεις των πελατών. Έπειτα από την σταθερότητα έρχεται η τυποποίηση. Αφού πλέον υπάρχει μια σταθερή βάση, με γνωστά αποτελέσματα, τα οποία είναι αυτά που χρειάζεται η εταιρία, γίνεται η τυποποίηση. Με αυτήν ξεκινάει η εξέλιξη των διαδικασιών, προκειμένου να επιτευχθεί η συνεχής εξέλιξη.

Τέλος σαν στέγη και μοναδικό σκοπό, υπάρχει η ικανοποίηση του πελάτη, με προϊόντα υψηλής ποιότητας, μειώνοντας όμως το κόστος αλλά και τον χρόνο παραγωγής τους, καθώς επίσης την συνεχόμενη αναγνώριση και μείωση όλων των σπαταλών που θα εμφανιστούν κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

2.5 Χρήσιμα Εργαλεία της Λιτής Παραγωγής.

Για την πραγματοποίηση όλων των παραπάνω τεχνικών σε κάθε στάδιο τους, χρειάζονται τα κατάλληλα εργαλεία. Μερικά από αυτά είναι τα παρακάτω

5S: Αποτελούν το ακρωνύμιο των Sort, Straighten Shine, Standardize και Sustain. Η προέλευσή τους ορίζεται από τις αντίστοιχες Ιαπωνικές λέξεις Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu και Shitsuke. Τα πρώτα τρία S αποτελούν ενέργειες ενώ τα δυο τελευταία αντιστοιχούν στην διατήρηση αλλά και στην εξέλιξη. (Taghizadegan, 2006)

- a) Seiri ή Sort (ταξινόμηση): Στον χώρο εργασίας πολλές φορές υπάρχουν πολλά εργαλεία καθώς και διάφορα υλικά που δεν χρειάζονται και επιφέρουν καθυστερήσεις στην πραγματοποίηση της κύριας εργασίας των εργαζομένων. Αφού έχει πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση όλων των εργαλείων, υλικών καθώς και μέσων στο χώρο εργασίας, παραμένουν μόνο αυτά τα που είναι ουσιαστικά για την ολοκλήρωση της εργασίας.

- b) Seiton ή Straighten (τακτοποίηση): Μόλις τελειώσει η ταξινόμηση, ξεκινάει η τακτοποίηση. Είναι μια απλή διαδικασία που ουσιαστικά ρυθμίζει την σειρά χρήσεως των εργαλείων που θα χρειαστεί ο εργαζόμενος. Μόλις τελειώσει αυτή η ενέργεια όλα τα εργαλεία είναι τοποθετημένα σε οριοθετημένες θέσεις ή θήκες, προκειμένου να είναι εμφανή και εύκολα προσβάσιμα στους εργαζομένους, ακόμα και σε αυτούς των επόμενων βαρδιών.
- c) Seiso ή Shine (γυάλισμα): Μετά την ταξινόμηση όλων των απαραίτητων εργαλείων σε σειρά, συνέχεια έχει το καθάρισμα όλης της περιοχής εργασίας του εργαζομένου. Αποτέλεσμα ενός καθαρού και γυαλισμένου χώρου εργασίας, είναι να είναι πάντα έτοιμο για χρήση όταν αυτό χρειάζεται. Επίσης με αυτό τον τρόπο, ο εργαζόμενος μπορεί να ελέγξει αν τα εργαλεία του είναι λειτουργικά και σε καλή κατάσταση, αλλιώς σε αντίθεση μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα κατά την παραγωγή.
- d) Seiketsu ή Standardize (τυποποίηση): αποτελεί μια τεχνική κατά την οποία μπαίνουν στην ρουτίνα του εργαζομένου τα τρία προηγούμενα S. Σκοπός αυτής είναι κάθε μέρα οι εργαζόμενοι να προβαίνουν στις προηγούμενες 3 ενέργειες, ώστε να διατηρείται ο χώρος εργασίας ταξινομημένος, τακτοποιημένος και καθαρός, ώστε να μην γυρίζουν σε προηγούμενες καταστάσεις, που ήταν ακατάστατα και βρώμικα.
- e) Shitsuke ή Sustain (διατήρηση): για την διατήρηση ενός σωστού προγράμματος 5S πρέπει να υιοθετηθεί η πειθαρχία σε όλους τους εργαζομένους. Με λίγα λόγια στην διατήρηση δημιουργείται η συνήθεια από για όλα τα προηγούμενα S που αναφέρθηκαν (ταξινόμηση, τακτοποίηση, γυάλισμα και τυποποίηση). Αποτελεί την δέσμευση, ώστε να γίνουν μέρος των καθημερινών δραστηριοτήτων.

Kaizen: Είναι ιαπωνική λέξη που σημαίνει συνεχής εξέλιξη ή αλλαγή προκειμένου να επέλθει η εξέλιξη. Στόχος είναι η παραγωγή ολοένα και περισσότερο, προϊόντων καλύτερης ποιότητας, με τις λιγότερες δυνατές σπατάλες, την επίτευξη καλύτερου εργασιακού περιβάλλοντος αλλά και την ανάπτυξη σταθερών διαδικασιών μέσω της τυποποίησης. Βάση του kaizen είναι το ανθρώπινο δυναμικό. Η ανώτερη ποιότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με μικρές και σιγά-σιγά μικρότερες βελτιώσεις, παρά με μεγάλες και ριζικές. (Taghizadegan, 2015)

Kanban: σημαίνει σήμα ή κάρτα. Ο σκοπός του Kanban είναι να μεταδώσει πληροφορίες μαζί με τα υλικά που συνοδεύει, στους εργαζομένους. Με αυτό τον τρόπο, οι τελευταίοι γνωρίζουν ακριβώς τι πρέπει να παράγουν σε κάθε σημείο της παραγωγικής διαδικασίας. Ουσιαστικά το Kanban συνδέει όλες τις διαδικασίες που απαιτούνται, προκειμένου να ολοκληρωθεί το προϊόν με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται η συνεχής ροή. Ο σκοπός της χρήσης του Kanban είναι να ρυθμίσει τη ροή πληροφοριών και υλικών μεταξύ των εργαζομένων, συνδέοντας διαδοχικά τα βήματα των παραγωγικών διαδικασιών. Τα συστήματα Kanban επιτρέπουν τον προσδιορισμό ακριβώς της ποσότητας των προϊόντων που απαιτούνται, για την κάλυψη της ζήτησης των πελατών. Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι παράγεται μόνο ό,τι ζητηθεί από τον πελάτη, εξαλείφοντας επομένως κάθε τάση για υπερπαραγωγή, η οποία αποτελεί μια από τις βασικές σπατάλες. (Κουκούρης, 2013)

Poka-yoke. Είναι κάποιες συσκευές ή εξαρτήματα, τα οποία ενσωματώνονται στα παραγωγικά στάδια της επιχείρησης, με σκοπό την αποτροπή σφαλμάτων, που μπορεί να πραγματοποιήσει ο εργαζόμενος, άθελα του στο προϊόν. Έτσι με αυτές γίνεται ο βασικός έλεγχος των προϊόντων καθώς και η εύρεση των εσφαλμένων, ώστε στην συνέχεια να αφαιρεθούν από τις επόμενες παραγωγικές διαδικασίες. (Κουκούρης, 2013)

Χαρτογράφηση ροής αξίας (Value stream map) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη μιας οπτικής αναπαράστασης όλων των διαδικασιών που απαιτούνται, προκειμένου να προστεθεί αξία στον πελάτη. Διεξάγεται σε δυο βήματα. Το πρώτο είναι η χαρτογράφηση της τρέχουσας κατάστασης, όπου εξετάζεται η κάθε δραστηριότητα σε όλα τα παραγωγικά τμήματα της επιχείρησης. Με τον τρόπο αυτό, γίνονται εμφανείς όλες οι σπατάλες που υπάρχουν σε όλες τις διαδικασίες που έχουν καταγραφεί. Το δεύτερο βήμα είναι η μελλοντική χαρτογράφηση, δηλαδή το σημείο στο οποίο η επιχείρηση θέλει να φτάσει προκειμένου να εξαφανίσει όλες τις σπατάλες που έχουν αναγνωρισθεί στο πρώτο βήμα. Η χαρτογράφηση αυτή γίνεται μέσω λογισμικού για ηλεκτρονικούς υπολογιστές, με το πλεονέκτημα πως μπορούν να προστεθούν πολλές μεταβλητές προς παρακολούθηση, όπως τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε κάθε στάδιο, ο χρόνος [που χρειάζεται κάθε στάδιο, καθώς και η καταγραφή των χρόνων παράδοσης. Τέλος δίνεται και η δυνατότητα, με την χρήση του λογισμικού, η δημιουργία προσομοιώσεων, που επιτρέπουν την εμφάνιση του τελικού αποτελέσματος, αν πραγματοποιηθεί κάποια αλλαγή στις διαδικασίες. (Pascal, 2015)

Η ανάλυση των 5 γιατί. Αποτελεί μια τεχνική, η οποία βασίζεται στην ερώτηση «γιατί» ή και «τι προκάλεσε το πρόβλημα» πέντε συνεχόμενες φορές. Αποτελεί έναν εύκολο τρόπο, προκειμένου να βρεθεί η ρίζα του προβλήματος σε άμεσο χρόνο. Η λειτουργία της τεχνικής αυτής είναι άμεση και επιτρέπει τον διαχωρισμό των συμπτωμάτων από τις αιτίες ενός προβλήματος. Δεν είναι απαραίτητο η ερώτηση να πραγματοποιηθεί πέντε φορές. Σε απλά προβλήματα, υπάρχει περίπτωση να χρειαστούν λιγότερες ερωτήσεις, ενώ στα πιο σύνθετα, να χρειαστούν περισσότερες. Μετά την τελευταία ερώτηση θα είμαστε σε θέση να αποσαφηνίσουμε πλήρως την αιτία του προβλήματος, καθώς και να οριοθετήσουμε τις διορθωτικές κινήσεις, ώστε να λυθεί το πρόβλημα, με προοπτική να μην εμφανιστεί μελλοντικά. (Κουκούρης, 2013)

2.6 Οφέλη του Lean Manufacturing

Η εφαρμογή της λιτής παραγωγής, έχει σκοπό την μέγιστη ικανοποίηση των πελατών, καθώς και την εξάλειψη των σπαταλών, κατά την παραγωγική διαδικασία. Μερικά από τα οφέλη της υιοθέτησης του Lean manufacturing, παρουσιάζονται παρακάτω.

- Μια από τις πρώτες αναμφισβήτητα θετικές επιπτώσεις, είναι η αύξηση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Μέσα από τις μικρές παρτίδες παραγωγής, γίνεται πιο εύκολα ο ποιοτικός έλεγχος των προϊόντων, προκειμένου να είναι σύμφωνα με τα κριτήρια του πελάτη. Η καθιέρωση διαδικασιών προς σταθεροποίηση και συνεχής βελτίωση της ποιότητας παραγωγής είναι προς όφελος του πελάτη αλλά και της επιχείρησης. (Evans & Lindsay, 2019)
- Η μείωση των αποθεμάτων, αποτελεί ένα ακόμη πλεονέκτημα της λιτής παραγωγής. Με την παραγωγή να πραγματοποιείται όταν χρειάζεται, στην ποσότητα που ορίζεται και την ώρα που πρέπει. Δεν υπάρχουν επιπλέον αποθέματα πρώτων υλών, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά αν υπάρξει κάποια παραγγελία, από πιθανούς πελάτες. Επίσης τα παραγόμενα προϊόντα είναι στον αριθμό που ορίζει ο πελάτης, χωρίς επιπλέον παραγωγή με σκοπό την αποθήκευση. (Taghizadegan, 2006)
- Βελτιωμένος χώρος παραγωγής. Με την διαδικασία συνεχής ροής, καθώς και με την εφαρμογή των εργαλείων της λιτής παραγωγής (5S), ο χώρος της επιχείρησης είναι σχεδιασμένος έτσι

ώστε όλα να είναι οργανωμένα, καθαρά και χωρίς να υπάρχουν περιττές-άσκοπες κινήσεις. Επίσης υπάρχει μείωση των εργατικών ατυχημάτων καθώς το περιβάλλον είναι ασφαλέστερο. (Womack & Jones, 2003)

- Οικονομικά οφέλη. Η μείωση του στοκ των παραγόμενων προϊόντων, η μείωση των α και β υλών, των εξαρτημάτων καθώς και όλων των υλικών που μπορεί να χρησιμοποιήσει η εταιρία, οδηγούν σε μείωση των εξόδων της. Επιπλέον με την αύξηση της ποιότητας, τα κέρδη της εταιρίας θα αυξηθούν, καθώς οι πελάτες θα είναι πλήρως ικανοποιημένοι. (Κουκούρης, 2013)
- Μέσω των μικρών παρτίδων παραγωγής, μπορεί να γίνει πιο εύκολη και γρήγορη η προσαρμοστικότητα σύμφωνα με τις παραγγελίες των πελατών. Η ευελιξία στον τρόπο παραγωγής βοηθάει όχι μόνο στην γρήγορη ανταπόκριση σε επίπεδο παραγωγής, αλλά και σε επίπεδο μεταφορών και διανομής στους πελάτες. (Pascal, 2015)
- Δημιουργία κουλτούρας στην επιχείρηση. Με τις αυξημένες δυνατότητες που έχει το εργατικό προσωπικό, την παύση δηλαδή της παραγωγής όταν υπάρξει κάποιο πρόβλημα, δημιουργείται ένα ισχυρό αίσθημα ευθύνης αλλά και συμμετοχής των εργαζομένων στην συνεχή βελτίωση της επιχείρησης. Δεν αποτελεί πλέον αποτέλεσμα μόνο της διοίκησης αλλά και των απλών εργαζομένων. (Pascal, 2015)

2.7 Μειονεκτήματα του Lean Manufacturing

Η λιτή παραγωγή, δεν μπορεί να εφαρμοστεί παντού, επομένως έχει και αυτό ορισμένα μειονεκτήματα. Για να είναι αποδοτική η φιλοσοφία του Lean θα πρέπει να βασίζεται σε σταθερό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα οι προμηθευτές του οργανισμού. Αν για κάποιον λόγο ένας προμηθευτής αποτύχει στην αποστολή υλικών ή καθυστερήσει, όλη η παραγωγική διαδικασία που στηρίζεται στο Lean, θα καθυστερήσει, με τα αποτελέσματα να είναι τεράστιοι χρόνοι παραγωγής και παράδοσης, όπως επίσης και αυξημένο κόστος.

Ένας οργανισμός ο οποίος ακολουθεί τις διαδικασίες της λιτής παραγωγής είναι αρκετά ευάλωτος, στις αλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η αποτελεσματικότητα του μειώνεται καθώς εμφανίζονται νέες συνθήκες και καταστάσεις. (Dove, 1999)

Σύμφωνα με τον Devane T. (Devane, 2004), ένα σύστημα που ακολουθεί μόνο την λιτή παραγωγή, εμφανίζει αδυναμίες, όπως ότι οι διαδικασίες που ακολουθούνται, δεν υπόκεινται στον στατιστικό έλεγχο. Ως αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται αξιολόγηση των διακυμάνσεων στα συστήματα μετρήσεων, ώστε να λαμβάνονται υπόψιν στις αποφάσεις. Επίσης από την στιγμή που το κόστος μειώνεται, αλλά παραμένουν προβλήματα, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί βελτίωση, διότι δεν υπάρχει συνεργασία μεταξύ μαθηματικών μοντέλων και ποιότητας.

Κεφάλαιο 3

Six Sigma

3.1 Εισαγωγή στο Six Sigma

Αν ανατρέξει κάποιος στην βιβλιογραφία, θα βρει πολλούς ορισμούς για το Six Sigma. Πολλοί το έχουν πει ως μια ιδιαίτερη τεχνική μέθοδο που χρησιμοποιείται από μηχανικούς και στατιστικούς για την ρύθμιση των προϊόντων. Κάποιοι το έχουν αναφέρει ως ο στόχος επίτευξης μια σχεδόν τέλει ανταπόκρισης στις απαιτήσεις των πελατών. Ένας ακόμη ορισμός είναι η προσπάθεια αλλαγής νοοτροπίας για την μεγαλύτερη ικανοποίηση των πελατών, το μέγιστο κέρδος και την ανταγωνιστικότητά από την πλευρά της επιχείρησης (Pande, et al., 2008)

Οι Evans και Lindsay (Evans & Lindsay, 2019), αναφέρουν πως το Six Sigma μπορεί να περιγραφεί ως μια προσέγγιση βελτίωσης της επιχείρησης, που σαν σκοπό έχει την εύρεση και επίλυση των αιτιών από τα προβλήματα που εμφανίζονται στις παραγωγικές διαδικασίες, αλλά και στις υπηρεσίες. Σκοπός, η εστίαση στα αποτελέσματα που είναι κρίσιμα για του πελάτες, καθώς και στην αύξηση της οικονομικής εικόνας της επιχείρησης. Απώτερος στόχος των επιχειρήσεων που υιοθετούν αυτή την φιλοσοφία, είναι να πετύχουν σε όλες τις κρίσιμες διαδικασίες τους, επίπεδο 6σ.

Ο όρος 6σ βασίζεται στην στατιστική μέτρηση που ισούται με 3.4 ελαττωματικά προϊόντα ανά εκατομμύριο ή 99,99971% τελειότητα. Το γράμμα σ είναι το σύμβολο που χρησιμοποιείται στη στατιστική, με σκοπό να παραστήσει την τυπική απόκλιση ενός πληθυσμού. Με την σειρά της η τυπική απόκλιση είναι ο δείκτης του ποσοστού διακύμανσης, σε μια ομάδα στοιχείων ή διαδικασιών. (Pande, et al., 2008)

3.2 Ιστορική Αναδρομή του Συστήματος Six Sigma

Η σύνδεση του συστήματος Six Sigma είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την Motorola. Στα τέλη της δεκαετίας του '80, η εταιρία πάλευε να "σταθεί" στα πόδια της, καθώς όλοι γνώριζαν πως η ποιότητα των προϊόντων της ήταν πολύ κακή, αφού δεν είχαν θεσπίσει κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο ποιότητας. Αποτέλεσμα, οι Ιαπωνικές εταιρίες να έχουν αυξήσει πολύ τον ανταγωνισμό παγκοσμίως, αφού ακολουθούσαν θεσπισμένα προγράμματα ποιότητας. (Pande, et al., 2008)

Η νέα προσέγγιση, δημιουργήθηκε με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας, των προϊόντων της Motorola. Το αποτέλεσμα για την εταιρία τότε ήταν ένας απλός τρόπος παρακολούθησης, καθώς και σύγκρισης των απαιτήσεων των πελατών με την απόδοση της εταιρίας. Σαν στόχο είχε θεσπιστεί η αύξηση της ποιότητας στο μέγιστο σημείο της, δηλαδή το 6σ. Η εφαρμογή όμως του συστήματος αυτού δεν είναι μόνο μια σειρά από εργαλεία για την λύση των ποιοτικών προβλημάτων που

αντιμετώπιζε η εταιρία. Ήταν σαν μια μετατροπή ολόκληρης της επιχείρησης, με τέτοιο τρόπο, ώστε η βάση της να είναι η επικοινωνία, η κατάρτιση, η ηγεσία και η ομαδική εργασία, εστιάζοντας στους πελάτες της. (Pande, et al., 2008)

Εκτός από την Motorola, υπήρχε και η General Electric, η οποία έκανε ευρέως γνωστή την μέθοδο Six Sigma, στον τότε επιχειρησιακό κόσμο. Με τις εκπαιδεύσεις του προσωπικού της, αλλά και με τους στόχους που θέσπισε, μπόρεσε όχι μόνο να εξοικονομήσει μεγάλα χρηματικά κεφάλαια, αλλά και να πετύχει τεράστια ποσοστά κέρδους. (Evans & Lindsay, 2019)

3.3 Εφαρμογή Six Sigma

Κύριο εργαλείο της εφαρμογής του συστήματος Six Sigma, είναι η μεθοδολογία DMAIC που αποτελείται από τις λέξεις Define, Measure, Analyze, Improve και Control.

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας, είναι το Define (Ορισμός). Σε αυτό το στάδιο γίνεται ο καθορισμός του προβλήματος με σαφήνεια, προκειμένου να μπορέσουμε να συνεχίσουμε στο επόμενο βήμα. Ο προσδιορισμός των προβλημάτων, μπορεί να γίνει με ερωτήματα όπως, ποιο είναι το πρόβλημα που υπάρχει, ποιος πελάτης είναι δυσαρεστημένος από το πρόβλημα και πόσο μεγάλο είναι το αντίκτυπο σε αυτόν, αλλά και πόσο συχνά συμβαίνει το συγκεκριμένο σφάλμα. Με την πραγματοποίηση ενός σωστού ορισμού του προβλήματος, πρέπει να προσδιοριστεί επίσης και η ποιότητα των προϊόντων που έχει συμφωνηθεί με τον πελάτη αλλά και ποια είναι τα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζονται από το συγκεκριμένο πρόβλημα. Τέλος στο βήμα αυτό, μπορεί να προσδιοριστεί η συνεργασία των παραγωγικών τμημάτων, προκειμένου να έρθει εις πέρας η παραγωγική διαδικασία. (Evans & Lindsay, 2019)

Ένα σημαντικό εργαλείο για τον ορισμό των προβλημάτων είναι το διάγραμμα Pareto. Με την χρήση αυτού, γίνεται εύκολα ο ορισμός των σημαντικών προβλημάτων, αφού γίνεται η κατηγοριοποίηση τους, από αυτά με την μεγαλύτερη συχνότητα παρατήρησης προς την μικρότερη. Η βοήθεια που προσδίδει το εργαλείο αυτό, είναι η επικέντρωση στα κατάλληλα προβλήματα με ουσία και όχι σε αυτά που δεν θα επιφέρουν μεγάλο κέρδος από την λύση τους. (Evans & Lindsay, 2019)

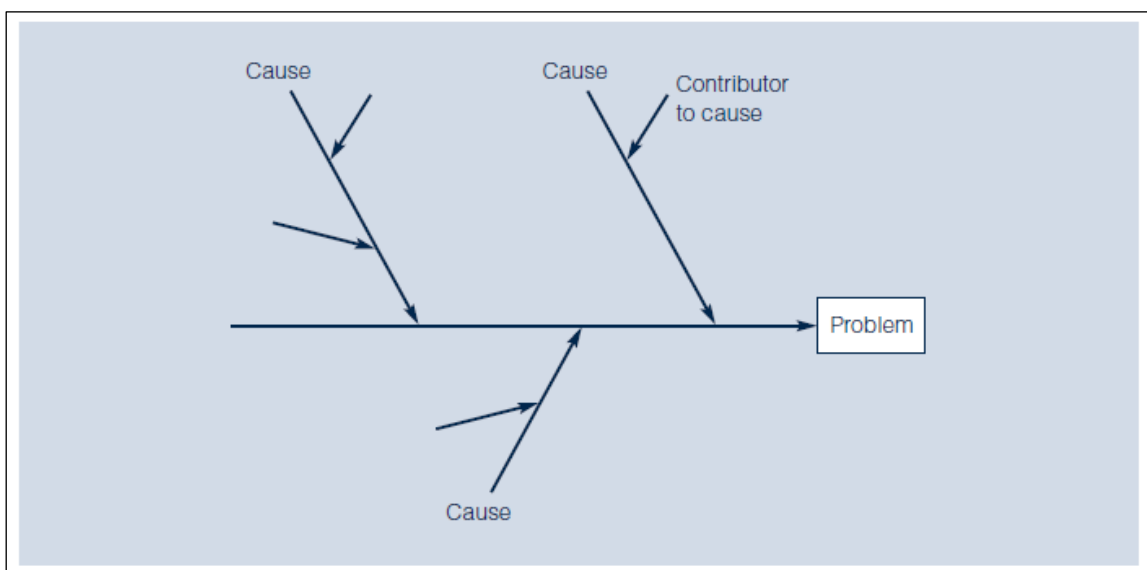
Για να επιτύχει το βήμα του ορισμού, θα πρέπει να υπάρχει μια ολοκληρωμένη γνώση της λειτουργίας της διαδικασίας, ώστε να γνωρίζουμε τα αποτελέσματα της και ποιος είναι ο στόχος της. Για τον λόγο αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο των χαρτών διεργασιών. Αυτοί μας επιτρέπουν να έχουμε μια γενική εικόνα για τα κύρια χαρακτηριστικά σε μια διεργασία, ποιον εξυπηρετεί η διεργασία αυτή καθώς και με ποιον τρόπο προσδίδει αξία. (Evans & Lindsay, 2019)

Measure (μέτρηση). Η φάση της μέτρησης της διαδικασίας, εστιάζει στην κατανόηση της απόδοσης μιας διαδικασίας και στη συλλογή όλων των δεδομένων που επηρεάζουν τα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Για τον σκοπό αυτό πρέπει να γίνει η σχέση μεταξύ της απόδοσης μια διεργασίας, με την αξία του πελάτη. Στην μεθοδολογία Six Sigma αυτό αποδίδεται με την μαθηματική σχέση $Y = f(X)$, όπου Y είναι τα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά και X είναι οι μεταβλητές που επηρεάζουν τα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Το συγκεκριμένο βήμα είναι σημαντικό διότι μας βοηθάει να συνδέσουμε τους πιο σημαντικούς κρίσιμους παράγοντες που μπορούν να τροποποιηθούν, προκειμένου να βελτιωθούν τα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Μερικά χρήσιμα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη αυτού του βήματος είναι διάφορα στατιστικά

εργαλεία όπως κατανομές συχνοτήτων και ιστογράμματα, τα οποία παρέχουν στοιχεία σχετικά με την απόδοση της διεργασίας. Το εργαλείο του Benchmarking χρησιμοποιείται επίσης προκειμένου να γίνει η σύγκριση της τρέχουσας απόδοσης με την καλύτερη επιθυμητή, προκειμένου να μετρηθεί η δυνατότητα βελτίωσης. Τέλος τα φύλλα δεδομένων και τα φύλλα ελέγχου χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των δεδομένων και την άντληση χρήσιμων πληροφοριών αντίστοιχα. Τα πρώτα περιέχουν τις πληροφορίες που απλώς καταγράφονται και τα δεύτερα αποτελούν τον τρόπο επεξεργασίας των πληροφοριών. Σε ένα φύλλο ελέγχου μπορεί επίσης να περιλαμβάνονται και τα όρια των προδιαγραφών, προκειμένου να γίνεται ευκολότερη η αξιολόγηση μιας διαδικασίας. (Evans & Lindsay, 2019)

Analyze (ανάλυση). Στο στάδιο αυτό γίνεται η ανάλυση όλων των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν κατά το βήμα της μέτρησης, προκειμένου να καταγραφεί η ικανότητα της διαδικασίας. Σκοπός της είναι να προσδιοριστούν τα αίτια των σφαλμάτων που εμφανίζονται στις διαδικασίες, αλλά και η χαμηλή απόδοση. Ένα χρήσιμο εργαλείο στην φάση της ανάλυσης είναι η ο χάρτης ροής αξίας. Η ροή αξίας περιγράφει όλες τις δραστηριότητες που εμπλέκονται στον σχεδιασμό, στην παραγωγή αλλά και στην παράδοση των προϊόντων. Αυτές οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν την ροή των υλικών μέσω της παραγωγικής διαδικασίας στους πελάτες, αλλά και τις πληροφορίες που χρειάζονται προκειμένου να υποστηρίξουν τις διαδικασίες αυτές.

Ένα ακόμη πολύ χρήσιμο εργαλείο για την φάση της ανάλυσης είναι το διάγραμμα αιτίας-αποτελέσματος, το οποίο χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει μια αλυσίδα από αίτια και αποτελέσματα. Είναι χρήσιμο διότι βοηθάει προκειμένου να βρεθούν οι πηγές των προβλημάτων και με την σειρά τους οι πηγές είναι η βάση για την υλοποίηση των λύσεων. Από τα πιο γνωστά διαγράμματα αιτίας αποτελέσματος είναι το διάγραμμα ψαροκόκαλο, το οποίο πήρε την ονομασία του επειδή μοιάζει σαν την ραχοκοκαλιά ψαριού. Στην άκρη της οριζόντιας γραμμής (κύριο κόκαλο) καταγράφεται το πρόβλημα που υπάρχει. Σε κάθε κόκαλο που δείχνει το κύριο, αναγράφονται τα πιθανά αίτια και τα μικρότερα που δείχνουν το κάθε κόκαλο αναγράφονται οι αιτίες που συμβάλουν σε αυτά τα αίτια. (Evans & Lindsay, 2019)

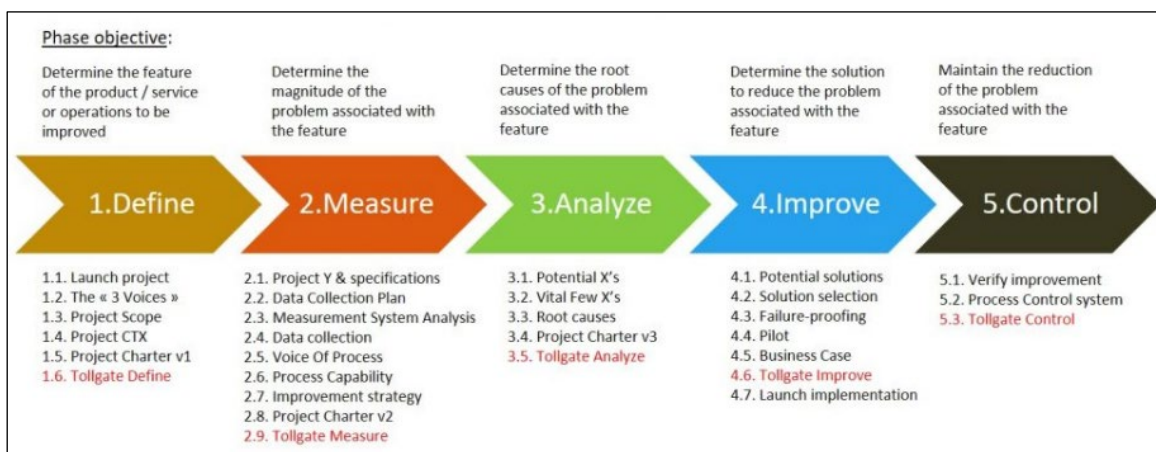


Σχήμα 1: Διάγραμμα ψαροκόκαλου

Improve (βελτίωση). Αφού έχει γίνει η ανάλυση των αιτών που προκαλούν τα διάφορα προβλήματα στην παραγωγική διαδικασία, σειρά έχει το στάδιο της βελτίωσης. Σε αυτήν την φάση πρέπει να τοποθετηθούν ιδέες, προκειμένου να λυθούν τα προβλήματα και να αυξηθεί η απόδοση των διαδικασιών αλλά και των κύριων χαρακτηριστικών ποιότητας των προϊόντων. Μερικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε αυτό το στάδιο είναι ο καταιγισμός ιδεών (brainstorming) καθώς και η λιτή παραγωγή. Το πρώτο είναι σημαντικό διότι βασίζεται στον καταιγισμό ιδεών μιας ομάδας, που συνεργάζεται και ο το κάθε μέλος της παρουσιάζει την άποψη του. Στην συγκεκριμένη διαδικασία δεν επιτρέπεται η κριτική των απόψεων από τους συμμετέχοντες, αλλά γίνεται η ενθάρρυνση τους ώστε να παρουσιάσουν ελεύθερα τις απόψεις του. Αφού πλέον έχουν κατατεθεί όλες οι προτεινόμενες λύσεις, σειρά έχει η αξιολόγηση τους. Σε αυτό μπορεί να βοηθήσει ο κύκλος του Deming (PDCA). (Evans & Lindsay, 2019)

Control (έλεγχος). Η φάση του ελέγχου εστιάζει στο πως θα διατηρηθούν οι βελτιώσεις, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί. Αυτό πραγματοποιείται με την χρήση διάφορων εργαλείων, που διασφαλίζουν ότι οι κύριες μεταβλητές θα είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια, για να υπάρχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Οι βελτιώσεις αυτές μπορεί να είναι νέες διαδικασίες, οι οποίες θα θεσπιστούν για τον σκοπό αυτόν, αλλά και η εκπαίδευση του προσωπικού που εμπλέκεται. Ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση απλών checklist, που θα έχουν σαν σκοπό την καταγραφή της ορθότητας των διαδικασιών, όπως αυτές έχουν θεσπιστεί να ακολουθούνται. (Evans & Lindsay, 2019)

Παρακάτω υπάρχει ένας συγκεντρωτικός πίνακας, που αναγράφονται όλα τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε στάδιο του DMAIC



Σχήμα 2: Εργαλεία της μεθόδου DMAIC

Το DMAIC μοιάζει με το μοντέλο συνεχούς μάθησης και βελτίωσης της διαδικασίας PDCA του Deming (Deming, 2000), (σχεδιάστε, κάντε, ελέγξτε, ενεργήστε). Στο πλαίσιο της προσέγγισης του Six Sigma, το μοντέλο DMAIC υποδεικνύει, βήμα προς βήμα, πώς πρέπει να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα, ομαδοποιώντας τα εργαλεία ποιότητας, ενώ γίνεται η καθιέρωση μιας τυποποιημένης ρουτίνας για την επίλυση προβλημάτων. Έτσι, η διαδικασία DMAIC διασφαλίζει τη σωστή και αποτελεσματική εκτέλεση της διαδικασίας, παρέχοντας μια δομημένη μέθοδο για την επίλυση επιχειρησιακών προβλημάτων.

Αυτό το αυστηρό και πειθαρχημένο σε δομή πρότυπο, σύμφωνα με τους Harry, et al. (Harry, et al., 2010), είναι αυτό που πολλοί συγγραφείς αναγνωρίζουν ως το κύριο χαρακτηριστικό που κάνει αυτή

την προσέγγιση πολύ αποτελεσματική. Το DMAIC θεωρείται ως ένα μοντέλο μάθησης που αν και επικεντρώνεται στο «κάνω» (δηλ. στην εκτέλεση βελτιωτικών δραστηριοτήτων), δίνει επίσης έμφαση στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, πριν από την εκτέλεση οποιασδήποτε πρωτοβουλίας βελτίωσης. Αυτό παρέχει στους χρήστες του DMAIC μια αρχή, για να λαμβάνουν αποφάσεις και τρόπους δράσης, με βάση πραγματικά και επιστημονικά δεδομένα, παρά στην εμπειρία και τη γνώση, όπως συμβαίνει σε πολλούς οργανισμούς, ειδικά σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις.

Αν και υπάρχουν πολλές άλλες μεθοδολογίες βελτίωσης διαδικασιών και επίλυσης προβλημάτων, που έχουν αναπτυχθεί από οργανισμούς για τη βελτίωση των παραγωγικών και επιχειρηματικών διαδικασιών τους, το DMAIC μπορεί αναμφισβήτητα να θεωρηθεί η πιο ευρέως εφαρμοσμένη και δημοφιλής προσέγγιση. Αυτό γιατί είναι ένα ουσιαστικό στοιχείο του Six Sigma, το οποίο έχει εφαρμοστεί εκτενώς στη βιομηχανία (Black & Revere, 2006).

3.4 Διοίκηση και Οργάνωση Ενός Προγράμματος Six Sigma

Ένα πρόγραμμα ή καλύτερα ένα project, έχει σκοπό την οργάνωση και την εφαρμογή του Six Sigma σε έναν οργανισμό. Αποτελείται από μια ομάδα εργαζομένων οι οποίοι σκοπό έχουν την ολοκλήρωση συγκεκριμένων σχεδίων βελτίωσης σύμφωνα με την φιλοσοφία του Six Sigma, στο λιγότερο δυνατό χρόνο. Οι ομάδες αυτές είναι κρίσιμης σημασίας για τα προγράμματα, διότι κάθε μέλος της κατέχει διαφορετικές δεξιότητες, που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη, αλλά και στην υλοποίηση λύσεων. Έτσι οι ομάδες αυτές δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την επίλυση των προβλημάτων, αλλά και για την βελτίωση των συμμετεχόντων ως προς το γνωστικό τους επίπεδο, αλλά και την επαγγελματική τους εξέλιξη. Η δομή αλλά και η επιτυχία μιας ομάδας Six Sigma εξαρτάται από την συνεργασία, την επικοινωνία και την σαφήνεια μεταξύ των μελών της. (Evans & Lindsay, 2019)

- **Champions.** Είναι ανώτερα διευθυντικά στελέχη, τα οποία ηγούνται και προωθούν την ανάπτυξη του Six Sigma σε συγκεκριμένους τομείς του οργανισμού. Κατέχουν την γνώση της φιλοσοφίας, επιλέγουν τα projects, θέτουν τους στόχους, κατανέμουν τους πόρους και καθοδηγούν τις ομάδες. Είναι υπεύθυνοι για την ολοκλήρωση αλλά και τα αποτελέσματα αυτών των προγραμμάτων. Επιπλέον είναι αρμόδιοι για να κατάργηση των εμποδίων που μπορεί να εμφανιστούν μεταξύ των μελών της ομάδας, όπως ιεραρχικά, οικονομικά προσωπικά κ.α., τα οποία μπορούν να εμποδίσουν την σωστή υλοποίηση ενός τέτοιου σχεδίου.
- **Master black belt.** Είναι εργαζόμενοι οι οποίοι έχουν εκπαιδευτεί πλήρως στην φιλοσοφία του Six Sigma και είναι υπεύθυνοι για την στρατηγική, την εκπαίδευση την καθοδήγηση και τα αποτελέσματα του Six Sigma. Η εκπαίδευση τους αποτελείται από την χρήση των εργαλείων αλλά και των τεχνικών του Six Sigma. Επίσης παρέχουν εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις. Σκοπός τους είναι η πραγματοποίηση εκπαιδεύσεων σε όλο τον οργανισμό και πολλές φορές δεν αποτελούν μέλη της ομάδας των project.
- **Black belt.** Είναι πλήρως εκπαιδευμένοι στην φιλοσοφία του Six Sigma με εκτενή τεχνική εκπαίδευση, οι οποίοι πραγματοποιούν τις περισσότερες τεχνικές αναλύσεις που χρειάζονται τα project. Κατέχουν προχωρημένη γνώση των εργαλείων και της μεθόδου DMAIC που χρησιμοποιούνται και συχνά είναι αρχηγοί ομάδας. Επίσης καθοδηγούν και βελτιώνουν τους

Green Belt. Για να υπάρξει κάποιος Black Belt θα πρέπει να κατέχει άριστες ηγετικές και επικοινωνιακές δεξιότητες.

- Green belt. Αποτελούνται από εργαζομένους που εκπαιδεύονται στην μεθοδολογία και τα εργαλεία του Six Sigma. Εργάζονται σε project όχι όμως σε κύρια βάση, βοηθώντας τους Black belts, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσουν και το δικό τους γνωστικό πεδίο. Βασική προϋπόθεση για να γίνει κάποιος Green Belt, είναι να έχει ολοκληρώσει με επιτυχία ένα Six Sigma project. Η εξέλιξη τους μπορεί να φτάσει μέχρι και το επίπεδο του Black Belt.
- Τέλος τα απλά μέλη της ομάδας αποτελούνται από διάφορα τμήματα του οργανισμού, με σκοπό την υποστήριξη συγκεκριμένων project. Αρμοδιότητες τους συνήθως είναι η συλλογή δεδομένων ή η πραγματοποίηση δοκιμών, λόγω των γνώσεων τους πάνω στις παραγωγικές διαδικασίες.

Κεφάλαιο 4

Lean Six Sigma

4.1 Εισαγωγή στο Lean Six Sigma

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, έγινε αναφορά στους όρους των δυο αυτών τεχνικών. Συμπληρώνοντας αυτά, θα γίνει η σύνδεση αυτών των δυο φιλοσοφιών. Όπως αναφέρει ο Voehl et al. (Voehl, et al., 2014) η μεθοδολογία Lean είναι μια επιχειρησιακή φιλοσοφία, με επίκεντρο τον εντοπισμό και την εξάλειψη όλων των σπαταλών σε έναν οργανισμό. Οι αρχές της λιτής παραγωγής περιλαμβάνουν μηδενικό απόθεμα, συνεχή ροή, μικρότερες παρτίδες παραγωγής, μηδενικό χρόνο αναμονής, συστήματα ελέγχου παραγωγής έλξης αντί ώθησης, σχεδιασμό του χώρου εργασίας, μελέτες χρόνου και κίνησης και μείωση του χρόνου κατά την παραγωγική διαδικασία. Η λιτή παραγωγή, εστιάζει στην εξάλειψη των σπαταλών από τις διαδικασίες και στην αύξηση της ταχύτητας των διαδικασιών, καθώς εστιάζει σε αυτό που οι πελάτες θεωρούν πραγματικά ποιότητα.

Συνεχίζοντας, η μεθοδολογία Six Sigma είναι μια στρατηγική διοίκησης του οργανισμού, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας των διαδικασιών, ελαχιστοποιώντας τις διακυμάνσεις που προκαλούν τις αστοχίες σε αυτές. Εστιάζει πολύ σε στατιστικές εφαρμογές για την μείωση του κόστους και την αύξηση της ποιότητας. Δημιουργεί μια ειδική υποδομή εντός του οργανισμού, που είναι ειδικά εκπαιδευμένοι σε στατιστικές μεθόδους και προσεγγίσεις επίλυσης προβλημάτων, που λειτουργούν ως ειδικοί σε αυτές τις προσεγγίσεις. Το κύριο εργαλείο είναι το DMAIC. Όλα αυτά γίνονται με γνώμονα τις απαιτήσεις ποιότητας του πελάτη.

Η μεθοδολογία LSS, είναι μια επιχειρησιακή φιλοσοφία, που συνδυάζει δύο από τις πιο δημοφιλής μεθοδολογίες βελτίωσης της ποιότητας, την λιτή παραγωγή και τη προσέγγιση Six Sigma. Ο στόχος αυτών των προσεγγίσεων είναι να εξλειφθούν τα εννέα είδη σπαταλών και η παροχή αγαθών και υπηρεσιών με ρυθμό 3,4 ελαττωμάτων ανά εκατομμύριο ευκαιρίες (DPMO).

Προκειμένου να γίνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα με την ενσωμάτωση των τεχνικών αυτών των δυο φιλοσοφιών, θα χρειαστεί να γίνει μια ολοκληρωμένη στρατηγική βελτίωσης.

Για τον λόγο αυτό πρέπει να περιλαμβάνονται μερικές αρχές της λιτής παραγωγής καθώς και της μεθοδολογίας Six Sigma. Από το Lean, οι αρχές που θα υιοθετηθούν, είναι μια ισχυρή φιλοσοφία που θα έχει σαν επιδίωξη την μεγιστοποίηση όλων των διαδικασιών που προσφέρουν αξία. Η αξιολόγηση όλων των συστημάτων θα πρέπει να είναι συνεχής, προκειμένου να βεβαιωθεί πως η βελτίωση είναι συνολική και όχι τμηματική. Τέλος η διαδικασία της λήψης των αποφάσεων θα πρέπει να είναι σύμφωνη με την επίδραση που θα έχει στους τελικούς πελάτες (Arnheiter & Maleyeff, 2005). Οι μεθοδολογίες που θα ακολουθηθούν, θα πρέπει να είναι από δεδομένα προκειμένου οι όποιες διαφοροποιήσεις πραγματοποιηθούν, να είναι επιστημονικά αποδεδειγμένες και όχι πάνω σε ειδικές μελέτες.

Δεύτερη αρχή είναι πως οι μεθοδολογίες που θα υλοποιηθούν, θα έχουν σαν στόχο την ελαχιστοποίηση των διακυμάνσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Τέλος θα χρειαστεί να γίνει σχεδιασμός εκπαίδευσης όλου του προσωπικού της εταιρίας, σε όλες τις βαθμίδες της. (Arnheiter & Maleyeff, 2005)

4.2 Μεθοδολογία Κατά Lean Six Sigma

Ένας τρόπος λειτουργίας του Lean Six Sigma από έναν οργανισμό, είναι να γίνει προσθήκη των εργαλείων της λιτή παραγωγής σε ένα ήδη πρόγραμμα του Six Sigma, ή να υπάρξει ξεχωριστή και ανεξάρτητη λειτουργία των εργαλείων των δυο μεθοδολογιών. Υπάρχουν δηλαδή τρεις διαφορετικοί τρόποι που μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτό, η αυξημένη ανάπτυξη (Lean μέσα στα προγράμματα του Six Sigma), παράλληλη ανάπτυξη καθώς και την διαδοχική. (Ramaswamy, 2007)

Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή αυτή της αυξημένης ανάπτυξης, δίνεται βάση στα εργαλεία του Lean που θα ενσωματωθούν σε αυτά του Six Sigma. Με τον τρόπο αυτό, η μεθοδολογία DMAIC, θα ενσωματώσει τα εργαλεία του Lean στις διάφορες φάσεις του, ώστε να λειτουργήσουν βοηθητικά στην δημιουργία νέων διαδικασιών λύσεων προβλημάτων, που εστιάζουν όχι μόνο στη ροή αλλά και στα ελαττώματα που εμφανίζονται.

Στην παράλληλη ανάπτυξη που περιλαμβάνει χωριστή ανάπτυξη των δυο αυτών τεχνικών, μπορεί να πραγματοποιηθεί με δυο τρόπους. Ο ένας είναι ο οργανισμός να λειτουργεί και τα δυο, αλλά σε διαφορετικά τμήματα του, δηλαδή στην παραγωγή να χρησιμοποιεί το Lean και στο διοικητικό κομμάτι να χρησιμοποιεί το Six Sigma. Ο δεύτερος τρόπος είναι ο διαχωρισμός των προβλημάτων και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Δηλαδή αν υπάρχει πρόβλημα στους αυξημένους χρόνους παραγωγής σε κάποιο μέρος της παραγωγικής διαδικασίας, σωστό θα ήταν να ακολουθηθεί η λιτή προσέγγιση, ενώ αν υπάρχει πρόβλημα ελαττωμάτων ή μείωση της διακύμανσης, να επιλεγεί η προσέγγιση Six Sigma.

Στην διαδοχική προσέγγιση γίνεται η εφαρμογή του Lean για αρχή, με σκοπό την βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών και την μείωση του κόστους, ώστε σε επόμενο στάδιο να γίνει η αντικατάσταση του από το Six Sigma, που θα προσεγγίζει τα προβλήματα και όλες τις βελτιώσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν, με μεγαλύτερη ανάλυση.

4.3 Εφαρμογή του Lean Six Sigma

Η εφαρμογή του Lean Six Sigma, πραγματοποιείται σε βήματα, τα οποία θα αναλυθούν στην συνέχεια.

Το αρχικό στάδιο είναι η δημιουργία της ομάδας. Όπως και στο Six Sigma, η ομάδα θα πρέπει να αποτελείται από εργαζόμενους διαφορετικών θέσεων του οργανισμού και να υπάρχει ένας αρχηγός, ο οποίος θα είναι επιλογή της διοίκησης. Τέλος η καταγραφή όλων των πρακτικών που θα πραγματοποιεί η ομάδα, θα πρέπει να γίνεται από τον γραμματέα, ο οποίος ορίζεται μέσω επιλογής της ομάδας. (Stephen, 2004)

- a) Το πρώτο βήμα είναι το Define (Καθορισμός). Σε αυτό το βήμα, τα κρίσιμα για την ποιότητα χαρακτηριστικά (CTQs) θα πρέπει να καθοριστούν. Θα πρέπει να γίνει δημιουργία ενός συστήματος μέτρησης των CTQs, καθώς και μια λίστα, στην οποία θα γίνει η καταγραφή των ποιοτικών προβλημάτων που υπάρχουν, χρησιμοποιώντας το εργαλείο του Brainstorming, καθώς και μια νεότερη έκδοση του χάρτη ροής αξίας. Η ιεράρχηση όλων των ποιοτικών προβλημάτων, θα πραγματοποιηθεί μέσω της τοποθέτησης των μελών της ομάδας και τέλος θα επιλεγεί αυτό με την μεγαλύτερη σοβαρότητα. Έπειτα θα πραγματοποιηθεί η χαρτογράφηση των εκροών της διαδικασίας, που παρουσιάζουν χαμηλή ποιότητα (κάτω του μέσου όρου), χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα ροής διαδικασίας. Τέλος η καταγραφή όλων των πιθανών μεταβλητών, που επηρεάζουν την ποιότητα με την χρήση του brainstorming.
- b) Στο δεύτερο βήμα Measure (μέτρηση), γίνεται η χρήση ιστογραμμάτων ώστε να γίνει ο καθορισμός των μεταβλητών, που υπάρχει περίπτωση να προκαλέσουν ποιοτικά προβλήματα. Γίνεται ο χαρακτηρισμός των CTPs, για το πόσο ελαττωματικά προϊόντα παράγονται σύμφωνα με την τωρινή διαδικασία, με την χρήση Control/Run Charts. Έπειτα γίνεται η χρήση των εργαλείων, διαγραμμάτων Pareto και διαγραμμάτων διασποράς, ώστε να γίνει η εστίαση στις μεταβλητές που επηρεάζουν την ποιότητα.
- c) Τρίτο βήμα είναι Analyze (ανάλυση). Πραγματοποιείται ο έλεγχος της ικανότητας της διαδικασίας, σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν παρθεί από το προηγούμενο βήμα. Έπειτα με βάση τα CTQs, θεωρούνται οι πιθανές βελτιώσεις και που αυτές μπορούν να εφαρμοστούν. Αυτό γίνεται διότι τα μέλη της ομάδας πρέπει να σκεφτούν τις πιθανές αιτίες των σφαλμάτων, ή του τρόπους βελτίωσης και έπειτα να καταλήξουν στην ανάπτυξη ενός σχεδίου για τον έλεγχο αυτών. Τέλος πραγματοποιείται έλεγχος, αν η εξάλειψη των σφαλμάτων μπορεί να γίνει μέσω της αυτοματοποίησης της παραγωγής και της καλύτερης οργάνωσης του χώρου, σύμφωνα με την τεχνική 5S.
- d) Τέταρτο βήμα είναι Improve (βελτίωση). Δημιουργία μιας ανάλυση του κόστους των πλεονεκτημάτων, των πιθανών λύσεων και του αντίκτυπου που θα έχουν σε άλλα τμήματα της παραγωγής. Επίσης γίνεται ο προσδιορισμός των δυνάμεων που κατευθύνουν και συγκρατούν την ροή αξίας, αλλά και ο προγραμματισμός μιας στρατηγικής, ώστε να απαλειφθούν οι δυνάμεις που την συγκρατούν. Τέλος η θέσπιση ενός πλάνου δράσης για την εξάλειψη των ποιοτικών σφαλμάτων.
- e) Πέμπτο βήμα είναι Control (έλεγχος) Γίνεται η ανάπτυξη διαγραμμάτων ελέγχου, ώστε να παρακολουθούνται οι διάφορες μεταβλητές. Αυτές οι μεταβλητές μπορούν να δημιουργήσουν πιθανά προβλήματα, κατά την διάρκεια εφαρμογής των σχεδίων για την εξάλειψη των προηγούμενων προβλημάτων. Τέλος ο σχεδιασμός ενός πλάνου ελέγχου είναι σημαντικός για την παρατήρηση των διακυμάνσεων των διορθωτικών ενεργειών που πραγματοποιήθηκαν.

Κεφάλαιο 5

Περιγραφή της Εταιρίας

5.1 Εισαγωγή Προς την Εταιρία

Η εξεταζόμενη επιχείρηση, είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρίες διέλασης αλουμινίου στην Ελλάδα με παρουσία πάνω από 30 χρόνια. Κατέχει μεγάλο μερίδιο στην Ελληνική αγορά, αλλά έχει και εξαγωγικό χαρακτήρα σε όλη την Ευρώπη, όπως και στην Αμερική. Η παραγωγική μονάδα εδρεύει στην Κεντρική Μακεδονία, σε ιδιόκτητες εγκαταστάσεις. Η εταιρία κατασκευάζει συστήματα αλουμινίου για βιομηχανικά κτήρια, ξενοδοχειακές και κτηριακές εγκαταστάσεις, κάθε μορφής, αλλά και προφίλ αλουμινίου βιομηχανικής χρήσης.

Τα παραγωγικά τμήματα της εταιρίας αποτελούνται, από τέσσερις υδραυλικές πρέσες διέλασης, 8 φούρνους τεχνητής γήρανσης, δυο κάθετα βαφεία, ένα οριζόντιο βαφείο, τμήμα κατεργασιών (CNC), καθώς και τμήμα συρραφής προφίλ αλουμινίου. Η παραγωγή είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, με την μετακίνηση όλων των προϊόντων, στα διάφορα στάδια παραγωγής να γίνονται μέσω αλυσόδρομων. Τέλος στην επιχείρηση υπάρχουν δυο ρομποτικές αποθήκες, στις οποίες προσωρινά γίνεται η αποθήκευση όλων των παραγόμενων προϊόντων. Στα μελλοντικά σχέδια της εταιρίας είναι η δημιουργία τμήματος ανοδίωσης καθώς και η προσθήκη καινούργιων υδραυλικών πρεσών.

Για λόγους εχεμύθειας, ορισμένοι παράμετροι της παραγωγικής διαδικασίας δεν μπορούν να διατυπωθούν στην διπλωματική εργασία. Σε αυτά περιλαμβάνεται το όνομα της εταιρίας και ρυθμίσεις λειτουργίας των υδραυλικών πρεσών.

5.2 Διέλαση Αλουμινίου

5.2.1 Πρώτη Ύλη

Η διέλαση αλουμινίου, είναι η τεχνητή μορφοποίηση του αλουμινίου η οποία επιτυγχάνεται με την δύναμη που ασκεί η πρέσα στο υλικό, ώστε να οδηγηθεί και να περάσει μέσα από καλούπια, τα οποία θα δώσουν το τελικό σχήμα στο αλουμίνιο. Παρακάτω πραγματοποιείται ανάλυση του τρόπου διέλασης.

Το αλουμίνιο είναι μορφοποιημένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις πρέσες, σε κολώνες (ή αλλιώς μπιγιέτες) των 6 μέτρων. Το μέγεθος της διαμέτρου των μπιγετών είναι 178mm και 198mm. Η διαφοροποίηση αυτή των διαμέτρων υπάρχει λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών των πρεσών που τις χρησιμοποιούν. Τα βασικά κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία είναι τα 6060, 6063 καθώς και άλλα, μετά από σχετικό αίτημα, όπως τα 6082 και 6005.



Σχήμα 3: Μπιγιέτες αλουμινίου
 Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

Οι προδιαγραφές των κραμάτων είναι σύμφωνα με το πρότυπο EN573-3& 4. Η επιλογή του κράματος γίνεται μετά από συνεννόηση ή απαίτηση του πελάτη για τα παραγόμενα προϊόντα. Επίσης σύμφωνα με την χρήση του προφίλ αλουμινίου, γίνεται και η κατάλληλη διαδικασία γήρανσης, ώστε να αποκτήσει τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες σύμφωνα με το πρότυπο EN755-2. Αυτές οι διαδικασίες είναι οι T4, T5, T6, και T66.

Σύμβολο	Περιγραφή
T4	Θερμική επεξεργασία και έπειτα φυσική γήρανση
T5	Ψύξη μετά την θερμική επεξεργασία και έπειτα τεχνητή γήρανση
T6	Θερμική επεξεργασία και έπειτα τεχνητή γήρανση
T66	Θερμική επεξεργασία και έπειτα τεχνητή γήρανση, με ειδική διαχείριση σε κάθε στάδιο παραγωγής, ώστε να αποκτήσει τις μέγιστες μηχανικές ιδιότητες.

Πίνακας 1: Διαδικασίες γήρανσης
 Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

5.2.2 Διαδικασία Διέλασης.

Η παραγωγική διαδικασία ξεκινάει από την εισαγωγή των μπιγετών αλουμινίου, με την χρήση διαμήκη άξονα, στον φούρνο μπιγετών. Οι φούρνοι θερμαίνουν την μπιγιέτα σε θερμοκρασία 460 °C έως 500°C. Η διαδικασία αυτή είναι βασική ώστε το αλουμίνιο να αποκτήσει την απαιτούμενη πλαστικότητα, για να μπορέσει να διελαστεί. Έπειτα κόβεται σε μήκη 350mm έως 1.300mm από το ψαλίδι μπιγετών, και εισάγεται στην πρέσα διέλασης, προκειμένου να διελαστεί, με την χρήση βραχίονα.



Σχήμα 4: Προθέρμανση μπιγιέτας αλουμινίου
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

Προτού όμως πραγματοποιηθεί η διέλαση, η μήτρα που έχει εισαχθεί στην πρέσα έχει προθερμαθεί, σε ειδικούς φούρνους, σε θερμοκρασία 480°C. Οι θερμοκρασίες του αλουμινίου (που έχει υποστεί προθέρμανση) καθώς και των μητρών πρέπει να είναι κοντινές ώστε να μην υπάρξουν προβλήματα στη διέλαση, όπως σπάσιμο της μήτρας. Αυτό συμβαίνει διότι αν η μήτρα είναι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και η μπιγιέτα αλουμινίου ζεστή, το υλικό δεν μπορεί να "περάσει" με ευκολία μέσα από την μήτρα και αναπτύσσοντας μεγάλη τριβή.



Σχήμα 5: Φούρνοι προθέρμανσης μητρών
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

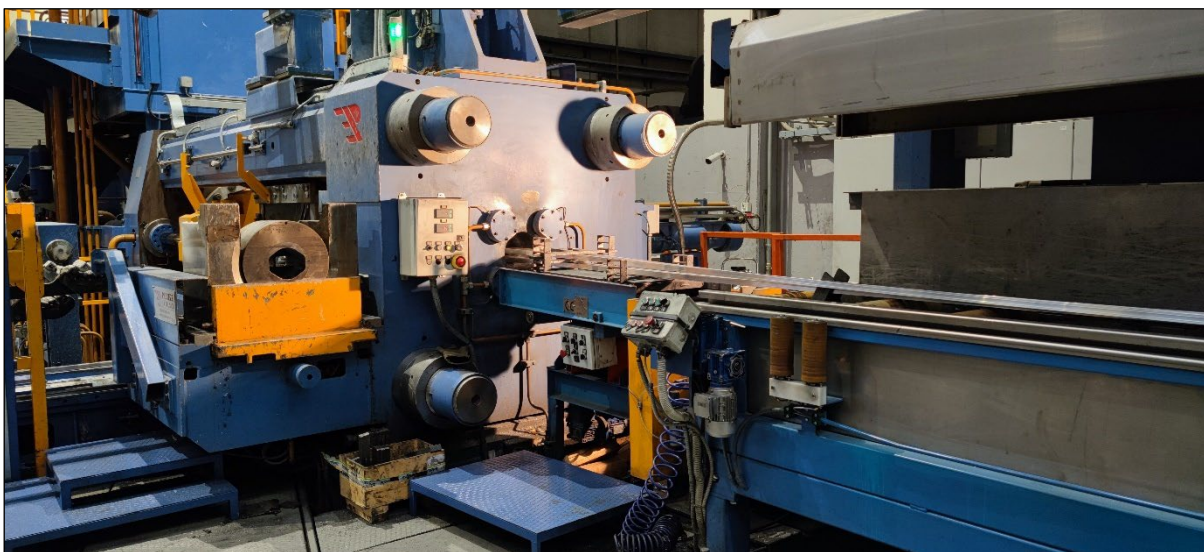
Αφού πλέον έχει ήδη τοποθετηθεί η κατάλληλη μήτρα ώστε το παραγόμενο προφίλ να πάρει το απαιτούμενο σχήμα, ξεκινά η διέλαση. Η διαδικασία πραγματοποιείται με την άσκηση υδραυλικής δύναμης στο θερμό κομμάτι της μπιγιέτας αλουμινίου, ώστε να περάσει μέσα από την μήτρα και να

πάρει το επιθυμητό σχήμα (διατομή). Ακριβώς μετά την έξοδο του προφίλ αλουμινίου πλέον, υπάρχει το Puller, το οποίο τραβάει το προφίλ ταυτόχρονα με την διέλαση του. Όταν φτάσει στο επιθυμητό μήκος κόβεται από το πριόνι και συνεχίζεται η ίδια διαδικασία. Πολλές φορές, όπως και στην συγκεκριμένη εταιρία, υπάρχουν δυο Puller, έτσι ώστε να μην χρειάζεται να γίνει παύση της διέλασης, όταν πρέπει να κοπεί το προφίλ (συνεχόμενη κοπή). Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής, το προφίλ μπορεί να ψυχθεί με τεχνητά μέσα, όπως αέρα, περνώντας από ένα τούνελ με ανεμιστήρες ή με ψεκασμό νερό ή αζώτου, ώστε να αποκτήσει τις απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες.

Τα προφίλ αλουμινίου που δημιουργούνται, έχουν μήκος 30m έως 60m. Κατόπιν ψύχονται ολοκληρωτικά σε ένα μεγάλο τραπέζι και έπειτα τανύζονται. Με την τάνυση του, το προφίλ αποκτά τις τελικές του διαστάσεις και αυξάνεται το μήκος του κατά 1%-2%. Η τάνυση επίσης συμβάλει και αυτή στην επίτευξη των κατάλληλων μηχανικών ιδιοτήτων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με την χρήση δυο τεντωτήρων, οι οποίοι "τραβάνε" το προφίλ σε αντίθετες κατευθύνσεις.

Έπειτα το προφίλ κόβεται σε μικρότερο μήκος, (συνήθως 6m) και τοποθετείται αυτόματα σε μεταλλικά τελάρα. Με τον τρόπο αυτό τελειώνει η διαδικασία παραγωγής του προφίλ αλουμινίου (διέλαση). Το επόμενο στάδιο είναι η γήρανση, η οποία πραγματοποιείται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη (φυσική ή τεχνητή).

Στην εξεταζόμενη βιομηχανία, λειτουργούν τέσσερις γραμμές διέλασης. Η συνολική τους δυναμικότητα ανέρχεται σε 130 tn/ημέρα, που είναι και η πλήρης δυναμικότητα των γραμμών αυτών.



Σχήμα 6: Υδραυλική πρέσα κατά την διάρκεια της διέλασης
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

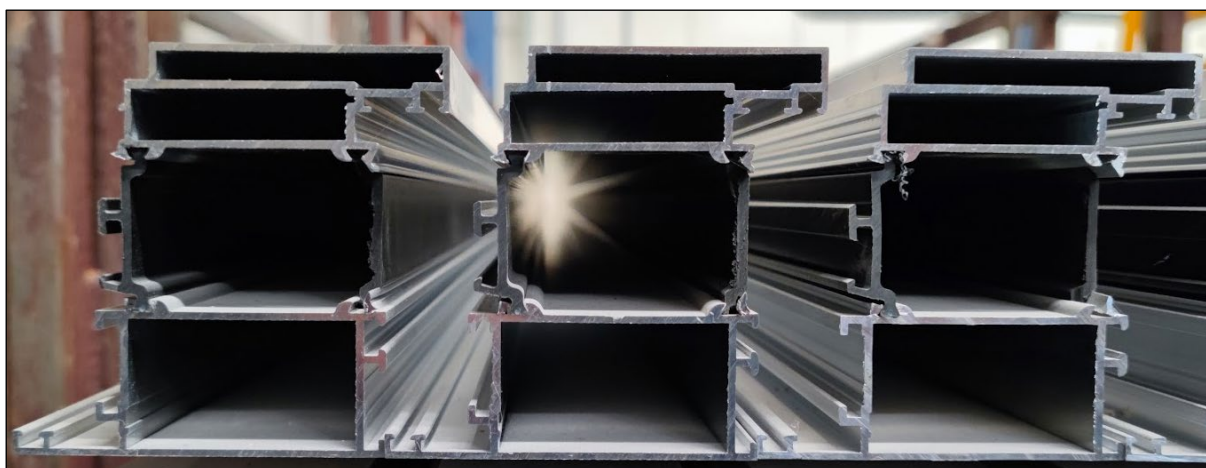
Η επόμενη επεξεργασία των προφίλ αλουμινίου ονομάζεται γήρανση και λαμβάνει χώρα μέσα στους φούρνους γηράνσεως. Έχει ως σκοπό να αποδώσει στα προφίλ του αλουμινίου, τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες, ανάλογα με την μετέπειτα χρήση τους.

Τα επόμενα στάδια που μπορεί να ακολουθήσει ένα προφίλ είναι στο τμήμα κατεργασιών, όπου γίνεται περαιτέρω επεξεργασία του (δημιουργία οπών ή κοπή τους σε μικρότερο μήκος), στο τμήμα συρραφής, όπου γίνεται η συρραφή δυο ή τριών προφίλ μεταξύ τους με την χρήση πολυαμιδίων, ή στο βαφείο για να αποκτήσει το κατάλληλο χρώμα και τέλος στο τμήμα συσκευασίας, ώστε να

προετοιμαστεί και να αποσταλεί στον πελάτη. Η παραπάνω σειρά δεν είναι υποχρεωτική, καθώς ορισμένοι πελάτες δεν χρειάζονται τίποτα ή ορισμένα από τα παραπάνω. Τέλος, ανάλογα με την παραγγελία, μπορεί να χρειαστεί να πραγματοποιηθεί ανοδίωση στο προφίλ, οπότε θα συσκευαστεί και θα αποσταλεί σε εξωτερικό συνεργάτη.

5.3 Συρραφή Προφίλ Αλουμινίου

Στο τμήμα αυτό διέρχονται οι βέργες που χρειάζεται να συρραφούν. Η χρήση αυτής της διαδικασίας γίνεται τις περισσότερες φορές, για συστήματα αλουμινίου (κουφώματα), ώστε το τελικό προϊόν να αυξήσει τις θερμομονωτικές του ιδιότητες. Η "ένωση" των προφίλ πραγματοποιείται με ένα επιπλέον υλικό, το πολυαμίδιο, το οποίο είναι ένας συνδυασμός νάιλον με υαλόνημα. Η συρραφή γίνεται με την χρήση εξοπλισμού, ο οποίος πιέζει της υποδοχές, αφού έχει εισέλθει το πολυαμίδιο, ώστε να διατηρηθεί στην θέση αυτή.



Σχήμα 7: Συραμμένα προφίλ
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

5.4 Βαφή Αλουμινίου/ Ηλεκτροστατική Βαφή

Με τον όρο ηλεκτροστατική βαφή, εννοούμε την επικάλυψη του αλουμινίου με ειδικές εποξειδικές, εποξύ-πολυεστερικές, ή με πολυεστερικές ρητίνες, έχοντας σαν στόχο αφενός την προστασία του μετάλλου από τη διάβρωση, αφετέρου την εξασφάλιση της επιθυμητής χρωματικής και αισθητικής εμφάνισης. Για αρχιτεκτονικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροστατική βαφή πολυεστερικές πούδρες, οι οποίες αφού πρώτα προστεθούν και επικαλύψουν την επιφάνεια του αλουμινίου, κατόπιν πολυμερίζονται σε ειδικούς φούρνους. Για να εξασφαλιστεί η προστασία της επιφάνειας του αλουμινίου από τη διάβρωση, πριν την ηλεκτροστατική βαφή, τα βασικά στάδια που θα πρέπει να προηγηθούν είναι: κατάλληλη προεργασία της επιφάνειας (καθαρισμός), ανάπτυξη υποστρώματος φιλικού προς το περιβάλλον (chrome free), κατάλληλη σύσταση της πολυεστερικής βαφής καθώς και οι συνθήκες εφαρμογής. Το πάχος της βαφής κυμαίνεται κατά μέσο όρο στα 90μm.



Σχήμα 8: Κάθετο βαφείο
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

5.5 Συγκρότημα Οριζόντιας Ηλεκτροστατικής Βαφής

Στο συγκρότημα οριζόντιας ηλεκτροστατικής βαφής, πραγματοποιούνται η χημική προ επεξεργασία, βαφή και ο πολυμερισμός. Η χημική προ επεξεργασία γίνεται σε μια σειρά (5) λουτρών με τη χρήση κατάλληλων διαλυμάτων. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται βαφή των μεταλλικών επιφανειών με τη βοήθεια στατικού ηλεκτρισμού. Για την πραγματοποίηση του πολυμερισμού της πούδρας βαφής, τα προφίλ αλουμινίου διέρχονται από μια διάταξη, όπου η πούδρα θερμαίνεται και «μελώνει» πάνω στο προφίλ. Οι βέργες περνούν στη συνέχεια στο φούρνο του πολυμερισμού όπου θερμαίνονται στους 190°C.

5.6 Συσκευασία – Φόρτωση

Τα προφίλ αφού εξέλθουν από το βαφείο συσκευάζονται με αυτόματο τρόπο. Τα έτοιμα προφίλ πριν τη συσκευασία τους πιθανόν να υφίστανται μηχανουργική επεξεργασία (κοπή και διάτρηση). Τα συσκευασμένα προφίλ οδηγούνται στο χώρο φορτώσεων ή αποθηκεύονται στη ρομποτική αποθήκη.

5.7 Μήτρες

Υπάρχουν τρεις τύποι μητρών που χρησιμοποιεί η εταιρία για την παραγωγή προφίλ αλουμινίου. Αυτές είναι οι φλατ μήτρες, οι σωληνωτές και τέλος οι τύπου σωληνωτές.

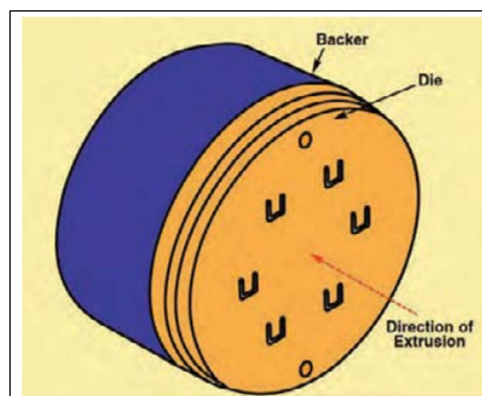
5.7.1 Φλατ Μήτρες

Φλατ είναι η μήτρα που δεν έχει κλειστό θάλαμο (σωληνωτό) όπως για παράδειγμα ένα προφίλ σε σχήμα L, T ή Π. Τα παραγόμενα προφίλ χωρίς κλειστό θάλαμο, αναφέρονται συχνά ως φλατ. Η μήτρα αυτή αποτελείται από δυο κομμάτια, την μήτρα με το σχέδιο του προφίλ και το Backer.



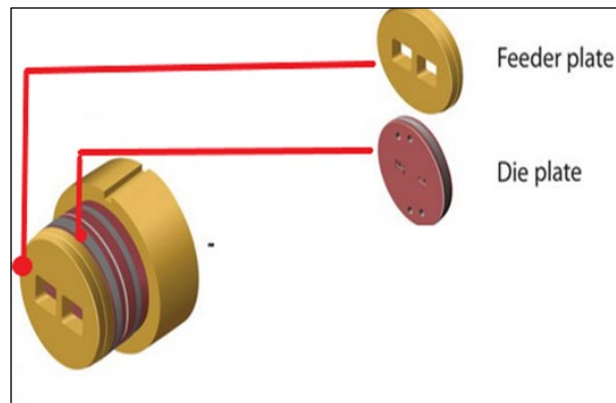
Σχήμα 9: Παράδειγμα φλατ προφίλ αλουμινίου
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

- Το backer προσδίδει στήριξη στις "γλώσσες" της μήτρας και έτσι αντέχει περισσότερο στην πίεση που ασκείται στη μήτρα από τη μπιγιέτα. Το backer έχει μεγαλύτερο πάχος από τη φλατ μήτρα (περίπου διπλάσιο) και έχει σχηματισμένες "χονδροειδείς" οπές, για να περάσει το προφίλ χωρίς εμπόδια, αφού βγει από τη μήτρα. Λόγω πολλών ομοειδών προφίλ (μορφής L, T ή Π), μπορεί το ίδιο backer να χρησιμοποιηθεί σε αρκετές παραπλήσιες μήτρες. Αυτό συνεπάγεται ότι σε ένα καινούργιο προφίλ που είναι της παραπάνω μορφής, γίνεται μόνο η κατασκευή της μήτρας και όχι απαραίτητα του backer, μειώνοντας έτσι το κόστος.



Σχήμα 10: Backer και φλατ μήτρα
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

- Όταν οι διαστάσεις του προφίλ σε μια φλατ μήτρα είναι μεγαλύτερες από τη διάμετρο της μπιγιέτας, είναι απαραίτητο να γίνει κατασκευή και ενός προθάλαμου (feeder plate), ο οποίος μπαίνει μπροστά από τη μήτρα και έχει κωνικό σχήμα, ώστε να "γεμίσει" σωστά με αλουμίνιο η μήτρα. Ο προθάλαμος πέρα από τη σωστή τροφοδοσία της μήτρας με αλουμίνιο, βοηθά στο να απωθήσει τα οξείδια αλουμινίου από την περίμετρο της μπιγιέτας, που δημιουργούν διάφορα προβλήματα στις επιφάνειες των προφίλ.



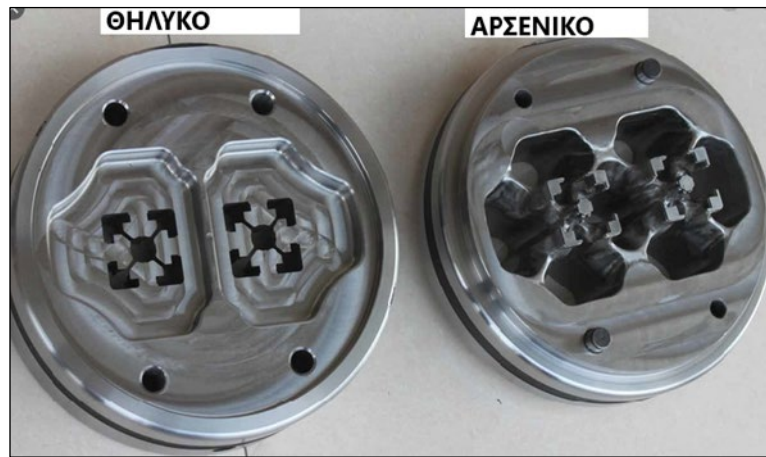
Σχήμα 11: Feeder plate και φλατ μήτρα
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

5.7.2 Σωληνωτή Μήτρα

Μια μήτρα ονομάζεται σωληνωτή, όταν το προφίλ έχει κάποιο κλειστό θάλαμο, υπάρχει δηλαδή σωληνωτό τμήμα όπως για παράδειγμα κυκλικοί σωλήνες ή ορθογώνια και τριγωνικά σχήματα. Η μήτρα αυτή αποτελείται από δυο μέρη, το αρσενικό και το θηλυκό. Όταν γίνεται κατασκευή επαναληπτικής μήτρας, για ένα συγκεκριμένο σωληνωτό προφίλ, δεν είναι αναγκαίο να γίνεται και κατασκευή των δυο μερών.



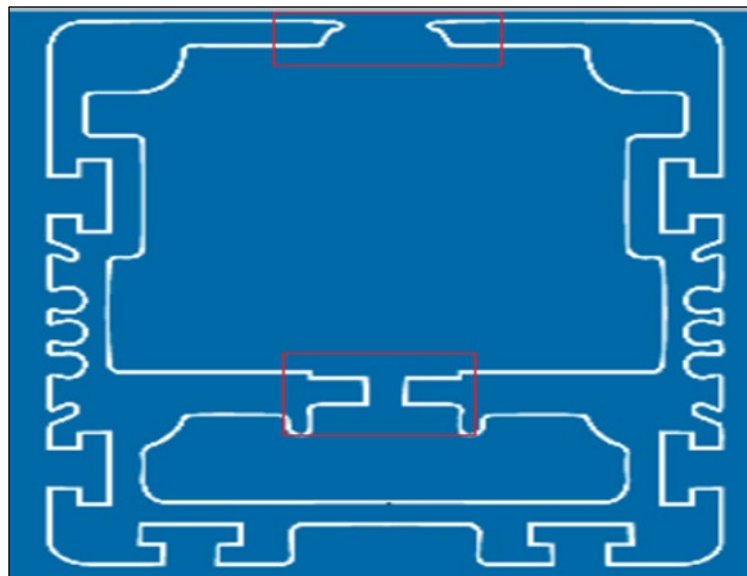
Σχήμα 12: Παράδειγμα σωληνωτού προφίλ αλουμινίου
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία



Σχήμα 13: Αρσενικό και θηλυκό μέρος της μήτρας
 Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

5.7.3 Τύπου Σωληνωτή

Τρίτη κατηγορία μητρών είναι η τύπου σωληνωτή. Ενδέχεται σε κάποια φλατ προφίλ να έχουν ένα πολύ μικρό άνοιγμα με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να σπάσει η μήτρα. Η κατασκευή της μήτρας αυτής γίνεται με ένα τύπου ψευτο-αρσενικό. Η μήτρα τύπου Σωληνωτή αναφέρεται συχνά και ως μήτρα με κούμπωμα.



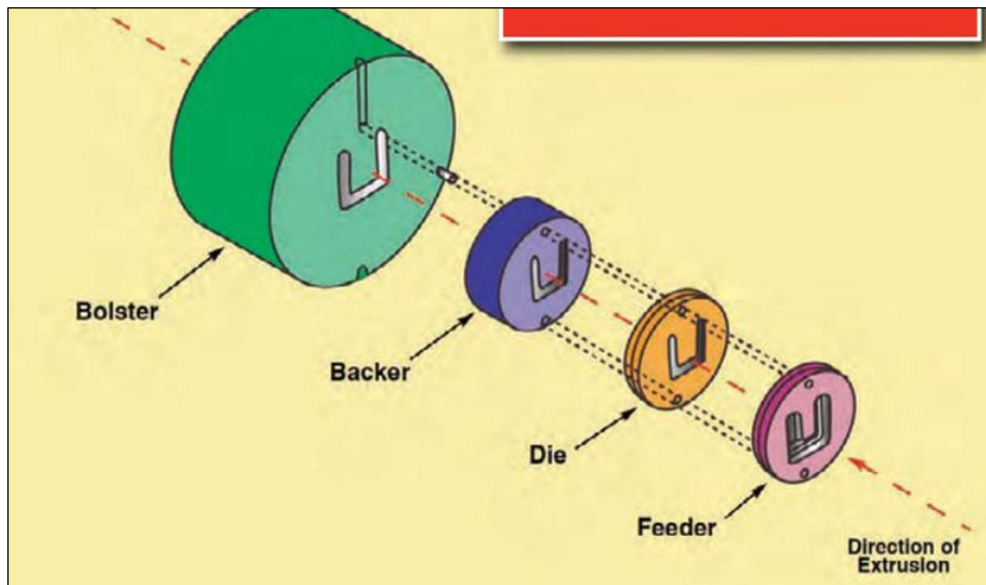
Σχήμα 14: Προφίλ τύπου σωληνωτό
 Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

5.7.4 Επιπλέον Εξαρτήματα Μητρών

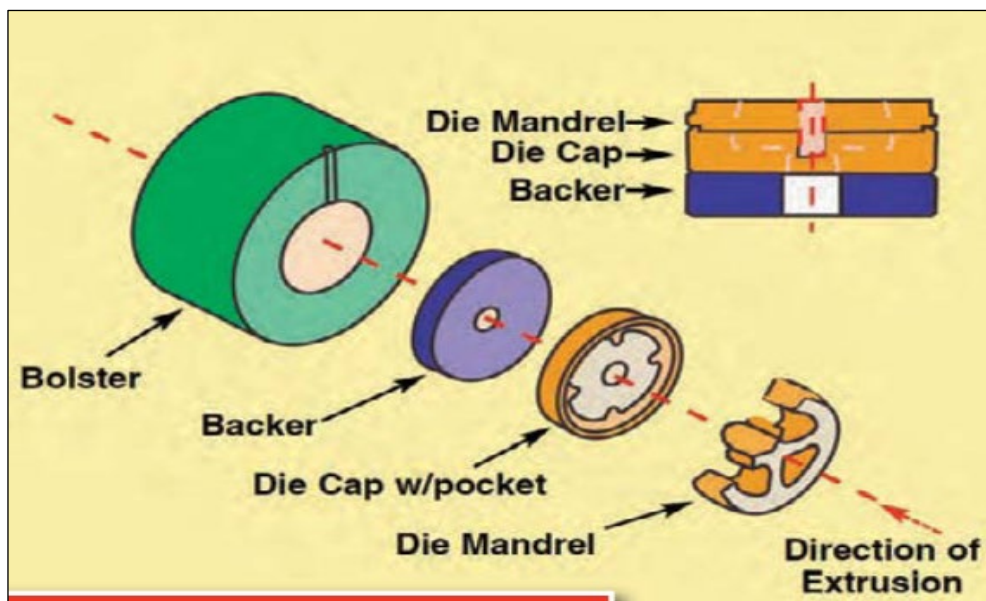
Εκτός των παραπάνω, για να γίνει σωστά η διέλαση του αλουμινίου, χρειάζεται να υπάρχει και το δαχτυλίδι ή Die holder. Αυτό είναι η υποδοχή που "φωλιάζει" η μήτρα και το Backer, όταν αυτό χρειάζεται. Η κάθε πρέσα έχει τα δικά της δαχτυλίδια, καθώς τα τελευταία εξαρτώνται από τις διαστάσεις της κασέτας, που έχει η κάθε πρέσα.

Το bolster τοποθετείται μετά από το δαχτυλίδι και δουλεύει σαν υποστήριγμα. Σε αυτό τοποθετείται το insert της μήτρας, το οποίο είναι τύπου Backer και στόχο έχει την αύξηση της αντοχής της μήτρας, στα ευαίσθητα σημεία της (π.χ. γλώσσες), κατά την πίεση που ασκείται από τη μπιγιέτα κατά την διέλαση.

Υπάρχουν 2 τύποι bolster. Το πρώτο είναι με εσωτερικό κυκλικό άνοιγμα, (όπως δαχτυλίδι) που υποδέχεται το insert της μήτρας και στη συνέχεια έχει ένα μεγάλο σκαλοπάτι με κωνικό άνοιγμα. Υπάρχουν μήτρες που λόγω της γεωμετρίας των προφίλ, έχουν κάποια ευαίσθητα - δύσκολα σημεία και για αυτό απαιτείται η έξτρα στήριξή τους με insert. Ο άλλος τύπος είναι το bolster μορφής μασίφ, με σχηματισμένες οπές, ανάλογα με τη γεωμετρία των προφίλ, το οποίο χρησιμοποιείται όταν η μήτρα δεν έχει insert, ώστε να αποδώσει σαν το insert καθώς και υποστήριγμα.



Σχήμα 15: Ολοκληρωμένη διάταξη φλατ μήτρας
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία



Σχήμα 16: Ολοκληρωμένη διάταξη σωληνωτής μήτρας
Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

5.8 Ποιοτικός έλεγχος κατά την διέλαση

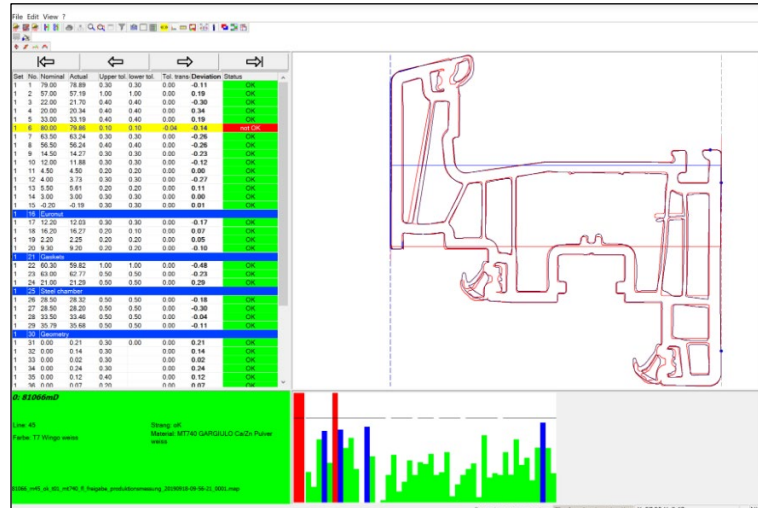
Κατά την διάρκεια της διέλασης ο χειριστής της πρέσας, είναι υπεύθυνος να ελέγξει αν το παραγόμενο προφίλ είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη, ελέγχοντας το σχέδιο το οποίο συνοδεύει την μήτρα του προφίλ. Σε αυτό το συνοδευτικό δελτίο μήτρας, όπως το ονομάζει η εταιρία, υπάρχουν οι διαστάσεις του προφίλ, οδηγίες-ρυθμίσεις της πρέσας, καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προφίλ, όπως η επιπεδότητα, η καθετότητα και η ποιότητα της φαίνουσας επιφάνειας. Η επιφάνεια αυτή είναι η πλευρά του προφίλ, η οποία θα φαίνεται όταν θα γίνει η χρήση του προφίλ και δεν πρέπει να έχει ελαττώματα, όπως τρύπες, γρατζουνιές, σκισίματα, γραμμές κ.α.. Τέλος στο συνοδό δελτίο υπάρχουν κυκλωμένες οι κρίσιμες διαστάσεις, που πρέπει να ελέγχονται κάθε φορά και να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή.

Ο έλεγχος των προφίλ γίνεται κατά την παραγωγή του, με σταθερή συχνότητα. Η πρώτη μέτρηση γίνεται στην πρώτη μπιγιέτα που καταναλώνεται, αμέσως μετά την ψύξη του προφίλ. Πολλές φορές η μέτρηση αυτή γίνεται και κατά την διάρκεια της διέλασης, μόνο όταν το προφίλ το επιτρέπει, σύμφωνα με την μορφή του. Αν η μέτρηση είναι σύμφωνη με τις διαστάσεις που υπάρχουν στο συνοδό δελτίο, τότε συνεχίζεται η παραγωγή και το επόμενο δείγμα λαμβάνεται μετά από πέντε μπιγιέτες. Το τελικό δείγμα της παραγωγής λαμβάνεται από την τελευταία μπιγιέτα. Αν η παραγωγή είναι μικρότερη από πέντε μπιγιέτες, τότε οι μετρήσεις γίνονται στην πρώτη, στην ενδιάμεση και στην τελευταία μπιγιέτα. Αν κατά την διάρκεια του ελέγχου αυτού, διαπιστωθεί πως το προφίλ δεν είναι σύμφωνο με τις απαιτήσεις, ο χειριστής προβαίνει σε αλλαγές ρυθμίσεων της πρέσας, όταν αυτό είναι δυνατό. Όταν όμως το πρόβλημα που εμφανίζεται δεν μπορεί να λυθεί με τον τρόπο αυτό ή είναι άλλου τύπου (γραμμές στο προφίλ, σπάσιμο της μήτρας κ.α.), σταματάει η διέλαση και γίνεται η αντικατάσταση της μήτρας με άλλη, σύμφωνα με το ημερήσιο πρόγραμμα παραγωγής.

ΣΥΝΟΔΕΥΤΙΚΟ ΔΕΛΤΙΟ ΜΗΤΡΑΣ		ΠΡΕΣΑ : A2
ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΗΤΡΑΣ : 49581/3	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr/m) : 703	
ΟΠΕΣ : 2	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΤΡΑΣ : 250x140	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ :
BACKER :	ΠΡΟΘΑΛΜΟΣ :	BOLSTER :
		INSERT :
		Φ :
ΑΡΧΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΠΙΓΙΕΤΑΣ : °C	ΚΡΑΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ : 605040	ΤΡΟΠΟΣ ΤΟΒΕΤΗΣΗΣ ΣΤΟ ΚΑΛΑΒΙ :
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΠΙΓΙΕΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ : °C		
ΜΗΚΟΣ ΤΑΝΙΣΗΣ : mm		
ΨΥΞΗ (ανά - σφρας - χωρίς ψύξη) :		
ΕΛΞΗ ΠΟΛΥΑΕΡ : bar	ΜΗΚΟΣ ΜΠΙΓΙΕΤΑΣ :	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΕΛΑΣΗΣ : ml/min	ΜΕΦΟΣΟΣ ΠΥΡΑΝΗΣΗΣ :	
ΑΠΟΔΟΣΗ : kg/h	ΕΚΛΗΡΩΤΗΤΑ : 11 - 13Wb	
ΑΠΟΔΟΣΗ : μπιγιέτες/h	ΔΙΟΡΘΩΤΗΣ :	
		ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ ΤΟΝΟΙ
		ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ 0,3
<p>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΒΑΦΟΥ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΤΟ ΜΑΤΙ (ΟΧΙ ΣΟΒΑ, ΟΥΤΕ ΓΥΑΝΙΣΜΑ) - ΝΤΥΜΕΝΑ ΠΗΧΑΚΙΑ</p>		

Σχήμα 17: Συνοδευτικό δελτίο μήτρας
 Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

Το τελικό δείγμα, εκτός από τον χειριστή της πρέσας, ελέγχεται και από το τμήμα ποιοτικού ελέγχου. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με την χρήση παχύμετρου για τις διαστάσεις του αλλά και με ένα ειδικό μηχάνημα. Σε αυτό, τοποθετείται το δείγμα, σαρώνεται το προφίλ και τοποθετεί την σάρωση πάνω στο σχέδιο του, ώστε να κάνει τον έλεγχο των διαστάσεων. Η συγκεκριμένη συσκευή έχει ακρίβεια 0.01mm κατά τις μετρήσεις που λαμβάνει και αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην διασφάλιση του σωστού αποτελέσματος της παραγωγής. Αν τέλος διαπιστωθεί σφάλμα κατά τον έλεγχο αυτό, τότε γίνεται επιτόπου έλεγχος των παραγόμενων προφίλ στις αποθήκες της εταιρίας, ώστε να διαπιστωθεί ισχύει το σφάλμα ή όχι.



Σχήμα 18: Παράδειγμα σάρωσης προφίλ
 Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

Κεφάλαιο 6

Εφαρμογή Μεθοδολογίας LEAN SIX SIGMA στην Εξεταζόμενη Βιομηχανία

6.1 Εφαρμογή DMAIC

Για να διαπιστωθεί αν υπάρχει πρόβλημα και μετέπειτα η προσπάθεια βελτίωσης-λύσης, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Στα παρακάτω μέρη γίνεται ανάλυση του κάθε βήματος ξεχωριστά.

6.2 Βήμα Define (προσδιορισμού)

Για το βήμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα SCRAP της επιχείρησης από την χρονιά 2021. Τα στοιχεία αυτά ομαδοποιήθηκαν και δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα, τα οποία εμφανίζουν το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η εταιρία. Η εταιρία διατηρεί στοιχεία σύμφωνα με τα παράπονα των πελατών, καθώς και με παρατηρήσεις που έχουν γίνει εντός του εργοστασίου.

Η συνολική παραγωγή σε τόνους για την χρονιά 2021 ήταν 28.580t και τα σκάρτα για την ίδια χρονιά 4.944,05t.

Τμήμα	Ποσοστό επι της συνολικής παραγωγής	Τόνοι	Ποσοστό επι του συνολικού σκράπ
Διέλαση	13,81%	3946,90	79,83%
Γενικό παραγωγής	0,58%	165,76	3,35%
Βαφεία	0,12%	34,30	0,69%
Συσκευασία	0,46%	131,47	2,66%
Συρραφή	0,04%	11,15	0,23%
Λοιπά τμήματα	2,29%	654,48	13,24%
Σύνολο	17,30%	4.944,05	100,00%
Συνολικό Σκράπ	4.944,05t		
Συνολική παραγωγή	28580t		

Πίνακας 2: Καταμερισμός Σκράπ ανά τμήμα παραγωγής

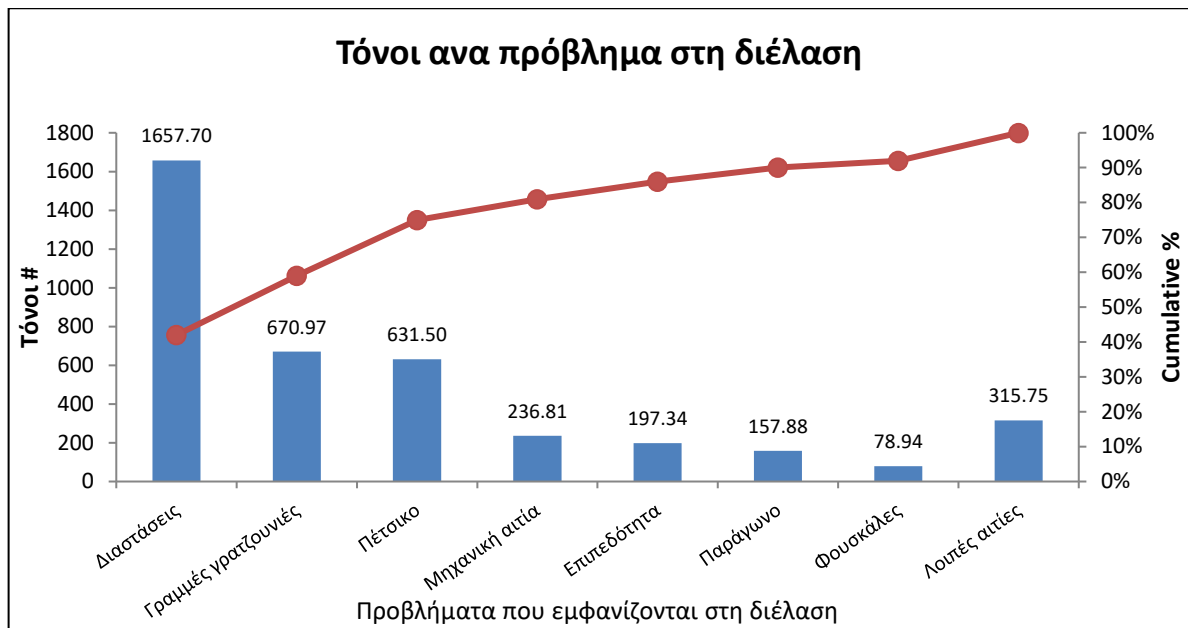


Σχήμα 19: Διάγραμμα Pareto Σκράπ σε τόνους ανά τμήμα παραγωγής

Παρατηρώντας τα παραπάνω στοιχεία, γίνεται αντιληπτό πως το τμήμα με το μεγαλύτερο καταμερισμό των ελαττωματικών προφίλ ανήκει στο τμήμα της διέλασης. Συνεχίζοντας γίνεται ο καταμερισμός των τύπων των προβλημάτων που εμφανίζονται στην διέλαση.

Προβλήματα	Ποσοστό προβλήματος	Τόνους
Διαστάσεις	42,00%	1.657,70
Γραμμές γρατζουνιές	17,00%	670,97
Πέτσικο	16,00%	631,50
Μηχανική αιτία	6,00%	236,81
Επιπεδότητα	5,00%	197,34
Παράγωνο	4,00%	157,88
Φουσκάλες	2,00%	78,94
Λοιπές αιτίες	8,00%	315,75
Σύνολο	100,00%	3.946,90

Πίνακας 3: Προβλήματα στην διέλαση

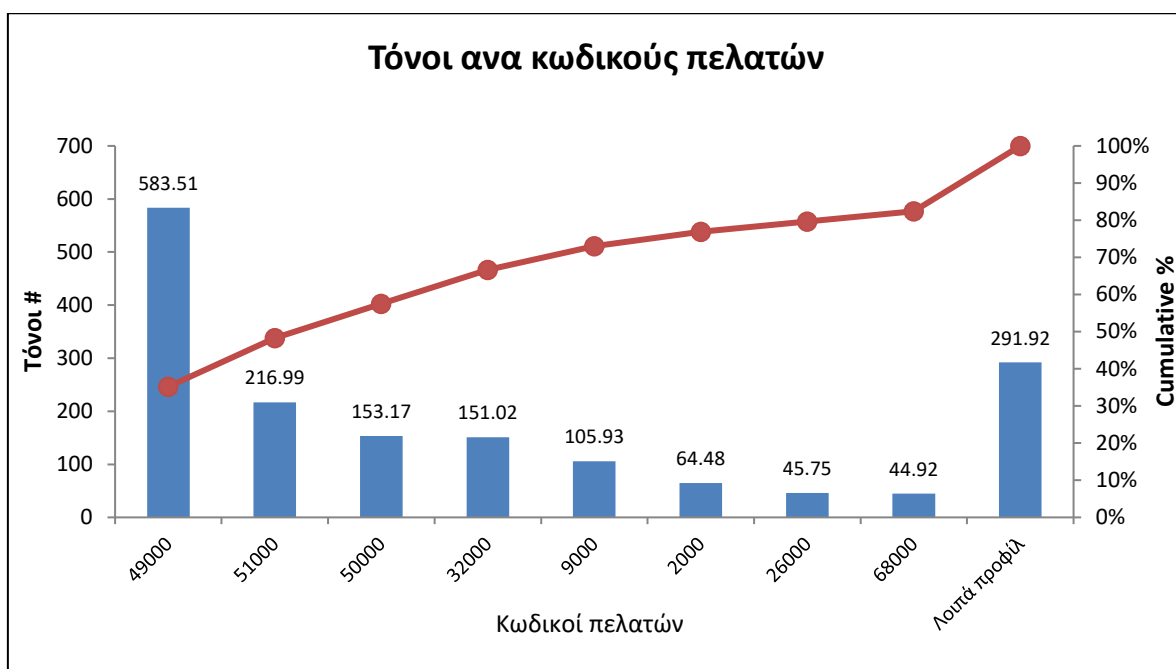


Σχήμα 20: Διάγραμμα Pareto τόνοι ανά πρόβλημα στη διέλαση

Μελετώντας τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται πως το μεγαλύτερο πρόβλημα που εντοπίζεται είναι το πρόβλημα των λανθασμένων διαστάσεων στα παραγόμενα προφίλ. Το επόμενο βήμα είναι να βρούμε, ποιος πελάτης παραλαμβάνει τα περισσότερα ελαττωματικά προφίλ με πρόβλημα στις διαστάσεις.

Κωδικός πελάτη	Ποσοστό σφαλμάτων	Τόνοι
49000	35,20%	583,5094
51000	13,09%	216,992558
50000	9,24%	153,171218
32000	9,11%	151,016211
9000	6,39%	105,926849
2000	3,89%	64,4844195
26000	2,76%	45,7524416
68000	2,71%	44,923593
Λοιποί πελάτες	17,61%	291,92047
Σύνολο	100,00%	1.657,70

Πίνακας 4: Πίνακας προβλημάτων διαστάσεων ανά κωδικούς πελατών

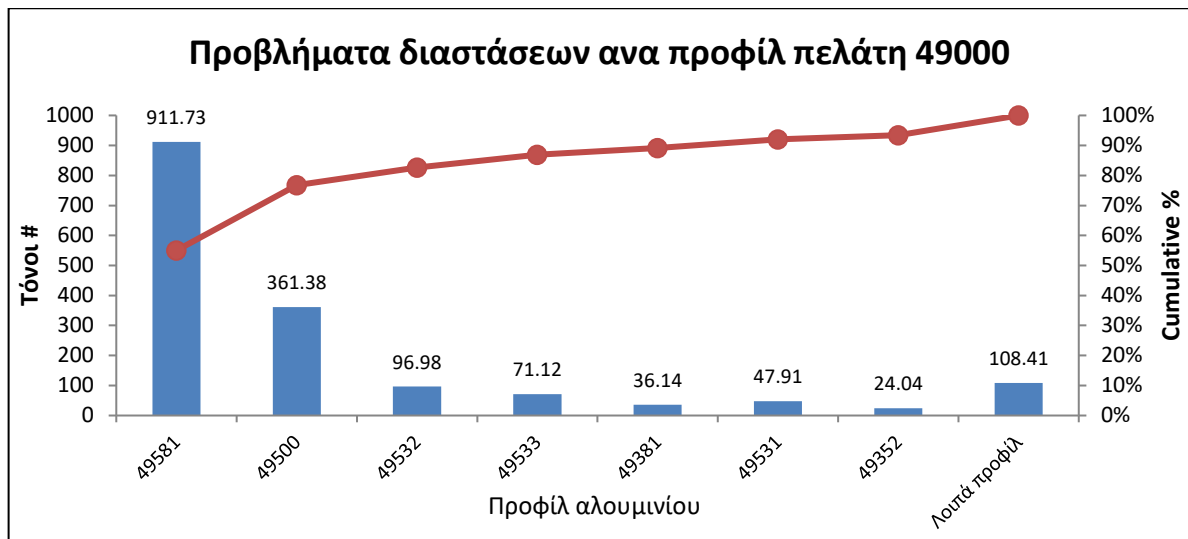


Σχήμα 21: Διάγραμμα Pareto Τόνοι προφίλ με ελαττωματικές διαστάσεις ανά κωδικούς πελατών

Παρατηρείται πως ο πελάτης με κωδικό 49000, έχει λάβει ή έχει διαπιστωθεί εσωτερικά στην εταιρία, πως έχει τα προφίλ με τα περισσότερα ελαττώματα στις διαστάσεις. Έπειτα αναλύοντας τα στοιχεία, θα βρούμε το προφίλ με τις περισσότερες λανθασμένες διαστάσεις.

Ονομασία προφίλ	Ποσοστό σφαλμάτων στο προφίλ	Τόνοι
49581	55,00%	320,93017
49500	21,80%	127,205049
49532	5,85%	34,1352999
49533	4,29%	25,0325533
49381	2,18%	12,7205049
49531	2,89%	16,8634217
49352	1,45%	8,4608863
Λοιπά προφίλ	6,54%	38,1615148
Σύνολο	100,00%	583,51

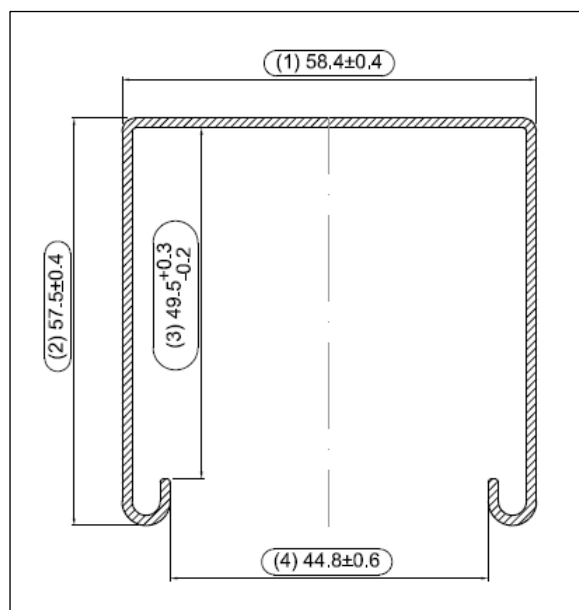
Πίνακας 5: Πρόβλημα διαστάσεων ανά προφίλ πελάτη 49000



Σχήμα 22: Διάγραμμα Pareto προβλήματα διαστάσεων ανά προφίλ πελάτη 49000

Σύμφωνα με το διάγραμμα, το προφίλ του πελάτη 49000, που έχει τα περισσότερα προβλήματα στις διαστάσεις είναι το 49581. Ανακεφαλαιώνοντας, με τα διαδοχικά βήματα που πραγματοποιήθηκαν προηγουμένως βρέθηκε το προφίλ κατά το οποίο εμφανίζονται τα περισσότερα προβλήματα διαστάσεων, σύμφωνα με τα στοιχεία του Σκραπ της εταιρίας.

Ανατρέχοντας στο σχέδιο του προφίλ 49581, παρατηρούμε πως έχει 4 σημαντικές διαστάσεις, τις οποίες ο πελάτης έχει απαιτήσει, πως πρέπει να είναι εντός των ανοχών. Η πιο κρίσιμη διάσταση καθώς επηρεάζει όλες τις υπόλοιπες είναι η διάσταση Νο4 ($44,8\text{mm} \pm 0,6\text{mm}$). Αν η συγκεκριμένη διάσταση είναι εκτός ανοχών, τότε οι διαστάσεις Νο1, Νο2 αλλά και η Νο3 επηρεάζονται άμεσα από αυτήν, με αποτέλεσμα να είναι και αυτές εκτός ανοχών. Επίσης η διάσταση Νο4 επηρεάζει κάλλιστα και στην καθετότητα των δυο πλευρών του προφίλ. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, οι προδιαγραφές για την διάσταση Νο4 είναι **USL=45,4mm και LSL=44,2mm**, δηλαδή οι μέγιστη και η ελάχιστη ανοχή που μπορεί να έχει το προφίλ 49581.



Σχήμα 23: Μηχανολογικό σχέδιο προφίλ 49581

Πηγή: εξεταζόμενη βιομηχανία

6.3 Βήμα MEASURE (μέτρηση)

Για να γίνει ο προσδιορισμός της ανάλυσης των αιτιών που η διάσταση Νο4 είναι εκτός των ανοχών, θα πρέπει να γίνουν μετρήσεις σε δείγματα της παραγωγής, για το συγκεκριμένο προφίλ. Για τον λόγο αυτόν πάρθηκαν δείγματα από την παραγωγή και παρουσιάζονται παρακάτω οι μετρήσεις τους. Οι μετρήσεις πάρθηκαν με την χρήση του μηχανήματος ελέγχου διαστάσεων και όχι με το παχύμετρο, ώστε αυτές να είναι πιο ακριβείς.

Δείγμα	Μετρήσεις σε mm				
1	45,83	44,76	44,39	44,88	44,81
2	45,26	45,27	44,53	45,51	44,35
3	44,66	43,74	45,09	44,44	44,33
4	44,75	45,07	45,19	44,15	44,86
5	43,81	44,27	45,08	44,87	44,10
6	45,16	45,16	44,27	44,64	44,66
7	44,05	45,28	45,13	44,63	43,70
8	45,16	44,95	44,28	45,27	45,31
9	44,95	46,17	45,16	44,47	44,78
10	44,63	44,11	44,02	44,49	43,12
11	45,95	44,35	44,76	43,97	44,32
12	44,74	45,20	45,75	44,84	44,89
13	44,68	45,61	43,75	45,39	45,00
14	45,84	44,20	44,72	45,41	44,44
15	44,04	45,34	45,21	43,88	44,63

Πίνακας 6: Μετρήσεις διάστασης Νο4

Για να διαπιστώσουμε όμως αν η διαδικασία βρίσκεται υπό έλεγχο, θα πρέπει όλες οι διακυμάνσεις να είναι τυχαίες. Αυτό θα μπορέσουμε να το διαπιστώσουμε αν πραγματοποιήσουμε τα διαγράμματα των χαρτών μέσης τιμής και εύρους.

Για την δημιουργία των διαγραμμάτων αυτών θα χρησιμοποιήσουμε τους παρακάτω τύπους

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

Όπου $\bar{\bar{x}}$ είναι η μέση τιμή των μέσων (κεντρική γραμμή) και \bar{x} η μέση τιμή του εκάστοτε δείγματος

$$UCL_x = \bar{\bar{x}} + A * \bar{R}$$

$$LCL_x = \bar{\bar{x}} - A * \bar{R}$$

Όπου UCL_x και LCL_x , τα άνω και κάτω όρια ελέγχου

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m}$$

Όπου \bar{R} η μέση τιμή του εύρους και R το εύρος του κάθε δείγματος

$$R_i = R_{max} - R_{min}$$

$$UCL_R = B * \bar{R}$$

$$LCL_R = C * \bar{R}$$

Όπου UCL_R και LCL_R το ανώτατο και κατώτατο όριο του εύρους

Έτσι στην περίπτωση μας η μέση τιμή κάθε μέτρησης είναι

$$\bar{x}_1 = \frac{45,83 + 44,76 + 44,39 + 44,88 + 44,81}{5} = 44,93$$

$$\bar{x}_2 = \frac{45,26 + 45,27 + 44,53 + 45,51 + 44,35}{5} = 44,98$$

και ομοίως για όλα τα υπόλοιπα

$$\bar{\bar{x}} = \frac{44,93+44,98+44,45+44,80+44,43+44,78+\dots+44,62}{15} = 44,752$$

$$R_1 = R_{1max} - R_{1min} = 45,83 - 44,39 = 1,4461$$

$$R_2 = R_{2max} - R_{2min} = 45,51 - 44,35 = 1,1664$$

και ομοίως για όλα τα υπόλοιπα

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} = \frac{1,4461 + 1,1664 + 1,3488 + \dots + 1,4624}{15} = 1,395$$

$$UCL_x = \bar{\bar{x}} + A * \bar{R} = 44,752 + 0,577 * 1,395 = 45,558$$

$$LCL_x = \bar{\bar{x}} - A * \bar{R} = 44,752 - 0,577 * 1,395 = 43,947$$

$$UCL_R = B * \bar{R} = 2,114 * 1,395 = 2,950$$

$$LCL_R = C * \bar{R} = 0 * 1,23 = 0$$

Οι συντελεστές A, B και C, πάρθηκαν από πίνακες, λαμβάνοντας υπόψιν το μέγεθος του δείγματος επειδή δεν είναι γνωστή η τυπική απόκλιση σ

Μέγεθος δείγματος, n	Χάρτες μέσων		Χάρτες εύρους	
	A	B	C	
2	1,880	3,268	0,000	
3	1,023	2,574	0,000	
4	0,729	2,282	0,000	
5	0,577	2,114	0,000	
6	0,483	2,004	0,000	
7	0,419	1,924	0,076	
8	0,373	1,864	0,136	
9	0,337	1,816	0,184	
10	0,308	1,777	0,223	
11	0,285	1,744	0,256	
12	0,266	1,717	0,283	
13	0,249	1,693	0,307	
14	0,235	1,672	0,328	
15	0,223	1,653	0,347	
16	0,212	1,637	0,363	
17	0,203	1,622	0,378	
20	0,180	1,585	0,415	
25	0,153	1,541	0,459	

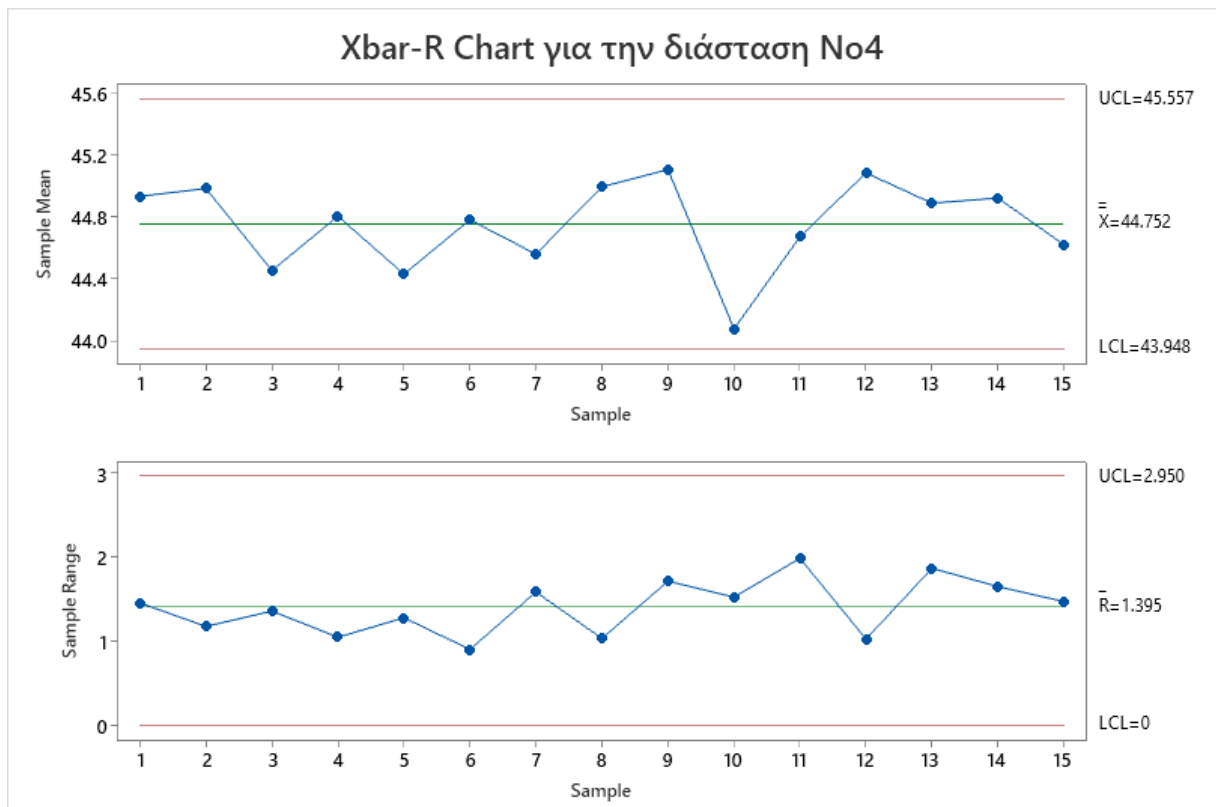
Πίνακας 7: Σταθερών συντελεστών των ορίων ελέγχου

Συνοπτικά τα αποτελέσματα των παραπάνω πράξεων στον πίνακα που ακολουθεί

Δείγμα	Μετρήσεις σε mm					X bar	R
1	45,83	44,76	44,39	44,88	44,81	44,93	1,4461
2	45,26	45,27	44,53	45,51	44,35	44,98	1,1664
3	44,66	43,74	45,09	44,44	44,33	44,45	1,3488
4	44,75	45,07	45,19	44,15	44,86	44,80	1,0379
5	43,81	44,27	45,08	44,87	44,10	44,43	1,2696
6	45,16	45,16	44,27	44,64	44,66	44,78	0,8938
7	44,05	45,28	45,13	44,63	43,70	44,56	1,5757
8	45,16	44,95	44,28	45,27	45,31	44,99	1,0234
9	44,95	46,17	45,16	44,47	44,78	45,11	1,7036
10	44,63	44,11	44,02	44,49	43,12	44,07	1,5143
11	45,95	44,35	44,76	43,97	44,32	44,67	1,9747
12	44,74	45,20	45,75	44,84	44,89	45,08	1,0164
13	44,68	45,61	43,75	45,39	45,00	44,89	1,8571
14	45,84	44,20	44,72	45,41	44,44	44,92	1,6388
15	44,04	45,34	45,21	43,88	44,63	44,62	1,4624

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μέσω τιμών

Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε, μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα μέσης τιμής και το διάγραμμα εύρους

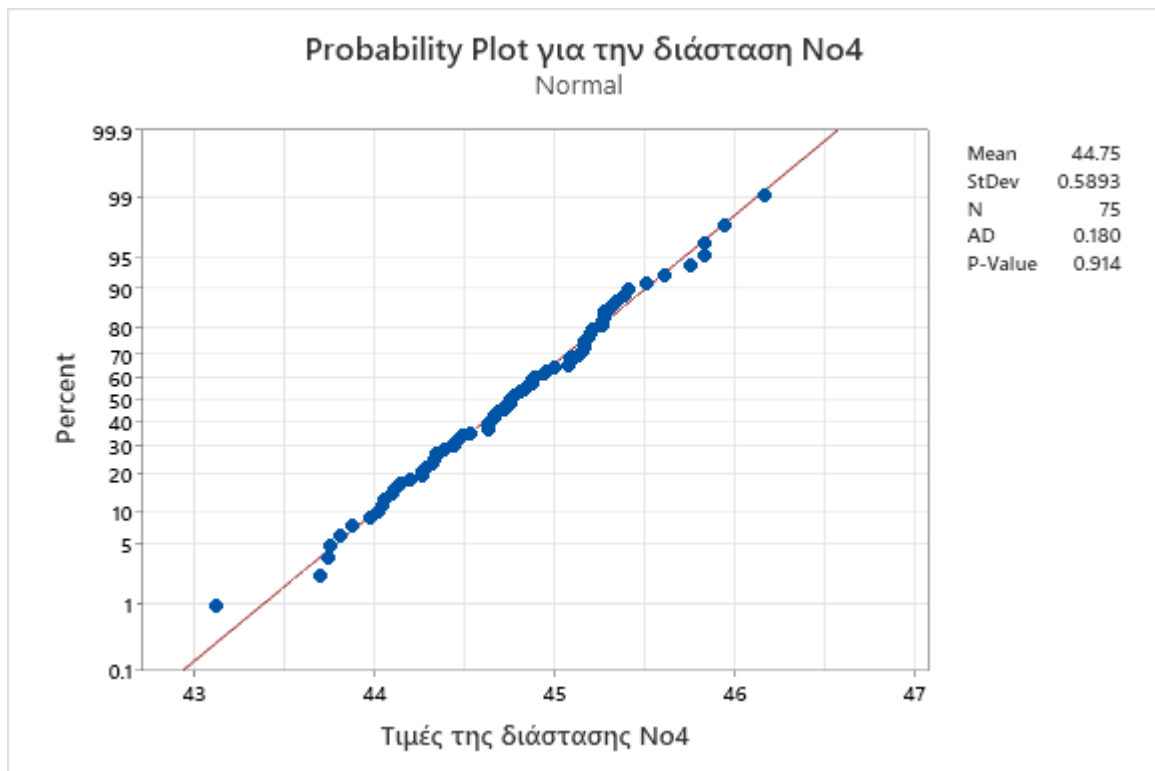


Σχήμα 24: Διαγράμματα μέσης τιμής και εύρους πριν την βελτίωση

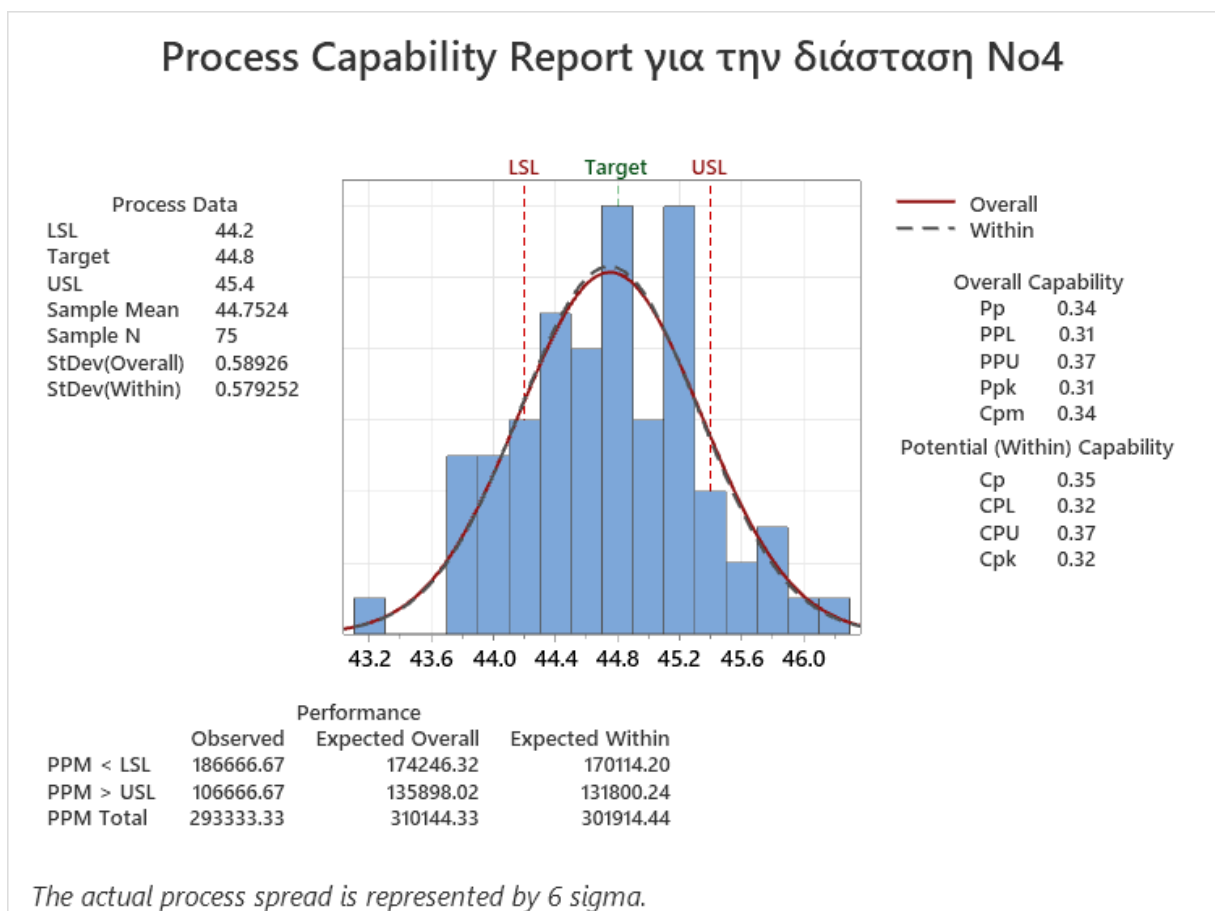
Παρατηρούμε πως και στα δυο διαγράμματα η τιμές των \bar{x} αλλά και των R, βρίσκονται μέσα στα ανώτερα και κατώτερα όρια, οπότε η διαδικασία είναι υπό στατιστικό έλεγχο.

Επίσης θα χρειαστεί να διαπιστώσουμε αν τα δεδομένα μας έχουν κανονική κατανομή, για αυτόν τον λόγο θα χρησιμοποιήσουμε την επιλογή του Minitab normal test. Έπειτα θα υπολογίσουμε τον δείκτη C_p , προκειμένου να διαπιστώσουμε αν η διαδικασία είναι ικανοποιητική καθώς και ποια είναι η υφιστάμενη κατάσταση.

Μεταφέροντας τα παραπάνω δεδομένα μας στο πρόγραμμα Minitab έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα.



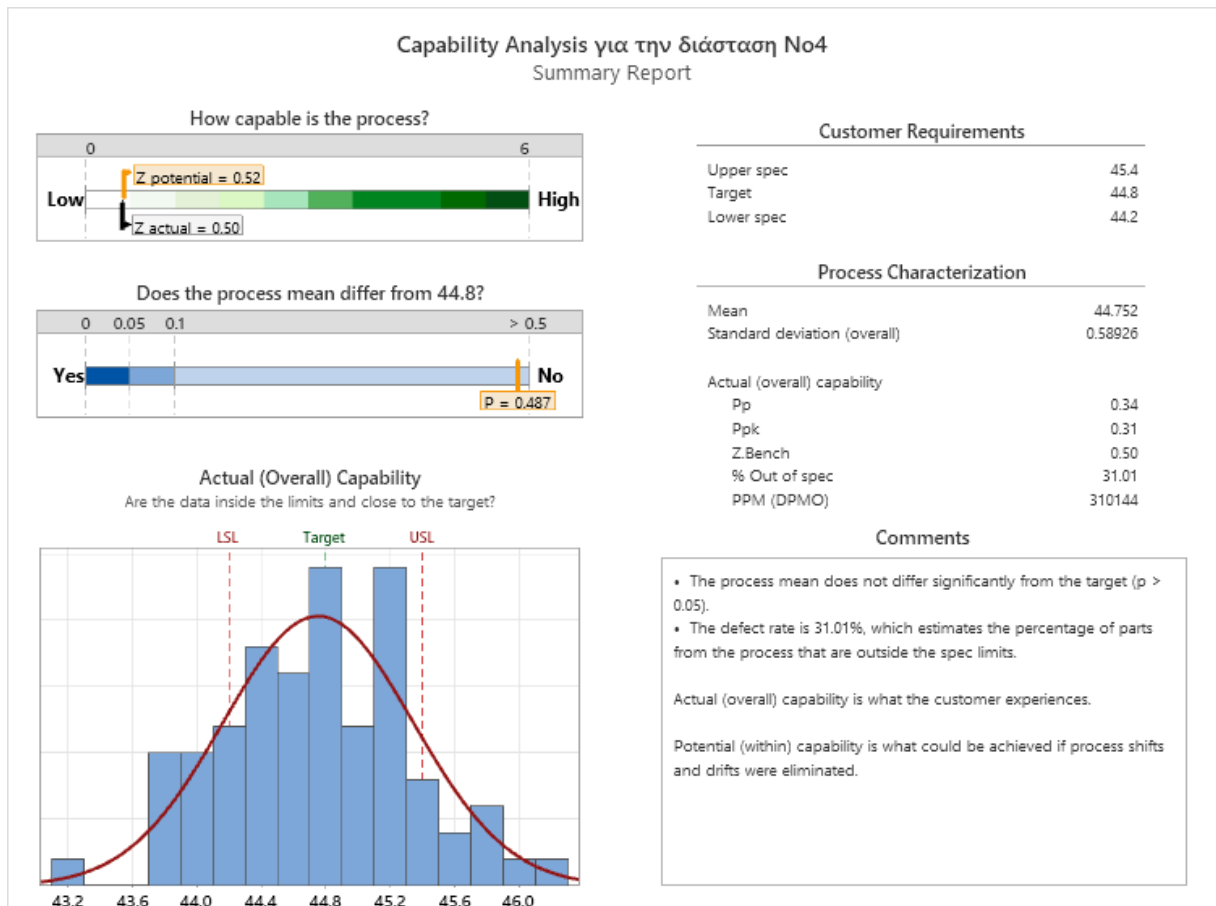
Σχήμα 25: Διάγραμμα κανονικής κατανομής πριν την βελτίωση



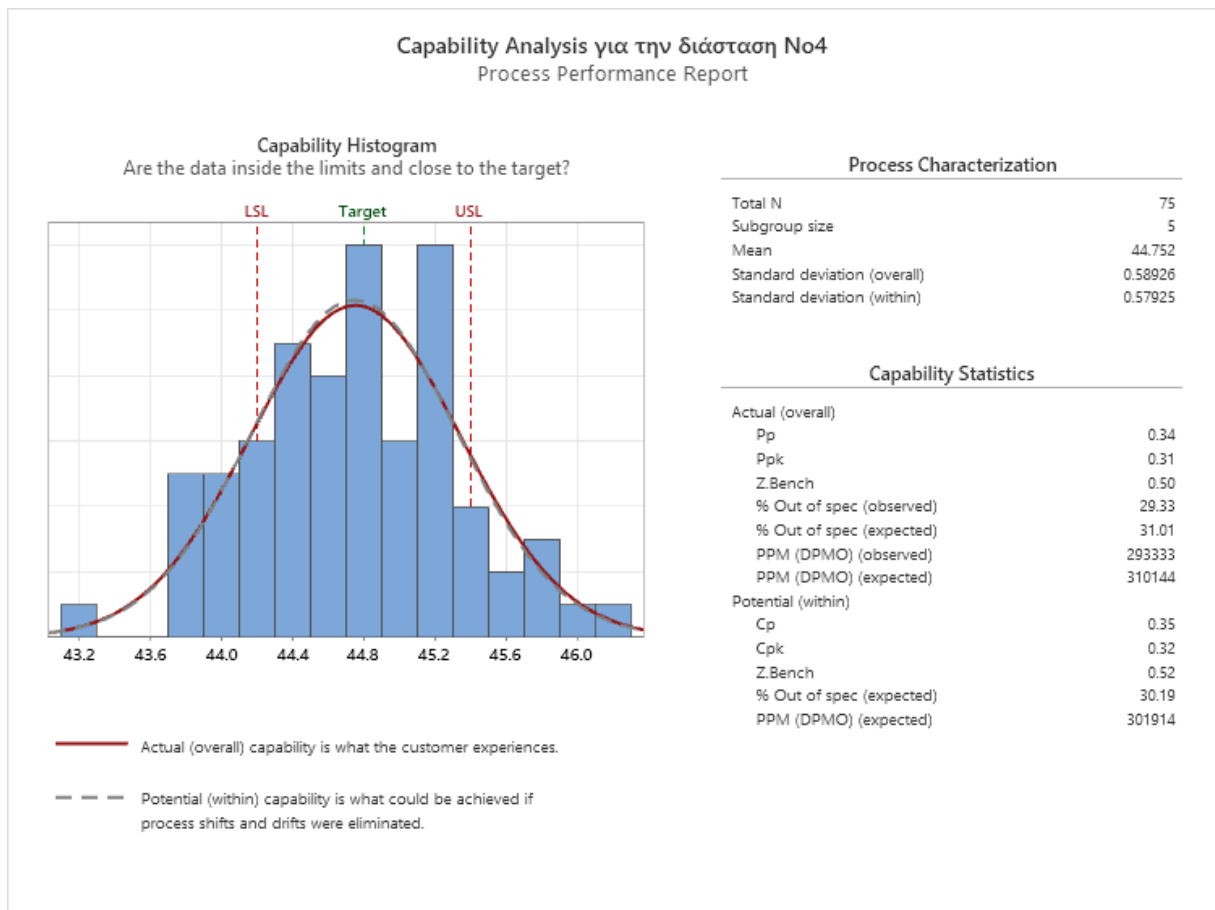
Σχήμα 26: Διάγραμμα ικανότητας διαδικασίας πριν την βελτίωση

Σύμφωνα με το πρώτο διάγραμμα η κατανομή μας είναι κανονική, οπότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο $\text{Sigma level} = 3 * Cpk + 1,5$ για να βρούμε το Sigma Level. Επίσης τα αποτελέσματα από το διάγραμμα ικανότητας της διαδικασίας έχουμε τα παρακάτω στοιχεία.

- $Cp = 0,35 < 1$
- $\text{Sigma level} = 3 * Cpk + 1,5 = 2,46$
- $DPMO = 310144,33$
- $\text{Defects per 1t} = \frac{DPMO}{1000000} = 0,31014$
- Και ο ρυθμός ελαττωματικών = $(\text{Defects per 1t}) * 100 = 31,014\%$



Σχήμα 27: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας πριν την βελτίωση



Σχήμα 28: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας πριν την βελτίωση (συνέχεια)

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα έχουμε τα συμπεράσματα:

- $Cp < 1$ σημαίνει πως στην διαδικασία μας υπάρχουν μετρήσεις οι οποίες είναι εκτός των ορίων και πρέπει να απορριφθούν γιατί είναι σκάρτα. (η διαδικασία δεν είναι ικανοποιητική)
- Σε κάθε τόνο αλουμινίου που θα γίνεται διέλαση θα βρίσκουμε 0,31014 διαστάσεις οι οποίες θα είναι εκτός ορίων των ανοχών που έχει δοθεί από τον πελάτη. Ο ρυθμός παραγωγής τέτοιων προφίλ ισούται με 31,014%

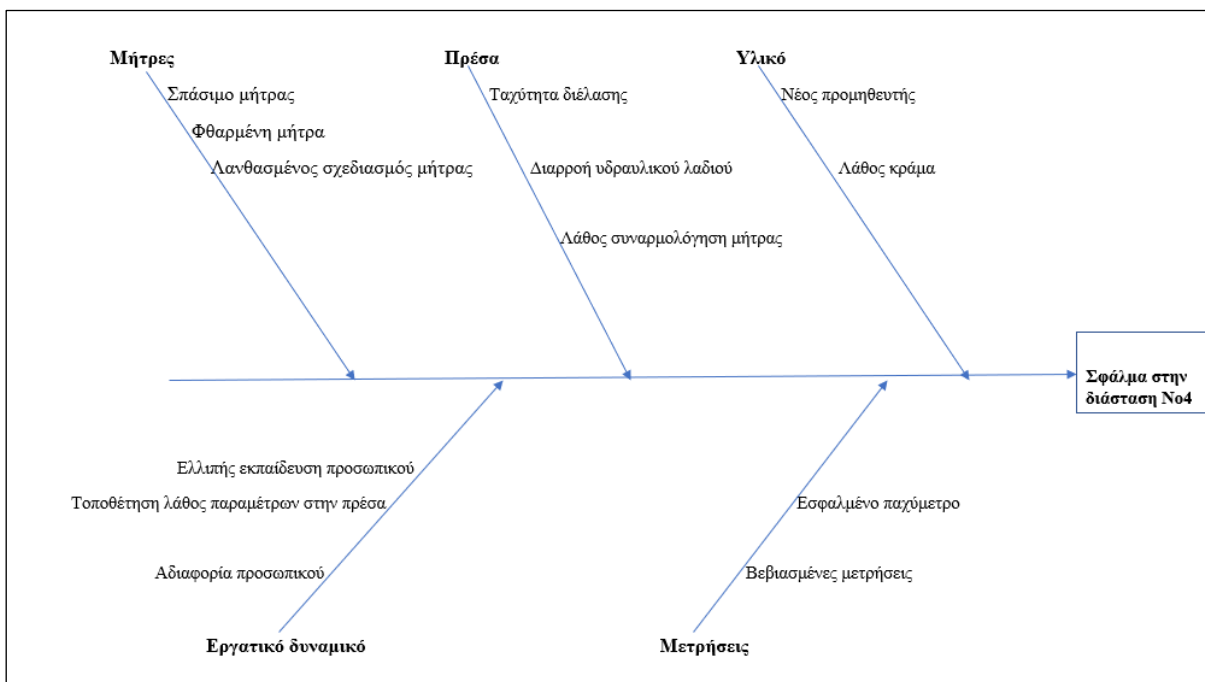
6.4 Βήμα ANALYZE (ανάλυσης)

Αυτή η φάση περιλαμβάνει το διάγραμμα αιτίου και αποτελέσματος και τον πίνακα αποφάσεων, ως εργαλεία για την ανάλυση των προηγούμενων αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη φάση μέτρησης, για το ελάττωμα της διάστασης Νο4.

Η ανάλυση των αιτών και αποτελεσμάτων για την συμπλήρωση του διαγράμματος έγινε με ερωτηματολόγιο. Οι ερωτήσεις ανακοινώθηκαν σε διάφορα άτομα από την εταιρία, ξεχωριστά το καθένα, ώστε οι απαντήσεις να είναι αντικειμενικές. Για τον λόγο αυτό έγινε διαλογή του προσωπικού και ο κάθε εργαζόμενος επιλέχθηκε για συγκεκριμένο σκοπό. Έτσι το προσωπικό που έλαβε μέρος στην διαδικασία αυτή ήταν ο υπεύθυνος ποιοτικού ελέγχου, ο εργοδηγός διέλασης, ο υπεύθυνος

κατασκευής μητρών, ένας κατασκευαστής μητρών, ο υπεύθυνος της διέλασης και ένας συντηρητής. Οι απαντήσεις που δόθηκαν πρόσφεραν μια σφαιρική άποψη για τα αίτια του προβλήματος, καθώς ο κάθε εργαζόμενος εργάζεται σε ξεχωριστό τμήμα και αντιμετωπίζει το πρόβλημα από διαφορετική οπτική γωνία.

Η ερώτηση που έγινε σε όλους ήταν η ίδια και αφορούσε ποια πιστεύουν πως είναι η αιτία και η διάσταση Νο4 είναι εκτός των ανοχών. Κατά την διάρκεια της συνέντευξης αυτής, δεν ενημερώθηκε κανένας συμμετέχων σχετικά με τις απαντήσεις που έχουν δώσει τα άλλα μέλη της ομάδας. Έπειτα τα δεδομένα συνοψίστηκαν και δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα αιτίου-αποτελέσματος.



Σχήμα 29: Διάγραμμα αιτίου αποτελέσματος

Μετά από την σχεδίαση του διαγράμματος, συνέχεια είχε η εύρεση της πιθανής λύσης σχετικά με την αστοχία της διάστασης Νο4. Όπως γνωρίζουμε από το σχέδιο του προφίλ, είναι σε σχήμα Π με τέσσερις κρίσιμες διαστάσεις. Η διάσταση Νο4 έχει τις μετρήσεις τις στο κάτω όριο της ανοχής της. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί το προφίλ "κλείνει". Ένα προφίλ μπορεί να χάσει την εσωτερική του διάσταση, συνήθως λόγω μεγαλύτερης δύναμης στην τάνυση, λόγω υψηλής και απότομης ψύξης του κατά την διάρκεια της διέλασης, καθώς αν γίνει η διέλαση του χωρίς την χρήση των υποστηρικτικών γραφιδών.

Πρώτα όμως θα χρειαστεί να γίνει μια περιγραφή, σχετικά με το πρόβλημα που υπάρχει στην διάσταση Νο4. Το συγκεκριμένο προφίλ χρησιμοποιείται από τον πελάτη ως βάση για φωτιστικά σώματα, στερεωμένα στο ταβάνι. Το άνοιγμα του προφίλ έχει τις κατάλληλες διαστάσεις ώστε να μπει ταινία Led και να μπορέσει έπειτα να συρταρώσει το καπάκι του φωτιστικού. Αν το άνοιγμα δεν είναι στις σωστές διαστάσεις, το καπάκι δεν θα μπορέσει να εγκατασταθεί σωστά και δεν θα στερεωθεί, με αποτέλεσμα το φωτιστικό να μην έχει τη σωστή του μορφή. Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να λυθεί με "κλείσιμο" του προφίλ, το οποίο μπορεί να γίνει με την τοποθέτηση του προφίλ σε μηχάνημα με ράουλα, το οποίο πιέζει και τις δυο πλευρές, ώστε αυτές να κλείσουν για να μειωθεί το άνοιγμα, σε επιτρεπτά όρια. Η διορθωτική αυτή κίνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί στην εξεταζόμενη επιχείρηση, αλλά πολλές φορές υπάρχει κίνδυνος τα προφίλ να πληγωθούν από τα ράουλα, λόγω υπερβολικής πίεσης, ελλείψεις καθαριότητας τους ή η διαδικασία αυτή να αφήσει

σημάδια στην φαίνουσα επιφάνεια του προφίλ, που θα χρειαστεί μετέπειτα επιπλέον επιδιόρθωση (τρίψιμο με βούρτσα κ.α.)

Επίσης αν το πρόβλημα αυτό διαπιστωθεί στον πελάτη, ο οποίος εδρεύει στο εξωτερικό, θα χρειαστεί ολόκληρη η παρτίδα να επιστραφεί στην εταιρία. Αυτό εμπεριέχει αρκετούς κινδύνους καθώς η τοποθέτηση των προφίλ αλουμινίου σε ένα φορτηγό γίνεται με συγκεκριμένη διαδικασία. Έχει διαπιστωθεί πολλές φορές, πως όταν γίνονται επιστροφές ελλαττωματικών προϊόντων από τους πελάτες, για προβλήματα τα οποία μπορούν να επιδιορθωθούν στις εγκαταστάσεις της εταιρίας, η κατάσταση τους όταν παραλαμβάνονται δεν είναι καλή, με αποτέλεσμα πολλά από τα προφίλ να καταστρέφονται κατά την μεταφορά τους.

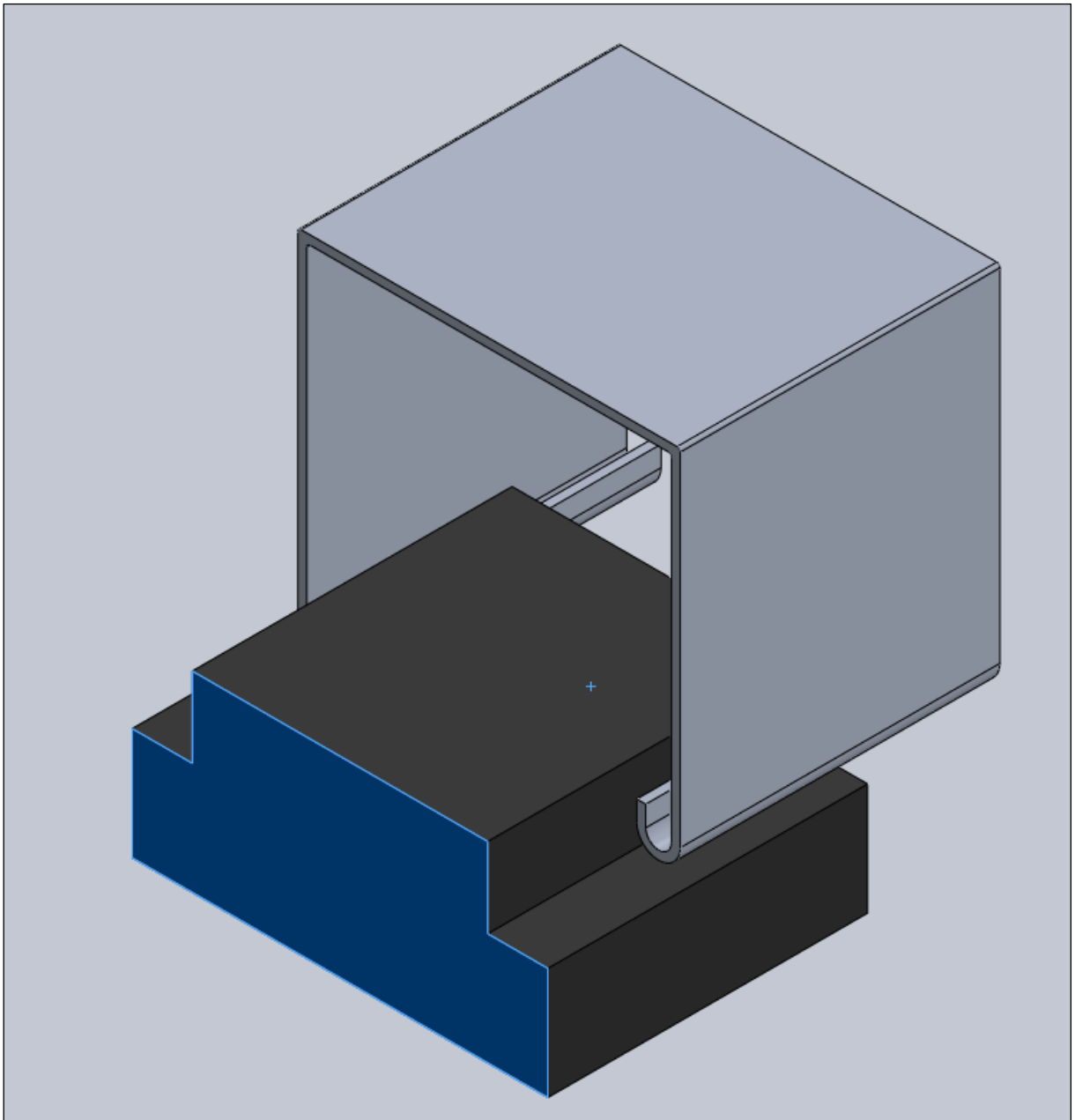
Η επιστροφή προϊόντων προς επισκευή, αποτελεί μεγάλο κόστος για όλες τις εταιρίες. Εκτός από τα μεταφορικά έξοδα που θα χρειαστεί να πληρώσουν, διακινδυνεύουν και την κατάσταση των προϊόντων καθώς τις περισσότερες φορές, η συσκευασία που πραγματοποιείται από τους πελάτες, είναι ελλιπής και πρόχειρη. Για τους παραπάνω λόγους η λύση της επιστροφής των παραγγελιών από τους πελάτες, πραγματοποιούνται κατόπιν συνεννόησης και είναι πολλές φορές σπάνιες.

Αφού πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση στα σχέδια της μήτρας, στο κατασκευαστικό τμήμα καθώς και στην διέλαση διαπιστώθηκε πως ο γραφίτης για το συγκεκριμένο προφίλ δεν είχε κατασκευαστεί και η παραγωγή του προφίλ γινόταν χωρίς αυτόν. Η κίνηση αυτή ήταν κρίσιμης σημασίας, καθώς στο παρελθόν για μείωση του κόστους παραγωγής του συγκεκριμένου προφίλ, είχαν ξεκινήσει δοκιμές στην διέλαση, για παραγωγή χωρίς γραφίτη. Παράλληλα με αυτό πραγματοποιήθηκε έλεγχος σε παρόμοια προφίλ, ίδιας μορφής για να διαπιστωθεί αν υπάρχει ο υποστηρικτικός γραφίτης και αν χρησιμοποιείται.

Ο γραφίτης είναι ένα υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται για να διατηρήσει μερικές διαστάσεις σταθερές και να τις εμποδίσει να "κλείσουν" κατά την διάρκεια της διέλασης. Τοποθετείται στα πρώτα μέτρα του διελάσματος μετά την μήτρα και ο αριθμός τους ποικίλει, ανάλογα με την μορφή του προφίλ.

6.5 Βήμα Improve (βελτίωσης)

Σε αυτό το βήμα πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του γραφίτη στην φρέζα που διαθέτει η επιχείρηση. Το σχέδιο του πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την διάσταση Νο4, καθώς αυτό το άνοιγμα θα διασφαλιστεί ώστε να είναι εντός των ανοχών. Η συγκεκριμένη μήτρα έχει δυο οπές εξόδου διελάσματος, άρα κατασκευάστηκαν τουλάχιστον τέσσερις γραφίτες, σε διάφορα μήκη. Παρακάτω εμφανίζεται το σχέδιο του γραφίτη και η συναρμογή του με το προφίλ αλουμινίου.



Σχήμα 30: Συνεργασία γραφίτη-προφίλ αλουμινίου κατά την κατασκευή του πρώτου.
Πηγή: Εξεταζόμενη επιχείρηση

6.6 Βήμα Control (Έλεγχος)

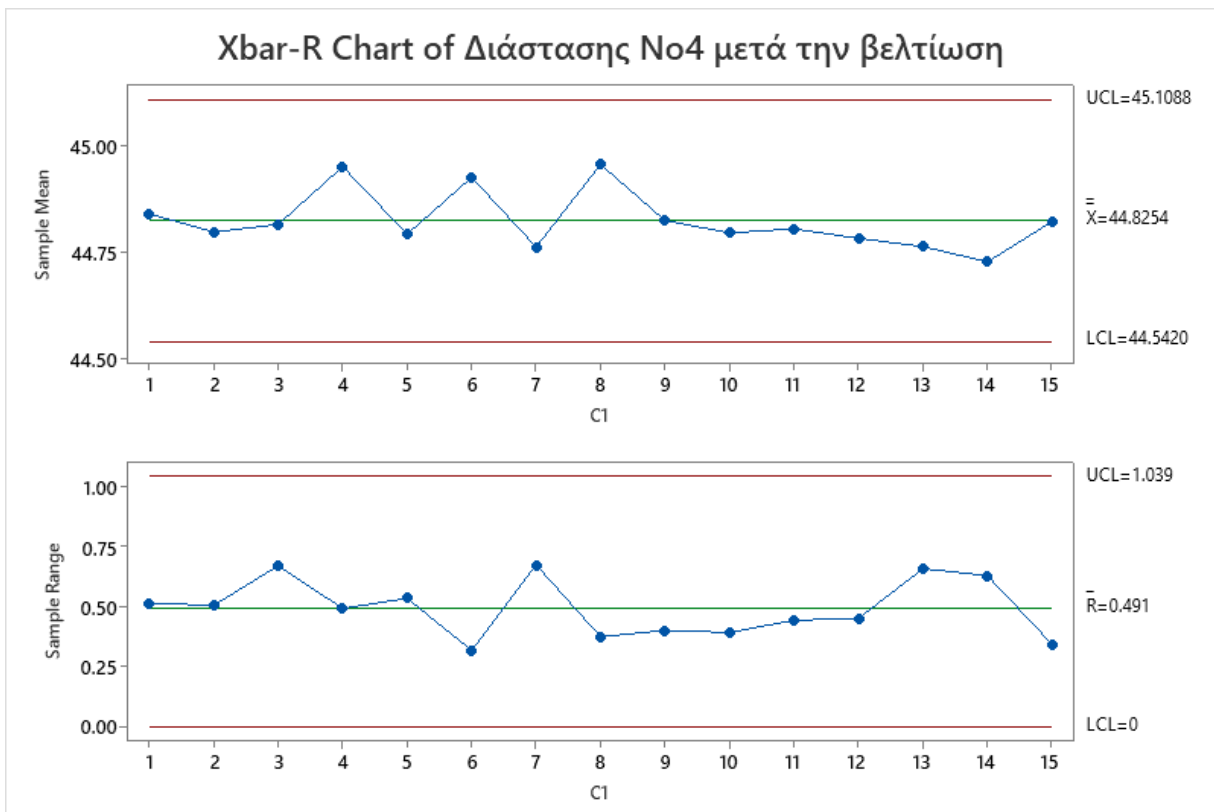
Κατόπιν της κατασκευής του γραφίτη, την ενημέρωση του χειριστή της πρέσας, καθώς και την καταγραφή της οδηγίας στο συνοδευτικό δελτίο της μήτρας, πραγματοποιήθηκε η παραγωγή του προφίλ. Στην αρχή η ταχύτητα διέλασης ήταν μικρότερη από την κανονική, ώστε να διασφαλιστεί πως δεν θα υπάρξει κάποιο διαφορετικό πρόβλημα. Αφού στο πρώτο διέλασμα δεν παρατηρήθηκε κάποιο πρόβλημα, η ταχύτητα επανήλθε, σύμφωνα με τις οδηγίες του συνοδού δελτίου της μήτρας. Έπειτα πάρθηκαν οι μετρήσεις για την διάσταση No4, από δείγματα ισόποσα όπως πραγματοποιήθηκε στην φάση της μέτρησης.

Παρακάτω εμφανίζονται οι μετρήσεις της διάστασης No4, μετά την βελτιωτική κίνηση, που πραγματοποιήθηκε.

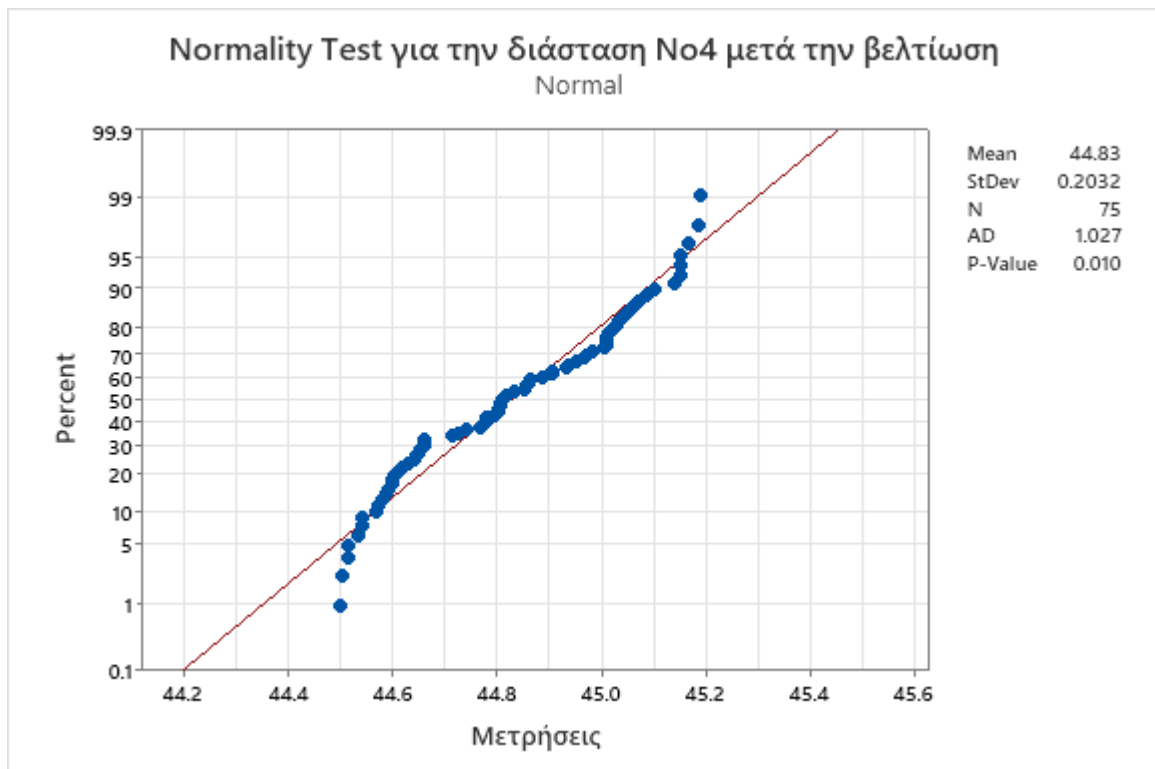
Δείγμα	Μετρήσεις σε mm				
1	44,80	44,81	45,08	44,57	44,94
2	44,78	44,60	44,71	44,81	45,10
3	44,50	45,17	44,80	44,65	44,97
4	45,07	44,86	45,15	44,66	45,02
5	44,81	45,03	45,03	44,59	44,50
6	44,74	45,06	45,01	44,97	44,85
7	44,51	44,81	44,66	44,65	45,19
8	44,80	44,91	45,15	45,15	44,78
9	44,77	44,64	45,01	45,04	44,66
10	44,65	45,01	44,98	44,62	44,72
11	44,57	44,82	44,63	45,01	45,01
12	44,60	45,05	44,78	44,89	44,60
13	44,93	45,19	44,53	44,58	44,59
14	44,51	44,90	44,54	45,14	44,54
15	44,87	44,61	44,95	44,86	44,83

Πίνακας 9: Μετρήσεις διάστασης Νο4 μετά την βελτίωση

Στην συνέχεια με την χρήση του Minitab δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα μέσης τιμής και εύρους, ελέγχου κατανομής και ικανότητας διαδικασίας.

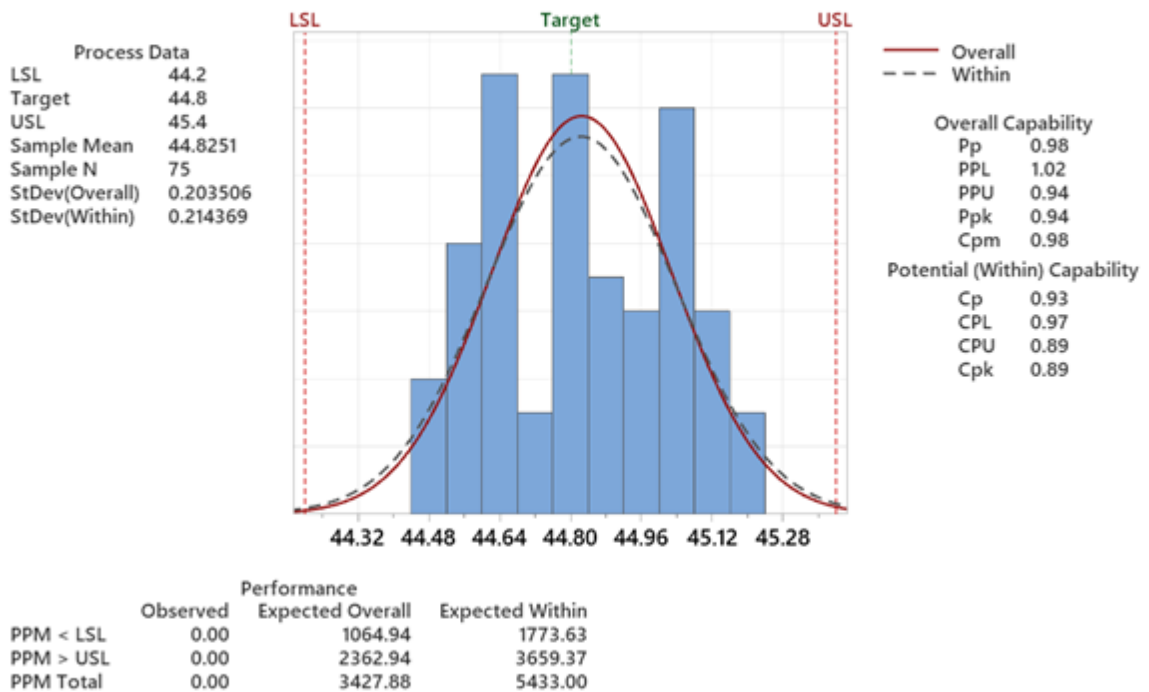


Σχήμα 31: Διάγραμμα μέσης τιμής και εύρους μετά την βελτίωση



Σχήμα 32: Διάγραμμα κανονικής κατανομής μετά την βελτίωση

Process Capability Report

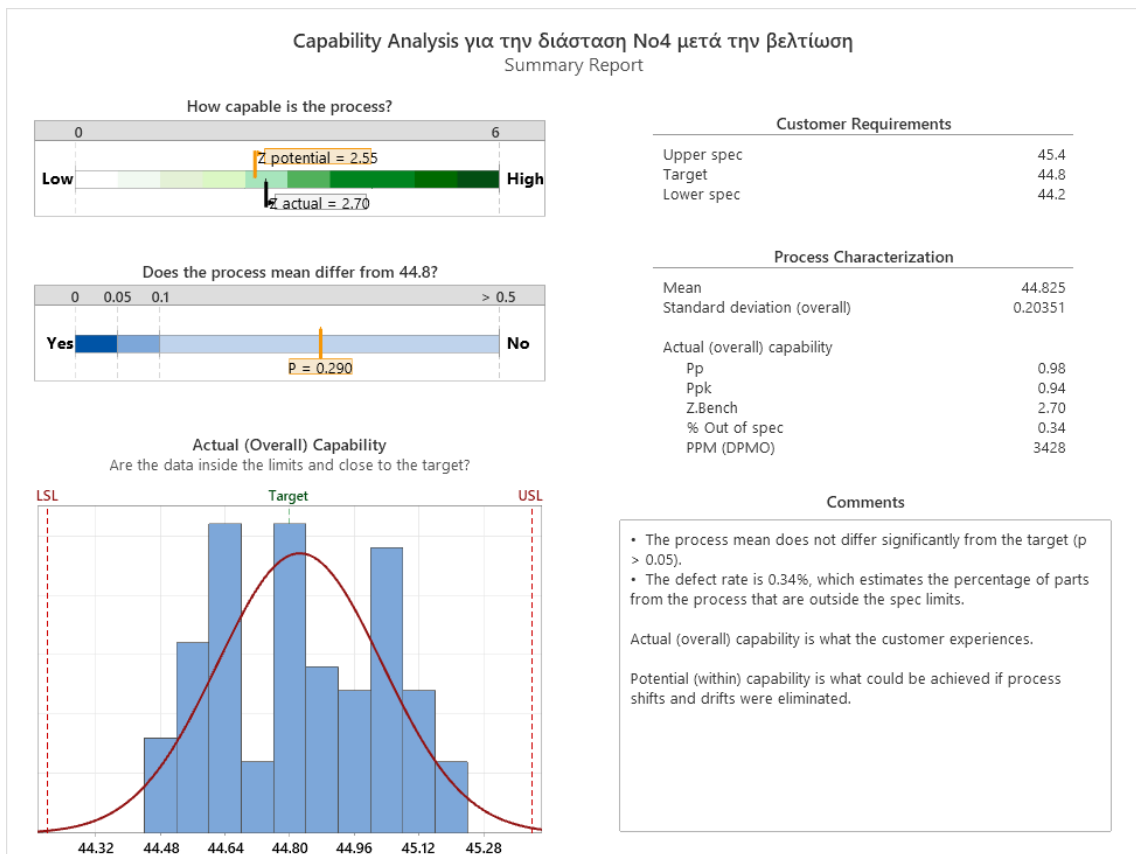


The actual process spread is represented by 6 sigma.

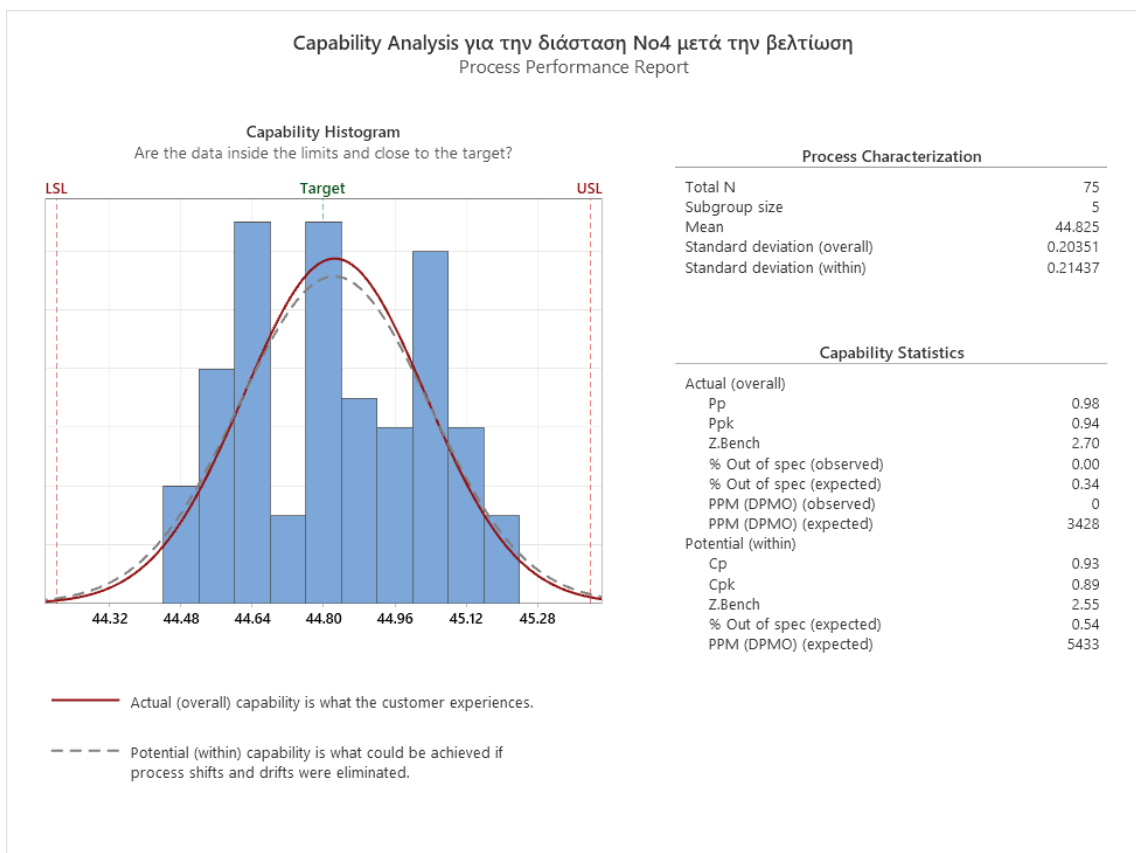
Σχήμα 33: Διάγραμμα ικανότητας διαδικασίας μετά την βελτίωση

Σύμφωνα με το πρώτο διάγραμμα η κατανομή μας είναι κανονική, οπότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο $Sigma\ level = 3 * Cpk + 1,5$ για να βρούμε το Sigma Level. Επίσης τα αποτελέσματα από το διάγραμμα ικανότητας της διαδικασίας έχουμε τα παρακάτω στοιχεία.

- $Cp = 0,93 < 1$
- $Sigma\ level = 3 * Cpk + 1,5 = 4,17$
- $DPMO = 3427,88$
- $Defects\ per\ 1t = \frac{DPMO}{1000000} = 0,00342788$
- Και ο ρυθμός ελαττωματικών = $(Defects\ per\ 1t) * 100 = 0,3427\%$



Σχήμα 34: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας μετά την βελτίωση

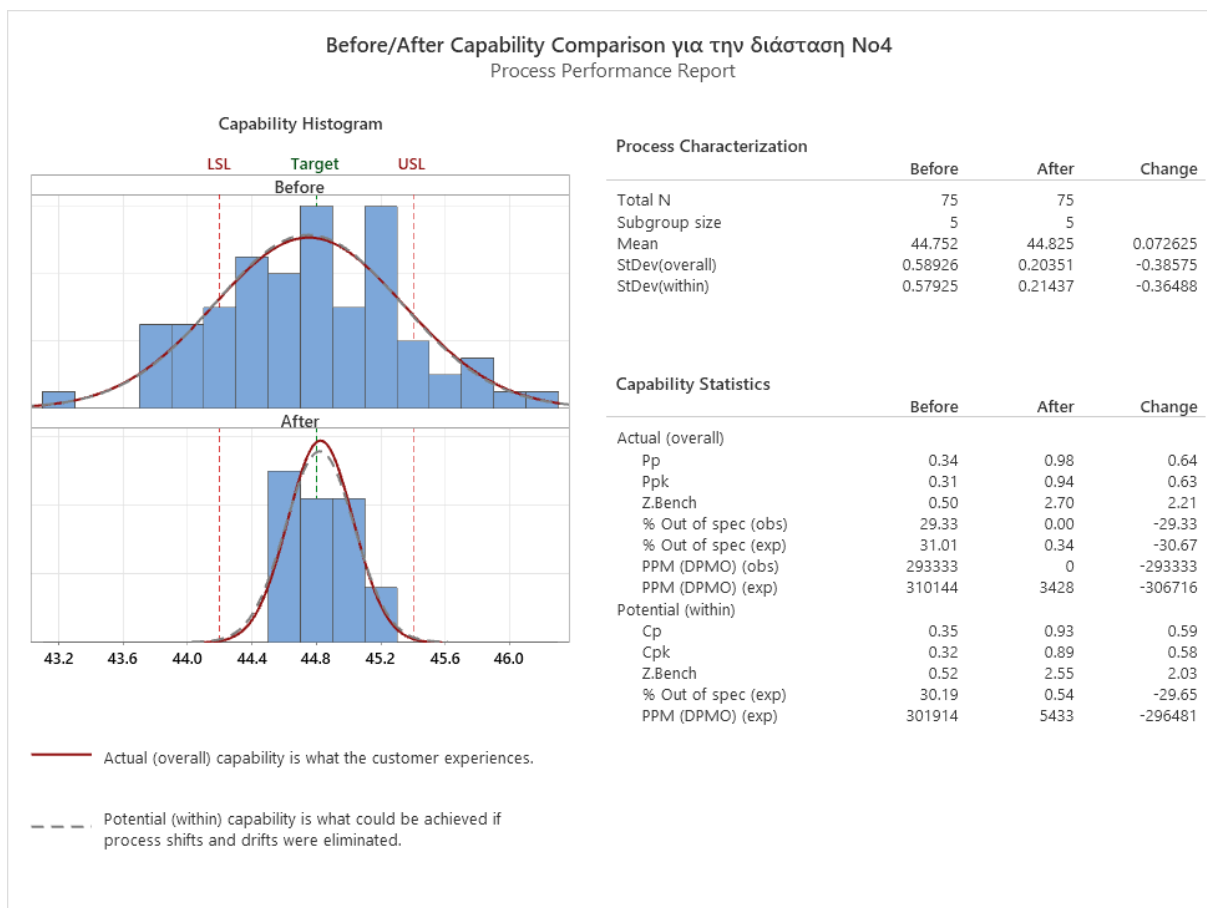


Σχήμα 35: Ανάλυση ικανότητας διαδικασίας μετά την βελτίωση (συνέχεια)

Ανακεφαλαιώνοντας τα αποτελέσματα μετά την βελτίωση:

- Παρατηρείται πως η διαδικασία βρίσκεται υπό στατιστικό έλεγχο
- Η κατανομή των μετρήσεων παραμένει σταθερή
- Η διαδικασία δεν είναι πλήρης ικανοποιητική, αλλά είναι πάρα πολύ κοντά στο να γίνει, αφού το νέο C_p είναι πολύ κοντά στο 1, με τιμή 0,93.

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα προς σύγκριση, για τα στοιχεία πριν και μετά την βελτίωση.



Σχήμα 36: Σύγκριση διαδικασίας πριν και μετά την βελτίωση

Μετρήσεις διαδικασιών	Πριν την βελτίωση	Μετά την βελτίωση	Ποσοστό βελτίωσης
Mean	44,752	44,8254	0,16%
Standar deviation	0,58926	0,203189	65,52%
C_p	0,35	0,93	165,71%
C_{pk}	0,32	0,89	178,13%
Sigma level	2,46	4,17	69,51%
DPMO	310.144,33	3.427,88	98,89%
Defects per 1tn	0,31	0,00342788	98,89%
Process yield (Y)	68,99%	99,66%	44,47%
Defect rate	31,01%	0,34%	98,91%

Πίνακας 10: Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την βελτίωση

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα μετά την βελτιωτική κίνηση

7.1 Περίληψη μελέτης που πραγματοποιήθηκε και αποτελέσματα

Μια σύντομη ανακεφαλαίωση ολόκληρης της μελέτης παρέχεται σε αυτό το κεφάλαιο. Ο κύριος στόχος της εργασίας ήταν η μελέτη εφαρμογής της μεθοδολογίας Lean Six Sigma, η οποία εστιάζει στην συλλογή και ανάλυση δεδομένων, μέσω συγκεκριμένων στατιστικών εργαλείων για την ελαχιστοποίηση της μεταβλητότητας και κατ' επέκταση την βελτίωση όλων των διεργασιών. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε για την διάσταση No4, και την χρήση στατιστικών στοιχείων που έχει στην κατοχή της η εταιρία.

Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία πάρθηκαν από το μηχάνημα μέτρησης διαστάσεων που έχει στην κατοχή της η επιχείρηση, προκειμένου από τα αποτελέσματα να εξαλειφθεί το ανθρώπινο σφάλμα. Επίσης η εγκυρότητα των μετρήσεων του μηχανήματος είχε διασφαλιστεί από εξωτερική εταιρία, που είχε ελέγξει και πιστοποιήσει την εγκυρότητα των μετρήσεων στο παρελθόν (ένα μήνα πριν την σύνταξη της διπλωματικής εργασίας).

Σε πρώτο στάδιο δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα Pareto, προκειμένου να γίνει αντιληπτό, ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η εταιρία και σαφώς φέρνει μείωση της εμπιστοσύνης των πελατών αλλά και μείωση κερδών. Με τον ίδιο τρόπο βρέθηκε ο πελάτης που αντιμετωπίζει το μεγαλύτερο πρόβλημα με τα διαστασιολογικά προβλήματα και τέλος το προφίλ με τα περισσότερα προβλήματα.

Στην συνέχεια με χρήση χαρτών ελέγχου μέσης τιμής και εύρους, διαπιστώθηκε πως η διαδικασία βρίσκεται στα προκαθορισμένα όρια και υπόκειται σε στατιστικό έλεγχο. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την κατανομή των μετρήσεων, αν είναι κανονική και τέλος δημιουργήθηκε το διάγραμμα της ικανότητας της διαδικασίας, για να παρθούν πολύτιμα συμπεράσματα σχετικά με την διαδικασία που ακολουθείται και σε πιο επίπεδο βρίσκεται.

Μετά την ανασκόπηση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε πως η διαδικασία δεν είναι ικανή να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές του πελάτη, καθώς το $Cp < 1$. Επίσης το επίπεδο σ της διαδικασίας είναι 2,46. Επίσης σύμφωνα με το διάγραμμα της ικανότητας της διαδικασίας, παρατηρούμε πως υπάρχουν αρκετές μετρήσεις της διάστασης No4 οι οποίες είναι στο ελάχιστο όριο της ανοχής της (στην περίπτωση μας LSL).

Στο επόμενο βήμα έγινε ανάλυση αιτίου αποτελέσματος με την δημιουργία της ομάδας και με τα αποτελέσματα των συνεντεύξεων πάρθηκαν κρίσιμα συμπεράσματα για την πορεία της διαδικασίας. Η βελτιωτική κίνηση, σύμφωνα και με την τεχνική υποστήριξη που υπήρχε από άλλα προφίλ αλουμινίου, παρόμοιας μορφής, ήταν η κατασκευή υποστηρικτικού γραφίτη, προκειμένου να διασφαλιστούν οι τιμές της διάστασης No4.



Σχήμα 37: Χρήση γραφίτη κατά την διέλαση αλουμινίου.
Πηγή: Εξεταζόμενη επιχείρηση

Έπειτα πάρθηκαν μετρήσεις ξανά για την διάσταση No4, από δείγματα που παράχθηκαν με τον υποστηρικτικό γραφίτη και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως. Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική βελτίωση της διαδικασίας, με $C_p=0,93$, η οποία βέβαια δεν είναι πλήρως ικανοποιητική (εξακολουθεί να είναι μικρότερη του 1). Το επίπεδο σ αυξήθηκε στο 4,17 το οποίο είναι πολύ σημαντικό καθώς πλέον για 1 τόνο αλουμινίου που χρησιμοποιείται στη διέλαση, παρουσιάζονται 0,0034 διαστάσεις εκτός προδιαγραφών.

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο, με την συνεχή παρατήρηση των τιμών για την διάσταση No4, καθώς και με την μελέτη-κατασκευή καινούργιας μορφής γραφίτη, που θα ικανοποιεί ακόμη περισσότερο τις ανοχές της διάστασης No4. Επίσης σημαντικό είναι να αναφερθεί πως ο γραφίτης είναι αναλώσιμος και ανά τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου 2 μήνες) πρέπει να γίνεται η αντικατάστασή του, καθώς με την τριβή που υπάρχει με το διέλασμα του αλουμινίου, χάνει τις διαστάσεις του, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά.

Το ίδιο εργαλείο (DMAIC), μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και σε άλλα στάδια της παραγωγής της εταιρίας, προκειμένου να λυθούν πιθανά προβλήματα, όπως με τις φορτώσεις, στο τμήμα της συσκευασίας κ.α.

Τα στατιστικά εργαλεία της μεθοδολογίας Lean Six Sigma δεν αποτελούν μόνο ένα σύνολο εργαλείων. Είναι μια στρατηγική για τη μείωση της μεταβλητότητας και των αιτιών που οδηγούν στα περισσότερα προβλήματα. Αυτό επιτυγχάνεται μελετώντας όλες τις πτυχές της διαδικασίας με στόχο την περισσότερο σταθερή και καλά ορισμένη διεργασία.

Κλείνοντας, θα πρέπει να γίνει αντιληπτό από τις εταιρίες, σε μεγαλύτερο βαθμό, πως η ποιότητα δεν είναι κάτι θεωρητικό. Υπάρχει εδώ και χρόνια με σημαντικά αποτελέσματα, όπως έχει φανεί από το παρελθόν (περίπτωση της Toyota, Motorola General Electric κ.α.). Σε κρίσιμους καιρούς, που τα πάγια έξοδα μιας επιχείρησης αυξάνονται συνέχεια, όπως επίσης και οι τιμές των πρώτων υλών, μοναδικός τρόπος για να γίνει μια επιχείρηση ανταγωνιστική, σε παγκόσμιο επίπεδο πλέον, είναι η αύξηση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων της. Η υιοθέτηση μιας κουλτούρας που θα εξελίσσεται μέρα με την ημέρα, με την σταθερή υποστήριξη της διοίκησης, θα επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα στους τομείς της οικονομικής βελτίωσης της, καθώς και στην ικανοποίηση των πελατών αλλά και των εργαζομένων της.

Βιβλιογραφία

- Antony, J., 2008. Reflective practice: can Six Sigma be effectively implemented in SMEs?. *International Journal of Productivity and Performance Management*, June, pp. 420-423.
- Araman, H. & Saleh, Y., 2022. A Case Study on Implementing Lean Six Sigma: DMAIC Methodology in Aluminium Profiles Extrusion Process. *The TQM Journal*, 18 January.
- Arnheiter, E. D. & Maleyeff, J., 2005. *The integration of lean management and Six Sigma*, s.l.: s.n.
- Bank, J., 2000. *Αρχές, Στρατηγικές, Εφαρμογές του Μανατζμεντ Ολικής Ποιότητας*. Αθήνα: Β. ΓΚΙΟΥΡΔΑΣ ΕΚΔΟΤΙΚΗ.
- Black, K. & Revere, L., 2006. Six Sigma Arises From the Ashes of TQM With a Twist. *Int J Health Care Qual Assur Inc Leadersh Health Serv*, Vol.19 No.3, pp. 259-266.
- Bothe, R. D., 1997. *Measuring Process Capability*. New York: McGraw-Hill.
- Chattrjee, B., 2014. *Applying Lean Six Sigma in the Pharmaceutical Industry*. Surrey, England: Gower Publishing Limited.
- Deming, E. W., 2000. *The New Economics for Industry, Government, Education*. Second Edition επιμ. Cambridge: MIT Press.
- Devane, T., 2004. *Intergrating Lean Six Sigma and High-Performance Organizations*. San Francisco: Pfeiffer.
- Dove, R., 1999. Knowledge Management, Response Ability, and the Agile Enterprise. *Journal of Knowledge Management, Vol. 3 No. 1, 18-35*, pp. 18-35.
- Drohomeretski, E., Gouvea da Costa, S. E., Pinheiro de Lima, E. & Andrea da Rosa Garbuio, P., 2014. Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy. *International Journal of Production Research*, February, pp. 804-824.
- Evans, J. R. & Lindsay, W. M., 2015. *An Introduction To six Sigma & Process Improvement*. Second Edition επιμ. Stamford: Cengage Learning.
- Evans, J. R. & Lindsay, W. M., 2019. *Managing for Quality and Performance Excellence*. Eleventh Edition επιμ. Boston: Cengage.
- Harry, M. J. και συν., 2010. *Practitioner's Guide to Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvements*. First Edition επιμ. New Jersey: Wiley & Sons.
- Jeffrey, L. K., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.
- Jeffrey, L. K., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.

- Jones, E. C., 2014. *Quality Management for Organizations Using Lean Six Sigma Techniques*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Keitan, H. & Nassir, M., 2016. Aluminium Hot Extrusion Process Capability Improvement Using Six Sigma. *Advances In Production Engineering & Management*, March, pp. 59-69.
- Kotz, S. & Johnson, N. L., 1993. *Process Capability Indices*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Lawton, B., 2009. *Lean Six Sigma Using SigmaXL and Minitab*. New York: McGraw-Hill.
- Michael, G. L., Rowlands, D., Price, M. & Maxey, J., 2005. *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. New York: McGraw-Hill.
- Mike, G., Rowlands, D. & Kastle, B., 2004. *What is Lean Six Sigma?*. New York: McGraw-Hill.
- Pande, P. S., Neuman, R. P. & Cavanagh, R. R., 2008. *Το σύστημα έξι σίγμα*. Πρώτη έκδοση επιμ. Αθήνα: Πατάκη.
- Pascal, D., 2015. *Lean Production Simplified*. Third Edition επιμ. Boca Raton: CRC Press.
- Polhemus, N. W., 2017. *Process Capability Analysis, Estimating Quality*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Ramaswamy, R., 2007. *Integrating Lean and Six Sigma Methodologies for Business Excellence*, s.l.: Oriel incorporated, a Sam Group Company.
- Sadraoui, T., Fayza, J. & Afef, A., 2012. Six-Sigma Methodology Applications Within Aluminium Company. *Internanional Journal Of Productivity and Quality Management*, January, pp. 53-76.
- Saha, P., 2020. *Aluminum Extrusion Technology*. Ohio: ASM International.
- Salah, S., Rahim, A. & Carretero, J. A., 2010. The integration of Six Sigma and lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 06 August, pp. 249-274.
- Schonberger, R. J., 2008. *Best Practices in Lean Six Sigma Process Improvement A Deeper Look*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc..
- Slack, N., Chambers, S. & Johnston, R., 2010. *Διοίκηση Παραγωγής Προϊόντων και υπηρεσιών*. 5η Αγγλική Έκδοση επιμ. Αθήνα: Κλειδάριθμος.
- Stephen, P., 2004. *Application of DMAIC to integrate Lean Manufacturing and Six Sigma*, Virginia: s.n.
- Taghizadegan, S., 2006. *Essentials of Lean Six Sigma*. Burlington: Elsevier Inc..
- Taiichi, O., 1988. *Toyota Production System*. Oregon: Productivity Press.
- Voehl, F., Harrington, J. H., Mignosa, C. & Charron, R., 2014. *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook, Tools and Methods for Process Acceleration*. 20130426 επιμ. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC.
- Womack, J. P. & Jones, D. T., 2003. *Lean Thinking*. First Edition επιμ. New York: Free Press.
- Womack, J. P. & Jones, D. T., 2005. Lean Consumption. *Harvard Business Review*, March, pp. 58-69.

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D., 1990. *The Machine That Changed The World*. New York: Rawson Associates.

Αυλωνίτης, Σ. Α., 2003. *Στοιχεία Ελέγχου & Διαφάλιση Ποιότητας*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΛΛΗΝ.

Δερβιτσιώτης, Κ. Ν., 2005. *Διοίκηση Ολικής Ποιότητας*. Β' Έκδοση επιμ. Αθήνα: Οικονομική Βιβλιοθήκη.

Ζαβλανός, Μ., 2006. *Η ποιότητα στις Παρεχόμενες Υπηρεσίες και τα Προϊόντα*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε..

Κουκούρης, Α. Π., 2013. *Διοίκηση Επιχειρησιακών Λειτουργιών (Operations Managment)*. 1η Έκδοση επιμ. Αθήνα: ΠΡΟΠΟΜΠΟΣ.

Κωσταγόλας, Π., Καϊτελίδου, Δ. & Χατζόπουλου, Μ., 2008. *Βελτιώνοντας την Ποιότητα στις Υπηρεσίες Υγείας*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Λογοθέτης, Ν., 1992. *Μάνατζμεντ Ολικής Ποιότητας*. Αθήνα: Prentice Hall International Ltd.