

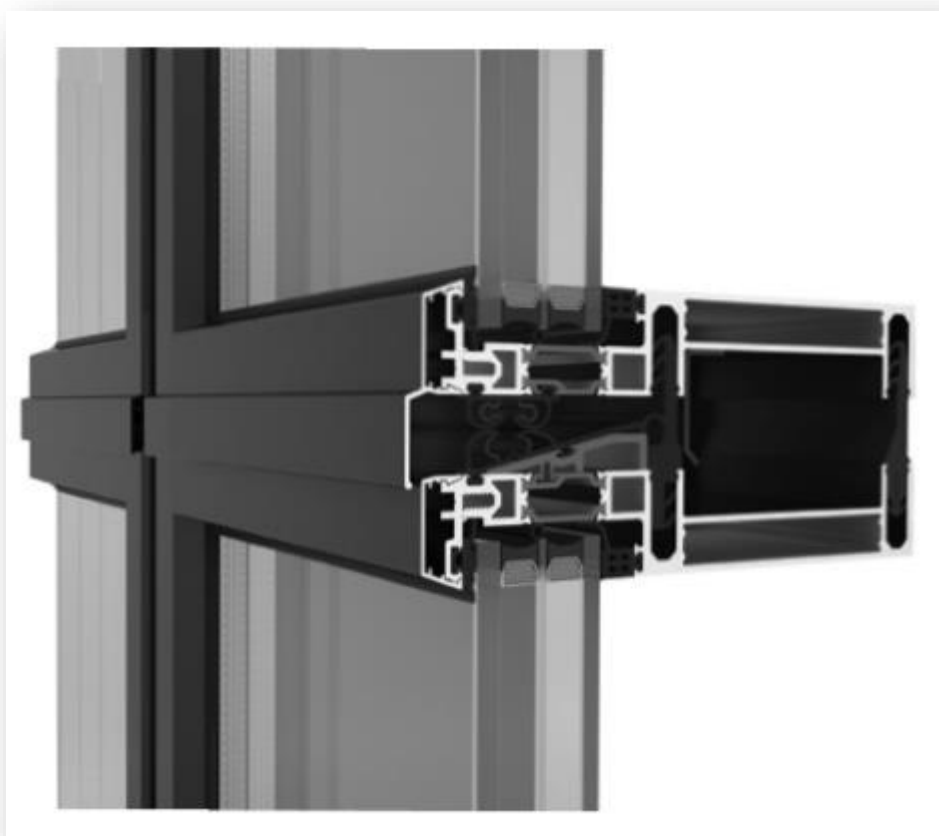


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η Συνεχής Βελτίωση (Continuous Improvement) στον Βιομηχανικό
Τομέα της Διέλασης Αλουμινίου



Παράσχος Παναγιώτης

M.Sc. Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων καθηγητής:

Γεώργιος Ματσόπουλος

Καθηγητής Σχολής Η.Μ.Μ.Υ. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2020

Εγκρίθηκε από την επιτροπή την

.....
Γ. ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ
Επίκουρος Καθηγητής

.....

.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει την μεθοδολογία που χρησιμοποιεί η ETEM A.E. για την παρακολούθηση και βελτίωση της παραγωγής προφίλ αλουμινίου. Η βασική παραγωγική διαδικασία που ακολουθεί είναι η διέλαση αλουμινίου. Πρόκειται για την παραγωγή επιμηκών προϊόντων αλουμινίου (προφίλ), μετά από την βιομηχανική θερμική επεξεργασία κυλινδρικών κολώνων (μπιγιετών) αλουμινίου. Τα προϊόντα διέλασης (προφίλ) στην εγχώρια αγορά αφορούν κυρίως τις αρχιτεκτονικές εφαρμογές, ενώ στις εξαγωγές έχουν μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών. Γενικότερα διαχωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Αρχιτεκτονικά, (χαρακτηριστικά προϊόντα στον τομέα αυτό αποτελούν τα προφίλ αλουμινίου για πόρτες, παράθυρα, υαλοπετάσματα, σκιάδια, προσόψεις κ.α.).
- Βιομηχανικά, (κάθε προφίλ που σχεδιάστηκε για να ικανοποιήσει συγκεκριμένη εφαρμογή).
- Automotive, (προφίλ που προορίζονται για εξαρτήματα αυτοκινητοβιομηχανίας με πολύ υψηλές απαιτήσεις ποιότητας).
- Standard (απλές γεωμετρικές διατομές διαφόρων διαστάσεων και ποικίλων εφαρμογών).

Η διαδικασία Συνεχούς Βελτίωσης (αλλιώς γνωστή ως CIP ή CI) είναι μια διαδικασία διαχείρισης βάσει της οποίας οι παραγωγικές διαδικασίες ελέγχονται και αξιολογούνται συνεχώς και κατά συνέπεια βελτιώνονται, όσον αφορά την αποδοτικότητα, το επίπεδο της αποτελεσματικότητας και της ευελιξίας. Ο όρος από μόνος του υποδηλώνει ότι η διαδικασία βρίσκεται σε εξέλιξη. Η CI εστιάζεται στην ανθρωποκεντρική διαχείριση και αντιπροσωπεύει τις βασικές δραστηριότητες μέσω των οποίων μια επιχείρηση μπορεί να διατηρήσει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Στην περίπτωση της βιομηχανίας αλουμινίου παρακολουθούνται τρεις βασικοί παράγοντες που ορίζουν την αποτελεσματικότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτοί είναι η διαθεσιμότητα των μηχανών, η παραχθείσα ποιότητα και η απόδοση της διεργασίας.

Στην εργασία αρχικά γίνεται μία αναδρομή στην έννοια της συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας και της παραγωγής βιομηχανικών προϊόντων (από την αρχική σύλληψη της έως την σημερινή σύγχρονη προσέγγιση). Εν συνεχεία παρουσιάζεται η παραγωγική διαδικασία διέλασης αλουμινίου και ειδικότερα περιγράφεται η μεθοδολογία του εργοστασίου της ETEM στην Μαγούλα Αττικής και το πλάνο διαχείρισης της συνεχούς βελτίωσης. Ακολουθούν οι μελέτες περιπτώσεων με την εφαρμογή μεθοδολογικών εργαλείων ποιότητας και συνεχούς βελτίωσης. Τέλος γίνεται μια αναφορά σε σύγχρονες μεθόδους βελτίωσης με χρήση τεχνολογικών μέσα και η εργασία ολοκληρώνεται με τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν.

Λέξεις Κλειδιά: Διέλαση, Συνεχής Βελτίωση, Παραγωγικότητα, Ποιότητα,

ABSTRACT

This dissertation presents the methodology used by ETEM SA. to monitor and improve the production of aluminum profiles. The main production process that follows is the extrusion of aluminum. This is the production of extruded aluminum products (profiles), after the industrial thermal processing of aluminum logs (billets). Extrusion products (profiles) in the domestic market mainly concern architectural applications, while in exports they have a wider range of applications. In general, those are divided into three main categories:

- Architectural, (characteristic products in this field are the aluminum profiles for doors, windows, glass curtains, shading constructions, facades, etc.).
- Industrial, (any special designed profile to meet a specific customer application).
- Automotive, (profiles dedicated for automotive components with very high-quality requirements).
- standards (simple geometric cross-sections for various applications).

Continuous Improvement is a management process based on which manufacturing processes are constantly monitored and evaluated and therefore improved in terms of efficiency and flexibility. The term itself implies that the process is ongoing. CI focuses on anthropocentric management and represents the core activities through which a business can maintain a competitive advantage. In the case of the aluminum industry, three main factors are monitored that determine the effectiveness of the production process. These are the availability of the machines, the produced quality, and the performance of the processes.

In the thesis, a retrospective is initially made in the sense of the continuous improvement of the quality and the production of industrial products (from its initial conception to the current modern approach). Then the manufacturing process of aluminum extrusion is presented and the continuous improvement management plan of the ETEM factory is described. The following are specific case studies with the application of methodological tools for quality and continuous improvement. Finally, a reference is made to modern CI methods which are using technological means. The thesis is completed with the final conclusions that emerge from the previous analysis.

Key Words: Aluminum Extrusion, Continuous Improvement, Productivity, Quality

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στα πλαίσια του Δ.Π.Μ.Σ «Τεχνο-οικονομικά Συστήματα» το ακαδημαϊκό έτος 2019 - 2020. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους συναδέλφους μου στην ETEM A.E. και ειδικότερα τον Υπεύθυνο Ποιότητας του εργοστασίου της Αθήνας, Γεώργιο Γιαννουδάκο για την πολύτιμη συνεργασία στην συλλογή των δεδομένων και την υλοποίηση των πειραμάτων. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Ματσόπουλο, επίκουρο καθηγητή Ε.Μ.Π. για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την σύντροφό μου στην ζωή Ελεάννα, την οικογένεια μου τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου

Αθήνα, Ιούνιος 2020,

Παναγιώτης Παράσχος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. Η έννοια της συνεχούς βελτίωσης	6
2.1 Η σημασία της Ποιότητα στον χώρο των επιχειρήσεων	6
2.2 Η διοίκηση ολικής ποιότητας	6
2.3 Οι «γκουρού» της διοίκησης ολικής ποιότητας και η θεμελίωση των βασικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων βελτίωσης της ποιότητας	8
2.4 Διαχείριση της ποιότητας σε βιομηχανικό περιβάλλον	14
2.4.1 Συστήματα διαχείρισης της ποιότητας (ΣΔΠ)	17
2.4.2 Τα Έντεκα βασικά εργαλεία βελτίωσης της Ποιότητας	19
2.4.2.1 Διάγραμμα αιτίου αποτελέσματος	20
2.4.2.2 Διάγραμμα Pareto	21
2.4.3 Ικανή Διεργασία – Δείκτες επίδοσης διεργασίας	22
2.4.3.1 ικανή διεργασία	22
2.4.3.2 Δείκτης Ικανότητας C_p	24
2.4.3.3 Δείκτης Ικανότητας C_{pk}	25
3. Παραγωγική διαδικασία διέλασης αλουμινίου – Κρίσιμες μεταβλητές ποιότητας	27
3.1 Το Αλουμίνιο	27
3.2 Η διεργασία της διέλασης αλουμινίου	28
3.2.1 Τα στάδια διεργασία της παραγωγής προφίλ αλουμινίου	29
3.2.2 Έλεγχος διεργασίας της παραγωγής προφίλ αλουμινίου	30
3.2.3 Κατηγορίες κραμάτων αλουμινίου – προετοιμασία μπιγιετών	32
3.2.3.1 Χαρακτηριστικά κραμάτων σειράς 6000	34
3.2.4 Διεργασία διέλασης και παράμετροι λειτουργίας	35
3.2.5 Μήτρες και εργαλεία διέλασης	43
3.2.6 Κύριες μεταβλητές και παράγοντες της διέλασης αλουμινίου	46
3.2.7 Ελαττώματα διέλασης και ανάλυση του παραγόμενου σκραπ.	49
4. Η περίπτωση του εργοστασίου της ETEM A.E. στην Μαγούλα Αττικής – Το νέο Σύστημα Διαχείρισης της Παραγωγής	51
4.1 Ιστορικό της Εταιρίας – Επενδυτικό πλάνο	51
4.2 Σύστημα διαχείρισης παραγωγής της ETEM.	52
4.2.1 Συνοπτική περιγραφή συστήματος MES.	53
4.2.2 Επιπλέον λειτουργίες MES – μελλοντική ανάπτυξη	59
5 Case Studies	61
5.1 Μελέτη περίπτωσης: Πειραματική αξιολόγηση λειτουργίας του φούρνου γήρανσης μέσω χρήσης στατιστικών μεθόδων.	61
5.1.1 Ανάλυση του προβλήματος	61

5.1.2 Ανάλυση της διακύμανσης των αποτελεσμάτων γήρανσης και δυνατότητας διεργασίας	67
5.1.2.1 Περιγραφή του πειράματος	68
5.1.2.2 Παραγοντική Ανάλυση Επιδράσεων – Ανάλυση Διασποράς.....	70
5.1.2.3 Ανάλυση δυνατότητας Διεργασίας – Capability analysis.....	74
5.2 Μελέτη περίπτωσης: Ανάλυση δεδομένων ταχύτητας διέλασης.....	80
5.2.1 Παραγωγικά δεδομένα YTD 2020 (Ιανουάριος - Μαΐος).	80
5.2.1 Πρότυποι χρόνοι προγραμματισμού.	81
5.2.2 Ανάλυση παραγωγικότητας	81
5.3 Μελέτη Περίπτωσης: Ανάλυση Δεδομένων Ποιοτικού Σκραπ Διέλασης	88
5.4 Μελέτη περίπτωσης: Ανάλυση Δεδομένων Καθυστερήσεων Παραγωγής (Πρέσα Διέλασης)	92
6. Μελλοντικές επεκτάσεις – Νέα πληροφοριακά συστήματα.....	95
6.1 Προτεινόμενη λύση για τη λειτουργία, βελτιστοποίηση και υποστήριξη του συστήματος εντοπισμού σφαλμάτων στη διέλαση.....	95
6.2 Προτεινόμενη Λύση – μηχανη αναζήτησης για προφίλ βάσει γεωμετρίας	97
7. Συμπεράσματα - Συζήτηση	99
8. Βιβλιογραφικές αναφορές.....	100

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

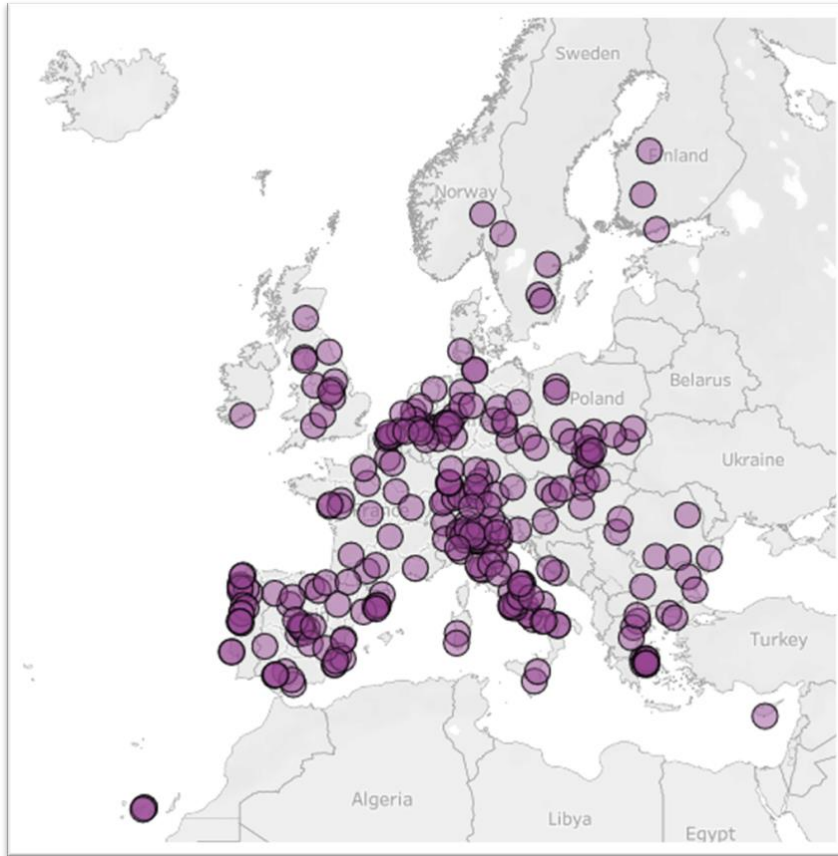
Το χαμηλό ειδικό βάρος, η υψηλή ανθεκτικότητα και η λειτουργικότητα είναι τα χαρακτηριστικά που κάνουν το αλουμίνιο ένα από τα βασικά τεχνικά υλικά της σύγχρονης εποχής. Οι χρήσεις προϊόντων αλουμινίου ξεκινάνε από τις οικίες, τα αυτοκίνητα, τα μέσα μαζικής μεταφοράς (όπως τρένα και αεροπλάνα), την κινητή τηλεφωνία, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, την μεταφορά και παραγωγή ενέργειας, την κατασκευή μηχανών παραγωγής, υγειονομικές εφαρμογές καθώς και για διάφορες άλλες εξειδικευμένες εμπορικές χρήσεις.

Η ιστορία του αλουμινίου ξεκινάει το 1808, όπου ο Βρετανός Davy ανακάλυψε την ύπαρξη του μετάλλου. Το 1854 ο Γάλλος Henri Saite-Claire Deville παράγει βιομηχανικά αλουμίνιο, για πρώτη φορά στην ιστορία. Το 1855 στο Παρίσι μία ράβδος αλουμινίου εκτίθεται στην Διεθνή Έκθεση μαζί με άλλα πολύτιμα μέταλλα. Το 1886 ο Γάλλος Paul Louis Toussaint Heroult και ο Αμερικάνος Charles Martin Hall, παρότι δούλευαν ανεξάρτητα, εφευρίσκουν την μέθοδο παραγωγής αλουμινίου μέσω της ηλεκτρόλυσης διαλύματος αλουμίνιας. Οι πρώτες εταιρίες παραγωγής αλουμινίου γεννήθηκαν το 1888 στην Γαλλία, την Ελβετία και τις ΗΠΑ. Το 1889 ο Αυστριακός Friedrich Bayer, εφευρίσκει τη μέθοδο παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων αλουμίνιας από τον βωξίτη.

Η παραγωγή του τελικών προϊόντων του αλουμινίου ακολουθούν τέσσερις βασικές διαδικασίες η οποίες είναι:

1. Έλαση: διαδικασία μέσω της οποίας παράγονται τα πλατιά προϊόντα αλουμινίου (φύλλα, ταινίες και foil)
2. Διέλαση: διαδικασία μέσω της οποίας παράγονται τα προφίλ αλουμινίου για αρχιτεκτονικές και βιομηχανικές χρήσεις.
3. Χύτευση: Ειδικά εξαρτήματα αλλά και α ύλη για τις προηγούμενες δύο διαδικασίες παράγονται μέσω της απευθείας χύτευσης κατάλληλου κράματος σε ειδικά καλούπια.
4. Παραγωγή Etalbond®: νέο τεχνολογικά προηγμένο προϊόν. Είναι ένα σύνθετο πλαίσιο, πολυστρωματικό, που αποτελείται από πυρήνα πολυαιθυλενίου που είναι κολλημένος ανάμεσα στην πρόσοψη λεπτού αλουμινίου και στα φύλλα επαφής. Αποτελεί καινοτόμα λύση μεταλλικής επικάλυψης για εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες σε αρχιτεκτονικές κατασκευές (π.χ. για επικαλύψεις κτιρίων).

Μία από τις σπουδαιότερες κατεργασίες είναι η διέλαση του αλουμινίου. Η συγκεκριμένη διεργασία θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια και θα δοθεί έμφαση στους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα της διεργασίας αλλά και την ποιότητα των τελικών προϊόντων.



Εικόνα 1.1: Εγκαταστάσεις εργοστασίων διέλασης αλουμινίου στην Ευρώπη

Περληπτικά η διεργασία έχει ως εξής: Η πρώτη ύλη αλουμινίου -κολώνες ή μιγιέττες - αφού θερμανθεί σε μία θερμοκρασία 480-500οC οδηγείται στην πρέσα διέλασης. Το θερμό μέταλλο συμπιέζεται μέσα σε έναν θάλαμο που από την μια μεριά είναι τοποθετημένη η μήτρα (η οποία έχει τα αναγκαία ανοίγματα κατάλληλα για τον σχηματισμό του τελικού προφίλ), και από άλλη από το κινούμενο έμβολο της πρέσας. Το προφίλ μετά την έξοδό του από την μήτρα, ψύχεται με την βοήθεια ανεμιστήρων και αφού ευθυγραμμισθεί κόβεται στα επιθυμητά μήκη. Το τελευταίο στάδιο της όλης διαδικασίας είναι η γήρανση. Το προφίλ οδηγείται σε φούρνο και παραμένει μια ορισμένη θερμοκρασία για μια χρονική περίοδο με στόχο να επιτευχθούν τα τελικά επιθυμητά μηχανικά χαρακτηριστικά των προϊόντων.

Από την διεργασία παραγωγής του αλουμινίου προκύπτουν κάποια βασικά θέματα που αφορούν την βιωσιμότητα των εταιριών διέλασης:

1. Το κάθε εργοστάσιο διέλασης πρέπει να λειτουργεί με μια ανταγωνιστική παραγωγικότητα εκμεταλλεύονται στο έπακρο τους διαθέσιμους πόρους αλλά και επενδύοντας σε νέο εξοπλισμό αλλά και νέα παραγωγικά συστήματα ακολουθώντας τις εξελίξεις του κλάδου.
2. Οι εταιρίες πρέπει να μπορούν να ικανοποιούν τις προσδοκίες των πελατών και να προσφέρουν ανταγωνιστικά και ποιοτικά προϊόντα. Ειδικά στον τομέα της διέλασης οι εταιρίες επενδύουν στην έρευνα και την ανάπτυξη για να μπορούν όχι μόνο να παράγουν ήδη σχεδιασμένες διατομές (προφίλ) αλλά να προσφέρουν και λύσεις τεχνικές στους υποψήφιους πελάτες.
3. Οι εταιρίες πρέπει να προσαρμόζονται γρήγορα στις συνεχιζόμενες απαιτήσεις του κλάδου και να μπορούν να ανιχνεύουν ποια είναι τα δυνατά σημεία τους, οι αδυναμίες τους με στόχο να ξεπεράσουν τους επιχειρηματικούς κινδύνους και να αξιοποιήσουν τις ευκαιρίες που τους δίνει η παγκόσμια αγορά.

Κατά συνέπεια, εξειδικευοντας σε επίπεδο παραγωγής τους εταιρικούς στόχους η διέλαση αλουμινίου έχει τέσσερις βασικούς παράγοντες οι οποίοι θα αναλυθούν στην συνέχεια του συγγράμματος:

- Παραγωγικότητα γραμμής παραγωγής
- Σκραπ παραγωγής- επιστροφές ποιότητας
- Διαθεσιμότητα – ανάλυση βλαβών και σταματημάτων λειτουργίας μηχανών.
- Ανάλυση μεταβλητότητας διεργασιών και εξοπλισμού

Η επεξεργασία των δεδομένων και των υποθέσεων εργασίας θα γίνει με την βοήθεια στατιστικού λογισμικού (minitab) καθώς και με την χρήση διοικητικών στατιστικών εργαλείων βελτίωσης της ποιότητας. Σκοπός είναι να αναδειχθεί μία μεθοδολογία καθημερινής παρακολούθησης, μέτρησης και βελτίωσης της ποιότητας και της παραγωγικότητας με την βοήθεια υπολογιστικών εργαλείων ανάλυσης δεδομένων με την συμμετοχή και την εμπλοκή όλου του προσωπικού που διοικεί και λειτουργεί μια μονάδα διέλασης.

Η προσέγγιση της συνεχούς βελτίωσης επιδιώκει να βελτιώσει κάθε διαδικασία στην εταιρεία εστιάζοντας στην ενίσχυση των δραστηριοτήτων που δημιουργούν την μεγαλύτερη αξία για τον πελάτη, ενώ αφαιρεί όσο το δυνατόν περισσότερες μη χρήσιμες δραστηριότητες.

2. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

2.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Η έννοια της ποιότητας δεν αποτελεί έναν νεότερισμό στον χώρο των επιχειρήσεων. Ήδη από το 1887 ο William Cooper Procter, μέλος της τρίτης γενιάς των ιδρυτών της Procter&Gamble, επισήμανε στους εργαζόμενους:

*«Η πρώτη μας δουλειά είναι να παράγουμε **ποιοτικά** προϊόντα. Αν τα καταφέρουμε να τα παράγουμε τρόπο **αποδοτικό** και **οικονομικό** τότε θα αποδώσουμε κέρδος και θα είστε σε θέση να το μοιραστείτε».*

Με την παραπάνω αναφορά του Procter εισάγονται τρεις κρίσιμες έννοιες που αποτελούν διαχρονικά το κύριο επίδικο όλων των διοικήσεων των οργανισμών (είτε βιομηχανικές μονάδες είτε εταιρίες παροχής υπηρεσιών):

1. **Ποιότητα** παραγόμενων προϊόντων (Quality)
2. **Παραγωγικότητα** – μονάδες παραγόμενων προϊόντων ανά μονάδα εισερχόμενου πόρου (Productivity)
3. **Κόστος** λειτουργίας (Cost)

Ο συνδυασμός των τριών στοιχείων συνεισφέρουν αφενός στην ικανοποίηση του πελάτη-αγοραστή και αφετέρου συνεισφέρει και στην κερδοφόρα λειτουργία του οργανισμού.

Από τους παραπάνω τρεις παράγοντες κερδοφόρου λειτουργίας, αυτός που είναι πιο κρίσιμος για την μακροχρόνια βιωσιμότητα αλλά και για την πιθανή αποτυχία μιας εταιρίας είναι η ποιότητα. Είναι αποδεδειγμένο ότι προϊόντα υψηλής ποιότητας μπορούν να αποδώσουν στον οργανισμό:

- το συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι άλλων ανταγωνιστών
- την διατήρηση της καλής φήμης που προκύπτει από την ικανοποίηση των προσδοκιών των πελατών η οποία μπορεί να αποφέρει διεύρυνση των πελατών από την «δια στόματος» διαφήμιση.

Αποδεικνύεται επίσης ότι η αποκατάσταση της φήμης ενός οργανισμού ο οποίος έχει υποστεί κρίση ποιότητας (δυσαρέστηση πελατών με προϊόντα που δεν ικανοποιούν τις προσδοκίες τους) είναι μια επίπονη διαδικασία που πολλές φορές δεν μπορεί να φέρει κάποιο αποτέλεσμα. Συνεπώς η ανάπτυξη και η διατήρηση της ποιότητας στα παρεχόμενα προϊόντα και υπηρεσίες καθώς επίσης και στην δομή του οργανισμού δεν είναι ένα εύκολα επιτεύξιμο ζητούμενο.

2.2 Η ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 μεγάλες επιχειρήσεις από όλον τον κόσμο έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν τη Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (TQM), σε μια προσπάθεια να διατηρήσουν ή να

ανακτήσουν την ανταγωνιστικότητά τους, προκειμένου να επιτευχθεί η ικανοποίηση του πελάτη μπροστά στον αυξανόμενο ανταγωνισμό στην εποχή της παγκοσμιοποίησης. Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας είναι μια ενοποιητική φιλοσοφία της διοίκησης για τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών.

Η ΔΟΠ λειτουργεί με βάση την παραδοχή ότι η ποιότητα των προϊόντων και των παραγωγικών διαδικασιών αποτελεί ευθύνη όλων όσων εμπλέκονται στη παρασκευή ή στην κατανάλωση των προϊόντων ή των υπηρεσιών που παρέχονται από τον οργανισμό. Με άλλα λόγια η ΔΟΠ στηρίζεται στην εμπλοκή της διοίκησης, των εργατικού δυναμικού, των προμηθευτών, ακόμα και των πελατών προκειμένου να ανταποκριθεί ή να υπερβεί τις προσδοκίες των πελατών.

Ως Σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας διέπεται από τις παρακάτω αρχές:

- Εστίαση στην ικανοποίηση των αναγκών των μετόχων, των υπαλλήλων, των πελατών και της κοινωνίας με λογικό κόστος. Ο
- Επικέντρωση στη **συνεχή βελτίωση** του οργανισμού.
- Αναγνώριση του ρόλου του καθενός μέσα στον οργανισμό
- Ο οργανισμός θεωρείται ως ένα εσωτερικό σύστημα αλληλένδετων υποσυστημάτων με κοινό στόχο.
- Εστίαση στην μεθοδολογία επίτευξης και ολοκλήρωσης των στόχων.
- Έμφαση στην ομαδική εργασία.

Η ΔΟΠ είναι ένας νέος τρόπος διοίκησης και μια νέα προσέγγιση για την αποτελεσματική ανάπτυξη μίας επιχείρησης ή οργανισμού και την αύξηση της ανταγωνιστικότητας. Ως βασικό προσανατολισμό η ΔΟΠ έχει την καλύτερη δυνατή ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών. Στο πλαίσιο της ΔΟΠ η έννοια του πελάτη αποκτά νέα διάσταση, διότι είναι διευρυμένη, με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει όχι μόνο τους εξωτερικούς αλλά και τους εσωτερικούς πελάτες της επιχείρησης. Οι εξωτερικοί πελάτες είναι οι τελικοί καταναλωτές ή χρήστες των προϊόντων και υπηρεσιών, ενώ οι εσωτερικοί πελάτες είναι τα διοικητικά στελέχη, τα επιμέρους τμήματα του οργανισμού και οι εργαζόμενοι, οι οποίοι συμβάλλουν στη δημιουργία των προϊόντων και επηρεάζουν την προσφερόμενη ποιότητα μέσα στην επιχείρηση. Οι βασικότεροι λόγοι για την υιοθέτηση της ΔΟΠ για την σύγχρονη επιχείρηση ή οργανισμό είναι οι εξής:

- η ανάγκη επιβίωσης και ανάπτυξης της επιχείρησης σε μία έντονα ανταγωνιστική και κορεσμένη διεθνή αγορά,
- αδυναμία των γνωστών συμβατικών προσεγγίσεων για τη διασφάλιση και βελτίωση της ποιότητας
- η αναποτελεσματικότητα των τυποποιημένων διαδικασιών, όπως π.χ. είναι οι χάρτες ελέγχου ποιότητας.

Είναι ολοφάνερο όλο και περισσότερο σήμερα πως χωρίς την εστίαση της συνολικής προσπάθειας στον ανθρώπινο παράγοντα και στις διαδικασίες παραγωγής και υποστήριξης είναι αδύνατο να επιτευχθούν σημαντικά μακροπρόθεσμα οφέλη στον εκάστοτε οργανισμό.

2.3 ΟΙ «ΓΚΟΥΡΟΥ» ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ Η ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.

Στην τρέχουσα ενότητα παρουσιάζονται οι θέσεις, οι απόψεις και η μεθοδολογική προσέγγιση των κυριότερων (αναφερόμενων ως) «γκουρού» της Ποιότητας. Οι συγκεκριμένοι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι επιστήμονες των οποίων οι απόψεις για την εφαρμογή της ποιότητας στους οργανισμούς είχαν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της βιομηχανίας και των υπηρεσιών.

➤ **Dr. Walter Shewart**

Ο Dr Walter Shewart ήταν στέλεχος της Bell Telephone Laboratories. Ανέπτυξε πρώτος την θεωρία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας (SPC) στα τέλη της δεκαετίας του 1920. Αναλύοντας διάφορων ειδών διαδικασίες, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι όλες οι βιομηχανικές διεργασίες παρουσιάζουν δύο ειδών μεταβλητότητας:

- Τυχαίων παραγόντων – παράγοντες που ενυπάρχουν στην διαδικασία και δεν μπορούν να εξαλειφθούν χωρίς να γίνουν κύριες και δομικές αλλαγές στην ίδια την διαδικασία (π.χ. εκμοντερνισμός γραμμής παραγωγής, νέος εξοπλισμός κτλ).
- Προσδιορίσιμων παραγόντων – οι συγκεκριμένοι παράγοντες μπορούν να προσδιοριστούν με την χρήση στατιστικών μελετών και εργαλείων. Συνεπώς η επιχείρηση έχει την δυνατότητα να τους εξαλείψει χωρίς μεγάλο κόστος και χωρίς σημαντικές αλλαγές στην ίδια την διεργασία.

➤ **W. Edwards Deming (1900-1993)**

Θεωρείται ο κορυφαίος γκουρού στις Η.Π.Α. Σπούδασε Φυσική και Μαθηματικά ενώ κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου βοήθησε τις ΗΠΑ στην προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας του πολεμικού υλικού. Ο Deming διέυρνε την στατιστική προσέγγιση του Shewart περιλαμβάνοντας και τους μη βιομηχανικούς κλάδους αλλά και τον ανθρώπινο παράγοντα στις μεταβλητές που εξετάζε. Διαχώρισε τα αίτια της μεταβλητότητας σε κοινά και ειδικά κατά αναλογία των παραγόντων μεταβλητότητας του Shewart. Τα ειδικά αίτια μεταβλητότητας μπορούν να αποδοθούν σε

προσδιορίσιμους παράγοντες κάποιου εκ των οποίων μπορεί να είναι η γνώση και η οργάνωση της ανθρώπινης εργασίας (π.χ. ειδικό αίτιο μεταβλητότητας μπορεί να είναι η διαφορετική εμπειρία χειρισμού μιας μηχανής παραγωγής από χειριστές διαφορετικής βάρδιας).

Οι ιδέες του Deming επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τις διαφορετικές θεωρίες που αναπτύχθηκαν τον 20^ο αιώνα γύρω από το Quality Management. Αντιπροσωπευτικά σημεία της θεωρίας του είναι τα «14 σημεία», ο κύκλος συνεχούς βελτίωσης και οι «θανατηφόρες ασθένειές».

Τα 14 σημεία του Deming, όπως παρουσιάστηκαν στην διατριβή του “Out of Crisis” είναι τα παρακάτω:

- 1.** Σταθερότητα στον στόχο βελτίωσης των προϊόντων και των υπηρεσιών.
- 2.** Δέσμευση και αφοσίωση στην συνεχή βελτίωση ως απαραίτητο στοιχείο οργανωτικής και εταιρικής επιβίωσης.
- 3.** Αντικατάσταση της ανάγκης μαζικού ελέγχου με την ενσωμάτωση της ποιότητας στο αρχικό στάδιο σχεδίασης του προϊόντος και του ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας.
- 4.** Κατάργηση της πρακτικής για την επιλογή προμηθευτών με μόνο κριτήριο την τιμή.
- 5.** Σταθερή και συνεχή βελτίωση του συστήματος παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών έτσι ώστε να βελτιώνεται η ποιότητα και η παραγωγικότητα με στόχο τη σταθερή μείωση του κόστους.
- 6.** Καθιέρωση νέων μεθόδων επαγγελματικής κατάρτισης και εκπαίδευσης για την ποιότητα στους χώρους εργασίας για όλους τους εργαζόμενους.
- 7.** Καθιέρωση αποτελεσματικής ηγεσίας των εργαζομένων με στόχο να βοηθήσουν ανθρώπους, μηχανές και τεχνικές να εκτελεστούν καλύτερα την εργασία τους.
- 8.** Απομάκρυνση του φόβου που μπορεί να έχουν οι εργαζόμενοι, έτσι ώστε ο καθένας να μπορεί να εργάζεται αποτελεσματικά για την επιχείρηση.
- 9.** Κατάργηση εμποδίων επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών τμημάτων της επιχείρησης. Οι άνθρωποι στην έρευνα, το σχεδιασμό, τις πωλήσεις και την παραγωγή πρέπει να εργάζονται ομαδικά για να προβλέπουν τα προβλήματα της παραγωγής και να συμμετέχουν στην παραγωγή του προϊόντος ή υπηρεσίας.
- 10.** Κατάργηση σλόγκαν, προτροπών και εξωπραγματικών στόχων που αποβλέπουν να υποκινήσουν το εργατικό δυναμικό χωρίς να παρέχουν καλύτερες μεθόδους για να φτάσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα.
- 11.** Κατάργηση ποσοτικών στόχων παραγωγής, προτύπων χρόνων εργασίας και σκοπών που δυσχεραίνουν την ποιότητα. Στη θέση τους είναι προτιμότερη η εμπνευσμένη ηγεσία.
- 12.** Απομάκρυνση εμποδίων που στερούν από τον εργαζόμενο το δικαίωμα να υπερηφανεύεται για τη δουλειά του. Η υπευθυνότητα πρέπει να αλλάξει και από σκέτους αριθμούς να μεταβληθεί σε ποιότητα.

13. Καθιέρωση ενός προγράμματος συνεχούς εκπαίδευσης και επιμόρφωσης για κάθε εργαζόμενο.

14. Συμμετοχή όλων για την υλοποίηση της βελτίωσης της ποιότητας μέσα στην επιχείρηση βάσει της νέας φιλοσοφίας.

Ο κύκλος του Deming είναι ένα απλό και αποτελεσματικό μέσο που χρησιμοποιείται ως βάση για τη βελτίωση πολλών δραστηριοτήτων ποιότητας. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 1, τα τέσσερα στάδια του κύκλου του Deming είναι τα εξής:

1. Προγραμματίζω/Σχεδιάζω (Plan):

Ο σχεδιασμός μπορεί να αναφέρεται σε ένα νέο προϊόν/διδικασία ή στην βελτίωση ενός υφιστάμενου προϊόντος/διαδικασίας. Σημαντικό στον αρχικό σχεδιασμό είναι να έχουν ληφθεί υπόψη οι ανάγκες των πελατών, οι διαθέσιμοι πόροι, η επάρκεια των δεδομένων κ.α.

2. Πραγματοποιώ/Κάνω (Do):

Στο στάδιο αυτό υλοποιείται το πλάνο σε μια μικρή κλίμακα και συλλέγονται όλες οι πληροφορίες και τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

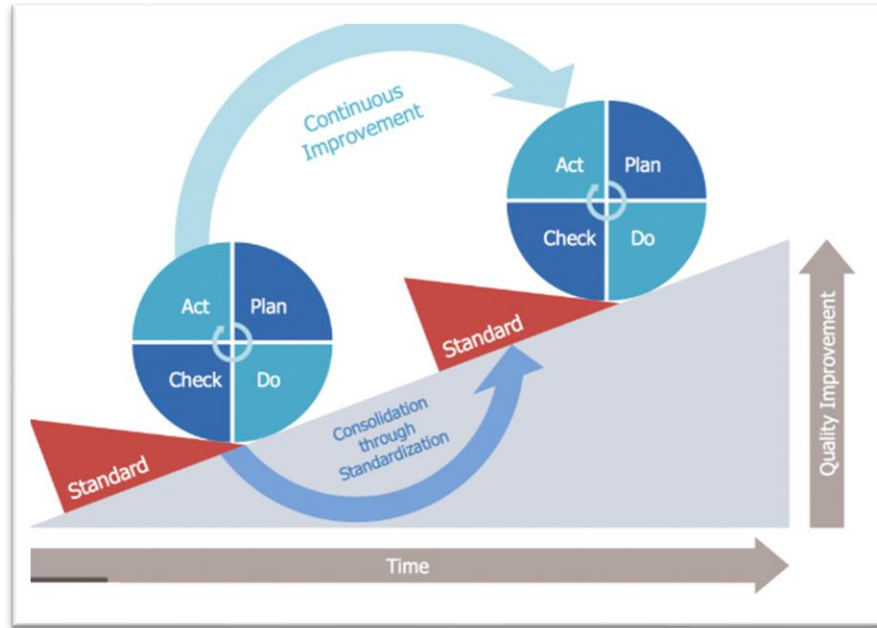
3. Ελέγχω (Check):

Στο συγκεκριμένο στάδιο μελετώνται τα αποτελέσματα για να διαπιστωθεί αν υπάρχει συμμόρφωση με το αρχικό πλάνο. Πραγματοποιούνται οι απαραίτητοι έλεγχοι και δοκιμές προκειμένου να εντοπιστούν αποκλίσεις και πιθανά προβλήματα.

4. Ενεργώ (Act):

Τα αποτελέσματα από το 3^ο στάδιο αποτελούν τα εισερχόμενα του 4^{ου} σταδίου όπου λαμβάνονται οι αναγκαίες διορθωτικές ενέργειες. Εν συνέχεια «προτυποποιείται» το νέο προϊόν/διαδικασία και τίθεται σε εφαρμογή σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Ο κύκλος PDCA πρέπει να εφαρμόζεται σπειροειδώς ξανά από την αρχή καθώς το αποτέλεσμα του 4^{ου} σταδίου (πρότυπο προϊόν ή διαδικασία) πλέον θα αντιμετωπίζεται ως προϊόν/διαδικασία που θα χρήζει περαιτέρω βελτίωσης. Έτσι υλοποιείται η προσέγγιση της συνεχούς βελτίωσης. Όπως παρατηρούμε στην επόμενη εικόνα (2.1) κάθε ολοκλήρωση ενός κύκλου θέτει και ένα υψηλότερο πρότυπο το οποίο θέτει την βάση για την υλοποίηση του επόμενου κύκλου βελτίωσης.



Εικόνα 2.1: Ο κύκλος συνεχούς βελτίωσης του Deming

Τέλος, ο Deming επισήμανε τις «Θανατηφόρες ασθένειες» για μια επιχείρηση η οποίες είναι οι εξής:

- [1] Η έλλειψη σταθερότητας του σκοπού
- [2] Η έμφαση στα βραχυπρόθεσμα οφέλη/κέρδη.
- [3] Η επιμονή στην αξιολόγηση της απόδοσης με αποκλειστικά και μόνο οικονομικά μεγέθη.
- [4] Οι υπερβολικά συχνές αλλαγές/μετακινήσεις στελεχών.
- [5] Η υπερβολική εξάρτηση από ορατά αριθμητικά μεγέθη τα οποία μπορεί να δώσουν μια ψεύτικη ευνοϊκή εικόνα του οργανισμού σε βραχυπρόθεσμο χρονικό διάστημα.

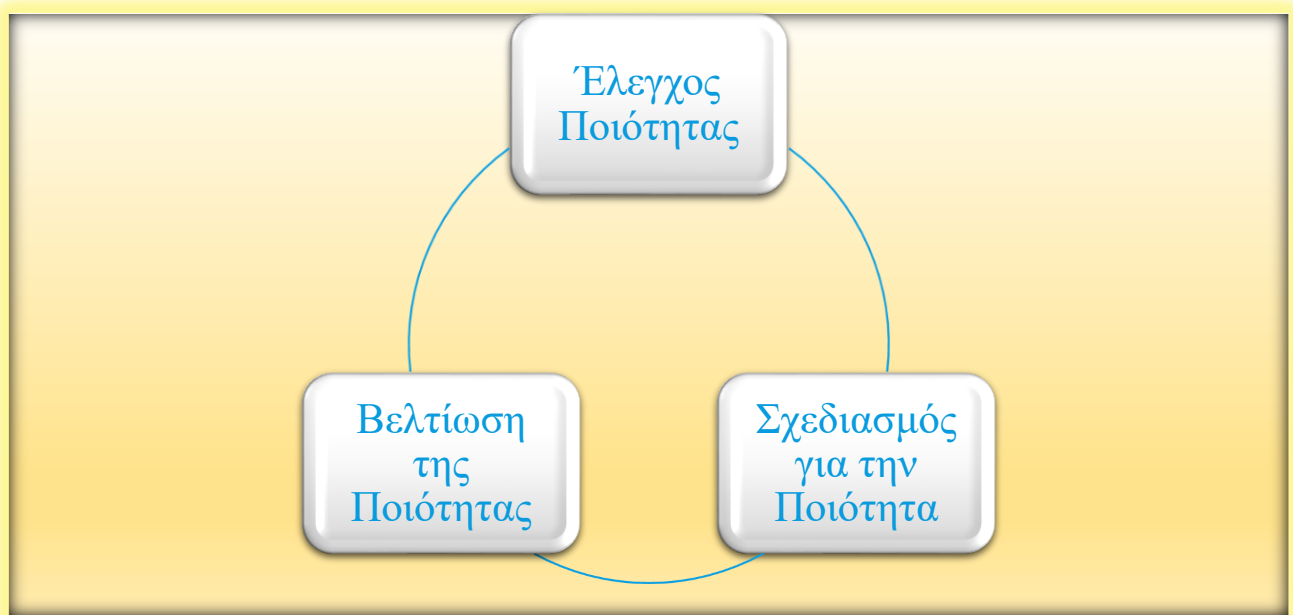
➤ **Dr. Joseph Moses Juran (1904-2008)**

Ο Juran ήταν ένας χαρισματικός σύμβουλος διαχείρισης της Ποιότητας κατά τον 20ο αιώνα ο οποίος επηρέασε αποφασιστικά την Ιαπωνική κατασκευαστική πρακτική. Έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στον ανθρώπινο παράγοντα ως προς τη διαχείριση της ποιότητας, καθώς επίσης στην εκπαίδευση και στην κατάρτιση διευθυντικών στελεχών. Όρισε την ποιότητα ως «καταλληλόλητα» για χρήση με όρους σχεδιασμού, συμμόρφωσης, διαθεσιμότητας, ασφάλειας στο τομέα χρήσης του προϊόντος. Εστίασε στην από πάνω προς τα κάτω διοίκηση και σε τεχνικές μεθόδους με ιδιαίτερη έμφαση στις μετρήσεις.

Γενικότερα το σύνολο της φιλοσοφίας του διατρέχεται από την ιδέα ότι η επίτευξη της ποιότητας δεν είναι ένα τυχαίο γεγονός αλλά αποτέλεσμα σωστού και προγραμματισμένου σχεδιασμού. Δύο ακόμη ορισμοί που έδωσε για την ποιότητα είναι οι εξής:

- *Αυξημένος αριθμός χαρακτηριστικών που ικανοποιούν τις ανάγκες των πελατών.*
- *Λιγότερα ελαττώματα.*

Συμφωνά με τον Juran ο **Σχεδιασμός για την Ποιότητα** αποτελεί μέρος ενός αέναου κύκλου ο οποίος περιλαμβάνει επίσης και την **Βελτίωση της Ποιότητας** καθώς και τον **Έλεγχο της Ποιότητας**. Τα συγκεκριμένα τρία στοιχεία ορίζουν την γνωστή «τριλογία του Juran»



Εικόνα 2.2: Η τριλογία του Juran

I. Σχεδιασμός ποιότητας

Τα βήματα του σχεδιασμού ποιότητας είναι τα εξής:

- Προσδιορισμός των εσωτερικών και των εξωτερικών πελατών
- Προσδιορισμός των αναγκών, των απαιτήσεων και των προσδοκιών των πελατών
- Σχεδιασμός προϊόντων και δημιουργία χαρακτηριστικών σε αυτά.
- Καθιέρωση στόχων ποιότητας και πλάνου επίτευξης στόχων.
- Ανάπτυξη διαδικασιών και επαλήθευση αποτελεσματικότητας αυτών.

II. Έλεγχος ποιότητας

Πρόκειται για μια καθολική διαχειριστική διαδικασία που αφορά στη διεξαγωγή ενεργειών ώστε να εξασφαλισθεί η σταθερότητα. Ο έλεγχος ποιότητας μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί ως μια διαδικασία για τη διεκπεραίωση των καθορισμένων στόχων με την αξιολόγηση και σύγκριση των πραγματικών επιδόσεων και των προγραμματισμένων επιδόσεων και την ανάληψη δράσης για τη διαφορά που προκύπτει (gap analysis). Τα βήματα για τον έλεγχο της ποιότητας είναι τα εξής:

- Επιλογή σημείων ελέγχου
- Επιλογή μονάδων μέτρησης
- Καθιέρωση τρόπου μέτρησης
- Καθιέρωση προτύπων απόδοσης
- Μέτρηση της πραγματικής απόδοσης
- Ερμηνεία και αξιολόγηση των αποκλίσεων
- Ανάληψη κατάλληλου πλάνου δράσης.

III. Βελτίωση ποιότητας

Πρόκειται για τη διαδικασία για τη δημιουργία καινούργιων επιπέδων επιδόσεων μέσω εξάλειψης της σπατάλης και των ελαττωματικών προϊόντων ώστε να μειωθεί το κόστος που προκύπτει ως αποτέλεσμα της κακής ποιότητας. Η διαδικασία για τη βελτίωση της ποιότητας είναι η εξής:

- Ανάδειξη των σημείων που υπάρχει ανάγκη για βελτίωση
- Αναγνώριση των καθοριστικών σημείων της βελτίωσης
- Διάγνωση των βασικών αιτιών.
- Ανάληψη διορθωτικών και προληπτικών ενεργειών
- Αξιολόγηση των ενεργειών που έχουν ληφθεί για το εάν έχουν «θεραπεύσει» το σημείο βελτίωσης.
- Προώθηση του ελέγχου για να διατηρήθούν τα οφέλη.

➤ **Philip B. Crosby, (1926 - 2001)**

Ο Philip B. Crosby, (1926 - 2001) ήταν επιχειρηματίας και συγγραφέας, γνωστός για την συνεισφορά του στη θεωρία της διαχείρισης και στις πρακτικές διαχείρισης της ποιότητας. Η κύρια ιδέα η οποία διέπει την προσέγγιση της ποιότητας και την βελτίωσή της είναι το σλόγκαν «Μηδέν Ελαττώματα». Η φιλοσοφία του εκφράζεται συνοπτικά μέσα από τα τέσσερα απόλυτα (four absolutes) όπως ο ίδιος τα προσδιόρισε:

1. Ποιότητα σημαίνει συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του πελάτη.
2. Η ποιότητα επιτυγχάνεται με την πρόληψη ελαττωματικών
3. Το πρότυπο για την επίτευξη ποιότητας είναι ο Μηδενισμός των ελαττωματικών.
4. Η μέτρηση και η αξιολόγηση της ποιότητας γίνεται με βάση το κόστος της μη συμμόρφωσης στις απαιτήσεις του πελάτη.

Προκειμένου να εφαρμοστεί η προσέγγιση του ώστε να επιτευχθεί η βελτίωση της ποιότητας ο Crosby προσδιόρισε τα εξής «14 Βήματα»:

1. Δέσμευση της Διοίκησης:
2. Δημιουργία ομάδας βελτίωσης της ποιότητας
3. Μέτρηση της ποιότητας και των μη συμμορφώσεων
4. Αποτίμηση του κόστους ποιότητας
5. Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των εργαζόμενων σχετικά με την ποιότητα
6. Ανάλυση διορθωτικής δράσης
7. Καθιέρωση *ad hoc* επιτροπή για το πρόγραμμα «Μηδέν Ελαττωματικά» - Σχεδιασμός πλάνου δράσης
8. Εκπαίδευση της διεύθυνσης και όλων των επιπέδων διοίκησης
9. Καθιέρωση ημέρας Μηδέν Ελαττωματικών
10. Καθορισμός των στόχων
11. Εξάλειψη των αιτιών των σφαλμάτων
12. Αναγνώριση εκείνων που πετυχαίνουν τους σκοπούς τους
13. Εγκαθίδρυση συμβουλίων ποιότητας
14. Επανάληψη των παραπάνω βημάτων σε τακτά χρονικά διαστήματα.

2.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο βασικός στόχος κάθε βιομηχανίας είναι η παραγωγή ανταγωνιστικών προϊόντων με τον πλέον οικονομικότερο τρόπο και με την απαιτούμενη ποιότητα.

Οι προσδοκίες των καταναλωτών είναι πολυσύνθετες και δεν περιορίζονται αυστηρά στα ειδικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το τελικό προϊόν. Είναι αποδεδειγμένο ότι οι πελάτες αποζητούν την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση αλλά ενδιαφέρονται επίσης για την κοινωνική δράση των εταιριών καθώς και για τον τρόπο που αυτές ασκούν την επιχειρηματική τους δραστηριότητα. Η εταιρική κοινωνική ευθύνη, οι αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ευθυνών και η ήπια ενσωμάτωση των εταιρικών δραστηριοτήτων από την τοπική κοινότητα αποτελούν στοιχεία που συνθέτουν το ευρύτερο πλαίσιο σύγκρισης – συχνά καθοριστικό - ενός οργανισμού από έναν άλλο.

Μία εταιρία μπορεί να αποκτήσει συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι του ανταγωνισμού εάν θέσει στρατηγικούς στόχους επίτευξης εταιρικής ποιότητας. Ένας οργανισμός για να διατηρήσει αλλά και για να συνεχίσει να αναπτύσσει το επίπεδο ποιότητας του πρέπει να ξεκινήσει από το επίπεδο της λήψης και επεξεργασίας παραγγελιών (τμήμα εξυπηρέτησης πελατών) την υιοθέτηση της φιλοσοφίας της ποιότητας. Ο Detlef Smolarek [4] σχηματοποιεί τα επίπεδα προσέγγισης της ποιότητας ενός οργανισμού στον πίνακα 2.1

Πίνακας 2.1: Επίπεδα προσέγγισης της ποιότητας από τους οργανισμούς

Τομέας προσέγγισης	Επίπεδο 1 ^ο	Επίπεδο 2 ^ο	Επίπεδο 3 ^ο
Πελάτης	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Το κέρδος είναι πιο σημαντικό από την ικανοποίηση του πελάτη. ➤ Απουσία έρευνας αγοράς. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Οι απαιτήσεις των πελατών ερευνώνται. ➤ Η ικανοποίηση των πελατών αποκτάει μετρήσιμα χαρακτηριστικά. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Η εταιρία υιοθετεί την αρχή του «εσωτερικού πελάτη». ➤ Ο πελάτης αποτελεί το τελικό λειτουργικό επίπεδο μια αλυσίδας «πελατών – προμηθευτών».
Διοίκηση	Ποιότητα – ένα αναγκαίο κακό.	Ποιότητα – ένα κοστολογικό πρόβλημα, εστιάζεται στην πρόληψη των αστοχιών.	Ποιότητα – υψηλής αξίας πρόληψη.
Οργανισμός	Λειτουργικός έλεγχος ποιότητας και επιθεώρησης τελικού προϊόντος	Το τμήμα ποιοτικού ελέγχου αναλαμβάνει την συνολική ευθύνη της ποιότητας.	Όλοι οι εργαζόμενοι είναι υπεύθυνοι για την ποιότητα.
Συστήμα	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Τμήμα ποιότητας ➤ δεν παρακολουθούνται τα κόστη ποιότητας 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Πολιτικές ποιότητας ➤ εγκατεστημένο σύστημα διαχείρισης ελέγχου ποιότητας ➤ παρακολούθηση κόστους ποιότητας 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Πρόγραμμα συνεχούς βελτίωση ➤ Μεγιστοποίησης την παραγωγής ➤ Μικρότεροι χρόνοι επεξεργασίας. (ευέλικτη παραγωγή)

Όπως προαναφέρθηκε ο πελάτης έχει μια σειρά από απαιτήσεις για τα προϊόντα οι οποίες έχουν άμεσες συνέπειες στην λειτουργία του παραγωγού-προμηθευτή. Στον πίνακα 2,2 παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις απαιτήσεις αλλά και οι αντίστοιχες αναγκαίες ενέργειες που πρέπει να κάνει ο παραγωγός για να μπορέσει να ικανοποιήσει τις συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Πίνακας 2.2: Απαιτήσεις πελατών

Απαιτήσεις πελατών	Επακόλουθες ενέργειες παραγωγών
Μείωση τιμών	Μείωση κόστους παραγωγής
Εξάλειψη αστοχιών	Παραγωγή μηδενικών αστοχιών (Zero-Defect program)
Να μην χρειάζεται να κάνει έλεγχο εισερχομένων	Καταγραφή δεδομένων παραγωγής και ποιότητας. Παροχή πιστοποιήσεων στους πελάτες
Μικρή δέσμευση κεφαλαίου	Ευέλικτη παραγωγή – JIT (just in time)
Μείωση της ανάγκης για επιπλέον επεξεργασία των προϊόντων.	Παραγωγή ολοκληρωμένων λειτουργικά προϊόντων – αύξηση λειτουργικής επάρκειας των προϊόντων και των παραγωγικών διεργασιών.

Η γενικότερη παγκόσμια τάση είναι αφενός οι απαιτήσεις των πελατών να αυξάνονται και αφετέρου να αποζητούνται προϊόντα υψηλότερης προστιθέμενης αξίας. Από την πλευρά τους οι παραγωγοί οφείλουν να είναι οι κύριοι υπεύθυνοι της ποιότητας των παρεχόμενων προϊόντων και να επενδύουν στις καινοτόμες δράσεις για την κατασκευή ανώτερης ποιότητας προϊόντων.

Ειδικότερα όσον αφορά τον τομέα της διέλασης του αλουμινίου η ποιότητα είναι βασικό στοιχείο του marketing. Επιπλέον θεωρείται ο κρίσιμος παράγοντας που οδηγεί μια εταιρία στην επιχειρηματική επιτυχία, την ανάπτυξη και στην ενίσχυση της θέσης της στον ανταγωνισμό. Η απόδοση κεφαλαίου και επενδύσεων καθώς και η κερδοφορία ενισχύεται ουσιαστικά όταν η εταιρία τοποθετεί την ποιότητα στον πυρήνα της στρατηγικής της. Ένα αποδοτικό πρόγραμμα βελτίωσης της ποιότητας μπορεί να αποφέρει μεγαλύτερη διείσδυση της επιχείρησης στην αγορά, υψηλότερη παραγωγικότητα καθώς και χαμηλότερο κόστος μεταποίησης και εξυπηρέτησης. Είναι επακόλουθο οι πελάτες να σχηματίζουν συγκεκριμένη άποψη για ομοειδή προϊόντα από διαφορετικές εταιρίες και να αποφασίζουν ποια είναι αυτά που ικανοποιούν με τον καλύτερο τρόπο τις προσδοκίες τους. Συνεπώς οι εταιρίες με καθορισμένο πρόγραμμα ποιότητας αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι του ανταγωνισμού.

2.4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (ΣΔΠ)

Τα συστήματα διαχείρισης της ποιότητας (ΣΔΠ) εισάγονται σε όλων των ειδών τις επιχειρήσεις για διάφορους λόγους. Βασικός όμως ρόλος των συστημάτων ποιότητας είναι να διασφαλίζουν στους πελάτες το κύριο ζητούμενο: **την επίτευξη σταθερής και επαναλαμβανόμενης ποιότητας προϊόντος**. Είναι πολύ σημαντικό όμως για την επίτευξη του στόχου της σταθερής ποιότητας και της γενικότερης μακροχρόνιας επιχειρηματικής επιτυχίας η θεσμοθέτηση μίας συνεχιζόμενης διαδικασίας **συνεχούς βελτίωσης**. Η έννοια του continuous improvement είναι θεμελιώδης για την οικοδόμηση των συστημάτων ποιότητας.

Για την επιλογή και την θεσμοθέτηση ενός συστήματος διαχείρισης της ποιότητας μπορεί να επιλεγεί από την εταιρία να ακολουθήσει τις απαιτήσεις ενός ολοκληρωμένου σχήματος ποιότητας όπως είναι το QS9000 του διεθνούς οργανισμού τυποποίησης (ISO). Σε κάθε περίπτωση όμως, πρέπει το σύστημα ποιότητας να ικανοποιεί τουλάχιστον τις παρακάτω συνθήκες:

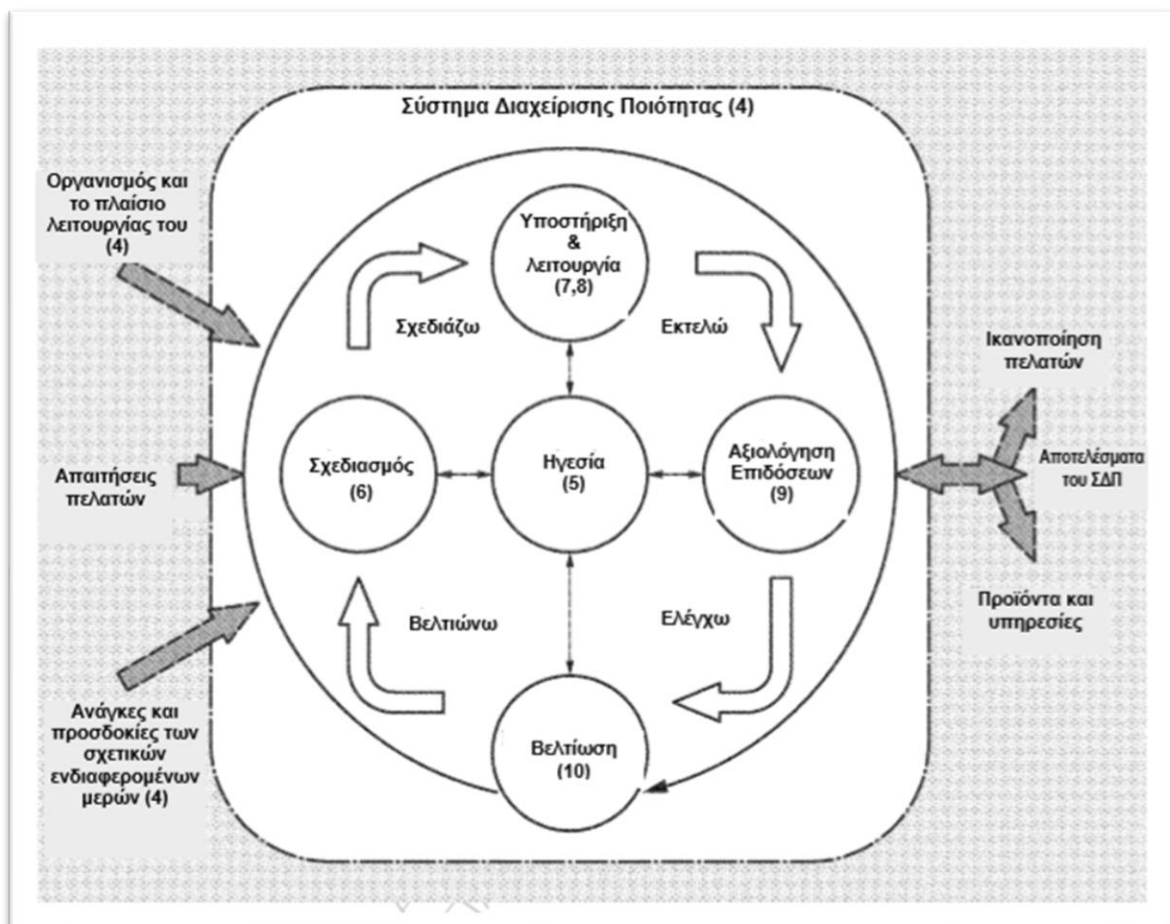
- Την πλήρη κατανόηση και τήρηση των απαιτήσεων των πελατών για το προϊόν / υπηρεσία που προσφέρει η επιχείρηση.
- Να καταγράφονται και να τεκμηριώνονται οι παράμετροι της παραγωγικής διαδικασίας.
- Τον έλεγχο των εσωτερικών διεργασιών της επιχείρησης με καταγεγραμμένες διαδικασίες και οδηγίες. Επίσης να ορίζει σαφή καταμερισμό ευθυνών και αρμοδιοτήτων του προσωπικού της εταιρίας.
- Την ύπαρξη πρόνοιας για την βελτίωση των ικανοτήτων του προσωπικού (μέσω εκπαίδευσεων) για την επιτυχή εκτέλεση των καθηκόντων τους.
- Την οργανωτική ευθύνη μέσω οργανογράμματος και σχέσεων συνάφειας τμημάτων και οργανωτικών επιπέδων.
- Την οικονομικά αποδοτική και ανταγωνιστική παράγωγή αγαθών.

Οι παραπάνω απαιτήσεις ικανοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από την οικογένεια προτύπων ποιότητας ISO 9000. Η συγκεκριμένη ομάδα προτύπων αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σχήμα διαχείρισης της ποιότητας που μπορεί να ακολουθήσει και να πιστοποιηθεί ένας οργανισμός. Αποτελείται από τα εξής τρία πρότυπα (παλαιότερα ήταν τέσσερα αλλά οι τελευταίες αναθεωρήσεις περιόρισαν το σχήμα):

- **ISO 9000:2015** Περιγράφει και αναλύει τις θεμελιώδεις έννοιες, τις αρχές και το λεξιλόγιο των συστημάτων διαχείρισης της ποιότητας. Επίσης αποτελεί το θεμέλιο πρότυπο για τα υπόλοιπα πρότυπα της οικογένειας ISO 9000.
- **ISO 9001:2015** Καθορίζει τις απαιτήσεις του συστήματος διαχείρισης της ποιότητας. Αποτελεί το βασικό πρότυπο βάσει του οποίου θεμελιώνει η κάθε εταιρία το δικό της σύστημα ποιότητας και πιστοποιείται βάσει αυτού.

- **ISO 9004:2018** Παρέχει οδηγίες για την ενίσχυση της ικανότητας ενός οργανισμού να επιτυγχάνει σταθερή και βιώσιμη επιτυχία σε ένα πολύπλοκο, απαιτητικό και ευμετάβλητο οικονομικό περιβάλλον.

Για να εισάγει μια εταιρία ένα σύστημα διαχείρισης της ποιότητας (ΣΔΠ), το οποίο θα καλύπτει όλες τις λειτουργίες της, είναι αναγκαίο να υπάρξει ένα πλάνο δράση το οποίο θα οργανώνεται σε ξεχωριστά βήματα ανάπτυξης. Είναι βασική προϋπόθεση οργανωσιακής επιτυχίας να θεμελιωθεί το ΣΔΠ πάνω σε ένα μακροχρόνιο στρατηγικό σχέδιο το οποίο θα καθορίζει τις τωρινές αλλά και τις μελλοντικές απαιτήσεις του οργανισμού. Ο στόχος που πρέπει να θέσει η εταιρία δεν πρέπει να είναι μια απλή πιστοποίηση συμμόρφωσης με ένα πρότυπο αλλά να δημιουργήσει ένα **εργαλείο διοίκησης της ποιότητας** το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί εποικοδομητικά από τα στελέχη και τους εργαζόμενους της εταιρίας για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Αυτή είναι η λογική που διέπει την οικογένεια προτύπων ISO 9000 και για αυτό τον λόγο υπάρχουν τα συμπληρωματικά πρότυπα.



Εικόνα 2.3: Η δομή του ISO 9001:2015 εντός του κύκλου βελτίωσης της ποιότητας (PDCA).

2.4.2 ΤΑ ΎΝΤΕΚΑ ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Τα Βασικά Εργαλεία της Ποιότητας είναι ένας ορισμός που προσδίδεται σε μία συγκεκριμένη ομάδα εργαλείων που θεωρούνται ως οι τα πλέον χρήσιμα στον εντοπισμό προβλημάτων που σχετίζονται με τη ποιότητα και την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων . Λέγονται βασικά επειδή είναι κατάλληλα για άτομα με την ελάχιστη βασική εκπαίδευση στην στατιστική και επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλύσουν την πλειοψηφία των προβλημάτων που σχετίζονται με τα συνήθη ποιοτικά προβλήματα.

Αυτά τα εργαλεία είναι τα εξής:

1. Έντυπα συλλογής δεδομένων

Εργαλεία μη αριθμητικών δεδομένων:

2. Καταιγισμός ιδεών

3. Διάγραμμα συνάφειας

4. Διάγραμμα αιτίου αποτελέσματος

5. Δεντροδιάγραμμα

6. Διάγραμμα ροής

7. Benchmarking

Εργαλεία αριθμητικών δεδομένων:

8. Διάγραμμα Ελέγχου

9. Ιστόγραμμα

10. Ανάλυση Pareto (80/20)

11. Διάγραμμα διασκόρπισης

Η ονομασία προέκυψε στην μεταπολεμική Ιαπωνία. Την εποχή εκείνη οι εταιρίες που είχαν αρχίσει να εκπαιδεύουν το εργατικό τους δυναμικό πάνω στον στατιστικό έλεγχο διαπίστωσαν ότι η πολυπλοκότητα του αντικειμένου ξένιζε την συντριπτική πλειοψηφία των εργαζομένων και αποφάσισαν να επικεντρωθούν σε πιο απλές μεθόδους που επαρκούν για την επίλυση των περισσότερων προβλημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα.

Τα 11 συνηθέστερα Βασικά Εργαλεία (αναφέρονται στο ISO 9004) διαφέρουν από τις πιο προηγμένες στατιστικές μεθόδους όπως η δειγματοληπτική έρευνα, η δειγματοληψία αποδοχής, η στατιστική δοκιμασία υποθέσεων, ο σχεδιασμός πειραμάτων, η ανάλυση πολλαπλών μεταβλητών και διάφορες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί στον τομέα των ερευνητικών δραστηριοτήτων.

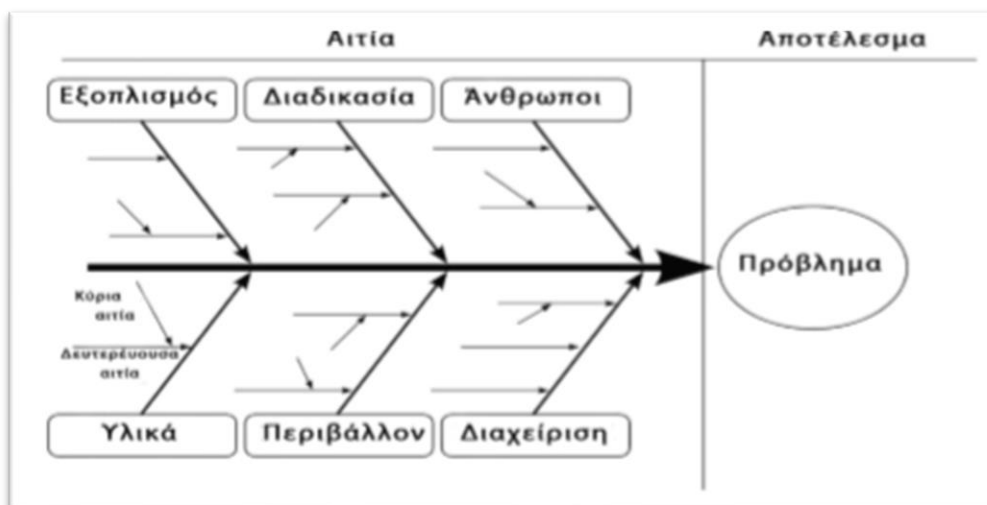
Στην συνέχεια παρουσιάζονται δύο από τα παραπάνω βασικά εργαλεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των δεδομένων της παρούσας διατριβής.

2.4.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΙΤΙΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ

Το διάγραμμα αιτίου-αποτελέσματος (ή διαγράμμα Ishikawa) είναι εργαλείο που βοηθάει στην ανάλυση όλων των πιθανών αιτιών ενός συγκεκριμένου γεγονότος ή προβλήματος. Συνήθεις χρήσεις του διαγράμματος Ishikawa είναι ο σχεδιασμός προϊόντων και η πρόληψη σφαλμάτων, ο εντοπισμός δυνητικών παραγόντων που προκαλούν ένα συνολικό αποτέλεσμα. Κάθε αιτία που προκαλεί σφάλματα είναι μία πηγή διακύμανσης. Οι αιτίες συνήθως ομαδοποιούνται σε κύριες κατηγορίες ώστε να εντοπιστούν αυτές οι πηγές των διακυμάνσεων. Το διάγραμμα αυτό σχηματίζεται πιο λειτουργικά αν έχει προηγηθεί η διαδικασία του Brainstorming και ομαδοποιηθούν οι ιδέες στις παρακάτω κύριες κατηγορίες:

- **Ανθρωποι**
- **Μέθοδοι**
- **Μηχανήματα**
- **Υλικά**
- **Μετρήσεις**
- **Περιβάλλον**

Τελευταία χρησιμοποιείται πολύ συχνά και το «κόκκαλο» **Συστήματα δεδομένων και πληροφορικής** καθώς αυτός ο παράγοντας επηρεάζει πλέον τα περισσότερα από τα θέματα που σχετίζονται με την βιομηχανική παραγωγή.



Εικόνα 2.4: Δομή διαγράμματος Ishikawa

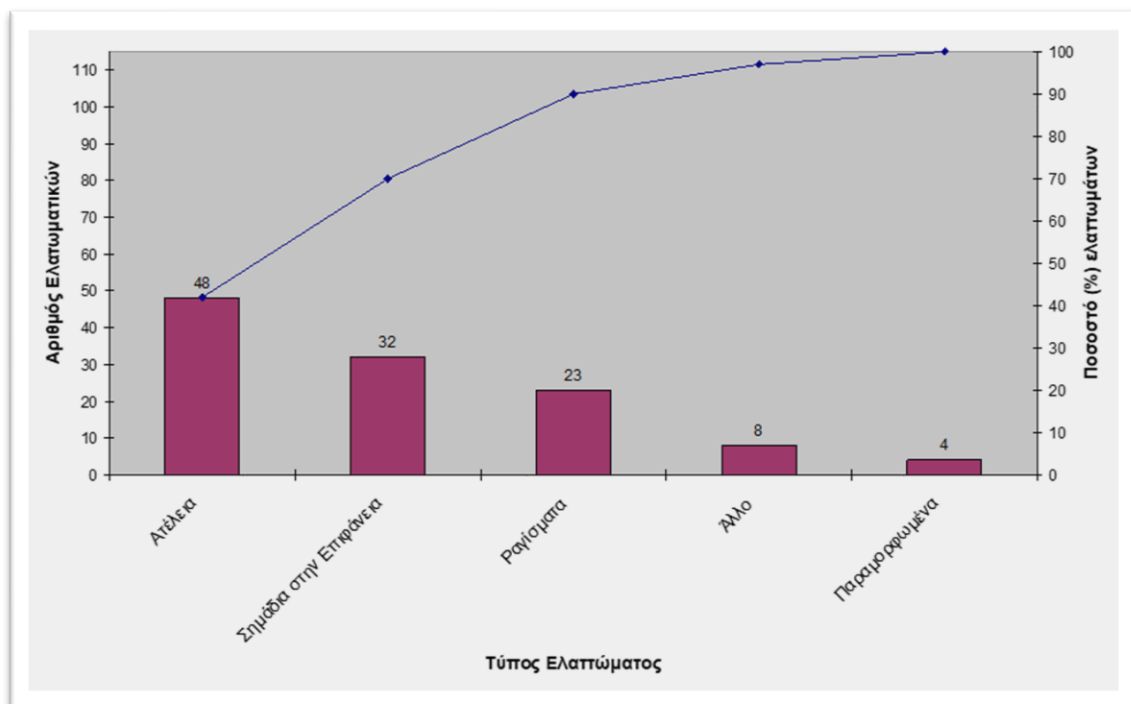
2.4.2.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PARETO

Το γράφημα Pareto έχει πάρει την ονομασία του από τον Ιταλό οικονομολόγο Vilfredo Pareto (1848-1923). Ο Pareto έκανε το 1906 την εξής διαπίστωση:

Το 80% της ιδιοκτησίας της Ιταλίας άνηκε στο 20% του πληθυσμού.

Πάνω σε αυτήν την παρατήρηση βασίζεται η αρχή του Pareto η οποία λέει ότι «Σε κάθε πληθυσμό που συμβάλει σε μια κοινή δράση, ένας σχετικά μικρός αριθμός από τους συντελεστές - οι «λίγοι σημαντικοί» (the vital few) - αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της δράσης »

Είναι ένας τύπος ραβδογράμματος που περιέχει δύο στοιχεία: κατακόρυφες μπάρες και μια γραφική παράσταση. Η κάθε μία από τις μετρήσιμες τιμές αναπαρίσταται σε φθίνουσα σειρά από τις στήλες και το αθροιστικό σύνολο αναπαρίσταται από τη γραμμή (παράσταση). Ο αριστερός κάθετος άξονας είναι η συχνότητα της επανάληψης ενός γεγονότος αλλά θα μπορούσε εναλλακτικά να αντιπροσωπεύει κάποιο κόστος ή κάποια άλλη μονάδα μέτρησης. Ο δεξιός κάθετος άξονας είναι το αθροιστικό ποσοστό του συνόλου των επαναλήψεων, του συνολικού κόστους ή οποιασδήποτε άλλης μονάδας ή μέτρησης. Επειδή οι λόγοι είναι σε φθίνουσα σειρά, η αθροιστική συνάρτηση είναι κοίλη.



Εικόνα 2.5: Δομή διαγράμματος Pareto – Παράδειγμα καταγραφής ελαττωματικών

2.4.3 ΙΚΑΝΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ – ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.4.3.1 ΙΚΑΝΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

Μια διεργασία θεωρείται ικανή αν παράγει προϊόντα (ή υπηρεσίες) που συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του καταναλωτή και με τις προδιαγραφές. Μια διεργασία «κεντροθετημένη», σε σχέση με τα όρια προδιαγραφών, που καταλαμβάνει μικρό μέρος τους εύρους αυτών, πληροί τις βασικές προϋποθέσεις προκειμένου να είναι ικανή.

Είναι σημαντικό να λειτουργεί η διεργασία σε συνθήκες φυσικής μεταβλητότητας (διεργασία εντός στατιστικού ελέγχου) προτού αποτιμηθεί η ικανότητά της.

Στην Ανάλυση Ικανότητας Διεργασίας (Process Capability Analysis) η Ικανότητα Διεργασίας (Process Capability) μπορεί, μεταξύ άλλων, να υπολογιστεί/αποδοθεί με

- το φυσικό εύρος ανοχής 6σ του υπό μελέτη ποιοτικού χαρακτηριστικού,
- το ποσοστό των παραγόμενων προϊόντων που δεν πληρούν τις προδιαγραφές,
- το πρότυπο κατανομής (με συγκεκριμένες παραμέτρους) του υπό μελέτη ποιοτικού χαρακτηριστικού.

Ορολογία:

LSL ή ΚΟΠ: Lower Specification Limit, Κάτω Όριο Προδιαγραφής

USL ή ΑΟΠ: Upper Specification Limit, Άνω Όριο Προδιαγραφής

Η Ανάλυση Ικανότητας Διεργασίας μπορεί να διεξαχθεί ακόμη και αν δεν γνωρίζουμε τα όρια προδιαγραφών (π.χ. με διαστήματα ανοχής, με κατάλληλη χρήση κανονικού διαγράμματος πιθανότητας για εκτίμηση παραμέτρων, κ.ά.).

Οι δείκτες ικανότητας ή δυνατότητας μιας διεργασίας (*process capability indices*) στοχεύουν με ένα απλό ποσοτικό τρόπο να αποτιμήσουν πόσο ικανή είναι μια διεργασία, δηλαδή να περιγράψουν την ικανότητά της να παράγει προϊόντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Στην κατασκευή τους εμπλέκονται συνήθως οι ακόλουθες ποσότητες:

- Μέση τιμή του ποιοτικού χαρακτηριστικού – μ
- Τυπική απόκλιση του ποιοτικού χαρακτηριστικού – σ
- Κάτω όριο προδιαγραφών – LSL
- Άνω όριο προδιαγραφών – USL
- Τιμή στόχος διεργασίας – T
- Μέσο του διαστήματος $[LSL, USL]$ - $M = \frac{LSL+USL}{2}$

Μια μεγάλη τιμή ενός δείκτη ικανότητας αποτελεί συνήθως ένδειξη αυξημένης ικανότητας της διεργασίας.

Συνήθως τα M , T συμπίπτουν (τότε τα όρια προδιαγραφών καλούνται **συμμετρικά**) αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου τα M , T δεν είναι ίσα (τότε τα όρια προδιαγραφών καλούνται μη συμμετρικά).

- Υπάρχουν περιπτώσεις που ορίζεται μόνο **ένα όριο προδιαγραφών**, είτε το LSL είτε το USL .
- Οι δείκτες ικανότητας μιας διεργασίας **δεν επηρεάζονται από τις μονάδες μέτρησης** του ποιοτικού χαρακτηριστικού επιτρέποντας έτσι τη σύγκριση διαφορετικών διεργασιών.
- Η μέση τιμή εκτιμάται από τον αριθμητικό μέσο όλων των παρατηρήσεων που έχουμε στη διάθεσή μας, δηλαδή:

$$\hat{\mu} = \bar{X} \text{ ή } \hat{\mu} = \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m}$$

ανάλογα με το αν έχουμε **ένα ή περισσότερα** τυχαία δείγματα, αντίστοιχα.

- Για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης σ , μέσω **ενός** τυχαίου δείγματος μεγέθους n , έχουμε συνήθως τις ακόλουθες εκτιμήσεις:

$$\hat{\sigma} = S, \hat{\sigma} = \frac{S}{c_4}, \sigma = \overline{MR}/d_2$$

(οι δύο τελευταίες εκτιμήτριες είναι αμερόληπτες). Στην πράξη χρησιμοποιούνται οι δύο πρώτες εκτιμήσεις, που για μεγάλα μεγέθη δειγμάτων είναι σχεδόν ίσες αφού ισχύει η σχέση:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c_4(n) = 1$$

- Για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης σ , μέσω **m τυχαίων δειγμάτων μεγέθους n το καθένα**, οι συνήθεις εκτιμήσεις του σ είναι οι:

$$\hat{\sigma} = R/d, \hat{\sigma} = \frac{S}{c_4}, \hat{\sigma} = \sqrt{S^2}$$

(οι δύο πρώτες εκτιμήτριες είναι αμερόληπτες). Την εκτιμήτρια $S\text{-bar}/c_4$ την προτιμούμε έναντι της εκτιμήτριας $R\text{-bar}/d_2$ όταν το μέγεθος του δείγματος n είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 10 (είναι πιο αποτελεσματική εκτιμήτρια).

- Εκτιμώντας την τυπική απόκλιση μέσω της εκτιμήτριας:

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d, \hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}, \hat{\sigma} = \sqrt{S^2}$$

εκτιμούμε αυτό που ονομάζεται βραχυπρόθεσμη μεταβλητότητα διεργασίας (***short-term variability, within-subgroup variability***).

- Εκτιμώντας την τυπική απόκλιση μέσω της ποσότητας:

$$S = \sqrt{\frac{1}{mn-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X})^2}, \bar{X} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n \bar{X}_j$$

εκτιμούμε αυτό που ονομάζεται μεσοπρόθεσμη μεταβλητότητα διεργασίας (**long-term variability, overall variability**).

- Στη βραχυπρόθεσμη, ή «μέσα στα δείγματα», μεταβλητότητα μιας διεργασίας αποτυπώνεται η μεταβλητότητα της διεργασίας όταν αυτή λειτουργεί υπό συνθήκες φυσικής μεταβλητότητας (εντός στατιστικού ελέγχου διεργασία).
- Στη μακροπρόθεσμη, ή «συνολική», μεταβλητότητα μιας διεργασίας αποτυπώνεται, πέραν της μεταβλητότητας «μέσα στα δείγματα», και η μεταβλητότητα «μεταξύ των δειγμάτων».
- Για μια εντός στατιστικού ελέγχου διεργασία οι εκτιμήσεις της βραχυπρόθεσμης και της μακροπρόθεσμης μεταβλητότητας είναι σχεδόν ίδιες. Ωστόσο σε μια εκτός στατιστικού ελέγχου διεργασίες διαφέρουν (η εκτίμηση της μακροπρόθεσμης μεταβλητότητας είναι μεγαλύτερη της βραχυπρόθεσμης).
- Γενικά στην ανάλυση της ικανότητας μιας διεργασίας, όταν χρειαστεί να εκτιμηθεί η μεταβλητότητά της, προτείνεται να χρησιμοποιείται η μακροπρόθεσμη μεταβλητότητα.
- Όταν χρησιμοποιείται ως εκτιμητήρια της τυπικής απόκλισης η δειγματική τυπική απόκλιση S ομιλούμε συνήθως για επίδοση (**Performance**) και όχι για ικανότητα (**Capability**) της διεργασίας.

2.4.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ C_p

Έστω μια διεργασία με όρια προδιαγραφών **LSL** και **USL**, που περιγράφεται από μια **κανονική** κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ . Ο δείκτης ικανότητας (ή δυνατότητας) C_p της διεργασίας ορίζεται από τη σχέση:

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

Ενδεικτικές τιμές του δείκτη C_p , που καθορίζουν στην πράξη πόσο ικανή είναι μια **υπάρχουσα** (υφιστάμενη) διεργασία δίνονται στο ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2.3: Τιμές δείκτη C_p

$1.33 \leq C_p$	Ικανή διεργασία
$1 \leq C_p < 1.33$	Η διεργασία χρειάζεται παρακολούθηση
$C_p < 1$	Μη ικανή διεργασία. Χρειάζεται αναθεώρηση του σχεδιασμού της (προδιαγραφές, μηχανές, παραγωγικές διαδικασίες, κλπ.)

Η τιμή:

$$C_p = 1.33 = 4/3$$

δηλώνει ότι το φυσικό εύρος ανοχής 6σ καταλαμβάνει το 75% του εύρους των προδιαγραφών.

2.4.3.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ C_{pk}

Ο δείκτης από μόνος του C_{pk} είναι ένας μη αποτελεσματικός δείκτης για την περιγραφή της ικανότητα μιας διεργασίας γιατί:

- αγνοεί τη θέση στην οποία βρίσκεται ο μέσος μ της διεργασίας σε σχέση με τα όρια προδιαγραφών,
- για να υπολογιστεί απαιτεί να υπάρχουν και τα δύο όρια προδιαγραφών.

Για να ξεπεραστούν οι παραπάνω δυσκολίες (σε κάποιο βαθμό) ορίστηκαν οι εξής δείκτες ικανότητας:

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (\text{όταν υπάρχει μόνο το κάτω όριο προδιαγραφών})$$

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (\text{όταν υπάρχει μόνο το άνω όριο προδιαγραφών})$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pl}, C_{pu}\} \quad (\text{όταν υπάρχουν και τα δύο όρια προδιαγραφών})$$

Είναι εμφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη C_{pk} τόσο πιο ικανή είναι η διεργασία.

Το πρόγραμμα ποιοτικού ελέγχου Six Sigma της Motorola απαιτεί ελάχιστες τιμές για τους δείκτες C_p και C_{pk} ίσες με 2.0 και 1.5, αντίστοιχα, το οποίο ισοδυναμεί με 3.4 ελαττωματικά προϊόντα ανά 1,000,000 παραγόμενα προϊόντα (3,4 DPMO). Γενικότερα η Motorola χρησιμοποίησε τον όρο επίδοση διεργασίας:

$$ED = 3C_{pk} + 1,5$$

Οπου το 1,5 είναι η τιμή των τυπικών αποκλίσεων που μπορεί να μετατοπιστεί η τιμή του μ και να παραμείνει η διεργασία εντός στατιστικού ελέγχου.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις ελάχιστες προτεινόμενες τιμές του δείκτη C_{pk} προκειμένου να θεωρηθεί μια διεργασία ικανή.

Πίνακας 2.4: Προτεινόμενες ελάχιστες τιμές δείκτη C_{pk}

	Με Άνω και Κάτω όριο προδιαγραφών	Με μονόπλευρο όριο προδιαγραφών
Υπάρχουσα διεργασία	1,33	1,25
Νέα διεργασία	1,50	1,45
Υπάρχουσα διεργασία σχετική με ασφάλεια, αντοχή, ή κρίσιμη παράμετρος	1,50	1,45
Νέα διεργασία σχετική με ασφάλεια, αντοχή, ή κρίσιμη παράμετρος	1,67	1,60

3. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΛΑΣΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ – ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αλουμίνιο είναι το πιο άφθονο ορυκτό που βρίσκεται στον φλοιό της γης (3^ο σε περιεκτικότητα στο γήινο περιβάλλον μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο). Όμως δεν βρίσκεται σε καθαρή μορφή και άμεσα εκμεταλλεύσιμη. Για αυτό τον λόγο πρέπει να εξαχθεί και να εξυγениιστεί πριν την χρήση του. Παρόλο που η χρήση του εντοπίζεται για πρώτη φορά το 300 π.Χ., μέχρι το 1886 δεν είχε αναπτυχθεί κάποια οικονομικά εφικτή διαδικασία για την μαζική παραγωγή και εμπορική εκμετάλλευση του μετάλλου. Οι Charles Martin Hall στις Η.Π.Α. και ο Paul Heroult στην Γαλλία την ίδια περίοδο – αν και δουλεύαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον και χωρίς να γνωρίζουν την εργασία του άλλου – ανακάλυψαν την βασική διεργασία από την οποία το αλουμίνιο παράγεται ακόμα και σήμερα. Αυτή είναι η ηλεκτρολυτική μέθοδος παραγωγής του μετάλλου από το οξείδιο του αλουμινίου (αλουμίνα).

Το αλουμίνιο προέρχεται από το ορυκτό «βωξίτης» που μετά από την εξόρυξή του μετατρέπεται σε αλουμίνα και στην συνέχεια με ηλεκτρόλυση μετατρέπεται σε μέταλλο αλουμίνιο. Το σημείο τήξης είναι 635-660°C ανάλογα με την καθαρότητα. Μεταποιείται με διάφορες τεχνικές όπως:

- διέλαση
- έλαση
- χύτευση

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας, με μηχανουργικά εργαλεία για την παραγωγή τελικών προϊόντων ή τμημάτων αυτών, κατεργάζεται για χρήση στην οικοδομή, στη συσκευασία, στις μεταφορές, στον οικιακό εξοπλισμό αλλά και σε μηχανολογικές, ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές εφαρμογές. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του, καθώς και η υψηλή τεχνολογία που εφαρμόζεται εξηγούν το σημερινό ευρύ φάσμα των εφαρμογών του. Η χρήση του αλουμινίου και των κραμάτων του εξασφαλίζουν σε κάθε περίπτωση πολύ καλή ποιότητα στα τελικά προϊόντα και με χαμηλό παραγωγικό κόστος.

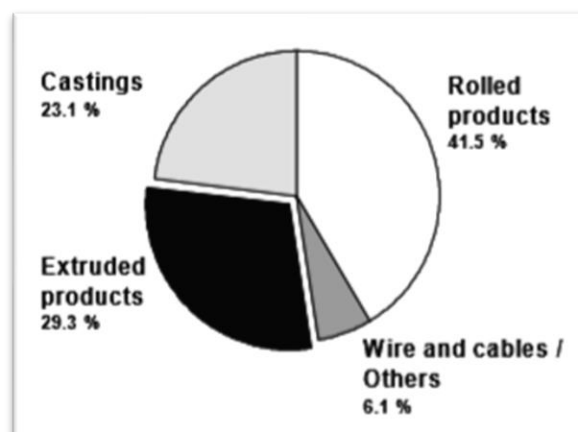
Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά και εφαρμογές βιομηχανίας αλουμινίου.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες αλουμινίου	Αντίστοιχες εφαρμογές για τα δεδομένα χαρακτηριστικά
Χαμηλό ειδικό βάρος (2,7g/cm ³) σε συνδυασμό με ανθεκτικότητα	Μέσα μεταφοράς
Αντοχή στην διάβρωση	Ναυπηγική, Οικοδομή
Πολύ καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα	Αγωγοί διανομής ηλ.ενέργειας, οικιακά σκεύη
Αδιαπέρατο από μικροοργανισμούς & φως	Συσκευασία - φαρμακοβιομηχανία
Μη μαγνητικό υλικό	Ηλεκτρονικός εξοπλισμός
Πολύ καλή ανακλαστικότητα	Σε συνδυασμό με το χαμηλό του βάρος, κουβέρτες διάσωσης
Ελατό και όλκιμο	Δυνατότητα για μεγάλο εύρος εφαρμογών
100% ανακυκλώσιμο	Προστασία περιβάλλοντος

3.2 Η ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΙΕΛΑΣΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

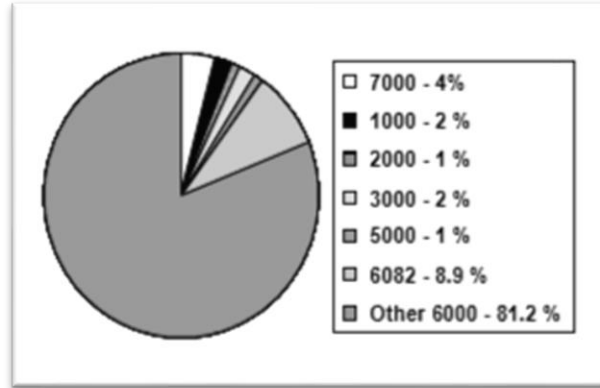
Η εξώθηση κραμάτων αλουμινίου προσφέρει μια σχετικά φτηνή μέθοδο παραγωγής σύνθετων διατομών σε μεγάλα μήκη με υψηλές γεωμετρικές ανοχές και υψηλά μηχανικά χαρακτηριστικά. Η ευελιξία της διαδικασίας σε σχέση τόσο με τα κράματα που μπορούν να διελαστούν όσο και με τα σχήματα που είναι δυνατό να σχεδιαστούν έχει οδηγήσει σε μια ευρεία χρήση των προφίλ αλουμινίου στη καθημερινή ζωή. Τα προφίλ αλουμινίου χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως ο αρχιτεκτονικός κλάδος (κουφώματα παραθύρων και πορτών, προσόψεις κτιρίων, στέγες, υαλοπετάσματα κ.λπ.), ναυτιλία, έπιπλα και στον τομέα των μεταφορών για αεροδιαστημικές εφαρμογές, σιδηροδρομικά οχήματα και την αυτοκινητοβιομηχανία.

Η Εικόνα 3.1 δείχνει την κατανάλωση αλουμινίου στη Δυτική Ευρώπη το 2001 (περίπου 8 εκατομμύρια τόνοι) κατηγοριοποιημένη στους διαφορετικούς τύπους προϊόντων. Όπως φαίνεται, σχεδόν το ένα τρίτο της κατανάλωσης είναι προϊόντα διέλασης.



Εικόνα 3.1: Κατανάλωση προϊόντων αλουμινίου στην Δυτική Ευρώπη το έτος βάσης 2001 κατηγοριοποιημένη στις κύριες κατηγορίες προϊόντων

Οι ποσότητες των διαφόρων κραμάτων που χρησιμοποιούνται για σκοπούς διέλασης φαίνονται στην Εικόνα 3.2. Είναι σαφές ότι το κυρίαρχο σύστημα κραμάτων για την διέλαση αλουμινίου είναι η οικογένεια κραμάτων 6000, δηλαδή κράματα συστήματος AlMgSi. Εκτιμάται ότι περισσότερο από το 90% του συνολικού όγκου εξώθησης κατασκευάζεται από αυτή την οικογένεια κραμάτων.

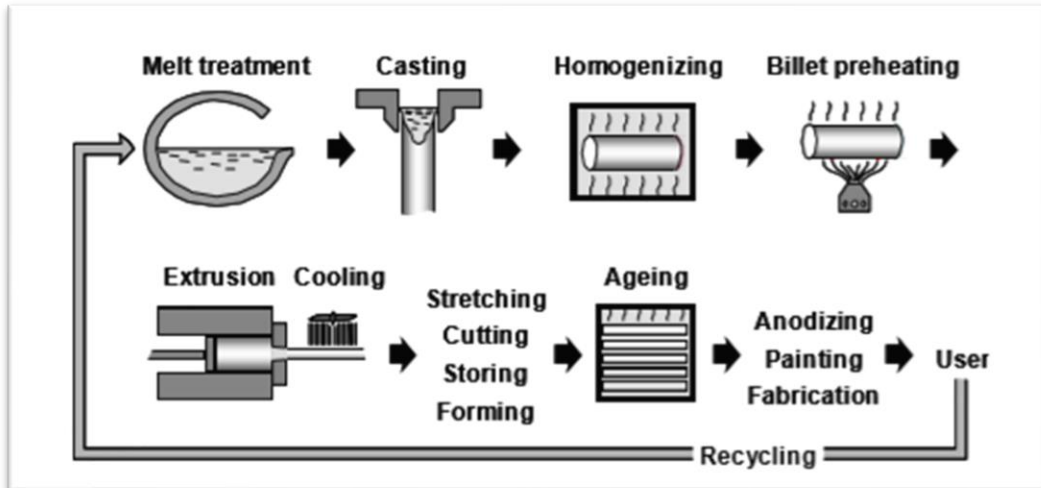


Εικόνα 3.2: Οικογένειες κραμάτων που χρησιμοποιούνται στις διελάσεις στην Δυτική Ευρώπη (έτος βάσης 2000).

Ο λόγος που υπερισχύει η οικογένεια κραμάτων 6000 ότι διότι τα συγκεκριμένα κράματα προσφέρουν έναν ελκυστικό συνδυασμό χαρακτηριστικών όπως μηχανικές ιδιότητες, υψηλή αντοχή στη διάβρωση, υψηλή διελασιμότητα και ικανότητα μορφοποίησης καθώς και καλή ποιότητας επιφάνειας με καλή απόκριση σε διακοσμητικές και προστατευτικές διαδικασίες επιφανειακής κατεργασίας (όπως η ανοδίωση και η ηλεκτροστατική βαφή).

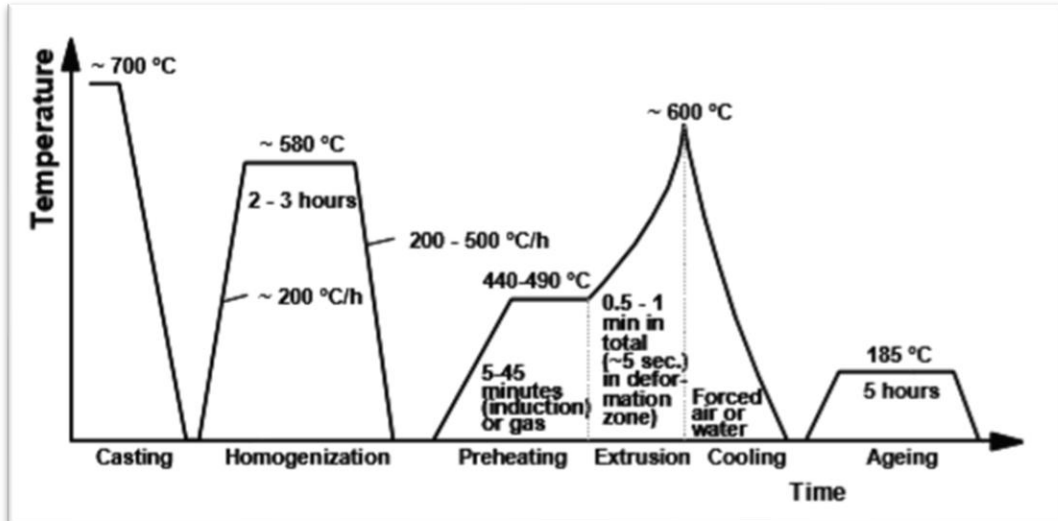
3.2.1 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΦΙΛ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Η Εικόνα 3.3 παρουσιάζει τα διάφορα στάδια της διαδικασίας παραγωγής προφίλ αλουμινίου. Η τήξη και η κραματοποίηση, η χύτευση των κολώνων κράματος και η ομογενοποίηση τους γίνονται στο χυτήριο. Στη συνέχεια, οι κολώνες κράματος αποστέλλονται στα εργοστάσια διέλασης όπου πρώτα προθερμαίνονται στην επιθυμητή θερμοκρασία εξώθησης, εξωθούνται, ψύχονται, τανύζονται και γηράσκουν στην επιθυμητή θερμοκρασία και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Επειτα ακολουθούν κατεργασίες επιφάνειας σε επόμενα παραγωγικά στάδια.



Εικόνα 3.3: Διάγραμμα ροής σταδίων παραγωγής προφίλ αλουμινίου

Η Εικόνα 3.4 παρουσιάζει την θερμοκρασία κατά την πορεία του χρόνου μέσω των ίδιων σταδίων με ενδείξεις τυπικών θερμοκρασιών και χρόνων που χρησιμοποιούνται κατά την διέλαση των κραμάτων οικογένειας 6000. Η χρονική κλίμακα διαφοροποιείται για τα διάφορα στάδια. Επίσης στο διάγραμμα οι καμπύλες είναι ενδεικτικές ειδικά αν ληφθεί υπόψη ο υψηλός ρυθμός θέρμανσης που καταγράφεται κατά τη διάρκεια της διέλασης (λόγω τριβών και πλαστικής παραμόρφωσης).



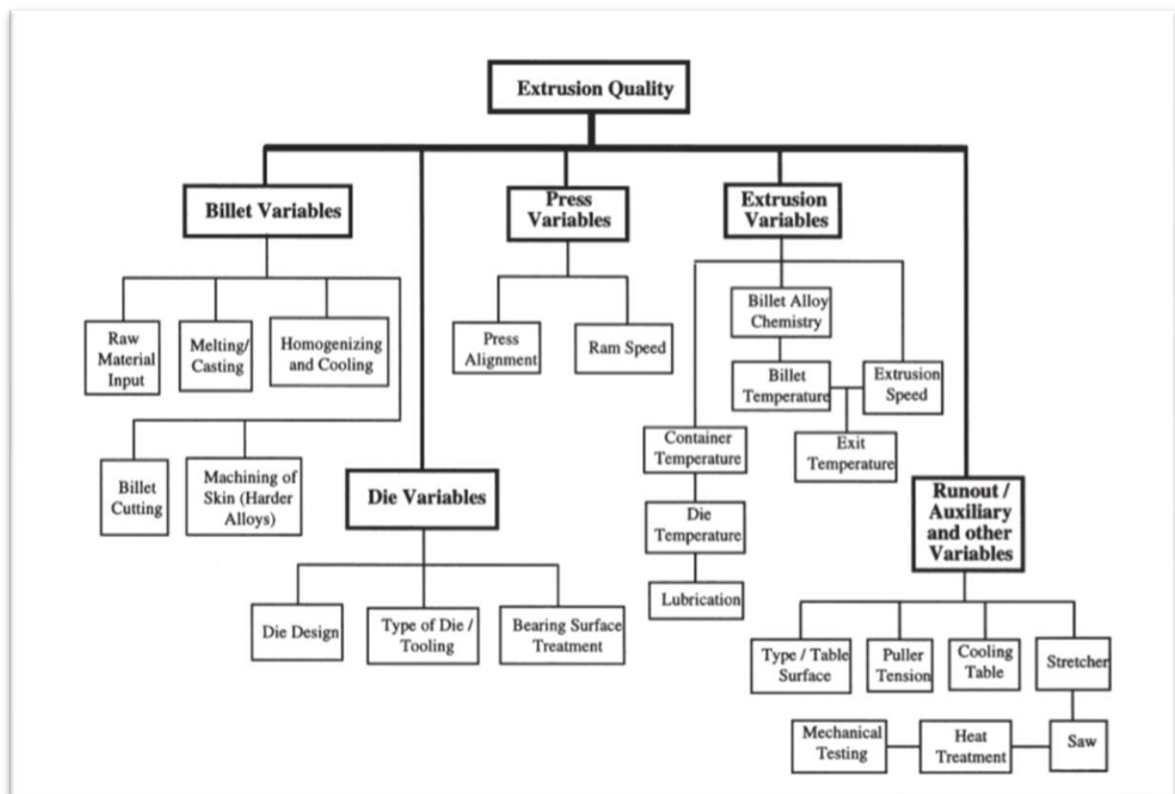
Εικόνα 3.4: Διάγραμμα ροής σταδίων παραγωγής προφίλ αλουμινίου

3.2.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΡΟΦΙΛ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Η ποιότητα στην διέλαση είναι απόλυτα συνυφασμένη και εξαρτώμενη από την ίδια την διεργασία και την ροή των επιμέρους λειτουργικών μονάδων. Συνεπώς απαιτείται ένα οργανωμένο

σχέδιο ελέγχου της διεργασίας σε όλα της τα στάδια. Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι ελεγχόμενες μεταβλητές της διεργασίας και οι ποιοτικές παράμετροι μιας γραμμής παραγωγής διέλασης αλουμινίου. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, οι βασικές μεταβλητές ποιότητας στη διέλαση αλουμινίου είναι οι εξής:

- Το κράμα αλουμινίου και οι μεταβλητές χύτευσης (billet variables)
- Η μήτρα διέλασης και μορφοποίησης του προφίλ (die variables).
- Η πρέσα διέλασης (press variables).
- Οι συνθήκες διέλασης (extrusion variables).
- Ο εξοπλισμός και οι συνθήκες παραγωγής των επόμενων σταδίων της διέλασης όπως είναι η ψύξη, η τάνυση και η γήρανση των προφίλ (Runout/Auxiliary and other Variables).



Εικόνα 3.5: Διάγραμμα μεταβλητών ποιότητας διέλασης αλουμινίου.

Η καλύτερος δυνατός έλεγχος του συνόλου της διεργασίας, ξεκινώντας από την χύτευση του αλουμινίου (billet casting) έως και την τελική θερμική κατεργασία των προφίλ (heat treatment), είναι επιβεβλημένος για την διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων διέλασης. Παράλληλα η εταιρία πρέπει να καθορίσει τις αρχές για ένα πρόγραμμα ελέγχου των μεταβλητών διεργασίας οι οποίες, σε τελική ανάλυση, καθορίζουν κατά πόσο η διεργασία είναι σταθερή. Τα αποτελέσματα αυτού του προγράμματος

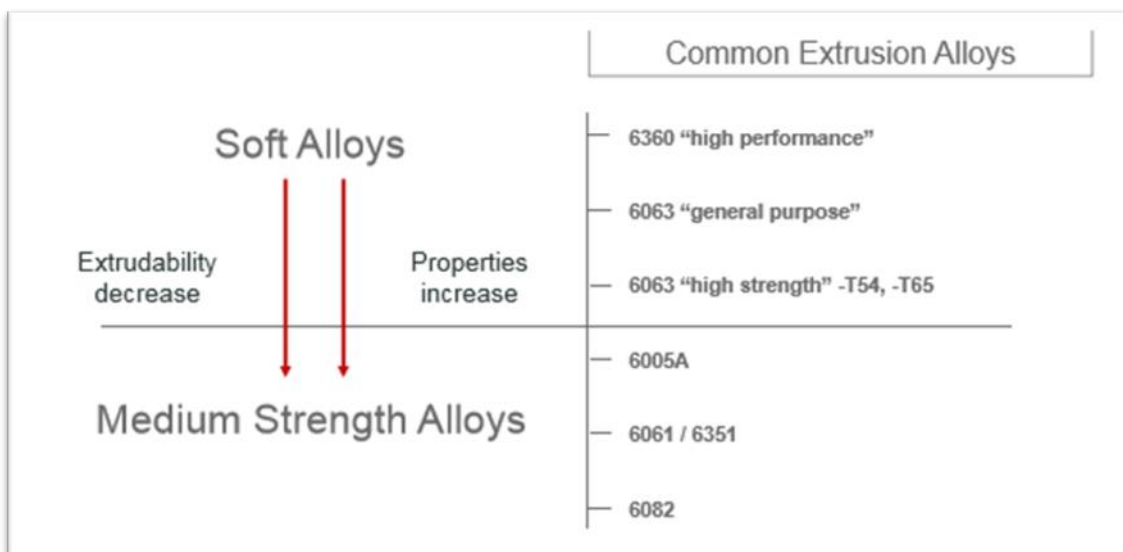
διαμορφώνουν το πλαίσιο πάνω στο οποίο λαμβάνονται οι διορθωτικές ενέργειες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν τις ειδικές αιτίες της μεταβλητότητας που καθιστούν την λειτουργία της διεργασίας ευμετάβλητη.

3.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ – ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΠΙΓΙΕΤΩΝ

Η διέλαση αλουμινίου χωρίζεται σε δύο χαρακτηριστικές κατηγορίες οι οποίες βασίζονται στα ειδικά χαρακτηριστικά των κραμάτων και κατ' επέκταση στην λειτουργική χρησιμότητα και τις εφαρμογές των τελικών προϊόντων. Οι κατηγορίες είναι οι εξής δύο:

- **I, Soft -and medium- Grade alloys / μαλακά και μεσαίας κατηγορίας κράματα αλουμινίου (θερμικής η μη θερμικής κατεργασίας).**

Βασικό πεδίο εφαρμογής των προϊόντων που παράγονται από τα συγκεκριμένα κράματα είναι τα αρχιτεκτονικά συστήματα αλλά και οι περισσότερες εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Στην επόμενη Εικόνα 3.6 παρουσιάζονται τα βασικά κράματα που χρησιμοποιούνται στην διέλαση αλουμινίου (της οικογένειας κραμάτων 6000) σε κλίμακα αύξησης των μηχανικών χαρακτηριστικών.

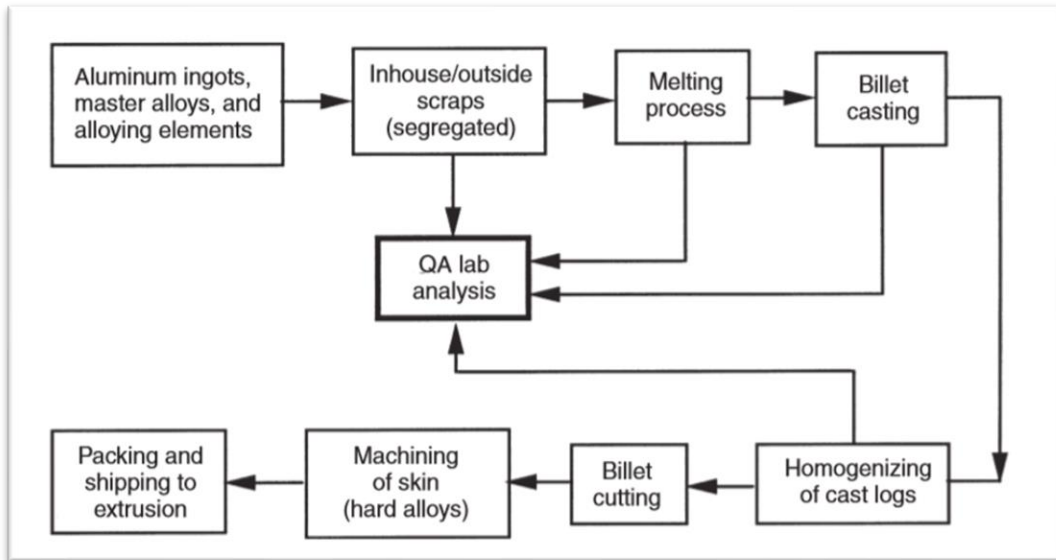


Εικόνα 3.6: Χαρακτηριστικά κράματα (οικογένεια κραμάτων 6000) σε κλίμακα αύξησης μηχανικών χαρακτηριστικών και μείωσης διελασιμότητας.

➤ **II, *Harder alloys / Σκληρότερα κράματα αλουμινίου (θερμικής κατεργασίας).***

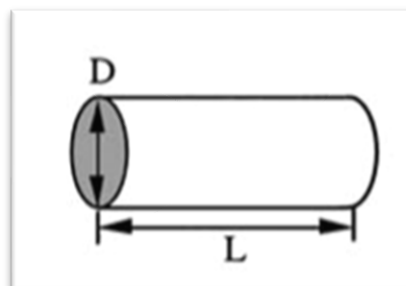
Βασικό πεδίο εφαρμογής των προϊόντων που παράγονται από τα συγκεκριμένα κράματα είναι ο κατασκευαστικός τομέας, τα δομικά υλικά, η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροναυπηγική αλλά και διάφορες άλλες ειδικών απαιτήσεων εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται οι διεργασίες παραγωγής μπιγιέτας αλουμινίου σε ένα χυτήριο.



Εικόνα 3.7: Διάγραμμα ροής διεργασιών χύτευσης μπιγιετών αλουμινίου.

Με τον όρο «μπιγιέτα» αναφέρεται η κυλινδρική μπάρα κράματος αλουμινίου η οποία είναι σε κατάλληλο πρότυπο μέγεθος (καθορίζονται με βάσει την διάμετρο και το μήκος τους) για να αποτελέσει την 1^η ύλη που θα επεξεργαστεί η πρέσα διέλασης. Οι δύο κύριες διαστάσεις προδιαγράφονται αποκλειστικά από τον σχεδιασμό και την δυναμικότητα της πρέσας και του τραπεζιού φόρτωσης της αλλά και από την δυνατότητα παραγωγής του χυτηρίου.



Εικόνα 3.8: Γεωμετρική απεικόνιση κυλινδρικής μπιγιέτας κράματος αλουμινίου

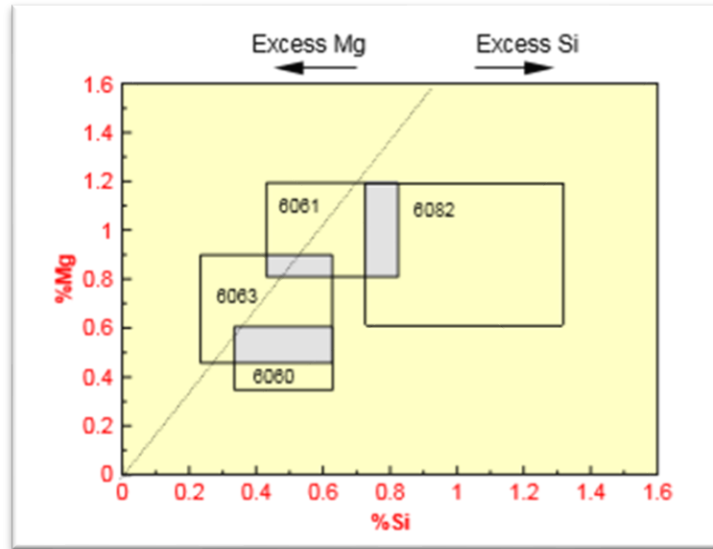
3.2.3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΣΕΙΡΑΣ 6000

Τα κράματα της σειράς 6000 είναι τυπικά κράματα αλουμινίου θερμικώς κατεργαζόμενα που αυξάνουν την αντοχή τους από την θερμική επεξεργασία και όχι από την μηχανική παραμόρφωση. Τα βασικά στοιχεία αυτών των κραμάτων είναι το μαγνήσιο (Mg) και το πυρίτιο (Si) που συνδυάζονται για να σχηματίσουν τα ιζήματα Mg_2Si . Αυτά τα ιζήματα (κατακρηνίσματα) εμφανίζονται σε διάφορες μορφές και μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες.

- β'' (beta double prime) Mg_2Si , ο μικρότερος τύπος ιζήματος Mg_2Si που έχει σχήμα ράβδου και συμβάλλει περισσότερο στις μηχανικές ιδιότητες όταν διασπείρεται πυκνά στην κρυσταλλική δομή.
- β' (beta prime) Mg_2Si , μια μεγαλύτερη έκδοχή του κατακρηνίσματος σε σχήμα ράβδου που έχει αναπτυχθεί σε μεγαλύτερο βαθμό από την κατηγορία β''. Τα ιζήματα β έχουν αμελητέα συμβολή στις μηχανικές ιδιότητες.
- β (beta) Mg_2Si , το μεγαλύτερο σε μέγεθος κατακρηνίσμα Mg_2Si που έχει σχήμα κύβου και λόγω του μεγέθους του δεν συμβάλλει καθόλου στις μηχανικές ιδιότητες.

Τα περισσότερα κράματα έχουν σχεδιαστεί για να έχουν είτε ισορροπημένο επίπεδο σύστασης Mg και Si είτε να έχουν περίσσεια Si. Η Εικόνα 3.7 παρουσιάζει μια διαχωριστική γραμμή για μια ισορροπημένη σύνθεση, υποθέτοντας ότι η περιεκτικότητα σε σίδηρο σε αυτά τα κράματα είναι 0,16%. (Η διακύμανση της περιεκτικότητας σε σίδηρο θα μεττοπίσει την κλίση αυτής της γραμμής). Τα κράματα με περίσσεια Si προτιμώνται από τα κράματα με περίσσεια Mg επειδή:

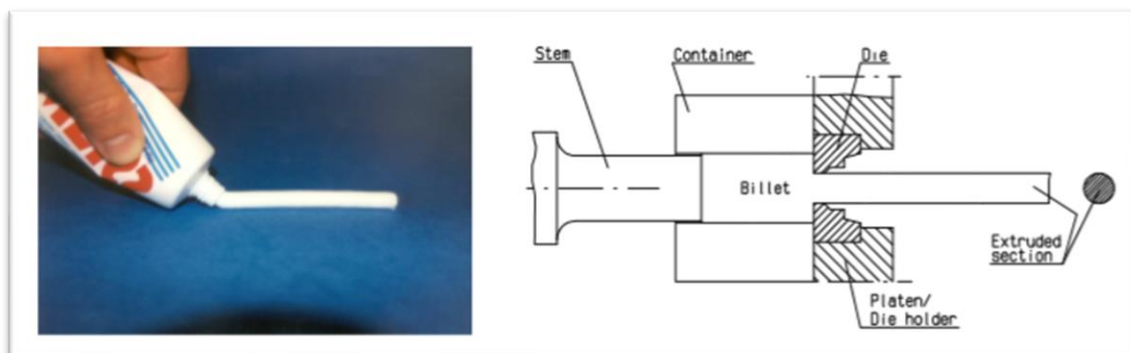
- Περίσσεια Mg δεν προσθέτει στις τελικές μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος.
- Περίσσεια Mg αυξάνει την τάση ροής του κράματος και καθιστά δύσκολη την διέλαση.
- Η περίσσεια Si βοηθά στην απόκριση της τεχνητής γήρανσης και έτσι αυξάνει την αντοχή του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 3.9: Διαγραμματική απεικόνιση σύστασης κραμάτων σειράς 6000 στα βασικά κραματικά στοιχεία.

3.2.4 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΕΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η διέλαση είναι μια διεργασία πλαστικής παραμόρφωσης κατά την οποία ένα μπλοκ μετάλλου (μπιγιέτα) ωθείται σε ροή μέσω συμπίεσης μέσα από το άνοιγμα μιας μήτρας – καλουπιού. Κατά τη διέλαση αλουμινίου (extrusion) η μπιγιέτα αλουμινίου συμπιέζεται μέσω ενός εμβόλου μέσα σε μεταλλικό θάλαμο (container). Στο άλλο άκρο του θαλάμου τοποθετείται κατάλληλα διαμορφωμένη μήτρα, και αναγκάζεται να εξέλθει το αλουμίνιο από το άνοιγμα της μήτρας αποδίδοντας προϊόν με μικρότερη διατομή και μεγαλύτερο μήκος. Η όλη διεργασία πραγματοποιείται σε ειδικά σχεδιασμένη εργαλειομηχανή που ονομάζεται *πρέσα διέλασης*.

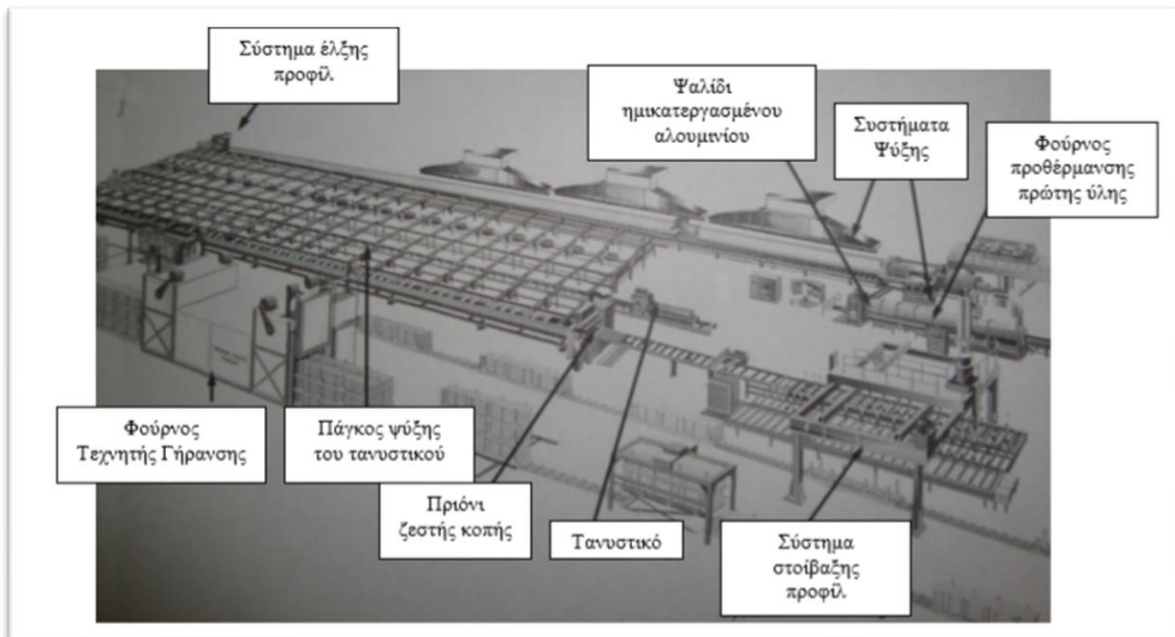


Εικόνα 3.10: Απλοποιημένο σχήμα περιγραφής διέλασης αλουμινίου σε σύγκριση με την εξώθηση οδοντόπαστας.

Η διέλαση είναι γνωστή από τον 18ο αιώνα και εκτελείται είτε ως θερμή είτε ως ψυχρή κατεργασία. Η πρέσα είναι κατά κύριο λόγο υδραυλική και οριζόντια για τη θερμή διέλαση και κατακόρυφη για τη ψυχρή διέλαση. Οι ταχύτητες εμβόλου φθάνουν μέχρι 0.5 m/s.

Παρότι υπάρχουν πολλών ειδών διαφορετικοί τρόποι διέλασης πιο διαδεδομένη είναι η **άμεση διέλαση** όπου η ροή μετάλλου είναι στην ίδια κατεύθυνση με την κίνηση του εμβόλου. Αντίθετα στην έμμεση διέλαση υπάρχει κίνηση της μήτρας προς την ράβδο του κράματος σε αντίθετη κατεύθυνση από το παραγόμενο προϊόν.

Φυσικά όμως η πρέσα διέλασης δεν αποτελεί την μοναδική μηχανή που απαιτείται για την παραγωγή προφίλ αλουμινίου αλλά ένα σύνολο μηχανών και εξοπλισμού διαμορφώνουν το σύνολο της γραμμής παραγωγής. Πρέπει να σημειωθεί ότι η γραμμή παραγωγής της διέλασης αλουμινίου δεν συμπεριλαμβάνει το χυτήριο αλλά ούτε και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις κατεργασιών που ακολουθούν (επιφάνειας ή μηχανικές κατεργασίες).



Εικόνα 3.11: Ολοκληρωμένη γραμμή παραγωγής προφίλ αλουμινίου.

Η όλη διαδικασία της διέλασης ξεκινά με την σωστή επιλογή του κράματος που θα χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή του προφίλ. Η σωστή επιλογή του κράματος εξαρτάται από πολλά σημαντικά κριτήρια τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη μας. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- το σχέδιο του προφίλ προς παραγωγή. Αυτό συμβαίνει διότι το κάθε προφίλ έχει τις ιδιαιτερότητες του όσο αναφορά την παραγωγή του. Όσο πιο δύσκολο είναι το σχέδιο του προφίλ τόσο πιο μαλακό κράμα επιλέγουμε πάντα όμως σε σχέση με τις απαιτήσεις του πελάτη που είναι ένα άλλο κριτήριο επιλογής σωστού κράματος.

- ανάλογα με τον σκοπό και την εφαρμογή που θα χρησιμοποιήσει το προφίλ του επιλέγει τη σκληρότητα ή την ελαστικότητα που ικανοποιεί τις ανάγκες του.
- Βελτιστοποίηση ταχύτητας παραγωγής. Όποτε είναι εφικτό επιλέγονται τα κράματα με την καλύτερη δυνατή διελασιμότητα.

Πριν ξεκινήσει η παραγωγή κάποιου προφίλ αφού έχουν ληφθεί υπόψη τα παραπάνω, η μήτρα του προφίλ προθερμαίνεται μαζί με όλο το συγκρότημά της στους 450 °C για τουλάχιστον τέσσερις ώρες στο φούρνο προθέρμανσης μητρών. Η χρονική περίοδος προθέρμανσης εξαρτάται από το μέγεθος της μήτρας και από το αν η μήτρα είναι σωληνωτή (για προφίλ με οπές) ή απλή.

Από την στιγμή που η μήτρα έχει προθερμανθεί, το κράμα που θα χρησιμοποιηθεί επίσης προθερμαίνεται σε ειδικό φούρνο προθέρμανσης. Στον φούρνο φορτώνεται ολόκληρη κολώνα κράματος (συνήθως είναι εξάμετρες). Η κολώνα σύρεται πάνω σε ράουλα με μια τροχαλία η οποία δίνει κίνηση σ' αυτά και έτσι μεταφέρεται στο φούρνο τμηματικά και συνεχόμενα. Επί της ουσίας η κολώνα προχωράει μέχρι την έξοδο του φούρνου όπου φτάνει στην τελική θερμοκρασία.

Ο σκοπός της προθέρμανσης των μπιγιετών είναι η μείωση της τάσης ροής του κράματος ώστε να επιτρέπεται η διέλαση στη μέγιστη εφικτή ταχύτητα διατηρώντας παράλληλα ένα εξαιρετικό φινιρίσμα επιφάνειας και τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες

Η θερμοκρασία προθέρμανσης που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι επαρκής για τη διάλυτοποίηση των κατακρημνισμάτων β' Mg₂Si κατά τη διάρκεια της εξώθησης. Αυτό θα εξασφαλίσει ότι οι βέλτιστες τελικές μηχανικές ιδιότητες λαμβάνονται στη συνέχεια με σωστή απόσβεση της πρέσας και τεχνητή γήρανση. Μια τυπική θερμοκρασία προθέρμανσης για κράματα σειράς 6000 είναι 450°C, αλλά αυτό μπορεί να διαφέρει ανάλογα με δυσκολία διέλασης της διατομής, τον τύπο κράματος και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις σε μηχανικής ιδιότητας και φινιρίσματος επιφάνειας.

Έπειτα η κολώνα βγαίνει από τον φούρνο αφού έχει την επιθυμητή θερμοκρασία και κόβεται διατμητικά με το ψαλίδι κοπής στο επιθυμητό μέγεθος. Αυτό το κομμάτι κράματος ονομάζεται ημικατεργασμένο κομμάτι μετάλλου (billet). Αυτή η διαδικασία είναι επαναλαμβανόμενη καθώς συνεχώς υπάρχουν κολώνες μέσα στο φούρνο. Το τελικό μήκος της μπιγιέτας επιτυγχάνεται με αισθητήρια που μετρούν το μήκος της κολώνας. Επιλεγμένο μήκος μπιγιέτας είναι πολύ σημαντική παράμετρος και υπολογίζεται για κάθε προφίλ και για κάθε παραγγελία ξεχωριστά καθώς πρέπει κάθε τεμάχιο του τελικού προϊόντος να παραχθεί σε συγκεκριμένο μήκος τελικού προφίλ και με το ελάχιστο δυνατό σκραπ.

Κατά συνέπεια:

- Η διάμετρος της μπιγιέτας εξαρτάται από τον τύπο της διαθέσιμης πρέσας

- Το μήκος της κολώνας κράματος επιλέγεται από την μέγιστη χωρητικότητα του τραπεζιού φόρτωσης κολόνων.
- Το μήκος της κομμένης μπιγιέτας εξαρτάται από το μήκος του πάγκου, από την γεωμετρία του προφίλ και το αναπόφευκτο σκραπ λόγω παραμόρφωσης στην τανυστική, και από το τελικό μήκος κοπής των τεμαχίων στο πριόνι τελική κοπής

Αισθητήρια θερμοκρασιακού ελέγχου επίσης υπάρχουν σε όλο το μήκος του φούρνου προθέρμανσης στα οποία ορίζουμε εμείς την επιθυμητή θερμοκρασία. Τα συγκεκριμένα αισθητήρια εισέρχονται και εξέρχονται μέσα στο φούρνο προθέρμανσης και έρχονται σε επαφή με την κολώνα κράματος ελέγχοντας και ρυθμίζοντας τμηματικά την θερμοκρασία κατά μήκος της.

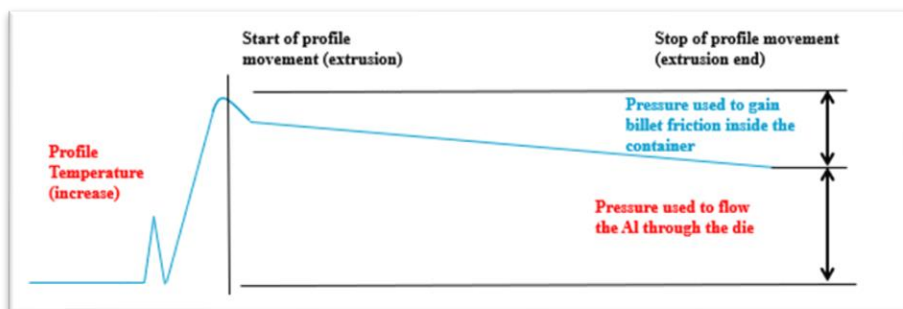
Από το ψαλίδι ένας γερανός μεταφέρει το ημικατεργασμένο κομμάτι αλουμινίου στον κινούμενο φορτωτή της πρέσας αφού πρώτα και ψεκαστεί με πούδρα αζωτούχου βορίου (Boron Nitride) στο πίσω μέρος του. Αυτή η πούδρα βοηθά στο να μην κολλάνε πάνω στον τάκο του στελέχους του εμβόλου υπολείμματα της μπιγιέτας.

Ο βραχίονας φόρτωσης συγκλίνει προς το κέντρο της πρέσας ευθυγραμμίζοντας το ημικατεργασμένο κομμάτι αλουμινίου με το στέλεχος του εμβόλου και το κοντέινερ (βλ. εικόνα 3,8) το οποίο βρίσκεται και αυτό σε θερμοκρασία 400-430 °C μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων. Έπειτα αφού εισχωρήσει μέσα στο δοχείο το κομμάτι το στέλεχος, ο βραχίονας επιστρέφει στην αρχική του θέση.

Έπειτα ξεκινάει η διεργασία της διέλασης. Διακρίνουμε τις ακόλουθες φάσεις διέλασης:

Φάση 1: Αρχική ή μεταβατική φάση

Βαθμιαία πλήρωση του container με κομμάτι αλουμινίου. Το δοχείο σφραγίζει πάνω στην μήτρα έτσι αρχίζουν να αναπτύσσονται πιέσεις από το στέλεχος. Ακολουθεί απότομη αύξηση της πίεσης μέχρι μια μέγιστη τιμή, που αντιστοιχεί στην έναρξη εμφάνισης του πρώτου τμήματος προϊόντος στην έξοδο της μήτρας. Η πίεση της διέλασης κυμαίνεται από 100 έως 280 bar ανάλογα πάντα με την συνθήκη λειτουργίας της πρέσας.



Εικόνα 3.12: Καμπύλη πίεσης διέλασης

Φάση 2: *Ευσταθής φάση*

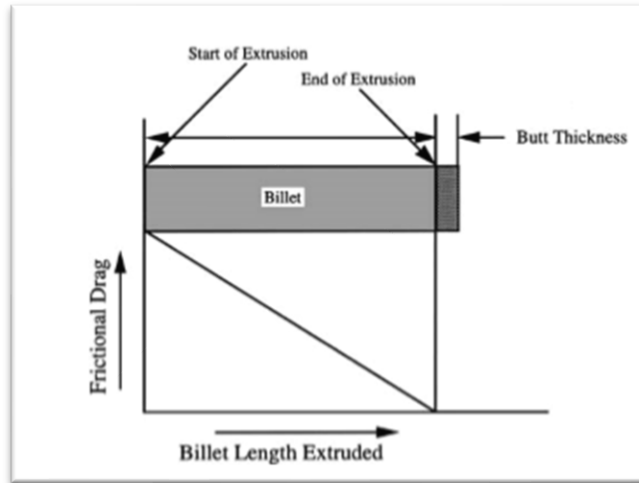
Ακολουθεί η ομαλή διεξαγωγή της διέλασης με σταθερό ρυθμό με ταυτόχρονη ανάπτυξη νεκρής ζώνης (ακίνητο υλικό) στην έξοδο της μήτρας. Καθώς μειώνεται το μήκος της μπιγέτας μέσα στο θάλαμο μειώνονται και οι αντιστάσεις των τριβών

Φάση 3: *Φάση αστάθειας*

Όταν το μήκος της μπιγέτας μέσα στο container γίνει πολύ μικρό (το έμβολο πλησιάζει τη νεκρή ζώνη), παρατηρείται τριγμός στο εργαλείο διέλασης και θόρυβος. Το φαινόμενο συνοδεύεται με απότομή μείωση της πίεσης μέχρι μια ελάχιστη τιμή. Το στέλεχος του εμβόλου ξεκινάει σιγά σιγά να πιέζει το ημικατεργασμένο κομμάτι αλουμινίου με το έμβολο. Το δοχείο σφραγίζει πάνω στην μήτρα έτσι αρχίζουν να αναπτύσσονται πιέσεις από το στέλεχος., ανώτερο επιτρεπόμενο όριο τα 300 bar.

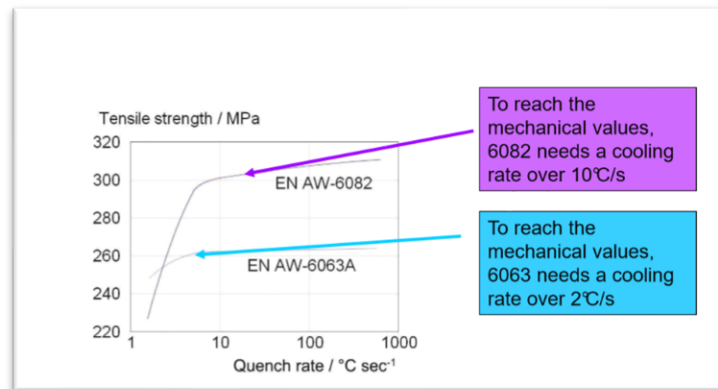
Φάση 4: *Ανάπτυξη ελαττώματος*

Περαιτέρω μείωση του μήκους της μπιγέτας οδηγεί σε απώλεια επαφής του κεντρικού τμήματος της μπιγέτας με την πιέζουσα επιφάνεια του εμβόλου, δημιουργείται κεντρική κοιλότητα στο τελικό προϊόν και το υπόλοιπο τμήμα της μπιγέτας παρασύρεται μέσα σ' αυτή την κοιλότητα. Το τμήμα του τελικού προϊόντος που φέρει τη σχηματιζόμενη κοιλότητα θεωρείται ελαττωματικό και αποκόπτεται. Κατά τη φάση αυτή σημειώνεται απότομή αύξηση του φορτίου κατεργασίας και συνιστάται η διακοπή της κατεργασίας. Η λεγόμενη τάπα η οποία αφαιρείται καθώς στο τέλος του κομματιού συσσωρεύονται οξειδία και αέρας. Σύμφωνα με την πρακτική της βιομηχανίας, το τυπικό πάχος της τάπας στα 25-35mm. Το πάχος της τάπας μπορεί να είναι συνάρτηση της ζώνης νεκρού μετάλλου, η οποία είναι επίσης συνάρτηση του λόγου διέλασης, του τύπου της μήτρας, της θερμοκρασίας μπιγέτας, των τριβών που αναπτύσσονται στο container και της τάσης ροής του κράματος. Η διακοπή της εξώθησης στη ζώνη ασφαλούς περιθωρίου εμποδίζει τη ροή οξειδίου και άλλων μεταλλικών ή μη μεταλλικών εγκλεισμάτων στην διέλαση. Όσο πιο κακής ποιότητας είναι το κράμα τόσο μεγαλύτερη τάπα είναι υποχρεωτικό να αποκόπτεται.



Εικόνα 3.13: Διάγραμμα ανάπτυξης τριβών εντός του container

Στην έξοδο της πρέσας το προφίλ πρέπει να έχει ελεγχόμενη θερμοκρασία εξόδου της τάξης των 540°C. Αμέσως μετά την έξοδο του προφίλ ακολουθεί η ταχεία ψύξη του μέσω αέρα ή νερού ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε κράματος και των εκάστοτε μηχανικών χαρακτηριστικών.



Εικόνα 3.14: Ρυθμός ψύξης που πρέπει να επιτευχθεί για την μέγιστη σκληρότητα δύο διαφορετικών κραμάτων της σειράς 6000

Οι ρυθμοί ψύξης μετά την διέλαση πρέπει να είναι αρκετά γρήγοροι για να συγκρατούν το Mg και το Si σε στερεό διάλυμα έτσι ώστε οι μηχανικές ιδιότητες να μεγιστοποιούνται από την κατακρήμνισή τους κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης τους μέσω της τεχνητής γήρανσης. Οι ρυθμοί ψύξης καθορίζονται από το μέγεθος διατομής και τον τύπο ψύξης, όπως ο αέρας, οι ανεμιστήρες, οι ομίχλες νερού ή το λουτρό νερού.

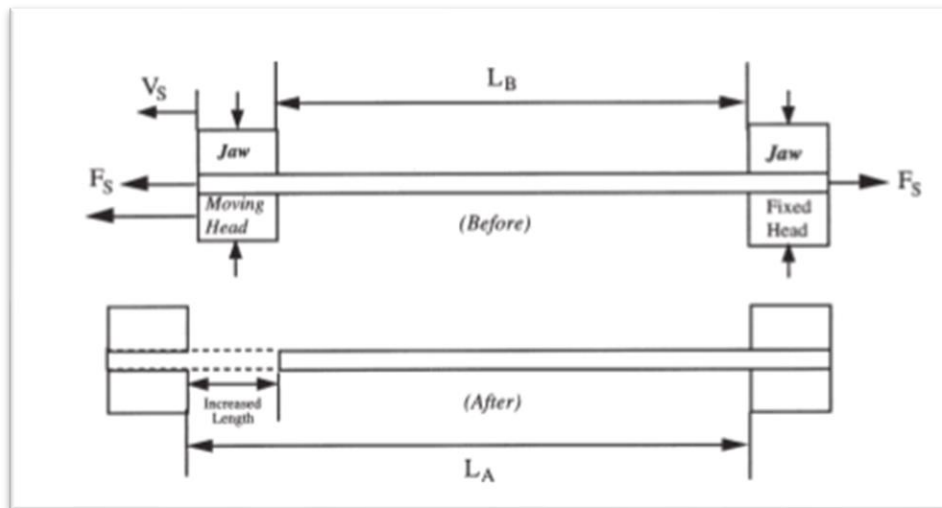
Όταν το εξωθημένο προφίλ φτάσει στο επιθυμητό μήκος (όταν θα έχει ολοκληρωθεί η διέλαση ή όταν θα φτάσει στο μέγιστο μήκος του πάγκου – εξάρτηση με το w/m του προφίλ και την πολλαπλότητα της μητρας) κόβεται από το πριόνι θερμής κοπής και στην συνέχεια ο κινητός εξολκέας

(puller) το σύρει μέχρι τον πάγκο της τανυστικής μηχανής. Εκεί ψύχεται επίσης το προφίλ με αεραγωγούς κατά μήκος του πάγκου μέχρι το προφίλ να τανυστεί σε θερμοκρασία μικρότερη των 45°C.

Η τάνυση είναι πολύ σημαντικό στάδιο της διεργασίας καθώς πραγματοποιείται για να ισιώσει το διέλασμένο προφίλ και για να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες του αλουμινίου μετά την γήρανση. Το ποσοστό επιμήκυνσης κυμαίνεται από 1 έως 3%. Οι σιαγόνες συγκράτησης των δύο κεφαλών λειτουργούν είτε με υδραυλικά είτε με πνευματικά μέσα.

Η τάνυση του προφίλ εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Διατομή του προφίλ
- Τάση διαρροής του διελασμένου κράματος



Εικόνα 3.15: Διάγραμμα επιμήκυνσης βέργας προφίλ αλουμινίου μετά την τάνυση.

Αμέσως μετά το τανυσμένο πλέον προφίλ προωθείται, μέσω πλαϊνών μάντων, στο πριόνι ακριβής κοπής για να κοπεί στα μέτρα που απαιτεί ο πελάτης. Το πριόνι αυτό κόβει με ακρίβεια χιλιοστού είναι πλήρως αυτοματοποιημένο. Τα κομμένα τεμάχια τοποθετούνται σε χαλύβδινα καλάθια.

Εν συνεχεία τα προφίλ για να αποκτήσει την τελική σκληρότητα, όπως είναι φορτωμένο στο καλάθι, τοποθετούνται μέσα στο φούρνο τεχνητής γήρανσης. Εκεί παραμένουν για 6 – 8 ώρες στους 170 – 180 °C .

Υπάρχουν τυπικοί χαρακτηρισμοί για τις διάφορες συνθήκες θερμικής κατεργασίας είτε φυσικής είτε τεχνητής γήρανσης. Ο συνδυασμός κράματος και τύπου θερμικής κατεργασίας ορίζει την απαιτούμενη τελική σκληρότητα του κράματος αλλά και τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικές κατηγορίες θερμικών επεξεργασιών κραμάτων αλουμινίου

Symbol	Description
T4	Solution heat-treated and then naturally aged
T5	Cooled from an elevated temperature shaping process and then artificially aged
T6	Solution heat-treated and then artificially aged
T61 T64	Solution heat-treated and then artificially aged in underageing conditions in order to improve formability (T64 between T61 and T6)
T66	Solution heat-treated and then artificially aged –mechanical property level higher than T6 achieved through special control of the process 6000 series alloys
T7	Solution heat-treated and artificially over-aged
Tx51 Tx510 Tx511	These suffixes stand for a controlled stretching to relief internal stresses coming from manufacturing (the fourth digit characterises only variants – no influence on characteristic values!)

Πίνακας 3.3: Μηχανικές ιδιότητες διαφόρων κραμάτων (Rm: αντοχή σε εφελκυσμό, Rp: Τάση διαρροής, A: επιμήκυνση) σειράς 6000 σε σχέση με την επιθυμητή θερμική κατεργασία (temper)

Description	Mechanical Properties					
	Temper	Rm (MPa)	Rp0.2 (MPa)	A50 mm %	HBW**	Water quench*** wall thickness
EN 573-3						
EN AW-6060 (AlMgSi)	T4	120	60	14	50	> 10 mm
EN AW-6060 (AlMgSi)	T5	160	120	6	60	> 10 mm
EN AW-6060 (AlMgSi)	T6	190	150	6	70	> 10 mm
EN AW-6060 (AlMgSi)	T64	180	120	10	60	> 10 mm
EN AW-6060 (AlMgSi)	T66	215	160	6	75	> 10 mm
EN AW-6063 (AlMg0.7Si)	T4	130	65	12	50	> 6 mm
EN AW-6063 (AlMg0.7Si)	T5	175	130	6	65	> 6 mm
EN AW-6063 (AlMg0.7Si)	T6	215	170	10	75	> 6 mm
EN AW-6063 (AlMg0.7Si)	T66	245	200	8	80	> 6 mm
EN AW-6005 (AlSiMg)	T4	180	90	13	50	> 5 mm
EN AW-6005 (AlSiMg)	T6	270	225	6	85-90	> 5 mm
EN AW-6082 (AlSi1MgMn)	T4	205	110	12	70	> 3 mm
EN AW-6082 (AlSi1MgMn)	T5	270	230	6	90	> 3 mm
EN AW-6082 (AlSi1MgMn)	T6	310	260	8	95	> 3 mm

* Listed values are the minimum.
 ** HBW values are for reference only.
 *** Water quench will decrease surface quality.

3.2.5 ΜΗΤΡΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΕΛΑΣΗΣ.

Η κατασκευή των μητρών είναι ένας από τους πιο σημαντικούς και καθοριστικούς παράγοντες για την επιτυχή διέλαση ακόμη και των απλούστερων διατομών. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη ορθή λειτουργία της μήτρας, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- της σημαντικής συσχέτισης μεταξύ διόρθωσης μήτρας και του αρχικού σχεδιασμού της (η μήτρες διορθώνονται και συντηρούνται εντός του εργοστασίου με την ευθύνη συγκεκριμένου τμήματος - διορθωτήριο μητρών).
- της λειτουργίας της πρέσα,
- του σχεδιασμού των λοιπών εργαλείων διέλασης.
- Της συντήρησης της (καθαρισμός, κύκλοι εναζώτοσης κτλ).

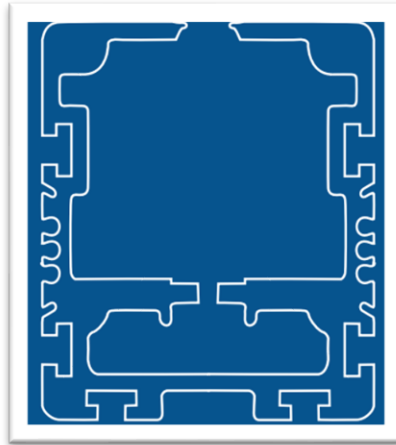
Απαιτείται στενή συνεργασία μεταξύ του χειριστή της πρέσας, του διορθωτηρίου μητρών καθώς επίσης και του σχεδιαστή/κατασκευαστή της μήτρας, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη λύση σε κάθε περίπτωση.

Οι μήτρες διέλασης μπορούν να χωριστούν σε απλές που χρησιμοποιούνται για συμπαγή και ανοιχτά προφίλ και σε αυτές με θαλάμους συγκόλλησης για ημι-σωληνωτά και σωληνωτά σχήματα. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μια μήτρα είναι τα εξής:

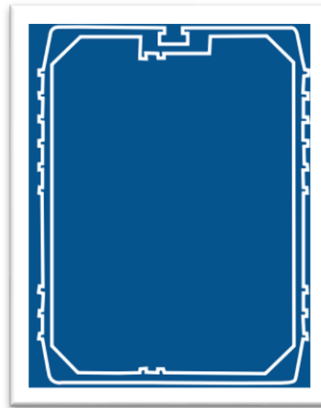
- Ακρίβεια διαστάσεων και σχήματος του τελικού προϊόντος για να αποφευχθεί η ανάγκη για συνεχείς εργασίες διόρθωσης.
- Μέγιστη δυνατή διάρκεια ζωής
- Υψηλής ποιότητας επιφάνεια προϊόντος που να διατηρείται σε πολλές διελασεις
- Υψηλές ταχύτητες διέλασης χωρίς να αναπτύσσονται ελαττώματα στο προϊόν.
- Χαμηλό κόστος κατασκευής



Εικόνα 3.16: Παράδειγμα απλού προφίλ.



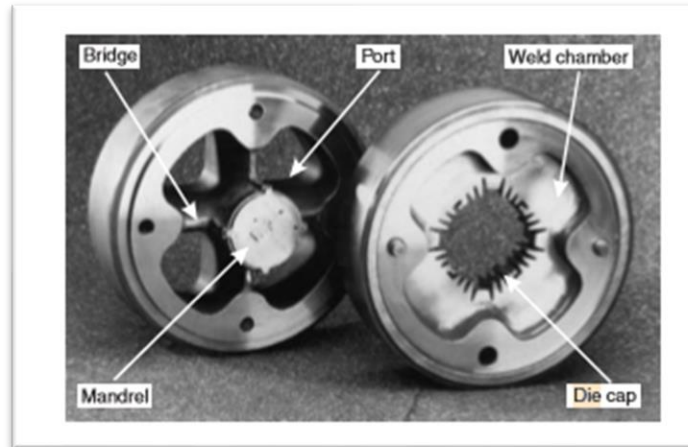
Εικόνα 3.17: Παράδειγμα ημισωληνωτού προφίλ.



Εικόνα 3.18: Παράδειγμα σωληνωτού προφίλ.

Αυτές οι απαιτήσεις πληρούνται συνήθως για ράβδους και άλλα απλά γεωμετρικά σχήματα διατομών. Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα της μήτρας, καθίσταται πιο δύσκολη η συμμόρφωση με όλες τις προαναφερθείσες απαιτήσεις. Πολλοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό και την κατασκευή μίας μήτρας, συμπεριλαμβανομένου των εξής:

- Σχέδιο ροής και τροφοδοσίας αλουμινίου εντός της μήτρας
- της μέγιστης διαθέσιμης ειδικής πίεσης που παρέχει η πρέσα
- του γεωμετρικού σχήματος της διατομής,
- τις αναγκαίες κατασκευαστικές λεπτομέρειες της μήτρας
- του λόγου διέλασης,
- του πάχους τοιχώματος των προφίλ
- των ανοχών του προϊόντος.



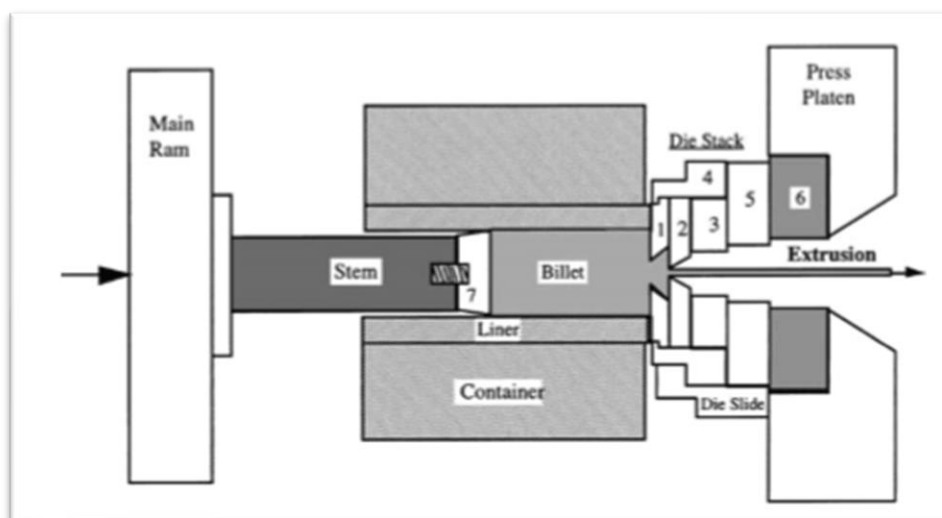
Εικόνα 3.19: Τυπική σωληνωτή μήτρα αποτελούμενη από δύο μέρη (mandrel και die plate).

Στη επόμενη Εικόνα 3.20 βλέπουμε την διάταξη του συνόλου των εργαλείων που είναι απαραίτητα για την διέλαση των προφίλ. Αυτά είναι τα εξής:

- [1] Τροφοδοσία μήτρας (αποτελεί μέρος του πακέτου εργαλείων της μήτρας)
- [2] Κυρίως μήτρα (αποτελεί μέρος του πακέτου εργαλείων της μήτρας)
- [3] Υποστήριξη μήτρας (αποτελεί μέρος του πακέτου εργαλείων της μήτρας)
- [4] Δαχτυλίδι μητρας (συγκρατεί τα [1], [2],[3])
- [5] Υποστήριγμα μητρας

Από το [1] έως το [5] είναι τα εργαλεία του πακέτου που τοποθετούνται στην μητροθήκη για την εκτέλεση συγκεκριμένου προφίλ και μετά την λήξη της παραγωγής αποσύρονται.

- [6] Δαχτυλίδι πίεσης
- [7] Block στελέχους εμβόλου



Εικόνα 3.20: Εργαλεία διέλασης.

3.2.6 ΚΥΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΗΣ ΔΙΕΛΑΣΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Για μια επιτυχημένη διέλαση πρέπει να ελέγχονται και να παρακολουθούνται τεσσέρις βασικές μεταβλητές. Αυτές είναι οι εξής:

1. Ο λόγος διέλασης

Για μια μήτρα με πολλαπλότητα ορίζεται ο λόγος διέλασης ως εξής:

$$ER = \frac{[Εμβαδό κύκλου container]}{[αριθμός σπών μητρας] * [Εμβαδό διατομής προφίλ]}$$

Ο λόγος διέλασης μίας διατομής είναι μια σαφής ένδειξη του ποσού του μηχανικού έργου που θα χρειαστεί να παραχθεί κατά την διέλαση. Ένας χαμηλός λόγος διέλασης συνεπάγεται και μια χαμηλή τάση παραμόρφωσης. Ως αποτέλεσμα, η ποσότητα έργου που χρειάζεται κατά την εξώθηση θα είναι μικρότερη. Σε αλουμίνιο που εξωθείται με χαμηλό λόγο διέλασης, η δομή θα είναι παρόμοια με αυτή του χυτού αλουμινίου. Μια τέτοια δομή είναι μηχανικά αδύναμη, και επί της ουσίας, προφίλ με λόγο διέλασης μικρότερο από 10 έως 1 δεν είναι σίγουρο ότι θα πληρούν τις προδιαγραφές των μηχανικών χαρακτηριστικών του υλικού. Όταν ο λόγος διέλασης είναι υψηλός η πίεση διέλασης που απαιτείται για την ώθηση του μετάλλου μέσω της μήτρας θα είναι μεγαλύτερη λόγω υψηλότερης ποσότητας πλαστικής καταπόνησης. Το κανονικό εύρος αναλογίας διέλασης στη βιομηχανική πρακτική για σκληρά κράματα είναι από 10 προς 1 έως 35 προς 1, και για μαλακά κράματα, από 10 προς 1 έως 100 προς 1. Ωστόσο, αυτά τα όρια δεν πρέπει να θεωρούνται απόλυτα επειδή το πραγματικό σχήμα του προφίλ είναι μπορεί να επηρεάζει τα αποτελέσματα και την εφικτότητα της διέλασης.

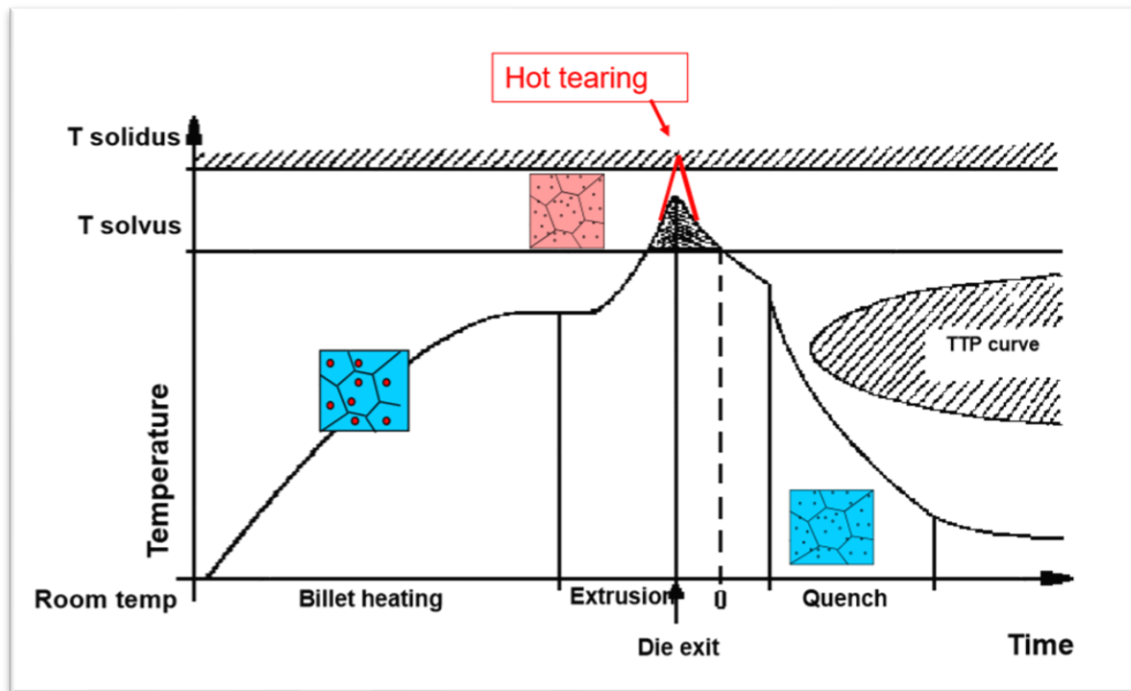
2. Η θερμοκρασία διέλασης

Η διέλαση ταξινομείται ως μια θερμική διεργασία και η θερμοκρασία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους της διαδικασίας. Το όριο διαρροής του μετάλλου ελαττώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η πλαστική παραμόρφωση. Ωστόσο η ταχύτητα διέλασης περιορίζεται καθώς σε συγκεκριμένες περιοχές του προφίλ η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε «σχίσσιμο» του μετάλλου λόγω τριβών και ανάπτυξης της θερμοκρασίας στο επίπεδο του σημείου τήξης. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές κατά τη διάρκεια της διέλασης εξαρτώνται από τη θερμοκρασία της μιγιέτας, τη μεταφορά θερμότητας από την μιγιέτα στο container και από τη θερμότητα που αναπτύσσεται από την πλαστική παραμόρφωση και την τριβή.

Πολλοί ερευνητές έχουν διερευνήσει και έχουν καταστρώσει μοντέλα που προβλέπουν την αύξηση της θερμοκρασίας και την κατανομή της κατά την διέλαση.

3. Ταχύτητα διέλασης

Η ταχύτητα στην διέλαση είναι κύρια μεταβλητή που καθορίζει την παραγωγικότητα του εργοστασίου αλλά και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η αύξηση της ταχύτητας τεχνικά έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης εντός του container καθώς επίσης και της θερμοκρασίας διέλασης. Ο κίνδυνος είναι σε υπερβολικές ταχύτητες η ακόμα και σε πολύ απαιτητικά λόγω γεωμετρίας προφίλ να υπερβεί τοπικά η θερμοκρασία το σημείο τήξης του μετάλλου. Από την άλλη προφίλ με μικρό λόγο διέλασης απαιτείται να παραχθούν με υψηλή ταχύτητα για να επιτευχθεί η θερμοκρασία διαλυτοποίησης των κραματικών στοιχείων. Σε αντίθετη περίπτωση δεν επιτυγχάνονται μηχανικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 3.21: Θερμοκρασιακές και μεταλλουργικές μεταβολές κατά την διάρκεια της διέλασης. Υποδεικνύεται η σημασία επίτευξης θερμοκρασίας εξόδου μικρότερη από το σημείο τήξης και εντός του εύρους διαλυτοποίησης.

Η παραγωγικότητα σε μια μονάδα εξώθησης μπορεί να περιορίζεται από πολλούς λόγους. Λαμβάνοντας υπόψη την ίδια την πρέσα, η ταχύτητα εξώθησης μπορεί να περιορίζεται από παράγοντες όπως η διαθέσιμη πίεση, η μη ισορροπημένη ροή μετάλλου (για παράδειγμα διαφορετικές ταχύτητες διέλασης σε μια μήτρα πολλαπλών οπών), οι γεωμετρικές ανοχές και η εμφάνιση ελαττωμάτων στην επιφάνεια του δειλιασμένου προφίλ. Από μεταλλουργική άποψη, είναι κυρίως οι περιορισμοί από την εμφάνιση

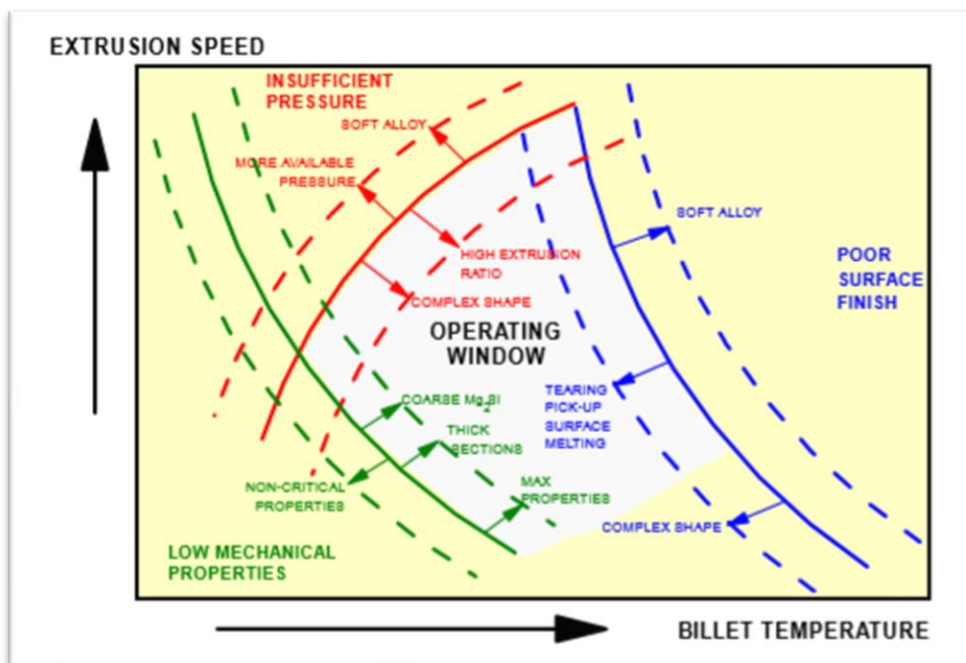
των επιφανειακών ελαττωμάτων. Εφαρμογές που περιορίζουν την θερμοκρασία εξόδου (πχ ψύξη μήτρας και προφίλ με υγρό άζωτο) βοηθούν στην διατήρηση της ταχύτητας σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η σχέση που συνδέει την ταχύτητα διέλασης με την ταχύτητα του εμβόλου είναι η εξής:

$$V_{\text{διέλασης}} = V_{\text{εμβόλου}} * ER$$

4. Τάση ροής – παραμόρφωσης

Ορίζεται ως η τάση που πρέπει να εφαρμοστεί στο μέταλλο για να παραμορφωθεί πλαστικά. Ο υπολογισμός της τάσης είναι το αποτέλεσμα του πηλίκου του φορτίου προς το εμβαδό της διατομής. Βασικοί παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η τάση είναι ο ρυθμός παραμόρφωσης, η θερμοκρασία του μετάλλου, η γεωμετρία του προϊόντος αλλά και οι τριβές που αναπτύσσονται στην μήτρα.

Η Εικόνα 3.21 είναι γνωστή ως διάγραμμα παραθύρου λειτουργίας το οποίο θέτει τους περιορισμούς της διεργασίας της διέλασης. Ο συνδυασμός των απαιτήσεων επιφανείας, η δυναμικότητα της πρέσας (διαθέσιμη πίεση λειτουργίας) και οι απαιτήσεις των τελικών μηχανικών ιδιοτήτων καθορίζουν όρια **ταχύτητας και θερμοκρασίας** του παραθύρου λειτουργίας για την παραγωγή ποιοτικού προϊόντος. Η μεταβολή των ορίων εξαρτάται από τον τύπο του κράματος, τον λόγο διέλασης του προφίλ, τις απαιτήσεις επιφανείας του πελάτη, την γεωμετρία του προφίλ αλλά και τις απαιτήσεις σε μηχανικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 3.22: Διάγραμμα ορίων λειτουργίας

3.2.7 ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΑ ΔΙΕΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΣΚΡΑΠ.

Στην διέλαση διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες σκραπ. Η πρώτη κατηγορία ονομάζεται **τεχνολογικό (ή τεχνικό) σκραπ** και η **δύτερη σκραπ ποιότητας**.

Στο τεχνολογικό σκραπ συμπεριλαμβάνονται όλες οι επιστροφές μετάλλου που προκύπτουν από παράγοντες που καθορίζονται από τους μεταλλουργικούς περιορισμούς, από τις απαιτήσεις της παραγγελίας (ποσότητα και μήκος τελικής κοπής) και από περιορισμούς που τίθενται από τον εξοπλισμό. Αυτοί είναι οι εξής:

- Απόρριψη τάπας μπιγιέτας (εξαρτάται από το κράμα και ποσοστιαία εξάρτηση από το μήκος της μπιγιέτας καθώς συνήθως το μήκος της απορριπτόμενης τάπας είναι σταθερό).
- Απόρριψη διέλασης πρώτης μπιγιέτας κάθε νέου προφίλ που μπαίνει στην παραγωγή λόγω μη ορθής διαμόρφωσης (συνήθως η πρώτη μπιγιέτα είναι μικρότερου μήκους και η απόρριψη είναι το 50% αυτής – ποσοστιαία εξάρτηση από το μέγεθος της παραγγελίας).
- Απόρριψη ακρών διέλαση λόγω παραμόρφωσης από τις κεφαλές του τανηστικού μηχανήματος (εξάρτηση από την γεωμετρία του προφίλ).
- Απόρριψη ενώσεων/συγκολλήσεων μπιγιετών λόγω μη ομοιόμορφης κρυσταλλικής δομής.
- Γρέξι αλουμινίου από τις κοπές του θερμού πριονιού και του πριονιού τελικής κοπής.

Το ποιοτικό σκράπ εξαρτάται από τα αστοχίες που προκύπτουν στην διέλαση από διάφορους λόγους είτε γεωμετρίας, είτε επιφανείας.

Τα ελαττώματα που μπορούν να προκύψουν είναι τα παρακάτω:

- [1] Γεωμετρία εκτός ανοχής (διαστάσεις, επιπεδότητα, γωνικότητα, ευθύτητα)
- [2] Χτυπήματα
- [3] Φυσαλίδες
- [4] Γρατζουνιές
- [5] Σπασμένη μήτρα (απώλεια σχήματος)
- [6] Άρπαγμα / Ξύσιμο (λόγω «σκισίματος του προφίλ από υψηλή θερμοκρασία τοπικά σε σημείο του προφίλ)
- [7] Πέτσικο (ειδική γεωμετρική αστοχία)
- [8] Κυματισμός
- [9] Νεύρο
- [10] Γραμμή διέλασης
- [11] Οξειδία στην επιφάνεια
- [12] Pickups (συσσώρευση υλικού στην επιφάνεια – ειδικό μεταλλουργικό φαινόμενο)
- [13] Παραμόρφωση πριονιού
- [14] Λάθος μήκος κοπής

Όσον αφορά τα γεωμετρικά ελαττώματα, τα παραχθέντα προφίλ πρέπει να ακολουθούν τις ανοχές των προτύπων διέλασης ή όποιες άλλες ειδικές ανοχές έχει καθορίσει η συμφωνία μεταξύ εταιρίας και πελάτη. Τα συνηθέστερα πρότυπα διέλαση είναι το EN755 και το EN12020. Ο έλεγχος των προφίλ γίνεται από εκπαιδευμένο προσωπικό της βάρδιας.

Φυσικά υπάρχουν και άλλες κατηγορίες που κατατάσσονται στο σκραπ ποιότητας που έχουν κυρίως να κάνουν με την συνολική διαχείριση της παραγωγής και των παραγγελιών (π.χ. υπερπαραγωγές προς απόρριψη, μη σωστή ψύξη των προφίλ – απόρριψη λόγω μη δυνατότητας επίτευξης μηχανικών χαρακτηριστικών, μη σωστός υπολογισμός μέτρων διέλασης και τεχνολογικού σκραπ, μη σωστή απόρριψη ενώσεων, μη σωστή εκτίμηση του τεχνολογικού σκραπ).

Επίσης η τελική αποδέσμευση των προϊόντων προς τα επόμενα στάδια επεξεργασίας η διάθεσης γίνεται μετά την γήρανση και την επίτευξη των ζητούμενων μηχανικών χαρακτηριστικών. Αστοχίες γήρανσης μπορεί να οδηγήσει παρτίδες προϊόντος προς απόρριψη.

4. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΤΗΣ ΕΤΕΜ Α.Ε. ΣΤΗΝ ΜΑΓΟΥΛΑ ΑΤΤΙΚΗΣ – ΤΟ ΝΕΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ – ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΠΛΑΝΟ

Η αρχική ΕΤΕΜ Α.Ε., του κλάδου παραγωγής προφίλ αλουμινίου, ιδρύθηκε την 6η Νοεμβρίου του 1971 με την εταιρική μορφή της Ε.Π.Ε. και από την 1η Σεπτεμβρίου 1976 μετατράπηκε σε Α.Ε. με την επωνυμία «ΕΤΕΜ Α.Ε. Εταιρεία Ελαφρών Μετάλλων, Ανώνυμος Εταιρεία». Το 1991 η εταιρεία εισήλθε στο Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών ενώ υπήρξαν από τότε σειρά συγχωνεύσεων και αλλαγών.

Μετά από απόφαση των μετόχων η παραγωγική δραστηριότητα διακόπηκε το 2014. Από το 2015 δραστηριοποιήθηκε η «ΕΤΕΜ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΛΑΦΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ Α.Ε.» η οποία δεν είχε πλέον δραστηριότητα διέλασης αλουμινίου. Στην Βουλγαρία ο όμιλος ΒΙΟΧΑΛΚΟ διέθετε την ΕΤΕΜ ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ S.A. η οποία παρήγαγε τα προφίλ αλουμινίου και το προμήθευε στην ΕΤΕΜ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΛΑΦΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ Α.Ε.

Από το 2018 η ΕΤΕΜ Α.Ε. ξεκίνησε εκ νέου τις παραγωγικές της δραστηριότητες στο χώρο της Ελλάδος με μία πρέσα διέλασης 2700tn. Από το 2020 η ΕΤΕΜ απέκτησε και ακόμα μία πρέσα διέλασης 2000tn ενώ στο επενδυτικό της πλάνο είναι και η άμεση επαναλειτουργία του τμήματος ηλεκτροστατικής βαφής καθώς και η οργάνωση τμήματος κατεργασιών. Η ετήσια δυνατότητα παραγωγής είναι 15.000tn. Το τρέχον οικονομικό έτος 2020 τίθεται ο στόχος παραγωγής 9.500tn. Μετά από οργανωτικές αλλαγές που αποφασίστηκαν από τον όμιλο ΒΙΟΧΑΛΚΟ η ΕΤΕΜ Α.Ε. σταδιακά επαναφέρει την πλήρη λειτουργία της με στόχο την μη εξάρτηση της από τις εγκαταστάσεις της Βουλγαρίας (οι οποίες προορίζονται μόνο για παραγωγή προφίλ αυτοκινητοβιομηχανίας).

Η εταιρεία πλέον δραστηριοποιείται στην παραγωγή, στο marketing, τον σχεδιασμό, την αποθήκευση, την διανομή και πώληση πάσης φύσεως προϊόντων διέλασης αλουμινίου («προφίλ»).

Η εταιρεία έχει εγκαταστάσεις στη Μαγούλα Αττικής όπου βρίσκονται οι κτιριακές εγκαταστάσεις στις οποίες στεγάζονται τα γραφεία της Εμπορικής Διεύθυνσης, οι πρέσες διέλασης αλουμινίου, οι γραμμές συρραφής θερμομόνων προφίλ, οι μηχανές κατεργασιών καθώς και οι αποθηκευτικοί χώροι.

4.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΕΤΕΜ.

Η ΕΤΕΜ ήρθε σε στρατηγική συνεργασία με μια εταιρία πληροφορικής για την ανάπτυξη ενός παραγωγικού συστήματος διαχείρισης (Manufacturing Execution System) το οποίο επεξεργάζεται και παρέχει πληροφορίες που επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων παραγωγής ξεκινώντας από την τοποθέτηση των παραγγελιών έως την διάθεση των τελικών προϊόντων. Επί της ουσίας είναι μια ολοκληρωμένη, ευέλικτη και αρθρωτή λύση που καλύπτει τους εξής τομείς:

1. Καταγραφή Παραγωγικών δεδομένων διέλασης,
2. Διαχείριση Μητρών και εργαλείων διέλασης,
3. Έλεγχος Ποιότητας και ιχνηλασιμότητά
4. Καταγραφή δεδομένων αξιοπιστίας εξοπλισμού.

Ο κύριος στόχος του MES είναι η διαχείριση και παρακολούθηση του εργοστασίου σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας όλες τις πληροφορίες σχετικά με την πρόοδο της παραγωγής, την αποτελεσματικότητα κάθε τμήματος, κέντρο εργασίας, χειριστή, τους ελέγχους που εκτελούνται στη γραμμή παραγωγής, την ιχνηλασιμότητα των παρτίδων, τα δεδομένα της διεργασίας, τις δραστηριότητες συντήρησης, τον προγραμματισμός παραγωγής κ.λπ.

Το MES ενσωματώνει το ERP σύστημα της ΕΤΕΜ (SAP) επιτρέποντας μια αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των δύο συστημάτων. Με τον ίδιο τρόπο, το MES αποκτά και επεξεργάζεται δεδομένα των συστημάτων SCADA, PLC για την πλήρη παρακολούθηση των διαδικασιών. Επίσης το MES είναι ενσωματωμένο με ξεχωριστό σύστημα προγραμματισμού παραγωγής. Η κύριοι στόχοι του MES όσον αφορά την παραγωγή αλλά και την συνεχή βελτίωση είναι οι εξής:

- **Γρήγορη και αποτελεσματική ανάθεση εργασιών του τρέχοντος προγράμματος παραγωγής σε κέντρα εργασίας** (στην προκειμένη περίπτωση τις δύο πρέσες παραγωγής). Η ανάθεση των εντολών παραγωγής, που αντλούνται από το SAP, στα κέντρα εργασίας γίνεται με επιλογή της προτιμητέας πρέσας βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών των διατομών. Αξίζει να σημειωθεί πως οι δύο πρέσες που υπάρχουν στο εργοστάσιο έχουν διαφορετική δυναμικότητα, διαφορετική διάμετρο μιγιέτας και εργαλείων και προορίζονται να παράξουν προφίλ (και μήτρες) διαφορετικών γεωμετρικών διαστάσεων, πολλαπλότητας οπών και βάρους ανά μέτρο. Συνεπώς η επιλογή πρέσας είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος και για την επίτευξη βέλτιστης παραγωγικότητας αλλά και για την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Διαφοροποιήσεις υπάρχουν και στον υπόλοιπο εξοπλισμό της γραμμής παραγωγής και τις δυνατότητες που αυτός παρέχει (π.χ. ψύξη με νερό για κράμα 6082 διαθέτει μόνο η μία πρέσα). Επίσης υπάρχουν προφίλ και μήτρες που, μπορούν να δουλέψουν και στις δύο πρέσες όπως επίσης και περιπτώσεις όπου υπάρχει τεχνικός περιορισμός).

- **Πλήρης αναφορά της τρέχουσας εκτέλεσης του προγράμματος παραγωγής σε πραγματικό χρόνο με καταγραφή του χρόνου και την ποσότητα που παράγεται.** Με αυτό τον τρόπο παρατηρείται η ορθή εκτέλεση του προγράμματος και γίνεται η σύγκριση μεταξύ προγραμματισμού και εκτέλεσης. Στο τέλος της εβδομάδας οι υπεύθυνοι παραγωγής εξετάζουν τις αποκλίσεις και αναλαμβάνουν μέτρα με στόχο την εξασφάλιση της εξυπηρέτησης των πελατών.

- **Διαχείριση εργαλείων διέλασης (αποθήκευση, διορθώσεις, αγορές, αντικαταστάσεις, συντήρηση)**
- **Ανάλυση παραγωγής για τις ανάγκες βελτιστοποίησης διαδικασιών, λειτουργικών παραμέτρων και της συνεχούς βελτίωσης**

Το πιο σημαντικό σκέλος του MES είναι η δυνατότητα που δίνει για πλήρη ανάλυση της παραγωγής με την παροχή επεξεργασμένων δεδομένων στην διοίκηση του εργοστασίου, την εξαγωγή κρίσιμων δεικτών παραγωγής (KPI's) και την τροφοδότηση της ομάδας βελτίωσης του εργοστασίου με αναφορές που την βοηθούν να λαμβάνει αποφάσεις και να καταστρώνει πλάνα βελτίωσης του εργοστασίου.

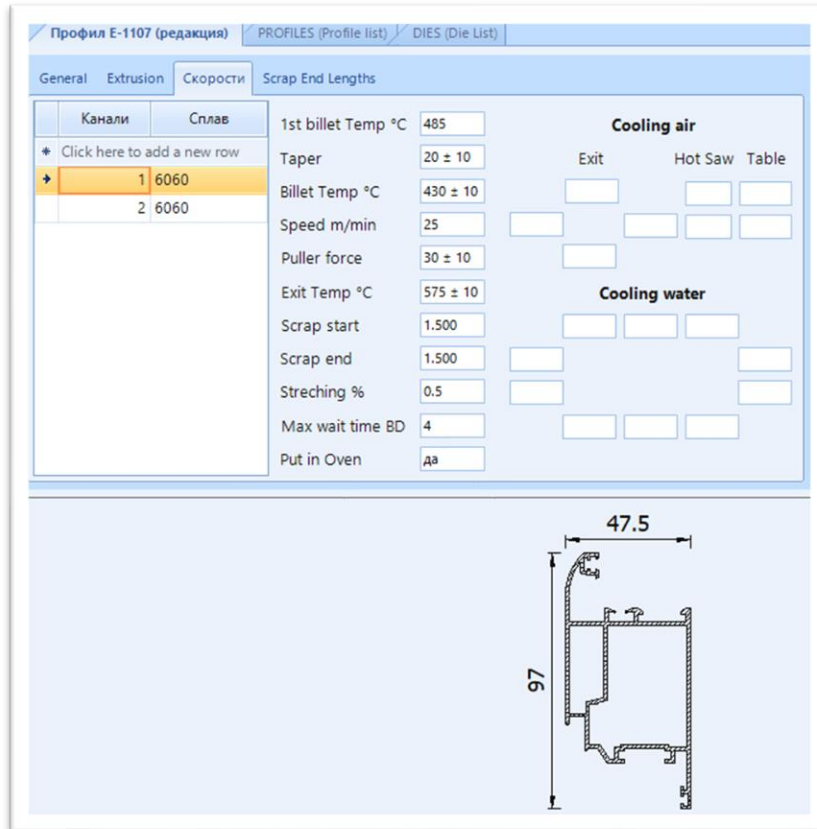
4.2.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MES.

Το MES σε βάσεις δεδομένων (SQL) που έχουν δημιουργηθεί για να συμπεριλάβουν όλα τα διαθέσιμα μέσα της παραγωγικής δραστηριότητας. Σημαντικότερες βάσεις δεδομένων είναι αυτές των προφίλ και των μητρών.

Όλα τα προφίλ και οι μήτρες της εταιρίας καταγράφονται με την κωδικοποίηση που έχει δώσει το τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης σε βάσεις δεδομένων συνοδευόμενα με τις βασικές τους τεχνικές παραμέτρους:

1. Σχέδιο προφίλ με καθορισμό των εμφανών επιφανειών (είναι οι επιφάνειες που θα είναι εμφανείς μετά την τελική συναρμολόγησή του στην τελική εφαρμογή).
2. Βάρος ανά μέτρο του προφίλ.
3. Κατηγοριοποίηση του προφίλ (Αρχιτεκτονικό, Βιομηχανικό, Standard, Automotive κα).
4. Περίμετρος εξωτερικής επιφάνειας
5. Κύριες διαστάσεις.

Επίσης κάθε προφίλ έχει μια πρότυπη «συνταγή» παραγωγής δηλαδή μια σειρά από τις λειτουργικές παραμέτρους της διέλασης που επιτυγχάνουν το καλύτερο αποτέλεσμα (βέλτιστη παραγωγικότητα, εξασφαλισμένη ποιότητα). Αυτές οι παράμετροι καθορίζονται ανά προφίλ αναλόγως την πολλαπλότητα των χρησιμοποιούμενων μητρών, το κράμα παραγωγής και την επακόλουθη κατεργασία επιφανείας.



Εικόνα 4.1: Παράδειγμα καταχωρημένης συνταγής στο MES.

Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από ένα αρχιτεκτονικό προφίλ της ETEM (κωδικός E-1107 – ανοιγόμενο παράθυρο / μπαλκονόπορτα). Στην αριστερή πλευρά ο χειριστής της πρέσας μπορεί να δει τις διαφορετικές εκδόσεις της “συνταγής” ανάλογα με τις οπές της μήτρας. Σε αυτή την περίπτωση το προφίλ έχει δύο τύπου μήτρες (με μία οπή για την πρέσα των 2000tn και με δύο οπές για την πρέσα των 2700tn). Στην δεξιά πλευρά καθορίζονται οι συνθήκες λειτουργίας της πρέσας. Αυτές είναι οι εξής:

- **Θερμοκρασία 1^{ης} μπιγιέτας:** Η πρώτη μπιγιέτα λαμβάνεται από τον φούρνο προθέρμανση σε υψηλότερη θερμοκρασία για να αντισταθμίσει την απώλεια θερμοκρασίας που έχει προκύψει στο container και την μήτρα λόγω της αλλαγής από μήτρα σε μήτρα (διακοπή παραγωγής για περίπου 180sec). Η μπιγιέτα αυτή στα προφίλ ειδικών απαιτήσεων δεν παράγει προφίλ(απορρίπτεται το προϊόν).
- **Taper:** Δίνεται η δυνατότητα να υπάρχει πυραμιδωτή κατανομή της θερμοκρασίας στην μπιγιέτα (θερμότερη κεφαλή) καθώς με την παραμόρφωση εκλύεται θερμότητα και έτσι επιτυγχάνεται η ισοθερμοκρασιακή διέλαση.
- **Θερμοκρασία μπιγιετών.**
- **Ταχύτητα διέλασης** (μέτρηση από το puller εκφρασμένη σε m/min).
- **Τάνυση puller**

- **Θερμοκρασία εξόδου πρέσας.**
- **Σκραπ κεφαλής και ουράς διελασμένης βέργας:** Καθορίζεται από την απόρριψη της συγκόλληση της μπιγιέτας με την επόμενη μπιγιέτα αλλά και από την παραμόρφωση που προκαλείται στην βέργα από την τανυστική.
- **Stretching:** Ποσοστό επιμήκησης βέργας στην τανυστική.
- **Μέγιστος χρόνος καθυστέρησης:** Πολύ σημαντική παράμετρος για την διατήρηση της ποιότητας της παραγωγής αλλά και τον χρόνο ζωής της μήτρας. Καθώς στην διέλαση η διατήρηση της θερμοκρασίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας μια καθυστέρηση για τεχνικούς ή άλλους λόγους θα προκαλέσουν απώλεια θερμοκρασιακή στα εργαλεία διέλασης και θα θέσει σε κίνδυνο την μήτρα (αύξηση της πίεσης λόγω κρύων εργαλείων με κίνδυνο να παραμορφωθούν).
- **Τοποθέτηση στον φούρνο με Αλουμίνιο:** Εμπειρικός κανόνας για την δυνατότητα η μη να τοποθετηθεί η μήτρα με το αλουμίνιο που περιέχει στον φούρνο προθέρμανσης των μητρών για επαναπαραγωγή (διακοπή λόγω βλάβης ή λόγω λήξης βάρδιας). Η συνήθης πρακτική είναι ο καθαρισμός της μήτρας σε λουτρό προσβολής μέσω διαλύματος καυστικής σόδας.

Η πρώτη πιλοτική συνταγή καταστρώνεται από τον process engineer πριν την δοκιμή της μήτρας (αν αφορά νέο προφίλ). Έπειτα, με βάση των αποτελεσμάτων της δοκιμής (η των επαναληπτικών δοκιμών αν αποτύχει η πρώτη) επιβεβαιώνεται η προσαρμόζεται η συνταγή στα νέα δεδομένα. Πλέον την ευθύνη για αναθεώρηση την έχουν τα μέλη της ομάδας **CI (Continuous Improvement)** του εργοστασίου που αποτελείται από τους εξής:

- A. Διευθυντής Παραγωγής
- B. Process Engineer
- C. Εργοδηγός Διέλασης
- D. Διορθωτής μητρών.

Το MES παρέχει τις εξής δυνατότητες όσον αφορά την ταχύτητα διέλασης που είναι η κύρια ελεγχόμενη μεταβλητή λειτουργίας:

- Οι χειριστές αιτιολογούν τον λόγο της μη επίτευξης της ταχύτητας παραγωγής.
- Σε περίπτωση ολοκλήρωσης τριών ποιοτικά αποδεκτών παραγωγών με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή της συνταγής η ομάδα CI ενημερώνεται αυτόματα από το σύστημα με γραπτό e-mail και στην επόμενη συνεδρίαση της θα συζητήσει την πιθανότητα αναθεώρησης της.
- Σε περίπτωση ολοκλήρωσης τριών ποιοτικά αποδεκτών παραγωγών με ταχύτητα μικρότερη από αυτή της συνταγής η ομάδα CI ενημερώνεται αυτόματα από το σύστημα με γραπτό e-mail και στην επόμενη συνεδρίαση της θα συζητήσει για τους λόγους απόκλισης και θα καταστρώσει αν είναι εφικτό ένα πλάνο

δράσης διορθωτικών ενεργειών για την εξάλειψη τους. Επίσης υπάρχει περίπτωση να χρειαστεί να γίνει είτε πρόσκαιρη είτε μόνιμη αναθεώρησης της συνταγής προς τα κάτω.

- Το σύστημα παρέχει την δυνατότητα να δίνει αθροιστικές αναφορές για τις παραμέτρους παραγωγής για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα βοηθώντας την καλύτερη ανάλυση και την ορθότερη λήψη αποφάσεων σε σχέση και με τις υπόλοιπες παραμέτρους λειτουργίας

Profile	Die Status	Actual Billet Counter	Peak Pressure	Base Pressure	Billet Temperature	Exit Temperature	Recipe Speed	Puller Speed	Puller Force	Actual Billet Length	Actual Upset Billet Length	Actual Butt Length	Extrusion Time	Dead Cycle	Press Speed	Extrusion Length	Container Top Dis	Container Top Side Temp	Container Bottom Die Side Temp	Container Top Stem Side Temp	Container Bottom Stem Side Temp
E-1107	OK	340	205	134	478	557	20	19	50	767	719	33	111	38	68	3225			431		432
Total		340	205	134	478	557	20	19	50	767	719	33	111	38	68	3225			431		432

Εικόνα 4.2: Συνολικά δεδομένα παραμέτρων λειτουργίας για όλες τις παραγωγές του προφίλ E-1107 από 1/1/2020 έως 26/05/2020

- Το σύστημα παρέχει συνεχή ενημέρωση και εξάγει ημερήσιως report για τα KPI's της παραγωγής.

Avg Profile Weight (g/m)	Average Die Weight	Count Die Changes	Confirmations Count	Count Die OK	Count Die A
759	1388	8	12	12	0

Kg Gross	Net Kg Saw	Working Hours	DT Hours	Eff. Working Hours	Production Rate	Eff. Production Rate	Scrap Rate
7406	6056	7.75	1.42	6.33	781	956	1.22

Month To Date

Kg Gross	Net Kg Saw	Working Hours	DT Hours	Eff. Work Time	Production Rate	Eff. Production Rate	Scrap Rate
117008	96820	112.84	17.00	95.84	858	1010	1.21

Year To Date

Kg Gross	Net Kg Saw	Working Hours	DT Hours	Eff. Work Time	Production Rate	Eff. Production Rate	Scrap Rate
199520	167300	194.94	31.22	163.72	858	1021	1.19

Category	SO	Profile	Customer	Alloy	Length	Puller Speed	Nom. Speed	Pieces	Gross Kg	Net Kg Saw	Return Rate
ARCHI	816637/30	E-40301-2	ETEM BG S.A.	6060	6010	25	27	349	1398	1175	1.19
	0	E-40301-2		6060	6010	26	27	77	343	262	1.31
	816637/40	E-40540-1	ETEM BG S.A.	6060	6010	20	22	132	702	555	1.26
	0	E-52241-1		6060	6010	28	25	100	470	349	1.35
	0	E-52241-1		6060	6010	25	25	98	425	353	1.20
	816940/20	E-99701	ETEM BG S.A.	6060	5300	24	24	360	678	670	1.01
	816939/10	E-99701	ETEM BG S.A.	6060	5300	22	24	162	571	348	1.64
	816938/10	E-99701	ETEM BG S.A.	6060	5300	24	24	147	451	316	1.43
	816945/20	E-62040	ETEM BG S.A.	6060	6600	22	0	41	510	445	1.31
	816945/40	E-99120-1	ETEM BG S.A.	6060	4100	23	0	77	490	429	1.16
	816945/40	E-99120-2	ETEM BG S.A.	6060	4100	22	0	77	513	395	1.30
	816945/30	E-99121	ETEM BG S.A.	6060	4100	22	20	208	855	759	1.15
Total						23.42	18.17	1828	7406	6056	1.22

DT (min)	DT Start	DT End	Reason	Custom Reason
16	5/25/2020 8:42:28 AM	5/25/2020 8:58:32 AM	Βλάβη συστήματος Puller	
33	5/25/2020 9:42:33 AM	5/25/2020 10:15:59 AM	Βλάβη συστήματος Puller	Δεν εκοβε ο δίσκος πριονιου
13	5/25/2020 11:00:19 AM	5/25/2020 11:13:33 AM	Βλάβη συστήματος Puller	

Εικόνα 4.3: Ημερήσιο Report παραγωγής

Στο ημερήσιο report παραγωγής παρέχεται και η πληροφορία της σύγκρισης μεταξύ της πρότυπης ταχύτητας παραγωγής του εκάστοτε προφίλ και της πραγματικής. Οπου υπάρχει Nom. Speed ίση με μηδέν σημαίνει ότι δεν υπάρχει καθορισμένη πρότυπη ταχύτητα (η ομάδα CI που έχει οριστεί πριν από 3 μήνες καλείτε σε μικρό χρονικό διάστημα να κλείσει όλες τις συνταγές παραγωγής).

Επιπλέον στοιχεία που δίνει το report του KPI είναι:

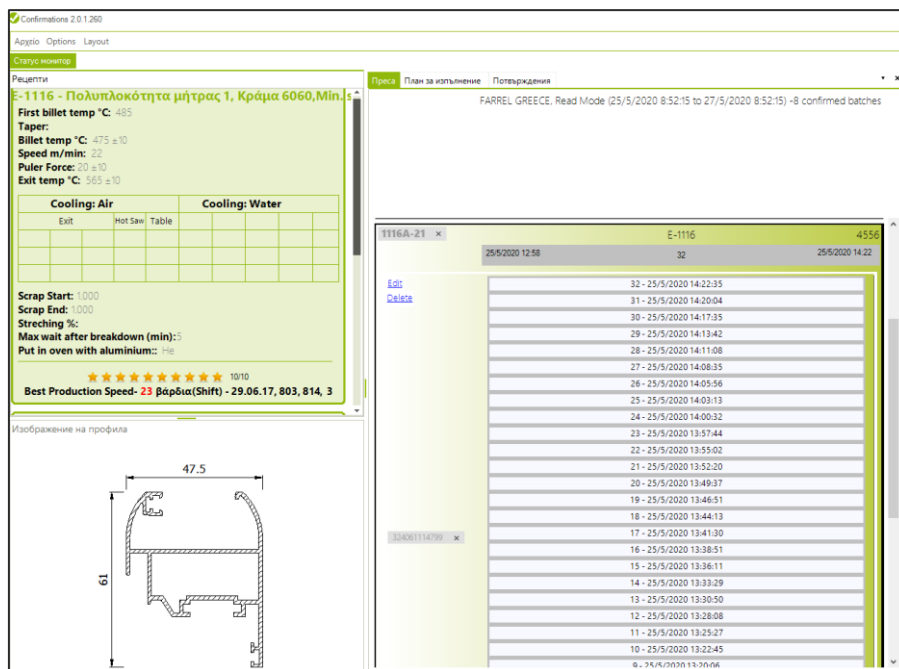
1. Παραγωγικότητα πρέσας για εκφρασμένη σε kg/h

2. Παραγωγικότητα πρέσας για τον καθαρό χρόνο παραγωγής (αφαιρείται το χρονικό διάστημα που συνέβησαν βλάβες ή διακοπές παραγωγής για άλλους εξωγενείς παράγοντες).
3. Συνολικός χρόνος βλαβών και αναφορά των κύριων βλαβών που έθεσαν την μηχανή εκτός λειτουργία για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από 5 λεπτά.
4. Συντελεστής επιστροφών

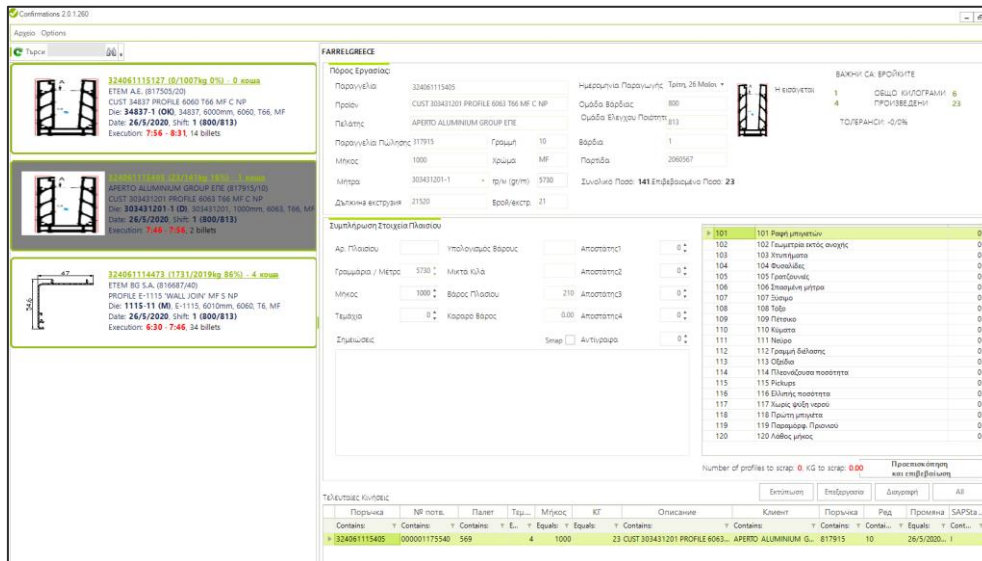
$$\text{Scrap Rate} = \frac{\text{Συνολικά αναλίσκόμενη ΑΥλη κράμματος Μετάλλου σε kg}}{\text{Βάρος παραγόμενων προϊόντων σε kg}}$$

5. Αναλυτική παρουσίαση παραχθέντων.
6. Συντελεστές δυσκολίας παραγωγής όπως το μέσο βάρος/μέτρο των προφίλ και της μήτρας (συσχέτιση με το ER), τον αριθμό των αλλαγών μητρών και το αριθμό επεξεργασμένων παραγγελιών (μπορεί μια μήτρα να χρησιμοποιηθεί για να παράξει διαφορετικές παραγγελίες με διαφορετικά τελικά μήκη κοπής)

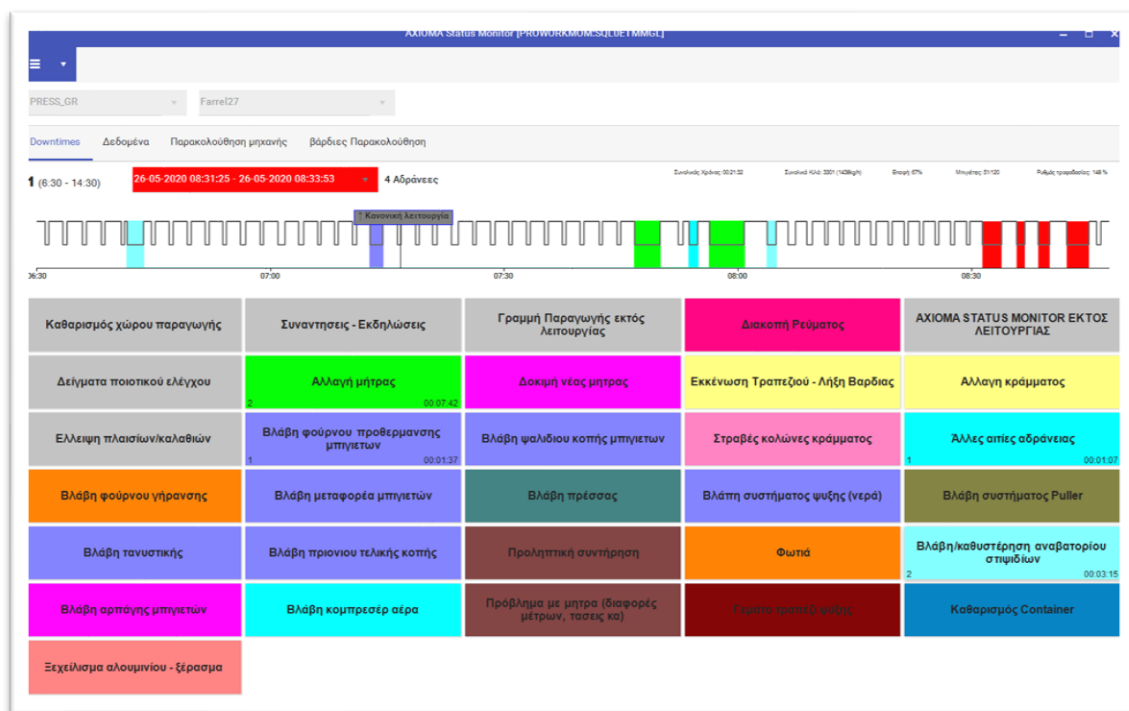
Τέλος το MES δίνει την δυνατότητα για παρακολούθηση με ειδικό λογισμικό την προθέρμανση των μητρών στους φούρνους προθέρμανσης, την καταγραφή του ποιοτικού σκραπ από τους χειριστές στο πριόνι τελικής κοπής, την αιτιολόγηση των χαμένων παραγωγικών χρόνων και των βλαβών παραγωγής, την καταγραφή της λειτουργίας των φούρνων γήρανσης των προφίλ και την καταγραφή των εργαστηριακών αποτελεσμάτων σκληρομέτρησης.



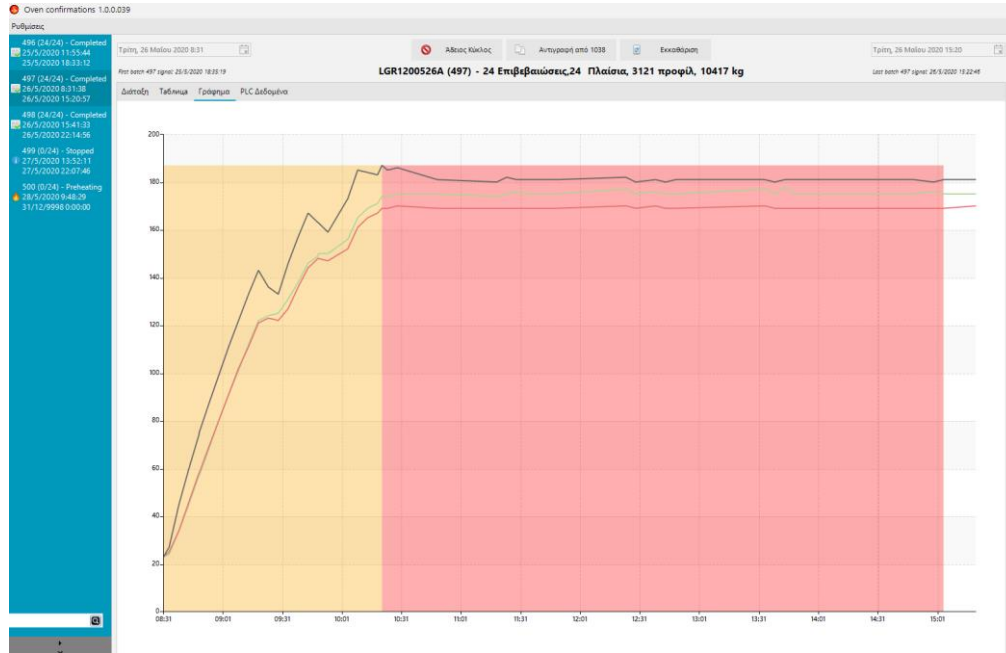
Εικόνα 4.4: Οθόνη επιβεβαίωσης χειριστή πρέσας. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία μιλιγέτα (ξεχωριστή διέλαση) και ενσωματώνει όλες τις πραγματικές παραμέτρους που καταγράφηκαν από το PLC.



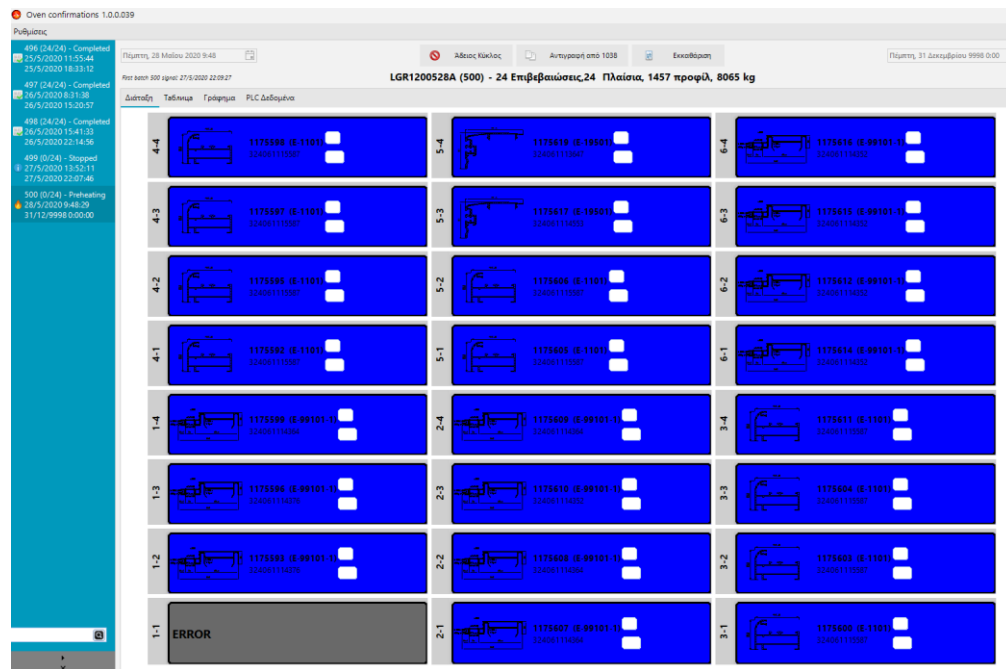
Εικόνα 4.5: Οθόνη επιβεβαίωσης χειριστή προιονού τελικής κοπής. Σε αυτή την φάση αιτιολογείται το σκραπ διέλασης που έχει απορριφθεί. Επόμενο στάδιο είναι ο φούρνος γήρανσης



Εικόνα 4.6: Οθόνη αιτιολόγησης καθυστερήσεων παραγωγής. Ο χειριστής κατηγοριοποιεί τις πλαναρισμένες και τις έκτακτες καθυστερήσεις και δίνεται η δυνατότητα να προσθέσει σχόλια (είτε ο χειριστής είτε ο τεχνικός συντήρησης βάρδιας).



Εικόνα 4.7: Καταγραφή λειτουργίας φούρνου γήρανση – έλεγχος ορθής λειτουργίας.



Εικόνα 4.8: Καταγραφή προφίλ στις διακριτές θέσεις του φούρνου γήρανσης

4.2.2 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ MES – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ.

Το υφιστάμενο MES είναι σε μια διαρκή ανάπτυξη και βελτίωση με στόχο να ενσωματώσει σταδιακά και τα υπόλοιπα παραγωγικά συστήματα της εταιρίας (συσκευασία, θερμομόνωση, βαφή).

Επίσης υπάρχει προσανατολισμός το σύστημα να μπορεί να επεξεργάζεται τα δεδομένα των μεταβλητών εισόδου (από PLC) και να διαμορφώνει βέλτιστες συνταγές μέσω εφαρμογής μεθόδων μηχανικής μάθησης.

Επίσης, με τις υφιστάμενες δυνατότητές του, είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας καθώς μέσω της διασύνδεσης που έχει επιτευχθεί με την αρχική παραγγελία και τον προγραμματισμό παραγωγής περνάει άμεσα η πληροφορία στην γραμμή παραγωγής (εργοδηγούς και χειριστές) για:

- Τις ειδικές απαιτήσεις των πελατών (πχ σχέδια συσκευασίας, τρόπος στοίβαξης των προφίλ κτλ).
- Τα παράπονα των πελατών από προηγούμενες παραγωγές.
- Τα ειδικά πλάνα ποιότητας που πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή κατ' εξαίρεση.

Φυσικά η ομάδα CI αλλά και η διοικητική ομάδα του εργοστασίου μπορεί να παραμετροποιήσει τα report και να λαμβάνει ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο για οτιδήποτε θεωρείται σημαντικό (πχ αυτόματη αποστολή report, ενημέρωση χρόνου παραγωγής συγκεκριμένης μήτρας, κτλ).

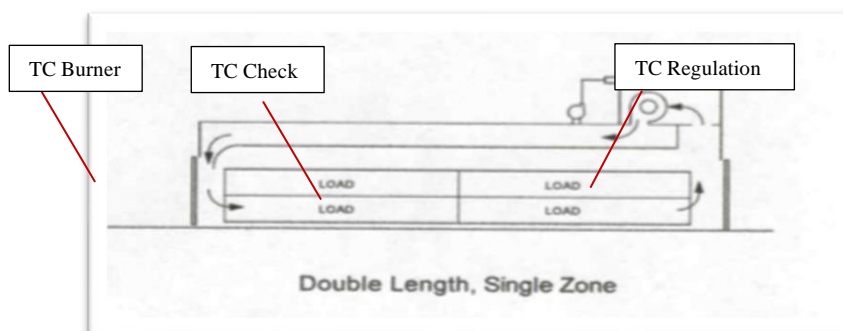
5 CASE STUDIES

5.1 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.

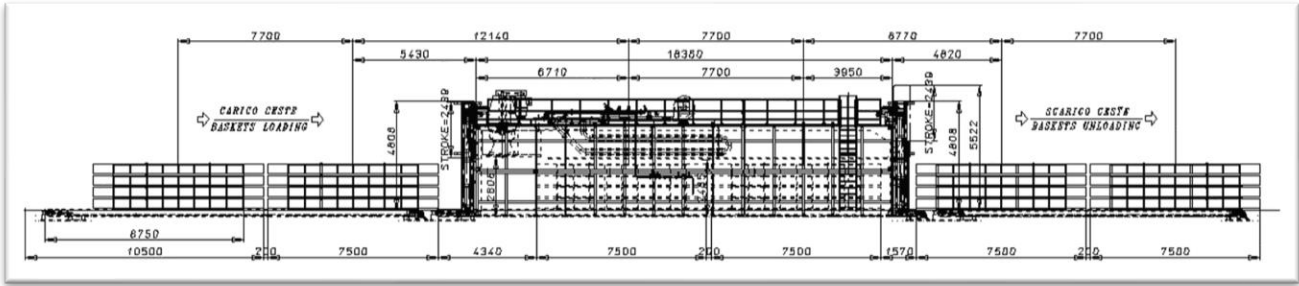
5.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όπως προαναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια τελική αντοχή και σκλήρυνση του κράματος αλουμινίου πραγματοποιείται από τη διαδικασία της γήρανσης. Η σκλήρυνση με κατακρήμνιση πραγματοποιείται όταν τα κατακρημνίσματα αναπτυχθούν σε τέτοιον βαθμό που να εμποδίζουν να δημιουργηθεί αποδιοργάνωση του κρυσταλλικού πλέγματος. Αυτή η ανάπτυξη των κατακρημνισμάτων μπορεί είτε να συμβεί σε θερμοκρασία δωματίου, είτε να απαιτήσει μεγάλες χρονικές περιόδους για να επιτευχθεί το επιθυμητό μέγεθος κατακρημνισμάτων. Η τεχνητή γήρανση είναι μια διαδικασία όπου τα διελασμένα προφίλ τοποθετούνται σε ειδικό φούρνο με θερμοκρασία περίπου 175 °C για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπως προδιαγράφεται από την καμπύλη γήρανσης του εκάστοτε κράματος.

Ο φούρνος γήρανσης που διαθέτει η ETEM είναι για να πραγματοποιεί κύκλος γήρανσης «κατά παρτίδες». Επί της ουσίας τοποθετούνται εντός του φούρνου 24 πλαίσια (μεταλλικά καλάθια φόρτωσης των δμετρων προφίλ) με φορτίο 250-500kg το καθένα με προφίλ αλουμινίου που έχουν ήδη παραχθεί από την πρέσα διέλασης. Ο φούρνος έχει σύστημα ανακυκλοφορίας θερμαινόμενου αέρα και θερμαίνει τα προφίλ του αλουμινίου μέσω μεταγωγής (convection). Η ανακυκλοφορία του αέρα γίνεται με συγκεκριμένη ροή από την μία πλευρά προς την άλλη όπως περιγράφεται στο σχήμα.



Εικόνα 5.1: Απλοϊκή τομή φούρνου γήρανσης – Ένδειξη τύπου ανακυκλοφορίας θερμού αέρα και σημεία τοποθέτησης θερμοστοιχείων ελέγχου



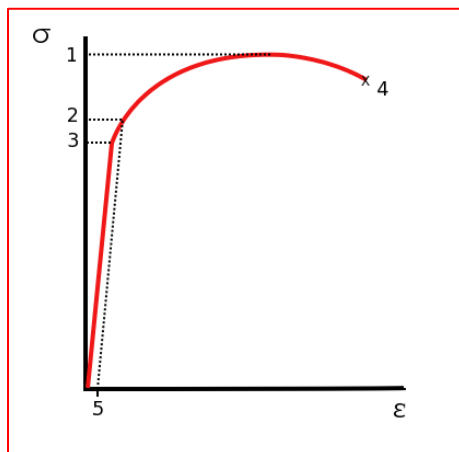
Εικόνα 5.2: Τομή φούρνου γήρανσης Cometal Δυναμικότητας 24 πλαισίων.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4 ο φούρνος γήρανσης παρακολουθείται μέσω του MES για την ορθή λειτουργία του. Κάθε φουρνιά λαμβάνει ένα ξεχωριστό batch number και καταγράφονται στο αρχείο του συστήματος:

1. Η θερμοκρασιακές καταγραφές των τριών εσωτερικών θερμοστοιχείων (μετρηση θερμοκρασίας χώρου).
2. Τον τύπο του προφίλ που περιλαμβάνονται ανά πλαίσιο αλλά και την συγκεκριμένη θέση του πλαισίου. Η συγκεκριμένη πληροφορία είναι πολύ σημαντική καθώς πρέπει να είναι γνωστό τι τύπου διατομές είναι τοποθετημένες, σε ποια σημεία και σε τι ποσότητα για να ελέγχεται τυχόν μη ομαλή ροή του αέρα (π.χ. πολλές μασίφ διατομές με πυκνή στοίβαξη μπορεί να εμποδίζουν την ροή του αέρα εντός του φούρνου και να υπάρξει αστοχία).
3. Τα στοιχεία των σκληρομετρήσεων μέσω των φορητών σκληρόμετρων αλλά και των δοκιμών εφελκυσμού που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο.

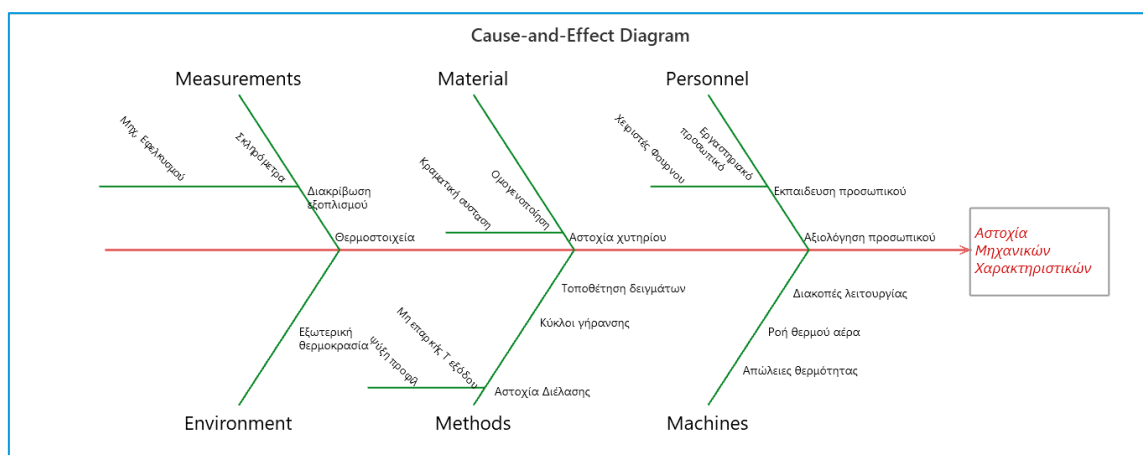
Οι δοκιμές που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο στην μηχανή εφελκυσμού γίνονται από δοκίμιο που προκύπτει από προκομμένο δείγμα της διατομής που είναι τοποθετημένο επάνω στο πλαίσιο και έχει ακολουθήσει την πορεία του πλαισίου. Οι τρεις βασικές μεταβλητές που παρακολουθούνται στα αποτελέσματα είναι οι εξής:

- **Εφελκυστική Αντοχή R_m** : η μέγιστη τάση στην καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης.
- **Τάση διαρροής $R_{p0,2}$** : η τάση στην οποία ξεκινά η μόνιμη παραμόρφωση του μετάλλου (στο τεχνητό οριο 0,2%).
- **Δείκτης Ολκιμότητας A_{50}** : Ποσοστίαια συνολική επιμήκηση στο σημείο θράυσης.



Εικόνα 5.3: Καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης. (1) Εφελκυστική αντοχή R_m , (2) Τάση διαρροής $R_{p0.2}$ (3) Οριο αναλογίας, (4) Αντοχή στην θράυση, (5) Τεχνητό όριο διαρροής.

Τους 3 πρώτους μήνες του έτους 2020 παρατηρήθηκε από το τμήμα ποιοτικού ελέγχου μια ιδιαίτερη αστάθεια να επιτευχθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των προφίλ αλουμινίου (χαμηλότερη η οριακή εφελκυστική αντοχή σε σχέση με τις προδιαγραφές και τις ανοχές του προτύπου EN 755-2) και να οδηγηθεί η εταιρία σε μια αύξηση του scrap λόγω γήρανσης κατά 15% σε σχέση με το αντίστοιχο διάστημα τον προηγούμενο χρόνο. Συνεπώς το θέμα απασχόλησε την ομάδα CI και πραγματοποίησε συνεδρίαση με την συμμετοχή του υπευθύνου ποιότητας και του υπευθύνου τεχνικού τμήματος. Τα αποτελέσματα του καταγισμού ιδεών αποτυπώθηκαν στην συνέχεια σε ένα διάγραμμα ανάλυσης αιτίου - αποτελέσματος (Ishikawa) το οποίο παρατίθεται στην επόμενη Εικόνα 5.2



Εικόνα 5.4: Διάγραμμα αιτίου – αποτελέσματος

Για την ομάδα CI της ETEM ήταν η πρώτη φορά που συστηματικά προσεγγίστηκαν όλες οι πιθανές αιτίες που δημιουργούν το αποτέλεσμα της απόκλισης. Για όλες τις παραπάνω αιτίες πάρθηκαν

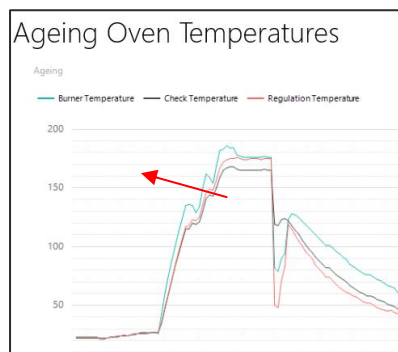
ενέργειες που κάποιες από αυτές ολοκληρώθηκαν σε σύντομο χρονικό διάστημα και κάποιες άλλες είναι σε εξέλιξη.

Αναλυτικά για κάθε κατηγορία πιθανών αιτιών

Measurements

1. Πραγματοποιήθηκε η ετήσια διακρίβωση του μετρητικού εξοπλισμού ενόψει και της επιθεώρησης του Συστήματος Διαχείρισης της Ποιότητας (πιστοποιημένο σύστημα με ISO 9001). Δεν εντοπίστηκαν σημαντικές αποκλίσεις ούτε στην μηχανή εφελκυσμού αλλά ούτε και στα σκληρόμετρα χειρός (κλίμακας Webster και HBW) που χειρίζονται οι χειριστές του φούρνου και οι εργαζόμενοι στο τμήμα ποιότητας. Επίσης το τεχνικό τμήμα είναι σε αναζήτηση εξωτερικού συνεργάτη για την διενέργεια διακρίβωσης στον ίδιο τον φούρνο γήρανσης (πιθανή ημερομηνία ολοκλήρωσης 9/2020).

2. Με την έναρξη παρακολούθησης των θερμοστοιχείων μέσω report του MES διαπιστώθηκε απόκλιση σε ένα από τα τρία που έχει ο φούρνος (θερμοστοιχείο στην μέση του φούρνου). Δεν είναι λογική η απόκλιση καθώς το 3^ο θερμοστοιχείο (regulation) βρίσκεται στο τέλος του τούνελ και θα έπρεπε ο αέρας να είναι ψυχρότερος καθώς έχει ήδη εναλλαχθεί η θερμότητα με τα ψυχρά προφίλ αλουμινίου. Αντικαταστάθηκε το συγκεκριμένο θερμοστοιχείο για να υπάρξει σωστή ένδειξη και ρύθμιση στο πρόγραμμα λειτουργίας.



Εικόνα 5.5: Εντοπισμός σταθερής απόκλισης 10°C στην μέση του φούρνου.

Material

Τα δύο κύρια Χυτήρια που η ΕΤΕΜ προμηθεύεται Α Ύλη είναι η ΑΝΟΞΑΛ (του ομίλου ΒΙΟΧΑΛΚΟ) και το Αλουμίνιο της Ελλάδος (του ομίλου ΜΥΘΛΙΝΑΙΟΥ). Τα προβλήματα που αντιμετώπιζε η παραγωγή της ΕΤΕΜ γνωστοποιήθηκαν στους υπευθύνους ποιότητας οι οποίοι με την σειρά τους έδωσαν οδηγίες αυξημένου ελέγχου στις παραγωγικές διαδικασίες των χυτηρίων. Επιπρόσθετα, σε συνεργασία με την ΑΝΟΞΑΛ και τον ΕΛΚΕΜΕ (ερευνητικό κέντρο του Ομίλου ΒΙΟΧΑΛΚΟ) δόθηκαν δείγματα από προφίλ που αστόχησαν για έλεγχο της κρυσταλλικής δομής.

Παράλληλα η ομάδα CI επισκέφθηκε τις εγκαταστάσεις από τις δύο προμηθεύτριες εταιρίες με στόχο την αύξηση της επικοινωνίας και τον άμεσο εντοπισμό των προβλημάτων.

Προσωρινά το τμήμα παραγωγής της ETEM διέκοψε τις παραγωγές με 6060 και προτιμήθηκε το πιο σκληρό κράμα 6063 για την παραγωγή των αρχιτεκτονικών προφίλ (μηδενική κοστολογική επίπτωση καθώς η τιμή αγοράς των δύο κραμάτων είναι η ίδια ενώ και οι ταχύτητες διέλασης δεν επηρεάστηκαν από την συγκεκριμένη αλλαγή).

Personnel

1. Πραγματοποιήθηκε επανεκπαίδευση του προσωπικού του εργαστηρίου από τους τεχνικούς αντιπρόσωπους της μηχανής εφέλκυσμού. Στα καθήκοντα του προσωπικού είναι ο έλεγχος από όλα τα πλαίσια ενός δείγματος για την απελευθέρωση του προϊόντος. Επίσης έγινε μια έκτακτη εκπαίδευση στους χειριστές του φούρνου για την αντιμετώπιση σφαλμάτων. Είχε διαπιστωθεί ότι σφάλματα δεν επικοινωνούνταν εγκαίρως με αποτέλεσμα ο φούρνος να παραμένει σε αδράνεια.

2. Από τον 4/2020 οι χειριστές των φούρνων ελέγχουν μέσω του MES το καταγραφικό του φούρνου. Αν ο κύκλος ολοκληρώθηκε χωρίς προβλήματα ακολουθεί το σύνηθες πλάνο δειγματοληψίας. Αν υπάρχει εντοπισμένη δυσλειτουργία τότε το τμήμα ποιοτικού ελέγχου εξετάζει πλάνο αυξημένης δειγματοληψίας και αν χρειαστεί προχωράει σε διορθωτικές ενέργειες (π.χ. επαναγήρανση).

3. Το σύστημα αξιολόγησης των θέσεων εργασίας και του προσωπικού που εφαρμόζει το τμήμα ανθρωπίνων πόρων (HR) ανέδειξε την ανάγκη για αύξηση των δεξιοτήτων του ρόλου των χειριστών του φούρνου. Το τμήμα παραγωγής εξετάζει την αντικατάσταση/μετακίνηση ενός χειριστή.

Environment

Εντοπίστηκε μια συστηματική αστοχία των μηχανικών χαρακτηριστικών τις ημέρες που υπήρχε στο περιβάλλον πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Η άμεση αντίδραση ήταν η αύξηση του κύκλου κατά 30min για τις ημέρες όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από 10°C (εμπειρικός κανόνας). Επίσης τα μονωτικά υλικά του φούρνου ελέγχθηκαν και ήταν σε καλή κατάσταση (τοιχώματα). Θα εξεταστεί η προληπτική αντικατάστασής του στο shut down του 8/2020.

Methods

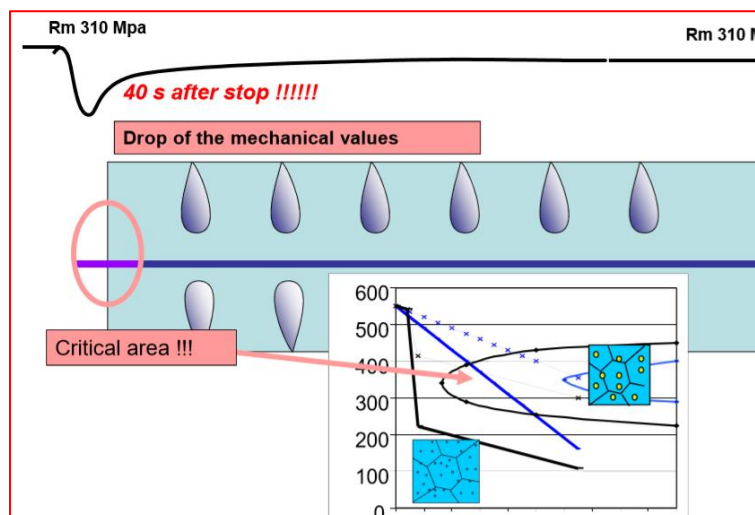
1. Πραγματοποιήθηκε εκπαίδευση στους χειριστές του φούρνου να ελέγχουν ότι:

- τα προκομμένα τεμάχια έχουν τοποθετηθεί σωστά στον φούρνο, επάνω στα πλαίσια, και δεν έχουν πέσει στο πάτωμα του φούρνου. Αν ένα δοκίμιο πέσει στον φούρνο τότε λαμβάνεται δείγμα από ολόκληρη βέργα του περιεχόμενου του πλαισίου. Δημιουργήθηκε ειδική οδηγία εργασίας.
- Τα πλαίσια που παραλαμβάνουν για γήρανση έχουν τοποθετημένα τα προφίλ με σωστή στοίβαξη και με ενδιάμεσες λάμες αλουμινίου που επιτρέπουν την δημιουργία αεραγωγών μεταξύ των προφίλ για την

εξασφάλιση ομοιόμορφης θέρμανσης. Σε αντίθετη περίπτωση τα πλαίσια θα επιστρέφονται στο πλήρωμα της πρέσας για επανατοποθέτηση του προϊόντος.

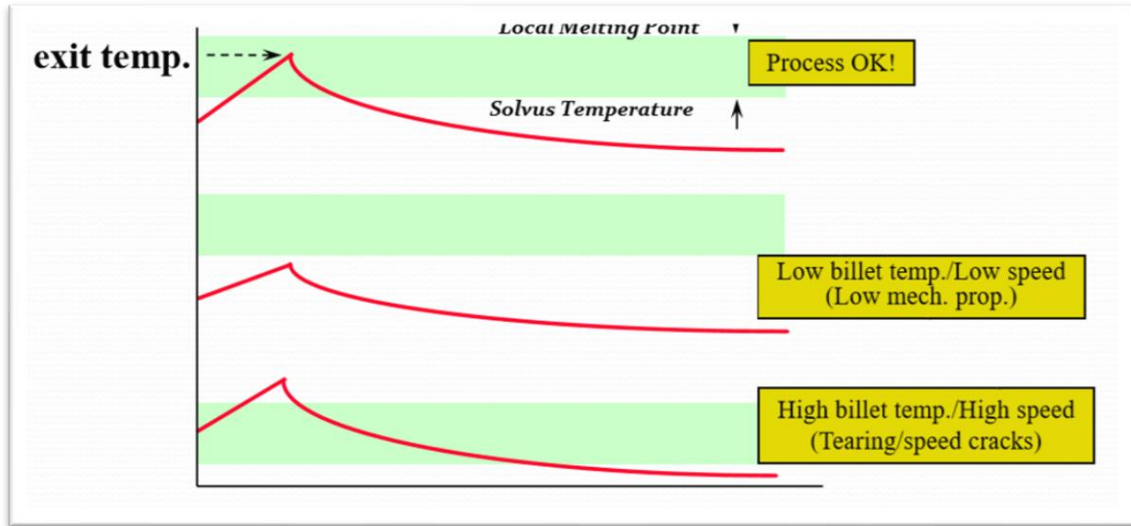
2. Οι κύκλοι γήρανσης επαναξιολογήθηκαν μέσω δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε μικρό εργαστηριακό φούρνο που αποκτήθηκε από το τμήμα ποιότητας για λόγους προσομοίωσης. Μέσα σε έναν μήνα παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν οι αποκλίσεις στα μηχανικά χαρακτηριστικά μεταξύ του πιλοτικού και του εργοστασιακού φούρνου σε ίδιες συνθήκες λειτουργίας (στον πιλοτικό φούρνο τοποθετούνται δείγματα μήκους 20cm). Έπειτα προσαρμόστηκαν ανάλογα οι κύκλοι γήρανσης στον εργοστασιακό φούρνο για την επίτευξη των μηχανικών χαρακτηριστικών. Για το κράμα 6063 η διαδικασία έχει δώσει την δυνατότητα να μειωθεί ο κύκλος έως και 45min. Συνεπώς καθιερώθηκε διαδικασία πιλοτικού ελέγχου των γηράσεων σε εβδομαδιαίο επίπεδο (δειγματοληπτικά λαμβάνεται ένα επιπλέον προκομμένο τεμάχιο την ημέρα να γηράσει στον πιλοτικό φούρνο και να συγκρίνεται με το αποτέλεσμα του εργοστασιακού).

3. Μεμονωμένες αστοχίες διέλασης εντοπίστηκαν στο κράμα 6082 που απαιτείται να ψυχθεί μετά την διέλαση με πολύ υψηλό ρυθμό (10oC/sec) για να αποκτήσει μηχανικά χαρακτηριστικά. Για τον καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας τοποθετήθηκε πυρόμετρο στην έξοδο της «κάπας» υδρόψυξης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας μετά το πέρας του ψεκασμού. Επίσης έγινε μια εκπαίδευση στους χειριστές για το φαινόμενο της αναθέρμανσης που πραγματοποιείται όταν ο κύκλος διέλασης (νεκρός χρόνος μεταξύ δύο μπιγιετών) μπορεί να μεγαλώσει ανεξέλεγκτα και να δημιουργηθούν κατακρημνίσματα μεγάλων συσσωματωμάτων. Τότε πρέπει να εντοπιστεί το προϊόν και είτε να απορριφθεί είτε να τεθεί «υπό έλεγχο».



Εικόνα 5.6: Επίδραση της αναθέρμανσης λόγω αύξησης του νεκρού χρόνου διέλασης.

4. Σημαντική αστοχία της διέλασης είναι η μη επίτευξη του Solvus Temperature. Συμβαίνει σε προφίλ με χαμηλό λόγο διέλασης. Οι κατασκευαστές των μητρών για να το αποφύγουν το φαινόμενο δημιουργούν κατασκευαστικά τις προϋποθέσεις για να αυξηθεί η τριβή κατά την ροή του μετάλλου. Προτάθηκε να υπάρξει αυτόματη ενημέρωση στην καταγραφή της παραγωγής τυχόν μη επίτευξη της θερμοκρασίας εξόδου μέσω διασύνδεσης της τιμής που καταγραφεί το πυρόμετρο στο PLC με το MES.



Εικόνα 5.7: Περιγραφή αστοχιών επίτευξης ορθής θερμοκρασίας εξόδου (T_{solvus} και T_{melting} είναι ξεχωριστά ανά κράμα).

Machines

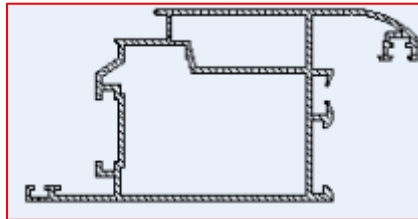
1. Σημαντική δράση ανέλαβε το τεχνικό τμήμα να κλείσει όλες τις απώλειες θερμότητας. Οι σημαντικότερες εντοπίστηκαν στις δύο πόρτες (τύπου γκιλοτίνας). Αντικαταστάθηκαν τα μονωτικά και τοποθετήθηκαν προσθήκες (4-10mm) με στόχο την πλήρη σφράγιση.
2. Η ροή του αέρα εσωτερικά αποκαταστάθηκε τεχνικά με την επιδιόρθωσή των αυλών διαμερισματοποίησης (λαμαρίνες στο εσωτερικό της πρώτης πόρτας του φούρνου) οι οποίες είχαν χτυπηθεί μετά από μια (βίαιη) πτώση της πόρτας. Επίσης είναι σε εξέλιξη ένα project προσομοίωσης από τον ΕΛΚΕΜΕ για την καταγραφή των ροών θερμότητας σε σχέση με την γεωμετρία και την τοποθέτηση των πλαισίων στην χώρα.
3. Εντοπισμός αιτιών σφαλμάτων διακοπής διαδικασίας λειτουργίας φούρνου και πραγματοποίηση ελέγχου προγράμματος λειτουργίας από το τμήμα συντήρησης της ΕΤΕΜ.

5.1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

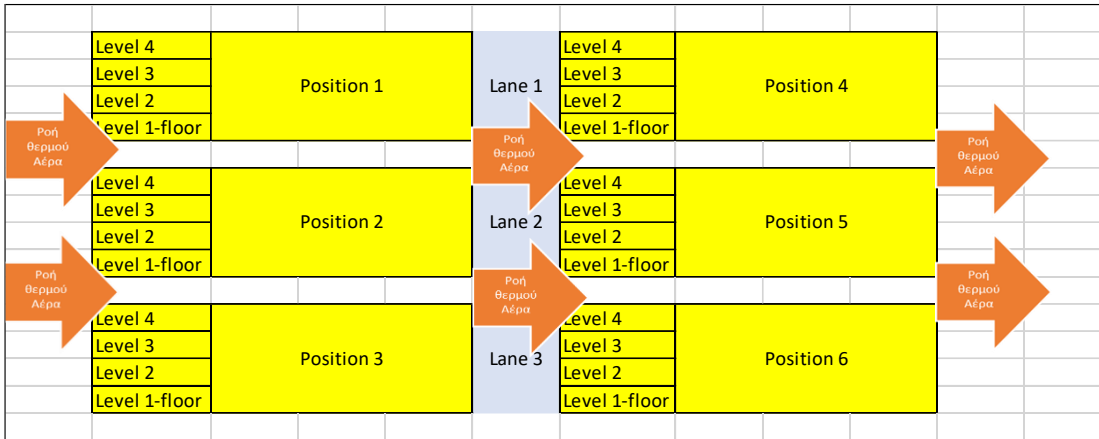
Η ομάδα προχώρησε σε ένα πείραμα ελέγχου της δυνατότητας της διεργασίας και εξέτασης των παραγόντων θέσης οι οποίοι θα πιθανολογείται ότι επιδρούν στην προέλευση της μεταβλητότητας. Σκοπός είναι να ελεγχθεί αν η πηγή της μεταβλητότητας είναι τυχαία η είναι συστηματική. Οι παράγοντες ορίζονται με κριτήριο την ακριβή θέση των δειγμάτων εντός του φούρνου (κρατώντας σταθερό τύπο διατομής, παραμέτρους παραγωγικής διαδικασίας διέλασης και κράμα). Αξιοποιώντας ένα μεγάλο παραγωγικό run όπου 24 πλαίσια ίδιου προφίλ (κράματος 6060 και επιθυμητής θερμικής επεξεργασίας T6) και ίδιου φορτίου μάζας τοποθετήθηκαν στην ίδια παρτίδα γήρανσης, από το τμήμα το ποιοτικού ελέγχου τοποθετήθηκαν δύο προκομμένα δείγματα ανά θέση φούρνου.

Ο χρόνος του κύκλου ορίστηκε στις 5h και η θερμοκρασία γήρανσης στους 175°C οι οποίες είναι οι συνήθεις συνθήκες γήρανσης για αρχιτεκτονικά προφίλ κράματος 6060 και Temper T6. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ομαλές συνθήκες λειτουργίας του φούρνου και αφού είχαν ολοκληρωθεί οι διορθωτικές ενέργειες που επιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το επιλεγέν προφίλ είναι λεπτότοιχο σωληνωτό και βοηθάει στην επίτευξη των μηχανικών χαρακτηριστικών το γεγονός ότι ο αέρας κυκλοφορεί εσωτερικά της διατομής.



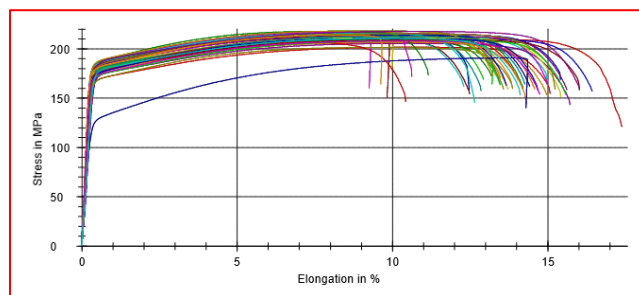
Εικόνα 5.8: Διατομή πειράματος πάχους 1,4mm. Το δοκίμιο εφελκυσμού κόπηκε από την κάτω επίπεδη πλευρά.

Οι θέσεις του φούρνου με την κωδικοποίηση τους καθώς και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για τις δύο κύριες μεταβλητών ελέγχου (R_m :αντοχή σε εφελκυσμό και $R_{p0,2}$:τάση διαρροής) περιγράφονται στα παρακάτω διαγράμματα. Σημειώνεται επίσης ότι από κάθε θέση λήφθηκαν 2 δείγματα. Ως Level τίθεται ο παράγοντας υψος τοποθέτησης των πλαισίων (4 επίπεδα ξεκινώντας από το πάτωμα του φούρνου) και ως position τίθεται ο παράγοντας της θέσης τοποθέτησης της στοίβας εντός του φούρνου.



Εικόνα 5.9: Θέσεις φούρνου από την οπτική της κάτοψης. Υποδεικνύεται επίσης ότι υπάρχουν ανά θέση τέσσερα πλαίσια σε στοίβαξη.

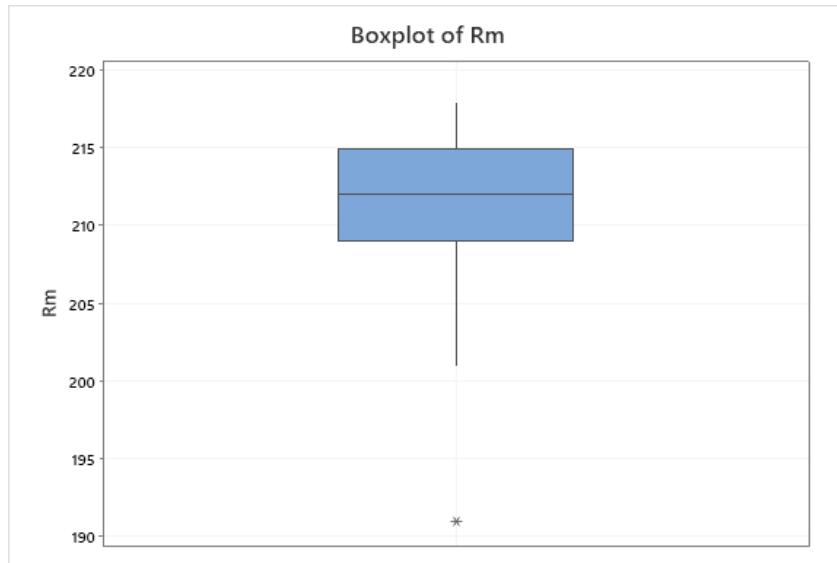
Rm	Rp0,2	Level	Position
202	168	1	1
215	185	2	1
215	184	3	1
212	181	4	1
216	185	1	1
214	184	2	1
210	180	3	1
210	179	4	1
214	183	1	2
217	184	2	2
213	179	3	2
213	182	4	2
218	187	1	2
210	176	2	2
210	177	3	2
209	175	4	2
210	175	1	3
216	184	2	3
215	183	3	3
209	177	4	3
215	183	1	3
209	176	2	3
209	174	3	3
214	183	4	3
207	176	1	4
206	173	2	4
212	182	3	4
201	169	4	4
214	183	1	4
210	178	2	4
214	183	3	4
207	175	4	4
217	184	1	5
216	185	2	5
212	180	3	5
209	177	4	5
218	186	1	5
191	128	2	5
218	187	3	5
218	186	4	5
213	180	1	6
215	183	2	6
206	174	3	6
208	172	4	6
211	174	1	6
214	180	2	6
208	172	3	6
211	177	4	6



Εικόνες 5.10-5.11: Αποτελέσματα εφελκυσμού (σε MPa) παρτίδας φούρνου γήρανσης και καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης δοκιμίων. Αναγραφή παραγόντων θέσης.

5.1.2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Αρχικά ελέγχουμε με χρήση θηκογραμμάτων αν υπάρχουν εξωκείμενες τιμές οι οποίες πρέπει να παραληφθούν (εφόσον υπάρχει η πληροφορία ότι συνέβη κάποιο ιδιαίτερο συμβάν).

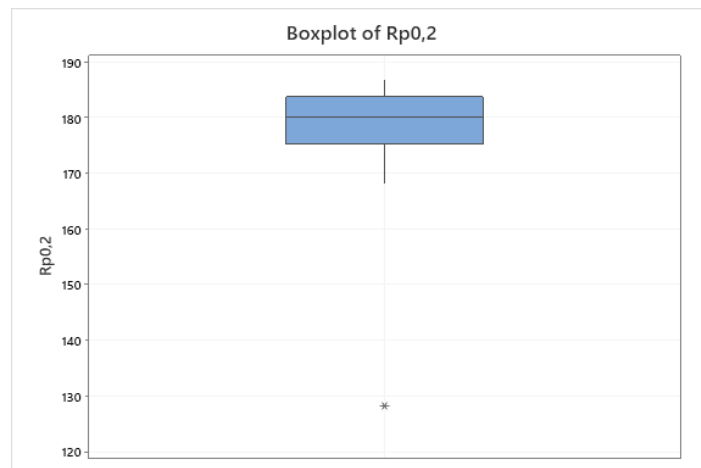


Εικόνα 5.12: Θηκόγραμμα τιμών Rm.

Η τιμή Rm 191 θεωρείται εξωκείμενη. Καταγράφηκε ότι το συγκεκριμένο δοκίμιο που έδωσε αυτή την συγκεκριμένη τιμή προέκυψε από δείγμα της θέσης **Level=2, Pos=5** που είχε πέσει από την θέση του (παρασυρόμενο από τον θερμό αέρα) και βρέθηκε στο πάτωμα του φούρνου. Προτάθηκε από την ομάδα η τιμή να αντικατασταθεί με βάση τον εξής τύπο:

$$\text{Νέα τιμή Rm} = 0,5 * (\text{Τιμή δευτερου δείγματος ιδίας θέσης}) + 0,2 * (\mu. \sigma. 11 \text{ τιμών ιδιου Level}) + 0,2 * (\mu. \sigma. 7 \text{ τιμών ιδιου Position}) + 0,1 * (\mu. \sigma. \text{τιμών } 47 \text{ παρατηρήσεων})$$

Με βάση τον παραπάνω τύπο η τιμή Rm της θέσης **Level=2, Pos=5** αντικαθίσταται με την νέα τιμή **215**. Αντίστοιχα ελέγχουμε το θηκόγραμμα των τιμών Rp.



Εικόνα 5.13: Θηκόγραμμα τιμών Rm.

Η τιμή 128 αντιστοιχεί στο ίδιο δοκίμιο και θα αντικατασταθεί αντίστοιχα με νέα τιμή Rp0,2 μέσω υπολογισμού με χρήση του προαναφερθέντος τύπου. Η νέα τιμή είναι **184**.

Για να εξετάσουμε αν υπάρχουν σημαντικές επιδράσεις των δύο παραγόντων θέσης στα αποτελέσματα της αντοχής σε εφελκυσμό και της τάσης διαρροής έγινε ανάλυση διασποράς μέσω του Minitab. Τέθηκε ως επίπεδο σημαντικότητας το 0,05 για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Τα αποτελέσματα των ANOVA για το Rm τα εξής:

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Level	3	68,56	22,85	1,58	0,219
Position	5	190,35	38,07	2,64	0,049
Level*Position	15	163,56	10,90	0,76	0,709
Error	24	346,50	14,44		
Total	47	768,98			

Εικόνα 5.14: Αποτελέσματα ANOVA Rm versus Level, Position

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Level	3	70,83	23,61	1,12	0,359
Position	5	261,67	52,33	2,49	0,059
Level*Position	15	286,17	19,08	0,91	0,566
Error	24	504,00	21,00		
Total	47	1122,67			

Εικόνα 5.15: Αποτελέσματα ANOVA Rp0,2 versus Level, Position

Παρατηρούμε από τον πίνακα ανάλυσης διασποράς του Rm ότι οι τιμή του P για τον παράγοντα Level είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο σημαντικότητας (0,05) του ελέγχου

$$H_0: Level(i) = 0 \text{ για κάθε } i = 1,2,3,4$$

$$vs H_a: \text{Δεν ισχύει η } H_0$$

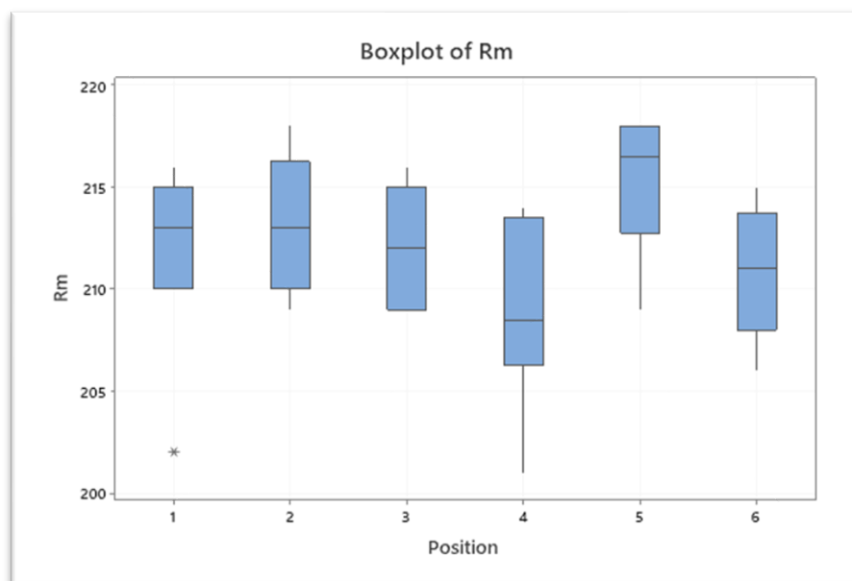
Κατά συνέπεια η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται και εξάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι οι μέσες αποκρίσεις της τιμής Rm δεν διαφέρουν για τα τέσσερα επίπεδα του παράγοντα Level.

Σε αντίστοιχο συμπέρασμα καταλήγουμε και για το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένδειξη ύπαρξης σημαντικής επίδρασης των αλληλεπιδράσεων των δύο παραγόντων.

Αντιθέτως η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται στην περίπτωση του παράγοντα θέσης καθώς $0,049 < 0,050$. Άρα υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις στο 0,05 επίπεδο σημαντικότητας ότι οι μέσες αποκρίσεις του Rm για τις 6 θέσεις του φούρνου διαφέρουν.

Από την ANOVA του $Rp_{0,2}$ δεν προκύπτουν σημαντικές ενδείξεις στο επίπεδο σημαντικότητας 0,5 για επιδράσεις κανενός από τους δύο παράγοντες αλλά ούτε και από την αλληλοεπίδραση των δύο μαζί.

Εστιάζοντας την ανάλυση στις αποκρίσεις της μεταβλητής Rm στην εικόνα 5,12 παρατηρείται μέσω των ομαδοποιημένων θηκογραμμάτων ότι στις θέσεις 1,2,3 (επίπεδα παράγοντα position) οι διάμεσοι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και τα αποτελέσματα έχουν παρόμοια διασπορά ενώ αντιθέτως για τις θέσεις 4,5,6 υπάρχει εμφανώς μια έντονη διαφοροποίηση των θέσεων των διαμέσων. Επίσης στην θέση 4 τα αποτελέσματα είναι περισσότερο διεσπαρμένα και με τις περισσότερες τιμές να είναι συσσωρευμένες προς τα κάτω ενώ στην θέση 5 παρατηρείται η αντίθετη συσσώρευση των τιμών. Στις θέσεις 4 και 5 σχεδόν δεν υπάρχει επικάλυψη του 50% των κεντρικών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 5.16: Θηκογράμματα ομαδοποιημένα αν επίπεδο παράγοντα Position

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του φούρνου οι θέσεις 1,2 και 3 είναι οι τρεις αρχικές θέσεις που δέχονται το θερμό ρεύμα αέρα που έρχεται απευθείας από την προθέρμανση του από τους καυστήρες. Σε αυτές τις θέσεις δεν υπάρχει σημαντική μεταβλητότητα και μετά την αποκατάσταση των αυλών οι τεχνικές επεμβάσεις δείχνουν να έχουν αποδόσει. Όμως όταν ο αέρας έχει ήδη προθερμάνει τα πρώτα προφίλ αλουμινίου της πρώτης ζώνης, έπειτα δημιουργούνται έντονες διακυμάνσεις που μπορεί να πρόβλημα ρεολογικής φύσης η πρόβλημα απώλειας θερμότητας σε συγκεκριμένα σημεία του φούρνου. Η επανάληψη παραγοντικών πειραμάτων με διαφορετικούς ενδεχομένως παράγοντες (θέσης, κράματος, τύπου προφίλ κ.α.) θα δώσει περισσότερα στοιχεία στην ομάδα βελτίωσης. Επίσης η αναλυτική θερμοκρασιακή χαρτογράφηση του θαλάμου που θα πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της διακρίβωσης του φούρνου αλλά και η προσομοίωση που προετοιμάζεται από τον ΕΛΚΕΜΕ θα μας δώσει περαιτέρω στοιχεία.

5.1.2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ – CAPABILITY ANALYSIS

Πλέον για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ικανότητα της διεργασίας γήρανσης θα ληφθούν υπόψη τα 48 αποτελέσματα των τιμών R_m και $R_{p0,2}$ ανεξάρτητα από το σημείο που τοποθετήθηκαν εντός του φούρνου γήρανσης. Άρα λαμβάνονται υπόψη 48 δείγματα τα οποία έχουν δειγματικό μέγεθος ίσο με 1.

Στο συγκεκριμένο πείραμα ο στόχος ήταν να επιτευχθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά για την γήρανση του κράματος 6060 σε συνθήκες θερμικής επεξεργασίας T6 για προφίλ πάχους 3mm. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 755-2 (και τον πίνακα 5,1 που παρατίθεται από το πρότυπο) τίθενται μόνο κάτω όρια προδιαγραφής της διαδικασίας τα οποία είναι τα εξής:

$$ΚΟΠ_{R_m} = 190$$

$$ΚΟΠ_{R_{p0,2}} = 150$$

Πίνακας 5.1: Προδιαγραφές σκληρότητας κράματος 6060

EN 755-2:2008 (E)

Table 36 — Alloy EN AW-6060 [Al MgSi]

Extruded rod/bar									
Temper	Dimensions mm		R_m MPa		$R_{p0,2}$ MPa		A % min.	$A_{50\text{ mm}}$ % min.	HBW Typical value
	D^a	S^b	min.	max.	min.	max.			
T4 ^c	≤ 150	≤ 150	120	-	60	-	16	14	50
T5	≤ 150	≤ 150	160	-	120	-	8	6	60
T6 ^c	≤ 150	≤ 150	190	-	150	-	8	6	70
T64 ^{c,d}	≤ 50	≤ 50	180	-	120	-	12	10	60
T66 ^c	≤ 150	≤ 150	215	-	160	-	8	6	75
Extruded tube									
Temper	Wall thickness t mm	R_m MPa		$R_{p0,2}$ MPa		A % min.	$A_{50\text{ mm}}$ % min.	HBW Typical value	
		min.	max.	min.	max.				
T4 ^c	≤ 15	120	-	60	-	16	14	50	
T5	≤ 15	160	-	120	-	8	6	60	
T6 ^c	≤ 15	190	-	150	-	8	6	70	
T64 ^{c,d}	≤ 15	180	-	120	-	12	10	60	
T66 ^c	≤ 15	215	-	160	-	8	6	75	
Extruded profile ^e									
Temper	Wall thickness t mm	R_m MPa		$R_{p0,2}$ MPa		A % min.	$A_{50\text{ mm}}$ % min.	HBW Typical value	
		min.	max.	min.	max.				
T4 ^c	≤ 25	120	-	60	-	16	14	50	
T5	≤ 5	160	-	120	-	8	6	60	
	5 < t ≤ 25	140	-	100	-	8	6	60	
T6 ^c	≤ 3	190	-	150	-	8	6	70	
	3 < t ≤ 25	170	-	140	-	8	6	70	
T64 ^{c,d}	≤ 15	180	-	120	-	12	10	60	
T66 ^c	≤ 3	215	-	160	-	8	6	75	
	3 < t ≤ 25	195	-	150	-	8	6	75	

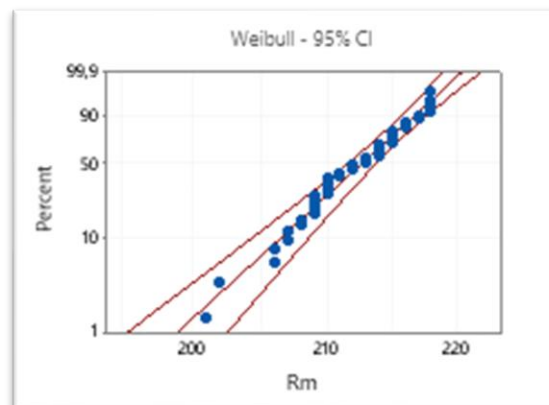
^a D = Diameter for round bar.
^b S = Width across flats for square and hexagonal bar, thickness for rectangular bar.
^c Properties may be obtained by press quenching.
^d Bending quality.
^e If a profile cross section is comprised of different thickness which fall in more than one set of specified mechanical property values, the lowest specified value shall be considered as valid for the whole profile cross section.

Αρχικά αναζητήθηκε η καταλληλότερη κατανομή που περιγράφει αντοχής εφελκυσμού R_m . Από τον επόμενο πίνακα που προέκυψε από το Minitab φαίνεται ότι καταλληλότερη κατανομή, σε σχέση με αυτές που εξετάζονται, είναι η Weibull καθώς έχει το μεγαλύτερο P value από όλες τις υπόλοιπες κατανομές.

Πίνακας 5.2: Προσαρμογή δεδομένων Rm σε στατιστικές κατανομές

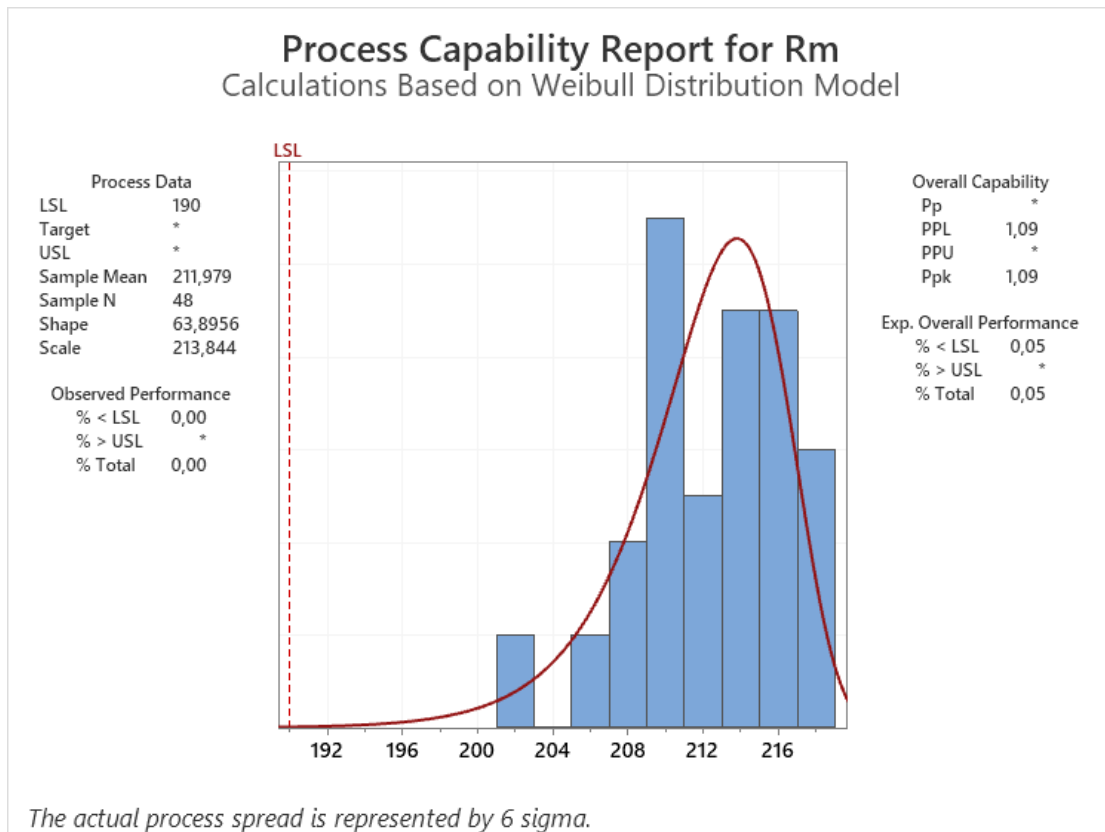
Goodness of Fit Test		
Distribution	AD	P LRT P
Normal	0,579	0,125
Box-Cox Transformation	0,495	0,205
Lognormal	0,607	0,108
3-Parameter Lognormal	0,588	* 0,462
Exponential	21,222	<0,003
2-Parameter Exponential	8,914	<0,010 0,000
Weibull	0,491	0,221
3-Parameter Weibull	0,465	0,163 0,618
Smallest Extreme Value	0,503	0,210
Largest Extreme Value	1,568	<0,010
Gamma	0,606	0,124
3-Parameter Gamma	13,398	* 1,000
Logistic	0,607	0,076
Loglogistic	0,619	0,069
3-Parameter Loglogistic	1,772	* 1,000

Όπως φαίνεται και από το επόμενο διάγραμμα πιθανότητας δεν μπορεί να γίνει παραδοχή κανονικότητας των δεδομένων καθώς η κατανομή Weibull περιγράφει περισσότερο ικανοποιητικά τα δεδομένα με τα περισσότερα σημεία βρίσκονται εντός του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης.



Εικόνα 5.17: Διάγραμμα πιθανότητας κατανομής Weibull δεδομένων Rm με διαστήμα εμπιστοσύνης 95%

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τις τιμές Rm με ΚΟΠ=190 και με βάση την κατανομή Weibull.



Εικόνα 5.18: Ανάλυση ικανότητας διεργασίας Rm

Με βάση το report του MINITAB παρατηρούμε τα εξής:

- Η τιμή του δείκτη PPL είναι πολύ χαμηλή, ισούται με 1.09, κάτι που σημαίνει ότι η διεργασία χρειάζεται παρακολούθηση. Η επίδοση της διεργασίας είναι 4,77σ κάτι που σημαίνει ότι απέχει αρκετά από την επίτευξη ποιότητας 6σιγμα.
- Από το σύνολο του πληθυσμού των προφίλ που γηράσκουν στις συγκεκριμένες συνθήκες του πειράματος αναμένεται να υπάρξουν 0,05% προϊόντων που θα εμφανίσουν αντοχή σε εφελκυσμό μικρότερη από τις προδιαγραφές.
- Αν αυτό το ποσοστό αναχθεί σε 10.000 τν ετήσιας παραγωγής τότε σημαίνει ότι 5τη προϊόντος αναμένεται να απορριφθούν ή να διορθωθούν με επαναγήρανση σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Όμως μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί επισφαλής καθώς ούτως ή άλλως ο έλεγχος είναι δειγματοληπτικός καταστροφικού τύπου. Άρα ακόμα υπάρχει ένα ποσοστό προφίλ όπου μπορεί το δείγμα να είναι αποδεκτής τιμής εφελκυσμού αλλά το ίδιο το προϊόν να παρουσιάζει απόκλιση.

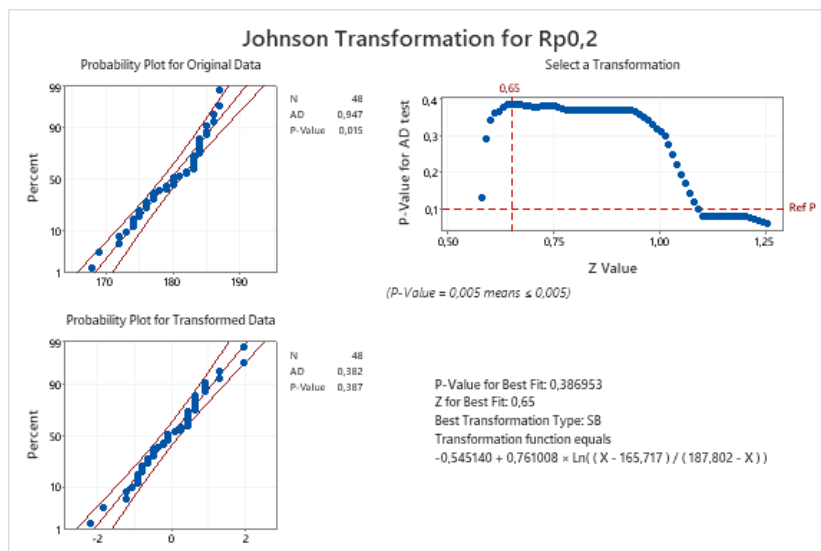
Από τον επόμενο πίνακα που προέκυψε από το Minitab είναι ξεκάθαρο ότι καταλληλότερη κατανομή που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα της τάσης διαρροή (Rp0,2) είναι η τυποποιημένη κανονική κατανομή

μετά από μετασχηματισμό των δεδομένων (Johnson Transformation) καθώς έχει το μεγαλύτερο P value από όλες τις υπόλοιπες κατανομές που εξετάζονται.

Πίνακας 5.3 Προσαρμογή δεδομένων Rm σε στατιστικές κατανομές.

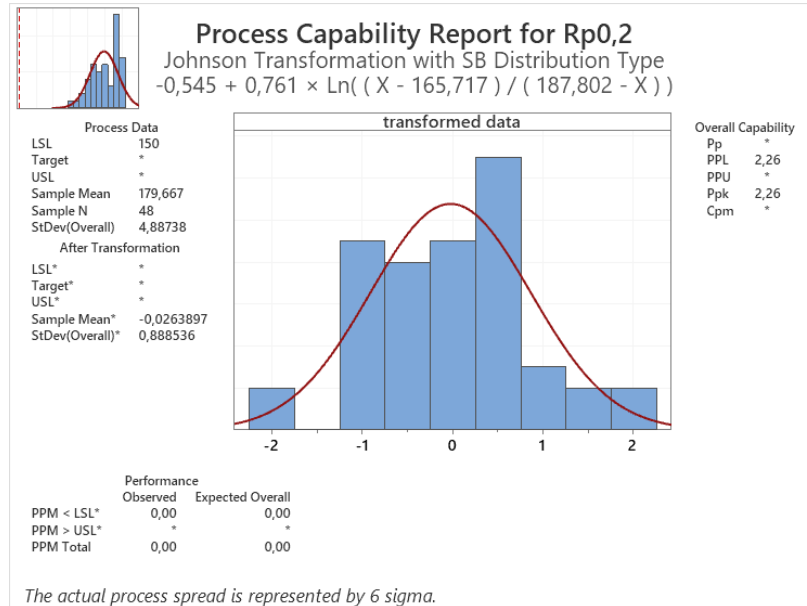
Goodness of Fit Test		
Distribution	AD	P LRT P
Normal	0,947	0,015
Box-Cox Transformation	0,849	0,027
Lognormal	0,979	0,013
3-Parameter Lognormal	0,975	* 0,426
Exponential	20,875	<0,003
2-Parameter Exponential	7,290	<0,010 0,000
Weibull	0,768	0,043
3-Parameter Weibull	0,776	0,018 0,931
Smallest Extreme Value	0,758	0,045
Largest Extreme Value	1,455	<0,010
Gamma	0,996	0,014
3-Parameter Gamma	5,137	* 1,000
Logistic	1,014	<0,005
Loglogistic	1,035	<0,005
3-Parameter Loglogistic	1,015	* 0,511
Johnson Transformation	0,382	0,387

Όπως φαίνεται και από το επόμενο διάγραμμα πιθανότητας των μετασχηματισμένων δεδομένων κατά Johnson η κανονική κατανομή περιγράφει ικανοποιητικά τα δεδομένα καθώς τα όλα σημεία βρίσκονται εντός του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης.



Εικόνα 5.19: Μετασχηματισμός δεδομένων Rp0,2

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τις τιμές Rp0,2 με ΚΟΠ=150 με βάση την τυποποιημένη κανονική κατανομή μετά από προσαρμογή των δεδομένων κατά Johnson με P-value 0.386953.



Εικόνα 5.20: Ανάλυση ικανότητας διεργασίας Rp0,2

Με βάση το report του MINITAB παρατηρούμε τα εξής:

- Η τιμή του δείκτη PPL είναι ικανοποιητική καθώς ισούται με 2.26, κάτι που σημαίνει ότι η διεργασία είναι καλή και επιπέδου 8,28σ.
- Από το σύνολο του πληθυσμού των προφίλ που γηράσκουν στις συγκεκριμένες συνθήκες του πειράματος δεν αναμένεται **στατιστικά** (ακόμα και αν μετατοπιστεί το μ κατά 1,5σ) να υπάρξουν προϊόντα που θα εμφανίσουν τάση διαρροή μικρότερη από τις προδιαγραφές.

Με βάση τα παραπάνω η ομάδα CI θα επικεντρωθεί στην ολοκλήρωση των διορθωτικών ενεργειών και θα επανέλθει με νέα εκτίμηση της επίδοσης διεργασίας σε μεγαλύτερη κλίμακα δεδομένων όπου θα λαμβάνεται ως δείγμα η παρτίδα του φούρνου και το δειγματικό μέγεθος θα είναι όλες οι εργαστηριακές δοκιμές εφελκυσμού (π.χ. Subgroup size 24 όσο και το πλήθος των πλαισίων).

πλαίσια της PLAN-DO-CHECK-ACT προσέγγισης η όλη διαδικασία θα συνεχίσει να είναι διαρκώς επαναλαμβανόμενη όπως επίσης δυναμικό θα είναι και το πλάνο συνεχούς βελτίωσης.

5.2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΕΛΑΣΗΣ

Στα πλαίσια βελτίωσης της παραγωγικότητας του εργοστασίου η ομάδα CI έχει την ευθύνη της διαδικασίας τήρησης των συνταγών παραγωγής. Οι «συνταγές» επί της ουσίας είναι οι βέλτιστες λειτουργικές παράμετροι της διεργασίας για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής παραγωγικότητας. Η προσπάθεια της ομάδας είναι να δημιουργήσει ένα σύστημα παρακολούθησης της απόδοσης λαμβάνοντας υπόψη την ιδιαιτερότητα και την πολυπλοκότητα της διεργασίας.

Έως τώρα η ETEM δεν χρησιμοποιεί την δείκτη OEE (overall effective efficiency) καθώς δεν είχαν δημιουργηθεί οι όροι να καταστρωθούν πρότυποι χρόνοι παραγωγής ανά προφίλ. Οι λόγοι είναι αντικειμενικοί λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας να οριστεί μονοσήμαντα πρότυπος χρόνος παραγωγής σε συνθήκες πολλών διαφορετικών απαιτήσεων ποιότητας, διαφορετικών κραμάτων, μεγάλης διαφοροποίησης σχεδιασμού των μητρώων αλλά και δυσκολίας ελέγχου των μεταβλητών θερμοκρασίας. Η «συνταγή» είναι μια προσπάθεια θεμελίωσης των δεικτών απόδοσης όχι όμως με τρόπο να τεθεί η προτυπη παραγωγικότητα αλλά για να οριστούν τα centerlines των παραμέτρων της διεργασίας που δίνουν ένα αποδεκτό παραγωγικό αποτέλεσμα. Αυτό σημαίνει ότι η διαδικασία παρακολούθησης είναι συνεχής και στοχεύει συνεχώς στο να διατηρεί τις συνθήκες επίτευξης του έως τώρα βελτιστού αποτελέσματος αλλά και στο να βρεθεί με πειραματισμό ένας ακόμα καλύτερος συνδυασμός παραμέτρων και πόρων που να βελτιώνει την παραγωγικότητα.

5.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΤD 2020 (ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ - ΜΑΙΟΣ).

Το 2020 είναι μια μεταβατική περίοδος για το εργοστάσιο της ETEM στην Μαγούλα καθώς ολοκληρώθηκε ήδη το πρώτο στάδιο μιας σειράς επενδύσεων με την εγκατάσταση 2^{ης} νέας πρέσας διέλασης. Επίσης η ETEM έλαβε την επιχειρηματική απόφαση να μεταφέρει την παραγωγή όλων των αρχιτεκτονικών προφίλ στην Ελλάδα και να μετατρέψει την παραγωγική μονάδα της Σόφιας αποκλειστικά μόνο για παραγωγή προφίλ αυτοκινητοβιομηχανίας και κατασκευή σχετικών εξαρτημάτων. Αυτή η απόφαση υπερδιπλασιάζει τον συνολικό όγκο παραγωγής (από 4500tn του οικονομικού έτους στην πρόβλεψη για 10000tn για το 2020).

Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης είναι να αναλύσει την παραγωγικότητα του εργοστασίου, να ανασκοπήσει τους κύριους λόγους για τους οποίους δεν επιτυγχάνονται οι ταχύτητες της συνταγής και να ανιχνεύσει τις ευκαιρίες βελτίωσης σε συγκεκριμένα προφίλ τα οποία λόγω του μίγματος παραγωγής επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα.

5.2.1 ΠΡΟΤΥΠΟΙ ΧΡΟΝΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.

Έως τώρα έχουν καθοριστεί οι ακόλουθοι πρότυποι ρυθμοί παραγωγής μόνο για τις ανάγκες του προγραμματισμού. Οι συγκεκριμένες προγραμματιστικές παραγωγικότητες έχουν δοθεί από την παραγωγή στο τμήμα προγραμματισμού τον πρώτο μήνα του οικονομικού έτους και στηρίζονται σε έναν συνδυασμό εμπειρικών, ιστορικών και τεχνικών στοιχείων. Η ουσία των συγκεκριμένων τιμών είναι η ρεαλιστική αποτύπωση του πραγματικού ρυθμού παραγωγής και όχι η στοχοθέτηση (οι τιμές στόχου είναι 1500kg/h για την πρέσα FAREL GREECE και 1000Kg/h για την πρέσα SMS GREECE).

Πίνακας 5.4: Πρότυποι ρυθμοί προγραμματισμού

Resource	Alloy	Rate Per Hour	UoM
SMS GREECE	6060	850.00	kg
SMS GREECE	6063	850.00	kg
FARREL GREECE	6082	1050.00	kg
FARREL GREECE	6060	1150.00	kg
FARREL GREECE	6063	1150.00	kg

Όπως φαίνεται από τον πίνακα ο προγραμματισμός παραγωγής γίνεται με βάση μόνο τις μεταβλητές {κράμα, πρέσα}.

5.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Όμως για την βελτίωση της παραγωγικότητας και την προτυποποίηση των παραμέτρων διεργασίας, όπως έχει προαναφερθεί, οι συνταγές παραγωγής είναι μοναδικές ανά συνδυασμό μεταβλητών {προφίλ, πολλαπλότητα μήτρας, κράμα}. Στις συνταγές η μεταβλητή πρέσα υπεισέρχεται ως περιορισμός καθώς κάθε προφίλ κατανέμεται από την αρχή σε μια πρέσα. Βέβαια υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης εναλλακτικής πρέσας με μήτρα διαφορετικής πολλαπλότητας (μεγαλύτερη η μικρότερη ανάλογα ποια είναι η ιεραρχικά πρώτη επιλογή

πρέσας). Για αυτό τον λόγο οι διαφορετικές πολλαπλότητες σε διαθέσιμες μήτρες ένας από τους λόγους είναι να μπορούν να παραχθούν σε διαφορετικές πρέσες διέλασης ανάλογα με την φόρτιση του πλάνου παραγωγής.

Η ανάλυση που ακολουθεί λαμβάνει υπόψη την καταγραφή των παραγωγικοτήτων του τρέχοντος έτους (Ιανουάριος – Μάιος 2020) ανά {**προφίλ, πολλαπλότητα μήτρας, κράμα, Id μήτρας**} (στήλη case). Η μεταβλητή Id μήτρας μπήκε στην ανάλυση για εξετάσει τυχόν αποκλίσεις παραγωγικότητας μεταξύ μητρών ίδιων χαρακτηριστικών αλλά διαφορετικού κατασκευαστή ή διαφορετικού βαθμού χρήσης. Σημειώνεται ότι μια μήτρα έχει συνήθως αντοχή εκτέλεσης παραγωγών εντός ανοχών προσεγγιστικά τους 30-75tn ανάλογα τον τύπο του προφίλ, την ορθή συντήρηση της και την τήρηση των κύκλων εναζώτοσης (επιφανειακή σκλήρυνση μήτρας) που πρέπει να εκτελούνται ανά συγκεκριμένα κιλά παραγωγής. Παρατίθενται αναλυτικά οι περιπτώσεις που αφορούν το 80% της συνολικής παραγωγής της πρέσας Farrel (2700tn, 9’’).

Πίνακας 5.5: Στοιχεία παραγωγικότητας ανά case.

Press	Case	Profile	Aloy	Avg Kg/Hr	Max Kg / Hr	QTY	Weigh %	Cum %	PROD HOURS	RUNNING HRS
Farrel	29760/13896/6/6063	29760	6063	1.549	1.850	52.160	5%	5%	28	34
Farrel	34824/13754/6/6063	34824	6063	1.657	1.804	38.937	4%	8%	22	23
Farrel	20323/13771/1/6063	20323	6063	1.925	2.431	35.691	3%	12%	15	19
Farrel	29760/10492/6/6063	29760	6063	1.603	1.804	31.513	3%	14%	17	20
Farrel	34838/13890/2/6060	34838	6060	1.640	1.859	25.895	2%	17%	14	16
Farrel	E-60207/13135/6/6060	E-60207	6060	1.299	1.725	25.819	2%	19%	15	20
Farrel	E-19202/13314/2/6060	E-19202	6060	1.519	1.579	24.614	2%	21%	16	16
Farrel	20261/13635/4/6063	20261	6063	1.298	1.473	23.056	2%	24%	16	18
Farrel	41212/13376/1/6060	41212	6060	1.324	1.530	22.889	2%	26%	15	17
Farrel	E-66260/5841/1/6060	E-66260	6060	1.056	1.093	22.472	2%	28%	21	21
Farrel	E-40101-1/13928/4/6060	E-40101-2	6060	1.444	1.618	19.892	2%	30%	12	14
Farrel	E-85104/10011/1/6060	E-85104	6060	1.650	2.083	18.799	2%	31%	9	11
Farrel	34824/13754/6/6060	34824	6060	1.643	1.752	18.153	2%	33%	10	11
Farrel	29559/10801/4/6063	29559	6063	1.055	1.143	16.918	2%	35%	15	16
Farrel	E-40101-1/13928/4/6060	E-40101-1	6060	1.800	1.932	16.205	1%	36%	8	9
Farrel	E-66250/13621/1/6060	E-66250	6060	1.403	1.656	15.952	1%	37%	10	11
Farrel	29936/12143/6/6063	29936	6063	1.511	1.701	15.607	1%	39%	9	10
Farrel	29559/13437/6/6063	29559	6063	1.390	1.540	15.453	1%	40%	10	11
Farrel	E-40271-1/12076/2/6060	E-40271-1	6060	1.313	1.372	13.003	1%	41%	9	10
Farrel	34836/13849/4/6060	34836	6060	1.504	1.852	12.910	1%	43%	7	9
Farrel	29047/10103/6/6063	29047	6063	1.352	1.642	12.555	1%	44%	8	9
Farrel	E-85106/6550/1/6060	E-85106	6060	1.579	1.756	10.737	1%	45%	6	7
Farrel	29760/12067/4/6063	29760	6063	1.073	1.160	10.003	1%	46%	9	9
Farrel	E-22214/13616/2/6060	E-22214	6060	1.624	1.741	9.798	1%	47%	6	6
Farrel	E-52202-1/12296/2/6060	E-52202-1	6060	1.234	1.503	9.621	1%	48%	6	8
Farrel	E-99100-1/9941/1/6060	E-99100-1	6060	1.697	1.957	9.601	1%	48%	5	6
Farrel	7496/13907/1/6063	7496	6063	1.899	1.991	9.578	1%	49%	5	5
Farrel	29559/12435/6/6063	29559	6063	1.295	1.435	9.210	1%	50%	6	7
Farrel	E-99100-2/12240/4/6060	E-99100-2	6060	1.595	2.063	9.057	1%	51%	4	6
Farrel	E-1115/13226/4/6060	E-1115	6060	1.647	1.692	8.947	1%	52%	5	5
Farrel	E-99101-1/7079/1/6060	E-99101-1	6060	1.561	1.691	8.734	1%	53%	5	6
Farrel	E-40101-1/10714/6/6060	E-40101-1	6060	1.781	1.903	8.204	1%	53%	4	5
Farrel	E-1101/161/2/6060	E-1101	6060	1.551	1.635	8.191	1%	54%	5	5
Farrel	29047/10235/6/6063	29047	6063	1.361	1.469	8.017	1%	55%	5	6
Farrel	E-99101-1/7078/1/6060	E-99101-1	6060	1.774	1.941	7.917	1%	56%	4	4
Farrel	E-85712/6690/4/6060	E-85712	6060	1.176	1.321	7.768	1%	56%	6	7
Farrel	E-1118/12597/2/6060	E-1118	6060	1.719	1.730	7.633	1%	57%	4	4
Farrel	E-85700/6672/4/6060	E-85700	6060	1.603	1.759	7.534	1%	58%	4	5
Farrel	29469/2703/2/6082	29469	6082	942	1.831	7.387	1%	58%	4	8
Farrel	E-1107/12539/2/6060	E-1107	6060	1.830	1.920	7.290	1%	59%	4	4
Farrel	E-40301-1/12200/4/6060	E-40301-1	6060	1.725	4.403	7.275	1%	60%	2	4
Farrel	E-19102/12085/1/6060	E-19102	6060	894	1.039	7.265	1%	60%	7	8
Farrel	E-85113/12849/1/6060	E-85113	6060	1.460	1.679	7.218	1%	61%	4	5
Farrel	20261/13336/4/6063	20261	6063	1.234	1.356	7.215	1%	62%	5	6
Farrel	29762/3070/4/6063	29762	6063	1.062	1.154	7.191	1%	62%	6	7
Farrel	E-1120/12877/1/6060	E-1120	6060	1.699	1.764	7.167	1%	63%	4	4
Farrel	E-1100/12878/2/6060	E-1100	6060	1.303	1.331	7.042	1%	64%	5	5
Farrel	29857/13681/1/6060	29857	6060	1.750	1.788	6.975	1%	64%	4	4
Farrel	21862/13556/1/6063	21862	6063	1.390	1.504	6.956	1%	65%	5	5
Farrel	E-85105/12845/1/6060	E-85105	6060	1.481	2.090	6.954	1%	65%	3	5
Farrel	E-85355/6623/1/6060	E-85355	6060	1.516	1.580	6.774	1%	66%	4	4
Farrel	29727/10140/6/6060	29727	6060	1.399	2.813	6.736	1%	67%	2	5
Farrel	E-1100/10751/4/6060	E-1100	6060	2.626	2.626	6.652	1%	67%	3	3
Farrel	E-1107/10665/2/6060	E-1107	6060	1.604	1.663	6.631	1%	68%	4	4
Farrel	E-85353/6615/1/6060	E-85353	6060	1.580	1.892	6.592	1%	69%	3	4
Farrel	E-85354/12846/1/6060	E-85354	6060	1.574	1.669	6.573	1%	69%	4	4
Farrel	E-19202/12803/2/6060	E-19202	6060	1.401	1.401	6.508	1%	70%	5	5
Farrel	29760/13921/6/6063	29760	6063	1.369	1.523	6.493	1%	70%	4	5
Farrel	E-40271-2/12675/4/6060	E-40271-2	6060	1.627	1.666	6.449	1%	71%	4	4
Farrel	E-85104/10012/1/6060	E-85104	6060	1.693	1.797	6.387	1%	72%	4	4
Farrel	29760/13897/6/6063	29760	6063	1.595	1.658	6.163	1%	72%	4	4
Farrel	E-1108/12764/2/6060	E-1108	6060	1.578	1.701	5.742	1%	73%	3	4
Farrel	E-1107/12795/2/6060	E-1107	6060	2.312	2.312	5.546	1%	73%	2	2
Farrel	E-60225/10297/6/6060	E-60225	6060	1.359	1.644	5.543	1%	74%	3	4
Farrel	E-99100-1/7075/1/6060	E-99100-1	6060	1.782	2.608	5.367	0%	74%	2	3
Farrel	20158/12678/1/6060	20158	6060	1.244	1.331	5.210	0%	75%	4	4
Farrel	29048/10976/6/6063	29048	6063	1.275	1.422	5.175	0%	75%	4	4
Farrel	E-85355/12621/1/6060	E-85355	6060	1.455	1.530	4.969	0%	76%	3	3
Farrel	E-1101/12879/2/6060	E-1101	6060	1.527	1.591	4.968	0%	76%	3	3
Farrel	41104/12440/1/6060	41104	6060	1.063	1.108	4.913	0%	76%	4	5
Farrel	E-85354/6619/1/6060	E-85354	6060	1.684	1.732	4.905	0%	77%	3	3
Farrel	E-85700/6673/4/6060	E-85700	6060	1.338	1.694	4.792	0%	77%	3	4
Farrel	E-40251-2/12392/4/6060	E-40251-2	6060	1.634	1.634	4.617	0%	78%	3	3
Farrel	E-85103/10009/1/6060	E-85103	6060	1.570	1.738	4.579	0%	78%	3	3
Farrel	29789/3100/4/6063	29789	6063	1.119	3.381	4.557	0%	79%	1	4
Farrel	4238/5200/1/6060	4238	6060	1.654	1.654	4.269	0%	79%	3	3
Farrel	E-1115/10670/4/6060	E-1115	6060	1.448	1.631	4.246	0%	79%	3	3
Farrel	29571/2880/1/6063	29571	6063	855	1.806	4.237	0%	80%	2	5

Οι παραπάνω 77 περιπτώσεις αντιστοιχούν σε 770τη παραγωγή. Επίσης αναγράφεται ανά case η μέση ταχύτητα παραγωγής αλλά και η βέλτιστη παραγωγικότητα που επιτεύχθηκε. Σε αυτό το σημείο της ανάλυσης αξίζει να σημειωθεί ότι η ομάδα CI επέλεξε να εξετάσει μόνο τις παραγωγές:

1. Με run μεγαλύτερα των 300kg
2. Cases με περισσότερα του ενός run
- 3.Run χαρακτηριζόμενα ως «OK».
4. Προφίλ που υπάρχει σε ισχύ συνταγή παραγωγής

Ο χαρακτηρισμός της παραγωγής δίνεται από τον χειριστή της πρέσας και εκφράζει την έκβαση της ποιότητας της παραγωγής. Η κωδικοποίηση έχει ως εξής:

- **OK:** Ομαλή έκβαση της παραγωγής και αποδεκτή ποιότητα της παραγόμενης ποσότητας.
- **A:** Συνολική απόρριψη της παραγόμενης ποσότητας λόγω ελαττωματικών.
- **EA:** Μερική απόρριψη της παραγόμενης ποσότητας λόγω διαλογής ελαττωματικών.
- **EK:** Ανάγκη καθαρισμού/ελέγχου της μήτρας – Διακοπή παραγωγής λόγω αύξησης ελαττωματικών.

Στην στήλη ‘Prod Hours’ αναφέρονται οι ώρες παραγωγής που θα είχαν αναλωθεί αν το case έτρεχε με το μέγιστο επιτεύξιμο run ενώ αντίθετα στην στήλη ‘running hrs’ αναγράφονται οι ώρες που πραγματικά αναλώθηκαν. Από την παραπάνω διαφορά προκύπτει ότι για το 100% των εξεταζόμενων περιπτώσεων (όχι μόνο όσων cases αναφέρονται στον πίνακα) προκύπτει ένα μέγιστο περιθώριο κοστολογικής βελτίωσης της τάξης των 62Keuro (με κόστος διέλασης 301 euro/machine-hour που είναι το κοστολογικό αποτέλεσμα του διαστήματος Ιανουαρίου - Μαρτίου 2020).

Πίνακας 5.6 Περιθώριο βελτίωσης στόχου επίτευξης παραγωγών στην μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητα.

TOTAL DIFFERENCE HRS (5 MONTHS)	NR OF EQUIV SHIFTS (5 MONTHS)	NR OF EQUIV SHIFTS (11,5 MONTHS)	TOTAL DIFFERENCE HRS (11,5 MONTHS)	TOTAL EXPECTED ANNUAL MACHINE COST REDUCTION
90	11	26	207	€62.307

Στην συνέχεια εξετάστηκαν οι συνταγές διέλασης για να διαπιστωθεί αν στα συγκεκριμένα cases υπήρχε υπέρβαση ή μη επίτευξη των καθιερωμένων ως τώρα συνταγών όσον αφορά την ταχύτητα διέλασης.

Πίνακας 5.7 Σύγκριση συνόλου περιπτώσεων σε σχέση με την τιμή συνταγής

Total	Std > Actual	Actual > Std	Std = actual
221	69	152	0
100%	31%	69%	0%

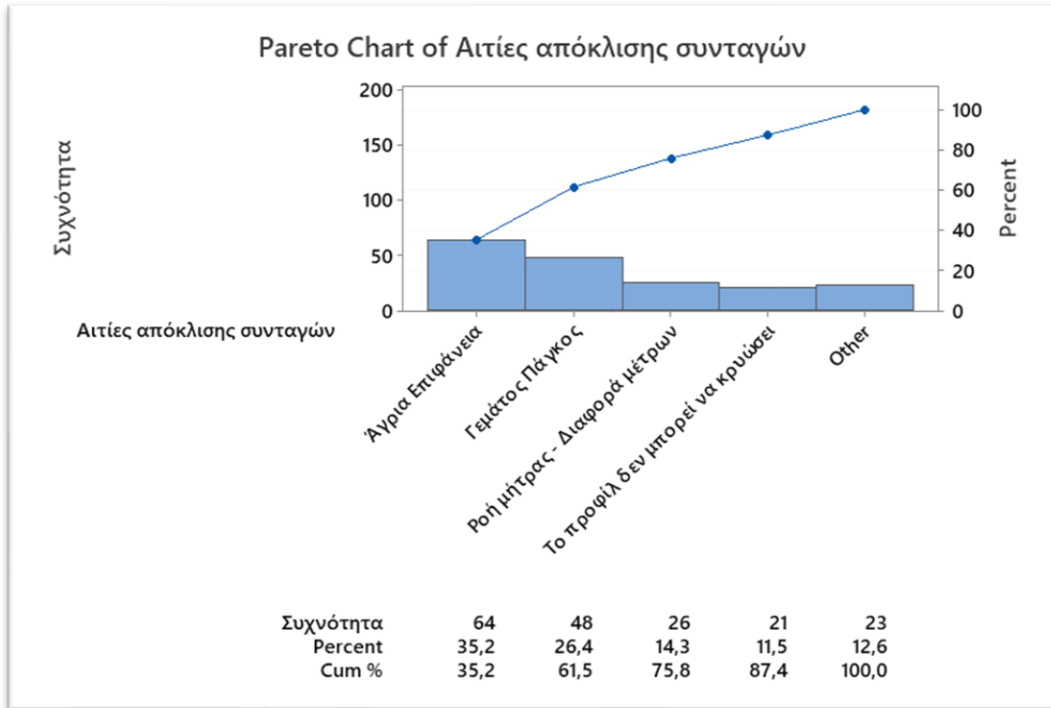
Από τον πίνακα 5.7 προκύπτει ότι στο 69% των περιπτώσεων επιτυγχάνεται η ταχύτητα της συνταγής. Αντίθετα στο 31% των περιπτώσεων υπάρχει απόκλιση η οποία δηλώνεται κατά την λήξη του run από τον χειριστή στο MES.

Οι γενικές αιτίες που αναφέρθηκαν στο σύνολο των παρτίδων που παράχθηκαν το πρώτο 5μηνο του έτους 2020 είναι οι εξής:

Πίνακας 5.8: Αιτιολογίες μη επίτευξης ταχύτητας διέλασης

Status	Batches	Recipe Speed	Extrusion Speed	Deviation
Υπέρβαση ταχύτητας συνταγής	640	12,61	18,43	46,1%
Άγρια Επιφάνεια	64	23,34	18,44	-21,0%
Μείωση ταχύτητας λόγω βλάβης σε μηχανή της γραμμής παραγωγής	8	24,38	19,88	-18,5%
Πάγκος ψύξης προφίλ γεμάτος	48	21,03	15,81	-24,8%
Ειδικές οδηγίες για χαμηλή ταχύτητα	7	22,44	16,33	-27,2%
Ελλειψη πλαισίων	1	18,00	16,00	-11,1%
Ταχύτητα Διέλασης MES λανθασμένη	2	24,50	20,00	-18,4%
Περιορισμός Capacity φούρνου προθέρμανσης	4	24,00	20,00	-16,7%
Ροή μήτρας – Διαφορά μέτρων	26	23,74	18,76	-20,9%
Σχίσσιμο	1	22,00	19,00	-13,6%
Το προφίλ δεν μπορεί να κρυώσει	21	17,73	13,58	-23,4%
Total	767	14,36	18,18	

Έπειτα μέσω Pareto εντοπίστηκαν οι σημαντικότερες αιτίες μη επίτευξης της ταχύτητας των συνταγών με την προσέγγιση του 80%-20%.



Εικόνα 5.21: Διάγραμμα Pareto

Μετά από την ανάλυση Pareto η ομάδα CI εστίαστηκε στην έρεση της «ρίζας» των αιτιών που δημιουργούν τις συγκεκριμένες αποκλίσεις. Οι αιτιολογήσεις των χειριστών είναι πολύ γενικές και δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως βασικές αιτίες του προβλήματος αλλά μόνο ως αποτελέσματα που δημιουργούν την απόκλιση στην παραγωγικότητα. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα πρώτα συμπεράσματα και το πλάνο δράσης το επόμενο διαστήματος:

Πίνακας 5.9: Αιτιολογίες μη επίτευξης ταχύτητας διέλασης και πλάνο δράσης

Reason	Status	KG Net	ROOT CAUSE	ACTIONS
Άγρια Επιφάνεια	Actual < Recipe	113.256	-Υψηλή θερμοκρασία εξόδου προφίλ. -Ποιότητα κράματος	- Επανεκτίμηση των υπόλοιπων παραμέτρων της συνταγής / αγορά δύσκολων μητρών από κατασκευαστές που διεξάγουν μελέτες προσομοίωσης. - Παραγωγή προφίλ με κράμα κατάλληλο σε σχέση με τις απαιτήσεις επιφανείας / Ανασκόπηση απαιτήσεων επιφανείας
Πάγκος ψύξης προφίλ γεμάτος	Actual < Recipe	54.490	- Γίνεται Bottleneck η ψύξη των προφίλ πριν την τάνυση ή ίδια η συλλογή των κομμένων προφίλ στα πλαίσια (ένταση χειρωνακτικής εργασίας). - Μικρά μήκη κοπής	- Σε παραγωγές μικρών μηκών η μεγάλης πολλαπλότητας μητρών θα βοηθάει 3 ^ο άτομο στο πριόνι - pick and place stacker θα τοποθετηθεί σύντομα (improvement plant εργοστασίου).
Ροή μήτρας – Διαφορά μέτρων	Actual < Recipe	39.919	- Θερμοκρασιακή ισορροπία διέλασης	- Προληπτική συντήρηση/εφαρμογή εβδομαδιαίου ελέγχου ευθυγράμμισης εμβόλου, μητροθήκης. - Αποφυγή μητρών με πολλαπλότητα >6 (κατανομή προφίλ σε κατάλληλες πρέσες). - Επανεκτίμηση των υπόλοιπων παραμέτρων της συνταγής
Το προφίλ δεν μπορεί να κρυώσει	Actual < Recipe	42.816	- Μη επαρκής ψύξη / εντονότερο φαινόμενο το καλοκαίρι και σε προφίλ με μεγάλο w/m. - Πάυση ψύξης σε λεπτότοιχα προφίλ μεγάλου πλάτους λόγω κυματισμού	- Εγκατάσταση επιπλέον ανεμιστήρων στο τραπέζι ψύξης. - Βελτίωση ψύξης στον πάγκο εξόδου με επιπλέον πύργο ψύξης. - Δοκιμές με ψύξη με ψεκασμό (επαναλειτουργία εκνεφωτών)

Το συγκεκριμένο πλάνο δράσης αναφέρεται στην γενική κατεύθυνση των διορθωτικών δράσεων που πρέπει να ληφθούν. Για την επίτευξη του στόχου αύξησης της προϋποθέτει καθημερινή παρακολούθηση των αποκλίσεων και εξειδικευμένο πλάνο για κάθε μήτρα και προφίλ ξεχωριστά.

Τέλος για όλες τις διελάσεις οι οποίες ήταν πάνω από την ταχύτητα συνταγής θα ακολουθηθεί προσέγγιση αναθεώρησης των συνταγών μετά από τρεις καλές παραγωγές. Φυσικά ο όλος κύκλος της βελτίωσης θα είναι συνεχόμενος στον βαθμό που μια εταιρία διέλασης συνεχώς αναπτύσσει νέα προφίλ και νέοι βιομηχανική πελάτες εισάγουν καινούρια σχέδια στην παραγωγική διαδικασία.

5.3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΣΚΡΑΠ ΔΙΕΛΑΣΗΣ

Από τον Απρίλιο του 2020 ξεκίνησε η πιλοτική καταγραφή και η αιτιολόγηση του ποιοτικού scrap διέλασης. Την ευθύνη της τελικής καταγραφής την έχουν οι χειριστές του πριονιού (καταγραφή αιτιών σε συνεννόηση με τον QC βάρδιας) που κάνουν την τελική διαλογή πριν την φόρτωση στο πλαίσιο. Έως προσφάτως το scrap στην διέλαση καταγραφόταν μόνο ισοζυγιακά και δεν υπήρχε στα αρχεία της εταιρίας καταγραφή αιτιών. Συνεπώς επαναλαμβανόμενα προβλήματα επανεμφανίζονταν χωρίς να υπάρχουν μέτρα διόρθωσης. Το 1^ο στάδιο που γίνονταν καταγραφή του scrap ανά αιτία ήταν στο στάδιο της συσκευασίας. Αυτή όμως η πρακτική δημιουργούσε πολλαπλά προβλήματα:

1. Ο ποιοτικός έλεγχος διέλασης δεν κατέγραφε τις αιτίες scrap στην πηγή του προβλήματος, συνεπώς ελαττωματικά που κατέληγαν στην συσκευασία δεν ήταν γνωστό ποια ήταν η βασική αιτία του προβλήματος.
2. Δεν λαμβάνονταν εγκαίρως διορθωτικές ενέργειες.
3. Ο έλεγχος ποιότητας ατονούσε έχοντας την «ασφάλεια» του ελέγχου της συσκευασίας. Κάτι τέτοιο όμως κοστολογικά είναι επιβαρυντικό καθώς μετά τον φούρνο γήρανσης ήδη έχουν προστεθεί στο ελαττωματικό προϊόν κόστη μεταποίησης.

Η καταγραφή γίνεται μέσω του MES και τα ελαττωματικά τεμάχια (γίνεται αναγωγή σε κιλά βάσει του w/m του προφίλ) αιτιολογούνται με βάσει τις παρακάτω αιτίες.

Πίνακας 5.10: Αιτιολογίες σκραπ διέλασης

101	Ροπή μηχανών
102	Γεωμετρία εκτός ανοχής
103	Χτυπήματα
104	Φυσολίδες
105	Γρατζουνιές
106	Σπασμένη μίτρα
107	Σύσφιξη
108	Τάξη
109	Πέτακο
110	Κόμματα
111	Νερό
112	Γραμμή διέλασης
113	Ομίχλη
114	Πλεονάζουσα ποσότητα
115	Rickups
116	Ελλείψεις ποσότητα
117	Χωρίς ψύξη νερού
118	Πρώτη μηχανή
119	Παραμόρφ. Πριονιού
120	Λάθος μέκος

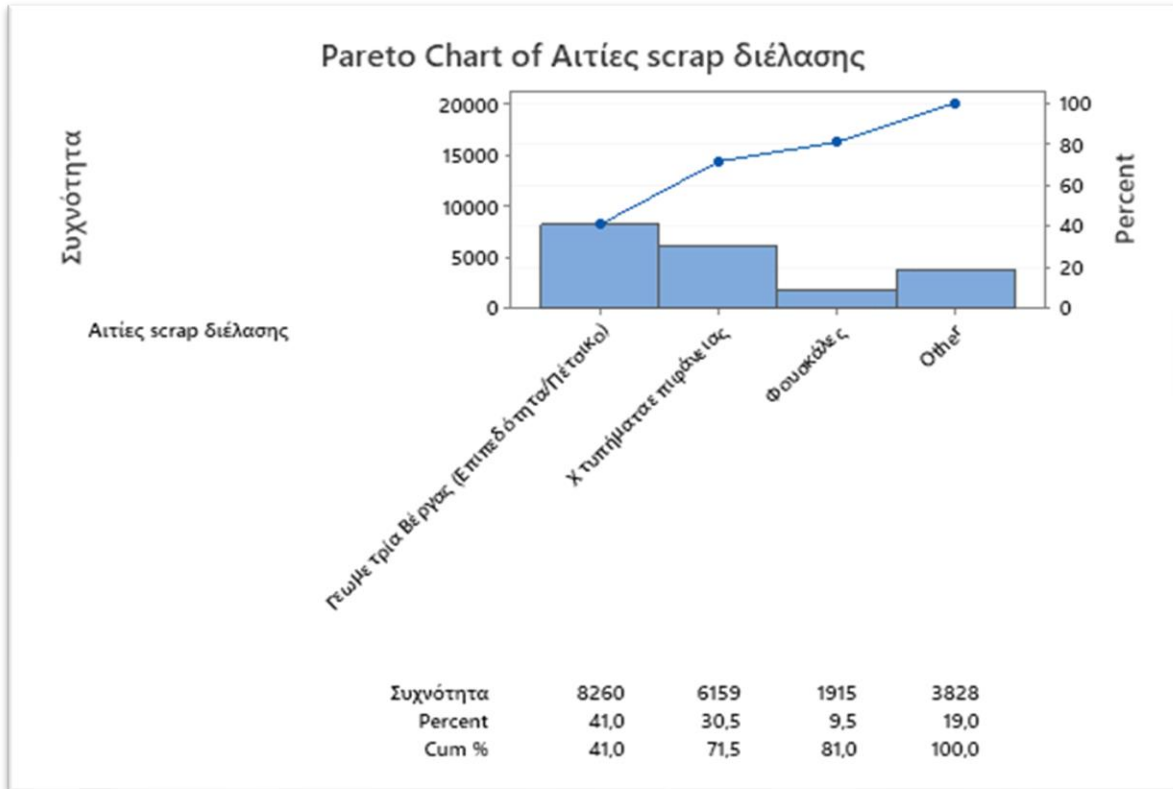
Από τα στοιχεία που ανακτήθηκαν το διάστημα Απριλίου – Μαΐου 2020 (Πίνακας 8.9) παρατηρούνται τα εξής:

- Υπάρχει ένα 14% των συνολικών κιλών που δεν αιτιολογείται.
- Κάποιες από τις αιτίες δεν έχουν καταγραφές (π.χ. Οι διαστάσεις εκτός ανοχών).

Πίνακας 5.11: Σκραπ διέλασης διαστήματος Απριλίου - Μαΐου 2020

Reasons of Scrap in Kg	April	May	Total	%
Χωρίς αιτιολόγηση (ισοζυγιακό υπόλοιπο)	1.384	1.879	3.263	14%
Δείγματα ποιοτικού ελέγχου	45	53	98	0%
Ευθύτητα	419	0	419	2%
Ενώσεις μιγνιετών	561	796	1.357	6%
Φουσκάλες	1.433	482	1.915	8%
Χτυπήματα επιφάνειας	4.740	1.419	6.159	26%
Διαστάσεις εκτός ανοχών προτύπου	0	0	0	0%
Νεύρα	87	0	87	0%
Οξειδία του πυριτίου	6	0	6	0%
Γδαρσίματα	394	41	435	2%
Μικρότερο μήκος κοπής από παραγγελία	33	0	33	0%
Αρπαγμα / Σκίσιμο	70	108	178	1%
Γεωμετρία Βέργας (Επιπεδότητα/Πέτσικο)	3.693	4.567	8.260	35%
Κυματισμοί	911	304	1.215	5%
Grand Total	13.776	9.649	23.425	100%

Και από το διάγραμμα Pareto (χωρίς τις ποσότητες των μη αιτιολογήσεων) που ακολουθεί, εάν αφαιρεθούν οι μη αιτιολογημένες ποσότητες, παρατηρείται ότι τα κύρια θέματα που πρέπει να απασχολήσουν το τμήμα ποιότητας αλλά και το τμήμα παραγωγής του εργοστασίου είναι τα γεωμετρικά ελαττώματα, τα χτυπήματα επιφάνειας και οι φουσκάλες.



Εικόνα 5.22: Διάγραμμα Pareto για αιτίες σκραπ διέλασης

Μετά από την ανάλυση Pareto η ομάδα CI εστιάστηκε στην εύρεση της «ρίζας» των αιτιών που επιφέρουν τις συγκεκριμένες ποσότητες μη κατάλληλου υλικού. Από την ανάλυση των ευρημάτων εντοπίστηκαν πολλά λάθη στην καταχώριση δεδομένων από τους χειριστές του πριονιού (χρειάζονται επανεκπαίδευση για την υποστήριξη της διαδικασίας), γεγονός το οποίο εμποδίζει μια πολύ καλή ανάλυση των κύριων αιτιών. Η βασική αιτία αυτών των λαθών είναι ότι οι χειριστές και δεν είναι καλά εκπαιδευμένοι για να εντοπίσουν τον σωστό λόγο. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα πρώτα συμπεράσματα και το πλάνο δράσης το επόμενου διαστήματος για τις κύριες αιτίες σκραπ αλλά και για τις μη καταγεγραμμένες αιτιολογίες:

Πίνακας 5.12: Αιτιολογίες Σκραπ διέλασης διαστήματος Απριλίου - Μαΐου 2020 και πλάνο δράσης

#	Press	Declared Reason	Total Kg Scrappe d	% of Scrap	Root Cause	Proposed Actions	Expected % of Scrap Reduction	Responsible	Target Date
1	FARREL GREECE	Μη αιτιολογημένη αιτία	3.263	14%	-Ελλειψη Εκπαίδευσης χειριστών σε ανίχνευση αιτιών -Το MES αφήνει επιλογή να μην κλείνει το ισοζύγιο με 100%αιτιολογησεις	-Πλάνο εκπαίδευση πάνω στο εγχειρίδιο ποιότητας και σε πρότυπες εικόνες αναγνώρισης των ελαττωμάτων -Υποχρεωτική συστημική καταχώρηση αιτίας scrap για ολοκλήρωση της επιβεβαίωσης. - Μετονομασία αιτιών για καλύτερη κατανόηση		QA/IT/Prod	7/2020
2	FARREL GREECE	Γεωμετρία Βέργας (Επιπεδότητα/Πέτσι κο)	8.260	35% (41%)	- Stretching: Σε πολλά προφίλ δεν υπάρχουν «συνταγές» και βοηθητικά εργαλεία. - Cooling: Γεωμετρικές αλλοιώσεις λόγω μη προσαρμοσμένης ψύξης του προφίλ (συστολές λόγω θερμότερων και ψυχρότερων ζωνών) - DIE/PRESS: Τάσεις ροής μήτρας	- Υλοποίηση επενδυτικού σχεδίου για αντικατάσταση των αρπαγών του stretcher (τύπου δοντιών). Δημιουργία συνταγών και ειδικών βοηθημάτων τάνυσης. - Αναθεώρηση συνθηκών ψύξης - Προληπτικός έλεγχος ευθυγράμμισης πρέσας / αλλαγή σχεδιασμού ή διόρθωση μητρών με συνεχή ελαττωματικά	FROM 35% TO 20%	Prod.	9/2020
3	FARREL GREECE	Χτυπήματα επιφάνειας	6.159	26% (30,5%)	-Φθαρμένα ράουλα υψηλής θερμοκρασίας στην έξοδο της πρέσας (επενδύσεις). -Φθαρμένοι ιμάντες πάγκου ψύξης	-Αντικατάσταση επενδύσεων ράουλων υψηλής και μέσης θερμοκρασίας. - Πλάνο προληπτικής συντήρησης	FROM 26% TO 11%	Maintenance	8/2020
4	FARREL GREECE	Φουσκάλες	1.915	8% (9,5%)	Εγκλωβισμός αέρα στο προφίλ. Πιθανές αιτίες: -Κύκλος εξαερισμού πρέσας. -Επιφάνεια κοπής ψαλιδιού μιγιετών -Επιφάνεια κοπής μαχαιριού στηψιδιού. -Εγκλωβισμός υγρού λιπαντικού	-Προληπτικός έλεγχος ψαλιδιού μιγιετών και μαχαιριού στηψιδιού (επιφάνειες κοπής) - Αύξηση μήκους στηψιδιού ως πρώτη διόρθωση εν ώρα παραγωγής. - Έγκααιρος οπτικός έλεγχος για άμεση απόκριση (καθήκοντα τανυστή – πριν πάει στο πριόνι μεγάλη ελαττωματική ποσότητα)	FROM 8% TO 5%	Prod./Maint.	7/2020

Όπως και στην περίπτωση των αποκλίσεων της ταχύτητας διέλασης έτσι και στο scrap αναδεικνύεται ως βασική διορθωτική ενέργεια η κατάστρωση ενός πλάνου προληπτικών ελέγχων και συντήρησης. Η ομάδα CI θα συμβάλει το επόμενο διάστημα σε συνεργασία με την τεχνική διεύθυνση στην οργάνωση των διαδικασιών προληπτικών ελέγχων μέσω του PM Module του SAP και με την χρήση του εργαλείου CIL.

Επίσης τα αναλυτικά δεδομένα του ποιοτικού scrap το επόμενο διάστημα θα ανασκοπείται στην εβδομαδιαία συνάντησης της ομάδας CI θέτοντας στόχους ανά κράμα και κατηγορία προϊόντος. Θα πραγματοποιηθεί ανάλυση pareto σε βάθος (2^{ου} επιπέδου σε ομαδοποιημένα αποτελέσματα) για τον έλεγχο των πιο σημαντικών λόγων απόρριψης και την λήψη αντίστοιχων διορθωτικών ενεργειών.

5.4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΘΥΣΤΕΡΥΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΠΡΕΣΑ ΔΙΕΛΑΣΗΣ)

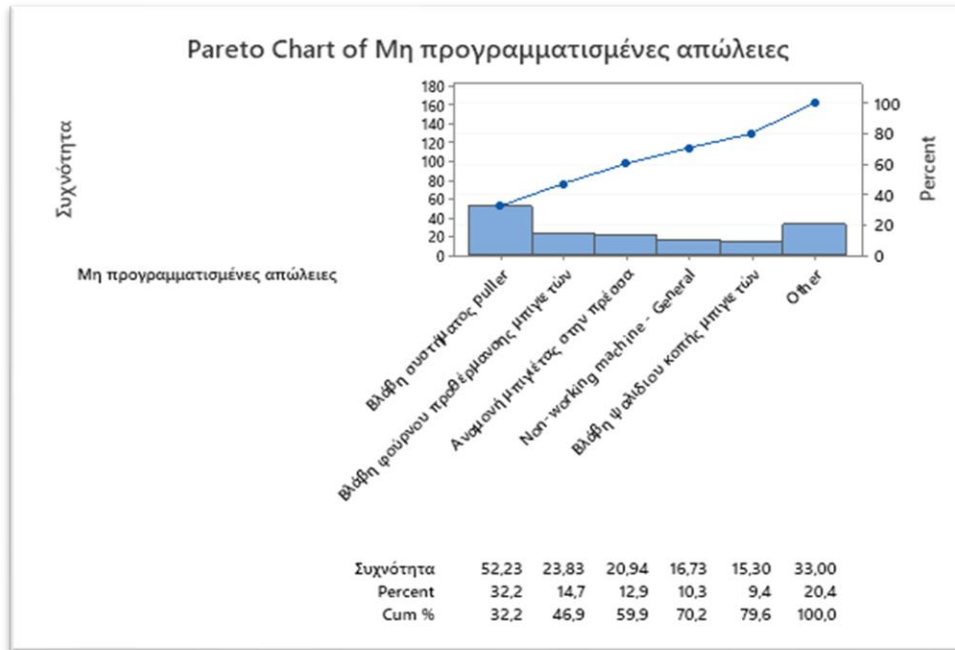
Το MES, όπως προαναφέρθηκε παρέχει την δυνατότητα καταγραφής όλων των μη παραγωγικών χρόνων του εργοστασίου. Οι συγκεκριμένοι χρόνοι πρέπει να αιτιολογούνται με μια γενική και μια ειδική κατηγοριοποίηση. Αποτελεί βασικό παραγωγικό δείκτη του εργοστασίου η διαθεσιμότητα των μηχανών παραγωγής καθώς εκφράζει το κατά πόσο πραγματοποιείται η ορθότερη εκμετάλλευση των παραγωγικών πόρων.

Στην γενική κατηγοριοποίηση οι καθυστερήσεις (ή καλύτερα ορισμένες ως **απώλειες δυναμικότητας**) διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες.

- **Απώλειες προγραμματισμού.** Ένα εργοστάσιο μπορεί να μην δουλεύει στην ονομαστική του δυναμικότητα λόγω μη χρησιμοποίησης του εξοπλισμού σε όλες τις διαθέσιμες βάρδιες. Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω στρατηγικής (περισσότερες μηχανές διαθέσιμες για αποφυγή εργασίας στην νυχτερινή βάρδια) ή λόγω μεγέθους κύκλου εργασιών. Επίσης ως απώλειες υποχρεωτικές είναι τα σταματήματα παραγωγής λόγω υποχρεωτικών αργιών και διακοπών.
- **Απώλειες Ρυθμού Παραγωγής.** Αφορά, στην περίπτωση της διέλασης, το γεγονός ότι όλα τα προϊόντα δεν παράγονται με τον ίδιο ρυθμό. Επίσης μεταβάλλονται οι πρότυποι παραγωγικοί χρόνοι σε σχέση με το μείγμα παραγωγής αλλά και με όλες τις μεταβλητές που έχουν ήδη αναλυθεί εκτενώς στα προηγούμενα κεφάλαια και επηρεάζουν τις ταχύτητες διέλασης.
- **Προγραμματισμένες απώλειες.** Είναι σταματήματα που αφορούν την ρυθμίσεις των μηχανών από προϊόν σε προϊόν, την προγραμματισμένη συντήρηση, το start up και το shut down της γραμμής παραγωγής, τον χρόνο προληπτικών ελέγχων, τα κάθε είδους προγραμματισμένα σταματήματα αλλά και όλες τις δοκιμές βιομηχανοποίησης νέων προϊόντων. Ο χαρακτηρισμός «προγραμματισμένες» αφορά το γεγονός ότι έχει καθοριστεί ένα ακριβές χρονοδιάγραμμα διακοπής για κάποιον από τους προαναφερόμενους λόγους. Το σημαντικό είναι η τήρηση του συγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος και όχι η αλόγιστη υπέρβασή του.
- **Μη προγραμματισμένες απώλειες.** Αφορά τις βλάβες του εξοπλισμού που σταματάνε ή θέτουν την παραγωγή σε μειωμένο ρυθμό. Επίσης αφορούν σταματήματα που προκαλούνται από αστοχίες της οργάνωσης της εργασίας (πχ λάθη προγραμματισμού, λάθη χειρισμού, έλλειψη Α' υλών κ.α.). Τέλος συμπεριλαμβάνονται και σταματήματα που προκαλούνται από εξωγενείς παράγοντες (π.χ. ΔΕΗ, πλημμύρες, σεισμοί κτλ).

Φυσικά ο χειριστής έχει μια οθόνη καταχωρήσεων όπου μπορεί να επιλέξει τις ακριβείς αιτίες σταματήματος οι οποίες αντιστοιχούν σε κάποια συγκεκριμένη από τις παραπάνω τέσσερις κατηγοριοποιήσεις.

Από τις τέσσερις βασικές κατηγορίες η ομάδα CI εστιάζεται, σε πρώτη φάση, στην ανάλυση των αιτιών που προκαλούν τις μη προγραμματισμένες απώλειες. Στο επόμενο διάγραμμα Pareto παρουσιάζονται οι συχνότερες αιτίες σε διάρκεια που προέκυψαν από την ανάλυση των 5 πρώτων μηνών του έτους 2020 (αφορούν το 79,6% των καθυστερήσεων). Ήταν οι πρώτοι 5 μήνες εφαρμογής του συστήματος.



Εικόνα 5.23: Διάγραμμα Pareto για αιτίες μη προγραμματισμένων σταματημάτων

Η βασική αιτία σταματημάτων (32,2%) είναι το σύστημα των εξωλκέων (puller system). Αυτό από μόνο του δεν λέει τίποτα διότι υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους μπορεί να προκύψει κάποια βλάβη όπως:

- Μηχανική αιτία
- Ηλεκτρολογική αιτία
- Αυτοματισμός συστήματος
- Λάθος χειρισμός

Για αυτό τον λόγο σε κάθε σταμάτημα το MES πλέον, μετά από απαίτηση της ομάδας CI, ζητάει υποχρεωτικά μια σύντομη περιγραφή του προβλήματος. Έπειτα αν αφορά βλάβη τότε δημιουργείται ένα αίτημα για ανατροφοδότηση από τον μηχανικό συντήρησης ο οποίος πρέπει να βάλει την δική του αιτιολόγηση και να περιγράψει τις ενέργειες που έκανε για την επίλυσή της.

Εικόνα 5.24: Παρουσίαση οθόνης επιβεβαίωσης με πλαίσιο συμπληρωσης κειμένου συνοπτικής (η αναλυτικής) περιγραφής

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αιτία «αναμονή μπιγιέτας στην πρέσα». Η συγκεκριμένη καταγραφή δηλώνεται από τον χειριστή κάθε φορά που μετά το τέλος ενός κύκλου διέλασης δεν έχει διαθέσιμη μπιγιέτα στην είσοδο του container. Η συγκεκριμένη αιτιολόγηση μπορεί να έχει πολλές αιτίες. Η συζήτηση που έγινε στα πλαίσια της συνεχούς βελτίωσης ανέδειξε ότι αυτό μπορεί να οφείλεται στα παρακάτω:

1. **Κολώνες κράματος στραβές** (εκτός ανοχών ευθύτητας) που δυσκολεύουν την κίνησή τους στα ράουλα του φούρνου προθέρμανσης και στην είσοδο του ψαλιδιού κοπής.
2. **Μη διαθέσιμο capacity φούρνου**, όταν οι ανάγκες για προθέρμανση υπερβαίνουν τις ανάγκες των 2,2tn/hour προθερμασμένου κράματος.

Το βασικό action που έλαβε η ομάδα CI ήταν να προχωρήσει σε βαθύτερη ανάλυση των αιτιών μέσω της ανάλυση των βασικών καθυστερήσεων που προκύπτουν από το διάγραμμα Pareto με χρήση του διαγράμματος αιτίου αποτελέσματος και ανασκοπώντας όλες τις καταγεγραμμένες παρατηρήσεις των χειριστών και των τεχνικών. Για αυτό τον λόγο και λόγω ελλειμματικής πληροφορίας το αναλυτικό action plan δεν διαμορφώθηκε από τα αρχικά πιλοτικά στοιχεία του 1^{ου} 5μήνου.

6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ – ΝΕΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ήδη η ETEM στην παρούσα φάση καινοτομεί και επενδύει σε πληροφοριακά συστήματα που υποστηρίζουν και βελτιώνουν την παραγωγική διαδικασία. Σημαντική παράμετρος επιτυχίας των συγκεκριμένων συστημάτων είναι η διαλειτουργικότητα με το κύριο ERP σύστημα της εταιρίας, το φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον αλλά και η κάλυψη των αναλυτικών αναγκών που είναι αναγκαίων για την εξαγωγή γνώσης. Από την πληθώρα των δεδομένων που προσφέρονται μέσω των εισερχομένων είτε από τους χειριστές είτε από το PLC των μηχανών, το επόμενο βήμα είναι η χρήσεις εφαρμογών μηχανικής μάθησης για την βελτιστοποίηση των συστημάτων.

Για τις ανάγκες της συνεχούς βελτίωσης η εταιρία εξετάζει την υιοθέτηση κάποιων από τις παρακάτω λύσεις:

6.1 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ, ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΔΙΕΛΑΣΗ

Η προτεινόμενη λύση αφορά στην παραγωγική λειτουργία της πλατφόρμας Immersive Framework έκδοση 1.5, με στόχο τον έλεγχο ποιότητας στη διέλαση προφίλ αλουμινίου. Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα Internet of Things (IoT) η οποία ενσωματώνει:

- καινοτόμους αλγορίθμους
- τεχνολογίες οπτικής υπολογιστικής (computer vision)
- τεχνολογίες μηχανικής μάθησης (machine learning).

Η πλατφόρμα Immersive Framework έχει αναπτυχθεί εξ' ολοκλήρου από την εταιρία D-Cube και διαθέτει σημαντικές εγκαταστάσεις σε επιχειρήσεις και φορείς στην Ελλάδα, την Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ελβετία.

Στα πλαίσια του έργου προβλέπεται η παροχή εφάπαξ υπηρεσιών με στόχο την προσαρμογή της υφιστάμενης λειτουργικότητας της πλατφόρμας Immersive Framework στο περιβάλλον παραγωγής της ETEM Α.Ε. Το Σύστημα Διεπαφής Ειδοποιήσεων θα παραμετροποιηθεί με στόχο την εμφάνιση στοχευμένων ειδοποιήσεων στους χειριστές της πρέσας. Για παράδειγμα, προβολή ειδοποίησης όταν εμφανίζονται φουσκάλες σε 4 συνεχόμενες μπιγιέτες ή όταν εντοπίζονται συνεχόμενα χτυπήματα στην αρχή συνεχόμενων μπιγιετών ή εμφάνιση συνδυασμού σφαλμάτων σε συνεχόμενες μπιγιέτες, κ.ο.κ. Το σύστημα θα παρέχει την ανάλυση και τον μετασχηματισμό των δεδομένων που συλλέγει το σύστημα, με στόχο την προβολή στατιστικών αναφορών.

Πρόκειται για το σύστημα το οποίο έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί εντός του εργοστασίου και εκτελεί τις ακόλουθες ενέργειες:

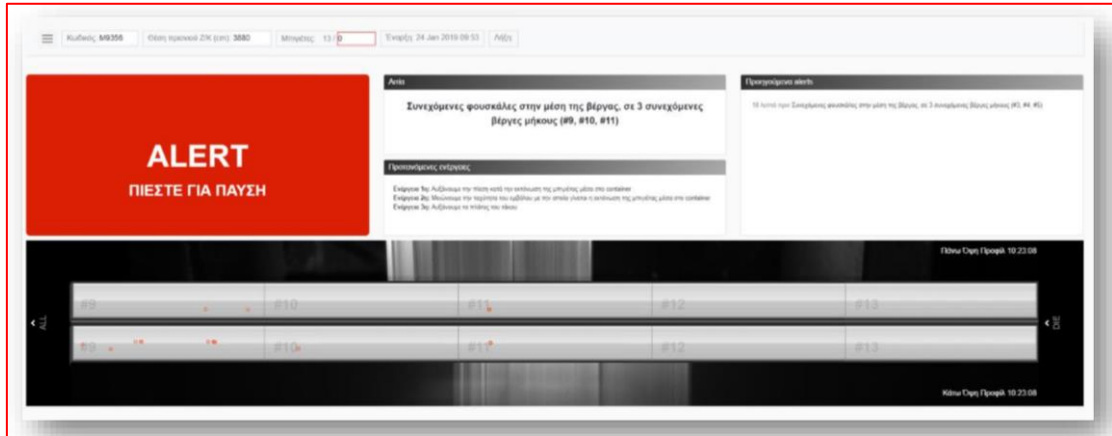
- Λήψη και συγχρονισμός στιγμιότυπων των προφίλ της διέλασης.
- Εντοπισμός και αναγνώριση των ενώσεων και των επιμέρους σφαλμάτων, σε πραγματικό χρόνο, με τη χρήση ενός δικτύου βαθιάς μάθησης (Deep Learning Network).
- Το κατάλληλα εκπαιδευμένο δίκτυο βαθιάς μάθησης εντοπίζει τις ενώσεις διέλασης και τα σφάλματα σε πραγματικό χρόνο και καταγράφει τα ευρήματα σε τοπική βάση δεδομένων.
- Τα σφάλματα που υποστηρίζονται είναι Φουσκάλες, Χτυπήματα, Ψευδοενώσεις, Οξείδια, Γρατζουνιές, Ξυσίματα και Γραμμές Διέλασης.
- Συγχρονισμός δεδομένων παραγωγής στο Σύστημα Παρακολούθησης Παραγωγής σε Πραγματικό Χρόνο (Immersive Framework Server).
- Επίδειξη των σφαλμάτων που εντοπίστηκαν σε πραγματικό χρόνο μέσα από εξειδικευμένο Περιβάλλον Διεπαφής για τους διελαστές. Εμφάνιση ειδοποιήσεων σε πραγματικό χρόνο σύμφωνα με τις επιχειρησιακές ανάγκες του εργοστασίου, για την έγκυρη τροποποίηση παραμέτρων της πρέσας από τον διελαστή.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος είναι:

- Διατήρηση των στοιχείων παραγωγής ενός ή περισσότερων κόμβων διέλασης
- Γραφική παρουσίαση της διέλασης ανά μήτρα με εμφάνιση των ενώσεων και των διακριτών σφαλμάτων
- Δυνατότητα διαβάθμισης πρόσβασης (παραγωγή, διοίκηση κτλ.)
- Δυνατότητα προεπιλογής εμφάνισης συγκεκριμένων τύπων σφαλμάτων
- Προβολή διορθωτικών ενεργειών χειριστών πρέσας
- Δυνατότητα διασύνδεσης με ERP

Δυνατότητα αναζήτησης και ανάκτησης μητρών με πολλαπλά κριτήρια

Τέλος παρέχεται η δυνατότητα διασύνδεσης με συστήματα Business Intelligence για την διάθεση στατιστικών υποβοήθησης λήψης αποφάσεων.



Εικόνα 6.1: Περιβάλλον Ειδοποιήσεων για Χειριστές Πρέσας – Επαναλαμβανόμενη Εμφάνιση Φουσκάλων

Η ΕΤΕΜ Α.Ε. εξετάζει την παρούσα λύση να την συμπεριλάβει στο επενδυτικό πλάνο ανάπτυξης του 2021 για την βελτίωση του συστήματος ελέγχου ποιότητας. Ένα αρνητικό της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι ότι δεν συμπεριλαμβάνει τεχνικές ελέγχου γεωμετρικών και διαστασιολογικών αποκλίσεων.

6.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΛΥΣΗ – ΜΗΧΑΝΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΦΙΛ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Το προτεινόμενο λογισμικό αναπτύχθηκε από την εταιρία COMPES (με το εμπορικό όνομα SENDRA) για τις βιομηχανίες διέλασης αλουμινίου. Επιτρέπει την αναζήτηση μίας οποιαδήποτε ζητούμενης γεωμετρίας εντός της ιστορικής βάσης δεδομένων της εταιρείας και μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα επεξεργάζεται τα αποτελέσματα και παρουσιάζει τα παρόμοια γεωμετρικά προφίλ μαζί με τις ιδιότητές τους και τα σχετικά αρχεία τους.

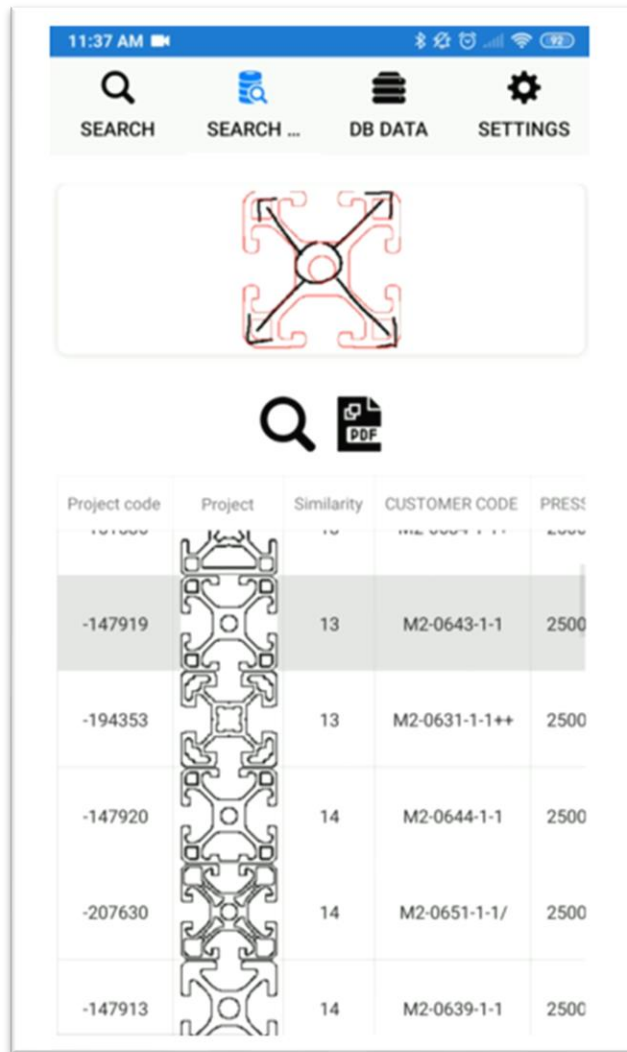
Για παράδειγμα:

- τον κωδικό του προφίλ,
- την πρέσα διέλασης βάσει καταγραφών στο MES (παρέχει διαλειτουργικότητα)
- το σχέδιο του προφίλ και της μήτρας
- τις συνταγές διέλασης,
- τα δεδομένα παραγωγής.

Το λογισμικό ενσωματώνει όλα τα εργαλεία για τη βελτιστοποίηση της εικόνας για την όσο το δυνατόν πιο ακριβή αναζήτηση και επιτρέπει την αναζήτηση από:

- Απλή κάμερα υπολογιστή ή κινητού (πχ φωτογράφιση μιας κάτοψης)
- Οποιοδήποτε τύπο αρχείου (DXF, DWG, PDF etc..)

- Απλό σκαρίφημα που μπορεί να φτιάξει ένας πωλητής η ένας επίδοξος πελάτης.



Εικόνα 6.2: Αναζήτηση παρόμοιων προφίλ σε βάση δεδομένων μέσω απλού σκαριφήματος.

Το λογισμικό παρέχει στον χρήστη διάφορες λειτουργίες με σκοπό την αποτελεσματική αναζήτηση και λήψη των επιθυμητών αποτελεσμάτων (όπως φίλτρα αναζήτησης, Images editor, πολλαπλές βάσεις δεδομένων, ειδικό αλγόριθμο για ταχεία αναζήτηση κ.α).

Το συγκεκριμένο λογισμικό θα βοηθήσει την ομάδα CI του εργοστασίου στην αναζήτηση δεδομένων παραγωγής για την μελέτη της εφικτότητας (feasibility study) για τα προφίλ τα οποία είναι προς βιομηχανοποίηση. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να βελτιστοποιηθούν τα σχέδια των μητρών και των νέων προφίλ με στόχο να εξαλειφθούν προβλήματα που εντοπιστήκαν από τα ιστορικά δεδομένα των παρόμοιων προφίλ. Επίσης το εργαλείο θα χρησιμοποιηθεί και από το τμήμα έρευνας και ανάπτυξης στα πλαίσια της ανάπτυξης νέων προϊόντων για την κάλυψη των αναγκών των πελατών.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα διπλωματική παρουσιάστηκε η πιλοτική προσέγγιση των τεχνικών και της κουλτούρας της συνεχούς βελτίωσης από την ETEM ΑΕ στον τομέα της διέλασης του αλουμινίου. Η παραγωγική δραστηριότητα στο εργοστάσιο της Μαγούλας ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2017 μετά από 4 χρόνια αδράνειας και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα κατάφερε να παράγει με ανταγωνιστικό και κοστολογικά ισορροπημένο αποτέλεσμα.

Η διοίκηση έλαβε την απόφαση να δώσει έμφαση στην συνεχή βελτίωση αρχικά μέσω της ανανέωσης του στελεχιακού δυναμικού, εν συνεχεία μέσω της ανάπτυξης λογισμικού διαχείρισης των παραγωγικών πόρων και σε τρίτη φάση με την συγκρότηση της ομάδας CI. Η ομάδα CI πλέον αποτελεί το κύριο όργανο βελτίωσης και αποτελεί το παράδειγμα που πρεσβεύει η διοίκηση για την διαμόρφωση ενός νέου τρόπου σκέψης στους εργαζόμενους όλων των τμημάτων. Επιδιώξή είναι ακόμη και οι εργαζόμενοι στα γραφεία η στις υποστηρικτικές υπηρεσίες της εταιρίας να συνεργάζονται ενεργά για την επίτευξη βελτιώσεων στον τρόπο εργασίας τους.

Οι αλλαγές που έχουν επιτευχθεί αποτυπώνονται και στα επίσημα παραγωγικά αποτελέσματα καθώς η παραγωγικότητα του εργοστασίου από τα 997kg/h που έκλεισε το οικονομικό έτος 2018 έφτασε στα 1204kg/h το οικονομικό έτος 2019 και ήδη το πρώτο πεντάμηνο του 2020 έχει κλείσει στα 1304kg/h (επιτυγχάνοντας το τελευταίο 2μηνο του πρώτου 5μήνου αποτέλεσμα πάνω από 1400kg/h). Αντίστοιχη πορεία έχουν και οι δείκτες επιστροφών (scrap rate) αλλά και το συνολικό κόστος διέλασης (€/tn).

Το επόμενο διάστημα κρίνεται κρίσιμο για την εμπέδωση και την διατήρηση των αλλαγών που έχουν συμβεί στον τρόπο οργάνωσης της παραγωγής αλλά και στην εξάπλωση αυτών των νέων μεθόδων και στα υπόλοιπα παραγωγικά τμήματα του εργοστασίου (συσκευασία, θερμομόνωση, βαφείο, κατεργασίες). Οι ανάγκες ανάπτυξης του στελεχιακού δυναμικού στις τεχνικές στατιστικού ελέγχου διεργασίας, μεθοδολογίας 6-sigma και Lean Manufacturing γίνονται επιτακτικές.

Σε ένα απαιτητικό παραγωγικό περιβάλλον όπως η διέλαση αλουμινίου όπου πολλές μεταβλητές καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα είναι σημαντική η συστηματική παρακολούθηση των διεργασιών και η κατάστρωση ενός συνεχιζόμενου πλάνου βελτίωσης στα πρότυπα της μεθοδολογίας του PDCA.

Γενικότερα οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούν διάφορα μεθοδολογικά εργαλεία για να ανταπεξέλθουν στον ανταγωνισμό του σύγχρονου μεταβαλλόμενου οικονομικού περιβάλλοντος. Η συνεχής βελτίωση είναι ίσως η πιο κατάλληλη στρατηγική, και ενδεχομένως η πιο απαιτητική, διότι απαιτεί κουλτούρα αλλαγών καθώς και υπερβάσεις νοοτροπίας σε επαγγελματικό και οργανωσιακό επίπεδο.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] James R. Evans, William M. Lindsay, *Managing for Quality and Performance Excellence (8th edition)*, South-Western Cengage Learning, 2011
- [2] Joseph M. Juran, A. Blanton Godfrey, *Juran's Quality Handbook (5th edition)*, McGraw-Hill, 1999
- [3] Pradip K. Saha, *Aluminum Extrusion Technology*, ASM International, 2000
- [4] M. Bauser, G. Sauer, K. Siegert, D. Smolarek, editors, *Extrusion (2nd edition)*, ASM International, 2006
- [5] Aluminum Extruders Council (A.E.C), *Aluminum Extrusion Manual (3rd edition)*, 2002
- [6] Robert E. Sanders, *Thermal Treatments During Processing of Aluminum Extrusion Alloys*, AEC Webinar Presentation, 2014
- [7] Jerome Fourmann, *Extrusion Defects Fundamentals and Solutions for Optimum Finish*, Rio Tinto, 2017
- [8] O. Reiso, *Extrusion of AlMgSi Alloys*, Materials Forum Volume 28, Published 2004
- [9] R.Gitter, *Design of Aluminium structures: Selection of Structural Alloys*, Paper presented at the workshop in Brussels: EUROCODES - Background and Applications-February 2008
- [10] Minitab 19, πηγές πληροφόρησης από την εντολή *Help*
- [11] European Standard EN 755-2, *Aluminum and Aluminum alloys – Extruded Rod/Bar, tube, and profiles – Part 2: Mechanical Properties*, C.E.N., Μάρτιος 2008
- [12] Infinitas S.A., *Extrusion Technology and Processing: Quenching, 2008*
- [13] ETEM, *Industrial Aluminum Profiles (Catalog 2020)*, (https://www.etem.gr/files//DOWNLOADS/2_Industrial_catalogue_EN_995.pdf)
- [14] Ελληνικό Πρότυπο ISO 9001/2015, *Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας - Απαιτήσεις*, ΕΛ.Ο.Τ., 2015
- [15] Στέλιος Στεφανάτος, *Προγραμματισμός για την Ποιότητα: Ολική Ποιότητα*, έκδοση Ε.Α.Π., Πάτρα 2000
- [16] Γεώργιος Γεωργακάκος, *Προηγμένα Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας: Στατιστικός έλεγχος διεργασίας*, έκδοση Ε.Α.Π., Πάτρα 2002
- [17] Ιωάννης Κουτρουβέλης, *Προηγμένα Εργαλεία και Μέθοδοι για τον Έλεγχο της Ποιότητας: Σχεδιασμός και ανάλυση Πειραμάτων*, έκδοση Ε.Α.Π., Πάτρα 2002
- [18] Νίκος Μπλέσιος, *Διοίκηση Ολικής Ποιότητας*, Σημειώσεις Μαθήματος, 2016
- [19] Εγχειρίδιο Ποιότητας ETEM A.E., 2019

