



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



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ  
ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ  
ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας, Αναπληρωτής Καθηγητής στη Σχολή Ηλεκτρολόγων  
Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ

(ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2022)

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας με θέμα «Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού», θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρυσόστομο (Χάρη) Δούκα, Αναπληρωτή Καθηγητή στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ για το αμείωτο ενδιαφέρον του. Στάθηκε δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας αφιερώνοντας ακόμη και προσωπικό χρόνο για την επίτευξη του στόχου μου. Σε εποχές που η δια ζώσης επικοινωνία καθίσταται δύσκολη, μου μετέδωσε ανεμπόδιστα τις γνώσεις του αλλά και την πάντα θετική του ενέργεια και ηρεμία.

Τέλος δεν θα μπορούσα να παραλείψω τους ανθρώπους της Αλουμίνιον της Ελλάδος του ΤΕΔ Μεταλλουργίας της Μυτιληναίος Α.Ε, καθώς και την ίδια την εταιρεία Μυτιληναίος Α.Ε., και ιδιαίτερα τον Ι. Φαφούτη και Π. Καραμπογιά, που παρά το φόρτο εργασίας τους, συνεργαστήκαμε καθημερινά προσπαθώντας για το καλύτερο αποτέλεσμα.

## Περιεχόμενα

1	Τι είναι το Lean six Sigma .....	7
1.2	Ορισμός της μεθοδολογίας six sigma.....	8
1.3	Διαχωρισμός διοίκησης ολικής ποιότητας, πρωτοβουλιών βελτίωσης της ποιότητας και της μεθόδου έξι σίγμα.....	10
1.4	Η ιστορία της μεθοδολογίας six sigma .....	11
1.5	Τα οφέλη της μεθοδολογίας στην επιχείρηση .....	12
2	DMAIC.....	13
2.1	Ο ορισμός του DMAIC .....	13
2.2	Define –Προσδιορισμός .....	14
2.3	Measure – Μέτρηση .....	15
2.4	Analyze – Ανάλυση:.....	16
2.5	Improve - Βελτίωση: .....	17
2.6	Control – έλεγχος: .....	18
3	Περιγραφή της Μεθόδου Bayer- Αλουμίνιον της Ελλάδος .....	19
3.1	Ιστορία της Μεθόδου Bayer .....	19
3.1	Αλουμίνιον της Ελλάδος .....	20
3.1.1	Γενικά.....	20
3.1.2	Ιστορία.....	20
3.2	Διάγραμμα Ροής .....	23
3.3	Θραύση/Άλεση βωξίτη.....	24
3.3.1	Σκοπός .....	24
3.3.2	Περιγραφή .....	25
3.4	Προσβολή – Εκχύλιση.....	25
3.4.1	Σκοπός .....	25
3.4.2	Περιγραφή .....	25
3.5	Αραίωση .....	26
3.5.1	Σκοπός .....	26
3.5.2	Περιγραφή .....	26
3.6	Καθίζηση .....	26
3.6.1	Σκοπός .....	26
3.6.2	Περιγραφή .....	26
3.7	Πλύση.....	27

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

3.7.1	Σκοπός.....	27
3.7.2	Περιγραφή.....	27
3.8	Διάσπαση.....	28
3.8.1	Σκοπός.....	28
3.8.2	Περιγραφή.....	28
3.9	Διήθηση- Ταξινόμηση.....	29
3.9.1	Σκοπός.....	29
3.9.2	Περιγραφή.....	29
3.10	Πύρωση.....	30
3.10.1	Σκοπός.....	30
3.10.2	Περιγραφή.....	30
3.11	Εξάτμιση.....	32
3.11.1	Σκοπός.....	32
3.11.2	Περιγραφή.....	32
3.11.3	E.W.....	33
3.11.4	KESTNER.....	34
4.	Αντλίες Τροφοδοσίας.....	35
4.1	Αντλίες Μembrάνης.....	35
4.1.1	Λειτουργία.....	36
4.1.2	Αναρρόφηση.....	36
4.2	Αντλίες Geho.....	40
5.	Αντλητική Διαθεσιμότητα.....	42
6.	Συντήρηση – Βλάβες.....	44
7.	Ανάλυση ιστορικού Συντήρησης – Βλαβών.....	45
8.	Ενέργειες – Προτάσεις Βελτίωσης.....	54
9.	Αποτελέσματα Ενεργειών Βελτίωσης.....	66
12.	Διαγράμματα.....	70
13.	Εικόνες.....	71
14.	Πίνακες.....	72

### Εισαγωγή

Εστιάζοντας περισσότερο στο θέμα μας θα μιλήσουμε για την ανάλυση των στοιχείων εξοπλισμού – αντλιών τροφοδοσία αιωρήματος βωξίτη στο τμήμα της Προσβολής – Εκχύλισης για θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση με τη χρήση ατμού, ώστε να διαλυτοποιηθεί το μέγιστο δυνατό ποσοστό αλουμίνας που εμπεριέχεται στο βωξίτη. Ο εξοπλισμός είναι εξαιρετικά κρίσιμος και ο δείκτης διαθεσιμότητάς τους αποτελεί έναν από τους βασικούς δείκτες του εργοστασίου αλουμίνας. Η μη διαθεσιμότητά τους οδηγεί σε απώλεια παραγωγής.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι μέσω της χρήσης της μεθοδολογίας Lean six Sigma – DMAIC και ανάλυσης των δεδομένων να βρεθεί ο βέλτιστος χρόνος λειτουργίας και ο βέλτιστος χρόνος προγραμματισμένης συντήρησης των αντλιών για τη μέγιστη διαθεσιμότητά τους.

### Λέξεις Κλειδιά

Ανάλυση δεδομένων, μείωση βλαβών, Lean six sigma, DMAIC, αντλίες

### Περίληψη

Ο βωξίτης αποτελεί σήμερα την οικονομικότερη και επικρατέστερη πηγή για παραγωγή αλουμίνας και αλουμινίου. Εξορύσσεται υπόγεια ή επιφανειακά ενώ ανάλογα με την κρυσταλλική μορφή που απαντάται το αργίλιο, κατηγοριοποιείται σε Γυψιτικό, Βαιμιτικό, Διασπορικό. Η κύρια μέθοδος εξαγωγής της αλουμίνας είναι η μέθοδος Bayer, της οποίας η εφεύρεση αποδίδεται στον Carl Josef Bayer, 1987. Αυτή τη μέθοδο αξιοποιεί και η ΑτΕ.

Η μέθοδος Bayer συνίσταται στην υποβολή του βωξίτη σε μια σειρά συνδυασμένων υδρομεταλλουργικών και άλλων διεργασιών και ακολουθεί μια κυκλική πορεία. Ξεκινώντας από το 1ο στάδιο της θραύσης, άλεσης και στη συνέχεια την εκχύλιση - προσβολή του βωξίτη, όπου προκαλείται εκλεκτική διάλυση του ένυδρου οξειδίου του αργιλίου (αλουμίνα) σε αντιδραστήρες με υψηλή πίεση και θερμοκρασία (150-254°C), σχηματίζοντας υπέρκορο διάλυμα αργιλικού νατρίου. Τα υπόλοιπα συστατικά του βωξίτη παραμένουν αδιάλυτα ή σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις υπό μορφή κόκκινης ιλύος. Στο 2ο στάδιο, ο αραιός αυτός πολφός που δημιουργείται στην εκχύλιση προχωράει στο στάδιο της καθίζησης, όπου διαχωρίζεται το υπέρκορο διάλυμα από την κόκκινη λάσπη

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

και το πρώτο οδηγείται στις δεξαμενές διάσπασης. Η ποσότητα της ερυθράς ιλύος χωρίζεται σε δύο μέρη και αποστέλλεται σε δύο σειρές εγκαταστάσεων πλύσης (πλυντήρια) που αποτελούνται από 5 πλυντήρια η κάθε μια. Σε αυτές γίνεται πλύση κατά αντιρροή της ιλύος με βιομηχανικό νερό, το οποίο σε κάθε επόμενο πλυντήριο εμπλουτίζεται σε σόδα και ανακυκλώνεται στο στάδιο της αραίωσης που αναφέρθηκε αρχικά.

Στη διάσπαση, η διαλελυμένη αλουμίνα που περιέχεται στο αργλικό νάτριο, με προσθήκη μεγάλης ποσότητας ένυδρης στερεής αλουμίνας (διεγέρτης), ισχυρή ανάδευση και χρόνο παραμονής περίπου 35 ώρες, υδρολύεται δημιουργώντας κρυστάλλους ένυδρης αλουμίνας. Μετά τη διάσπαση, το αιώρημα της ένυδρης αλουμίνας και του υγρού διαλύματος διηθείται σε περιστρεφόμενα δισκόφιλτρα, όπου με την επίδραση κενού το υγρό διαπερνά τους πόρους του φίλτρου και κατευθύνεται στις δεξαμενές διηθήματος και, μέσω των εναλλακτών, καταλήγει στην εξάτμιση. Στις εγκαταστάσεις της εξάτμισης επιτυγχάνεται η συμπύκνωση του αραιού διαλύματος καυστικής σόδας με αφαίρεση ποσότητας νερού για την επαναχρησιμοποίηση του στην προσβολή. Μία μεγάλη ποσότητα αλουμίνας μετά τη διήθηση ανακυκλώνεται, ενώ η υπόλοιπη που αποτελεί την "παραγωγή" πλένεται και μετατρέπεται, με διαπύρωση σε φούρνους, σε ψημένη αλουμίνα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή αλουμινίου.

## 1 Τι είναι το Lean six Sigma

Το Lean Six Sigma μια μεθοδολογία/φιλοσοφία, που ξεκίνησε να εφαρμόζεται από το 1980 και οδηγεί αποτελεσματικά στη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας έχοντας αποδεδειγμένη επιτυχία σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων. Συνδυάζει αριστοτεχνικά δύο από τις πλέον χρησιμοποιούμενες έννοιες παγκοσμίως, αυτή της Λιτής Παραγωγής (Lean Manufacturing) και του Six Sigma (6σ), που αναπτύχθηκαν αρχικά από την TOYOTA και τη Motorola αντίστοιχα. Το Lean Six Sigma είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος επίτευξης επιχειρηματικών επιδόσεων στην ιστορία της εταιρικής ανάπτυξης, σύμφωνα με πολλούς αναλυτές επιχειρήσεων και εμπειρογνώμονες της βελτίωσης ποιότητας!

Είναι ένα σύστημα επιχειρηματικής βελτιστοποίησης και εταιρικής διοίκησης που έχει εφαρμογή σε όλους τους επιχειρηματικούς κλάδους, σε οποιαδήποτε μεγέθους επιχείρηση και σε οποιοδήποτε τμήμα.

Η μεθοδολογία Six Sigma (6σ) είναι ένας δομημένος τρόπος προσέγγισης για τη μείωση των ελαττωματικών προϊόντων και υπηρεσιών, τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και τη μείωση του κόστους. Χρησιμοποιεί μια σειρά από δοκιμασμένα και μοντέρνα εργαλεία από το χώρο του TQM (Total Quality Management), της Στατιστικής και του Lean Management.

Η μεθοδολογία έξι σίγμα είναι μία αυστηρή και υψηλά πειθαρχημένη μέθοδος που υιοθετείται από επιχειρήσεις προκειμένου να εστιάσουν μέσω αυτής στην ανάπτυξη και παραγωγή σχεδόν τέλειων προϊόντων και υπηρεσιών έχοντας ως στόχο την ικανοποίηση των πελατών και συνεπώς την ποιότητα και τις ωφέλειές της. Ενώ είχε αποδειχθεί υψηλής σημασίας στον παραγωγικό τομέα, το δυναμικό της δεν είχε γίνει πλήρως αντιληπτό έως ότου εφαρμόστηκε στο πλήθος των λειτουργιών στην ολότητα της επιχείρησης.

Ο Mikel Harry (Harry M., Schroeder R., 2000)[1], προσδιορίζει την μέθοδο σαν μια επιχειρηματική διαδικασία που επιτρέπει στις εταιρείες να βελτιώσουν δραστηρίως τα αποτελέσματα που φθάνουν ως την βάση τους, σχεδιάζοντας και ελέγχοντας τις καθημερινές δραστηριότητες με τρόπους που μειώνουν την σπατάλη και τους πόρους και αυξάνουν την ικανοποίηση των πελατών. Οι Pande et al., όπως παρατίθενται στους Tang et al., (Tang et al., 2006)[2] αποκαλούν την μέθοδο ένα κατανοητό και ευέλικτο σύστημα για την επίτευξη, διατήρηση και μεγιστοποίηση της επιχειρηματικής επιτυχίας, το οποίο καθοδηγείται μοναδικά από τη στενή κατανόηση των αναγκών των πελατών, την πειθαρχημένη χρήση δεδομένων και την στατιστική τους ανάλυση σε συνδυασμό με επιμελή προσοχή στην διοίκηση, βελτιώνοντας και επανασχεδιάζοντας τις επιχειρηματικές διαδικασίες. Αντίθετα με ό,τι πιστεύεται, ο στόχος των έξι σίγμα δεν είναι μόνο η επίτευξη επιπέδου ποιότητας 6σ (δηλαδή 3,4 ελαττώματα στο εκατομμύριο ευκαιριών). Πρόκειται για την βελτίωση του κέρδους, ενώ η βελτιωμένη ποιότητα και ικανότητα είναι τα άμεσα αποτελέσματα.

Τι σημαίνει όμως ο όρος έξι σίγμα; Τί εννοούμε με την παραγωγή 3,4 μόνο ελαττωμάτων σε ένα εκατομμύριο ευκαιρίες; Και ποια η διαφορά, στην πράξη, μεταξύ των τριών και των έξι σίγμα; Η απάντηση είναι ότι όσο υψηλότερο το επίπεδο των σίγμα, τόσο λιγότερο μία διαδικασία θα παράγει ελαττώματα (ή ελαττωματικά προϊόντα). Κάθε επίπεδο σίγμα δημιουργεί μία εκθετική μείωση των ελαττωμάτων. Συνεπώς, καθώς τα σίγμα αυξάνουν, η αξιοπιστία του προϊόντος αυξάνεται με έναν δυσανάλογο ρυθμό. Ως αποτέλεσμα, η ανάγκη για έλεγχο και επιτήρηση ελαττώνεται, μειώνονται τα κόστη, ελαττώνεται ο χρονοκύκλος και η ικανοποίηση των πελατών

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

αυξάνεται. Θα μπορούσε ίσως να ειπωθεί ότι η μέθοδος των έξι σίγμα είναι όσο τέλεια μπορεί στην σημερινή δεδομένη πραγματικότητα.

Σε μία αρχική περιληπτική περιγραφή του πώς λειτουργεί η εν λόγω μέθοδος, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι το πρώτο βήμα είναι να απαντηθεί ένα νέο σχήμα ερωτήσεων, ερωτήσεις που θέτουν την λειτουργία της επιχείρησης εκτός της «ζώνης ασφαλείας της», που την εξαναγκάζουν να αμφισβητήσει ό,τι θεωρεί ως δεδομένο και που τελικά την οδηγούν σε μία νέα κατεύθυνση. Η μέθοδος των έξι σίγμα αποστρωματώνει την γραφειοκρατία και οι υπάλληλοι που βρίσκονται κοντύτερα στην πραγματική εργασία και στους πελάτες αποκτούν κίνητρα για να ικανοποιήσουν ή και να υπερβούν τις απαιτήσεις των πελατών. Η μέθοδος αφορά την χρήση ερωτήσεων που δίνουν ποσοτικοποιημένες απαντήσεις που αλλάζουν την νοοτροπία. Έτσι, οι επιχειρήσεις αμφισβητούν κάθε διαδικασία, κάθε αριθμό και κάθε βήμα προς την δημιουργία ενός τελικού προϊόντος. Οι ερωτήσεις αυτές όμως δεν είναι αυθύπαρκτες αλλά λειτουργούν μέσα στο πλαίσιο της μεθόδου προκειμένου να οδηγήσουν ομαλά στην εύρεση των κατάλληλων απαντήσεων για την κάθε επιχείρηση. Καθώς η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε μία επιχείρηση δημιουργείται μία εσωτερική δομή που περιλαμβάνει στελέχη, μάνατζερς, μηχανικούς και προσωπικό στις διαδικασίες και στις υπηρεσίες.

Όπως όμως μπορεί να γίνει κατανοητό, είναι γεγονός ότι αν μία επιχείρηση επιθυμεί να βελτιώσει κάτι τότε χρειάζεται να μετρήσει αυτό το οποίο χρίζει αλλαγής. Οι μετρήσεις είναι σχετικές με κάθε εργαζόμενο και κάθε δραστηριότητα. Κανείς δεν μπορεί να αλλάξει ό,τι δεν μπορεί να μετρήσει και αυτό επειδή για να προχωρήσει κάποιος σε κάποια αλλαγή θα πρέπει πρώτα να γνωρίζει το πού βρίσκεται. Τα θεμέλια της μεθόδου βρίσκονται στο ό,τι υπολογίζει με μετρήσεις την επιτυχία σε ό,τι μια εταιρεία επιχειρεί. Γενικά επομένως, η μέθοδος των έξι σίγμα είναι μία διαδικασία ερωτήσεων που οδηγεί σε μετρήσιμες και ποσοτικοποιημένες απαντήσεις που οδηγούν σε επικερδή αποτελέσματα.

### 1.2 Ορισμός της μεθοδολογίας six sigma

Η παγκοσμιοποίηση και η άμεση πρόσβαση στην πληροφόρηση, στα προϊόντα και στις υπηρεσίες συνεχίζουν να αλλάζουν τον τρόπο που οι πελάτες επιχειρούν. Το σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον δεν αφήνει περιθώρια για λάθη. Οι πελάτες πρέπει να ικανοποιούνται και επίμονα να αναζητούνται νέοι τρόποι για να υπερβάλλονται οι προσδοκίες τους. Έτσι η μεθοδολογία των έξι σίγμα έχει γίνει απαραίτητο στοιχείο της κουλτούρας κάθε εταιρείας.

Τα έξι σίγμα αποτελούν μια διαδικασία υψηλής πειθαρχίας που συμβάλλει στην ανάπτυξη και απόδοση σχεδόν τέλειων διαδικασιών και προϊόντων. Ο όρος είναι στατιστικός και μετρά πόσο μία δεδομένη διαδικασία παρεκκλίνει από την τελειότητα. Η κεντρική ιδέα των έξι σίγμα είναι ότι αν είναι εφικτή η μέτρηση των ελαττωμάτων σε μία διαδικασία, τότε είναι εφικτός ο σχεδόν μηδενισμός τους. Για να επιτευχθεί η ποιότητα των 6σ, μία διαδικασία δεν πρέπει να παράγει πάνω από 3.4 ελαττωματικά ανά εκατομμύριο ευκαιριών. Ως ευκαιρία ορίζουμε το να μην ικανοποιούνται οι συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Σύμφωνα με τους Pande, Neuman και Cavanagh, όπως παρατίθενται στο εκπαιδευτικό υλικό για την μεθοδολογία έξι σίγμα της Xerox, (Xerox lean 6σ material, session 1 lesson 5 out 17, 2004) [3] ως έξι σίγμα ορίζεται « Ένα περιεκτικό και ευέλικτο σύστημα για την επίτευξη, διατήρηση και μεγιστοποίηση της



## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

επιχειρηματικής επιτυχίας. Η μέθοδος έχει ως κινητήριο μοχλό την κατανόηση των αναγκών των πελατών, την πειθαρχημένη χρήση δεδομένων και στατιστικών αναλύσεων. Καθώς επίσης καθοδηγείται από την επιμελή προσοχή στην διαχείριση, την βελτίωση και αναδιοργάνωση των επιχειρηματικών διαδικασιών.» Ας σημειωθεί ότι ο στόχος είναι η επιχειρηματική επιτυχία, η οποία μπορεί να προσδιορισθεί με διάφορους όρους όπως μείωση κόστους, αύξηση μεριδίου αγοράς, βελτιωμένη ικανοποίηση πελατών, ταχύτερη πρόσβαση στην αγορά, αύξηση εσόδων. Όμως όλα αυτά τα αποτελέσματα έχουν τα εξής κοινά χαρακτηριστικά : είναι αντικειμενικά, σαφή και έχουν αποτελέσματα έως την βάση της εταιρείας. Δεύτερον, ας δοθεί προσοχή στο ότι ο παραπάνω ορισμός έχει θεμελιωθεί στην ικανοποίηση των αναγκών των πελατών. Η διαδικασία των έξι σίγμα ξεκινά εκτός του οργανισμού με εστίαση στον πελάτη. Τέλος, ο παραπάνω ορισμός απαιτεί την χρήση δεδομένων, μετρήσεων και αναλύσεων δεδομένων προκειμένου να βελτιώνονται συνεχώς διαδικασίες. Απαιτείται οργανωμένη κοινή λογική βασισμένη σε δεδομένα και αποτελέσματα.

Η μέτρηση της επιτυχίας στην επίτευξη αποτελεσμάτων χωρίς ελαττώματα είναι το «επίπεδο σ». «Σίγμα» ή  $\sigma$ , είναι για την ακρίβεια ελληνικός όρος, γράμμα, που αναπαριστά την μεταβλητότητα, που καλείται τυπική απόκλιση. Το «επίπεδο σ» και το  $\sigma$  δεν είναι ταυτόσημες έννοιες, και αυτό ενδεχομένως να προκαλεί σύγχυση. Το «επίπεδο σ» αναφέρεται στον αριθμό των  $\sigma$ , ή επεξεργάζεται τις τυπικές αποκλίσεις μεταξύ του μέσου και της κοντινότερης προδιαγραφής για μία εκροή διαδικασίας.

Το «επίπεδο σ» υπολογίζεται στα πρώτα στάδια ενός έξι σίγμα έργου, στην φάση Measure (Μέτρηση) της ροής Define (Προσδιορισμός) -Measure (Μέτρηση) – Analyze (Ανάλυση) – Improve (Βελτίωση) – Control (Ελεγχος). (Η ροή DMAIC θα αναπτυχθεί αναλυτικά στη συνέχεια). Το «επίπεδο σ» προσφέρει μία υψηλού επιπέδου μέτρηση για την ικανότητα μίας διαδικασίας (ή ολόκληρου του οργανισμού) να συναντήσει τις ανάγκες των πελατών. Το «επίπεδο σ» μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την DMAIC ροή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απαντήσει τις ερωτήσεις που παρουσιάζονται παρακάτω:

- Πώς το σύνολο της επιχείρησης συγκρίνεται με άλλους οργανισμούς;
- Πώς μία συγκεκριμένη διαδικασία συγκρίνεται με άλλες διαδικασίες, ακόμη και αν παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα περιπλοκότητας;
- Ποια είναι η βασική επίδοση ενός οργανισμού ή μιας συγκεκριμένης διαδικασίας πριν από τις βελτιωτικές ενέργειες;
- Οι βελτιωτικές ενέργειες έχουν αντίκτυπο στην απόδοση;

Αυτό όμως που πρέπει να γίνει σαφές είναι ότι εφόσον η μεθοδολογία των 6σ χρησιμοποιείται προκειμένου οι επιχειρήσεις να ανακαλύψουν τα τρωτά τους σημεία τα οποία δεν τα γνωρίζουν, είναι σημαντικό να τίθενται νέα ερωτήματα τα οποία θα οδηγήσουν στην κατεύθυνση αυτή. Επομένως, τα ερωτήματα αυτά είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της μεθοδολογίας. Προκειμένου να επιτευχθούν αποτελέσματα, η ηγεσία μίας εταιρείας χρειάζεται να θέσει νέα ερωτήματα για την ποιότητα των προϊόντων της, τις υπηρεσίες και τις διαδικασίες. Νέες μετρήσεις οδηγούν σε νέα ερωτήματα. Νέες ερωτήσεις δημιουργούν νέα οράματα. Τα νέα οράματα οδηγούν την δραστηριότητα.

### 1.3 Διαχωρισμός διοίκησης ολικής ποιότητας, πρωτοβουλιών βελτίωσης της ποιότητας και της μεθόδου έξι σίγμα.

Λανθασμένα έχει παρανοηθεί η μεθοδολογία των έξι σίγμα ως μία άλλη ονομασία της διοίκησης ολικής ποιότητας (ΧΟΠ). Στην ΧΟΠ, η έμφαση δίνεται στην ανάμειξη εκείνων που βρίσκονται κοντύτερα στην διαδικασία, έχοντας έτσι ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό αυτοδιοικούμενων και επί τούτου βελτιωτικών ομάδων. Η εφαρμογή της ΔΟΠ γίνεται από το τμήμα ποιότητας, γεγονός που δυσχεραίνει τον συγκερασμό της με τα τμήματα της επιχείρησης. Η εφαρμογή της μεθόδου έξι σίγμα είναι από την κορυφή της διοικητικής πυραμίδας προς τα κάτω, δηλαδή από τον πρόεδρο της εταιρείας προς τα κάτω (με διατμηματική εμπλοκή) παρά από μία ομάδα του τμήματος ποιότητας.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, τα έξι σίγμα είναι μία επιχειρησιακή στρατηγική που υποστηρίζεται από μία στρατηγική βελτίωσης της ποιότητας. Ενώ η ΔΟΠ θέτει κάπως ακαθόριστους στόχους σχετικά με την ικανοποίηση των πελατών και την υψηλότερη ποιότητα σε χαμηλότερη τιμή, τα έξι σίγμα εστιάζουν σε μείωση των εξόδων σε επίπεδο βάσης της εταιρείας, μέσω μετρήσιμων και αποδεδειγμένων αποτελεσμάτων. Αυτό επειδή ο,τι ικανοποιεί τον πελάτη δεν είναι πάντα προς όφελος της επιχείρησης και μπορεί για παράδειγμα να απαιτεί ανάλωση πόρων που να μειώνουν την οικονομική δύναμη του οργανισμού. Έτσι, η μέθοδος έξι σίγμα στο σημείο αυτό συμπληρώνει το εν λόγω κενό της ΔΟΠ. Η μέθοδος των έξι σίγμα είναι μία στρατηγική επιχειρηματική βελτιωτική προσέγγιση που επιζητά να αυξήσει την ικανοποίηση των πελατών παράλληλα με την οικονομική ευρωστία μίας επιχείρησης. Επίσης, μία ακόμη διαφορά ανάμεσα στην ΔΟΠ και στα έξι σίγμα είναι ότι η δεύτερη έχει πιο συστηματική χρήση στατιστικών και ποιοτικών εργαλείων για την βελτίωση διεργασιών και ορίζεται από πιο πειθαρχημένη προσέγγιση.

Υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τα έξι σίγμα από άλλες πρωτοβουλίες βελτίωσης. Πρώτιστα, το πλαίσιο DMAIC (το οποίο θα αναλυθεί στην συνέχεια) μέσα στο οποίο τεχνικές όπως η QFD (quality function deployment, λειτουργία ανάπτυξης ποιότητας), design of experiments (σχέδιο πειραμάτων) και ο στατιστικός έλεγχος (SPC, statistical process control) χρησιμοποιούνται με μία λογική ροή. Πλέον, οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται με συνοχή και συνεκτικότητα.

Παρόλο που τα έξι σίγμα χρησιμοποιούν στις εφαρμογές τους έναν σημαντικό αριθμό στατιστικών τεχνικών που στην πλειοψηφία τους χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία, η εφαρμογή τους δεν περιορίζεται στην παραγωγική διαδικασία αλλά συναντάται και σε εμπορικές καταστάσεις δίνοντας στον τομέα της ποιότητας των υπηρεσιών μία άλλη διάσταση σε όρους επίλυσης προβλημάτων και βελτίωσης της απόδοσης.

Η εστίαση στον πελάτη τονίζεται συνεχώς μέσα από τα κρίσιμα για την ποιότητα χαρακτηριστικά. Οι βελτιώσεις έχουν νόημα μόνο αν συνδέονται με κάποια κρίσιμα για την ποιότητα χαρακτηριστικά. Για τον λόγο αυτό, σε αντίθεση με κάποιες «εσωστρεφείς» προσπάθειες για ISO πιστοποιήσεις, η μέθοδος των έξι σίγμα είναι πολύ πιο ευαίσθητη στις απαιτήσεις για ικανοποίηση των πελατών.

Τα αποτελέσματα των έξι σίγμα εκφράζονται σε οικονομικούς όρους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα άμεσο μέτρο της επίτευξης του σκοπού το οποίο είναι κατανοητό από τους περισσότερους και όχι μόνο από τα μέλη του έργου. Συγκρινόμενα με τις παρακινήσεις για επίτευξη μηδέν ελαττωματικών ή για οτιδήποτε είναι εφικτό να γίνεται σωστά από την αρχή, στις οποίες τα αποτελέσματα είναι αυστηρώς λευκό ή μαύρο (επιτυχία ή αποτυχία), τα οικονομικά αποτελέσματα παρέχουν ένα πολύ

καλύτερο μέτρο του αντίκτυπου των βελτιώσεων όπως και μία ζωντανή διαβάθμιση της βελτίωσης. (Bank J., 2000)[4]

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι σημαντικοί συντελεστές στην αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας των έξι σίγμα. Συνδυασμένη με τεχνικές διοίκησης έργων, παρέχει ένα εκτενές πλαίσιο για αποτελεσματική στατιστική σκέψη και μεθοδολογίες για επίλυση προβλημάτων.

### 1.4 Η ιστορία της μεθοδολογίας six sigma

Η μέθοδος των έξι σίγμα έχει τις ρίζες της στην εταιρεία Motorola όταν το 1979, σε μία σύσκεψη διατυπώθηκε η διαπίστωση ότι η ποιότητα της εταιρείας δεν είναι η επιθυμητή. Η δήλωση αυτή αποτέλεσε το έναυσμα για μία νέα εποχή στην Motorola και οδήγησε στην ανακάλυψη της σχέσης μεταξύ υψηλότερης ποιότητας και χαμηλότερου κόστους ανάπτυξης στην κατασκευή οποιουδήποτε προϊόντος. Σε μία εποχή στην οποία οι περισσότερες αμερικανικές εταιρείες θεωρούσαν ότι η ποιότητα κοστίζει, η Motorola συνειδητοποίησε ότι αν γίνεται σωστά, η βελτίωση της ποιότητας θα μειώσει τα κόστη. Πίστευαν ότι τα προϊόντα υψηλής ποιότητας θα έπρεπε να κοστίζουν λιγότερο για να παραχθούν, όχι περισσότερο. Την περίοδο εκείνη, η εταιρεία δαπανούσε το πέντε με δέκα τις εκατό των ετήσιων εσόδων της για να διορθώνει την φτωχή ποιότητα.

Καθώς τα στελέχη αναζητούσαν τρόπους να μειώσουν την σπατάλη, ένας μηχανικός της εταιρείας, ο Bill Smith, μελετούσε την συσχέτιση ανάμεσα στην ζωή ενός προϊόντος στο πεδίο της αγοράς και πόσο συχνά είχε επισκευαστεί κατά την παραγωγική του διαδικασία. Συμπέρανε ότι αν ένα προϊόν βρισκόταν ελαττωματικό και διορθωνόταν κατά την παραγωγική διαδικασία, άλλα ελαττώματα ήταν πιθανό να παραληφθούν και να εντοπισθούν αργότερα από τον πελάτη στα πρώτα στάδια της χρήσης. Όμως, αν ένα προϊόν κατασκευαζόταν από την αρχή χωρίς ελαττώματα τότε σπανίως παρουσίαζε ελαττώματα στα πρώτα στάδια χρήσης από τον πελάτη. Το εύρημα του Smith αντιμετωπίστηκε αρχικά με σκεπτικισμό και πυροδότησε μία διαμάχη μέσα στην εταιρεία. Θα μπορούσε η ποιότητα να στηριχθεί στην ανίχνευση και διόρθωση των ελαττωματικών; Ή θα μπορούσε να επιτευχθεί η ποιότητα προλαμβάνοντας εξ αρχής τα ελαττωματικά μέσα από ελέγχους και σχεδιασμό του προϊόντος; Τα δεδομένα έδειξαν ότι η πρώτη κατεύθυνση οδηγούσε την εταιρεία σε ένα επίπεδο λειτουργίας έως 4σ, ενώ την ίδια στιγμή ξένοι ανταγωνιστές όντως παρήγαγαν προϊόντα που δεν απαιτούσαν επισκευή ή επανεκατεργασία κατά την παραγωγική διαδικασία. Σαν αποτέλεσμα η εταιρεία ξεκίνησε την αναζήτησή της στην βελτίωση της ποιότητας, και ταυτόχρονα την μείωση του παραγωγικού χρόνου και του κόστους εστιάζοντας στο πώς ένα προϊόν είχε σχεδιαστεί και κατασκευαστεί. Ήταν αυτός ο σύνδεσμος μεταξύ της υψηλότερης ποιότητας και του χαμηλότερου κόστους που οδήγησε στην ανάπτυξη των έξι σίγμα. Μία πρωτοβουλία που αρχικά εστίασε στην βελτίωση της ποιότητας μέσω της χρήσης ακριβέστατων μετρήσεων για να αντιμετωπισθούν οι προβληματικές περιοχές. Με άλλα λόγια, η μέθοδος των έξι σίγμα θα επέτρεπε σε μία επιχείρηση να προ-δράσει παρά να αντιδράσει σε θέματα ποιότητας. Η διαφορά ανάμεσα σε άλλες προσεγγίσεις βελτίωσης της ποιότητας και στην μέθοδο των έξι σίγμα ήταν θέμα εστίασης. Η διαφορά με άλλα πολλά προγράμματα ποιότητας είναι ότι ανεξαρτήτως το πόσο εκτενή μπορεί να είναι, χρειάζονται πολλή χρόνο έτσι ώστε όλες οι λειτουργίες μίας διαδικασίας να βελτιωθούν. Οι αρχιτέκτονες των έξι σίγμα στην Motorola εστίασαν στο να έχουν

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

βελτιώσεις σε όλες τις λειτουργίες μίας διαδικασίας, παράγοντας λύσεις πολύ πιο γρήγορα και αποτελεσματικά.

Καθώς η εταιρεία είδε μειώσεις στα ελαττωματικά και στον παραγωγικό χρόνο, άρχισε επίσης να θερίζει και οικονομικά οφέλη από την φιλοσοφία των έξι σίγμα. Με λίγα λόγια η εταιρεία άρχισε να έχει προϊόντα υψηλής ποιότητας και ικανοποιημένους πελάτες σε χαμηλότερο κόστος. Έως το 1993, η Motorola επιχειρούσε σε επίπεδο σχεδόν 6σ σε πολλές από τις παραγωγικές της λειτουργίες. Από τότε το μοντέλο υιοθετήθηκε από πολλές γνωστές επιχειρήσεις παγκόσμιας εμβέλειας όπως η General Electric, Allied Signal, Xerox κ.α.

### 1.5 Τα οφέλη της μεθοδολογίας στην επιχείρηση

Στο ερώτημα γιατί μία επιχείρηση να εφαρμόσει την μεθοδολογία των έξι σίγμα, η απάντηση δίνεται από δύο λέξεις, βελτίωση κέρδους. Στις ημέρες μας είναι δύσκολο για όποιο προϊόν να κρατήσει το μονοπώλιο για πολύ. Γι αυτό η μείωση της τιμής σε προϊόντα και υπηρεσίες είναι αναπόφευκτη. Το κέρδος είναι η διαφορά μεταξύ των εσόδων και του κόστους κατασκευής (ή προετοιμασίας της υπηρεσίας), το οποίο εμπεριέχει το θεωρητικό κόστος παραγωγής (ή υπηρεσίας) και το κρυμμένο κόστος της φτωχής ποιότητας. Αν δεν μειωθεί το κόστος, η μείωση της τιμής θα έχει επιπτώσεις στα κέρδη μειώνοντας μακροπρόθεσμα την επιβίωση της εταιρείας. Τα έξι σίγμα επιδιώκουν να βελτιώσουν τα τελικά κέρδη ελαττώνοντας το κρυμμένο κόστος της φτωχής ποιότητας.

Στόχος λοιπόν είναι η βελτίωση του κέρδους, παρόλο που η βελτιωμένη ποιότητα και ικανότητα είναι άμεσα υποπροϊόντα του μοντέλου. Πριν την εφαρμογή της μεθόδου, οι βελτιώσεις που γινόντουσαν μέσω προγραμμάτων ποιότητας συνήθως δεν είχαν εμφανή αντίκτυπο στα καθαρά έσοδα μίας επιχείρησης. Οι επιχειρήσεις που δεν μπορούν να εντοπίσουν τα αποτελέσματα των βελτιώσεων της ποιότητας στο κέρδος δεν γνωρίζουν σε τι αλλαγές πρέπει να προχωρήσουν για να βελτιώσουν το περιθώριο κέρδους τους. Αντί για εστίαση σε τρία ή τέσσερα χρόνια στο μέλλον, η μεθοδολογία των έξι σίγμα εστιάζει στην επίτευξη οικονομικών στόχων σε δώδεκα μήνες. Οι εταιρείες αναμένεται να βελτιώνονται κατά ένα σίγμα κάθε χρόνο έως το επίπεδο των 4,7 σ, εννοώντας ότι μία εταιρεία 3σ που εστιάζει όλες της τις πηγές στην μέθοδο των έξι σίγμα μπορεί να περιμένει να μετακινηθεί στα 4σ κατά τον πρώτο χρόνο της εφαρμογής. Αυτές οι εταιρείες θα εμπειρισθούν (Tang et al., 2006)[2].:

- Βελτίωση περιθωρίου 20%
- Αύξηση δυναμικότητας 12-18%.

Τα οικονομικά οφέλη της μετακίνησης από 3 στα 4 και στα 4,7 σ είναι εκθετικά και όσο πιο κοντά φθάνουν οι εταιρείες στο να επιτύχουν το επίπεδο 6σ τόσο πιο απαιτητικές είναι οι βελτιώσεις. Τα άμεσα οφέλη που συνοδεύουν την εφαρμογή των έξι σίγμα είναι μείωση του λειτουργικού κόστους, βελτίωση της παραγωγικότητας, αύξηση του μεριδίου της αγοράς, διατήρηση των πελατών, μείωση του χρονοκύκλου και μείωση του ποσοστού των ελαττωματικών.

## 2 DMAIC

### 2.1 Ο ορισμός του DMAIC

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μεθοδολογία έξι σίγμα ακολουθείται η εφαρμογή ενός πλάνου βελτίωσης. Το πλάνο αυτό είναι μία δομημένη, κλειστή, ομαδική εφαρμογή επιστημονικής μεθόδου. Στην βάση της αυτή η εφαρμογή έχει ομοιότητα με τον κύκλο του Deming , Plan-Do-Check-Act, επιμερισμένο όμως σε ένα μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας. Το πλάνο αυτό αποτελείται από πέντε στάδια που θα μπορούσαν να παρουσιαστούν ως οργανωμένη κοινή λογική που χρησιμοποιεί δεδομένα για να οδηγηθούν οι εταιρείες σε αποφάσεις. (Brue, Greg, 2005)[5]

Τα πέντε βήματα του πλάνου ενός βελτιωτικού σχεδίου είναι τα εξής: Define, Measure, Analyze, Improve, Control, ή σύντομα DMAIC. Αυτό που πρέπει να υπογραμμισθεί είναι ότι δεν πρόκειται για μια αυστηρά γραμμική διαδικασία, συχνά είναι επαναληπτική. Νέες πληροφορίες και ευρήματα μπορεί να επιβάλλουν την επιστροφή σε ένα από τα προηγούμενα βήματα και τον επαναπροσδιορισμό του έργου ή την τροποποίηση της προσέγγισης έτσι ώστε να ολοκληρωθεί το έργο. Η εφαρμογή της μεθόδου ξεκινά προσδιορίζοντας τις ανάγκες των πελατών. Συγκεντρωτικά, αυτές οι ανάγκες μπορούν να καταταχθούν σε κατηγορίες όπως έγκαιρη παράδοση, ανταγωνιστική τιμολόγηση και ποιότητα με μηδέν ελαττώματα. Οι ανάγκες των πελατών στη συνέχεια εσωτερικοποιούνται με μετρήσεις απόδοσης και τίθενται στόχοι επιπέδων για την απόδοση, από τα οποία η εταιρεία προσπαθεί στη συνέχεια να παρεκκλίνει όσο το δυνατό λιγότερο.

Για την επιτυχή εφαρμογή της μεθοδολογίας απαιτείται δέσμευση της ανώτατης διοίκησης της εταιρείας. Οι αντικειμενικοί στόχοι που προσδιορίζονται από τα υψηλόβαθμα στελέχη (όπως για παράδειγμα η βελτίωση του μεριδίου της αγοράς, η αύξηση της κερδοφορίας και η διασφάλιση της μακροπρόθεσμης επιβίωσης) μεταβιβάζονται στους μανατζερς των διαδικασιών (με μορφές όπως περιορισμός του «κρυμμένου εργοστασίου» ή της επανεκατεργασίας ή μείωση του κόστους των υλικών). Από αυτούς τους στόχους, οι σχετικές διαδικασίες στοχεύονται για μείωση των ελαττωμάτων και βελτίωση της ικανότητας της διαδικασίας.

Ενώ τα συμβατικά βελτιωτικά προγράμματα εστιάζουν σε βελτιώσεις των ελαττωμάτων στο αποτέλεσμα, η μεθοδολογία των έξι σίγμα εστιάζει στις διαδικασίες που δημιουργεί τα ελαττώματα και προσπαθεί να μειώσει την μεταβλητότητα με την χρήση συστηματικής προσέγγισης μέσω της μεθοδολογίας DMAIC.

Πριν παρατεθούν περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με το κάθε στάδιο της DMAIC μεθόδου θα πρέπει να παρατεθεί ότι τα στάδια των μετρήσεων και της ανάλυσης έχουν να κάνουν με τον χαρακτηρισμό της παρούσας κατάστασης και τα στάδια της βελτίωσης και του ελέγχου με την βελτιστοποίηση της διαδικασίας. (Lampert L., 2005) [6]  
Αναλυτικότερα:

## 2.2 Define –Προσδιορισμός

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας σχετίζεται πρωταρχικά με τον καθορισμό και με την επιλογή του έργου, βασισμένη σε κριτήρια όπως ανάλυση κόστους οφέλους, την εφικτότητα του έργου, το κατά πόσο εναρμονίζεται με τον συνολικό σκοπό της επιχείρησης καθώς επίσης και τους πόρους που θα δεσμεύσει. Η φάση αυτή δεν είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί αλλά εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση.

Καθορίζεται επίσης το τι είναι σημαντικό για τον πελάτη και μεταφράζεται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις. Καταγράφεται η υφιστάμενη διαδικασία, οργανώνεται μία ομάδα με στόχο την βελτίωση της διαδικασίας.

Σημαντικό είναι στην φάση αυτή να υπάρχει μία ολοκληρωμένη γνώση της υπάρχουσας κατάστασης έτσι ώστε να εκτιμηθεί ποιος είναι ο επιθυμητός στόχος σε ό,τι επιθυμούμε να βελτιώσουμε. Στο σημείο αυτό επίσης, προσδιορίζεται από ποιες πηγές θα αντληθούν στοιχεία, ποια είναι τα εμπόδια που θα πρέπει να ξεπεραστούν και να οριστεί ποιος θα είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό του έργου, καθώς επίσης ορίζεται ο χρονικός ορίζοντας της εφαρμογής.

Ερωτήσεις που θα μπορούσαν να τεθούν σε αυτό το στάδιο είναι οι εξής:

- Τί προσπαθούμε να επιτύχουμε;
- Είναι εφικτό το έργο;
- Γιατί επιλέχθηκε το συγκεκριμένο έργο;
- Ποιοι είναι οι πελάτες;
- Ποια εκροή (Y) είναι σημαντική για τον πελάτη;
- Ποια είναι τα κρίσιμα για την ποιότητα χαρακτηριστικά;
- Πώς ρέει η υπάρχουσα διαδικασία;
- Ποιες είναι οι ισχύουσες εισροές στην διαδικασία;
- Τί πόροι απαιτούνται για να ολοκληρωθεί το έργο;
- Ποιος θα εργαστεί πάνω σε αυτό το έργο;
- Πότε θα ολοκληρωθεί το έργο;

Επομένως, επιγραμματικά, τα αποτελέσματα του πρώτου βήματος της μεθοδολογίας έξι σίγμα συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Προσδιορισμός έργου με την μεγαλύτερη προτεραιότητα
- Σκοπός-στόχος
- Χρονικός ορίζοντας
- Μέλη που θα λάβουν μέρος στο έργο
- Πηγές
- Κόστος

### 2.3 Measure – Μέτρηση

Η μεθοδολογία των έξι σίγμα οδηγείται τρόπο τινά από τις μετρήσεις, επειδή απλά ό,τι μπορεί να μετρηθεί είναι επιτεύξιμο. Έτσι, προσδιορίζουμε ποια είναι η εκροή της διαδικασίας που θα μετρηθεί καθώς και ποια μέθοδος θα ακολουθηθεί. Βέβαια, θα πρέπει να ποσοτικοποιηθεί η υπάρχουσα απόδοση καθώς και να εκτιμηθεί το επίπεδο βελτίωσης που επιθυμούμε να επιτύχουμε.

Καθορίζονται επομένως οι μετρήσεις και οι προδιαγραφές, επικυρώνεται ποιο σύστημα ή ποια συστήματα μετρήσεων θα χρησιμοποιηθούν και μετριέται και το επίπεδο ικανότητας των διαδικασιών.

Στην φάση αυτή χρησιμοποιούνται διαγράμματα ροής, χάρτες ελέγχου, καταιγισμός ιδεών (brainstorming) διαγράμματα σχέσεων, ανάλυση κατάστασης βλαβών και αποτελεσμάτων (failure mode and effects analysis) και καταγράφονται τα ποσοστά ελαττωμάτων ανά εκατομμύριο ευκαιριών. Οι απαιτήσεις των πελατών καθορίζονται με την μέθοδο της Λειτουργίας Ανάπτυξης Ποιότητας (quality function deployment).

Ερωτήματα που μπορούν να τεθούν στην φάση αυτή είναι :

- Μπορούν τα κρίσιμα για την ποιότητα χαρακτηριστικά να μετρηθούν αντικειμενικά;
- Το σύστημα μετρήσεων είναι ικανό να παρέχει έγκυρες και αξιόπιστες αξίες με έναν αποδεκτό βαθμό λάθους;
- Ποιο το ισχύον επίπεδο ποιότητας;
- Ο στόχος έχει προσδιορισθεί σε όρους των πελατών;

Επομένως, για κάθε ένα από τα κρίσιμα χαρακτηριστικά που έχουν οριστεί στην φάση του ορισμού, θα πρέπει να αποφασισθεί τι θα μετρηθεί αλλά και πώς θα διασφαλισθεί ότι δεν θα επηρεασθούν αποτελέσματα άλλων διαδικασιών που θεωρούνται σημαντικά. Προκειμένου να επιτευχθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει η ομάδα να ορίσει τα όρια μέσα στα οποία θα γίνουν αλλαγές.

Στην φάση της μέτρησης θα πρέπει τέλος να οριστεί το υπάρχον επίπεδο σίγμα της υφιστάμενης ποιότητας. Δηλαδή με άλλα λόγια να μετρηθεί το ποσοστό των ελαττωμάτων στο σύνολο των ευκαιριών. (DPMO)

Επιχειρώντας να ομαδοποιήσουμε πάλι τα αποτελέσματα αυτής της φάσης, καταγράφουμε τα εξής:

- Αντικειμενικός σκοπός έργου
- Σχέδιο διαδικασίας
- Αποδεκτό σύστημα μέτρησης
- Εκτίμηση υπάρχουσας αποδοτικότητας
- Θέματα προς επίλυση και εμπόδια

## 2.4 Analyze – Ανάλυση:

Αναλύονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αρχικά και αξιολογούνται ώστε να διερευνηθούν τα αίτια των ελαττωμάτων ή των αποκλίσεων, δηλαδή χρησιμοποιούνται αναλυτικά εργαλεία ώστε να εντοπισθούν οι αιτίες της μεταβλητότητας της διαδικασίας και να διαχωρισθούν οι ζωτικές λίγες εισροές από τις πολλές.

Προσδιορίζονται δηλαδή οι κρίσιμες εισροές της διαδικασίας (X), επικυρώνονται και δίνεται η αντίστοιχη προτεραιότητα στις κρίσιμες εισροές, προσδιορίζονται τα αίτια της διακύμανσης της διαδικασίας. Η ομάδα που είναι υπεύθυνη για το έργο έχει κάποια όρια δικαιοδοσίας και ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να μην μπορεί να παρέμβει στην επίλυση ορισμένων αιτιών. Επίσης, μπορεί οι αιτίες να πηγάζουν από κάποια εξωτερική πηγή, για παράδειγμα από κάποιο εξωτερικό συνεργάτη ή προμηθευτή.

Τα ερωτήματα στην εν λόγω φάση είναι τα εξής:

- Ποιες είναι οι σημαντικές εισροές (X) που επηρεάζουν την εκροή (Y, κρίσιμα χαρακτηριστικά) που μας ενδιαφέρει;
- Οι εισροές της διαδικασίας είναι σταθερές;
- Ποιες είναι οι πηγές της διακύμανσης της διαδικασίας;

Φυσικά, η ομάδα εργασίας θα πρέπει να είναι σε θέση να δεσμευτεί σε σχέση με τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν.

Ομαδοποιώντας τα αποτελέσματα της φάσης της ανάλυσης προκύπτουν τα εξής:

- Ανάλυση αιτιών
- Ανάλυση επιδράσεων
- Ανάλυση αλληλεπιδράσεων
- Δέσμευση για βελτίωση
- Συμπεράσματα και όρια και θέματα προς επίλυση
- Επόμενα βήματα

Στην φάση αυτή χρησιμοποιούνται εργαλεία όπως το διάγραμμα Pareto, διαγράμματα αιτιών-αποτελεσμάτων (fishbone diagrams), διάγραμμα πολυμεταβλητότητας, έλεγχος υποθέσεων και διαστημάτων εμπιστοσύνης, συσχέτιση και απλή γραμμική παλινδρόμηση, πολλαπλή παλινδρόμηση κ.α.



## 2.5 Improve - Βελτίωση:

Η φάση της βελτίωσης μετατρέπει την ανάλυση σε πράξη. Καθορίζεται ο τρόπος παρεμβολής στις διαδικασίες όπου απαιτείται βελτίωση, έτσι ώστε να μειωθούν τα ποσοστά των ελαττωμάτων. Για κάθε αιτία προτείνονται όλες οι πιθανές λύσεις που μπορούν να εφαρμοσθούν ώστε η ομάδα να μπορεί να επιλέξει την πιο εύκολη για εφαρμογή, την πιο αποτελεσματική και ταυτόχρονα την πιο οικονομική. Γι αυτό είναι απαραίτητη η χρήση στατιστικών αποδεικτικών στοιχείων ώστε να διασφαλισθεί το επίπεδο αποτελεσματικότητας των λύσεων που προτείνονται. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει για κάθε λύση να ερευνάται το τι, το πού, το πώς και το ποιος.

Η υλοποίηση της φάσης της βελτίωσης γίνεται με την μέθοδο Σχεδιασμού Πειραμάτων ( design of experiments). Οπότε έχουμε την ανάπτυξη πιθανών λύσεων, την ανάπτυξη κριτηρίων αξιολόγησης και επιλογή των καλύτερων λύσεων, πιλοτικές λύσεις. Το βήμα της βελτίωσης είναι δυνατόν να εφαρμοστεί περισσότερες από μία φορές, μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο βελτίωσης.

Πιθανές ερωτήσεις του σταδίου είναι :

- Ποιες βελτιωτικές ενέργειες είναι απαραίτητες ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα απόδοσης;
- Καθιερώθηκε κάποια διαδικασία ώστε να ιχνηλατηθεί η εφαρμογή, με προσδιορισμένες ευθύνες και ημερομηνίες στόχους;
- Υπάρχουν εμπόδια στην βελτίωση;
- Υπάρχουν έμμεσες επιπτώσεις;
- Η ομάδα λειτουργεί όσο αποτελεσματικά είναι δυνατόν;

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης φάσης μπορούν να προσδιορισθούν ως εξής:

- Αποδεκτές λύσεις
- Εφαρμογή αποδεκτών λύσεων
- Καινούριος χάρτης διαδικασίας
- Θέματα προς επίλυση και εμπόδια
- Επόμενα βήματα

## 2.6 Control – έλεγχος:

Μετά την εφαρμογή των βελτιωτικών κινήσεων, το στάδιο του ελέγχου πιστοποιεί τα αποτελέσματα και παγιώνει τις βελτιώσεις. Τίθενται έτσι σε εφαρμογή έλεγχοι ώστε να εξασφαλισθεί και διατηρηθεί η βελτίωση που επιτεύχθηκε. Τα στάδια της μεθοδολογίας έξι σίγμα ολοκληρώνονται τυπικά εδώ, όμως, η ομάδα που έχει αναλάβει το έργο θα πρέπει να ορίσει τις νέες προδιαγραφές της διαδικασίας.

Η ικανότητα της διεργασίας επανεκτιμάται για να επαληθευτεί το επίπεδο βελτίωσης που πραγματοποιήθηκε. Ανάλογα με το αποτέλεσμα είναι πιθανό να χρειαστεί να εφαρμοστεί πάλι κάποιο ή κάποια από τα τέσσερα προηγούμενα βήματα έως ότου προσεγγισθεί το επιθυμητό επίπεδο.

Οι ερωτήσεις που μπορούν να τεθούν στο στάδιο αυτό είναι οι εξής:

- Έχουν εφαρμοσθεί μηχανισμοί για να παρέχουν συνεχή ανταπόκριση και να αποτρέψουν ενδεχόμενο πιασγύρισμα;
- Τα κρίσιμα χαρακτηριστικά (τόσο εισροές όσο και οι μεταβλητές της διαδικασίας) παρακολουθούνται και βελτιώνονται στην πάροδο του χρόνου χρησιμοποιώντας στατιστικά εργαλεία;
- Οι βελτιώσεις και τα μαθήματα που διδάχθηκαν καθώς και οι καλύτερες πρακτικές, προωθήθηκαν με συστηματικό τρόπο μέσα στην εταιρεία;

Σχηματικά η μεθοδολογία θα μπορούσε να απεικονιστεί ως εξής:



Διάγραμμα 1: Σχηματική απεικόνιση DMAIC

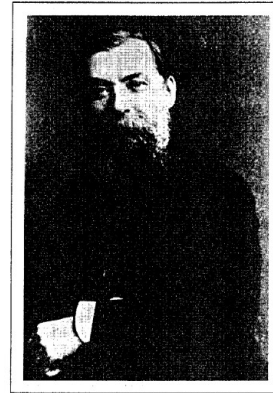
### 3 Περιγραφή της Μεθόδου Bayer- Αλουμίνιον της Ελλάδος

#### 3.1 Ιστορία της Μεθόδου Bayer

Η επικρατέστερη αξιοποιήσιμη πηγή αλουμίνας σήμερα είναι ο βωξίτης, γεγονός που αποδίδεται στη μεγάλη περιεκτικότητα του σε ένυδρες μορφές οξειδίου του αλουμινίου ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ,  $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ), αλλά και στη μέθοδο μέσω της οποίας ανακτάται, τη μέθοδο του Bayer.

Ο Carl Josef Bayer γεννήθηκε στο Bielitz της Κροατίας, τότε μέρος της Αυστριακής αυτοκρατορίας. Λόγω της πολυπολιτισμικότητας της αυτοκρατορίας υπήρχαν πολλές επαναστάσεις και πολιτικές δυσарέσκειες, παρ' όλα αυτά οι τέχνες ανθούσαν. Έτσι ο Bayer ακολούθησε αρχικά τις τέχνες, και συγκεκριμένα την αρχιτεκτονική σύμφωνα με το θέλημα του πατέρα του, ενώ αργότερα έστρεψε το ενδιαφέρον του στις θετικές επιστήμες εργαζόμενος σε εργαστήριο στη Γερμανία και μετέπειτα σε εργοστάσιο παραγωγής σιδήρου στο Βέλγιο. Εν συνέχεια, δούλεψε υπό τον καθηγητή Robert Bunsen στο πανεπιστήμιο του Heidelberg φτάνοντας στην ηλικία των 24 ετών να τελειώνει το διδακτορικό του. Την ίδια περίοδο που ο Bayer καταξιώνεται επιστημονικά, το πολιτικό σκηνικό της Ευρώπης υφίσταται τεράστιες αλλαγές με τον πόλεμο μεταξύ Γαλλίας - Ρωσίας. Τότε ο Bayer επέστρεψε στην πατρίδα του, την Αυστρία, στο πολυτεχνείο του Brunn, ενώ λίγα χρόνια αργότερα, το 1885, μετακομίζει στην Αγία Πετρούπολη, πρωτεύουσα της Ρωσίας, η οποία τότε αν και ήταν ανοιχτή σε κάθε ξένο με τεχνικές και καλλιτεχνικές δεξιότητες, υπέφερε από τη βασιλεία του τρόμου του Αλέξανδρου του Τρίτου. (BAYER'S PROCESS FOR ALUMINA PRODUCTION: A HISTORICAL PERSPECTIVE- Fathi Habashi, Laval University, Quebec City)

Ο Bayer έφτασε στα πιο δημιουργικά και καρποφόρα χρόνια της καριέρας του, όταν δούλεψε στην Αγία Πετρούπολη της Ρωσίας στο εργοστάσιο Tentelev Chemical με σκοπό την ανάπτυξη μιας μεθόδου που θα προμηθεύει αλουμίνα στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας για τη βαφή υφασμάτων. Τότε λοιπόν ο Bayer (1987), σε ηλικία 41 ετών, ανακάλυψε ότι το υδροξείδιο του αργιλίου θα μπορούσε να καθιζάνει από διάλυμα αργλικού νατρίου εάν ένας σπόρος ενός πρόσφατα καταβυθισμένου υδροξειδίου του αργιλίου αναδευτεί έντονα στο ψυχρό διάλυμα. Το καθαρό προϊόν μπορεί να συλλεχθεί με διήθηση και να πλυθεί. Το εργοστάσιο οικειοποιήθηκε τη μέθοδο αυτή, ενώ πέντε χρόνια αργότερα (1892) ο Bayer βελτίωσε την ανακάλυψή του όταν παρατήρησε πως η αλουμίνα που περιέχεται στο βωξίτη θα μπορούσε να διαλυθεί επιλεκτικά με θέρμανση με ένα διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου υπό πίεση σε αυτόκλειστο, για να σχηματιστεί διάλυμα αργλικού νατρίου και πως το αλκαλικό υγρό της καθίζησης υδροξειδίου του αργιλίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Σε ηλικία περίπου 50 ετών ο Bayer μετακόμισε στην περιοχή του Tatar για να φτιάξει το 2<sup>ο</sup> εργοστάσιο που εφάρμοσε τη μέθοδο Bayer, ενώ παράλληλα υπέγραψε πολλαπλά συμβόλαια με ξένες χώρες για τη δημιουργία εργοστασίων αλουμίνας με τη μεθόδου του. Γρήγορα η μέθοδος απέκτησε μεγάλη επιτυχία στη βιομηχανία αντικαθιστώντας τη μέχρι τότε χρησιμοποιούμενη για την παραγωγή αλουμίνας από βωξίτη, διαδικασία Le Chatelier. Μετέπειτα ο Bayer επέστρεψε και πάλι στην πατρίδα του με όνειρο να δημιουργήσει το δικό του εργοστάσιο αλουμίνας με τη δική του πρωτοποριακή μέθοδο. Το όνειρο αυτό τελείωσε άδοξα καθώς δεν είχε το απαιτούμενο κεφάλαιο για μια επένδυση αυτής της τάξης, ενώ δεν κατάφερε κάτι περισσότερο από την έκδοση μιας δημοσίευσης με τίτλο "Studies on the



Εικόνα 1: Carl Josef Bayer (mindat.org)

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Winning of Pure Aluminum Oxide’’. Πέθανε ξαφνικά στα 57 (1904) του χρόνια αφήνοντας πίσω μια καινοτομία σπουδαίας σημασίας που απετέλεσε σταθμό για τη βιομηχανία. (BAYER'S PROCESS FOR ALUMINA PRODUCTION: A HISTORICAL PERSPECTIVE- Fathi Habashi, Laval University, Quebec City)

### 3.1 Αλουμίνιον της Ελλάδος



Εικόνα 2: Εργοστάσιο Αλουμίνιον της Ελλάδος (alhellas.com)

#### 3.1.1 Γενικά

Το ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ αποτελεί τον Τομέας Μεταλλουργίας της Εταιρείας ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ. Έχοντας πραγματοποιήσει μία από τις μεγαλύτερες επενδύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα στην Ελλάδα σε ιδιωτικό επίπεδο, ενεργειακές, βιομηχανικές και περιβαλλοντικές στον Άγιο Νικόλαο Βοιωτίας, όπου βρίσκεται εγκατεστημένο το εργοστασιακό συγκρότημα της ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, έχει καθιερωθεί ως ένας από τους ισχυρότερους εκπροσώπους του κλάδου στην Ευρωπαϊκή Ένωση. (ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε., χ.χ.)

Σήμερα η ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ διαθέτει την σημαντικότερη κατετοπιωμένη μονάδα παραγωγής και εμπορίας αλουμίνας και αλουμινίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση και μαζί με τα μεταλλεία της, αποτελεί κινητήρια δύναμη για την εθνική και ευρωπαϊκή οικονομία, αλλά και την ελληνική περιφέρεια. Είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός βωξίτη στην Ελλάδα και κατ' επέκταση στην Ευρώπη, με ετήσια παραγωγή που ανέρχεται σε 650.000 τόνους βωξίτη, από υπόγεια εργοτάξια και μόνο. Το εργοστάσιο αλουμινίου της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ παραμένει ένας από τους ισχυρούς πυλώνες της ελληνικής βιομηχανίας, με ετήσια δυναμικότητα παραγωγής που ξεπερνά τους 182.000 τόνους σε αλουμίνιο και τους 820.000 τόνους σε αλουμίνα. Το εργοστασιακό συγκρότημα της Εταιρείας στον Αγ. Νικόλαο Βοιωτίας απασχολεί άμεσα 1.100 άτομα και, έμμεσα περισσότερα από 400, και εφαρμόζει παραγωγικές και εμπορικές πρακτικές εφάμιλλες των κορυφαίων μεταλλουργικών βιομηχανιών παγκοσμίως. (Αλουμίνιον Της Ελλάδος, χ.χ.)

Από την ίδρυσή της έως σήμερα, η εταιρεία έχει αναδειχθεί σε μοχλό ανάπτυξης για την περιοχή και στηρίζει και στηρίζεται από γενιές εργαζομένων, οι οποίοι αποτελούν την κινητήρια δύναμη μιας βιομηχανίας που πρωτοπορεί σε τεχνογνωσία σε παγκόσμιο επίπεδο.

#### 3.1.2 Ιστορία

1959: Ο υπουργός βιομηχανίας, Νικόλαος Μάρτης επισκέπτεται στο Παρίσι τον γενικό διευθυντή της Pechiney, J. Matter, και πραγματοποιείται η πρώτη συζήτηση για τον ενδεχόμενο κατασκευής εργοστασίου αλουμίνας στην Ελλάδα.

1960: Στις 26/6 Υπογράφεται το πρωτόκολλο για την ίδρυση εργοστασίου αλουμίνας-αλουμινίου, μεταξύ του ελληνικού δημοσίου και των αναδόχων (Pechiney- Compadec-O.B.A – Όμιλος Νιάρχου) ενώ στις 27/8 υπογράφεται η οριστική σύμβαση στην Αθήνα. Το ελληνικό κράτος εκπροσωπείται από τον πρωθυπουργό, Κ. Καραμανλή και την 1/12 κυρώνεται στο Ελληνικό Κοινοβούλιο.



Εικόνα3: Ο πρότυπος οικισμός Άσπρα Σπίτια (alhellas.com)

1961: Το ερευνητικό κέντρο της Pechineyπαρήγαγε αλουμίνιο από ελληνικό βωξίτη και συστήνεται η Ελληνική Εταιρεία Αλουμινίου. Ο χώρος εγκατάστασης έχει επιλεγεί- οι απαλλοτριώσεις ξεκινούν. Μια κομόπολη θα δημιουργηθεί, η οποία θα ονομαστεί Άσπρα Σπίτια.

1963: Ο πρωθυπουργός Κ.Καραμανλής θέτει τον θεμέλιο λίθο του εργοστασίου συνοδευόμενος από υπουργούς και βουλευτές.

1966: Ξεκινά στην Ελλάδα η παραγωγή αλουμίνιας και αλουμινίου, από ελληνικό βωξίτη. Στις 11/3 υπεργάφησαν επιμέρους συμφωνίες με το ελληνικό δημόσιο και στις 13/6 το εργοστάσιο εγκαινιάζεται.

Ιστορικά αναφέρεται πως η παραγωγή αλουμίνιας το 1966 ήταν 73.000τκαι αλουμινίου 36.200τ ενώ το 1967 η παραγωγή αλουμίνιας έφτασε 180.900τκαι αλουμινίου 71.500 με τη συμβολή στις ελληνικές βιομηχανικές και βιοτεχνικές εξαγωγές να ανέρχεται στο 13% και στο 29,2% αντίστοιχα.



Εικόνα 4: Επίβλεψη εργασιών της ΑΤΕ, 1963 (alhellas.com)

1970: Επέκταση των εγκαταστάσεων και διπλασιασμός της παραγωγής. Αποτελεί δεκαετία ακμής και ανάπτυξης του εργοστασίου, που επεκτείνεται και διπλασιάζει την παραγωγή αλουμίνιας και αλουμινίου. Πιο συγκεκριμένα κατασκευάζεται 2η σειρά προσβολής βωξίτη, 3η σειρά ηλεκτρόλυσης, φίλτρα ηλεκτρόλυσης και σκέπασμα λεκανών ηλεκτρόλυσης. Γίνονται τα πρώτα περιβαλλοντικά έργα.

1973: Η μετοχή της ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ ξεκινά να διαπραγματεύεται στο Χρηματιστήριο Αθηνών.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

1975: Ιδρύεται η θυγατρική εταιρία ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟΝ, ο 2ος μεγαλύτερος παραγωγός βωξίτη στην Ελλάδα, που προήλθε από τη συγχώνευση των εταιριών ΒΩΞΙΤΑΙ ΔΕΛΦΩΝ και ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΒΩΞΙΤΑΙ ΔΙΣΤΟΜΟΥ.

1976: Εγκαθίστανται κέντρα επεξεργασίας των αερίων της ηλεκτρόλυσης για την κατακράτηση του φθορίου.

1981: Πραγματοποιούνται νέες επενδύσεις για την αύξηση της παραγωγής αλουμίνιας.

1982: Ιδρύεται το Σωματείο «ΕΝΩΣΗ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ».

1986-1990: Υλοποιείται επιτυχώς η μετατροπή από περιφερειακή σε σημειακή τροφοδοσία των λεκανών ηλεκτρόλυσης, που πλέον γίνεται αυτόματα με τη βοήθεια υπολογιστή. Ήταν το πρώτο εργοστάσιο παλαιάς τεχνολογίας όπου έγινε επιτυχώς η μετατροπή από περιφερειακή σε σημειακή τροφοδοσία.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας σε θέματα εκπαίδευσης, υγείας και ασφάλειας η εταιρεία ήδη δημιουργεί πρωτοποριακά προγράμματα εκπαίδευσης και προστασίας του περιβάλλοντος ενώ πρώτο μέλημα αποτελεί το μότο της: «ΚΑΝΕΝΑ ΑΤΥΧΗΜΑ ΚΑΝΕΝΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΝΟΣΗΜΑ» .

2003: Ο Καναδικός Όμιλος αλουμινίου ALCAN εξαγοράζει τον Όμιλο Pechiney και μαζί και την ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ.

2005: Ο Όμιλος ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ εξαγοράζει το πλειοψηφικό πακέτο μετοχών της ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ από την ALCAN.

2006-2011: Επενδύονται περίπου €12 εκατ. για την εγκατάσταση πρωτοποριακής τεχνολογίας διαχείρισης Καταλοίπων Βωξίτη, που αποτελείται από 4 φιλτρόπρεσσες Διήθησης. Με την εγκατάσταση και της 4ης φιλτρόπρεσσας επιτυγχάνεται ο στόχος της απόθεσης του συνόλου των Καταλοίπων Βωξίτη στην ξηρά.

2007: Ολοκληρώνεται η συγχώνευση διά απορροφήσεως της Αλουμίνιον της Ελλάδος ΒΕΑΕ από τον Όμιλο ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ, με παράλληλη παύση διαπραγμάτευσης της μετοχής στο Χ.Α.. Απόσχιση του κλάδου μεταλλουργίας του Ομίλου και εισφορά του στην ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ Α.Ε. Η ΔΕΛΦΟΙ – ΔΙΣΤΟΜΟΝ μετατρέπεται σε θυγατρική του Ομίλου ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ. Ξεκινά η λειτουργία του Σταθμού Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο χώρο του εργοστασίου. Ο Σταθμός τροφοδοτεί με ατμό τα εργοστάσια αλουμίνιας και αλουμινίου, αντικαθιστώντας τη χρήση 150.000 τόνων μαζούτ.



Εικόνα 5: Σταθμός συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (alhellas.com)

Αξίζει να σημειωθεί πως, για την τριετία 2005-2007, οι συνολικές επενδύσεις - ενεργειακές, βιομηχανικές και περιβαλλοντικές - που έγιναν στο συγκρότημα του ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ήταν οι μεγαλύτερες που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα από ιδιώτη.

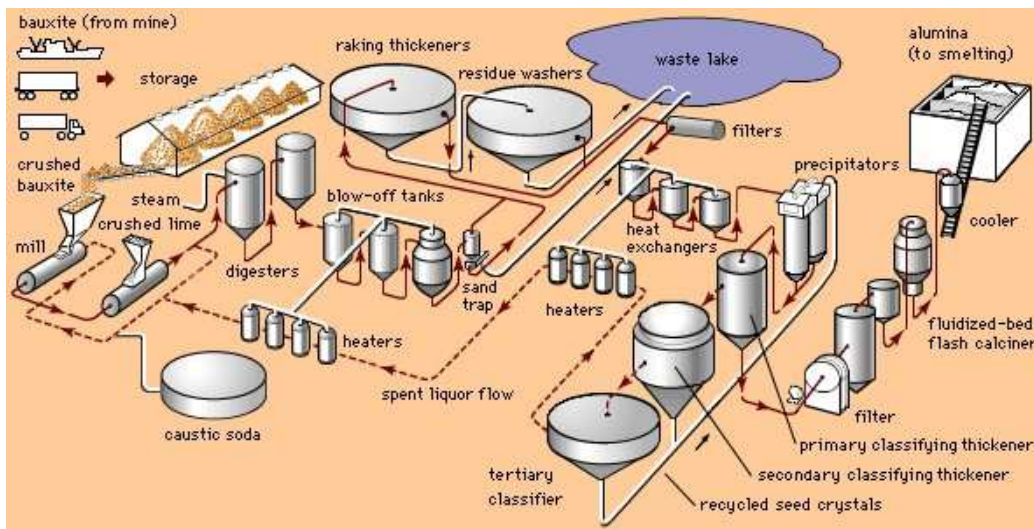
## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

2011: Η ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ λαμβάνει το 1ο Βραβείο από την Ευρωπαϊκή Ένωση Αλουμινίου για τον Τομέα Υγείας και Ασφάλειας.

2017: Συγχώνευση της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε. - ΟΜΙΛΟΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ, με τις βασικές θυγατρικές της ΜΕΤΚΑ Α.Ε., ΠΡΟΤΕΡΓΙΑ Α.Ε. και ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ Β.Ε.Α.Ε. (ΜΥΤΙΛΙΝΑΙΟΣ Α.Ε., χ.χ.) (Αλουμίνιον Της Ελλάδος, χ.χ.)

### 3.2 Διάγραμμα Ροής

Η διαδικασία Bayer άρχισε να αποκτά ακόμη σπουδαιότερη σημασία μετά την εφεύρεση της μεθόδου παραγωγής αλουμινίου Hall-Heroult. Μέχρι σήμερα η διαδικασία παραμένει αμετάβλητη και χρησιμοποιείται για την παραγωγή σχεδόν όλης της παγκόσμιας παραγόμενης ποσότητας αλουμίνιας. Η μέθοδος Bayer συνίσταται στην κατεργασία του βωξίτη με μια σειρά συνδυασμένων υδρομεταλλουργικών και πυρομεταλλουργικών διεργασιών.



Εικόνα 6: Σχηματική Απεικόνιση του Διαγράμματος Ροής της Μεθόδου Bayer (Britannica.com)







Εικόνα 8: Μύλοι Άλεσης (alhellas.com)

### 3.3.2 Περιγραφή

Ο ελληνικός βωξίτης κατά τη λειοτρίβηση του στο τμήμα της άλεσης αναμιγνύεται με διάλυμα καυστικής σόδας και ασβέστη σε ποσοστό 3-4 %, παράγοντας ένα αιώρημα με συγκέντρωση στερέων 30-50 %, το οποίο τροφοδοτεί το τμήμα της εκχύλισης. Είναι πολύ σημαντικό η λειοτρίβηση να μην είναι εντονότερη, καθώς το υψηλό ποσοστό λεπτομερών τεμαχιδίων δημιουργεί προβλήματα στην καθίζηση.

Ο τροπικός βωξίτης θραύεται και φτάνει σε κοκκομετρία μικρότερη από 8 mm. Ο θραυσμένος τροπικός βωξίτης αναμιγνύεται σε έναν μύλο άλεσης με διάλυμα καυστικής σόδας δημιουργώντας αιώρημα με 35-40% στερεά. Σε αυτό το είδος βωξίτη κρίνεται απαραίτητη η διεργασία της αποπυριτίωσης για την περαιτέρω αξιοποίηση του. Έτσι, κατά την αποπυριτίωση το αιώρημα διατηρείται σε βρασμό σε θερμοκρασία 90-100°C υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες, και χρόνο παραμονής από 24 έως 30 ώρες, ώστε να διαλυθεί το πυρίτιο και να καταβυθιστεί ως προϊόν αποπυριτίωσης.

## 3.4 Προσβολή – Εκχύλιση

### 3.4.1 Σκοπός

Στόχος είναι να δημιουργούνται οι συνθήκες αντίδρασης της περιεχομένης στο βωξίτη αλουμίνιας με το ισχυρό διάλυμα σόδας του αιωρήματος ώστε να διαλυτοποιηθεί η μέγιστη δυνατή ποσότητα αυτής, και να διαχωριστεί έτσι από τα υπόλοιπα στοιχεία του βωξίτη (αδρανή κατάλοιπα). (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Προσβολή – ΜΥΤΙΑΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.) [8]

### 3.4.2 Περιγραφή

Το διάλυμα του ελληνικού βωξίτη όπως έχει δημιουργηθεί στους μύλους άλεσης οδηγείται για εκχύλιση σε δύο σειρές αυτοκλείστων. Κατά την προσβολή πραγματοποιείται η θέρμανση του ήδη προπαρασκευασμένου αιωρήματος, από τους 100°C στους 256-258°C και η παραμονή του για 4-8 ώρες σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση ατμού, ώστε να διαλυτοποιηθεί το μέγιστο δυνατό ποσοστό αλουμίνιας που εμπεριέχεται στο βωξίτη.

Στη συνέχεια, το αιώρημα μεταφέρεται στα αυτόκλειστα παραμονής, όπου παραμένει για 35 έως 55 λεπτά σε θερμοκρασία 250-252 °C. Η τελική φάση περιλαμβάνει τη διαδοχική εκτόνωση του αιωρήματος από τις 40 atm περίπου, σε 1.5 atm, με ταυτόχρονη παραγωγή ατμού που χρησιμοποιείται στους πρώτους εκτονωτές, προθερμαντήρες. Έτσι, η

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

θερμοκρασία του αιωρήματος μειώνεται στους περίπου 115-120°C στον τελευταίο εκτονωτή, πριν αυτό υποστεί αραίωση, για να αντληθεί προς την καθίζηση. Σε ενδιάμεσο στάδιο εκτόνωσης, εισάγεται και αιώρημα τροπικού βωξίτη. Εκεί, διαλυτοποιείται η αλουμίνα του τροπικού βωξίτη με απόδοση περίπου 100 %.

Υπό αυτές τις συνθήκες προσβολής, το μεγαλύτερο μέρος του αλουμίνιου γίνεται αιώρημα αργλικού νατρίου, ενώ τα υπόλοιπα οξείδια που περιέχονται στο βωξίτη παραμένουν αδιάλυτα συνιστώντας την ερυθρά ιλύ. Είναι σημαντικό να ειπωθεί εδώ πως η εκχυλισσιμότητα του βωξίτη εξαρτάται κυρίως από την ορυκτολογική του σύσταση.

### 3.5 Αραίωση

#### 3.5.1 Σκοπός

Σκοπός της αραίωσης είναι να μη διασπαστεί πρόωρα το αργλικό αιώρημα (aluminat) που δημιουργήθηκε στην προσβολή. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Αραίωση- ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.) [9]

#### 3.5.2 Περιγραφή

Πριν το αιώρημα της προσβολής, που έχει τώρα συγκέντρωση περίπου 220 g/l Na<sub>2</sub>O, οδηγηθεί στην καθίζηση μεταφέρεται σε δεξαμενές όπου αναμιγνύεται με νερό προερχόμενο από την πλύση ώστε να αραιωθεί και να αποκτήσει μια συγκέντρωση σε σόδα 158g/l Na<sub>2</sub>O. Η θερμοκρασία διατηρείται μεταξύ 95-105 °C.

### 3.6 Καθίζηση

#### 3.6.1 Σκοπός

Στόχος της διεργασίας είναι η πύκνωση του προερχόμενου από την εκχύλιση πολφού ώστε να καθιζάνουν τα στερεά σωματίδια (ερυθρά ιλύς) και να ληφθεί το διάλυμα αλουμίνας και σόδας που πάει προς το στάδιο της διάσπασης και της τελικής παραγωγής της αλουμίνας. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Καθίζηση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.) [10]

#### 3.6.2 Περιγραφή

Ο αραιωμένος πολφός, έχοντας μια συγκέντρωση σε στερεά 50-60 g/l, εισάγεται σε πυκνωτές. Τα στερεά σωματίδια είναι η ερυθρά ιλύς η οποία έχει κοκκομετρία 0,1-20μ. Για τη διεξαγωγή της πύκνωσης είναι σημαντικό να υπάρχει στους πυκνωτές μεγάλη επιφάνεια και ταυτόχρονα μικρή παροχή, αργή ανάδευση και σταθερή θερμοκρασία σχετικά υψηλή για να μη συμβεί πρόωρη κρυστάλλωση της αλουμίνας. Από την πύκνωση λαμβάνεται διάλυμα Αλουμίνας και Σόδας (Aluminat) και Ερυθρά Ιλύς, η οποία καθιζάνει και είναι πλούσια κυρίως σε Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, 2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 2Na<sub>2</sub>O.6SiO<sub>2</sub>.2NaOH.

Το aluminat περιέχει 20-100mg/l στερεά, για την απομάκρυνση των οποίων γίνεται στο διάλυμα διήθηση σε φίλτρα σε θερμοκρασία 90-95 °C. Πιο συγκεκριμένα, το υπερκείμενο διαυγές διάλυμα των πυκνωτών, οδηγείται σε φίλτρα όπου συγκρατούνται οι λεπτοί κόκκοι ιλύος που διέφυγαν κατά την καθίζηση. Το διηθημένο αργλικό νάτριο αποτελεί το διάλυμα από το οποίο αργότερα θα παραχθεί η ένυδρη αλουμίνα.



Εικόνα 1: Συσκευές Έκπλυσης (alhellas.com)

### 3.7 Πλύση

#### 3.7.1 Σκοπός

Σκοπός της διεργασίας είναι η ανάκτηση της περιεχόμενης σόδας από τον πολφό της καθίζησης (ιλύς). (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Πλύση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.) [11]

#### 3.7.2 Περιγραφή

Η ποσότητα της ερυθράς ιλύος χωρίζεται σε δύο μέρη και αποστέλλεται σε δύο σειρές εγκαταστάσεων πλύσης (πλυντήρια) που αποτελούνται από 5 πλυντήρια η κάθε μια. Σε αυτές γίνεται πλύση της ιλύος κατά αντιρροή με βιομηχανικό νερό, το οποίο σε κάθε επόμενο πλυντήριο εμπλουτίζεται σε σόδα και ανακυκλώνεται στο στάδιο της αραιώσης που αναφέρθηκε προηγουμένως. Η παροχή καθαρού νερού σε συνδυασμό με τα στάδια πλύσης βοηθάει στην ελαχιστοποίηση των απωλειών σόδας και διαλελυμένης αλουμίνας. Η ερυθρά ιλύς προχωρά στο στάδιο των φιλτροπρεσών, όπου διηθείται με στόχο να αφαιρεθεί η μέγιστη δυνατή υγρασία. Οι φιλτρόπρεσες είναι φίλτρα με επιφάνεια  $750\text{m}^2$  στα οποία γίνεται διήθηση υπό πίεση και χρησιμοποιούν φιλτρόπανα (πανιά) για τη συγκράτηση των στερεών καταλοίπων, τα οποία βγαίνουν με ποσοστό υγρασίας περίπου 26%. Με την ολοκλήρωση και αυτής της διεργασίας το διήθημα χρησιμοποιείται ξανά στον κύκλο της Bayer και τα ονομαζόμενα κατάλοιπα βωξίτη εναποτίθενται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους.

Κατά την πλύση παρεμβάλλεται και το στάδιο της καυστικοποίησης μετά το 2<sup>ο</sup> πλυντήριο, όπου το διαυγές διάλυμα του 2<sup>ου</sup> πλυντηρίου είναι πιο αραιό και με χαμηλή πυκνότητα. Έτσι για τον εμπλουτισμό του υφίσταται τη διαδικασία της καυστικοποίησης κατά την οποία απαλλάσσεται από προσμίξεις που δεσμεύουν την καυστική σόδα (νάτριο), κυριότερη από τις οποίες είναι το  $\text{CO}_2$ . Η καυστικοποίηση γίνεται με τη μέθοδο της προσθήκης ασβεστίου που μετατρέπει τα ανθρακικά άλατα σε ανθρακικό ασβέστιο. Στη συνέχεια, το αιώρημα περνά από δύο καθιζητήρες για διαχωρισμό του διαυγούς διαλύματος από τις λάσπες βωξίτη που απομακρύνονται. Το διαυγές διάλυμα κατευθύνεται προς το πρώτο πλυντήριο κάθε σειράς. Μία καλή απόδοση της καυστικοποίησης μας δίνει ποσοστό ανθρακικής σόδας στην έξοδο, της τάξης του 3 - 4 %.

### 3.8 Διάσπαση

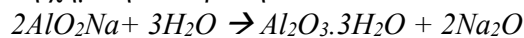
#### 3.8.1 Σκοπός

Σκοπός του σταδίου αυτού είναι η διάσπαση του αργλικού νατρίου σε σόδα και ένυδρη αλουμίνα ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διάσπαση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.) [12]

#### 3.8.2 Περιγραφή

Το aluminate μετά τη διήθηση του (ερυθρά διήθηση) ψύχεται σε εναλλάκτες θερμότητας μέχρι τη θερμοκρασία των 40-60 °C. Η διαλελυμένη αλουμίνα που περιέχεται στο αργλικό νάτριο υδρολύεται, με προσθήκη μεγάλης ποσότητας ένυδρης στερεής αλουμίνας (διεγέρτης), ισχυρή ανάδευση και χρόνο παραμονής περίπου 35 ώρες, δημιουργώντας κρυστάλλους ένυδρης αλουμίνας.

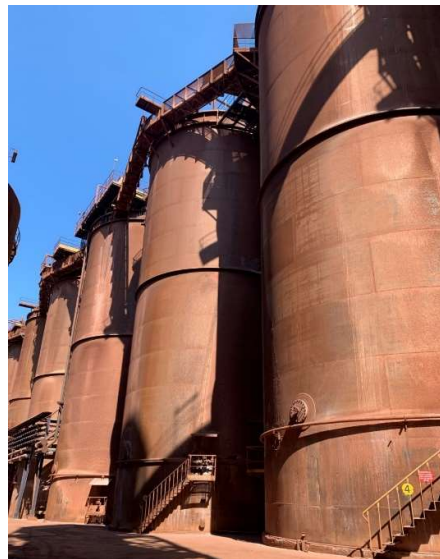
Η βασική χημική αντίδραση είναι:



Η συσσωμάτωση των κρυστάλλων υποβοηθείται με χρήση κροκιδωτικού. Η κρυστάλλωση πραγματοποιείται μέσα σε δύο σειρές από μεγάλες δεξαμενές (διασπαστές), ύψους 30 μ. και χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup>. Οι διασπαστές είναι εξοπλισμένοι με ανάδευση. Η διάσπαση στην αρχή είναι έντονη όπου και κρυσταλλώνεται το μεγαλύτερο μέρος της αλουμίνας αλλά και καθορίζεται το ξεκίνημα της μορφής των νέων κρυστάλλων.

Η διεργασία διεξάγεται σε μεγάλες δεξαμενές διάσπασης, όπου η προστιθέμενη χονδρόκοκκη αλουμίνα δημιουργεί πυρήνες πάνω στους οποίους προσκολλάται η λεπτομερής αλουμίνα και επέρχεται μεγέθυνση των κρυσταλλιτών. Η χονδρόκοκκη αλουμίνα λειτουργεί ως μαγιά, όπως συνηθίζεται να λέγεται. Για να συμβεί αυτό απαιτείται να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Χαμηλή θερμοκρασία (περίπου 60°C)
- Προσθήκη ένυδρης αλουμίνας, οι κόκκοι της οποίας συνιστούν τους πυρήνες κρυστάλλωσης
- Ισχυρή μηχανική ανάδευση για την εξασφάλιση της ομοιογένειας του υγρού
- Μεγάλος χρόνος παραμονής, ο οποίος επιτυγχάνεται με τη χρήση περίπου 10 δεξαμενών διάσπασης εν σειρά.



Εικόνα 10: Διασπαστές (alhellas.com)

### 3.9 Διήθηση- Ταξινόμηση

#### 3.9.1 Σκοπός

Το προϊόν της διάσπασης είναι ένα διάλυμα φτωχό σε νάτριο και πλούσιο σε αλουμίνα που οδηγείται σε περιστροφικά φίλτρα κενού για τη διήθηση του (λευκή διήθηση). Πριν μεταφερθεί στη λευκή διήθηση το αιώρημα οδηγείται στην ταξινόμηση, όπου διαχωρίζεται μέσω υδροκυκλώνων σε δύο μέρη. Το πρώτο ανακυκλώνεται στον πρώτο διασπαστή, ενώ το δεύτερο που είναι το χονδρομερές διαχωρίζεται από το διάλυμα και είναι πια έτοιμο για παραγωγή. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διήθηση-Ταξινόμηση – ΜΥΤΙΑΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.) [13]

#### 3.9.2 Περιγραφή

##### 3.9.2.1 Ταξινόμηση

Η ένυδρη αλουμίνα έχει κόκκους διαφόρων μεγεθών. Η ένυδρη αλουμίνα υφίσταται διαχωρισμό σε λεπτόκοκκο και χονδρόκοκκο κλάσμα σε υγρή φάση. Το χονδρόκοκκο κλάσμα αποτελεί την παραγωγή, ενώ το υπόλοιπο ανακυκλώνεται στη διάσπαση. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς το αιώρημα από το τέλος της διάσπασης, (liqueur decompose) εισάγεται κατά 50% με πίεση και ρυθμισμένη περιεκτικότητα στερεών στις συστοιχίες των κυκλώνων - διαχωριστών. Η φυγόκεντρος δύναμη που εφαρμόζεται στους κόκκους της αλουμίνας, εξασφαλίζει το διαχωρισμό τους σε χοντρούς και λεπτούς. Από εκεί, με κατάλληλα κυκλώματα, διοχετεύονται στα αντίστοιχα φίλτρα. ((Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διάσπασης- ΜΥΤΙΑΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.)

##### 3.9.2.2 Λευκή Διήθηση

Μετά τη διάσπαση ή την ταξινόμηση, το αιώρημα της ένυδρης αλουμίνας και του υγρού διαλύματος διηθείται σε περιστρεφόμενα δισκόφιλτρα, όπου με την επίδραση κενού το υγρό διαπερνά τους πόρους του φίλτρου και κατευθύνεται στις δεξαμενές διηθήματος και, μέσω των εναλλακτών, καταλήγει στην εξάτμιση. Η αλουμίνα, που παραμένει πάνω στο φιλτρόπανο και στεγνώνει, αποκολλάται τελικά από αυτό και κατευθύνεται στις δεξαμενές διεγέρσεως (amorce) λειτουργώντας ως μαγιά ή στις δεξαμενές ανάμιξης ένυδρης αλουμίνας για την τροφοδοσία των κλιβάνων διαπύρωσης αλουμίνας. (Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας Αλουμίνας, Στεργίου Γ., Pechiney, 2019)



Εικόνα 11: Φίλτρο Λευκής Διήθησης (alhellas.com)

### 3.10 Πύρωση

#### 3.10.1 Σκοπός

Σκοπός της μονάδας είναι η απομάκρυνση του νερού από την κρυσταλλική δομή της ένυδρης αλουμίνας και ο σχηματισμός κρυσταλλικής άνυδρης αλουμίνας με τη δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες που απαιτούνται για την παραγωγή αλουμινίου. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Άλεσης Θραύσης – ΜΥΤΙΑΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.)<sup>[14]</sup>

#### 3.10.2 Περιγραφή

Το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας που υφίσταται ο βωξίτης είναι η διαπύρωση της αλουμίνας. Σκοπός του σταδίου αυτού είναι η απομάκρυνση του νερού που υπάρχει με τη μορφή υγρασίας και κρυσταλλικών νερών. Η διαπύρωση γίνεται σε θερμοκρασία 1200°C σε 4 κλιβάνους: δύο οριζόντιους περιστροφικούς και δύο ρευστοστερεής κλίνης. Με τη διαπύρωση όχι μόνο συμβαίνει η απομάκρυνση των κρυσταλλικών νερών που περιέχονται στην αλουμίνα, αλλά ταυτόχρονα προσδίδεται η κρυσταλλική δομή α-  $Al_2O_3$  και οι φυσικοχημικές ιδιότητες που απαιτούνται για την παραγωγή αλουμινίου.

Η αλουμίνα, μετά την έξοδό της από τους κλιβάνους διαπύρωσης, ψύχεται και κοσκινίζεται σε ειδικά κόσκινα και απαλλάσσεται από τυχόν μικρά τεμάχια πυρίμαχης επένδυσης ή άλλου είδους κόκκους (συσσωματώματα αλουμίνας, κ.λπ.) καταλήγοντας τελικά στη χοάνη εξόδου για την περαιτέρω πνευματική διακίνησή της. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διαπύρωσης- Αμοντ- ΜΥΤΙΑΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.)

Η ποσότητα άνυδρης αλουμίνας που παράγεται χωρίζεται σε τρία μέρη, ένα για την τροφοδοσία του εργοστασίου αλουμινίου, το δεύτερο για την πώληση της στην αγορά και το τρίτο αποθηκεύεται σε κατάλληλους χώρους του εργοστασίου.<sup>[8][9]</sup>

##### 3.10.2.1 Αμόντ- Διήθηση 2<sup>ου</sup> Σταδίου

Σκοπός της διεργασίας είναι να διαχωρίσει (με φιλτράρισμα) την αλουμίνα από το υγρό και να την πλύνει από τη διαλυτή σόδα που τη διαβρέχει.

Αναλυτικότερα, η ένυδρη αλουμίνα μετά το φίλτρο παραγωγής στη λευκή διήθηση έχει υγρασία (διαβρέχεται από το υγρό διάλυμα L.D. ) 16 -20 % του βάρους της με περιεκτικότητα 165 - 170 gr/l  $Na_2O$  (σόδα). Η σόδα αυτή είναι διαλυτή στο νερό και φεύγει με πλύσιμο. Αν η σόδα δεν αφαιρεθεί καλά στο πλύσιμο, θα βρεθεί στο τελικό προϊόν, με αποτέλεσμα, αθροϊζόμενη στην αδιάλυτη σόδα που βρίσκεται μέσα στον κόκκο και δεν φεύγει με πλύσιμο, να ξεπεραστεί το όριο που ο πελάτης έχει καθορίσει. Η μεταφορά της ένυδρης αλουμίνας από τη λευκή διήθηση γίνεται με το διήθημα. Συγχρόνως γίνεται μια πρώτη αραίωση της σόδας που έχει το 16 - 20 % της διαβροχής με 165 - 170 gr/l από το διήθημα με 50 gr/l. Η αλουμίνα, στη συνέχεια, θα διαχωριστεί από το υγρό με φιλτράρισμα και θα πλυθεί. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διαπύρωσης- Αμοντ- ΜΥΤΙΑΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.)

##### 3.10.2.2 Κλίβανος Ρευστοστερεής Κλίνης - Αρχή Λειτουργίας

Ο κλίβανος αποτελείται από ένα σύστημα κυκλώνων προθέρμανσης, διαπύρωσης και ψύξης. Στους κυκλώνες προθέρμανσης η ένυδρη αλουμίνα αρχικά προθερμαίνεται, ενώ στη συνέχεια στους κυκλώνες διαπύρωσης διαπυρώνεται από τα καυσαέρια της καύσης του καυσίμου σε θερμοκρασίας της τάξης των 1000-1200°C. Στους κυκλώνες ψύξης, ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα ψύχει την αλουμίνα, και το θερμικό φορτίο που αποκτά χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την προθέρμανση της νεοεισαγόμενης στον κλίβανο ένυδρης αλουμίνας. Με αυτό τον τρόπο η εναλλαγή της θερμότητας είναι η καλύτερη

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

δυνατή. Η διακίνηση της αλουμίνας εντός του συστήματος πραγματοποιείται από τα ρεύματα καυσαερίων και αέρα, που εξασφαλίζονται κατά κύριο λόγο από τους ανεμιστήρες ελκυσμού και ψύξης. Η θερμότητα για την προθέρμανση και τη διαπύρωση εξασφαλίζεται από την καύση φυσικού αερίου (τρεις καυστήρες), ενώ η ψύξη επιτυγχάνεται με ψυκτήρα, ατμοσφαιρικό ψυγείο και δύο πλακοειδείς εναλλάκτες νερού. Τα καυσαέρια του κλιβάνου οδηγούνται σε σύστημα αποκονίωσης με σακκόφιλτρο, με απόδοση κατακράτησης σωματιδίων >99,9%. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διαπύρωσης- Αμοντ- ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.)

### 3.10.2.3 Περιστροφικοί κλίβανοι



Εικόνα 2: Περιστροφικοί Κλίβανοι (alhellas.com)

Οι περιστροφικοί κλίβανοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι μήκους 100 m περίπου και με διάμετρο 3,7 m. Εσωτερικά είναι επενδυμένοι με πυρίμαχο υλικό. Στο εξωτερικό περίβλημα φέρουν μεγάλα δακτυλίδια που κυλάνε πάνω σε κυλιόμενα έδρανα, εξασφαλίζοντας τη στήριξη και την περιστροφή μέσω ενός μηχανισμού κίνησης. Κάθε φούρνος δουλεύει σε σειρά και με ένα ψυγείο που στηρίζεται και περιστρέφεται όπως ο φούρνος. Εσωτερικά το πρώτο μέρος είναι επενδυμένο με πυρότουβλα, ενώ το υπόλοιπο εξωτερικά φέρει τα μπαλόνια ψύξης και εσωτερικά τα κόσκινα. Στο κάτω άκρο του φούρνου, είναι εγκατεστημένος ο καυστήρας ο οποίος λειτουργεί με μαζούτ, που θερμαίνεται και αντλείται σε δύο στάδια, ώστε να φθάσει στον καυστήρα με θερμοκρασία ~ 120°C και πίεση 30 Kg / cm<sup>2</sup>.

Η κατασκευή του καυστήρα με δύο κυκλώματα, το πρωτεύον και δευτερεύον, με κατάλληλα αντίστοιχα περάσματα του πετρελαίου στην κεφαλή του καυστήρα και σε συνδυασμό με τον πρωτεύοντα αέρα μέσω ενός ανεμιστήρα, στροβιλίζουν και εκνεφώνουν το καύσιμο, ώστε να έλθει ολοκληρωτικά σε επαφή με το οξυγόνο του αέρα και να γίνεται τέλεια καύση. Η ποσότητα του καυσίμου ρυθμίζεται ανάλογα με την ποσότητα της αλουμίνας που διοχετεύεται στο φούρνο για να διασφαλιστεί το κατάλληλο ψήσιμο της αλουμίνας. Οι περιστροφικοί φούρνοι έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και με φυσικό αέριο.

Η πλυμένη ένυδρη αλουμίνα εισάγεται από το επάνω μέρος του φούρνου (έξοδος των καυσαερίων) και κυλάει με την περιστροφή προς τον καυστήρα. Στην πορεία της φρενάρεται κάπως από φράγματα, που είναι κατασκευασμένα με πυρίμαχο υλικό στο εσωτερικό του φούρνου.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Κατά την κάθοδο της αλουμίνας προς τον καυστήρα, βρίσκεται σε επαφή με όλο και πιο θερμά αέρια. Στην αρχή φεύγει η υγρασία και από τους 200°C και πάνω αρχίζει η αποβολή του κρυσταλλικού H<sub>2</sub>O.

Η θέρμανση της αλουμίνας γίνεται από τα θερμά αέρια με τα οποία έρχεται σε επαφή κατά τη διαδρομή της. Το ρεύμα των καυσαερίων είναι αντίθετο με την κίνηση της αλουμίνας. Επίσης, η αλουμίνα θερμαίνεται και από την πυρίμαχη επένδυση που παίρνει θερμότητα επίσης από τα θερμά αέρια.

Το ψήσιμο της αλουμίνας ολοκληρώνεται μέχρι το ύψος του καυστήρα, ενώ στη συνέχεια αρχίζει το κρύωμα από τον δευτερεύοντα αέρα καύσης στα τελευταία μέτρα του φούρνου και στο πρώτο μέρος του ψυγείου. Το κρύωμα ολοκληρώνεται στα εξωτερικά μπαλόνια του ψυγείου, όπου εσωτερικά κυκλοφορεί η αλουμίνα και εξωτερικά το νερό ψύξης. Η ψημένη κρύα αλουμίνα περνάει από τα κόσκινα του ψυγείου και μέσω συστήματος πνευματικής μεταφοράς μεταφέρεται στα σιλό ή την ηλεκτρόλυση. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διαπυρωσης- Αμοντ- ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.) (Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας Αλουμίνας, Στεργίου Γ., Pechiney, 2019)

### 3.11 Εξάτμιση

#### 3.11.1 Σκοπός

Το διήθημα από τη λευκή διήθηση περιέχει μια σημαντική ποσότητα καυστικού νατρίου. Απαραίτητη προϋπόθεση για την οικονομία της μεθόδου και για να κλείσει ο κύκλος Bayer είναι η ανάκτηση της περιεχόμενης στο διάλυμα σόδας. Έτσι, το διήθημα οδηγείται στο τμήμα της εξάτμισης όπου γίνεται συμπύκνωση του διαλύματος εξατμίζοντας την υγρασία του. Από αρχική συγκέντρωση 158g/l φτάνει σε μια συγκέντρωση 230-240g/l και είναι πια κατάλληλο για την επαναχρησιμοποίηση του στην προσβολή του βωξίτη. (Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Εξάτμιση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.)[15]

#### 3.11.2 Περιγραφή

Αναφερόμενοι στην εξάτμιση, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η αρχή λειτουργίας ενός εξατμιστή. Εξατμιστής είναι μία συσκευή που αποτελείται από τον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντικό σώμα) και το διαχωριστή ατμού. Οι διαχωριστές είναι κυλινδρικά δοχεία με τα οποία επιτυγχάνεται διαχωρισμός του ατμού από το μίγμα ατμού – υγρού που εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας του εξατμιστή. Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις εξάτμισης περιλαμβάνουν διάφορες σωληνώσεις, αντλίες, σύστημα κενού και σύστημα ψύξεως/ συμπυκνωτήρα. Η θερμική απόδοση ενός συστήματος εξάτμισης εκφράζεται με την οικονομία του ατμού (E) που παρέχει. 
$$E = \frac{\text{(Εξατμιζόμενο νερό)}}{\text{(Καταναλισκόμενος Ατμός)}}$$

Στους εξατμιστές ενός στοιχείου η οικονομία ατμού είναι μικρότερη από την μονάδα (δηλαδή 1Kg ατμός που συμπυκνώνεται θα εξατμίσει λιγότερο από 1 Kg νερό). Μπορούμε όμως να αυξήσουμε την οικονομία του ατμού αν αυξήσουμε τα στάδια εξάτμισης. Δηλαδή αν ο παραγόμενος ατμός από το πρώτο στάδιο εξάτμισης οδηγηθεί σε ένα επόμενο στάδιο με μικρότερη πίεση αυτός θα θερμάνει και θα εξατμίσει ένα μέρος του υγρού που βρίσκεται στο δεύτερο στάδιο. Ο κάθε εξατμιστής έχει υγρό μικρότερης πίεσης από τον ατμό που του προκαλεί την εξάτμιση, ή ο ατμός που παράγεται από το πρώτο στοιχείο χρησιμεύει για τη θέρμανση του δεύτερου, ο ατμός του δεύτερου για το τρίτο και ούτω καθ' εξής.

Το τμήμα της εξάτμισης έχει δύο κύριες λειτουργίες σε ένα εργοστάσιο Bayer:

- Να ισορροπήσει το ισοζύγιο νερού



## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

- Να εξασφαλίσει την απαιτούμενη συγκέντρωση για την προσβολή του βωξίτη

Το διάλυμα μετά τους εναλλάκτες έχει αποκτήσει μία θερμοκρασία 80 -90°C, ενώ η συγκέντρωσή του σε σόδα είναι 165 - 175 gr/l. Όπως είναι όμως γνωστό, η προσβολή έχει ανάγκη από ένα διάλυμα σόδας με συγκέντρωση 230 - 240 gr/l. Άρα θα πρέπει το διάλυμα αυτό να συμπυκνωθεί και αυτό θα γίνει στο τμήμα της εξάτμισης με τη χρήση των δύο εξατμιστών E.W. και Kestner.

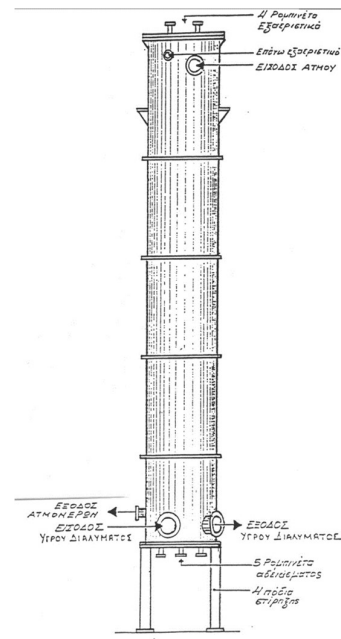
### 3.11.3 E.W.

Ο E.W. αποτελείται από: 6 προθερμαντήρες με 300 αυλούς και 6 εξατμιστές με 526 αυλούς. Το υγρό αρχικά εισάγεται στους προθερμαντήρες που αποτελούν ζευγάρι με κάθε εξατμιστή. Το υγρό διάλυμα κυκλοφορεί στο εσωτερικό των σωλήνων, αναγκάζομενο από στεγανά χωρίσματα που υπάρχουν στα καπάκια του προθερμαντήρα να κάνει διαδρομές πάνω κάτω, και ο ατμός από το εξωτερικό μέρος, συμπυκνούμενος θερμαίνει το υγρό. Η πίεση του υγρού μέσα στους προθερμαντήρες είναι μεγάλη για να μπορεί να κυκλοφορεί μέσα σε αυτούς έως και τον πρώτο εξατμιστή, χωρίς να παρατηρηθεί βρασμός.

Αντίθετα, στην αρχή των προθερμαντήρων το υγρό διάλυμα έχει υψηλή πίεση και χαμηλή θερμοκρασία, ενώ στο τέλος αυτών το υγρό εισέρχεται στον πρώτο εξατμιστή με θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία βρασμού που αντιστοιχεί στην πίεση που επικρατεί σε αυτόν και έτσι γίνεται εξάτμιση του υγρού. Ο ατμός της εξάτμισης από το πρώτο στοιχείο θερμαίνει το υγρό διάλυμα στο δεύτερο στοιχείο και προκαλεί νέα εξάτμιση σε χαμηλότερη πίεση. Η διαφορά αυτή της πίεσης επιτρέπει την κυκλοφορία του υγρού διαλύματος προς τον 2<sup>ο</sup> και όμοια προς τον 3<sup>ο</sup> και τον 4<sup>ο</sup> κ.λπ. εξατμιστή. Στους προθερμαντήρες η συγκέντρωση του διαλύματος παραμένει σταθερή, ενώ αυτή αυξάνει κατά μήκος των εξατμιστών.

Σε ότι αφορά την κυκλοφορία του υγρού στους εξατμιστές του E.W., αυτό κυκλοφορεί προς την ίδια κατεύθυνση με τον ατμό (ομορροή), και συμπυκνώνεται κρυστώνοντας από το πρώτο προς το τελευταίο στοιχείο. Ο ατμός κυκλοφορεί, όμοια με τους προθερμαντήρες, στο εξωτερικό μέρος των αυλών και το υγρό διάλυμα στο εσωτερικό εισερχόμενο από το κάτω μέρος των αυλών και οδηγούμενο προς τα πάνω.

- Το υγρό που έχει μερικώς συμπυκνωθεί, βγαίνει από το κάτω μέρος του διαχωριστή και συνεχίζει στα επόμενα στοιχεία.
- Ο ατμός που έχει παραχθεί, βγαίνει από το πάνω μέρος και θερμαίνει το επόμενο στάδιο. Τα συμπυκνώματα του ατμού, ανάλογα από ποιον ατμό προέρχονται και το ποσοστό της σόδας που περιέχουν, αποτελούν τα E.D.P, E.D.A και E.D.S. Τα E.D.A., επειδή έχουν υψηλή θερμοκρασία και πίεση, πριν σταλούν στη δεξαμενή, εκτονώνονται προς τα επόμενα στοιχεία μικρότερης πίεσης.

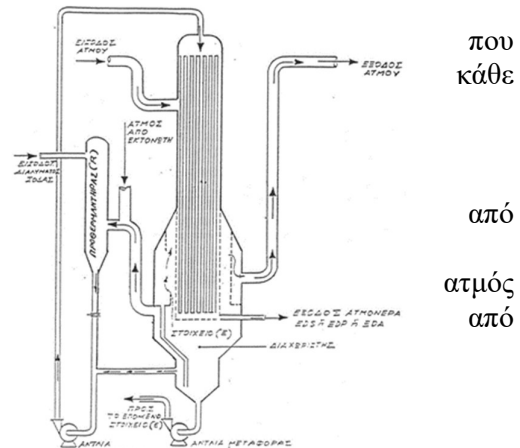


Εικόνα 33: Εξατμιστής EW Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Εξάτμιση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

### 3.11.4 KESTNER

Ο Kestner αποτελείται από: 8 εξατμιστές με 600 αυλούς, 6 προθερμαντήρες ανάμειξης και 7 εκτονωτές. Στον Kestner εισάγεται το υγρό διάλυμα στο τελευταίο στοιχείο, όπου η θερμοκρασία και η πίεση είναι η πιο χαμηλή, και προχωρά προς τη μεγαλύτερη πίεση και προς τα θερμότερα στοιχεία. Στην περίπτωση αυτή, για να κυκλοφορήσει το υγρό διάλυμα χρησιμοποιούνται αντλίες.

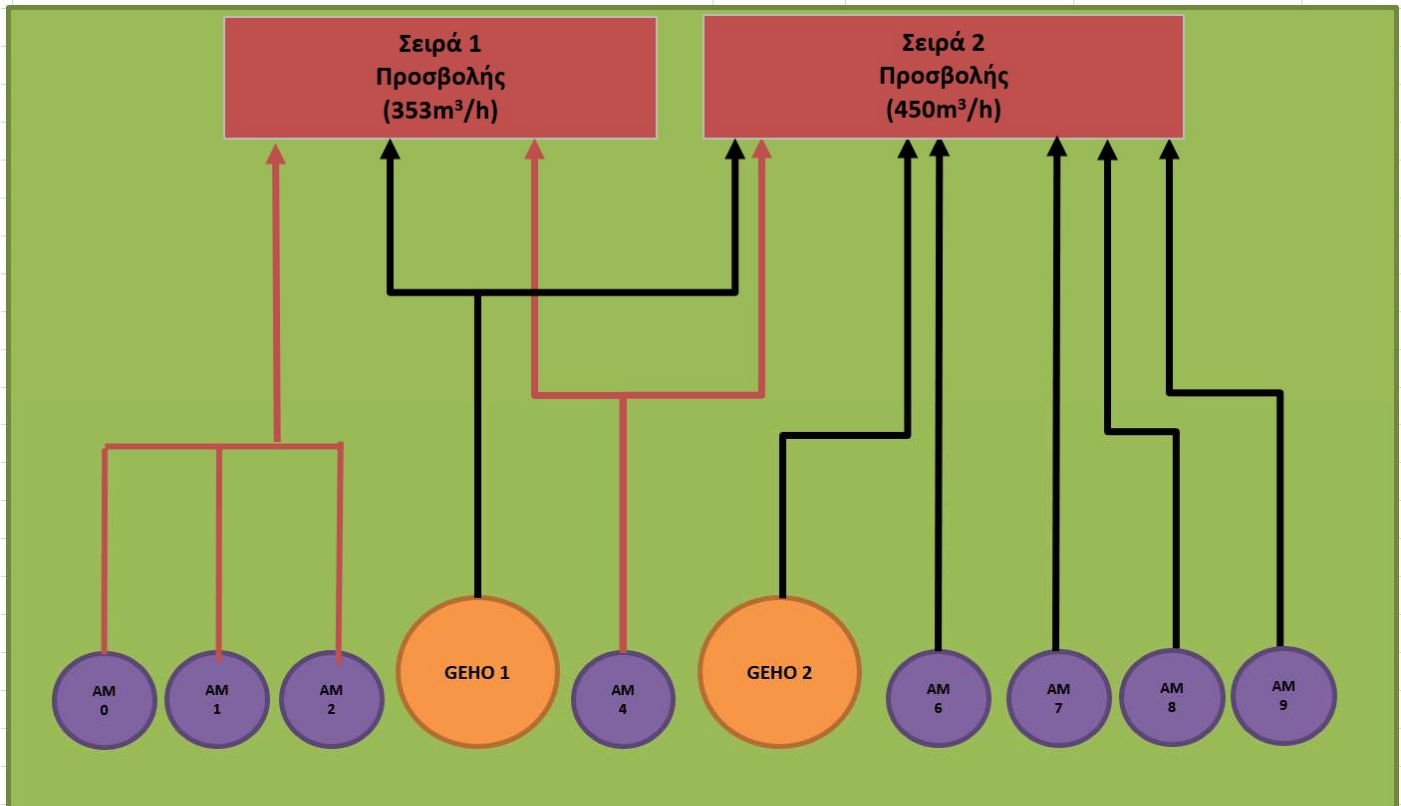
Υπάρχουν αντλίες μεταφοράς προς τον επόμενο εξατμιστή και αντλίες ανακύκλωσης παίρνουν το αιώρημα από το κάτω μέρος του εξατμιστή και το μεταφέρουν στο πάνω μέρος αυτού, όπου με έναν ειδικό διανομέα αυτό μοιράζεται μέσα στους αυλούς του εξατμιστή, θερμαίνεται από τον ατμό που κυκλοφορεί έξω τους αυλούς και βράζει. Δηλαδή, ο Kestner λειτουργεί με το σύστημα της καθόδου. Ο που παράγεται από το βρασμό διαχωρίζεται το υγρό στο διαχωριστή, που βρίσκεται στην περίπτωση του Kestner στο κάτω σημείο των εξατμιστών, και από εκεί θερμαίνει τον αντίστοιχο προθερμαντήρα απευθείας (χωρίς κάποιον ιδιαίτερο διαχωρισμό του ατμού από τα σταγονίδια) και το επόμενο στοιχείο, αφού κάνει μια ημικυκλική διαδρομή και αποχωριστεί από τα σταγονίδια. Ο ατμός κυκλοφορεί στα στοιχεία από τη μεγαλύτερη πίεση προς τη μικρότερη, άρα αντίθετα με το υγρό διάλυμα (αντιρροή). Η τροφοδοσία του αιωρήματος στην είσοδο του Kestner δεν γίνεται όλη από τον πρώτο εξατμιστή, αλλά το  $\frac{1}{4}$  της παροχής εισάγεται στον εξατμιστή 6 (E6), το  $\frac{1}{4}$  στον εξατμιστή 5 και το υπόλοιπο  $\frac{1}{2}$  της παροχής στον εξατμιστή 4. (Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας Αλουμίνας, Στεργίου Γ., Pechiney, 2019) (Fabrication de l'alumine (Pechiney))



Εικόνα 44: Εξατμιστής Kestner Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Εξάτμιση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

#### 4. Αντλίες Τροφοδοσίας

Η τροφοδοσία αιωρήματος στο τμήμα της Προσβολής γίνεται με εννιά (9) εμβολοφόρες αντλίες υψηλής πίεσης, (Αντλίες Μεμβράνης). Οι αντλίες AM0, AM1, AM2, Geho1 και AM4 έχουν τη δυνατότητα να τροφοδοτούν τη Σειρά 1 Προσβολής, ενώ οι αντλίες AM4, Geho2, AM6, AM7, AM8 και AM9 τη Σειρά 2 Προσβολής.



Εικόνα 55:Διάγραμμα αντλιών τροφοδοσίας

##### 4.1 Αντλίες Μεμβράνης

Αναφερθήκαμε στην ανάγκη υψηλής πίεσης του αιωρήματος στα αυτόκλειστα και στην διαβρωτικότητα των στερεών του αιωρήματος. Πρέπει λοιπόν οι αντλίες που θα στείλουν το αιώρημα στις σειρές, να ανταποκρίνονται σ' αυτές τις ανάγκες. Τέτοιες είναι οι αντλίες μεμβράνης (σχήματα 11 - 12). Η ονομασία Αντλία Μεμβράνης οφείλεται στην μεμβράνη που διαχωρίζει το κινητήριο υγρό, νερό, από το αιώρημα.

Κάθε αντλία αποτελείται από 2 κύλινδρους διπλής ενέργειας που ο καθένας είναι συνδεδεμένος με δύο σώματα. Το κάθε σώμα χωρίζεται στα δύο από το λάστιχο. Η πλευρά του νερού έχει άμεση επικοινωνία με τον κύλινδρο ενώ η πλευρά του αιωρήματος: α)με την είσοδο του αιωρήματος μέσω του κλαπέ αναρρόφησης β)με την έξοδο του αιωρήματος μέσω του κλαπέ κατάθλιψης.

#### 4.1.1 Λειτουργία

Οι κύλινδροι και τα σώματα από την πλευρά του νερού είναι γεμάτα με νερό και η θέση του λάστιχου σε κάθε σώμα ανταποκρίνεται στην θέση του εμβόλου στον αντίστοιχο κύλινδρο. Τα σώματα από την πλευρά του αιωρήματος είναι επίσης γεμάτα με αιώρημα που στέλνουν οι αντλίες προ προσβολής προς τις σειρές. Κάθε κίνηση του εμβόλου μετατοπίζει όγκο νερού προς ή από το σώμα ίσο με τον όγκο του κυλίνδρου.

#### 4.1.2 Αναρρόφηση

Το αιώρημα, μέσω της αντλίας δεξαμενής προ προσβολής, βρίσκεται σε πίεση στους αγωγούς αναρρόφησης των σωμάτων. Το έμβολο κινείται προς την κατεύθυνση όπου ζητάει νερό από το σώμα. Έτσι η πίεση του αιωρήματος υπερνικάει το ελατήριο του κλαπέ αναρρόφησης και γεμίζει το σώμα ενώ την ίδια στιγμή το κλαπέ κατάθλιψης είναι κλειστό από την πίεση στον αγωγό κατάθλιψης. Το έμβολο ολοκληρώνει την διαδρομή και κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση σπρώχνοντας το νερό προς το σώμα και αρχίζει να μετατοπίζει το διαχωριστικό λάστιχο μεταφέροντας την κίνηση στο αιώρημα. Η αύξηση της πίεσης κλείνει το κλαπέ της αναρρόφησης και ανοίγει αυτό της κατάθλιψης από όπου βγαίνει το αιώρημα έως το τέλος της διαδρομής του εμβόλου. Αυτός είναι ένας ολόκληρος κύκλος για ένα σώμα. Το ίδιο αλλά σε διαφορετική φάση γινόταν ταυτόχρονα από την άλλη πλευρά του κυλίνδρου καθώς και στα άλλα δύο σώματα του δεύτερου κυλίνδρου.

Η κανονική θέση του διαχωριστικού λάστιχου για κάθε σώμα εξασφαλίζεται μέσω ενός ρυθμιστή που επιτρέπει την είσοδο ή έξοδο του νερού από το σώμα. Η είσοδος του νερού γίνεται κατά την φάση της αναρρόφησης από το υδροφόρο συγκρότημα (σχήμα 13).

Στην αναρρόφηση και κατάθλιψη των σωμάτων υπάρχουν αεροθύλακες οι οποίοι αποσβένουν τις μεταβολές της πίεσης κατά την αλλαγή των φάσεων. Στον αεροθύλακα της κατάθλιψης έχουμε μια συνεχόμενη μικρή είσοδο αέρα.

Η καλή λειτουργία της αντλίας απαιτεί:

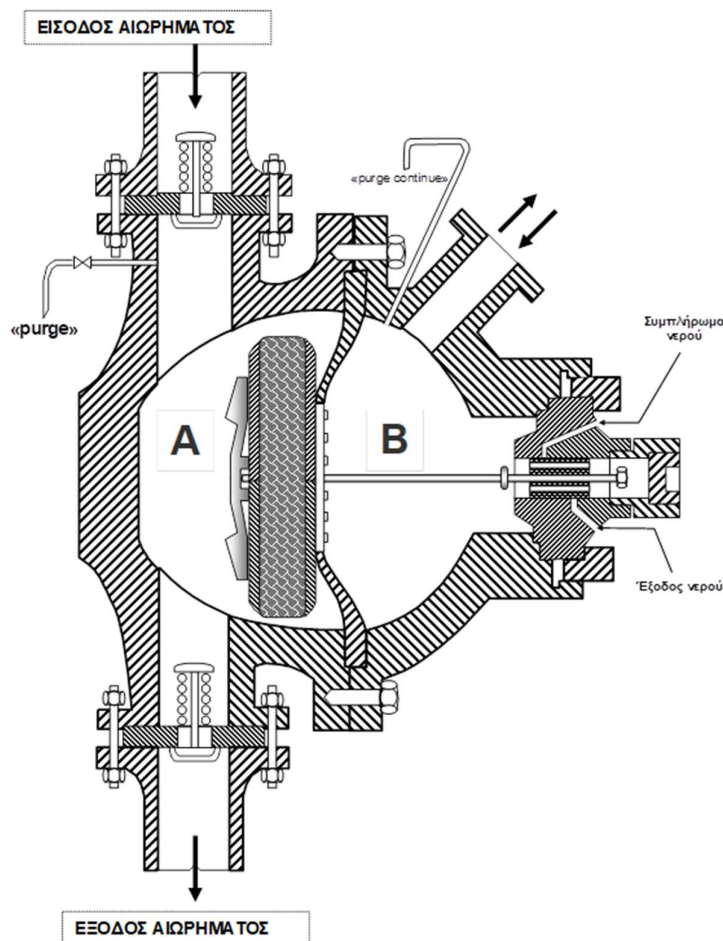
- ✓ Απουσία αέρα και από τις δύο πλευρές νερού και αιωρήματος.
- ✓ Καλή στεγανότητα των ελατήριων των εμβόλων.
- ✓ Καλή στεγανότητα των κλαπέ αναρρόφησης και κατάθλιψης.
- ✓ Καλή θέση των διαχωριστικών λάστιχων.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

- ✓ Επαρκή πίεση στην αναρρόφηση.
- ✓ Επαρκή ποσότητα αέρα στους αεροθύλακες.

Οι αντλίες είναι τύπου MAREP ZC 360 με τα εξής χαρακτηριστικά: Διάμετρος εμβόλου 8'' ή 203,8 mm - Διαδρομή εμβόλου 14'' ή 355,6 mm - Παροχή 150 m<sup>3</sup> /h - Πίεση στην κατάθλιψη μεγαλύτερη από την πίεση στο αντίστοιχο μπαλόνι, γιατί πρέπει να καλύψει την πίεση της στήλης έως την έξοδο στο μπαλόνι, τις απώλειες, τα κλαπέ. Οι κινητήρες είναι συνεχούς ρεύματος με μεταβαλλόμενες στροφές (μεταξύ 60 - 1000 στροφές / λεπτό). Η ισχύς των κινητήρων είναι: A.M. 1-4 320 CV, A.M 6-7 337 CV, A.M 9 450 CV, ένας εφεδρικός 250 CV.

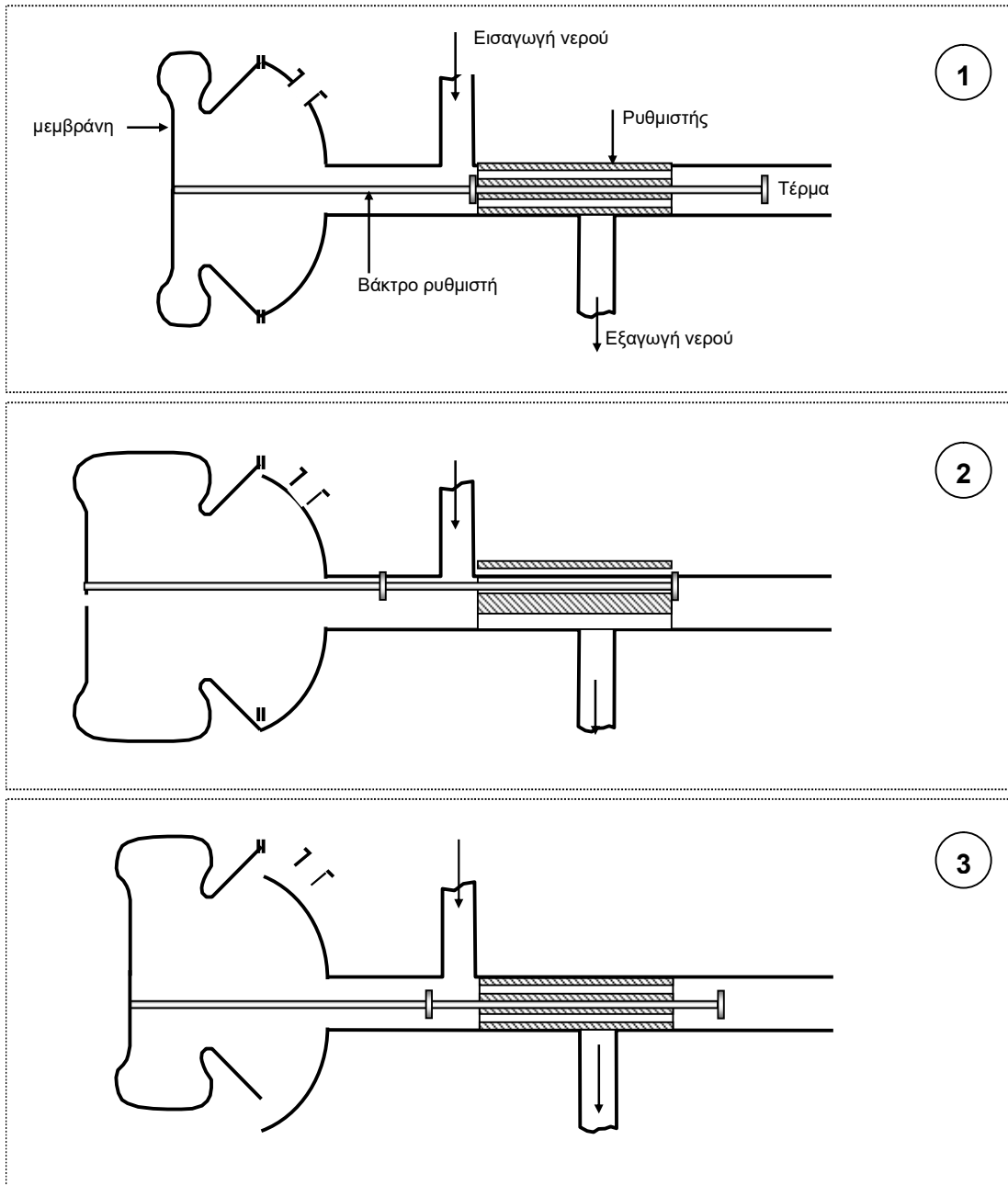
### ΣΩΜΑ ΑΝΤΙΑΙΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ



Εικόνα 16

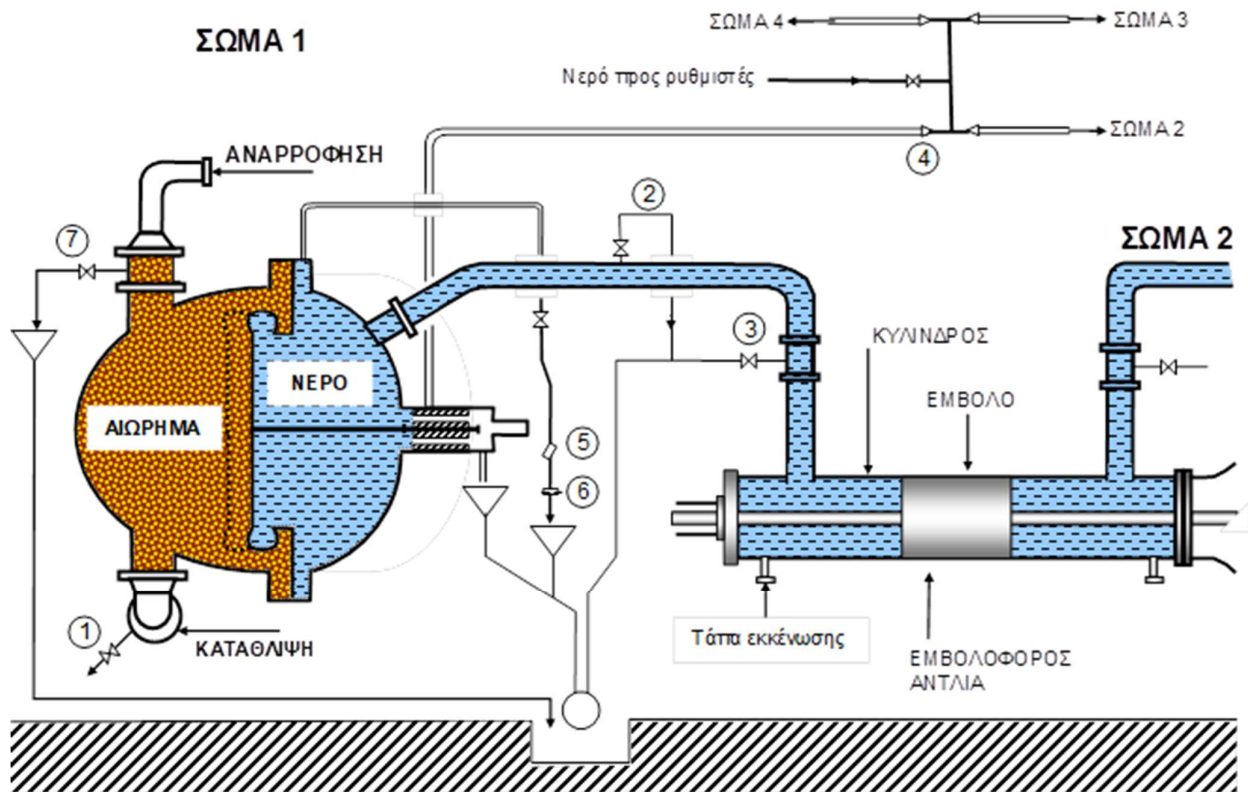
Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Προσβολή – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΘΕΣΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ



Εικόνα 17 Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Προσβολή – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού



- ① ΕΞΑΕΡΩΣΗ ΑΙΩΡΗΜΑΤΟΣ
- ② ΕΞΑΕΡΩΣΗ ΝΕΡΟΥ
- ③ ΕΞΑΕΡΩΣΗ ΝΕΡΟΥ
- ④ ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ
- ⑤ ΦΙΛΤΡΟ
- ⑥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ
- ⑦ ΕΞΑΕΡΩΣΗ ΑΙΩΡΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ

Εικόνα 18

Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Προσβολή – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

## 4.2 Αντλίες Geho

Λόγω της παλαιότητας των εγκαταστημένων αντλιών μεμβράνης, των αυξημένων τεχνικών προβλημάτων αυτών καθώς και της δυσκολίας εύρεσης ανταλλακτικών, αποφασίστηκε η αντικατάσταση κάποιων εξ αυτών με αντλίες ίδιας δράσης αλλά νέας τεχνολογίας. Αυτές είναι οι αντλίες Geho. Έχουν αντικατασταθεί η AM 3 για την σειρά 1 και η AM 5 για την σειρά 2. Το 2021 ολοκληρώθηκε και η αντικατάσταση των AM7,8,9 με τις Geho 3,4.

Η αντλία Geho είναι επίσης μια εμβολοφόρος αντλία διπλής ενέργειας, με 2 κυλίνδρους συνδεδεμένους με δύο σώματα ο καθένας, ακριβώς όπως και οι αντλίες μεμβράνης. Η λειτουργία της είναι ακριβώς η ίδια με την αντλία μεμβράνης με την μόνη διαφορά ότι το προωθητικό υγρό είναι λάδι και ότι δεν υπάρχει λάστιχο μεταξύ του λαδιού και του αιωρήματος αλλά ελαστική μεμβράνη.

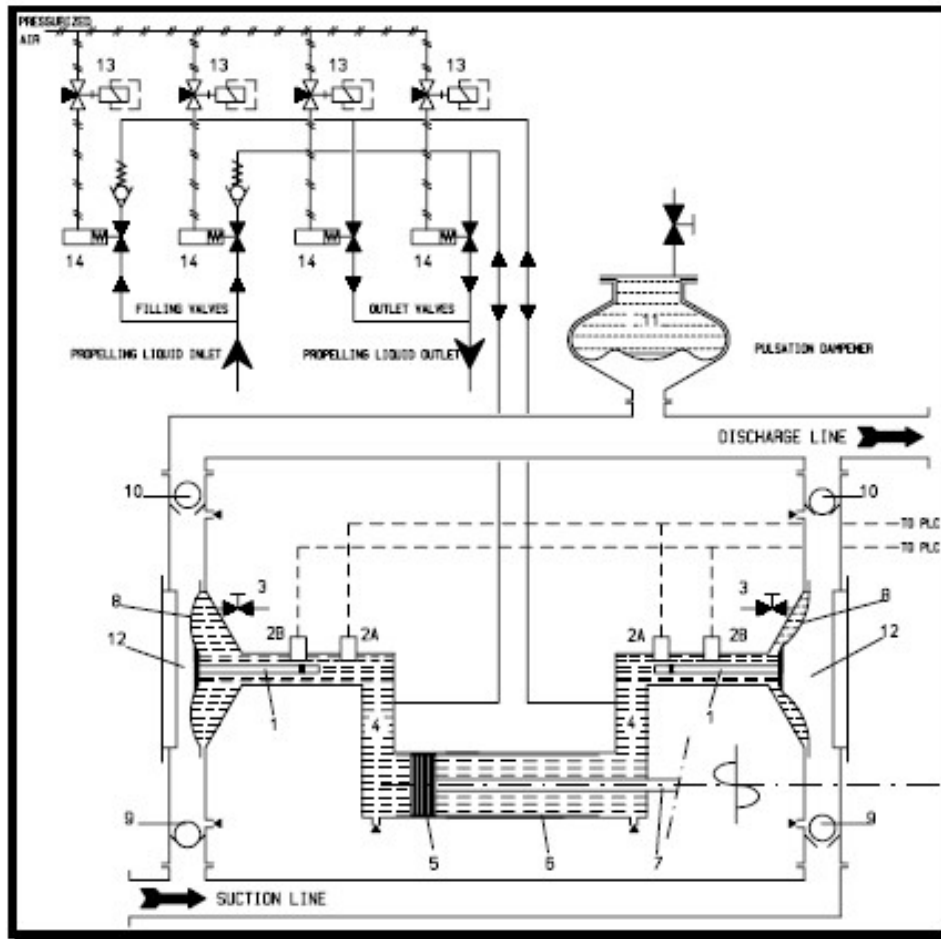
Οι αντλίες Geho είναι τύπου ZPM 1200 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Διάμετρος εμβόλου 320mm
- Διαδρομή εμβόλου 508mm
- Παροχή ελάχιστη: 185m<sup>3</sup>/h – μέγιστη: 490m<sup>3</sup>/h
- Πίεση λειτουργίας μέγιστη: 54bar

Στην συνέχεια ακολουθεί σχηματική παράσταση της αντλίας και επεξήγηση των βασικών τμημάτων αυτής (σχήμα 15).



Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού



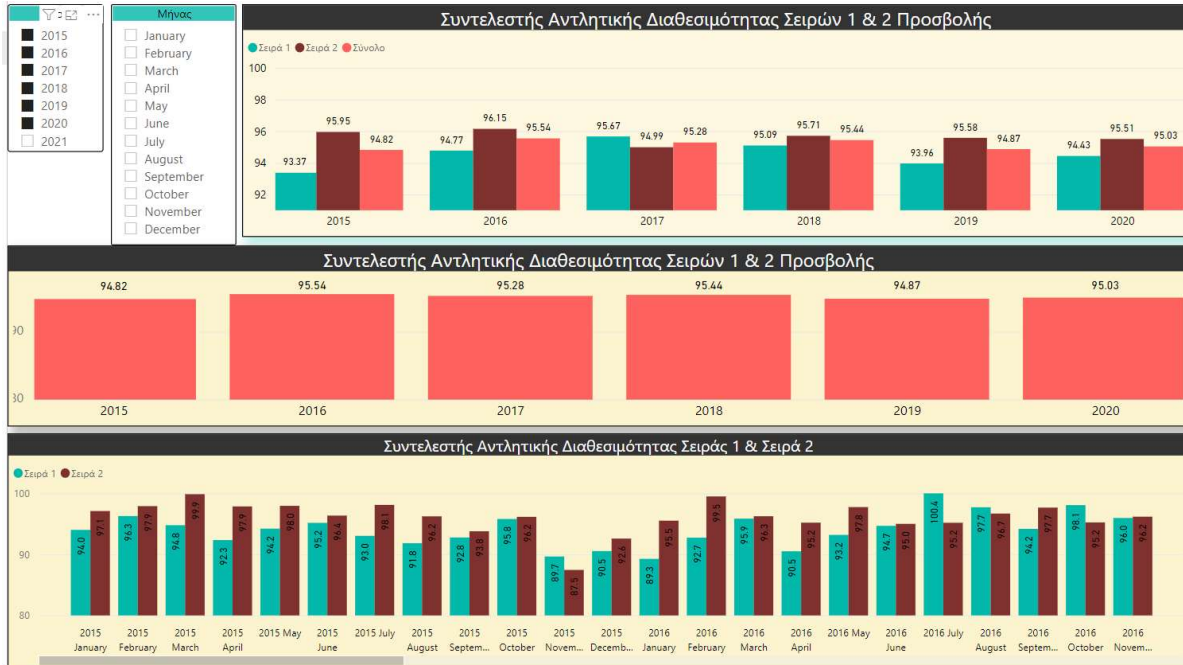
- |                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| 1. Ράβδοι παρακολούθησης   | 8. Διαφράγματα αντλίας             |
| 2. Ράβδοι παρακολούθησης   | 9. Βαλβίδες αναρρόφησης            |
| 3. Βαλβίδες εξαέρωσης      | 10. Βαλβίδες κατάθλιψης            |
| 4. Θάλαμοι υγρού προώθησης | 11. Αποσβεστήρας παλμού κατάθλιψης |
| 5. Έμβολο κίνησης          | 12. Θάλαμοι υδαρούς κονίας         |
| 6. Επενδύση κυλίνδρων      | 13. Βαλβίδες 3/2 δρόμων            |
| 7. Βάκτρο εμβόλου          | 14. Βαλβίδες 2/2 δρόμων            |

Εικόνα 19

Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Προσβολή – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

## 5. Αντλητική Διαθεσιμότητα

Ο εξοπλισμός αυτός είναι εξαιρετικά κρίσιμος και ο δείκτης αντλητικής διαθεσιμότητας τους αποτελεί έναν από τους βασικούς δείκτες του εργοστασίου Αλουμίνιας. Η μη διαθεσιμότητά τους οδηγεί σε απώλεια παραγωγής.



Διάγραμμα 2: Αντλητική Διαθεσιμότητα

Οι απώλειες διαχωρίζονται σε 7 κύριες κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους, οι οποίες είναι :

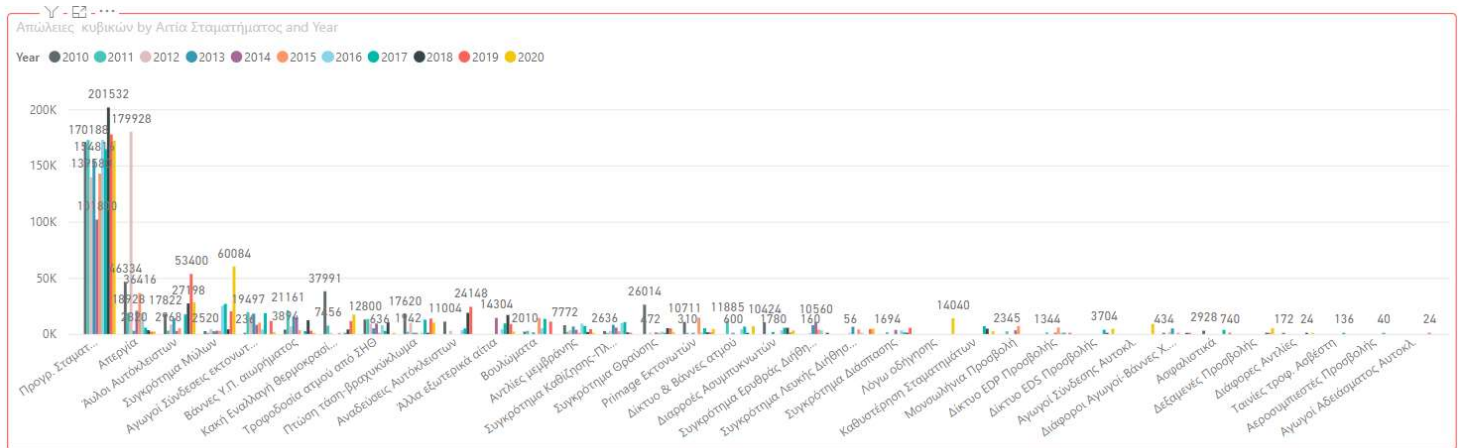
- Προγραμματισμένο Σταμάτημα
- Εξωτερικά Αίτια
- Διαρροές
- Άλλα Συνεργεία
- Διάφοροι Εξοπλισμοί
- Διάφορα Παραγωγής
- Δίκτυο Ρεύματος



Διάγραμμα 3: Απώλειες Παραγωγής ανά κατηγορία

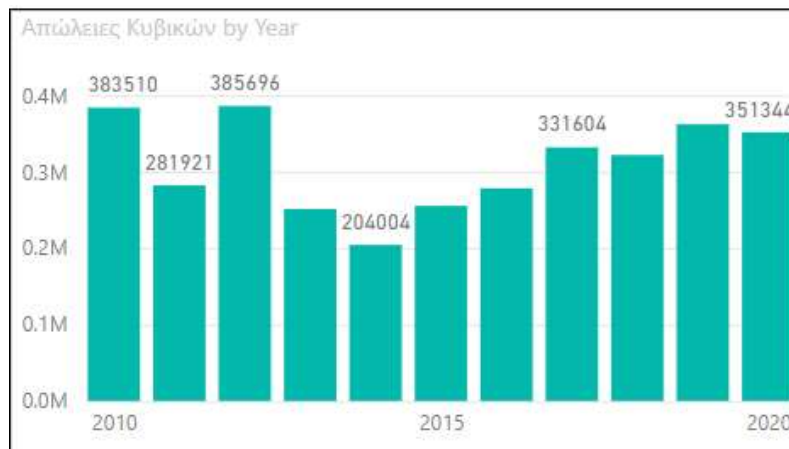
## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Οι κύριες κατηγορίες με τη σειρά τους διακρίνονται σε έναν αριθμό υποκατηγοριών, οι οποίες κάνουν πολύ πιο συγκεκριμένες τις αιτίες των απωλειών ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ανάλυσης και αποφυγής μελλοντικών απωλειών για τον ίδιο λόγο.



Διάγραμμα 4: Απώλειες Παραγωγής ανά αιτία

Οι αντλίες τροφοδοσίας αιωρήματος στις οποίες αναφερόμαστε ανήκουν στην κατηγορία : Διάφοροι Εξοπλισμοί και στην υποκατηγορία Αντλίες Μεμβράνης και αποτελούν μία από τις κύριες αιτίες που αφορούν άμεσα το κομμάτι του Τμήματος το οποίο μπορούμε και πρέπει να επηρεάσουμε ώστε να μειώσουμε τις απώλειες παραγωγής.



Διάγραμμα 5: Συνολικές Απώλειες ανά έτος

# Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

## 6. Συντήρηση – Βλάβες

Η συντήρηση του εξοπλισμού αντιστοιχεί σε εντολές και τύπους εργασιών που υλοποιούνται βάσει γνωστοποιήσεων, στα εκάστοτε κέντρα εργασίας, που καταχωρούνται στο πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης της εταιρίας.

**Τέλος**

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΓΝΩΣΤΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΜΕ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΥΠΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ			
ΤΥΠΟΣ ΓΝΩΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΙ ΤΥΠΟΙ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
M1 = Γνωστοποίηση έκτακτης βλάβης	PM0 = Αποκατάσταση βλάβης	11 = Έκτακτη εργασία - βλάβη 42 = Καταστροφή που αποζημιώνεται από ασφαλιστικό οργανισμό 44 = Εργασίες υποστήριξης παραγωγής	Εργασίες που προκύπτουν απρόβλεπτα και συνοδεύονται από απώλεια παραγωγής, εργασίες επιφυλακής, ... κλπ και ζητείται η εκτέλεσή τους άμεσα, οποιοδήποτε αίτημα της παραγωγής που ακυρώνει άλλη προγραμματισμένη εργασία.
M4 = Γνωστοποίηση παραγωγής (απαιτείται επικύρωση από παραγωγή)	PM1 = Διορθωτική επέμβαση	12 = Καταστροφή που αποζημιώνεται από ασφαλιστικό οργανισμό. 13 = Προγραμματισμένη επισκευή κατόπιν βλάβης 14 = Εργασίες υποστήριξης παραγωγής	12 = Φωτιά στην απαβεστοποίηση 13 = Προγραμματισμένη αλλαγή αντλίας ή επέμβαση μετά από πρόχειρη αποκατάσταση βλάβης. Εργασίες από παραγωγή που πρέπει να εκτελεστούν εντός της τρέχουσας εβδομάδας. 14= Απομόνωση δικτύου (ενέργειες ασφάλισης)
	PM2 = Επέμβαση προληπτικής συντήρησης	21 = Συστηματική προληπτική συντήρηση 22 = Περιοδικό έλεγχοι προληπτικής 23 = Εξασφάλιση ποιότητας - έλεγχοι που υπόκεινται σε νομοθεσία - κατόπιν μετρήσεων προληπτική 24 = Εργασίες που προκύπτουν κατόπιν προληπτικών ελέγχων	21 = Αντικατάσταση (χωρίς έλεγχο) εξαρτημάτων που έχουν γνωστό όριο ζωής, συστημικοί έλεγχοι συσκευών παραγωγής 22 = Περιοδικό οπτικοί έλεγχοι 23 = Έλεγχοι ΑΡΑΒΕ, μετρήσεις παχών - κραδασμών 24 = Επισκευές που προκύπτουν μετά από κάποιον έλεγχο
	PM6 = Εργαλεία παραγωγής	61 = Εργαλεία παραγωγής	Κατασκευή κλειδίων για βάννες, δείγματα, ζύστες, ... κλπ
	PM7 = Μεγάλες συντηρήσεις	71 = Μεγάλη συντήρηση 72 = Μεγάλη μεσαροπή συντήρησης (TOP) 73 = Βελτιστοποίηση νέων εγκαταστάσεων	Μεγάλες επεμβάσεις αποκατάστασης συσκευών που εγκρίνονται από την διεύθυνση με ξεχωριστό κονδύλι πληρωμής.
	PM4 = Μεσαροπή από παραγωγή / Επέμβαση για την ασφάλεια PM8 = Επέμβαση για καθαρισμό εγκατάστασης	41 = Μεσαροπή που ζητείται από παραγωγή 81 = Καθαρισμοί	Μεσαροπές εγκαταστάσεων που ζητούνται από την παραγωγή και που εγκρίνονται από την διεύθυνση. Εξουλώματα δικτύων παραγωγής, καθαρισμοί από λάδια, στήσιμο σκαλωσιών για καθαρισμούς, ... κλπ
M2 = Γνωστοποίηση συντήρησης (γίνεται μόνο από προσωπικό της συντήρησης μεταξύ συνεργείων)	PM1 = Διορθωτική επέμβαση	12 = Καταστροφή που αποζημιώνεται από ασφαλιστικό οργανισμό. 13 = Προγραμματισμένη επισκευή κατόπιν βλάβης 14 = Εργασίες υποστήριξης παραγωγής	12 = Φωτιά στην απαβεστοποίηση 13 = Προγραμματισμένη αλλαγή αντλία ή επέμβαση μετά από πρόχειρη αποκατάσταση βλάβης. 14= Απομόνωση δικτύου
	PM2 = Επέμβαση προληπτικής συντήρησης	21 = Συστηματική προληπτική συντήρηση 22 = Περιοδικό έλεγχοι προληπτικής 23 = Εξασφάλιση ποιότητας - έλεγχοι που υπόκεινται σε νομοθεσία - κατόπιν συνθήκης προληπτική 24 = Εργασίες που προκύπτουν κατόπιν προληπτικών ελέγχων	21 = Αντικατάσταση (χωρίς έλεγχο) εξαρτημάτων που έχουν γνωστό όριο ζωής 22 = Περιοδικό οπτικοί έλεγχοι 23 = Έλεγχοι ΑΡΑΒΕ, μετρήσεις παχών - κραδασμών 24 = Επισκευές που προκύπτουν μετά από κάποιον έλεγχο
	PM3 = Επέμβαση βελτίωσης που ζητείται από την συντήρηση	31 = μεσαροπή που ζητείται από την συντήρηση 32 = Υποστήριξη (AMDEC)	31 = Καβήρηση υδραυλικών συνδέσμων 32 = Γράψιμο οδηγίας επέμβασης από ομάδα αναλύσεων βλαβών
M5 = Γνωστοποίηση ανακαίνισης	PM5 = Επέμβαση ανακαίνισης συσκευών	51 = Ανακαίνιση συσκευών που αποθηκεύονται στην αποθήκη	Ανακαίνιση μειωτήρων - κινητήρων - αντλιών, ... κλπ
M6 = Γνωστοποίηση μεταφορών	MA1 = Επέμβαση μεταφορών	MA = Μεταφορές	Μεταφορά αντλίας, ανύψωση με γερανό, χρήση ομάδας για βαρεία αντικείμενα, ... κλπ
M7 = Γνωστοποίηση ασφάλειας	PM4 = Μεσαροπή από παραγωγή / Επέμβαση για την ασφάλεια	42 = Ασφάλεια	Επισκευή Διαδρόμων, σκαλοπατιών, κάγκελα, ... κλπ
M3= Έκθεση δραστηριότητας. Χρησιμοποιείται για ενημερώσεις για κάποια ενέργεια που έγινε έξω από τα προβλεπόμενα καθήκοντα κάποιου. Επίσης χρησιμεύει για παρατηρήσεις που μετά			

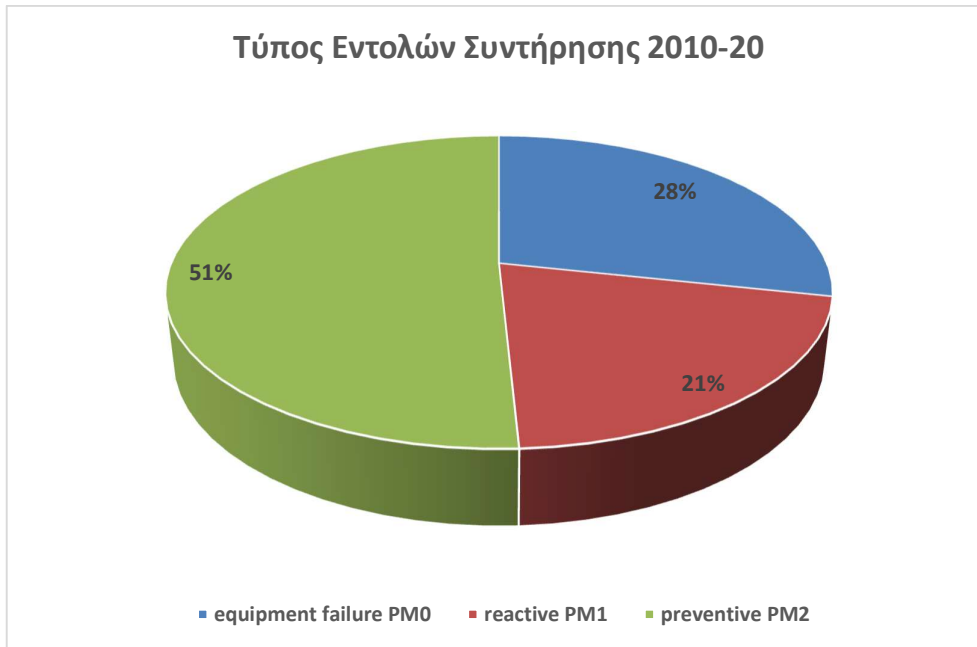
Πίνακας 1: Αντιστοίχιση γνωστοποιήσεων με εντολές και τύπων εργασιών

ΚέντΕ...	Σύντομη περιγραφή
6.EQ10	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ-ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΛΑΒΙΩΝ
6.EQ11	Σ/ΟΞ-ΜΣ ΕΡΓΟΛΑΒΙΕΣ ΒΑΝΝΕΣ & ΑΝΤΛΙΕΣ
6.EQ12	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ-ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΡΙΟ
6.EQ13	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ-ΛΙΠΑΝΣΗ
6.EQ14	ΓΕΝΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
6.EQ15	ΔΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ
6.EQ21	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
6.EQ21A	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ
6.EQ53	ΕΚΤΑΚΤΕΣ ΜΗΧΑΝΟΛ. ΒΛΑΒΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ
6.EQ54	ΟΜΑΔΑ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ
6.EQ55	ΗΛΕΚΤΡΟΛ.-ΗΛΕΚΤΡΟΝ. ΣΥΝΤΗΡ. ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ
6.EQ56	ΕΚΤΑΚΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛ. ΒΛΑΒΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ

Πίνακας 2: Τύπος εργασιών

## 7. Ανάλυση ιστορικού Συντήρησης – Βλαβών

Συγκεντρώνοντας τα στοιχεία ιστορικού βλαβών και συντήρησης του εξοπλισμού των αντλιών τροφοδοσίας από το 2010 έως το 2020 είχαμε τη δυνατότητα να ξεκινήσουμε το πρώτο επίπεδο ανάλυσης που αφορά τον τύπο εντολών συντήρησης.



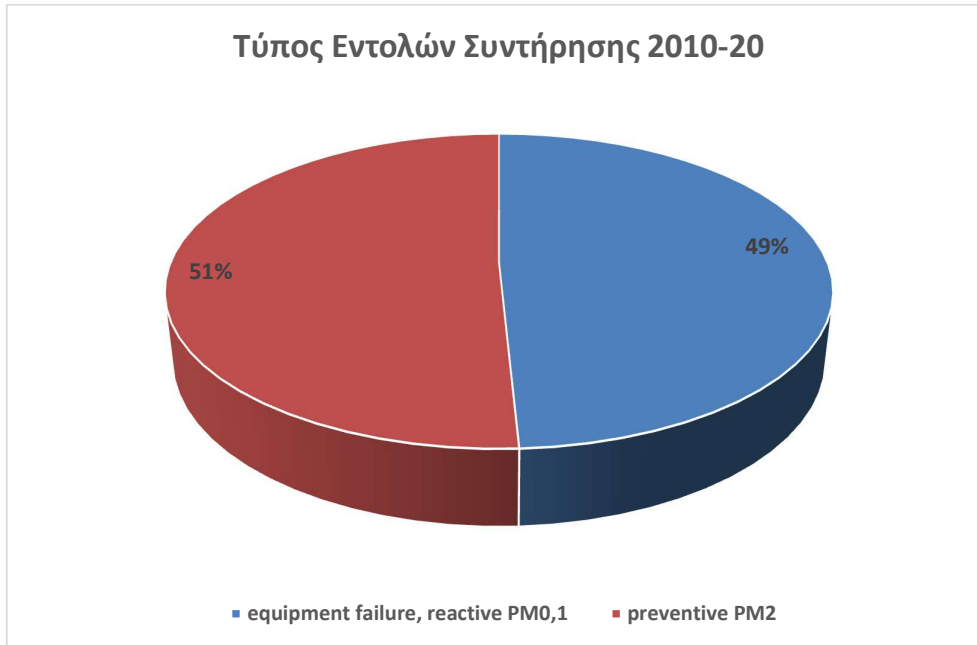
Διάγραμμα 6: Τύπος εντολών Συντήρησης 2010-20

	Τύπος Εντολής	Πλήθος	%
equipment failure	PM0	1948	28%
reactive	PM1	1430	21%
preventive	PM2	3487	51%
total		6865	

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι οι βλάβες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες και η διαφορά τους είναι στην κρισιμότητα και αμεσότητα της επέμβασης. Οι εντολές PM0 είναι βλάβες οι οποίες πρέπει να αποκατασταθούν άμεσα, ενώ οι PM1 είναι βλάβες οι οποίες μπορούν να προγραμματιστούν να αποκατασταθούν και δεν χρήζουν άμεσης αποκατάστασης. Από την άλλη μεριά οι εντολές PM2 αφορούν την προληπτική συντήρηση του εξοπλισμού.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Παρατηρούμε ότι το πλήθος των εντολών προληπτικής συντήρησης και έκτακτης συντήρησης είναι ισόποσα μοιρασμένο σε βάθος δεκαετίας. Άρα συνδυάζοντας τις εντολές PM0 και PM1 η μορφή του διαγράμματός μας είναι η ακόλουθη:



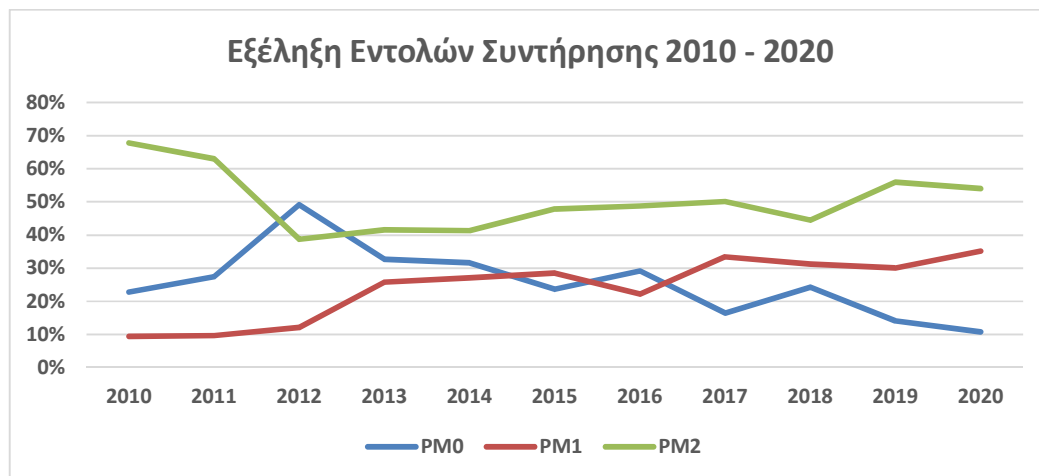
Διάγραμμα 7: Τύπος εντολών Συντήρησης 2010-20 (PM0,1 & PM2)

	Τύπος Εντολής	Πλήθος	%
equipment failure	<b>PM0,1</b>	3378	49%
preventive	<b>PM2</b>	3487	51%
total		6865	

Η συγκεκριμένη εικόνα μπορεί να θεωρηθεί αρκετά παραπλανητική και δεν είναι σε καμία περίπτωση ικανή να βγουν συμπεράσματα αν το πρόγραμμα της προληπτικής που ακολουθείται είναι το βέλτιστο. Σε ιδανικές συνθήκες οι βλάβες θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν λιγότερες πράγμα που θα μπορούσε να μεταφραστεί πως το πρόγραμμα της προληπτικής καλύπτει και προλαμβάνει την “κούραση” του εξοπλισμού.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

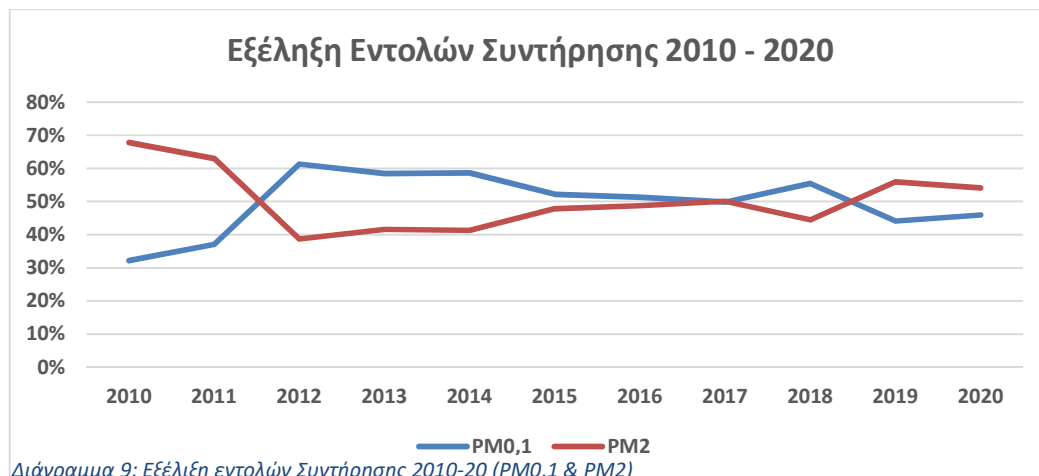
Προχωρώντας στο επόμενο στάδιο ανάλυσης στοχεύσαμε να δούμε πως κατανέμονται οι τύποι των εντολών ανά έτος. Το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό μιας και περιλαμβάνει μια αρκετά μεγάλη περίοδο στην οποία δεν διαφέρουν οι βασικοί παράγοντες παραγωγής, οπότε έχει μεγάλο ενδιαφέρον να δούμε πως είναι οι κατανομές ανά έτος



Διάγραμμα 8: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-20

Τύπος Εντολής	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PM0	23%	27%	49%	33%	32%	24%	29%	16%	24%	14%	11%
PM1	9%	10%	12%	26%	27%	29%	22%	33%	31%	30%	35%
PM2	68%	63%	39%	42%	41%	48%	49%	50%	45%	56%	54%

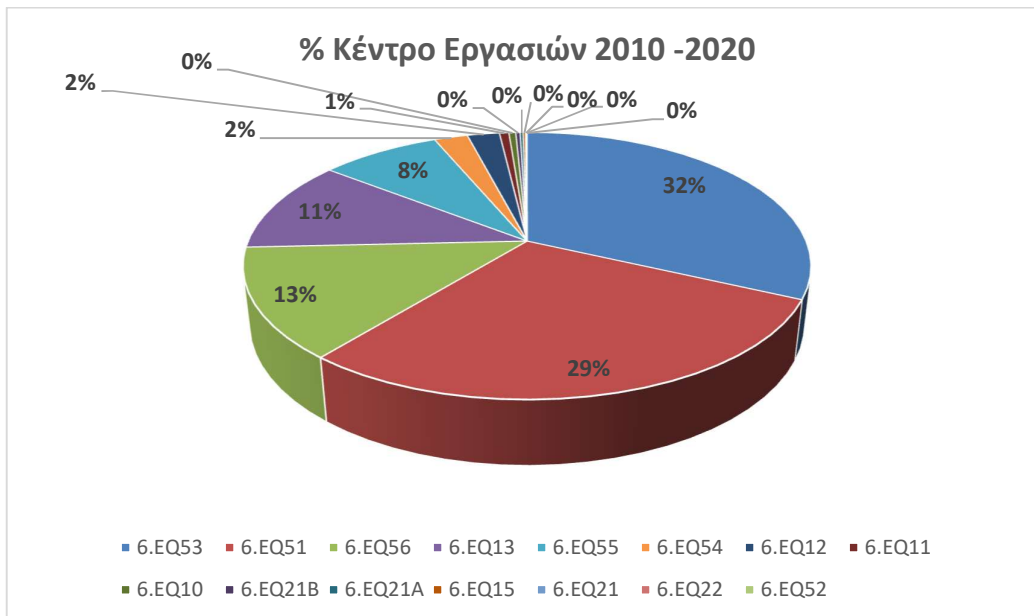
Σύμφωνα με το δεύτερο στάδιο ανάλυσης παρατηρούμε ότι από το 2012 και μετά το ποσοστό των εντολών PM2 είναι σταθερά κοντά και πάνω από το 50% με χαρακτηριστική φθίνουσα τάση στις εντολές PM0 πράγμα που σημαίνει ότι οι βλάβες που οδηγούν σε σταμάτημα του εξοπλισμού που χρήζουν άμεσης επέμβασης μειώνονται στην εξέλιξη των ετών. Αν θέλαμε να δούμε την εικόνα της κατανομής ομαδοποιώντας τις βλάβες PM0 και PM1 σε σχέση με τις PM2 η εικόνα είναι η ακόλουθη:



Διάγραμμα 9: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-20 (PM0,1 & PM2)

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Το επόμενο βήμα της ανάλυσης είναι να δούμε πως κατηγοριοποιούνται οι εντολές βάσει τα κέντρα εργασιών.



Διάγραμμα 10: Κατανομή ανά κέντρο εργασιών 2010-20

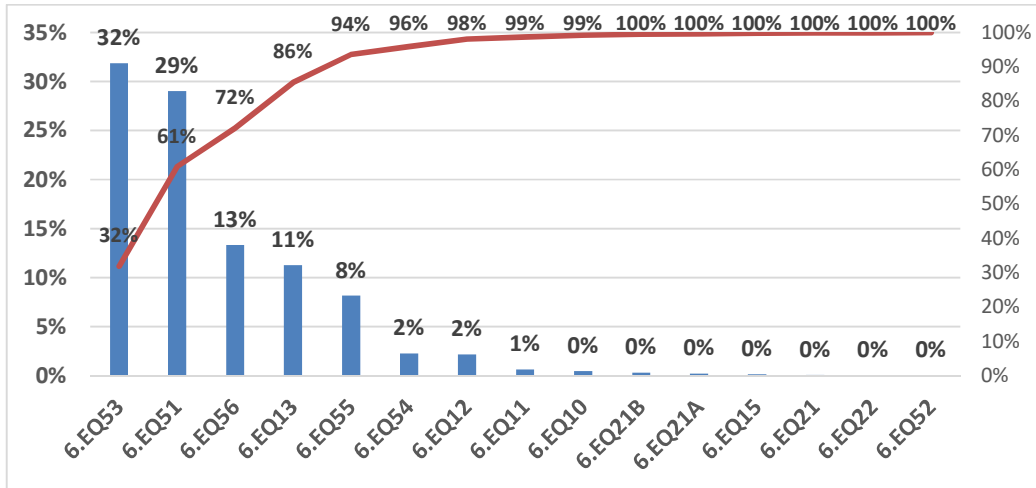
ΚέντρΕργ	Πλήθος	%
6.EQ53	2189	32%
6.EQ51	1992	29%
6.EQ56	916	13%
6.EQ13	773	11%
6.EQ55	559	8%
6.EQ54	156	2%
6.EQ12	150	2%
6.EQ11	44	1%
6.EQ10	32	0%
6.EQ21B	20	0%
6.EQ21A	14	0%
6.EQ15	11	0%
6.EQ21	6	0%
6.EQ22	1	0%
6.EQ52	1	0%
<b>total</b>	<b>6864</b>	

Πίνακας 3: Κέντρα εργασιών 2010-20



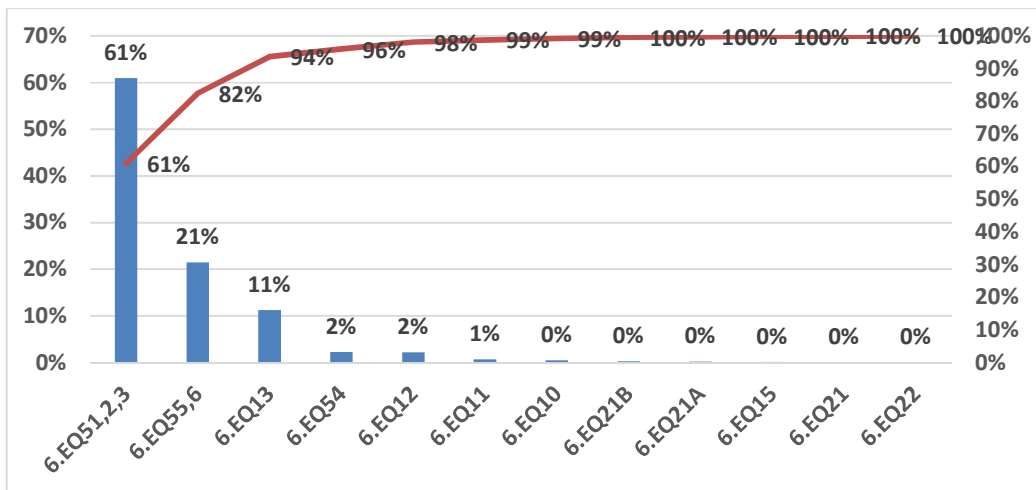
## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Βάσει της αρχής του Pareto παρατηρούμε ότι όσον αφορά το δείγμα μας τα κύρια κέντρα εργασιών που επηρεάζουν περισσότερο τις βλάβες μας είναι τα : EQ53, EQ51 και EQ13. (Εκτακτες μηχανολογικές βλάβες και Κεντρική συντήρηση – Λίπανση).



Διάγραμμα 11: Pareto κέντρων εργασιών 2010-20

Το EQ53 και το EQ51 αναφέρονται σε μηχανολογικές βλάβες οι οποίες όμως γνωστοποιούνται οι μεν από το προσωπικό της συντήρησης και οι δε από το προσωπικό της παραγωγής. Άρα επιλέγουμε να ομαδοποιήσουμε στην παρούσα φάση τα κέντρα εργασιών ώστε να δούμε και την άλλη εικόνα.



Διάγραμμα 12: Pareto κέντρων εργασιών 2010-20 (ομαδοποιημένο)

Η εικόνα του Pareto μετά την ομαδοποίηση των EQ51,2,3 (μηχανολογικές βλάβες) και EQ55,6 (ηλεκτρολογικές βλάβες) διαφοροποιεί κάπως την προηγούμενη κατάσταση βγάζοντας πιο σημαντικές τις ηλεκτρο-μηχανολογικές, αφήνοντας εκτός τις βλάβες που σχετίζονται με θέματα λίπανσης.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

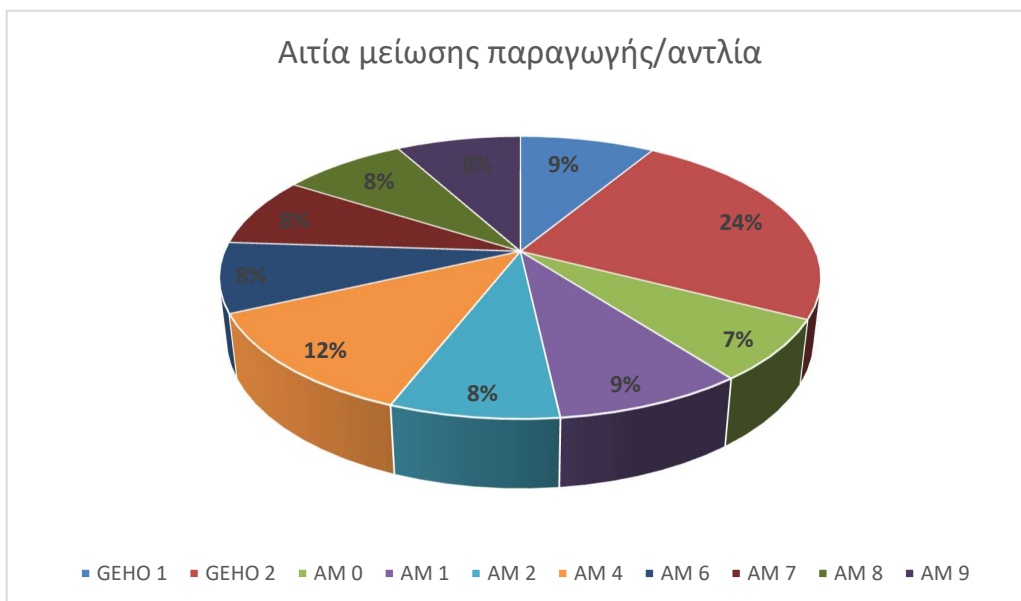
Αν δούμε πόσες φορές ή καλύτερα πόσα κυβικά – απώλειες παραγωγής είχαμε την τελευταία δεκαετία δηλαδή από το 2010 – 2020 θα καταλάβουμε ότι πρόκειται για ένα αξιοπρόσεχτο ποσό, 47,483m<sup>3</sup>.



Διάγραμμα 13: Απώλειες ανά έτος από αντλίες τροφοδοσίας

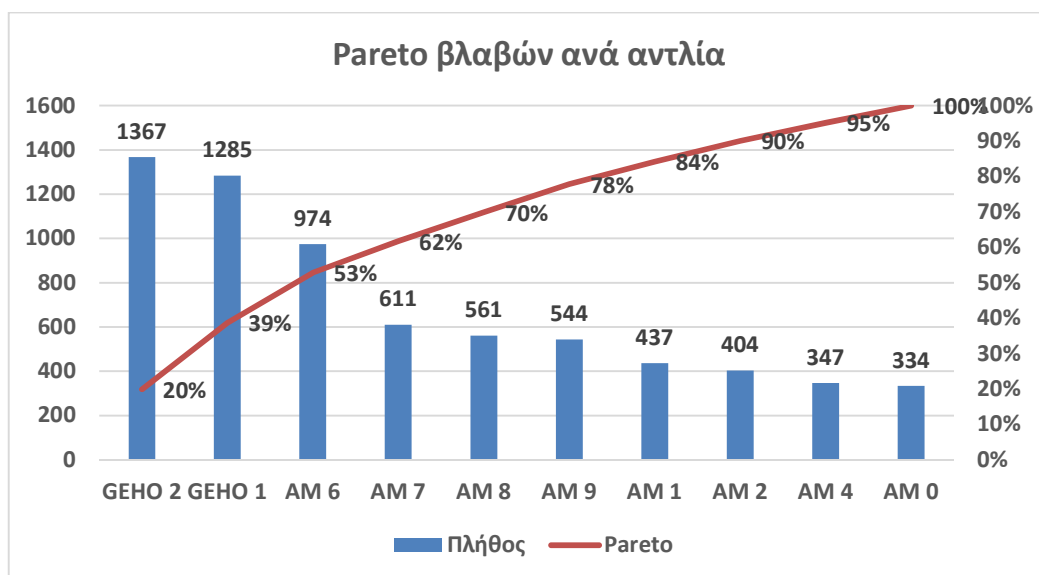
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Απώλειες (m <sup>3</sup> )	7.772	1.914	3.420	6.636	3.644	732	9.230	7.135	1.780	4.252	968

Η μέση απώλεια παραγωγής λόγω του συγκεκριμένου εξοπλισμού ανέρχεται σε μέση απώλεια παραγωγής λόγω του συγκεκριμένου εξοπλισμού ανέρχεται σε 4,317 m<sup>3</sup>/y. Παρακάτω ακολουθεί το ποσοστό υπαιτιότητας κάθε αντλίας στην απώλεια παραγωγής.



Η ίδια ανάλυση γίνεται ανά αντλία αλλά αυτή τη φορά κοιτώντας τις βλάβες και όχι τις απώλειες έχει την ακόλουθη εικόνα.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού



Διάγραμμα 15: Pareto βλαβών ανά αντλία τροφοδοσίας

Αντλία Τροφοδοσίας	Πλήθος	%	Pareto
GEHO 2	1367	20%	20%
GEHO 1	1285	19%	39%
AM 6	974	14%	53%
AM 7	611	9%	62%
AM 8	561	8%	70%
AM 9	544	8%	78%
AM 1	437	6%	84%
AM 2	404	6%	90%
AM 4	347	5%	95%
AM 0	334	5%	100%
Total	6864		

Πίνακας 4: Βλάβες ανά αντλία τροφοδοσίας

Παρατηρούμε ότι στο 80% του συνόλου των βλαβών ανήκουν οι αντλίες τροφοδοσίας της Σειράς 2 (Geho 2, AM6,7,8,9) και μόνο η GEHO 1 από τη Σειρά 1. Το ίδιο φαινόμενο φαίνεται καθαρά και στην προηγούμενη ανάλυση με τις απώλειες πράγμα που μας δείχνει αρχικά ότι υπάρχει ταύτιση στα επίπεδα ανάλυσης μας και επίσης μας κατευθύνει ως προς την στόχευσή μας.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Για να είναι όμως πιο αντιπροσωπευτική και κοντά στην πραγματικότητα η εικόνα και να μην οδηγηθούμε σε λάθος συμπεράσματα που θα έχουν ως συνέπεια σπατάλη χρόνου, πόρου και χρημάτων για βελτιώσεις – επενδύσεις θα πρέπει να συγκρίνουμε τις αντλίες έχοντας ως κοινό παρονομαστή το χρόνο λειτουργίας της κάθε αντλίας.

Ο βασικός λόγος για αυτή την ενέργεια είναι ότι οι αντλίες GEHO 1,2 είναι οι κύριες αντλίες τροφοδοσίας και οι υπόλοιπες έχουν ρόλο υποστηρικτικό και εφεδρικό.



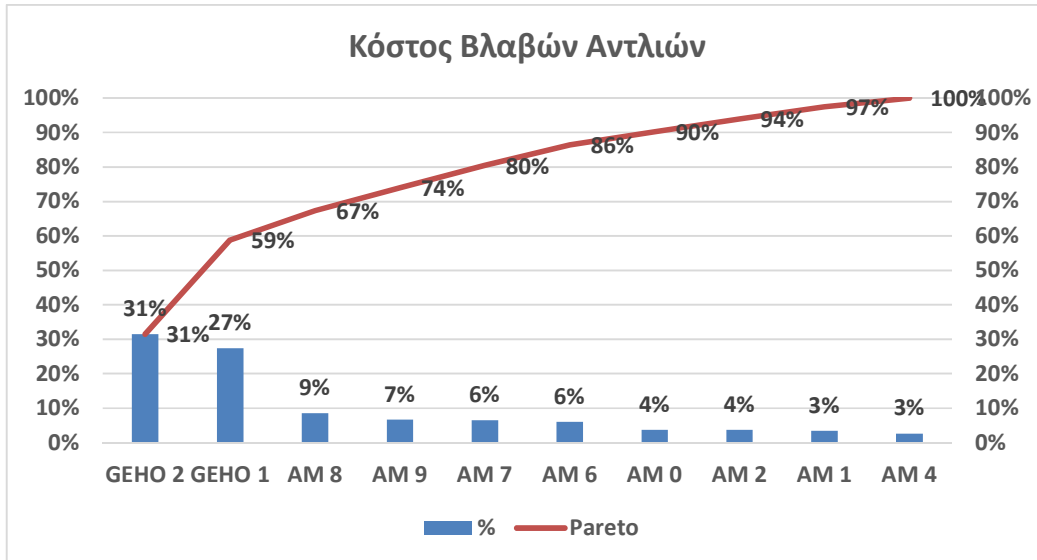
Διάγραμμα 16: Pareto θλαβών ανά ώρα λειτουργίας αντλιών τροφοδοσίας

Αντλία Τροφοδοσίας	Βλάβες/h λειτουργίας	%	Pareto
AM 4	0,0389	16%	16%
AM 6	0,0284	12%	28%
AM 7	0,0266	11%	39%
AM 1	0,0250	10%	50%
AM 2	0,0242	10%	60%
AM 8	0,0237	10%	70%
AM 9	0,0209	9%	79%
AM 0	0,0183	8%	86%
GEHO 2	0,0171	7%	93%
GEHO 1	0,0156	7%	100%

Πίνακας 5: Βλάβες ανά ώρα λειτουργίας αντλίας τροφοδοσίας

Η δεύτερη ανάλυση μας έδειξε μία διαφορετική εικόνα βγάζοντας εκτός score βελτιώσεων τις αντλίες GEHO 1,2 μιας και είναι τελευταίες στη λίστα. Από την άλλη μεριά οι αντλίες AM 6,7,8,9 είναι εντός περιμέτρου και στις δύο αναλύσεις πράγμα που σημαίνει πως όντως θα πρέπει να εστιάσουμε σε αυτές και να ασχοληθούμε περαιτέρω. Τέλος για να δούμε και από τη σκοπιά του κόστους βλαβών και επισκευής θα προβούμε και σε ανάλυση κόστους βλαβών ανά αντλία για ένα τελευταίο crosscheck.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού



Διάγραμμα 17: Pareto κόστους βλαβών ανά αντλία τροφοδοσίας

Αντλία Τροφοδοσίας	%	Pareto
GEHO 2	31%	31%
GEHO 1	27%	59%
AM 8	9%	67%
AM 9	7%	74%
AM 7	6%	80%
AM 6	6%	86%
AM 0	4%	90%
AM 2	4%	94%
AM 1	3%	97%
AM 4	3%	100%

Πίνακας 6: Κόστος βλαβών ανά αντλία τροφοδοσίας

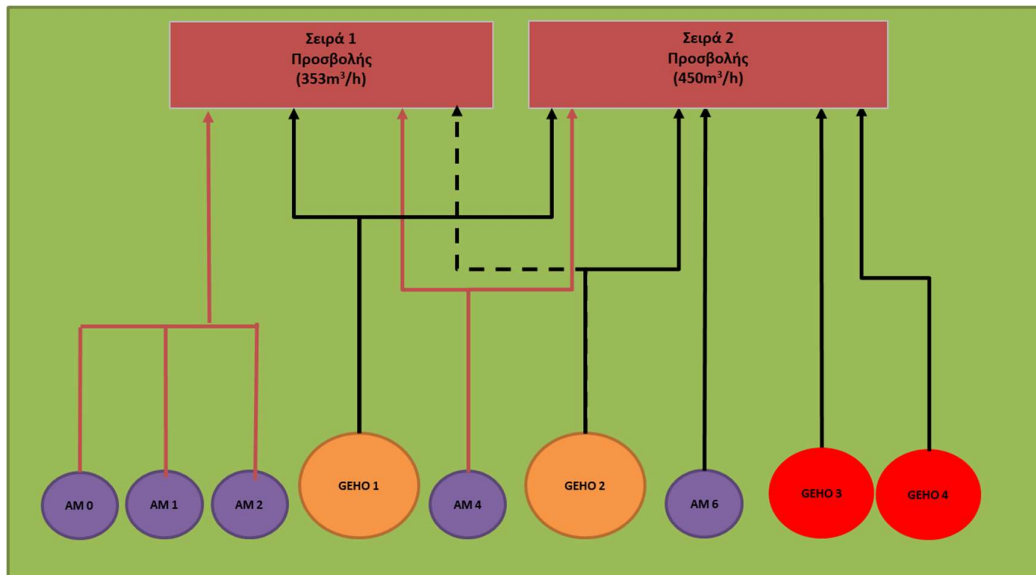
Και σε αυτή την ανάλυση βλέπουμε ότι οι αντλίες AM 7,8,9 είναι μέσα στα κύρια κόστη μας αλλά επανέρχονται οι GEHO 1,2. Βέβαια θα πρέπει να ελεγχθεί το κόστος συντήρησης – επισκευών των βλαβών σε σχέση με τις απώλειες και την αποφυγή κόστους από απώλεια παραγωγής..

## 8. Ενέργειες – Προτάσεις Βελτίωσης

Οι προτάσεις βελτίωσης χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες μιας και έχουμε 2 διαφορετικές ομάδες – τύπους αντλιών. Προτάσεις που αφορούν τις GEHO και προτάσεις που αφορούν τις AMς. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία όπως brainstorming, αναφορές σε benchmark και αξιολόγηση προτάσεων βάσει αποτελεσματικότητας, διαχρονικότητας, ευκολίας υλοποίησης και κόστους ώστε να καταλήξουμε στην παρακάτω λίστα.

Όσον αφορά τις AM 7,8,9 έγινε τεχνο-οικονομική μελέτη και αποφασίστηκε η αποξήλωση του μιας και το συνολικό κόστος συντήρησής τους ξεπερνούσε το κόστος συντήρησης μιας αντλίας GEHO παρόλο που ο χρόνος λειτουργίας και των τριών μαζί είναι σχεδόν το μισό μιας αντλίας GEHO.

Οι τρεις AMς αντικαταστάθηκαν από 2 αντλίες νέας τεχνολογίας τύπου GEHO μικρότερης δυναμικότητας από τις υπάρχουσες GEHO αλλά επί του συνόλου των τριών προηγούμενων μεγαλύτερης. Η νέα κατάσταση δηλαδή έχει πλέον την ακόλουθη μορφή.



Εικόνα 20: Νέο Διάγραμμα αντλιών τροφοδοσίας

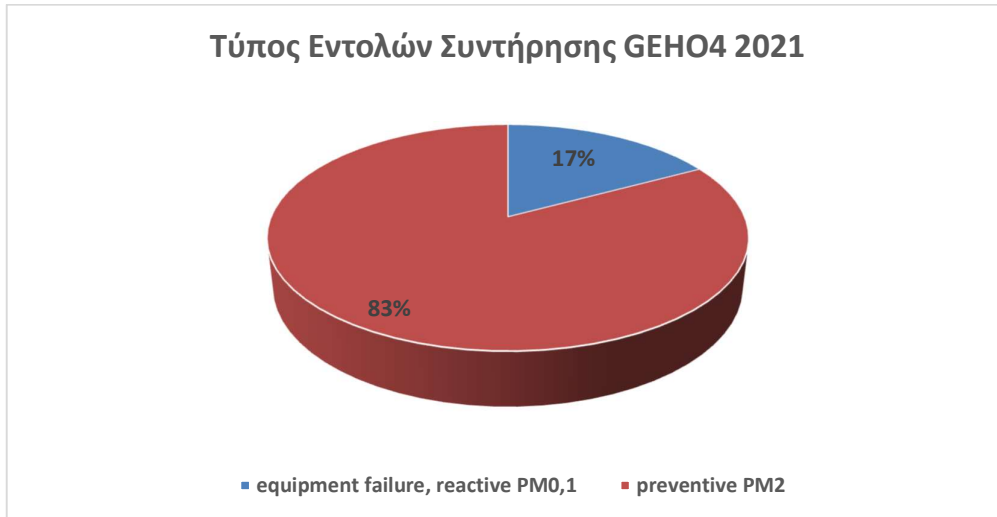
Παράλληλα εξετάζεται βάσει της διαθεσιμότητας του νέου εξοπλισμού σενάρια περεταίρω αποξήλωσης εξοπλισμού παλαιού τύπου χωρίς την αντικατάστασή τους από νέου τύπου όπως η GEHO3,4. Για κάτι τέτοιο όμως θα χρειαστεί χρόνος και θα είναι μια ενέργεια που θα παρακολουθεί η ομάδα παραγωγής στο control plan του έργου.

Αποξ.	Sheet	Σενάρια αριθμού αντλιών μεμβράνης στην εγκατάσταση	Απώλειες κυβικών (m <sup>3</sup> )
5	Σενάριο χωρίς AM	Καμία	65.901
4	Σενάριο με αντλία (AM4)	1	19.709
3	Σενάριο με αντλίες (AM4-6)	2	11.484
2	Σενάριο με αντλίες (AM4-2-1)	3	59
1	Σενάριο με αντλίες (AM4-2-1-6)	4	0

Πίνακας 7: Σενάρια λειτουργίας αντλιών τροφοδοσίας

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Οι βλάβες της αντλίας GEHO 4 για το πρώτο έτος λειτουργίας της που έχρηξαν άμεσης ή έκτακτης προγραμματισμένης επέμβασης ήταν μόλις τρεις (3), δηλαδή μόλις το 15% του συνόλου εντολών συντήρησης και επιπλέον καμία από αυτές δεν οδήγησε σε απώλεια παραγωγής. Κυρίως αφορούσαν “παιδικές ασθένειες” νέου εξοπλισμού.



Διάγραμμα 18: Τύπος εντολών αντλίας G4

Τύπος Εντολής	Πλήθος	%
PM0,1	6	17%
PM2	29	83%

Το ίδιο ισχύει και για την αντλία GEHO 3, η οποία ξεκίνησε τη λειτουργία της το δεύτερο εξάμηνο του 2021 αλλά τα ποσοστά της είναι ίδια με της 4.



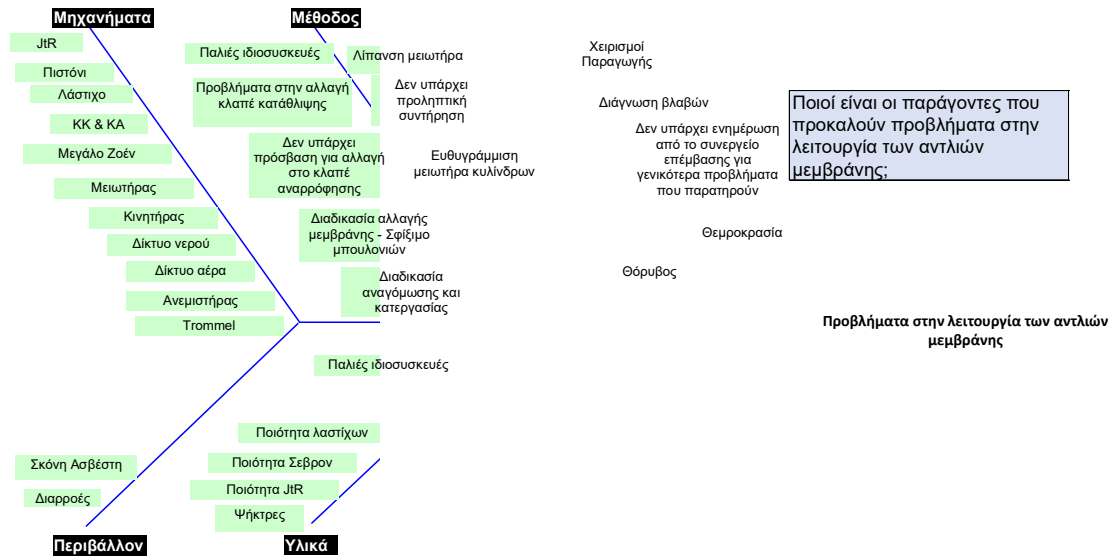
Διάγραμμα 19: Τύπος εντολών αντλίας G3

Τύπος Εντολής	Πλήθος	%
PM0,1	4	31%
PM2	9	69%

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Για τις αντλίες μεμβράνης επίσης ακολούθησε περαιτέρω ανάλυση των βλαβών χρησιμοποιώντας εργαλεία της μεθοδολογίας προκειμένου να εντοπιστούν και επιπλέον τεχνικές βελτιώσεις.

Αρχικά με τη χρήση του fishbone diagram εντοπίστηκαν οι παράγοντες που προκαλούν προβλήματα – δυσλειτουργίες στις αντλίες.



Διάγραμμα 20: Fishbone diagram – Ψαροκόκαλο αιτιών

Ακολούθησε αξιολόγηση των παραγόντων:

	Συχνότητα	Κόστος επισκευής	Χρόνος σταματήματος	Σύνολο
	1 έως 5	1 έως 5	1 έως 5	
<b>Πιστόνι</b>	5	3	2	30
<b>Λάστιχο</b>	4	4	1	16
<b>Μειωτήρας</b>	1	5	3	15
<b>ΚΚ</b>	4	3	1	12
<b>ΚΑ</b>	3	3	1	9
<b>Μεγάλο Ζοέν</b>	3	3	1	9
<b>Κινητήρας</b>	1	3	2	6
<b>JtR</b>	5	1	1	5
<b>Δίκτυο αέρα</b>	3	1	1	3
<b>Δίκτυο νερού</b>	3	1	1	3
<b>Trommel</b>	1	2	1	2

Πίνακας 8: Αξιολόγηση παραγόντων και κριτήρια αξιολόγησης

Συχνότητα	1
	<5 φορές
	5-10 φορές
	10-20 φορές
	20-30 φορές
> 30 φορές	

Κόστος	1
	<200€
	200-500€
	500-1000€
	1000-5000€
>5000€	

Χρόνος σταματήματος	1
	<4h
	4-8h
	8-16h
	16-32h
>32h	



## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

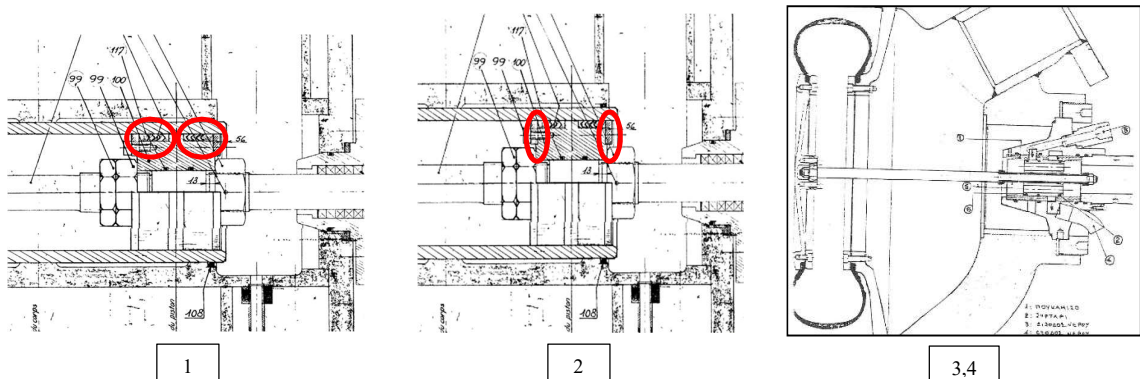
Τέλος με τη χρήση του εργαλείου “5 Whys” εντοπίστηκαν τα βαθύτερα αίτια στα οποία θα πρέπει να στοχεύσουν οι ενέργειες βελτίωσης.

	1ο Γιατί	2ο Γιατί	3ο Γιατί	4ο Γιατί	5ο Γιατί	ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ
Γιατί το JTR δημιουργεί προβλήματα στην Αντλία μεμβράνης	Σπάει το κάρβουνο	Διαστασιολογικά προβλήματα				Να γίνει έλεγχος στις διαστάσεις του κάρβουνου, φωλιάς, συρταριού
		Συναρμογή				Να γίνει έλεγχος συναρμογής
		Πρόβλημα στην φωλιά του κάρβουνο	Φυσιολογική φθορά			Δειγματοληπτικός έλεγχος διαστάσεων ( ένας μήνας όλα τα JTR)
		Τοποθέτηση κάρβουνο με το χτύπημα από το ίδιο κάρβουνο				Το χτύπημα να γίνεται από άλλο υλικό.
		Ποιότητα υλικού				Έλεγχος ποιότητας
		Φθορά στις εγκοπές				Δειγματοληπτικός έλεγχος διαστάσεων ( ένας μήνας όλα τα JTR)
	Σπάνε τα ζοεν O-ring	Διότι υπάρχει αύξηση θερμοκρασίας	Πρόβλημα στο ψυγείο EDS			Τοποθέτηση θερμοστάτη που θα δίνει Alarm
		Ποιότητα υλικού				
		Φθορά στο συρτάρι	Φυσιολογική φθορά			
	Βουλώνει το JTR	Χαλάνε το Chevron				
		Χαλαίει το λάσπη				
	Γιατί χαλαίει το πιστόνι					
	Ίσως έχουν γίνει με τον καιρό μετατροπές					Να γίνει σύγκριση με τα σχέδια
	Έχει γίνει μετατροπή στο υλικό του σταθερού κομματιού					Να δούμε πως ήταν παλιά και δοκιμή με την παλιά κατάσταση
Στραβός άξονας					Καμπαρί για έλεγχο	

Πίνακας 9: 5 Whys – Ανάλυση 5 Γιατί

Οι ενέργειες βελτίωσης αφορούσαν κατά κύριο λόγο τα χιτώνια

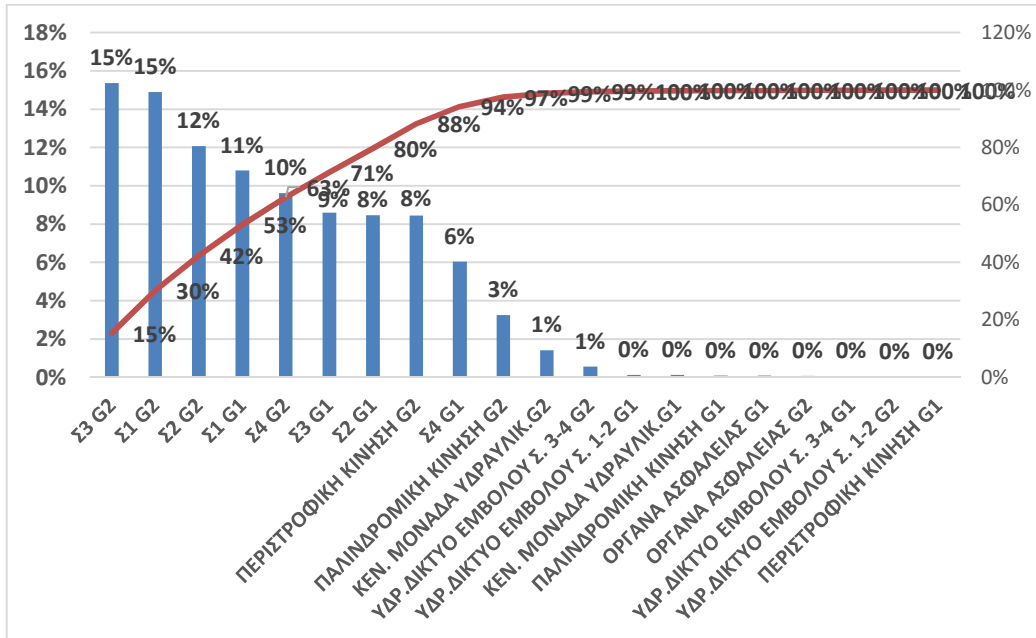
1. Δοκιμή με άλλου είδους chevron
2. Δαχτυλίδια με διαφορετικό πάχος
3. Βελτίωση συναρμογή χιτωνίου-συρτάρι στο JTR
4. Δοκιμή με άλλου είδους O-ring



Εικόνα 21: Σημεία προτάσεων βελτίωσης στις AM Σχέδια αντλιών ADG – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

Για τις αντλίες GEHO1,2 έγινε έλεγχος του πλάνου προληπτικής συντήρησης και ανάλυση του ιστορικού βλαβών σε βάθος βάσει κέντρο ενεργειών ώστε να εντοπιστεί και να αντιμετωπιστεί η πιο συχνή, κοστοβόρα και με τις περισσότερες απώλειες βλάβη.

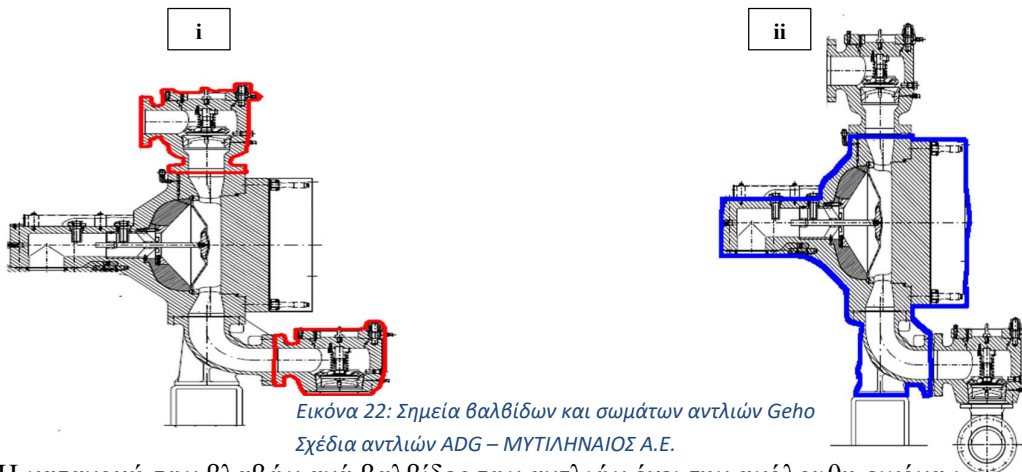


Διάγραμμα 21: Pareto βλαβών ανά βαθύτερη αιτία αντλιών G1 & G2

Παρατηρούμε, ότι το μεγαλύτερο μέρος των βλαβών, και στις δύο αντλίες, αφορά τα σώματα.

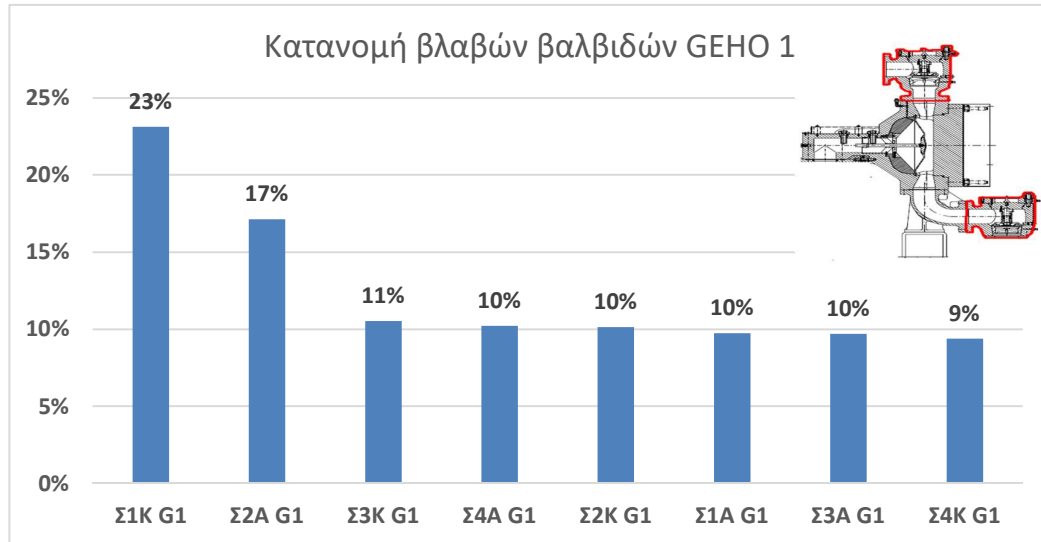
Πιο συγκεκριμένα οι βλάβες και τα ανταλλακτικά διαχωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες :

- i. Τις βαλβίδες αναρρόφησης – κατάθλιψης των αντλιών
- ii. Τα κύρια (4) σώματα των αντλιών

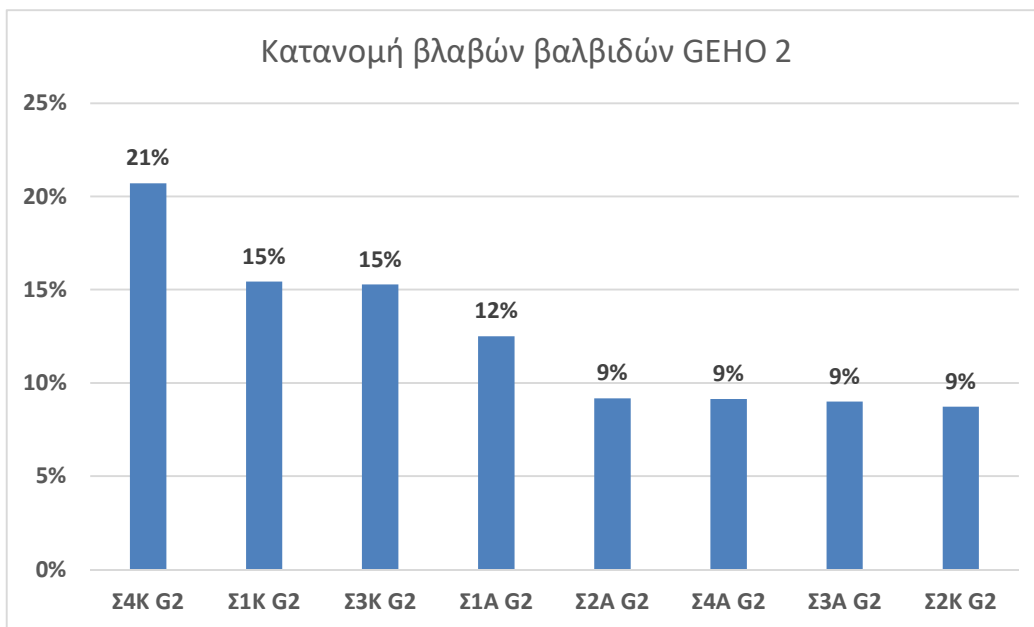


Η κατανομή των βλαβών ανά βαλβίδες των αντλιών έχει την ακόλουθη εικόνα :

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού



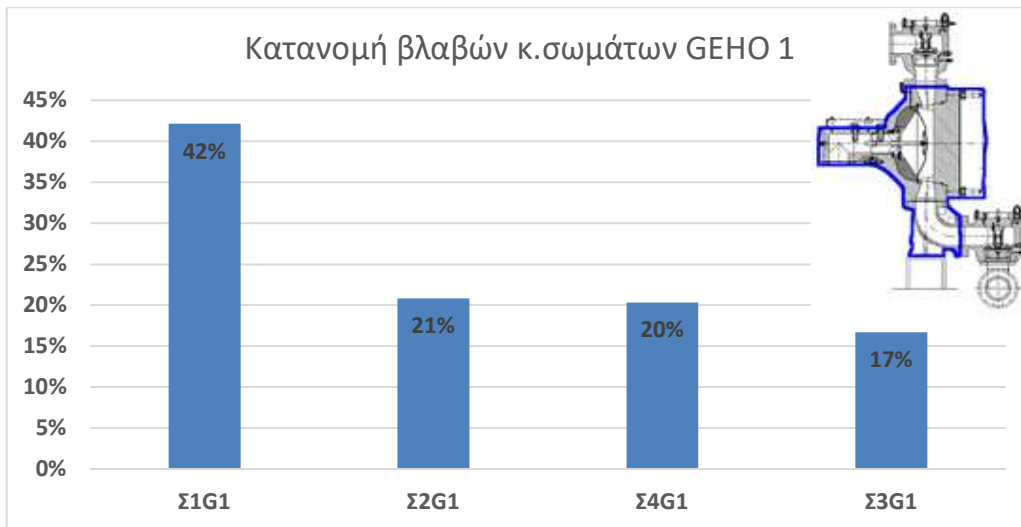
Διάγραμμα 22: Κατανομή βλαβών βαλβιδων αντλίας G1



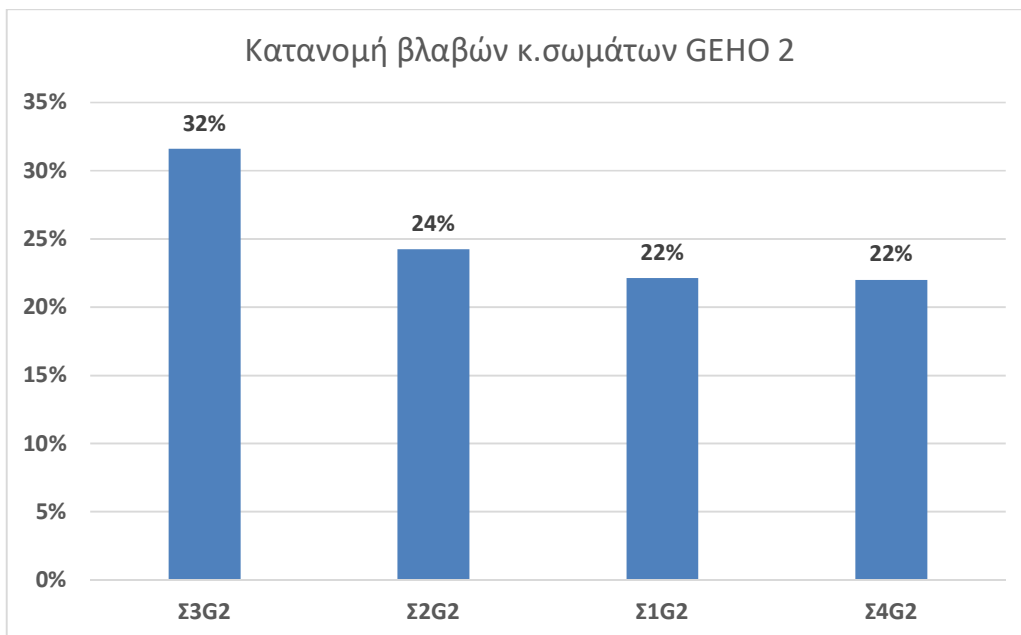
Διάγραμμα 23: Κατανομή βλαβών βαλβιδων αντλίας G2

Η κατανομή των βλαβών ανά κ. σώματα των αντλιών έχει την ακόλουθη εικόνα :

Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού



Διάγραμμα 24: Κατανομή βλαβών σωμάτων αντλίας G1

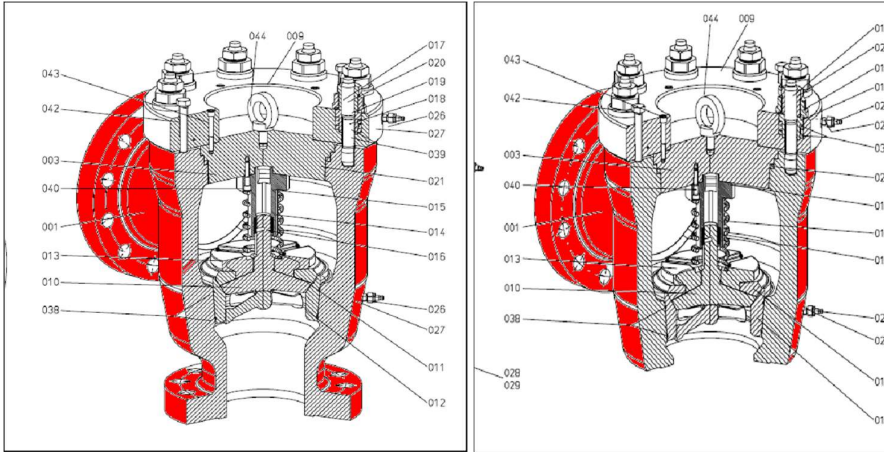


Διάγραμμα 25: Κατανομή βλαβών σωμάτων αντλίας G2

# Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

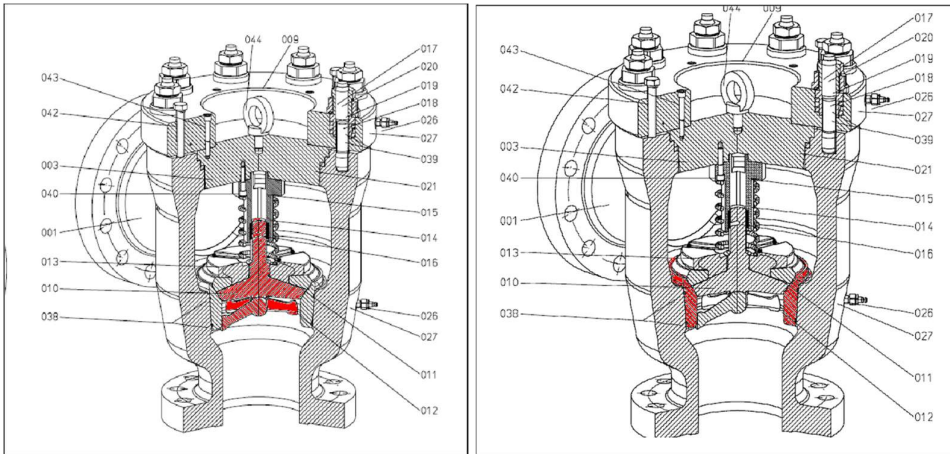
Ακολουθώντας και σε αυτή τη φάση τα εργαλεία της μεθοδολογίας καταλήξαμε στις παρακάτω προτάσεις βελτίωσης :

## 1. Ανακατασκευή σωμάτων βαλβίδων αναρρόφησης & κατάθλιψης



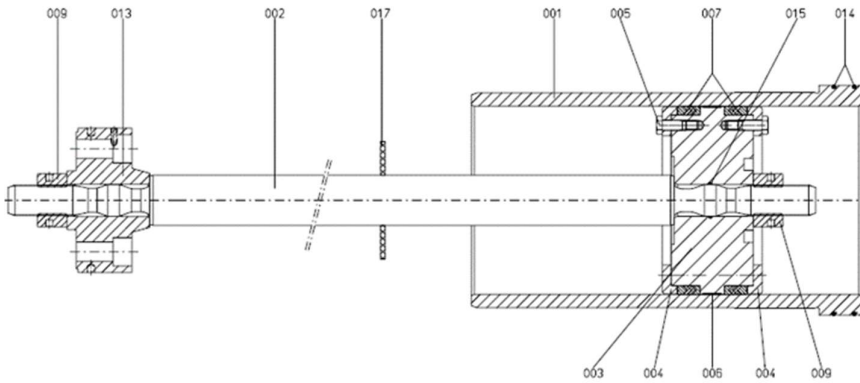
Εικόνα 23: Σώματα βαλβίδων αναρρόφησης & κατάθλιψης  
Σχέδια αντλιών ADG – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

## 2. Ανακατασκευή κώνου και έδρας βαλβίδας.



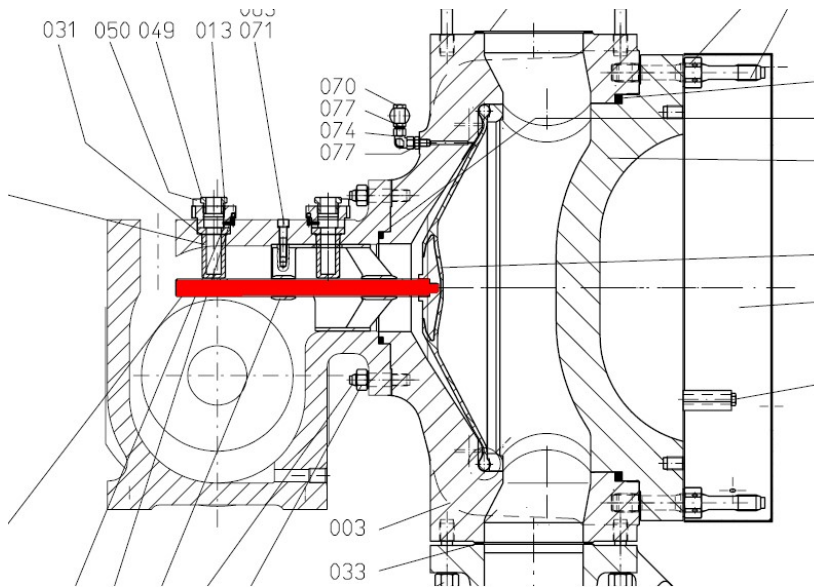
Εικόνα 24: Κώνος και έδρα βαλβίδων αναρρόφησης & κατάθλιψης  
Σχέδια αντλιών ADG – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

### 3. Ανακατασκευή χιτωνίου εμβόλου.



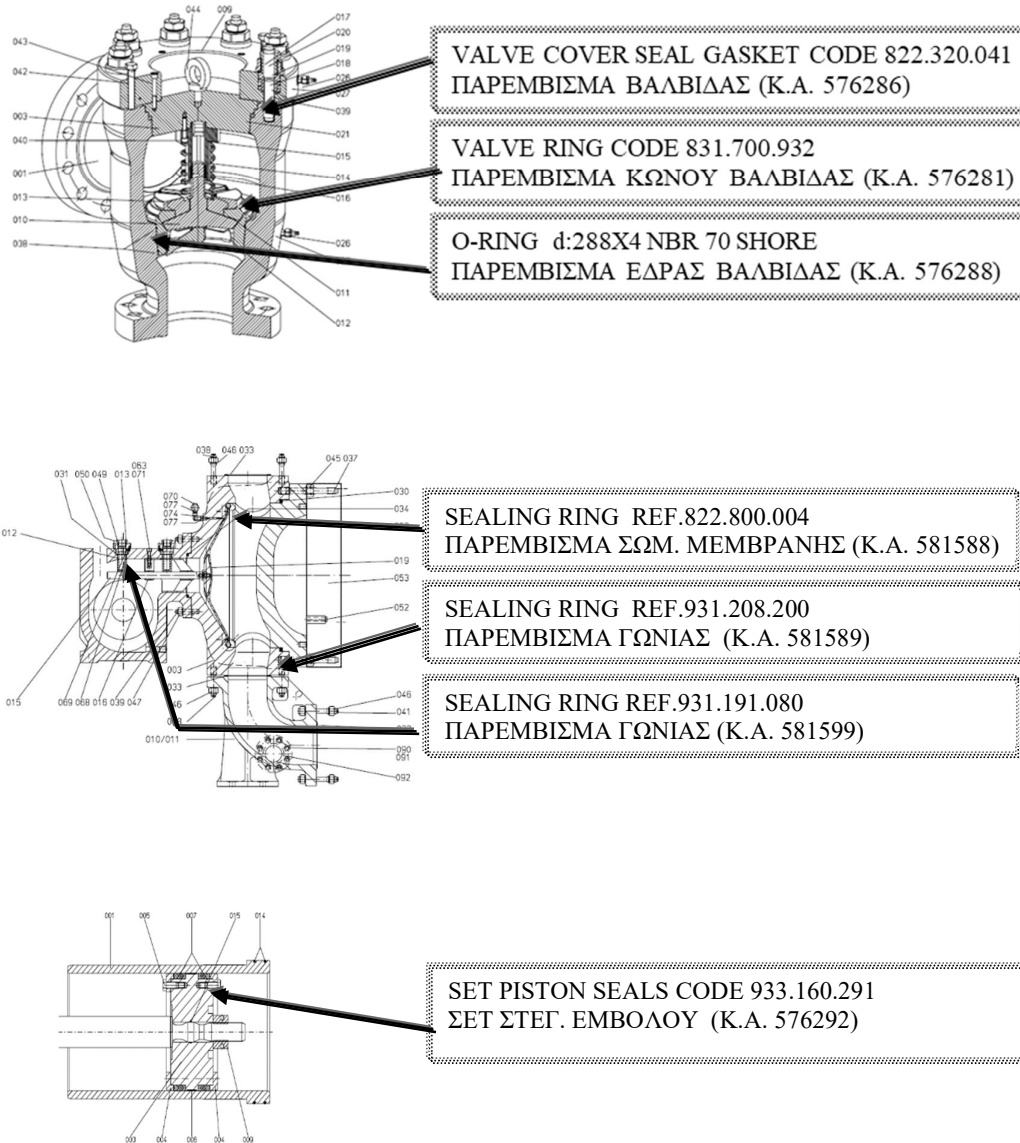
Εικόνα 25: Χιτωνίο εμβόλου  
Σχέδια αντλιών ADG – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

### 4. Ανακατασκευή ράβδου ελέγχου.



Εικόνα 26: Ράβδος ελέγχου  
Σχέδια αντλιών ADG – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

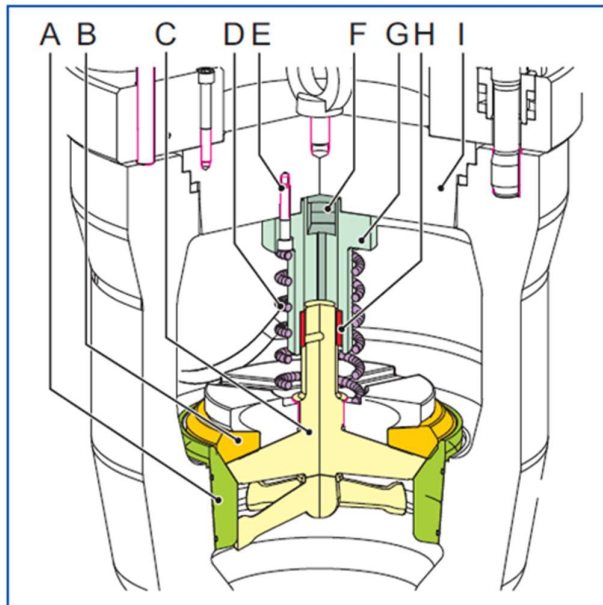
## 5. Δοκιμή προμήθειας στεγανοποιητικών από διαφορετικό προμηθευτή, ίδιων προδιαγραφών με τα υπάρχοντα



Εικόνα 27:Στεγανοποιητικά βαλβίδων, σωμάτων, εμβόλου  
Σχέδια αντλιών ADG – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.

**6. Δοκιμή προμήθειας εξαρτημάτων βαλβίδων αναρρόφησης – κατάθλιψης, από διαφορετικό ίδιων προδιαγραφών**

G&H	GUIDE BUSH CODE 831.900.824 ΣΕΤ ΧΙΤΩΝΙΟ ΑΞΟΝΑ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (Κ.Α. 582252)
B	VALVE NUT CODE 831.900.750 ΠΑΞΙΜΑΔΙ ΚΩΝΟΥ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (Κ.Α. 576283)
C	VALVE CONE CODE 831.350.312 ΚΩΝΟΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (Κ.Α. 576279)
A	VALVE SEAT CODE 831.150.980 ΕΔΡΑ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (Κ.Α. 586282)



Εικόνα 28: Εξαρτήματα βαλβίδων αναρρόφησης - κατάθλιψης  
Σχέδια αντλιών ADG – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.



## Παρακολούθηση – Τήρηση Προληπτικής Συντήρησης

Το πρόγραμμα προληπτικής των αντλιών τύπου Geko είναι στις 72 μέρες. Κάτι τέτοιο στη GEHO 1 η οποία είναι η κύρια αντλία της Σειράς 1 μπορεί να εφαρμοστεί και να ακολουθηθεί πιστά μιας και δουλεύει συνέχεια, οπότε το SAP το που μετρά μέρες μπορεί να λειτουργήσει σωστά.

Από την άλλη μεριά, στη Σειρά 2 οι GEHO 2, 3, 4 επειδή πλέον λειτουργούν εναλλάξ και υποστηρικτικά σε συνδυασμούς κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Οι 72 μέρες στο SAP δε σημαίνει ότι είναι επί 24h. Αυτό καθιστά την παρακολούθηση της προληπτικής δύσκολη. Για αυτό το λόγο προτάθηκε να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με το SAP μία εφαρμογή Oracle όπου παρακολουθεί η παραγωγή online διάφορες παραμέτρους τόσο process όσο και εξοπλισμού και να μετράμε τις ώρες (h) λειτουργίας των αντλιών και όταν πιάσουμε το όριο των 2.200h να χτυπάει ειδοποίηση στον υπεύθυνο παρακολούθησης προληπτικής αλλά και στον υπεύθυνο του τμήματος (ιδιοκτήτης εγκατάστασης).

Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζουμε ότι δεν θα χαθεί καμία αλλαγή βαλβίδας, η οποία θα οδηγήσει σε αστοχία αυτής και στη συνέχεια σε αστοχία μεμβράνης ή σώματος και κατ' επέκταση σε απώλεια παραγωγής.

Στοιχιστικά

Τμήμα Από 01/08/2021 Χρονική Ομάδοπ. Μέρες Έως 21/12/2021 Στατ. Συνόρτ. Default Ομοδοποίηση Αναζήτηση αναφορές Προσθήκη μετρ. Αφαίρεση μετρ. Αφαίρεση όλων RATT\_700 RATT\_710 RATT\_720

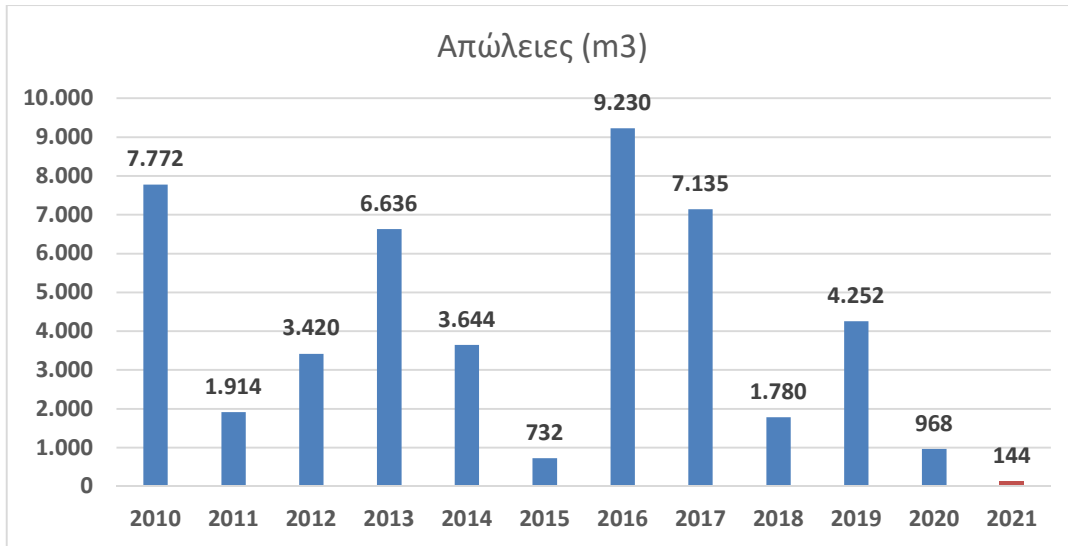
Γράφημα Τιμές Γραφήματος

Drag a column header here to group by that column

Hμ/νία	Hμ/νία κειμ.	GEHO 2 : ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ ΑΣ ΑΠΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΚΛΑΠΕ (h) ( )	GEHO 3 : ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ ΑΣ ΑΠΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΚΛΑΠΕ (h) ( )	GEHO 4 : ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ ΑΣ ΑΠΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΚΛΑΠΕ (h) ( )
21/11/2021	21/11/2021	613,58	2055	1659,35
22/11/2021	22/11/2021	637,58	2079	1659,35
23/11/2021	23/11/2021	661,58	2103	1659,35
24/11/2021	24/11/2021	685,58	2127	1659,35
25/11/2021	25/11/2021	709,58	2151	1659,35
26/11/2021	26/11/2021	733,58	2175	1659,35
27/11/2021	27/11/2021	757,58	2199	1659,35
28/11/2021	28/11/2021	781,58	2223	1659,35
29/11/2021	29/11/2021	805,58	2247	1659,35
30/11/2021	30/11/2021	829,58	2271	1659,35
01/12/2021	01/12/2021	851,99	2293	1659,35
02/12/2021	02/12/2021	857,95	2293	1662,97
03/12/2021	03/12/2021	881,96	2293	1686,98
04/12/2021	04/12/2021	905,95	2293	1710,97
05/12/2021	05/12/2021	929,95	2293	1734,97
06/12/2021	06/12/2021	953,95	0	1758,97
07/12/2021	07/12/2021	963,94	14	1782,97
08/12/2021	08/12/2021	963,94	38	1806,97
09/12/2021	09/12/2021	963,94	62	1830,97
10/12/2021	10/12/2021	963,94	86	1854,98
11/12/2021	11/12/2021	963,94	110	1878,97
12/12/2021	12/12/2021	963,94	134	1902,95
13/12/2021	13/12/2021	978,98	156	1910,51
14/12/2021	14/12/2021	978,98	176	1930,1
15/12/2021	15/12/2021	978,98	200	1954,1
16/12/2021	16/12/2021	992,35	208	1975,07
17/12/2021	17/12/2021	1016,35	208	1999,07
18/12/2021	18/12/2021	1040,35	208	2023,07
19/12/2021	19/12/2021	1064,35	208	2047,07
20/12/2021	20/12/2021	1088,35	208	2071,07
21/12/2021	21/12/2021			

## 9. Αποτελέσματα Ενεργειών Βελτίωσης

Οι απώλειες παραγωγής από τις αντλίες τροφοδοσίας για το 2021 μετά την εφαρμογή των αλλαγών έχουν μειωθεί στα 144m<sup>3</sup> όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί. Να θυμίσουμε ότι η μέση τιμή ετήσιων απωλειών ήταν 4.317m<sup>3</sup>.



Διάγραμμα 26: Απώλειες ανά έτος από αντλίες τροφοδοσίας 2010-21

Είναι η καλύτερη ιστορικά χρονιά όσον αφορά τις απώλειες γενικά και μεγάλο ρόλο έχει παίξει η καλή και αδιάληπτη λειτουργία των αντλιών τροφοδοσίας.

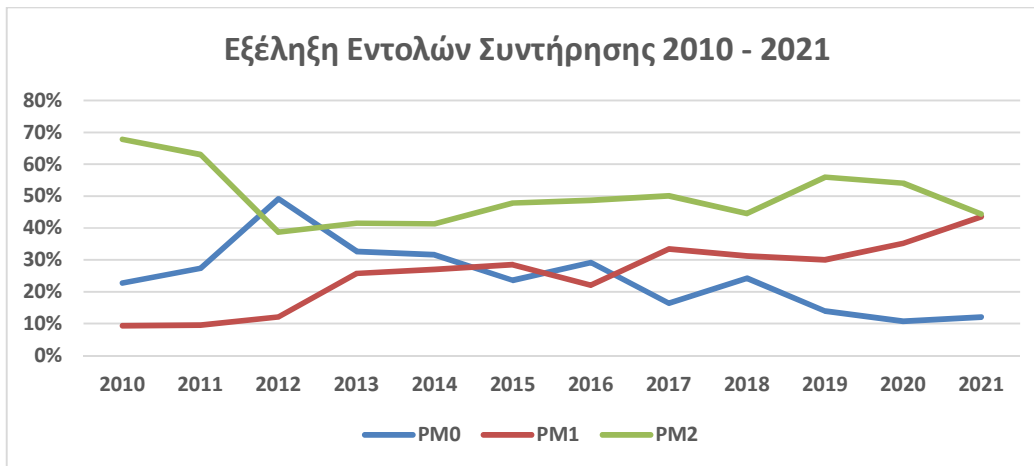


Διάγραμμα 27: Απώλειες Παραγωγής ανά κατηγορία 2010-2021

Οι ενέργειες έχουν εξοικονομήσει χρόνο από τη διάρκεια των προγραμματισμένων σταματημάτων οπότε υπάρχει με έμμεσο τρόπο όπως αναφέρθηκε και παραπάνω βελτίωση και άλλων παραμέτρων που οδηγούν σε μείωση ή απώλειες παραγωγής.

## Ανάλυση δεδομένων παραγωγής για τον έγκαιρο προγραμματισμό εργασιών συντήρησης εξοπλισμού

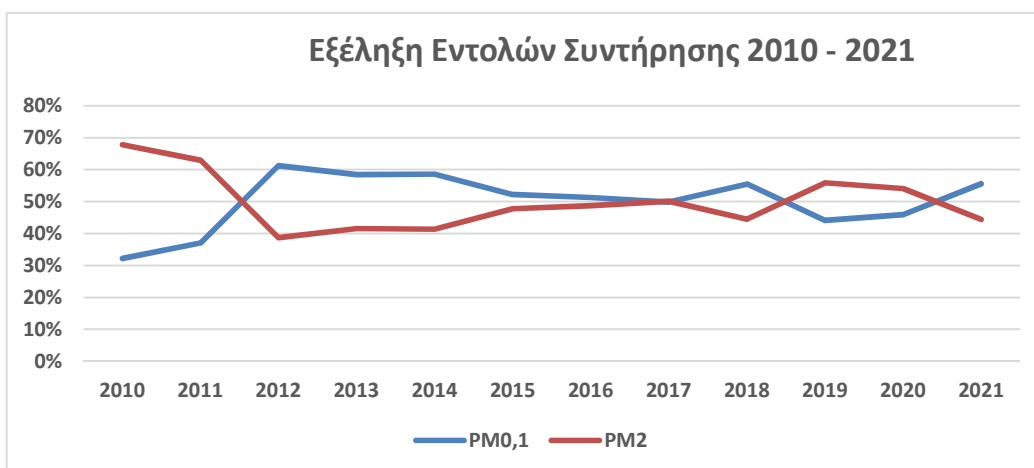
Στην κατανομή μετά τις ενέργειες βελτίωσης βάσει των τύπων των εντολών για το 2021 βλέπουμε ότι έχουμε καταφέρει να κρατήσουμε στο επίπεδο του 10% τις έκτακτες βλάβες που οδηγούν σε ακαριαίο σταμάτημα για επισκευή του εξοπλισμού.



Διάγραμμα 28: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-21

Τύπος Εντολής	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM0	23%	27%	49%	33%	32%	24%	29%	16%	24%	14%	11%	12%
PM1	9%	10%	12%	26%	27%	29%	22%	33%	31%	30%	35%	44%
PM2	68%	63%	39%	42%	41%	48%	49%	50%	45%	56%	54%	44%

Από την άλλη μεριά αν θέλαμε να δούμε την ίδια κατανομή με ομαδοποιημένα τα PM0 και PM1 σε σχέση με το PM2 ίσως οδηγηθούμε σε λάθος συμπεράσματα διότι με την αποξήλωση και αντικατάσταση των τριών (3<sup>ων</sup>) πιο προβληματικών αντλιών μας ο αριθμός κάθε είδους έκτακτης βλάβης έχει μειωθεί σε σχέση με την προληπτική μέσα στο έτος. Πιο καθαρή και σωστή εικόνα θα έχουμε μετά και το 2<sup>ο</sup> χρόνο λειτουργίας των καινούργιων αντλιών.



Διάγραμμα 29: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-21 (PM0,1 & PM2)

Τύπος Εντολής	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM0,1	32%	37%	61%	58%	59%	52%	51%	50%	55%	44%	46%	56%
PM2	68%	63%	39%	42%	41%	48%	49%	50%	45%	56%	54%	44%

## 10. Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία και την ανάλυση των δεδομένων καταλήγουμε πως ο συγκεκριμένος εξοπλισμός – αντλίες είναι εξαιρετικά κρίσιμος και επηρεάζει άμεσα και σε μεγάλο βαθμό το δείκτη διαθεσιμότητας ο οποίος αποτελεί έναν από τους βασικούς δείκτες του εργοστασίου αλουμίνιας. Η μη διαθεσιμότητά τους οδηγεί σε απώλεια παραγωγής.

Η μεθοδολογία Lean six sigma που ακολουθήσαμε για την ανάλυση των δεδομένων είναι ένα πολύ αξιόπιστο εργαλείο που βοηθάει να εντοπίσουμε τα πραγματικά βαθύτερα αίτια και να πάρουμε τις απαραίτητες ενέργειες ώστε να αντιμετωπιστούν.

Οι ενέργειες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Ενέργειες τεχνικών βελτιώσεων (πχ στεγανοποιητικά, ράβδος ελέγχου)
- Αναθεώρηση και παρακολούθηση περιοδικότητας προληπτικής συντήρησης
- Αντικατάσταση – εκσυγχρονισμός εξοπλισμού (αντλίες νέου τύπου)

Η εφαρμογή των ενεργειών που ανήκουν στις τρεις προαναφερθείσες κατηγορίες οδήγησαν σε αισθητή μείωση των απωλειών παραγωγής

Σε δεύτερη φάση αν είχαμε περισσότερο χρόνο διαθέσιμο για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας θα διευρύνουμε την περίμετρο των προτεινόμενων ενεργειών βελτίωσης και θα εξετάζαμε σε βάθος σενάρια αποξήλωσης αντλιών παλαιού τύπου ανάλογα με τις πιθανότητες απωλειών παραγωγής μετά την αντικατάσταση των τριών αντλιών AM7, 8, 9 με τις GEHO 3, 4.

## 11. Βιβλιογραφία

1. Harry Mikel, Schroeder Richard, Six sigma. The breakthrough management strategy revolutionizing the world s top corporations. Published by Doubleday, a division of Random House, Inc New York. 2000
2. Tang, Loon Ching. Goh, Thong Ngee. Yam Hong See. Yoap Timothy. Six sigma. advanced tools for black belts and master black belts. Wiley and Sons, ltd England 2006
3. Xerox training material on six sigma methodology, 2004.
4. Bank John, Total Quality Management, 2nd edition Pearson Education, Prentice Hall, Edinburgh Gate, England 2000.
5. Brue, Greg .Six sigma for managers. Mc Graw-Hill. United States of America. 2005
6. Lamprecht L. James, Applied data analysis for process improvement. A practical guide to six sigma black belt statistics. American Society for Quality, 2005
7. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Άλεση Θραύση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
8. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Προσβολή – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
9. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Αραίωση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
10. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Καθίζηση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
11. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Πλύση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
12. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διάσπαση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
13. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Διήθηση– ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
14. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Πύρωση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
15. Εγχειρίδιο εκπαίδευσης Εξάτμιση – ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε.
16. Αλουμίνιον Της Ελλάδος. Ανάκτηση από alhellas: [www.alhellas.gr](http://www.alhellas.gr)
17. Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας Αλουμίνιας, Στεργίου Γ., Pechiney. ΑτΕ.

## 12. Διαγράμματα

- Διάγραμμα 1: Σχηματική απεικόνιση DMAIC
- Διάγραμμα 2: Αντλητική Διαθεσιμότητα
- Διάγραμμα 3: Απώλειες Παραγωγής ανά κατηγορία 2010-2020
- Διάγραμμα 4: Απώλειες Παραγωγής ανά αιτία
- Διάγραμμα 5: Συνολικές Απώλειες ανά έτος
- Διάγραμμα 6: Τύπος εντολών Συντήρησης 2010-20
- Διάγραμμα 7: Τύπος εντολών Συντήρησης 2010-20 (PM0,1 & PM2)
- Διάγραμμα 8: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-20
- Διάγραμμα 9: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-20 (PM0,1 & PM2)
- Διάγραμμα 10: Κατανομή ανά κέντρο εργασιών 2010-20
- Διάγραμμα 11: Pareto κέντρων εργασιών 2010-20
- Διάγραμμα 12: Pareto κέντρων εργασιών 2010-20 (ομαδοποιημένο)
- Διάγραμμα 13: Απώλειες ανά έτος από αντλίες τροφοδοσίας 2010-20
- Διάγραμμα 14: Απώλειες ανά αντλία τροφοδοσίας
- Διάγραμμα 15: Pareto βλαβών ανά αντλία τροφοδοσίας
- Διάγραμμα 16: Pareto βλαβών ανά ώρα λειτουργίας αντλιών τροφοδοσίας
- Διάγραμμα 17: Pareto κόστους βλαβών ανά αντλία τροφοδοσίας
- Διάγραμμα 18: Τύπος εντολών αντλίας G4
- Διάγραμμα 19: Τύπος εντολών αντλίας G3
- Διάγραμμα 20: Fishbone diagram – Ψαροκόκαλο αιτιών
- Διάγραμμα 21: Pareto βλαβών ανά βαθύτερη αιτία αντλιών G1 & G2
- Διάγραμμα 22: Κατανομή βλαβών βαλβίδων αντλίας G1
- Διάγραμμα 23: Κατανομή βλαβών βαλβίδων αντλίας G2
- Διάγραμμα 24: Κατανομή βλαβών σωμάτων αντλίας G1
- Διάγραμμα 25: Κατανομή βλαβών σωμάτων αντλίας G2
- Διάγραμμα 26: Απώλειες ανά έτος από αντλίες τροφοδοσίας 2010-21
- Διάγραμμα 27: Απώλειες Παραγωγής ανά κατηγορία 2010-2021
- Διάγραμμα 28: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-21
- Διάγραμμα 29: Εξέλιξη εντολών Συντήρησης 2010-21 (PM0,1 & PM2)

### 13. Εικόνες

Εικόνα 1: Carl Josef Bayer

Εικόνα 2: Εργοστάσιο Αλουμίνιον της Ελλάδος

Εικόνα 3: Ο πρότυπος οικισμός Άσπρα Σπίτια

Εικόνα 4: Επίβλεψη εργασιών της ΑΤΕ ,1963

Εικόνα 5: Σταθμός συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας

Εικόνα 6: Σχηματική Απεικόνιση του Διαγράμματος Ροής της Μεθόδου Bayer

Εικόνα 7: Διάγραμμα Ροής Κύκλου Bayer

Εικόνα 8: Μύλοι Άλεσης

Εικόνα 9: Συσκευές Έκπλυσης

Εικόνα 10: Διασπαστές

Εικόνα 11: Φίλτρο Λευκής Διήθησης

Εικόνα 12: Περιστροφικοί Κλίβανοι

Εικόνα 13: Εξατμιστής EW

Εικόνα 14: Εξατμιστής Kestner

Εικόνα 15: Διάγραμμα αντλιών τροφοδοσίας

Εικόνα 16: Σώμα αντλίας μεμβράνης

Εικόνα 17: Λειτουργία ρυθμιστή θέσης αντλίας μεμβράνης

Εικόνα 18: Λειτουργία αντλίας μεμβράνης

Εικόνα 19: Λειτουργία αντλίας μεμβράνης τύπου Geho

Εικόνα 20: Νέο Διάγραμμα αντλιών τροφοδοσίας

Εικόνα 21: Σημεία προτάσεων βελτίωσης στις ΑΜς

Εικόνα 22: Σημεία βαλβίδων και σωμάτων αντλιών Geho

Εικόνα 23: Σώματα βαλβίδων αναρρόφησης & κατάθλιψης

Εικόνα 24: Κώνος και έδρα βαλβίδων αναρρόφησης & κατάθλιψης

Εικόνα 25: Χιτώνιο εμβόλου

Εικόνα 26: Ράβδος ελέγχου

Εικόνα 27: Στεγανοποιητικά βαλβίδων, σωμάτων, εμβόλου

Εικόνα 28: Εξαρτήματα βαλβίδων αναρρόφησης – κατάθλιψης

## 14. Πίνακες

Πίνακας 1: Αντιστοίχιση γνωστοποιήσεων με εντολές και τύπων εργασιών

Πίνακας 2: Τύπος εργασιών

Πίνακας 3: Κέντρα εργασιών 2010-20

Πίνακας 4: Βλάβες ανά αντλία τροφοδοσίας

Πίνακας 5: Βλάβες ανά ώρα λειτουργίας αντλίας τροφοδοσίας

Πίνακας 6: Κόστος βλαβών ανά αντλία τροφοδοσίας

Πίνακας 7: Σενάρια λειτουργίας αντλιών τροφοδοσίας

Πίνακας 8: Αξιολόγηση παραγόντων και κριτήρια αξιολόγησης

Πίνακας 9: 5 Whys – Ανάλυση 5 Γιατί