



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»**

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: «ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΩΝ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ»**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΝΙΑΒΗΣ ΘΩΜΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΕΜΙΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
ΕΝΟΤΗΤΑ 1 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1 - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	11
1.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	11
1.1.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	11
1.1.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	12
1.1.4 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	15
1.1.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2 - ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ	18
1.2.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	18
1.2.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ	19
1.2.3 ΕΙΔΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ.....	19
1.2.4 ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	20
1.2.5 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ - ΣΩΛΗΝΑ	21
1.2.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	21
1.2.7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	22
1.2.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ.....	24
1.2.9 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.3 - ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	25
1.3.1 ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	25
1.3.2 ΡΗΞΗ ΛΟΓΩ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΑΤΜΟΥ Ή ΥΓΡΟΥ.....	27
1.3.3 ΔΟΝΗΣΗ.....	28
1.3.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ	29
1.3.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ.....	30
1.3.6 ΠΑΓΩΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	31
1.3.7 ΑΛΛΕΣ ΒΛΑΒΕΣ - ΑΣΤΟΧΙΕΣ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.4 - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΕΤΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	33
1.4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	33
1.4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
1.4.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ	34

1.4.4 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ – ΔΟΜΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.5 - ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΜΗΧΑΝΩΝ - ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	51
1.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	51
1.5.2. MTBF (Mean Time between Failures).....	51
1.5.3. ΜΕΣΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ (Normal Failure Rate, NFR)	52
1.5.4. ΡΥΘΜΟΣ ΒΛΑΒΩΝ (Failure Rate, FR)	52
1.5.5. DUTY CYCLE.....	52
1.5.6. ΚΑΜΠΥΛΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑ.....	53
1.5.7. ΓΕΝΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ	54
1.5.8. MTTR (Mean Time to Repair)	56
1.5.9. ΣΥΝΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ.....	57
1.5.10. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.6 - ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΡIs	58
1.6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	58
1.6.2. ΚΡIs (Βασικοί Δείκτες Απόδοσης).....	58
1.6.3. ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.7 - Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ	62
1.7.1. ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ	62
1.7.2. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΡΓΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΕΡΓΩΝ	65
1.7.3. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΈΡΓΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΈΡΓΩΝ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΜΗΘΕΙΩΝ	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.8 – ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	69
1.8.1. ΜΟΝΤΕΛΟ MANAGEMENT LOOP FOR MAINTENANCE	69
1.8.2. SWIM LANES MODEL	72
ΕΝΟΤΗΤΑ 2 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1 – ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	75
2.1.1. ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	75
2.1.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	94
2.2.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ	94
2.2.2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ MTBF ΜΕΣΩ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.3 - ΘΕΩΡΙΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ /ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	

@Risk	99
2.3.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	99
2.3.2. ΤΥΧΑΙΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ MONTE CARLO	100
2.3.3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ @RISK.....	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.4 - ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ -	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	105
2.4.1. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	105
2.4.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	105
2.4.3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	106
2.4.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	107
2.4.5. ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΞΟΔΟΥ 112	
2.4.6. ΕΝΑΡΞΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO.....	112
2.4.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	113
2.4.8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.5 – ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ/ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	122
2.5.1. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ – ΣΕΝΑΡΙΟ 1	123
2.5.2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΕΝΑΡΙΟ 2 127	
2.5.3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΤΟ ΧΡΟΝΟ – ΣΕΝΑΡΙΟ 3	131
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.6 – ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	135
ΕΝΟΤΗΤΑ 3 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ / ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	137
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	137
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2 - ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ/ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	143
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	144

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1 – Κατηγορίες και Είδη Συντήρησης.....	11
Σχήμα 2 - Εναλλάκτης δέσμης σωλήνων με ανακλαστήρες (αυλών-κελύφους)	20
Σχήμα 3 – Εναλλάκτης Τύπου U	22
Σχήμα 4 – Εναλλάκτης Τύπου Κελύφους Αυλών Μονής Εισόδου.....	23
Σχήμα 5 – Εναλλάκτης Τύπου Κελύφους Αυλών Διπλής Εισόδου	23
Σχήμα 6 - Φάσεις Επισκευής και MTTR	56
Σχήμα 7 – Μοντέλο Management Loop for Maintenance	71
Σχήμα 8 – Προσχέδιο SWIM LANES MODEL.....	74

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 - Εναλλάκτης Τύπου Κελύφους Αυλών	20
Εικόνα 2 - Μεταλλική Διάβρωση σε U – καμπή	26
Εικόνα 3 - Διάρρηξη σωλήνα από το φαινόμενο υπερβολικής συμπίκνωσης.....	28
Εικόνα 4 – Βλάβη από Δόνηση στις σωληνώσεις.....	28
Εικόνα 5 – Θερμική Καταπόνηση σε εναλλάκτη τύπου U.....	29
Εικόνα 6 – Αστοχία λόγω Θερμικής Διαστολής σε κεφαλή εναλλάκτη θερμότητας, από χυτοσίδηρο.	30
Εικόνα 7 - Κατάρρευση εξατμιστήρα λόγω παγώματος	32
Εικόνα 8 - Σύστημα Εναλλακτών Θερμότητας	83
Εικόνα 9- Φλάντζα Εναλλάκτη Θερμότητας	84
Εικόνα 10 – Καθρέφτης του Εναλλάκτη πριν την Ανατούμπωση.....	85
Εικόνα 11 - Σύσφιξη Καμπάνας Εναλλάκτη	86
Εικόνα 12 - Αφαίρεση Φλάντζας Εναλλάκτη.....	87
Εικόνα 13 – Μηχάνημα Αποσυναρμολόγησης – Συναρμολόγησης Τουμποστοιχείων Εναλλακτών	88
Εικόνα 14 – Καθαρισμός Χώρου Εναλλακτών Θερμότητας	89
Εικόνα 15 – Σύστημα Εξάρμωσης Τουμποστοιχείων Εναλλακτών	90
Εικόνα 16 – Διαβρωμένο Τουμποστοιχείο Εναλλάκτη (πίσω βρίσκεται το καινούργιο) 91	
Εικόνα 17 – Βόρειο Στοιχείο Εναλλάκτη (πετρωμένο)	92
Εικόνα 18 - Απεικόνιση των εργαλείων του Προγράμματος @Risk.....	104

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1 - Ανάλυση Κόστους Συντήρησης	16
Διάγραμμα 2 - Ρυθμός Βλαβών στην μονάδα του χρόνου (bath tub curve) [21]	53
Διάγραμμα 3 - Διάγραμμα MTBF σε συνάρτηση με τον χρόνο [21].....	55
Διάγραμμα 4 – Κατανομή Συνολικών Εργασιών Συντήρησης Εναλλακτών Θερμότητας 2002-2013.....	77
Διάγραμμα 5 – Κατανομή Εργασιών προς αποκατάσταση Εξωτερικής Διαρροής σε Εναλλάκτες Θερμότητας.....	78
Διάγραμμα 6 – Κατανομή Εργασιών προς αποκατάσταση Εσωτερικής Διαρροής σε Εναλλάκτες Θερμότητας.....	79
Διάγραμμα 7 – Κατανομή Εργασιών Αντικατάστασης Εναλλακτών Θερμότητας	80
Διάγραμμα 8 – Κατανομή Εργασιών Κατασκευής – Επισκευής Εναλλακτών Θερμότητας.....	81
Διάγραμμα 9 – Κατανομή Λοιπών Εργασιών Συντήρησης Εναλλακτών Θερμότητας... ..	82
Διάγραμμα 10 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” και σχετική ταύτιση με την beta general.	108
Διάγραμμα 11 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Καθαρισμός Δέσμης” και σχετική ταύτιση με την beta general.	109
Διάγραμμα 12 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” και σχετική ταύτιση με την beta general.	110
Διάγραμμα 13 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση” και σχετική ταύτιση με την beta general.	111
Διάγραμμα 14 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής”	114
Διάγραμμα 15 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη”	115
Διάγραμμα 16 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής”	116
Διάγραμμα 17 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Ανατούμπωση/Αναύλωση Εναλλακτών”	117
Διάγραμμα 18 – Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης.....	119

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 – Προσωπικό εμπλεκόμενο στο Σχεδιασμό του Έργου και αρμοδιότητες [16]	41
Πίνακας 2 - Κύριες Φάσεις του Έργου [15]	50
Πίνακας 3 – Διαφορές Κοινού Έργου σε σχέση με τα Έργα Συντήρησης [22]	67
Πίνακας 4 - Γνωστικές Περιοχές του PMBOK σε συνάρτηση με τις διεργασίες του Project Management Institute, Inc. , 2013	68
Πίνακας 5 – Υπολογιστικά Δεδομένα Δείγματος	95
Πίνακας 6 - Εξαγωγή Συντελεστών Κανονικοποίησης	96
Πίνακας 7 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής	97
Πίνακας 8 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την εργασία Καθαρισμός Δέσμης	97
Πίνακας 9 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής	98
Πίνακας 10 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την εργασία Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη	98
Πίνακας 11 – Αποτελέσματα Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγρ/νης Συντήρησης.....	112
Πίνακας 12 – Αποτελέσματα Μοντέλου Προσομοίωσης	118
Πίνακας 13 – Ανάλυση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης.....	121
Πίνακας 14 – Ανάλυση Βελτιστοποίησης “Σενάριο 1”	124
Πίνακας 15 – Ανάλυση Βελτιστοποίησης “Σενάριο 2”	128
Πίνακας 16 – Ανάλυση Βελτιστοποίησης “Σενάριο 3”	132

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ασχολήθηκα με την βελτιστοποίηση ενός Έργου Γενικής Συντήρησης μιας Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας, μέσω της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo. Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία” με ειδίκευση στην “Διοίκηση Έργων και Ανάπτυξη Προϊόντων”, στο Πανεπιστήμιο Πειραιά.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω εγκάρδιως τον επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος κ. Εμίρη Δημήτρη για την πολύτιμη βοήθειά του μέσω της γνώσης και της εμπειρίας του, κατά την διερεύνηση του πεδίου της Συντήρησης και κατά την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μαρεντάκη Χάρη για την σημαντική συμβολή του στην κατανόηση Λογισμικού Διαχείρισης Κινδύνων που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή αποτελεσμάτων σε πειραματικό επίπεδο.

Κατά την διάρκεια της εργασίας αυτής απέκτησα την γνώση αναφορικά με την Θεωρία και τις εφαρμοζόμενες πρακτικές Συντήρησης μιας Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας. Επίσης εξοικειώθηκα στην εφαρμογή της Προσομοίωσης Monte Carlo καθώς και στην χρήση ορισμένων Κρίσιμων Δεικτών Απόδοσης της Θεωρίας της Συντήρησης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση, σε επίπεδο χρόνου και κόστους, της διαδικασίας συντηρήσεως μιας μεγάλης μηχανολογικής μονάδας.

Αρχικώς θα προχωρήσουμε στην ανάλυση της Θεωρίας της Συντήρησης, των βασικών αρχών, παραδοχών και μαθηματικών μοντέλων που την διέπουν.

Στην συνέχεια θα εξειδικεύσουμε την ανάλυση αυτή σε ένα συγκεκριμένο εξάρτημα που είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο σε μεγάλες μηχανολογικές μονάδες. Το εξάρτημα αυτό είναι οι εναλλάκτες θερμότητας. Θα αναλύσουμε τα μηχανικά τους μέρη καθώς και την λειτουργία τους.

Προχωρώντας θα υπολογίσουμε, μέσω πραγματικών δεδομένων, διάφορα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά στο επίπεδο της συντήρησης του συγκεκριμένου μηχανολογικού εξαρτήματος. Κατόπιν τούτου θα χρησιμοποιήσουμε μαθηματικά εργαλεία της Θεωρίας της Συντηρήσεως.

Συνεχίζοντας την εργασία μας θα χρησιμοποιήσουμε Πιθανοθεωρητικές Μεθόδους Υπολογισμών Πρόβλεψης για να εξάγουμε συμπεράσματα αναφορικά με το μελλοντικό προγραμματισμό της συντήρησης μιας μεγάλης μηχανολογικής μονάδας, σε επίπεδο χρόνου και κόστους.

Ολοκληρώνοντας θα δημιουργήσουμε ένα Σύστημα Διαχείρισης Κινδύνων (μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo), ώστε να επιτευχθεί η τελική βελτιστοποίηση του Έργου της Συντήρησης σε μεσοπρόθεσμη διάρκεια. Στο σημείο αυτό θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλα λογισμικά υπολογισμών Ρίσκου.

Τέλος θα εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα, αναφορικά με τις βέλτιστες μεθόδους συντήρησης, τα χρονικά και οικονομικά όρια και τον προγραμματισμό του συνόλου της Διαδικασίας αυτής. Παραλλήλως θα προτείνουμε λύσεις ώστε η συντήρηση μιας μεγάλης μηχανολογικής μονάδας, η οποία την σύγχρονη εποχή αποτελεί ένα κομβικού χαρακτήρα και μεγάλης έκτασης έργο, να αποβαίνει αποδοτικότερη για τις επιχειρήσεις σε επίπεδο Φυσικού και Οικονομικού Αντικειμένου.

Τα αποτελέσματα που εξάγαμε, μέσω της βελτιστοποίησης, οδηγούν στην αναπροσαρμογή της Γενικής Συντήρησης της Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας της εργασίας μας. Αυτό μειώνει το Μακροπρόθεσμο Κόστος της Συντήρησης, σε βάθος 50 ετών, κατά 45% και το αντίστοιχο Φυσικό Αντικείμενο κάθε έργου Γενικής Συντήρησης κατά 32%.

ABSTRACT

The aim of this thesis is the optimization of maintenance process in a mechanical unit, in time and cost level.

Firstly, we will proceed to the analysis of the Theory of Maintenance, the principles, assumptions and mathematical models that govern it.

Then the analysis will be focused on a particular component which is widely used in mechanical unit. This accessory is heat exchangers. We will analyze the mechanical parts and their function.

Subsequently, using actual data we will calculate various qualitative and quantitative characteristics at the level of maintenance for this mechanical component. After that, we will use mathematical tools of Theory of Maintenance.

Continuing our work we will use Probabilistic Forecasting calculation methods to exclude conclusions regarding the future planning of maintenance for a mechanical unit in time and cost level.

In conclusion, we will create a Risk Management System (Monte Carlo simulation) in order to achieve the final optimization Maintenance Project in the medium term. At this point appropriate Risk calculations software will be used.

Finally we will extract useful conclusions regarding to the best maintenance methods, the time and financial limits and the schedule of the whole process. Simultaneously, we will propose solutions so as the maintenance of a mechanical unit, which nowadays is a focal character and extensive project, become more effective for the scope of the project.

The results which were obtained through the optimization, contribute to the adjustment of the General Maintenance of Mechanical Unit. As a result, the cost of Long Term Maintenance is reduced after 50 years by 45% and the scope of each project of General Maintenance (shutdown) by 32%.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1 - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

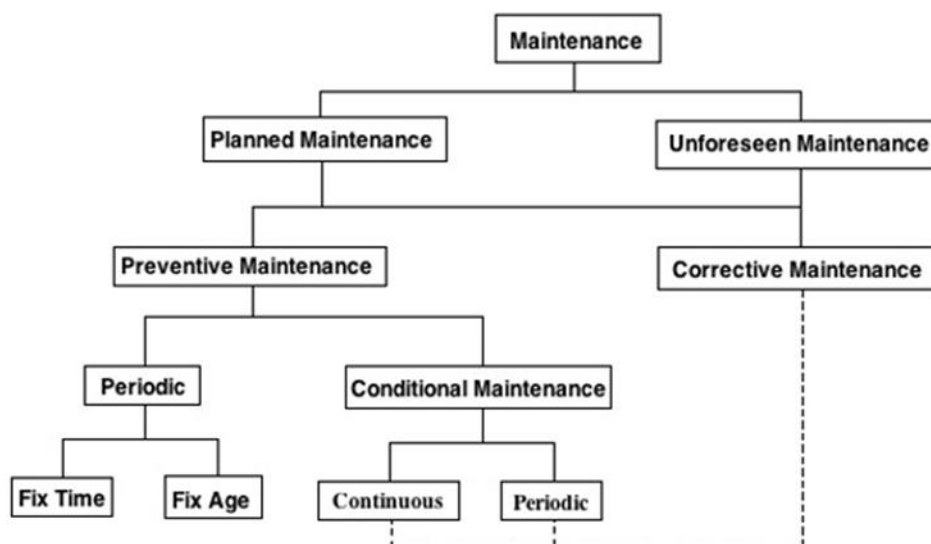
1.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

"Όλες οι δραστηριότητες της διαχείρισης καθορίζουν τους στόχους της συντήρησης, τις στρατηγικές, τις αρμοδιότητες και την εφαρμογή τους από τα μέσα, όπως ο σχεδιασμός της συντήρησης, ο έλεγχος και η εποπτεία της συντήρησης, η βελτίωση των μεθόδων της οργάνωσης συμπεριλαμβανομένων και των οικονομικών πτυχών."

Η διαχείριση της συντήρησης αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διοίκησης σε έναν οργανισμό, και περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που καθορίζουν τους αντικειμενικούς στόχους αυτής. Ακόμη καθορίζεται η στρατηγική για την επίτευξη των αντικειμενικών στόχων και εκχωρούνται οι αντίστοιχες αρμοδιότητες στα στελέχη του οργανισμού που είναι υπεύθυνα για την επιτυχή ολοκλήρωση των αντίστοιχων δραστηριοτήτων.

1.1.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η συντήρηση ως διεργασία, ταξινομείται σε διαφορετικές κατηγορίες όπως φαίνεται στο Σχήμα-1 [9], όπου κύριες κατηγορίες συντήρησης είναι η προγραμματισμένη συντήρηση και η μη-προγραμματισμένη συντήρηση.



Σχήμα 1 – Κατηγορίες και Είδη Συντήρησης

1.1.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Όταν η συντήρηση έχει κατηγοριοποιηθεί ως προγραμματισμένη βάσει του άνωθεν πλαισίου, τότε η στρατηγική του οργανισμού διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο. Σε γενικές γραμμές, θα πρέπει να υπάρχει μια προγραμματισμένη στρατηγική συντήρησης για όλες τις βλάβες του εξοπλισμού του συστήματος που τίθενται υπό έλεγχο.

Σε αυτή την ιδανική κατάσταση δεν θα υπάρξουν ‘‘απρόβλεπτες’’ βλάβες στο σύστημα και για όλες τις βλάβες που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα υπάρχει μια προγραμματισμένη στρατηγική συντήρησης που μεταρρυθμίζει την κατάσταση των συστημάτων.

Αυτό απαιτεί μια υψηλής επάρκειας γνώση του συστήματος, των εξοπλισμών και όλων των πιθανών τρόπων αστοχίας, όπου το σύνολο του συστήματος ή μέρος αυτού μπορεί να παρουσιάσει.

Η προγραμματισμένη συντήρηση χωρίζεται στις κάτωθι κατηγορίες:

1. Προληπτική συντήρηση

Κύριος στόχος της Προληπτικής Συντήρησης είναι η πρόληψη των πιθανών βλαβών του εξοπλισμού. Επιπλέον στόχος είναι ο εξοπλισμός ο οποίος πριν την συντήρηση χαρακτηρίζεται σε λειτουργικό επίπεδο ως προβληματικός ή καταστραμμένος, μετά την συντήρηση να μετατραπεί σε λειτουργικό επίπεδο ισότιμης επάρκειας με έναν ολοκαίνουργιο αντίστοιχο εξοπλισμό.

Προληπτική συντήρηση γίνεται είτε μέσω περιοδικής αναμόρφωσης/αντικατάστασης του εξοπλισμού είτε μέσω συντήρησης σε επίπεδο υφιστάμενης κατάστασης (condition-based maintenance).

2. Διορθωτική συντήρηση

Η Διορθωτική Συντήρηση εφαρμόζεται για τον εξοπλισμό ή μέρος αυτού όπου η πιθανή βλάβη/αστοχία που παρουσιάζεται δεν είναι κρίσιμη από οικονομικής είτε ασφαλιστικής άποψης.

Η Διορθωτική Συντήρηση ανήκει στην κατηγορία της Προγραμματισμένης Συντήρησης δεδομένου ότι αποτελεί μια συνειδητή επιλογή της Διοίκησης, να παρακολουθεί την πορεία του εξοπλισμού μέχρι αυτός, να καταστεί μη λειτουργικός.

Ο λόγος που η συγκεκριμένη επιλογή έχει πολλές εφαρμογές, είναι ότι σε ορισμένες περιπτώσεις έχει υπολογιστεί ως οικονομικά αποτελεσματικότερη επιλογή, σε σχέση με αυτή της προληπτικής συντήρησης.

Η Προληπτική Συντήρηση διακρίνεται περαιτέρω μεταξύ:**➤ Περιοδική Αναμόρφωση/Αντικαταστάσεις**

Κατά την Περιοδική Αναμόρφωση ο εξοπλισμός περιοδικά επιθεωρείται είτε επί τόπου είτε στον χώρο επισκευών και αναθεωρείται η κατάσταση του. Αυτό σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί σε αντικατάσταση του υφιστάμενου προβληματικού εξοπλισμού από νέο εξοπλισμό.

Κατά την περίοδο επιλογής μεταξύ της Αναμόρφωσης ή των Αντικαταστάσεων ως διορθωτικά μέτρα, λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η οικονομική διάσταση και εφαρμόζεται η πιο συμφέρουσα λύση. Η περίοδος της περιοδικής συντήρησης ορίζεται είτε ημερολογιακά είτε ανάλογα με το χρόνο εκτέλεσης.

➤ Condition Based Maintenance (CBM) – Συντήρηση βάσει της Υφιστάμενης Κατάστασης

Είναι μια προληπτική διαδικασία συντήρησης η οποία γίνεται με την επιθεώρηση/έλεγχο του εξοπλισμού για να καθοριστεί η κατάσταση λειτουργίας του. Η κατάσταση “αναφοράς” που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η κατάσταση που θα έπρεπε να είχε ο εξοπλισμός αν ήταν ολοκαίνουργιος. Μέσω αυτής της μεθόδου προσδιορίζεται η απόκλιση της υφιστάμενης κατάστασης από την κατάσταση “αναφοράς”.

Η παρακολούθηση δύναται να λαμβάνει χώρα είτε κατά διαστήματα είτε συνεχώς, ανάλογα με την αποτελεσματικότητα και την πρακτικότητα της μεθόδου, την διαθεσιμότητα σε τεχνολογικό επίπεδο και φυσικά την οικονομική αποδοτικότητα.

Εάν διαπιστωθεί ότι η κατάσταση εξοπλισμού είναι μη αποδεκτή (προσδιορίζεται δηλαδή κάτω από το επιλεγμένο όριο), τότε ενεργοποιείται μια διορθωτική ενέργεια συντήρησης.

Στο σχήμα 1 υπάρχει ένας διαχωρισμός μεταξύ των δύο τρόπων εκτέλεσης της Condition Based Maintenance (συνεχώς και περιοδικά) και της Διορθωτικής Συντήρησης.

Η CBM ωστόσο καθορίζεται ως προληπτική δράση συντήρησης.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η CBM είναι μια προληπτική δράση και χρησιμοποιείται ως εργαλείο λήψης αποφάσεων για να αποφασιστεί κατά πόσον μια διορθωτική ενέργεια συντήρησης πρέπει να ενεργοποιηθεί.

Παράδειγμα της CBM

Ένα παράδειγμα της CBM είναι ένα σύστημα παρακολούθησης σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, το οποίο αποτελείται από θερμοστάτες και μετρητές ροής.

Οι παράμετροι που πρέπει να παρακολουθούνται είναι η θερμοκρασία τόσο του ψυκτικού μέσου όσο και του μέσου θέρμανσης, μέσα και έξω, και η ροή (το ποσό του ρευστού που περνά από ένα ορισμένο σημείο) τόσο του ψυκτικού μέσου όσο και του μέσου θέρμανσης, μέσα και έξω.

Υπάρχουν, εκ των παραπάνω, συνολικά 8 παράμετροι για την παρακολούθηση.

Βάσει αυτών των παραμέτρων εξάγεται ο συντελεστής αποδοτικότητας του εναλλάκτη θερμότητας. Εάν ο συντελεστής αποδοτικότητας βρίσκεται κάτω από μια ορισμένη τιμή, μια διορθωτική ενέργεια συντήρησης ενεργοποιείται.

Ο λόγος για την προβληματική λειτουργία του εναλλάκτη θερμότητας θα μπορούσε για παράδειγμα να είναι ότι υπάρχει μια διαρροή στο σύστημα ή ότι το σύστημα είναι φραγμένο.

Όπως εξηγείται παραπάνω, υπάρχει σαφής διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών Προληπτικής Συντήρησης, αναφορικά με τον τρόπο παρέμβασης στον εξοπλισμό.

Ενώ η Περιοδική Αναμόρφωση ή/και η Αντικατάσταση γίνονται για να διατηρήσουν ή να βελτιώσουν την κατάσταση του εξοπλισμού, η CBM λαμβάνει χώρα για να εξαχθούν πληροφορίες για την κατάσταση του εξοπλισμού ώστε να εξακριβωθεί η ύπαρξη της ανάγκης για εφαρμογή συντήρησης [10].

Όταν αποφασιστεί το είδος της συντήρησης τότε είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πότε, πως και σε ποιο βαθμό ο εξοπλισμός αυτός παρουσιάζει αστοχίες.

1.1.4 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

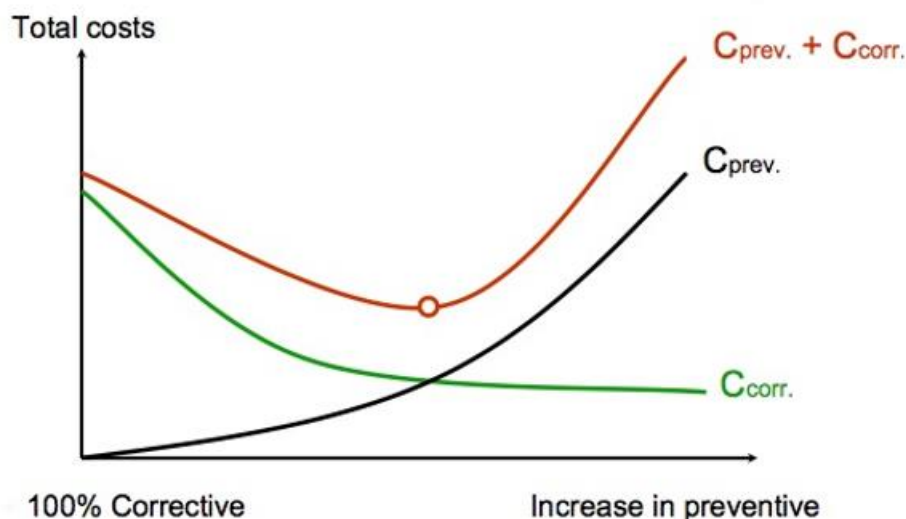
Η παραγωγή που σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού/συστήματος έχει ένα οικονομικό βέλτιστο σημείο σε σχέση με το εύρος της προληπτικής συντήρησης που πρέπει να λαμβάνει χώρα. Τόσο η προληπτική όσο και η διορθωτική συντήρηση δημιουργεί δαπάνες όπως είναι το άμεσο κόστος σε μορφή ανθρωποωρών, το κόστος ανταλλακτικών, το κόστος μεταφοράς προσωπικού και οι έμμεσες δαπάνες με τη μορφή εξόδων διακοπής ή απώλειας παραγωγής. Η συγκεκριμένη μείωση της παραγωγής καθορίζεται ως κόστος, αλλά ακριβέστερα, πρέπει να θεωρείται ως ένα χαμένο έσοδο.

Γενικά το κόστος της εκτέλεσης μιας προληπτικής δράσης συντήρησης είναι μικρότερο από ό, τι το κόστος για μια διορθωτική δράση συντήρησης. Για το άμεσο κόστος (δηλαδή ανθρωποώρες, ανταλλακτικά και μεταφορά του προσωπικού και των εξαρτημάτων), είναι σαφές ότι, αν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χρόνος για να σχεδιαστεί μια προληπτική δράση συντήρησης, τότε η συγκεκριμένη δραστηριότητα είναι λιγότερο απαιτητική σε επίπεδο κόστους από μια διορθωτική δράση συντήρησης. Αναφορικά με το έμμεσο κόστος (μείωση παραγωγικής διαδικασίας) μια διορθωτική ενέργεια συντήρησης θα οδηγήσει σε περισσότερο χρόνο διακοπής από ένα προληπτικό μέτρο που μπορεί να σχεδιαστεί εκ των προτέρων. Επίσης, οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα κατά την προληπτική συντήρηση είναι ιδανικό να εκτελούνται ομορτοουνιστικά, δηλαδή τη χρονική στιγμή που το σύστημα βρίσκεται εκτός λειτουργίας, όπως στην περίπτωση μια γενικευμένης συντήρησης στο σύστημα εν συνόλω (turnaround).

Μια σημαντική πτυχή των δραστηριοτήτων της προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης είναι ότι παρούσας της αύξησης του όγκου της προληπτικής συντήρησης μειώνεται τόσο το άμεσο κόστος (προσωπικό, ανταλλακτικά, μεταφορά κ.λπ.) όσο και το έμμεσο κόστος που σχετίζονται με την διορθωτική συντήρηση. Αλλά ο υπέρ του δέοντος αυξημένος όγκος προληπτικής συντήρησης δημιουργεί επίσης αυξημένες άμεσες και έμμεσες δαπάνες.

Εν κατακλείδι και αναφορικά με το κόστος, είναι κρίσιμης σημασίας να επιλεγούν σωστά οι εργασίες συντήρησης που θα προγραμματιστούν προληπτικά εκ του συνόλου των εργασιών, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη οικονομικά, επιχειρησιακά και χρονικά μέθοδος, που θα παρουσιαστεί στην Διοίκηση και θα εφαρμοστεί στην Επιχείρηση.

Ακολουθεί γράφημα που να αναλύει τα κόστη της προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης συναρτήσει της αύξησης του όγκου των εργασιών.



Διάγραμμα 1 - Ανάλυση Κόστους Συντήρησης

Το διάγραμμα δείχνει το κόστος της προληπτικής συντήρησης (μαύρο) και διορθωτικής συντήρησης (πράσινο) και το συνδυασμένο κόστος/συνολικό κόστος ως συνάρτηση του όγκου του. Το πράσινο γράφημα παρουσιάζει το κόστος της διορθωτικής συντήρησης, το μαύρο γράφημα δείχνει το κόστος της προληπτικής συντήρησης και το κόκκινο γράφημα δείχνει το συνολικό κόστος συντήρησης ως συνάρτηση του μεριδίου μεταξύ διορθωτικής και προληπτικής συντήρησης. Πρέπει να τονιστεί ότι αυτή είναι μια ποιοτική περιγραφή [11].

Το σημαντικό συμπέρασμα, από αυτό το διάγραμμα είναι ότι το κόστος προληπτικής συντήρησης αυξάνεται και το κόστος διορθωτικής συντήρησης μειώνεται, καθώς ο όγκος των δραστηριοτήτων προληπτικής συντήρησης αυξάνεται. Αυτό δείχνει την εξάρτηση μεταξύ των δύο αυτών τύπων συντήρησης και δείχνει ότι υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο όπου το συνολικό κόστος έχει ένα ελάχιστο. Για να βρούμε ποια είναι η βέλτιστη στρατηγική συντήρησης για κάθε συστατικό σε ένα σύστημα είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά αποτυχίας των συστατικών.

1.1.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Ο διαφορετικός εξοπλισμός σε μια πλατφόρμα δημιουργεί μια σειρά από δραστηριότητες που πρέπει να πραγματοποιηθούν, προκειμένου να διατηρηθεί το επίπεδο της ασφάλειας και της διαθεσιμότητας που απαιτείται. Αυτό θα μπορούσε να είναι δραστηριότητες συντήρησης, επιθεωρήσεις/έρευνες και τροποποιήσεις του νέου εξοπλισμού.

Οι δραστηριότητες αυτές μπορούν να χωριστούν μεταξύ των προγραμματισμένων δραστηριοτήτων και των μη προγραμματισμένων δραστηριοτήτων. Δραστηριότητες που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με το πρόγραμμα είναι η προληπτική συντήρηση, η τροποποίηση του νέου εξοπλισμού, οι επιθεωρήσεις/έρευνες. Με άλλα λόγια, όλες οι δραστηριότητες που μπορούν να σχεδιαστούν και να προγραμματιστούν.

Δραστηριότητες που κατηγοριοποιούνται ως μη προγραμματισμένες ανήκουν στην διορθωτική συντήρηση του εξοπλισμού.

Σε μια πλατφόρμα που παράγει πετρέλαιο συνεχώς, όλο το εικοσιτετράωρο, σε ορισμένες από αυτές τις δραστηριότητες θα απαιτηθεί εν μέρει ή εν συνόλω διακοπή της λειτουργίας της παραγωγής, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η απαιτούμενη συντήρηση.

Έτσι, προκειμένου να πραγματοποιήσει ένα ορισμένο πλήθος των απαραίτητων αυτών των δραστηριοτήτων, είναι ανάγκη να κλείσει την παραγωγή για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Στην βιομηχανία πετρελαίου είναι μια συνήθης πρακτική να πραγματοποιεί μια τέτοια διακοπή λειτουργίας σε τακτική βάση [11].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.2 - ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ

1.2.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η **μεταφορά θερμότητας**, ή **μετάδοση θερμότητας** από ένα σώμα/σύστημα μεγαλύτερης θερμοκρασίας προς ένα άλλο μικρότερης θερμοκρασίας είναι ένα φυσικό φαινόμενο που πραγματοποιείται με τρεις δυνατούς τρόπους/μηχανισμούς:

- αγωγή θερμότητας, που πραγματοποιείται μέσω της μάζας ή των μορίων στερεών
- συναγωγή θερμότητας (*), που πραγματοποιείται μόνο στα ρευστά που παρουσιάζουν μικρή θερμική αγωγιμότητα.
- θερμική ακτινοβολία, που πραγματοποιείται μεταξύ σωμάτων που βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους.

(*) Η συναγωγή θερμότητας ονομάζεται και μεταφορά δια ρευμάτων, ή κυκλοφορίας.

Σύμφωνα με τον νόμο μεταφοράς του Νεύτωνα (ή νόμο συναγωγής) ο *ρυθμός μεταφοράς θερμότητας* ή *ροή θερμότητας* δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A(T_0 - T_{env})$$

Q =Θερμότητα (Joules)

h =συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (Joule/m² .sec. °C)

A =Εμβαδόν επιφάνειας δια μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας (m²)

T_0 =Θερμοκρασία επιφάνειας του σώματος (°C)

T_{env} =Θερμοκρασία περιβάλλοντος γύρω από το σώμα (°C)

1.2.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ

“Ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι ένα μέρος του εξοπλισμού που κατασκευάζεται για την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας από ένα μέσο σε ένα άλλο. Τα μέσα μεταξύ των οποίων μεταφέρεται η θερμότητα μπορούν να διαχωριστούν με ένα στερεό υλικό για να αποφεύγεται η ανάμειξη ή μπορεί να βρίσκονται σε άμεση επαφή” [1].

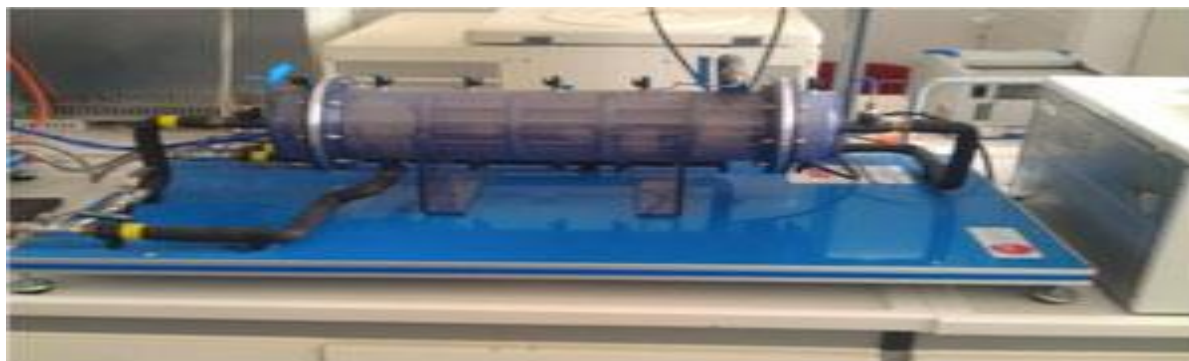
Οι εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται ευρέως στη θέρμανση και ψύξη χώρων, στον κλιματισμό, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στα χημικά εργοστάσια, στα εργοστάσια πετροχημικών, στα διυλιστήρια πετρελαίου, στην επεξεργασία φυσικού αερίου και διαφόρων λυμάτων.

“Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η μεταφορά ενέργειας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας. Το πολύ αυξημένο ενδιαφέρον για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα σε συνδυασμό με τα οικονομικά κίνητρα που έδωσαν οι περισσότερες κεντρικές κυβερνήσεις σε όλο το κόσμο οδήγησε τις παραγωγικές εταιρείες ανεξαρτήτως μεγέθους να αναπτύξουν τεχνολογίες αποτελεσματικότερης αξιοποίησης της ενέργειας. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη του παραπάνω στόχου έπαιζαν και συνεχίζουν να παίζουν οι συσκευές εναλλαγής θερμότητας. Οι εναλλάκτες θερμότητας βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς, ανάμεσα σε αυτούς εξέχουσα θέση έχουν η χημική και η μεταλλουργική βιομηχανία [2].”

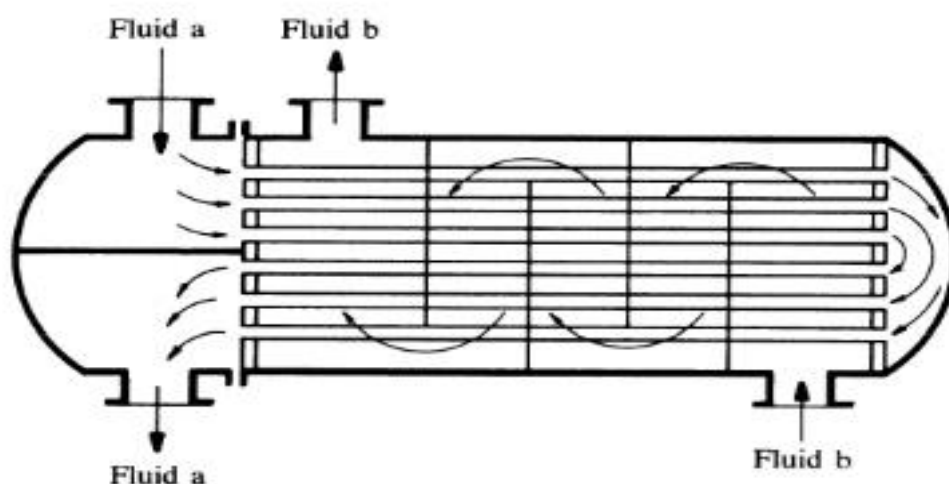
1.2.3 ΕΙΔΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

Τα σημαντικότερα είδη είναι:

1. Διπλού σωλήνα με ροή παράλληλη ή κατ'αντιρροή
2. Κελύφους και σωλήνων
3. Εγκάρσιας ροής με αναμίξιμα ή μη αναμίξιμα ρεύματα.



Εικόνα 1 - Εναλλάκτης Τύπου Κελύφους Αυλών



Σχήμα 2 - Εναλλάκτης δέσμης σωλήνων με ανακλαστήρες (αυλών-κελύφους)

1.2.4 ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Οι εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία, για την ψύξη και θέρμανση βιομηχανικών διεργασιών μεγάλης κλίμακας. Ο τύπος και το μέγεθος του εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται δύναται να προσαρμόζεται ώστε να ταιριάζει με διάφορες παραμέτρους του ρευστού.

Πιθανές παράμετροι είναι ο τύπος του υγρού, η φάση του, η θερμοκρασία, η πυκνότητα, το ιξώδες, οι πιέσεις, η χημική σύνθεση και διάφορες άλλες θερμοδυναμικές ιδιότητες.

Εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανίες, όπως:

- Επεξεργασίας λυμάτων
- Ψύξης
- Οινοποίησης και ζυθοποιίας
- Δύλισης πετρελαίου

Στην επεξεργασία των λυμάτων, οι εναλλάκτες θερμότητας παίζουν ζωτικό ρόλο στη διατήρηση της βέλτιστης θερμοκρασίας εντός αναερόβιων διεργασιών ώστε να προωθείται η ανάπτυξη των μικροβίων. Κοινοί τύποι εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εφαρμογή είναι ο εναλλάκτης θερμότητας διπλού σωλήνα καθώς και ο εναλλάκτης θερμότητας πλάκας και πλαισίου [3].

1.2.5 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΚΕΛΥΦΟΥΣ - ΣΩΛΗΝΑ

Ο εναλλάκτης κελύφους - σωλήνα είναι ο πιο κοινός τύπος εναλλάκτη θερμότητας σε διυλιστήρια πετρελαίου και σε άλλου τύπου μεγάλου εύρους χημικές διεργασίες. Επίσης είναι ο ιδανικός τύπος για εφαρμογές υψηλής πίεσης [1],[5].

Όπως υποδηλώνει το όνομά του, αυτός ο τύπος εναλλάκτη θερμότητας αποτελείται από ένα κέλυφος (ένα μεγάλο δοχείο πίεσης) με μία δέσμη σωλήνων μέσα σε αυτό. Ένα υγρό περνά μέσα από τους σωλήνες, και ένα άλλο υγρό ρέει πάνω από τους σωλήνες (μέσω του κελύφους). Έτσι επιτυγχάνεται η μεταφορά θερμότητας μεταξύ των δύο ρευστών. Το σύνολο των σωλήνων ονομάζεται δέσμη αυλών, και μπορεί να αποτελείται από διάφορους τύπους σωλήνων.

1.2.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Δύο υγρά, διαφορετικών θερμοκρασιών, ρέουν διαμέσου του εναλλάκτη θερμότητας. Το ένα ρέει διαμέσου των σωλήνων. Οι άλλες ροές λαμβάνουν χώρα εκτός των σωλήνων, αλλά στο εσωτερικό του κελύφους. Η θερμότητα μεταφέρεται από το ένα υγρό στο άλλο μέσω των τοιχωμάτων του σωλήνα. Τα ρευστά μπορούν να είναι είτε υγρά είτε αέρια είτε στο κέλυφος είτε εσωτερικά των σωληνώσεων. Προκειμένου να μεταφερθεί αποτελεσματικά η θερμότητα, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, με αποτέλεσμα τη χρήση πολλών σωλήνων.

Εναλλάκτες θερμότητας με μία μόνο φάση (υγρό ή αέριο) σε κάθε πλευρά μπορεί να ονομάζονται μονής φάσης ή απλής φάσης.

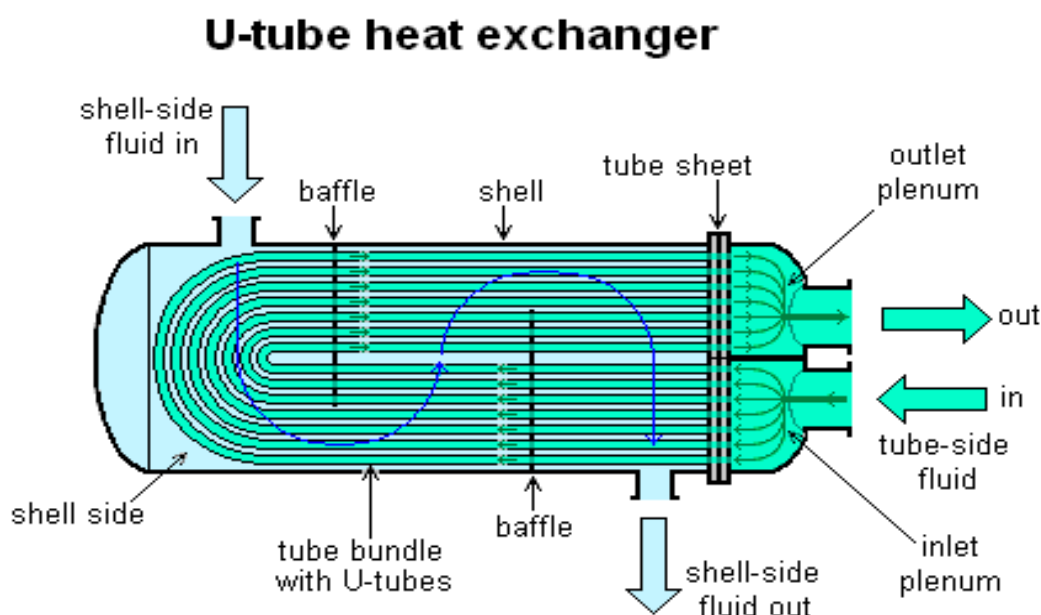
Εναλλάκτες θερμότητας δύο φάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση ενός υγρού και μετατροπή σε αέριο μέσω βρασμού (λέβητες), ή για την ψύξη ατμού

ώστε να μετατραπεί σε ένα υγρό (που ονομάζεται συμπυκνωτές). Η μεταβολή φάσης συνήθως συμβαίνει στην πλευρά του κελύφους.

Λέβητες σε ατμομηχανές είναι συνήθως κυλινδρικού σχήματος, εναλλάκτες θερμότητας, τύπου κελύφους και αυλών.

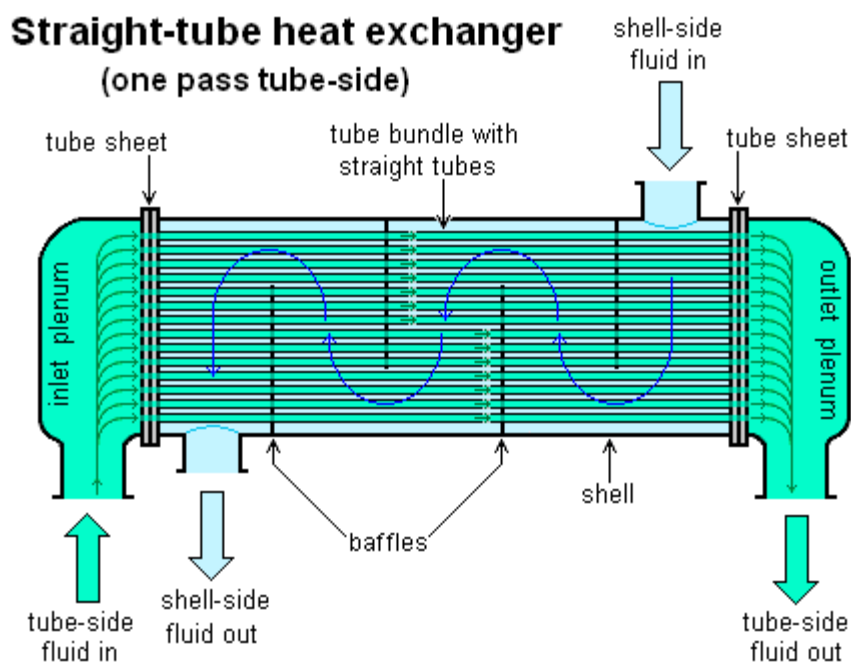
1.2.7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Μπορεί να υπάρχουν πολλές παραλλαγές του εναλλάκτη τύπου κελύφους αυλών. Τυπικά, τα άκρα κάθε σωλήνα συνδέονται με συλλέκτες μέσω διάφορων οπών. Οι σωλήνες μπορεί να είναι ευθύγραμμοι ή σε σχήμα U. Σε αυτή την περίπτωση ονομάζονται U-σωλήνες.



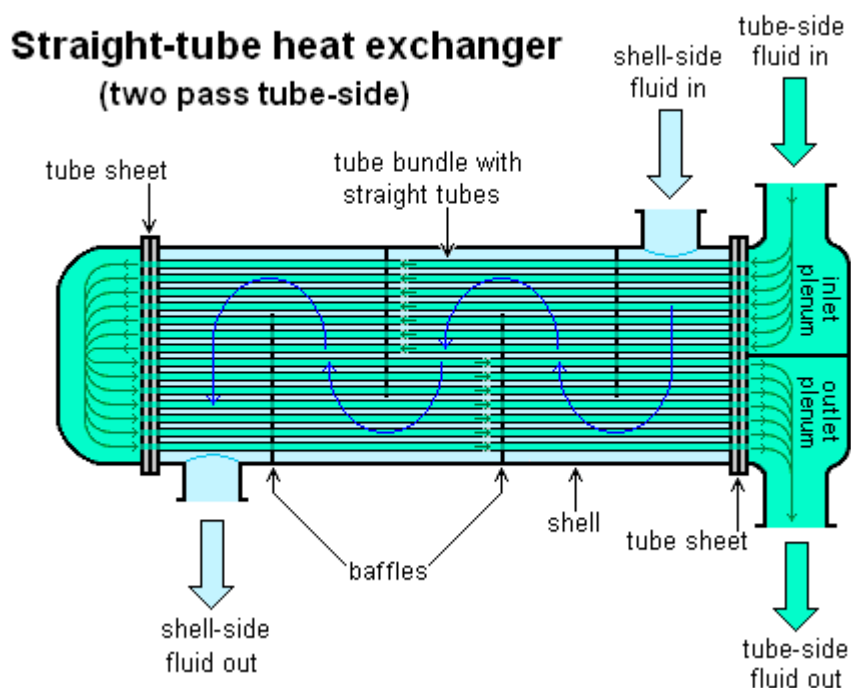
Σχήμα 3 – Εναλλάκτης Τύπου U

Σε εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας, οι εναλλάκτες θερμότητας ονομάζονται γεννήτριες ατμού. Οι εναλλάκτες αυτοί είναι δύο φάσεων, κελύφους - σωλήνα, που έχουν συνήθως U-σωλήνες. Χρησιμοποιούνται για τον βρασμό του νερού το οποίο ανακυκλώνεται από μία επιφάνεια συμπυκνωτή σε ατμό και υποβοήθημα μία τουρμπίνα στην παραγωγή ενέργειας. Οι περισσότεροι εναλλάκτες κελύφους - σωλήνα έχουν 1, 2, ή 4 πάσα από την πλευρά του σωλήνα. Αυτό αναφέρεται στον αριθμό των φορών που το ρευστό στους σωλήνες περνάει μέσα από το υγρό στο κέλυφος. Σε ένα εναλλάκτη μονής φάσης, το υγρό μπαίνει από το ένα άκρο κάθε σωλήνα και εξέρχεται από το άλλο.



Σχήμα 4 – Εναλλάκτης Τύπου Κελύφους Αυλών Μονής Εισόδου

Συμπυκνωτές επιφάνειες σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συχνά μονής διέλευσης εναλλάκτες θερμότητας (ευθύγραμμοι σωλήνες). Δύο και τέσσερα πάσα είναι κοινά, καθώς το υγρό μπορεί να εισέλθει και να εξέλθει από την ίδια πλευρά. Αυτό καθιστά την κατασκευή πολύ πιο απλή.



Σχήμα 5 – Εναλλάκτης Τύπου Κελύφους Αυλών Διπλής Εισόδου

Οι κοινοί εναλλάκτες θερμότητας είναι πιο αποτελεσματικοί, επειδή επιτρέπουν την υψηλότερη λογαριθμική μέση διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ζεστών και κρύων ρευμάτων. Πολλές εταιρείες όμως δεν χρησιμοποιούν μονής φάσης εναλλάκτες θερμότητας λόγω της ευθραυστότητας τους και του υψηλού κόστους κατασκευής.

1.2.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής μεταφοράς θερμότητας, το υλικό του σωλήνα θα πρέπει να έχει την απαιτούμενη θερμική αγωγιμότητα. Επειδή η θερμότητα μεταφέρεται από το θερμό στο ψυχρό μέσω των σωλήνων, υπάρχει μια διαφορά θερμοκρασίας επί του πλάτους των σωλήνων. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του εναλλάκτη και λόγω αυτής λαμβάνουν χώρα καταπονήσεις στα υλικά του εναλλάκτη. Αυτό συμβαίνει λόγω των υψηλών πιέσεων των υγρών που μεταφέρονται μέσω των σωληνώσεων. Το υλικό του σωλήνα θα πρέπει να είναι συμβατό τόσο με το κέλυφος όσο και με τα υγρά που ρέουν μέσω του σωλήνα. Πρέπει να έχει επιτευχθεί η εξακρίβωση των παραπάνω για μεγάλο χρονικό διάστημα υπό συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία, πίεση, pH, κ.λπ.) για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας φθοράς.

Συνηθισμένος τύπος φθοράς είναι η διάβρωση των υλικών. Όλες αυτές οι απαιτήσεις προϋποθέτουν προσεκτική επιλογή των ισχυρών, θερμικά αγωγίμων, ανθεκτικών στη διάβρωση, υψηλής ποιότητας υλικών σωλήνα. Τέτοια υλικά είναι συνήθως μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου του κράματος χαλκού, υλικά από ανοξείδωτο χάλυβα, μη σιδηρούχα κράματα χαλκού, νικέλιο και τιτάνιο [6]. Τα φθοριούχα όπως το PFOA και το FEP χρησιμοποιούνται επίσης για να παραχθεί το υλικό για τη σωλήνωση λόγω της υψηλής αντοχής τους σε ακραίες θερμοκρασίες [4].

1.2.9 ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Ο απλός σχεδιασμός ενός εναλλάκτη κελύφους - σωλήνα είναι μια ιδανική λύση ψύξης για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών. Μία από τις πιο κοινές εφαρμογές είναι η ψύξη ενός υδραυλικού υγρού και του πετρελαίου σε κινητήρες και κιβώτια ταχυτήτων. Η σωστή επιλογή των υλικών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ψύξη ή θερμότητα άλλων μέσων, όπως πισίνα νερού ή αέρα τροφοδοσίας [7].

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε επισταμένως με τους εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλες μηχανολογικές μονάδες και ειδικότερα σε μηχανολογική μονάδα άντλησης και επεξεργασίας αργού πετρελαίου. Θα αναφερθούμε στην συνέχεια αναλυτικώς στην διαδικασία συντήρησης των εναλλακτών τέτοιου τύπου, αναφέροντας όλες τις Αρχές που διέπουν την Θεωρία της Συντήρησης καθώς και ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία που επηρεάζουν την συντήρηση του συγκεκριμένου εξαρτήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.3 - ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στο παρών Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πιο πιθανές κατηγορίες βλαβών και αστοχιών εξοπλισμού που εμφανίζονται σε Εναλλάκτες Θερμότητας Κατηγορίας Κελύφους-Αυλών, με την πάροδο του χρόνου και σε συνθήκες λειτουργίας του Εναλλάκτη.

Τα πιο συνηθισμένα είδη βλαβών είναι :

1. Μεταλλική Διάβρωση
2. Ρήξη λόγω επιβολής υψηλής πίεσης
3. Δόνηση
4. Θερμική Καταπόνηση
5. Θερμική Διαστολή
6. Πάγωμα Συστημάτων του Εξοπλισμού
7. Άλλα είδη Βλαβών και Αστοχιών

1.3.1 ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η υπερβολική ταχύτητα με την οποία κινείται το υγρό είτε στο κέλυφος είτε στους σωλήνες του εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να προκαλέσει επιβλαβή διάβρωση στην μεταλλική κατασκευή. Κάθε μερική διάβρωση που λαμβάνει χώρα αφαιρεί υλικό από την μεταλλική κατασκευή. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα καθώς συνεχίζεται και επιταχύνεται η ροή του ρευστού, νέο μέρος μεταλλικού υλικού να εκτίθεται και εν τέλει, μελλοντικά, να πραγματοποιείται ολική διάβρωση του εν λόγω εξοπλισμού.

Τα περισσότερα προβλήματα διάβρωσης μετάλλων συμβαίνουν στο εσωτερικό των σωλήνων. Η U-καμπή του εναλλάκτη θερμότητας τύπου-U και οι είσοδοι του σωλήνα είναι τα μέρη που είναι περισσότερο εκτεθειμένα και επιρρεπή σε διάβρωση.

Η Εικόνα-2 δείχνει την απώλεια μετάλλου σε μία στροφή U που προκαλείται από το υψηλής θερμοκρασίας νερό που μετατρέπεται σε ατμό [8].



Εικόνα 2 - Μεταλλική Διάβρωση σε U – καμπή

Οι είσοδοι των σωληνώσεων πάσχουν από σοβαρή απώλεια μετάλλου όταν υγρό υψηλής ταχύτητας εισέρχεται από το ένα άκρο του σωλήνα και κατόπιν διαιρείται σε πολύ μικρότερα ρεύματα κατά την είσοδο του στον εναλλάκτη θερμότητας. Το αποτέλεσμα της διαίρεσης του αρχικού ρεύματος σε μικρότερα ρεύματα είναι η δημιουργία υψηλής αναταραχής και η ταυτόχρονη ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων, εντός των επιμέρους ρευμάτων. Η υψηλή ταχύτητα και οι αναταράξεις παράγουν ένα “μοτίβο” πεταλοειδούς διάβρωσης στην είσοδο του σωλήνα.

Η μέγιστη συνιστώμενη ταχύτητα στην είσοδο και στο εσωτερικό των σωληνώσεων είναι μια συνάρτηση πολλών μεταβλητών, συμπεριλαμβανομένου του υλικού του σωλήνα, του διαρρέοντος υγρού και της θερμοκρασίας.

Υλικά όπως ο χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας και τα κράματα χαλκού και νικελίου παρουσιάζουν αντοχή σε υψηλότερες ταχύτητες εντός των σωλήνων από ότι ο χαλκός.

Οι αντοχές του χαλκού συνήθως περιορίζονται σε 7,5 fps (feet per second).

Τα άλλα υλικά μπορούν να αντέξουν 10 ή 11 fps. Εάν το νερό ρέει μέσα από σωλήνες χαλκού, η ταχύτητά του πρέπει να είναι μικρότερη από 7,5 fps όταν περιέχει αιωρούμενα στερεά, για να μην παρουσιάζεται το φαινόμενο αυτό.

Προβλήματα διάβρωσης στο εξωτερικό των σωλήνων συνήθως προκύπτουν από πρόσκρουση του υγρού και των αερίων υψηλής ταχύτητας, όπως είναι ο ατμός.

Οι παραπάνω προσκρούσεις τίθενται σε έλεγχο μέσω μεγάλου όγκου σωληνώσεων στα ακροφύσια εισόδου, ή με την τοποθέτηση διαφραγμάτων πρόσκρουσης στα στόμια πλήρωσης.

1.3.2 ΡΗΞΗ ΛΟΓΩ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΑΤΜΟΥ Ή ΥΓΡΟΥ

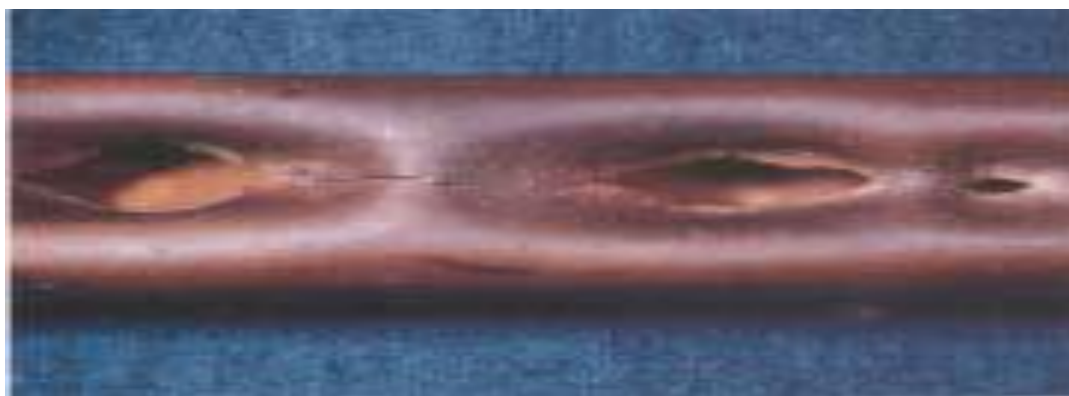
Κύματα ρευστού υψηλής πίεσης ή κύματα ρευστού τύπου ‘σοκ’ που προκλήθηκαν από την ξαφνική και γρήγορη επιτάχυνση ή αντίστοιχα επιβράδυνση ενός υγρού μπορεί να προκαλέσουν ρήξη λόγω επιβολής υψηλής πίεσης. Η προκύπτουσα πίεση έχει μετρηθεί σε επίπεδα πάνω από 20.000 psi (pounds per square inch), η οποία είναι αρκετά υψηλή, με αποτέλεσμα να επιφέρει ρήξη ή σύμπτυξη του σωλήνα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας.

Για παράδειγμα, ο εναλλάκτης 3/4 in. X 20 BWG χάλκινων σωληνώσεων έχει πίεση διάρρηξης 2100 psi και πίεση ρήξης του 600psi. Η διακοπή της ψύξης του νερού μπορεί να προκαλέσει απότομη αύξηση της πίεσης με επιβλαβείς συνέπειες για τις εγκαταστάσεις. Το στάσιμο ψυγμένο νερό θερμαίνεται αρκετά για να παράγει ατμό, και η επαναλαμβανόμενη ροή μπορεί να προκαλέσει μία ξαφνική συμπίκνωση του ατμού και να παράγει επιζήμια πίεση. Η πίεση αυτή με την σειρά της προκαλεί ‘σκάσιμο’ των σωληνώσεων.

Οι βαλβίδες ελέγχου ροής ρευστού που ανοίγουν ή κλείνουν ξαφνικά παράγουν επίσης υψηλή πίεση που δημιουργεί παρόμοιες βλάβες στις σωληνώσεις. Οι ρυθμιζόμενες βαλβίδες ελέγχου ροής ρευστού είναι προτιμότερες και λιγότερο επιβλαβείς σε σχέση με τις βαλβίδες τύπου ‘on-off’. Πρέπει να προβλέπεται εξαερισμός διακόπτη κενού, εάν παρόμοιες συμπτωκνώσεις εμφανίζονται είτε στο κέλυφος είτε στους σωλήνες, διότι έτσι εμποδίζονται βλάβες που προκύπτουν από τη συσσώρευση συμπτωκνώματος.

Σε αυτή την περίπτωση, το συμπτωκνωμα συσσωρεύεται στο κέλυφος και γρήγορα επιταχύνεται, παράγοντας ένα υψηλής πίεσης ωστικό κύμα που προκάλεσε κατάρρευση το σωλήνα και δημιούργησε τις συγκεκριμένες τρύπες. Κατάλληλου μεγέθους ‘παγίδες’ ατμού με γραμμές επιστροφής που καταλήγουν σε μια αντλία θα πρέπει να εγκατασταθούν για να αποφευχθεί αυτού του είδους η βλάβη.

Στην Εικόνα 3 φαίνεται τυπικός σωλήνας που έχει υποστεί ζημία λόγω συμπτωκνώσεων[8].



Εικόνα 3 - Διάρρηξη σωλήνα από το φαινόμενο υπερβολικής συμπίκνωσης

1.3.3 ΔΟΝΗΣΗ

Η υπερβολική δόνηση από τον εξοπλισμό, όπως τους συμπιεστές αέρα ή τα μηχανήματα ψύξης, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο σωλήνα με τη μορφή μιας ρωγμής μηχανικής κόπωσης ή διάβρωση του σωλήνα στο σημείο της επαφής με διαφράγματα. Οι εναλλάκτες θερμότητας πρέπει να προστατεύονται από αυτό το είδος της δόνησης. Οι ταχύτητες ρευστού στην πλευρά του κελύφους, άνω των 4 fps μπορεί να προκαλέσουν επιβλαβείς κραδασμούς στους σωλήνες, προκαλώντας διάσπαση στα σημεία στήριξης με τα διαφράγματα, (βλ. την Εικόνα 4) [8].

Οι δονήσεις που προκαλούνται από αύξηση της ταχύτητας μπορούν να προκαλέσουν βλάβες μέσω σκλήρυνσης του σωλήνα στα σημεία επαφής με το διάφραγμα ή επίσης να προκαλέσουν σε μια U-στροφή (Εναλλάκτη τύπου-U) διάφορες ρωγμές.



Εικόνα 4 – Βλάβη από Δόνηση στις σωληνώσεις

1.3.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

Οι σωληνώσεις, ιδιαίτερα στη U-στροφή των αντίστοιχων εναλλακτών, μπορούν να εμφανίσουν αστοχία εξαιτίας της κόπωσης που προκύπτει από συσσωρευμένες πιέσεις που συνδέονται με τους επαναλαμβανόμενους θερμικούς κύκλους. Αυτό το πρόβλημα επιδεινώνεται σε μεγάλο βαθμό καθώς η διαφορά θερμοκρασίας σε όλο το μήκος του σχήματος U σωλήνα, αυξάνεται.

Η Εικόνα 5 δείχνει ένα παράδειγμα θερμικής καταπόνησης. [8]

Η διαφορά θερμοκρασίας προκαλεί κάμψη του σωλήνα, η οποία παράγει μία τάση που δρα επιβαρυντικά ως τα όρια αντοχής του υλικού και εν τέλει μπορεί να προκαλέσει ακόμη και ρωγμές στην επιφάνεια αυτού. Η ρωγμή εμφανίζεται συνήθως ακτινικά γύρω από το σωλήνα, και πολλές φορές έχει ως αποτέλεσμα μια συνολική ρήξη. Σε άλλες περιπτώσεις, η ρωγμή παρουσιάζεται σε μικρότερη έκταση, αλλά με την πάροδο του χρόνου η καταστροφή του υλικού, παρουσιάζει υψηλά ποσοστά εμφάνισης.



Εικόνα 5 – Θερμική Καταπόνηση σε εναλλάκτη τύπου U

1.3.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Η θερμική διαστολή, ως τύπος αστοχίας εξοπλισμού, εμφανίζεται συχνότερα σε εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούν ατμό. Ωστόσο, τέτοιου είδους αστοχίες μπορούν να λάβουν χώρα, σε οποιοδήποτε τύπο εναλλάκτη στον οποίο δεν υπάρχουν διατάξεις που να συμβάλλουν στην απορρόφηση της θερμότητας, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της θερμικής διαστολής.

Σε συστήματα όπου η θέρμανση επιτυγχάνεται μέσω ατμού, το ψυκτικό ρεύμα ή το ρεύμα ατμού στο κέλυφος, αφού η βαλβίδα ελέγχου ροής κλείνει, συνεχίζει να θερμαίνει το νερό ή άλλα υγρά από την πλευρά του σωλήνα. Η συνέχιση της θέρμανσης προκαλεί θερμική διαστολή, η οποία δημιουργεί πιέσεις που υπερβαίνουν κατά πολύ την αντοχή των φύλλων των σωλήνων, των κεφαλών, και άλλων μερών του εναλλάκτη θερμότητας. Τεμάχια από χυτοσίδηρο συνήθως παρουσιάζουν ρήξη λόγω της έλλειψης πλαστικότητας. Τα φύλλα των χαλύβδινων σωλήνων παρουσιάζουν σοβαρές βλάβες έως και μόνιμη παραμόρφωση.

Η Εικόνα 6 δείχνει μια θερμική βλάβη στην κεφαλή από χυτοσίδηρο, σε έναν εναλλάκτη θερμότητας [8].

Βαλβίδες εκτόνωσης τοποθετούνται στο θερμαινόμενο σύστημα υγρού για να αποφευχθεί αυτού του είδους η αστοχία. Σκόπιμη θεωρείται η παροχή μέσων για την απορρόφηση της θερμότητας και κατ' επέκταση η αποφυγή του φαινομένου της θερμικής διαστολής.

Δύναται η χρησιμοποίηση δεξαμενών για την υποβοήθηση των βαλβίδων εκτόνωσης. Οι συσκευές αυτές εγκαθίστανται μεταξύ του εναλλάκτη θερμότητας και των βαλβίδων. Η θερμική διαστολή είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο που παρουσιάζεται στους εναλλάκτες θερμότητας με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 6 – Αστοχία λόγω Θερμικής Διαστολής σε κεφαλή εναλλάκτη θερμότητας, από χυτοσίδηρο.

1.3.6 ΠΑΓΩΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Αυτού του είδους οι αστοχίες είναι πιο συχνές σε συστήματα εξάτμισης ή συμπυκνωτές. Ωστόσο, μπορούν να συμβούν σε οποιοδήποτε εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο η θερμοκρασία κατέλθει του σημείου πήξεως κάθε υγρού μέσα στη μονάδα.

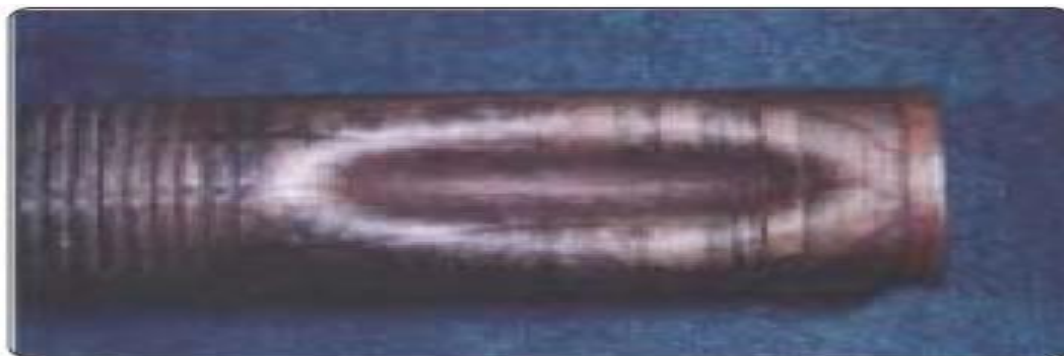
Τα αποτελέσματα του παγώματος από την αδυναμία παροχής θερμικής προστασίας, είναι η δημιουργία μιας δυσλειτουργίας του συστήματος θερμικής προστασίας ή του ελέγχου της προστατευτικής διάταξη θέρμανσης. Επίσης η μη ικανοποιητική αποστράγγιση της μονάδας για τη χειμερινή διακοπή λειτουργίας, ή η ανεπαρκής λειτουργία των συστημάτων αναστολής της ψύξεως, υποβοηθούν την παρουσίαση της εν λόγω βλάβης.

Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ένα ψυκτικό σύστημα έχει λανθασμένες ρυθμίσεις ή δυσλειτουργία για ένα ελέγξει/αποτρέψει την ψύξη του νερού σε ένα επίπεδο κάτω από το σημείο πήξης του. Τότε σχηματίζεται πάγος, ο οποίος ασκεί τεράστια πίεση στο σύστημα σωληνώσεων, η οποία εν τέλει προκαλεί την ρήξη ή/και την κατάρρευση του συστήματος.

Η κατάρρευση σε έναν εξατμιστήρα (βλέπε Εικόνα 7) εμφανίζεται συνήθως κοντά στην επιφάνεια του σωλήνα, όπου ο σωλήνας δεν προστατεύεται εσωτερικά (μέσω μιας σφήνας) [8].

Βλάβη παγώματος σε ένα σωλήνα συμπυκνωτή μπορεί επίσης να προκύψει όταν το νερό ψύξης που κυκλοφορεί στο εσωτερικό του σωλήνα, το ψυκτικό υγρό συμπυκνώνεται επί των εξωτερικών πτερυγίων της επιφάνειας και η μονάδα δεν αποστραγγίζεται σωστά για τον τερματισμό λειτουργίας κατά την χειμερινή περίοδο (όταν προβλέπεται τέτοιου είδους διαδικασία). Η παρουσίαση στρέβλωσης του σωλήνα δείχνει ότι ήταν εκτεθειμένος σε υπερβολική πίεση που προκαλείται από το παγωμένο νερό.

Αυτό το είδος της αστοχίας προκαλείται επίσης από την ξαφνική απελευθέρωση της πίεσης από το συμπυκνωτή. Η ξαφνική απελευθέρωση που προκαλείται από μια ρωγμή που εμφανίζεται ή ξαφνική εκκένωση της βαλβίδας εκτόνωσης, μειώνει με ραγδαίο τρόπο την πίεση κάτω από το σημείο ζέσεως του ψυκτικού μέσου. Εν τέλει πραγματοποιείται απελευθέρωση θερμότητας από το νερό στους σωλήνες και κατ' επέκταση το υγρό παγώνει.



Εικόνα 7 - Κατάρρευση εξαρτημάτων λόγω παγώματος

1.3.7 ΑΛΛΕΣ ΒΛΑΒΕΣ - ΑΣΤΟΧΙΕΣ

Προβληματική Λειτουργία Ανοδίων

Σε περίπτωση χρησιμοποίησης θαλασσινού νερού στο εσωτερικό του εναλλάκτη, είναι πολύ συχνό το φαινόμενο κατάρρευσης της λειτουργίας των ανοδίων.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα επιλύεται με αντικατάσταση αυτών.

Εμφάνιση καθιζημάτων (πουρί) στο εσωτερικό του Εναλλάκτη

Η εμφάνιση αλάτων στο εσωτερικό του εναλλάκτη, προκαλούν αρκετές δυσλειτουργίες στην απόδοση αυτού.

Το παραπάνω είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο που παρουσιάζεται και στις σωληνώσεις και στο κέλυφος.

Αντιμετωπίζεται είτε με υδροβολή και αμμοβολή είτε με τριβεία.

Διαρροή στην κεφαλή του Εναλλάκτη

Αντιμετωπίζεται με ξεβίδωμα, καθαρισμό και αντικατάσταση της Κεφαλής του Εναλλάκτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.4 - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΕΤΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

1.4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

“Η Συντήρηση Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας είναι μια ουσιαστική δραστηριότητα, που εμφανίζεται κυρίως στη μεταποιητική βιομηχανία. Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση μιας συνεπούς και υψηλής παραγωγικής ικανότητας της επιχείρησης. Πρόκειται για ένα σημαντικό έργο που απαιτεί σχεδιασμό, ορθή εκτέλεση εργασιών, παρακολούθηση και έλεγχο.”

1.4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την επίτευξη υψηλότερων εταιρικών επιδόσεων -αν μετριέται με βάση την αξία των μετοχών, την αύξηση των εσόδων, της αύξηση της κερδοφορίας ή την ικανοποίηση των πελατών - οι εταιρείες πρέπει να μεγιστοποιήσουν την απόδοση των παγίων, φυσικών ή κεφαλαιουχικών περιουσιακών στοιχείων τα οποία έχουν άμεσο και σημαντικό αντίκτυπο στην επίτευξη εταιρικών στόχων.

Η Διαχείριση Συντήρησης είναι μια περιοδική διαδικασία συντήρησης κατά την οποία τα μέρη του εξοπλισμού βρίσκονται σε μη παραγωγική λειτουργία, ώστε να επιτυγχάνονται διαδικασίες επιθεωρήσεων, επισκευών και αντικαταστάσεων οι οποίες μπορούν να λάβουν χώρα, μόνο όταν το σύνολο της μηχανολογικής μονάδας ή το απαιτούμενο μέρος αυτής βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Κατά τη διάρκεια της συντήρησης, εκτελούνται τα ακόλουθα στάδια εργασιών :

- (1) εργασία σε εξοπλισμό που δεν μπορεί να γίνει εκτός εάν το σύνολο του εξοπλισμού είναι εκτός λειτουργίας
- (2) εργασία που μπορεί να γίνει ενώ ο εξοπλισμός είναι σε λειτουργία, αλλά απαιτεί μια μακρά περίοδο συντήρησης και έναν μεγάλο αριθμό προσωπικού σε επίπεδο ανθρώπινου δυναμικού
- (3) επιδιόρθωση ελαττωμάτων που έχουν επισημανθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, αλλά δεν καθίσταται δυνατή η επιδιόρθωσή τους στην περίοδο αυτή, μεταφέρονται στην περίοδο που διενεργείται η συνολική συντήρηση του εξοπλισμού ολόκληρης της μηχανολογικής μονάδας [13].

Η Συντήρηση στη μεταποιητική βιομηχανία, συγκεκριμένα, διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στη διατήρηση μιας συνεπούς και αξιόπιστης παραγωγικής διαδικασίας η οποία υποστηρίζει και διασφαλίζει την αξιοπιστία του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Η διεργασία αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλή πολυπλοκότητα και μεγάλο εύρος εργασιών. Η επιτυχής πραγματοποίησή της είναι ζωτικής σημασίας για την κερδοφορία της εταιρείας και για το ανταγωνιστικό της πλεονέκτημα.

Γι' αυτούς τους λόγους, είναι σημαντικό για τις εταιρείες αυτές να έχουν μια υγιή διαδικασία για το σχεδιασμό και τη διαχείριση των διαδικασιών Συντήρησης.

1.4.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ

Η συντήρηση εξοπλισμού μεγάλης μηχανολογικής μονάδας διαρθρώνεται στα κάτωθι στάδια:

1. Έναρξη

Αυτή η φάση περιλαμβάνει όλα τα στρατηγικά πεδία και τις δραστηριότητες που απαιτούνται για να ξεκινήσει η διαδικασία σχεδιασμού των διαδικασιών συντήρησης.

2. Προετοιμασία

Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό στάδιο της όλης διαδικασίας. Η επιτυχής εκτέλεση του έργου της Συντήρησης εξαρτάται από την καλή προετοιμασία. Η πιο σημαντική δραστηριότητα σε αυτή τη φάση είναι η κατάρτιση του καταλόγου (πλάνου) εργασιών η οποία είναι η βάση, εν συνόλω, του σχεδιασμού των διαδικασιών συντήρησης.

3. Εκτέλεση

Η έμφαση σε αυτήν την φάση είναι η παρακολούθηση και ο έλεγχος των διαφόρων δραστηριοτήτων της συντήρησης ώστε να πληρείται το χρονοδιάγραμμα και ο προϋπολογισμός.

4. Τερματισμός

Σε αυτή τη φάση, το έργο της συντήρησης βρίσκεται σε διαδικασίες ολοκλήρωσης και η απόδοση ανασκοπείται και αποτυπώνεται σε μια αναφορά. Επίσης, στην αναφορά καταγράφονται προβλήματα και δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια εκτέλεσης των διαδικασιών ώστε να παραχθεί συσσωρευμένη γνώση, η οποία θα αυξήσει το γνωσιακό επίπεδο της εταιρίας και θα χρησιμοποιηθεί στο μέλλον ώστε να προλαμβάνει παρόμοιες καταστάσεις.

1.4.4 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ – ΔΟΜΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Προχωρώντας ενδελεχώς στην περαιτέρω ανάλυση των παραπάνω σταδίων θα σας παρουσιάσουμε αναλυτικά της φάσεις του έργου Γενικής Συντήρησης (turnaround management, TAM) μιας μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας Παραγωγής Πετροχημικών Προϊόντων.

1. Έναρξη Έργου

Η Συντήρηση Εξοπλισμού Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας είναι ένα έργο μεγάλης έκτασης σε επίπεδο Φυσικού και Οικονομικού Αντικειμένου καθώς και χρονικής διάρκειας. Απαιτείται κατ' επέκταση μια σοβαρή και επικεντρωμένη προσπάθεια για να επιτευχθεί ο επιτυχής σχεδιασμός και η αποτελεσματική διαχείριση του έργου αυτού. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η διάρκεια και το κόστος, επιτυγχάνοντας παράλληλα υψηλή ποιότητα και ικανοποιητικό επίπεδο ασφαλείας.

Ξεκινώντας το έργο της Συντήρησης θα πρέπει να λάβει χώρα ικανοποιητικός χρονοπρογραμματισμός του έργου. Η απουσία του απαραίτητου σχεδιασμού και η ανεπαρκής εκτέλεση των διαδικασιών και εργασιών οδηγούν σε μακροπρόθεσμη ή/και μεσοπρόθεσμη αναξιοπιστία του εξοπλισμού με αποτέλεσμα ο εξοπλισμός μελλοντικά να μην ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και εν τέλει να λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της κακής ποιότητας στα προϊόντα και της απώλειας στην παραγωγή. Μια καλή πρακτική είναι να ξεκινήσει ο σχεδιασμός της επόμενης συντήρησης αμέσως μετά την ολοκλήρωση της τρέχουσας, ειδικότερα αν η διάρκεια μεταξύ δύο διαδοχικών γεγονότων είναι λιγότερο από δύο χρόνια.

Τα ανώτερα διοικητικά στελέχη της εταιρίας πρέπει να ορίσουν μια ομάδα διαχείρισης συντήρησης, με μέλη που προέρχονται από διαχειριστικές θέσεις αλλά και μηχανικούς, οι οποίοι είναι οι εμπλεκόμενοι φορείς και έχουν την εξουσία να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με το Έργο της Συντήρησης.

Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας της Συντήρησης απαιτεί πλήρους απασχόλησης Διευθυντή Έργου (TAM Manager), ο οποίος ασκεί καθήκοντα Διοικητή Έργου, έχει επαυξημένες αρμοδιότητες και τελικώς τον βασικό ρόλο στην οργάνωση του Έργου. Ευθύνη του είναι να ελέγχει και να επιβεβαιώνει ότι όλες οι δραστηριότητες διεξάγονται όπως ακριβώς είχε προγραμματιστεί κατά τον αρχικό σχεδιασμό και σύμφωνα με τις προσυμφωνημένες απαιτήσεις .

Ορισμός Διοικητή Έργου

“Το άτομο στο οποίο έχει ανατεθεί, από το φορέα υλοποίησης, να επιτύχει τους αντικειμενικούς στόχους του έργου” [14].

Κατά την αρχική φάση της Συντήρησης πρέπει να λάβει χώρα λεπτομερής σχεδιασμός όλων των πτυχών του έργου, που πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Κατόπιν αναλύονται οι εξής δραστηριότητες:

1. Καθορισμός Φυσικού Αντικειμένου
2. Προετοιμασία Εργασιών
3. Καθορισμός της απαιτούμενης εργασίας πριν αρχίσει το Έργο της Συντήρησης
4. Καθορισμός και προμήθεια των απαιτούμενων υλικών-πόρων
5. Καθορισμός συμβάσεων ανά παραδοτέο (αν απαιτείται)
6. Επιλογή Εξωτερικών Εργολάβων
7. Δημιουργία και Ενοποίηση του Ολοκληρωμένου Πλάνου Εργασιών για την Συντήρηση
8. Καθορισμός της Ομάδας Διαχείρισης της Συντήρησης
9. Καθορισμός του Διοικητή του Έργου
10. Δημιουργία πλάνου εφοδιαστικής αλυσίδας
11. Δημιουργία Ανάλυσης Κόστους για το Έργο της Συντήρησης
12. Θέσπιση αδειοδοτήσεων για την εκκίνηση λειτουργίας του Συστήματος
13. Καθορισμός Προγράμματος Ασφαλείας
14. Καθορισμός Προγράμματος Ποιότητας
15. Καθορισμός Προγράμματος Επικοινωνίας και Συνεδριάσεων της Ομάδας Διαχείρισης της Συντήρησης .
16. Καθορισμός Σχεδίου Διαχείρισης Αλλαγών

2. Πεδίο Εργασίας – Φυσικό Αντικείμενο

Ο κατάλογος των εργασιών ή των δραστηριοτήτων που πρέπει να πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια του Έργου της Συντήρησης ονομάζεται Φυσικό Αντικείμενο (Πεδίο Εργασίας). Αυτή είναι η βάση πάνω στην οποία συντελούνται όλες οι άλλες πτυχές του έργου όπως η ασφάλεια, η ποιότητα, η διάρκεια, οι απαιτούμενοι πόροι και τα υλικά καθώς και οι απαιτήσεις του εξοπλισμού. Η Συντήρηση (TAM) αποτελείται από ένα μείγμα από εργασίες συντήρησης και εργασίες του έργου. Οι κατάλογοι των δραστηριοτήτων αυτών μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Έργα
- Σημαντικές εργασίες συντήρησης, όπως η αντικατάσταση ενός μεγάλου μηχανήματος ή την εκ νέου κατάρτιση μιας αποστακτικής στήλης
- Μικρές εργασίες συντήρησης, όπως τον καθαρισμό και την επιθεώρηση ενός μικρού εναλλάκτη θερμότητας
- Εργασίες μεγάλου εύρους, όπως η επισκευή ενός μεγάλου αριθμού μικρών αντικειμένων, όπως βαλβίδες και μικρές αντλίες.

Οι δραστηριότητες αυτές προέρχονται από διάφορες κατευθύνσεις, όπως από τις νομικές δεσμεύσεις σε επίπεδο απαιτήσεων ασφαλείας, από την παραγωγή ή από προγράμματα βελτίωσης της ποιότητας. Τα δεδομένα για αυτές τις εργασίες προέρχονται από την παραγωγή, τη συντήρηση, τη μηχανική και τις υπηρεσίες ασφάλειας [13].

Είναι εξαιρετικά σημαντικό η λίστα εργασιών της Συντήρησης να διατηρείται όσο το δυνατόν συντομότερη ανάλογα πάντα με τα απαιτούμενα επίπεδα αξιοπιστίας για την προστασία του εργοστασίου. Η αρμοδιότητα των ομάδων έργου της Συντήρησης και του διευθυντή έργου είναι να επεξεργάζεται όλες τις εργασίες και τις απαιτήσεις του έργου με συστηματικό τρόπο για να καθορίζει αυτές τις απαιτήσεις σωστά, αποφεύγοντας την περιττή δαπάνη πόρων και χρόνου στο έργο. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι το εγκεκριμένο εύρος εργασιών περιλαμβάνει μόνο τις εργασίες που είναι απαραίτητες για την αποκατάσταση, τη διατήρηση ή τη βελτίωση της αξιοπιστίας του εργοστασίου και οι οποίες δεν μπορούν να γίνουν σε οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή.

Τεκμαίρεται επαρκώς το αξίωμα που αναφέρει ότι όταν μια εργασία είναι επαρκώς και πλήρως σχεδιασμένη τότε, για την εκτέλεση της, απαιτούνται λιγότεροι πόροι σε ανθρώπινο δυναμικό και υλικά καθώς και λιγότερος χρόνος. Ευκόλως συνεπάγεται ότι η βέλτιστη κατάρτιση του Φυσικού και Οικονομικού Αντικειμένου ενός Έργου, οδηγεί σε οικονομία χρόνου και χρήματος. Κάθε εντολή εργασίας θα πρέπει να προγραμματιστεί πριν από την εκτέλεση.

Κάθε προγραμματισμένη διεργασία συνοδεύεται από ένα πακέτο εργασιών, το οποίο είναι ένα έγγραφο που περιέχει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την εκτέλεση της εργασίας, καθώς και τους απαιτούμενους πόρους που θα χρειαστούν για την εκτέλεση αυτής.

3. Πόροι

Ένα μέρος των σημαντικότερων διαδικασιών της προετοιμασίας πριν την έναρξη του έργου της Συντήρησης είναι η έγκαιρη προμήθεια των εκατοντάδων αντικειμένων - υλικών, ανταλλακτικών και του εξοπλισμού των εγκαταστάσεων που απαιτείται. Κάποια από αυτά τα μέρη εξοπλισμού θα έχουν μεγάλο χρονικό διάστημα παράδοσης. Για παράδειγμα, ο χρόνος παράδοσης ενός συμπιεστή θα μπορούσε κάλλιστα να είναι ακόμα και 16 μήνες. Απαιτείται λοιπόν έγκαιρος χρονικός εντοπισμός των απαιτήσεων σε πόρους, το νωρίτερο δυνατό, ώστε να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες παραγγελίες υλικών και μερών εξοπλισμού.

Άλλες δραστηριότητες κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης περιλαμβάνουν:

- προ- απαιτούμενη εργασία
- παραγγελία εξειδικευμένων τεχνολογιών
- επαφές με πωλητές
- επαφές και επικοινωνία με διάφορες υπηρεσίες

4. Εργολάβοι

Οι Εργολάβοι παίζουν κομβικό ρόλο κατά το Έργο της Συντήρησης λόγω του μεγέθους του έργου που πρέπει να ολοκληρωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα. Άλλοι λόγοι για τη χρησιμοποίηση εργολάβων είναι:

- η εμπειρία και ο επαγγελματισμός
- η εξειδικευμένη γνώση
- η αυξημένη παραγωγικότητα
- το ελεγχόμενο κόστος
- η εγγυημένη απόδοση

Συνειδητοποιώντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, οι εταιρίες πρέπει να έχουν ασφαλή κριτήρια για την επιλογή των εργολάβων και υψηλά επίπεδα παρακολούθησης τους για την διασφάλιση της απαιτούμενης ποιότητας στην παροχή των υπηρεσιών τους [15].

5. Εφοδιαστική Αλυσίδα

Η εφοδιαστική αλυσίδα του έργου, διαδραματίζει έναν νευραλγικό ρόλο στην φύση αυτού. Περιλαμβάνει την αποθήκευση των υλικών και του απαιτούμενου εξοπλισμού,

την στέγαση των εργολάβων και του προσωπικού και την κινητοποίηση όλων των απαιτούμενων συντελεστών του έργου.

Σημαντική αρμοδιότητα αυτού του τομέα είναι η δημιουργία ενός σχεδίου οικοπέδου (plot plan) για το εργοτάξιο [15].

Στο σχέδιο αυτό αναφέρονται:

1. η περίμετρος και τα όρια του εργοταξίου
2. τα στοιχεία και η θέση του εξοπλισμού του εργοστασίου που αφορούν το έργο (π.χ. σύστημα σωληνώσεων)
3. όλοι οι δρόμοι του εργοταξίου
4. οι περιοχές ή οι δρόμοι όπου απαγορεύεται η πρόσβαση
5. όλες οι προσβάσεις σε παράπλευρους δρόμους και περιοχές
6. όλες οι θέσεις πυρόσβεσης και προστασίας σε περίπτωση πυρκαγιάς
7. όλες οι περιοχές με επικίνδυνα υλικά
8. όλες οι περιοχές για τις επικίνδυνες ουσίες
9. οι εγκεκριμένες διαδρομές των οχημάτων με κατευθύνσεις κυκλοφορίας
10. η τοποθεσία του εξοπλισμού ασφαλείας
11. οι προσωρινές σωληνώσεις και καλωδιώσεις για υπηρεσίες κοινής ωφέλειας
12. οι χώροι για διάφορες τεχνικές εργασίες όπως συγκόλληση, αεροσυμπιεστές κλπ .
13. οι περιοχές των εργολάβων
14. οι χώροι στάθμευσης
15. οι χώροι ελέγχων και διαχείρισης ασφαλείας του έργου

6. Σχεδιασμός Έργου Συντήρησης

Το έργο της Συντήρησης Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας διαθέτει ένα μεγάλο όγκο εργασιών, ο οποίος πραγματοποιείται από ένα σημαντικό αριθμό εργαζόμενων που εργάζονται κάτω από περιορισμένα χρονοδιαγράμματα. Ως εκ τούτου, απαιτείται ο βέλτιστος λεπτομερής σχεδιασμός για την υλοποίηση των εργασιών αυτών. Ο βασικός στόχος του σχεδιασμού είναι να διασφαλιστεί ότι η προβλεπόμενη εργασία

γίνεται στον προγραμματισμένο χρόνο από επαρκείς πόρους και με ελεγχόμενο κόστος. Ο Σχεδιασμός ενός Έργου Συντήρησης απαιτεί την ενεργό συμμετοχή και συνεργασία πολλών εμπλεκόμενων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 [16].

Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία ενός Πλάνου (Σχεδίου) Έργου Συντήρησης Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας είναι η κατηγοριοποίηση των διάφορων εργασιών χρησιμοποιώντας κριτήρια και συντελεστές βαρύτητας.

Μια κοινή πρακτική είναι να διαρθρώσουμε τις εργασίες στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- Εργασίες Υψηλής Σημασίας
- Εργασίες Ήσσονος Σημασίας
- Εργασίες Μεγάλου Όγκου

Ο Σχεδιασμός καλύπτει επίσης τις εξής σημαντικές δραστηριότητες:

- Την εκκίνηση του Έργου
- Το δίκτυο του Έργου
- Την κρίσιμη διαδρομή του Έργου
- Τον προγραμματισμό των εργασιών του Έργου

“Η κρίσιμη διαδρομή ενός έργου είναι η ακολουθία των δραστηριοτήτων που έχουν το μεγαλύτερο άθροισμα των πιθανότερων διαρκειών. Η κρίσιμη διαδρομή καθορίζει τη νωρίτερη δυνατή ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου” [17].

Το τελικό πλάνο του Έργου της Συντήρησης θα είναι ένα βελτιστοποιημένο μείγμα των παραπάνω απαιτήσεων. Τα προγράμματα εργασίας δημιουργούνται συνήθως με τη χρήση λογισμικών διαχείρισης έργων. Το Έργο της Συντήρησης Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας έχει πολλά κοινά σημεία με όλα τα έργα, αλλά η φύση των επισκευαστικών εργασιών το διαφοροποιεί σε σχέση με τα υπόλοιπα. Παρά τη σημαντική βελτίωση των τεχνικών για την πρόβλεψη της κατάστασης του εξοπλισμού, εξακολουθεί το συγκεκριμένο πεδίο να θεωρείται προς έρευνα και βελτίωση.

Το παραπάνω αποδεικνύεται ευκόλως αν σκεφτούμε ότι η πραγματική εικόνα της φθοράς ενός μέρους του εξοπλισμού αποκαλύπτεται όταν το εν λόγω εξάρτημα ανοίξει και είναι έτοιμο προς επιθεώρηση [13]. Ο σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης είναι μια δραστηριότητα που βασίζεται σε επιπλέον χρόνο, χρήμα και πόρους και βασίζεται σε ένα σχέδιο για κάλυψη της επιπρόσθετης εργασίας. Πρόκειται για ένα ουσιαστικό μέρος του σχεδιασμού της Συντήρησης [18].

Πίνακας 1 – Προσωπικό εμπλεκόμενο στο Σχεδιασμό του Έργου και αρμοδιότητες [16]

α/α	ΟΜΑΔΑ	ΑΡΜΟΔΙΟΤΗΤΑ
1	Ομάδα Προετοιμασίας	Προετοιμάζει το Κύριο Σχέδιο
2	Ομάδα Εργοστασίου	Παρέχει τα δεδομένα, τις απαιτήσεις, τις τεχνικές πληροφορίες, το δίκτυο του Έργου και την επικυρωμένη αναφορά του τελικού Σχεδίου
3	Επιθεωρητές	Προσδιορίζουν την επιθεωρούμενη εργασία, τις απαιτήσεις και τις απαιτούμενες τεχνικές
4	Μηχανικοί	Παρέχουν πρόσθετες τεχνικές πληροφορίες και πρακτικές
5	Διευθυντές Έργου	Παρέχουν το Σχεδιασμό και την Αναφορά για την προς εκτέλεση εργασία
6	Εκπρόσωποι Εργολάβων	Παρέχουν συμβουλευτικές πληροφορίες για το μέρος της εργασίας που τους αφορά
7	Ομάδα Πολιτικής	Επικυρώνουν το τελικό σχέδιο

7. Οργάνωση έργου συντήρησης μεγάλης μηχανολογικής μονάδας

Η οργάνωση του Έργου είναι κρίσιμη για την επιτυχία του. Τα πλέον κατάλληλα άτομα θα πρέπει να επιλέγονται με μεγάλη προσοχή για να σφυρηλατηθεί η ισχυρότερη δυνατή οργάνωση για τον έλεγχο του Έργου. Το σχήμα και το μέγεθος της Ομάδας που θα αναλάβει την Συντήρηση θα προσδιοριστεί σύμφωνα με τα ζητούμενα των εξής δύο ερωτημάτων:

- ποιός θα διαχειρίζεται το Έργο
- ποιός θα πραγματοποιήσει την εργασία

Η Ομάδα Έργου και ο Διευθυντής του Έργου είναι υπεύθυνοι για την αποτελεσματική εκτέλεση του Έργου [15].

Ορισμένες βασικές αρχές, που έχουν αναπτυχθεί λόγω της συσσωρευμένης εμπειρίας είναι:

- Η Συντήρηση είναι ένα Έργο, αναλυτικά διαρθρωμένο σε επιμέρους εργασίες.
- Πρέπει να χρησιμοποιείται ο βέλτιστος αριθμός προσωπικού σε επίπεδο απόδοσης χρόνου και κόστους

- Η οργάνωση του Έργου είναι ιεραρχική
- Ένα άτομο πρέπει να έχει τον συνολικό έλεγχο
- Κάθε εργασία ελέγχεται σε κάθε στάδιο
- Η οργάνωση είναι ένα μείγμα της απαιτούμενης γνώσης και της εμπειρίας

Η βέλτιστη οργάνωση θα συνδυάσει τα ακόλουθα:

- Προσωπικό του Εργοστασίου, το οποίο διαθέτει γνώση των τοπικών συνθηκών του εργοστασίου
- Προσωπικό Έργου Συντήρησης, εξειδικευμένο στο σχεδιασμό, το συντονισμό και τη διαχείριση των εργασιών
- Τεχνικό προσωπικό, το οποίο διαθέτει γνώση σε επίπεδο μηχανικής σχεδιασμού και διαχείρισης έργου
- Εργολάβοι και άλλοι συντελεστές που διαθέτουν τα προσόντα και τη γνώση για να εκτελεστεί το έργο εν συνόλω.

Κατά την οργάνωση του έργου της Συντήρησης θα μπορούσε να επιλεγεί είτε Οργάνωση τύπου Έργου, είτε Συνδυασμός τύπου Έργου και Διαδικασιών (Μήτρα), αναλόγως με το εύρος του έργου και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού.

8. Προϋπολογισμός Έργου Συντήρησης και Εκτίμηση Κόστους

Είναι σημαντικό να έχουμε μια εκτίμηση του κόστους του έργου της Συντήρησης, ώστε οι υπεύθυνοι για το έργο να μπορούν να βελτιστοποιήσουν τους περιορισμούς σχετικά με τις δαπάνες του προϋπολογισμού και να καθίσταται δυνατός ο έλεγχος κόστους. Αυτή η διαδικασία κοστολόγησης πρέπει να διεξάγεται περίπου έξι μήνες πριν από την έναρξη του έργου.

Για αυτό είναι επιτακτική ανάγκη να είναι ολοκληρωμένο το Πλάνο Εργασιών τρεις έως έξι μήνες πριν από την έναρξη της Συντήρησης. Αν τα παραπάνω δεν έχουν ολοκληρωθεί με την σωστή σειρά και εγκαίρως τότε καθίσταται δύσκολη η κατάρτιση του Προϋπολογισμού του Έργου. [15]

Τα κύρια στοιχεία του προϋπολογισμού είναι τα ακόλουθα:

- Σχεδιασμός και Διαχείριση του Έργου της Συντήρησης
- Η εργασία η οποία είναι εξουσιοδοτημένη στην Εταιρία
- Η εργασία η οποία είναι εξουσιοδοτημένη στους εργολάβους

- Τα ανταλλακτικά και τα απαιτούμενα υλικά του εξοπλισμού
- Η αγορά και η πιθανή ενοικίαση εξοπλισμού
- Η τακτοποίηση εκκρεμοτήτων και τρεχόντων εργασιών
- Πιθανές εργασίες κοινής ωφελείας
- Μη προβλεπόμενες εργασίες

Μια καλή πρακτική θεωρείται η έγκαιρη εκτίμηση του προϋπολογισμού, 6-9 μήνες πριν από την έναρξη του έργου, ώστε να μπορούν να ληφθούν διορθωτικά μέτρα έγκαιρα, εάν είναι απαραίτητο.

Όταν η προτεινόμενη εκτίμηση του κόστους του Έργου της Συντήρησης είναι καθορισμένη, παρουσιάζεται στην Διοίκηση για τις απαραίτητες ενέργειες και την απαιτούμενη έγκριση. Εάν η εκτίμηση υπερβαίνει τον προβλεπόμενο προϋπολογισμό, μπορούν να διερευνηθούν διάφορες επιλογές προκειμένου να τακτοποιηθεί το έλλειμμα ή να μειωθεί το κόστος στον προϋπολογισμό. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της κατάργησης ή/και αναβολής κάποιων εργασιών.

Μόλις η εκτίμηση κόστους οριστικοποιηθεί, τότε αποτελεί μέρος του εγκεκριμένου προϋπολογισμού του Έργου της Συντήρησης. Κατά τη διάρκεια του Έργου, τα βασικά μέλη της Ομάδας Έργου, καθορίζουν τα καθήκοντα και τα αρμόδια στελέχη που θα αναλάβουν τον έλεγχο του κόστους. Ο στόχος της διαχείρισης του Έργου της Συντήρησης είναι να ολοκληρώσει το έργο σύμφωνα με το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας, με ασφάλεια, εντός χρονοδιαγράμματος και προϋπολογισμού. Κατά την διαδικασία εκτίμησης του κόστους ενός έργου χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν.

Βασικοί Τύποι Τεχνικών Εκτίμησης Κόστους

- Αναλογική Εκτίμηση
Για κάθε είδος Δραστηριότητας, εκτίμηση του συνολικού κόστους υλοποίησης για μια μονάδα εργασίας και πολλαπλασιασμός επί του συνόλου των εργασιών.
- Παραμετρική Εκτίμηση
Διαφορετικοί παράμετροι καθορίζουν το κόστος μιας δραστηριότητας, έχοντας ο καθένας διαφορετική βαρύτητα. Απαιτείται η χρήση αλγορίθμων.
- Εφάπαξ Εκτιμήσεις ή Εκτιμήσεις Απλού σημείου.
Ad hoc εκτιμήσεις που χρησιμοποιούν την προηγούμενη εμπειρία αλλά ενδέχεται να είναι χονδρικές. Συνήθως επικαιροποιούνται κατά την υλοποίηση του έργου.
- Εκτιμήσεις 3 σημείων (Ανάλυση PERT)

Συγκεντρώνονται 3 εκτιμήσεις για κάθε δραστηριότητα, η απαισιόδοξη η συνθηθέστερη και η αισιόδοξη, οι οποίες σταθμίζονται με κατάλληλα βάρη. Δίνει αξιόπιστα στοιχεία αλλά είναι πιο χρονοβόρα [16].

9. Σχεδιασμός Συστήματος Διαχείρισης της Ποιότητας

Ο Σχεδιασμός Διαχείρισης της Ποιότητας του Έργου της Συντήρησης είναι ένα στρατηγικό εργαλείο διαχείρισης που χρησιμοποιείται για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των επιμέρους εξοπλισμών του εργοστασίου. Κατά την Διαχείριση της Ποιότητας εξασφαλίζεται το δεδομένο ότι ο Προγραμματισμός, η Προετοιμασία και η Εκτέλεση των εργασιών πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι και οι προκαθορισμένες, από την Διοίκηση, απαιτήσεις.

Για τη διασφάλιση της ποιότητας, οι απαιτήσεις της κάθε εργασίας θα πρέπει να είναι ορθώς και πλήρως καθορισμένες και να αποτυπώνονται με ακρίβεια και ποσοτική εξειδίκευση.

Το μέσο για την διασφάλιση της Ποιότητας είναι να έχουμε μια συνεκτική διεργασία Διαχείρισης της Ποιότητας, που να περιλαμβάνει ελεγκτικά στάδια εξακρίβωσης της διασφάλισης των απαιτήσεων της κάθε εργασίας του Έργου. [18]

Βασικά Εργαλεία Παρακολούθησης και Ελέγχου των Δεικτών Ποιότητας ενός έργου είναι τα κάτωθι:

1. ISO standards
2. 6-sigma analysis
3. Βασικοί Στατιστικοί Δείκτες
4. Διάγραμμα Pareto
5. Ιστογράμματα
6. Διαγράμματα Ροής
7. Λίστες Ελέγχου
8. Διάγραμμα Scatter

Τα παραπάνω εργαλεία ενδέχεται να χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του έργου της Συντήρησης [16].

10. Σχεδιασμός Διαχείρισης της Ασφάλειας του Έργου

Η κατάρτιση του Σχεδίου Διαχείρισης της Ασφάλειας ενός Έργου Συντήρησης είναι μια κομβικής σημασίας διαδικασία.

Η διαδικασία αυτή καθορίζει ένα μεγάλο αριθμό εργαζομένων οι οποίοι εργάζονται υπό πίεση χρόνου και διαχειρίζονται επικίνδυνα υλικά. Οι στόχοι που τίθενται για την ασφάλεια είναι ιδιαίτερα αυστηροί όπως μηδενικά ατυχήματα και επικίνδυνα συμβάντα όπως η φωτιά, κλπ. Για να εξασφαλιστούν οι παραπάνω απαιτήσεις, πρέπει το σύστημα της εργασίας να είναι εξίσου αυστηρό, στην προσέγγισή του, αναφορικά με την ασφάλεια.

Ένα σχέδιο διαχείρισης της ασφάλειας περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

1. Η Πολιτική για την ασφάλεια η οποία καθορίζεται σε ένα έγγραφο (δήλωση) που καθοδηγεί τις απαραίτητες πρακτικές και συμπεριφορές για τις επιδόσεις ασφαλείας υψηλής ποιότητας σε όλο το εύρος του εργοστασίου κατά τη διάρκεια του Έργου της Συντήρησης. Η πολιτική πρέπει εφαρμόζεται ορθώς, πλήρως και συνεπώς από όλους τους ενδιαφερόμενους.
2. Το Δίκτυο επικοινωνίας για την ασφάλεια του έργου που καθιερώνει την ιεραρχία που είναι υπεύθυνη για τον καθορισμό της πολιτικής για την ασφάλεια και την εξασφάλιση ότι όλοι οι ενδιαφερόμενοι αποδέχονται τους παραπάνω όρους. Ορίζεται επίσης η Αλυσίδα της Ασφάλειας όπου περιλαμβάνει σαφή δίκτυα επικοινωνίας. Η Αλυσίδα ασφαλείας αποτελείται από τον Διευθυντή του Έργου της Συντήρησης, τους μηχανικούς, τους επόπτες και τους εργαζόμενους.
3. Οι διαδικασίες για την ασφάλεια, όπου μέσω αυτών, εξασφαλίζεται ότι λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την εξάλειψη των κινδύνων και την προστασία των εργαζομένων.

Η διεργασία αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

1. την άδεια εργασίας
2. το περιβάλλον εργασίας
3. τον εργαζόμενο
4. την εξειδίκευση των εργασιών
5. τα υλικά και τις ουσίες
6. τα εργαλεία και τα μέρη του εξοπλισμού.

Η εταιρεία πρέπει να έχει ένα σύστημα ελέγχου των επιδόσεων. Το σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει καθημερινή επιθεώρηση, επιτόπιους ελέγχους για όλες τις εργασίες και ένα πρόγραμμα για τη συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων στην παρακολούθηση της ασφάλειας.

Τα κριτήρια αυτά εστιάζουν σε τρεις βασικούς παράγοντες.

Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- ✓ καθημερινή ευαισθητοποίηση στο θέμα της ασφάλειας
- ✓ καθορισμός επικίνδυνων ενεργειών
- ✓ καθορισμός επισφαλών ενεργειών

Για κάθε στοιχείο υπάρχει μια λίστα με τα στοιχεία που πρέπει να ελέγχονται μέσω μιας δομημένης λίστας ελέγχου. Το πρόγραμμα πρέπει να περιλαμβάνει όλους τους ενδιαφερόμενους ώστε ο καθένας να παρακολουθεί την ασφάλεια. Το όλο εγχείρημα φυσικά εξαρτάται και από την κουλτούρα της εταιρείας και την ευαισθητοποίηση σε θέματα ασφάλειας. Ένα πρόγραμμα θα μπορούσε να δίνει την δυνατότητα σε όλους να αναφέρουν μη ασφαλείς ενέργειες ή συνθήκες. Ο καθένας που αναφέρει μια πραγματική ανασφαλή πράξη ή κατάσταση πρέπει να ανταμείβεται.

Επίσης, τα ανώτερα διευθυντικά στελέχη πρέπει να συμμετέχουν και να κάνουν ημερήσιες επιθεωρήσεις εξακρίβωσης των επιπέδων ασφαλείας και να διανέμουν τις καθημερινές ανταμοιβές, για τις καλύτερες πρακτικές ασφαλείας. [15]

11. Διαδικασίες Επικοινωνίας κατά την Συντήρηση

Το Έργο της Συντήρησης είναι μια σύνθετη διεργασία κατά την οποία ένα μεγάλο μέρος των εργασιών εκτελείται με έναν μεγάλο αριθμό εργαζομένων από διαφορετικούς αναδόχους. Επιπλέον, ορισμένες από τις εργασίες ενδέχεται να είναι επικίνδυνες και να προκαλέσουν ατυχήματα. Η διαφορετικότητα των ανθρώπων που συμμετέχουν θα μπορούσε να προκαλέσει συγκρούσεις και ανταγωνισμό. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, η επικοινωνία διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη μείωση των καθυστερήσεων, των προστριβών και την διασφάλιση της πλήρους αντίληψης των δεδομένων περί της εκτέλεσης της εργασίας, καθώς και τον μηδενισμό των ατυχημάτων [15].

Είναι επιτακτική ανάγκη η Ομάδα Διαχείρισης Έργου να έχει καταρτίσει ένα αποτελεσματικό πακέτο επικοινωνίας που αναφέρει τα εξής:

- τα θέματα επικοινωνίας
- μεταξύ ποιών εργαζομένων αναπτύσσεται η επικοινωνία
- πότε λαμβάνει χώρα η επικοινωνία
- ποιός αναλαμβάνει τον ρόλο του συντονισμού της επικοινωνίας
- ποιοί είναι οι αποτελεσματικοί τρόποι και μέθοδοι επικοινωνίας

Οι ακόλουθες συνεδριάσεις πρέπει να είναι αναπόσπαστο μέρος του σχεδίου επικοινωνίας κατά το Έργο της Συντήρησης:

- ✓ Συνεδρίαση Γενικής Ενημέρωσης
- ✓ Συνεδρίαση Ενημέρωσης κυρίων καθηκόντων
- ✓ Καθημερινή Συνεδρίαση Αναφοράς

Επίσης ως αποτέλεσμα της διεργασίας της επικοινωνίας θα μπορούσαν να εξαχθούν τα αναφερόμενα ως OPA Updates σύμφωνα με το PMBOK όπου αναλύονται ως εξής:

- Αναφορές Διδαγμάτων – Γνωσιακά Περιουσιακά στοιχεία
- Αναφορές του Έργου
- Δεδομένα του Έργου
- Παρουσιάσεις
- Στοιχεία ανάδρασης με άλλους συμμετέχοντες και ενδιαφερομένους

Όλα τα παραπάνω, σε περίπτωση που εφαρμοστούν ορθά, αυξάνουν την πιθανότητα επιτυχίας της επικοινωνίας αναφορικά με το έργο[14].

12. Εκτέλεση του έργου της συντήρησης

Η εκτέλεση των εργασιών του Έργου της Συντήρησης λαμβάνει χώρα μόλις ο Σχεδιασμός και η Προετοιμασία των εργασιών έχει ολοκληρωθεί καθώς και σε συνάρτηση με την επάρκεια πληρότητας σε απαιτούμενους πόρους. Έμφαση δίνεται στην παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαφόρων δραστηριοτήτων, ώστε να εκτελούνται σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό[15].

Η διαδικασία εκτέλεσης περιλαμβάνει πολλά βασικά βήματα τα οποία αφορούν:

- (1) Το σχέδιο των εργασιών να είναι ολοκληρωμένο και πλήρες
- (2) Την ύπαρξη ενός σχεδίου για την εργασία που δεν είχε προβλεφθεί εξ αρχής (Διαχείριση Αλλαγών)
- (3) Τον Διαχειριστή του Έργου
- (4) Την διαδικασία αλλαγής βάρδιας
- (5) Την νυχτερινή βάρδια
- (6) Τον έλεγχο της εργασίας
- (7) Τον έλεγχο του κόστους
- (8) Το καθημερινό πρόγραμμα
- (9) Την ημερήσια αναφορά

(10) Την επανεκκίνηση της μονάδας.

Άλλα σημαντικά θέματα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης περιλαμβάνουν:

- (1) κατευθυντήριες οδηγίες για κλείσιμο εγκαταστάσεων
- (2) καθημερινή εργασία
- (3) κατευθυντήριες οδηγίες για τον έλεγχο των εργασιών
- (4) χειρισμό της μη αναμενόμενης εργασίας
- (5) κατευθυντήριες οδηγίες εκκίνησης της εκτέλεσης των εργασιών

13. Αναφορά του έργου της συντήρησης

Το Έργο της Συντήρησης εξετάζεται από τα ανώτερα διοικητικά στελέχη ως μια ακολουθία δραστηριοτήτων αλληλοσυνδεόμενων και αποτελούντων το σύνολο της διεργασίας διαχείρισης και όχι ως ένα σύνολο αποσπασματικών δραστηριοτήτων που αφορούν συγκεκριμένα πεδία σε επίπεδο χρόνου, κόστους και φυσικού αντικείμενου.

Η εξέταση των πρακτικών του παρελθόντος, των προθέσεων κατά την σημερινή εποχή και των μελλοντικών αναγκών, παρέχουν μια ολοκληρωμένη προοπτική και προετοιμάζουν τις στρατηγικές σκέψεις που ακολουθούν.

Το Έργο της Συντήρησης λαμβάνει χώρα για να εξασφαλίσει την αξιοπιστία του εργοστασίου. Το εργοστάσιο θα πρέπει να αποδίδει εξίσου καλά ή/και καλύτερα μετά το έργο της συντήρησης από ό, τι πριν από αυτό. Η εξέταση των επιδόσεων πριν το έργο και μετά από αυτό πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Αν δεν συμβαίνει το παραπάνω τότε, η κατάσταση θα πρέπει να επανεκτιμηθεί και να αναπτυχθεί ένα νέο σχέδιο (λογική) Διαχείρισης της Συντήρησης.

Τα προηγούμενα Έργα Συντήρησης θα πρέπει επίσης να αναλυθούν και να λάβουν χώρα χρήσιμες και απαραίτητες συγκρίσεις, περί την μεταβολής του Φυσικού Αντικείμενου, του Κόστους και του Χρόνου. Αν παραδείγματος χάριν, η αύξηση της μη προβλεπόμενης εργασίας ξεπερνούσε τα επιτρεπτά όρια, τα ανώτερα διευθυντικά στελέχη πρέπει να διασφαλίσουν ότι το προσωπικό του εργοστασίου αντιμετωπίζει το πρόβλημα και βελτιώνει την ποιότητα της καταγραφής των τεχνικών αναγκών σε αιτήματα εργασίας.

Οι Αναφορές του Έργου της Συντήρησης έχουν κρίσιμο ρόλο στην τεκμηρίωση του Έργου και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του. Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται το γνωσιακό επίπεδο της Εταιρείας, να καταγράφονται τα διδάγματα, ώστε οι μετέπειτα Συντηρήσεις να καθίστανται αποτελεσματικότερες. **[15]**

Οι Αναφορές του Έργου Συντήρησης βοηθούν καταλυτικά στην παρουσίαση της προόδου του έργου και συνεισφέρουν στον έλεγχο και την παρακολούθηση αυτού.

Είναι σημαντικό να συντάσσονται σε τακτά χρονικά διαστήματα και σίγουρα έπειτα από την ολοκλήρωση του κάθε σταδίου.

Κατά την σύνταξη της Τελικής Έκθεσης Προόδου είναι θεμιτό, συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω σημεία, να παρουσιάζονται σε αυτή στοιχεία από τα κάτωθι πεδία, ενδεικτικά και όχι περιοριστικά:

- (1) Η πολιτική του Έργου της Συντήρησης
- (2) Το πεδίο εργασίας/φυσικό αντικείμενο
- (3) Την προπαρασκευαστική φάση
- (4) Τον προγραμματισμό των εργασιών
- (5) Την οργάνωση
- (6) Τον έλεγχο της εργασίας
- (7) Τις επιδόσεις
- (8) Την ασφάλεια
- (9) Την διασφάλιση της Ποιότητας
- (10) Τον εφοδιασμό
- (11) Την επικοινωνία
- (12) Τις συστάσεις και διορθωτικές κινήσεις
- (13) Το Κόστος
- (14) Την Χρονική Διάρκεια
- (15) Την Διαχείριση των Αλλαγών
- (16) Την ανάδραση με άλλους ενδιαφερόμενους

Πίνακας 2 - Κύριες Φάσεις του Έργου [15]

<u>ΦΑΣΗ ΕΡΓΟΥ</u>	<u>ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ</u>	<u>ΕΡΓΑΣΙΑ</u>
<p>1. Περίοδος Έναρξης</p> <p>Καθορισμός Παραμέτρων Συντήρησης, Ορισμός Ομάδας Έργου και Οργάνωση των βασικών δεδομένων</p>	<p>Η χρονική διάρκεια δεν είναι σαφής. Κάποιες εργασίες είναι διαρκείς σε αυτή την φάση και άλλες ξεκινούν ακόμη και 12 μήνες πριν το κλείσιμο της μονάδας.</p>	Ορισμός Ομάδας Έργου
		Καθορισμός Φυσικού Αντικειμένου
		Δημιουργία Λίστας Εργασιών
		Σχεδιασμός Παραγγελίας Ανταλλακτικών
		Σχεδιασμός και Εξεύρεση Πόρων
		Αναζήτηση Εργολάβων
		Καθορισμός Π/Υ
<p>2. Περίοδος Προετοιμασίας</p> <p>Προετοιμασία Λίστας Εργασιών, Πόρων, Εφοδιασμού και Προγραμματισμού Εργασιών</p>	<p>Η χρονική διάρκεια μπορεί να είναι 2-12 μήνες ανάλογα με το εύρος του έργου</p>	Λεπτομερής Ανάλυση Εργασιών
		Τελική Επιθεώρηση του Εξοπλισμού για να εξακριβωθεί το ΦΟΑ
		Ολοκλήρωση Συμβάσεων με Προμηθευτές
		Δημιουργία Λεπτομερούς Σχεδίου Εφοδιασμού
		Εξασφάλιση Υποστηρικτικών Υπηρεσιών και Εργαλείων
Δημιουργία Προγράμματος		
<p>3. Εκτέλεση Εργασιών</p> <p>Η εκτέλεση των εργασιών πραγματοποιείται και παρακολουθείται ελέγχοντας παράλληλα τις παραμέτρους του κόστους, της ποιότητας, των απαιτήσεων και τις διάρκειας.</p>	<p>Αυστηρή Χρονική Διάρκεια, όπως ορίστηκε στο Πρόγραμμα Εργασιών</p>	Εκτέλεση Εργασιών - Τήρηση Προγράμματος
		Διοργάνωση Συναντήσεων
		Κατάρτιση Αναφοράς Εργασίας
		Ανάλυση Ημερησίου Κόστους
<p>4. Τερματισμός Έργου</p> <p>Ανασκόπηση Απόδοσης, Προτεινόμενες Βελτιώσεις, Διδάγματα, Προετοιμασία Τελικής Αναφοράς Έργου</p>	<p>Η Χρονική Διάρκεια καθορίζεται ανάλογα με το εύρος του Έργου. Συνήθως είναι από 2 μέρες μέχρι και 2 μήνες</p>	Επιθεώρηση Εργασίας
		Σχέδιο Επανεκκίνησης
		Απομάκρυνση Σκαλωσιών
		Προετοιμασία Τελικής Αναφοράς Έργου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.5 - ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΜΗΧΑΝΩΝ - ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

1.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλα τα μηχανικά συστήματα, μηχανήματα και εξαρτήματα έχουν έναν ορισμένο ωφέλιμο χρόνο ζωής με αποτέλεσμα κάποτε να αστοχούν. Τα συστήματα αποτελούνται από επί μέρους εξαρτήματα κάθε ένα από τα οποία εκτελεί μια συγκεκριμένη εργασία [21].

Αστοχία έχουμε όταν το μηχάνημα ή εξάρτημα παύει να λειτουργεί, μέσα στα απαιτούμενα επιτρεπτά όρια σε δεδομένο χρόνο και δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον.

Αξιόπιστο θεωρείται το μηχάνημα ή το εξάρτημα που πληροί τις σχεδιαστικές του απαιτήσεις και λειτουργεί χωρίς προβλήματα (μηδενικές αστοχίες) για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα σε ένα δεδομένο περιβάλλον.

Μηχανική αξιοπιστία $R(t)$ είναι η πιθανότητα μηδενικής αστοχίας ενός μηχανήματος ή εξαρτήματος ή συστήματος στην εκτέλεση της προδιαγεγραμμένης εργασίας του, για καθορισμένο χρονικό διάστημα και δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον.

Χωρίς αυτόν τον τεχνικό ορισμό της αξιοπιστίας δεν θα ήταν δυνατό για τους μηχανικούς ή την διοίκηση του εργοστασίου να κάνει ουσιαστική σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών μηχανημάτων του εργοστασίου.

“Reliability is performance over time, probability that something will work when you want it to.” [21]

Η Πιθανότητα Αστοχίας (Failure Probability) η πιθανότητα βλάβης δηλαδή ορίζεται σαν $F(t)=1-R(t)$

$$F(t) + R(t) = 1$$

1.5.2. MTBF (Mean Time between Failures)

Η πιο συνηθισμένη έννοια στην αξιοπιστία είναι το MTBF.

MTBF είναι ο μέσος χρόνος που μεσολαβεί πριν αστοχήσει ένα εξάρτημα.

Συνήθως εκφράζεται σε ώρες.

Μπορεί να προκύψει:

$$MTBF = \frac{\text{Αριθμός των unit-hours χρόνου λειτουργίας}}{\text{Αριθμός βλαβών}}$$

Συντελεστές MTBF δίνονται ορισμένες φορές από τους προμηθευτές.

Προκύπτουν από τεστ αξιοπιστίας και μελέτες προβλέψεων.

1.5.3. ΜΕΣΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ (Normal Failure Rate, NFR)

$$v = \lambda = NFR = \text{Αριθμός βλαβών} / \text{Αριθμός των unit-hours λειτουργικών χρόνου}$$

Εκφράζει ποσοστό βλαβών στη μονάδα του χρόνου

1.5.4. ΡΥΘΜΟΣ ΒΛΑΒΩΝ (Failure Rate, FR)

$$FR = \text{Αριθμός βλαβών} / \text{Πληθυσμός εξαρτημάτων} = \text{Review period} / MTBF \text{ του προμηθευτή} = \text{Review period} * \lambda$$

Εκφράζει ποσοστό βλαβών σε πλήθος εξαρτημάτων

1.5.5. DUTY CYCLE

$$\text{Duty Cycle \%} = \text{Χρόνος λειτουργίας} / \text{Συνολικός χρόνος}$$

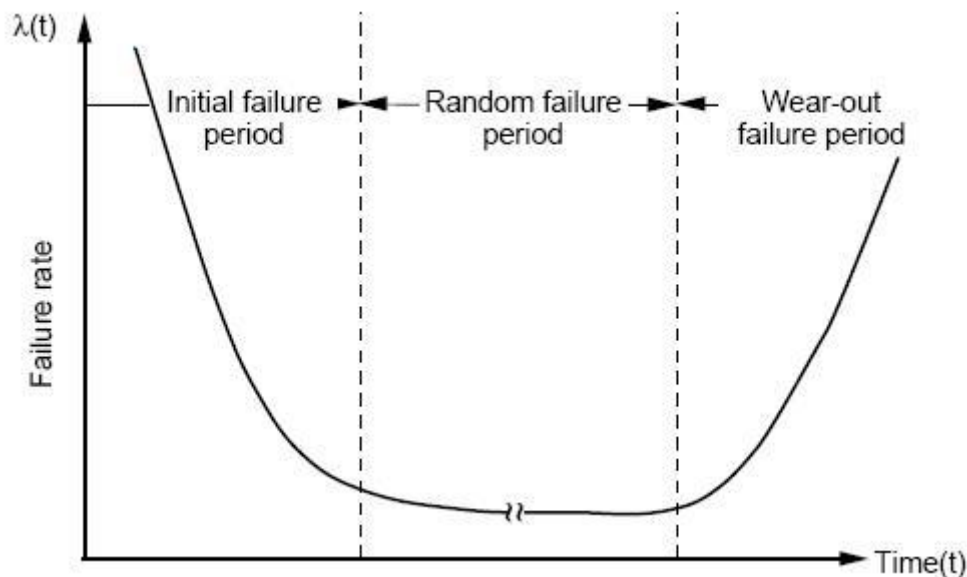
Εκφράζει ποσοστό χρόνου λειτουργίας επί του συνολικού χρόνου – Χρησιμεύει στην διόρθωση του MTBF

Ο duty cycle factor είναι ένα ποσοστό που χρησιμοποιείται για τη διόρθωση του MTBF, ώστε να λαμβάνεται υπόψη ο ρυθμός λειτουργίας στις συνθήκες του πελάτη.

$$\text{Duty cycle factor} = \text{duty cycle του χρήστη} / \text{duty cycle του κατασκευαστή.}$$

1.5.6. ΚΑΜΠΥΛΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑ

Η μεταβολή γραφικά παριστάνεται με την τυπική καμπύλη που είναι ευρέως γνωστή σαν bath tub curve.



Διάγραμμα 2 - Ρυθμός Βλαβών στην μονάδα του χρόνου (bath tub curve) [21]

- Όταν η βλάβη παρουσιαστεί στην περιοχή της πρόωρης αστοχίας (initial failure period), τότε θεωρείται ότι η ατέλεια οφείλεται στον αρχικό σχεδιασμό.
- Όταν η βλάβη εμφανίζεται στην περιοχή της τυχαίας αστοχίας (random failure period), τότε θεωρείται ότι η ατέλεια οφείλεται σε τυχαίο γεγονός.
- Τέλος όταν η βλάβη εμφανίζεται στην περιοχή της αστοχίας λόγω φθοράς (wear-out failure period), τότε θεωρείται ότι η ατέλεια οφείλεται στην φθορά λόγω παρόδου το χρόνου.

1.5.7. ΓΕΝΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ

Ο Γενικός Τύπος της Αξιοπιστίας

Η σχέση μεταξύ της συνάρτησης της αξιοπιστίας και αυτής του ρυθμού βλαβών περιγράφεται από τη σχέση [21].

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right)$$

Το Εκθετικό Μοντέλο με σταθερό λ για την αξιοπιστία (The Exponential Model)

- Χρησιμοποιείται πιο συχνά στις εφαρμογές της αξιοπιστίας λόγω της απλούστερης μαθηματικής μορφής του.
- Αναφέρεται πιο συχνά και σαν μοντέλο σταθερού ρυθμού βλαβών (Constant Failure Rate Model).
- Χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της περιόδου ‘‘Useful Life’’, μετά την περίοδο έναρξης και πριν την περίοδο της αστοχίας λόγω φθοράς.
- Συνδέεται συχνότερα με τα ηλεκτρονικά προϊόντα.

Εκθετικό Μοντέλο Αξιοπιστίας

Στοχαστική Εξέλιξη κατά Poisson

Η πιθανότητα ένα ενδεχόμενο να πραγματοποιηθεί x φορές σε ένα χρονικό διάστημα t , δίνεται από τη σχέση:

$$P(x) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^x}{x!}$$

Όπου :

- λ = Η μέση συχνότητα πραγματοποίησης του ενδεχόμενου στη μονάδα του χρόνου, που θεωρείται σταθερή.
- t = Το χρονικό διάστημα εντός του οποίου πραγματοποιείται το ενδεχόμενο

Αν στην προηγούμενη σχέση θεωρήσουμε :

Σαν ενδεχόμενο: Μηδενική αστοχία (καμία βλάβη) στο χρονικό διάστημα t , τότε $x=0$ (μηδέν βλάβες)

Σαν λ : Τη μέση συχνότητα εμφάνισης αστοχίας, τότε $\lambda=1/MTBF$

Η σχέση που δίνει τη πιθανότητα μηδενικής αστοχίας στο χρονικό διάστημα t (χρόνος t μετά τη τελευταία αστοχία) διαμορφώνεται:

$$P(0) = R(t) = e^{-t/MTBF}$$

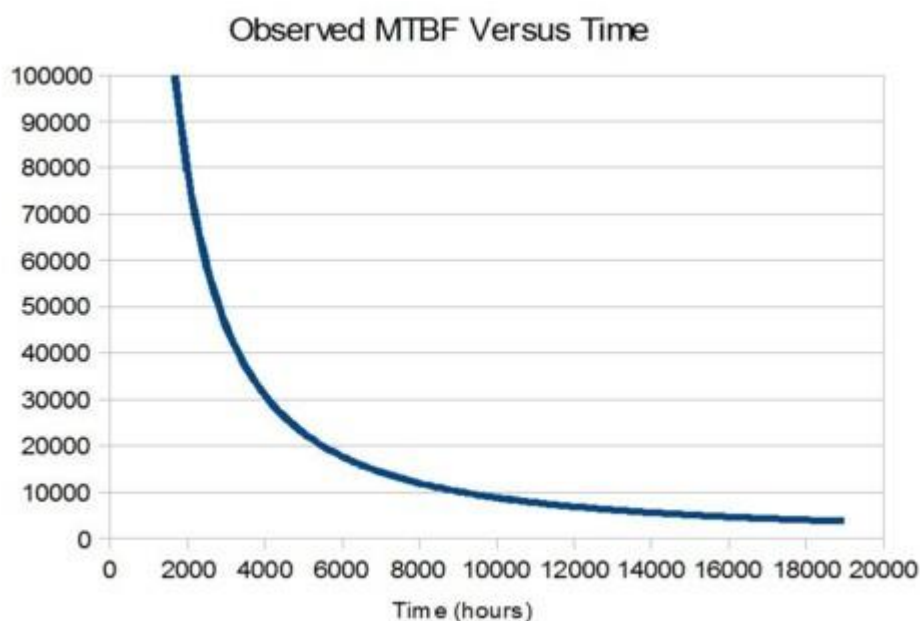
Όταν το γινόμενο ‘λt’ είναι μικρό, τότε $R(t) = 1 - \lambda t$

Παρατήρηση: Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός βλαβών τόσο ταχύτερα μειώνεται η αξιοπιστία σε συνάρτηση με το χρόνο.

Σχέση μεταξύ Αξιοπιστίας και MTBF

$$R(t) = (1 - \lambda t) = (1 - t/MTBF)$$

$$\text{Άρα, } MTBF = t / (1 - R(t))$$



Διάγραμμα 3 - Διάγραμμα MTBF σε συνάρτηση με τον χρόνο [21]

1.5.8. MTTR (Mean Time to Repair)

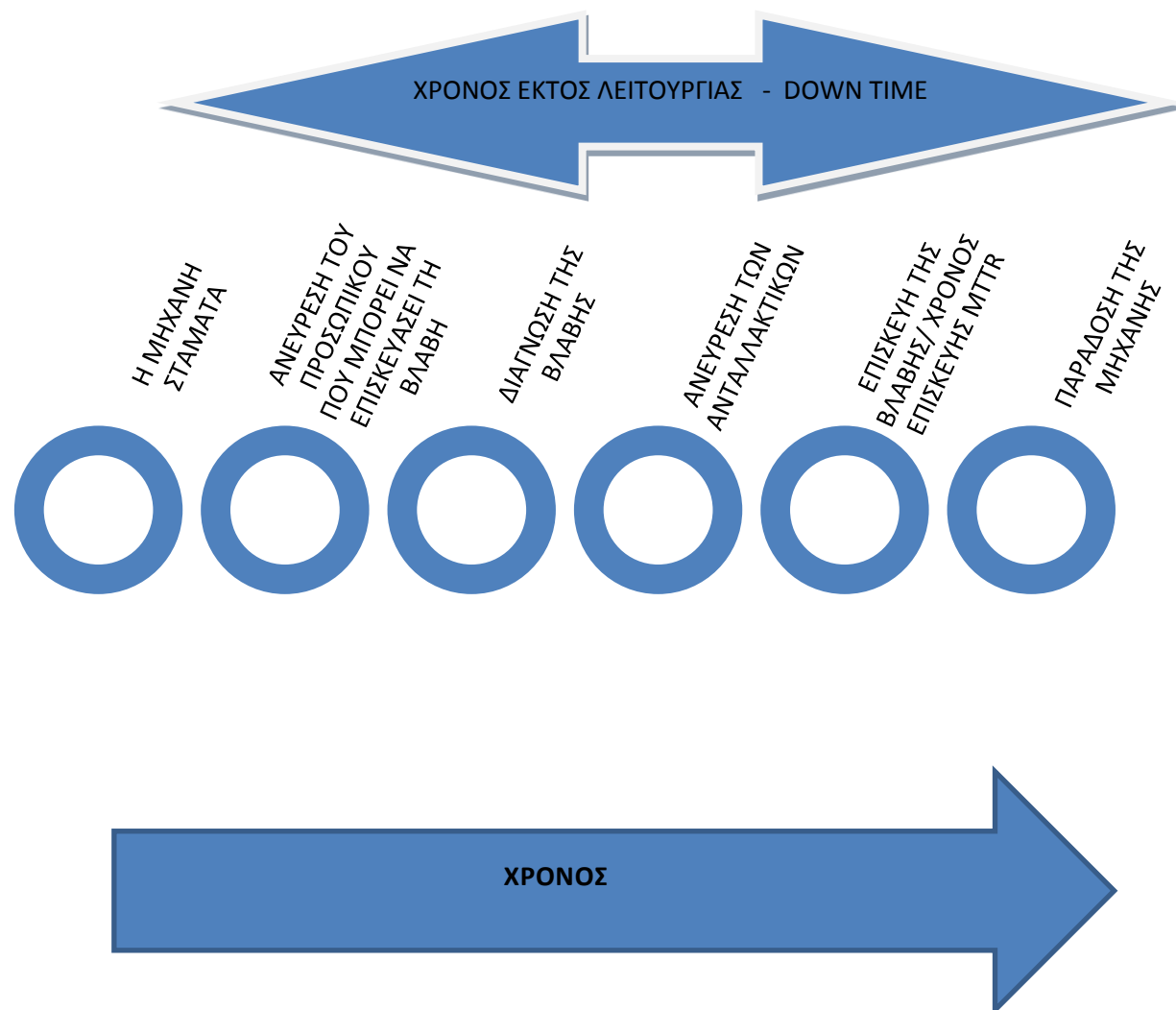
Μόλις ένα εξάρτημα αστοχήσει πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα αποκατάστασης της βλάβης το ταχύτερο δυνατό [21].

“Ο μέσος χρόνος επισκευής ενός εξαρτήματος (MTTR) είναι το γινόμενο του χρόνου που απαιτείται για να εκτελεστεί κάθε προσδοκώμενη επισκευή επί τη σχετική συχνότητα με την οποία θα εμφανιστεί.”

Συνηθέστερα εκφράζεται σε αριθμό επαναλήψεων μέσα στο χρόνο.

Τα MTTR δεδομένα που δίνονται από κατασκευαστές είναι καθαροί χρόνοι επισκευής. Υποθέτουν ότι η διάγνωση της βλάβης γίνεται άμεσα και ότι είναι ταυτοχρόνως διαθέσιμα το απαιτούμενο προσωπικό και τα ανταλλακτικά.

Το MTTR για το χρήστη θα περιλαμβάνει και τη λογιστική καθυστέρηση



Σχήμα 6 - Φάσεις Επισκευής και MTTR

1.5.9. ΣΥΝΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

Συντηρησιμότητα είναι η πιθανότητα απομόνωσης και επισκευής της βλάβης σε ένα σύστημα σε δεδομένο χρόνο.

$$M(t) = 1 - \exp(-\mu t)$$

$$M(t) = 1 - \exp(-t/MTTR)$$

Όπου:

- μ είναι ο ρυθμός επισκευής (repair rate) $\mu = 1/MTTR$ (MEAN TIME TO REPAIR)
- t είναι ο επιτρεπόμενος χρόνος για την ενέργεια της επισκευής.

1.5.10. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ

Διαθεσιμότητα είναι η πιθανότητα ένα εξάρτημα, κάτω από τη συνδυασμένη επίδραση, της αξιοπιστίας του, της Συντηρησιμότητας του και της υποστήριξης της συντήρησης, να μπορεί να ικανοποιεί την απαιτούμενη λειτουργία του, για μια καθορισμένη χρονική περίοδο.

Η διαθεσιμότητα ενός συστήματος είναι η πιθανότητα να λειτουργεί το σύστημα στο χρόνο t .

Για μια απλή μηχανή ορίζεται ως εξής:

$$A = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

Οι παραπάνω συναρτήσεις, δείκτες και μοντέλα αποτελούν ένα πλήρες εγχειρίδιο που υποβοηθά ποσοτικοποιώντας ποιοτικά στοιχεία και αναλύοντας την πρόοδο της διεργασίας της Συντήρησης σε ένα Μηχανολογικό Σύστημα Εξαρτημάτων. Φυσικά οποιαδήποτε προσαρμογή των παραπάνω, στο εκάστοτε Σύστημα Συντήρησης, που υποβοηθά την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων, είναι επιτρεπτή και πολλές φορές απαραίτητη[21].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.6 - ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ KPIs

1.6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν ένας οργανισμός έχει καταφέρει να αναλύσει επιτυχώς την αποστολή του, να ορίσει τους στόχους που επιθυμεί να πετύχει και επιπλέον έχει εντοπίσει και διασφαλίσει τα απαιτούμενα κεφάλαια και τους απαιτούμενους πόρους του, οφείλει στη συνέχεια να καθορίσει και τη μέθοδο με την οποία θα υπολογίζει την εξέλιξή του. Βασικό εργαλείο στην προσπάθεια αυτή αποτελούν οι Κύριοι Δείκτες Απόδοσης, οι οποίοι βοηθούν τον οργανισμό να προσδιορίσει και να μετρήσει την πρόοδο του προς την κατεύθυνση επίτευξης των στόχων της επιχείρησης. Πολλές Εταιρίες ενώ γνωρίζουν την αξία των μέτρων απόδοσης στη βελτίωση και αναβάθμιση του οργανισμού τους, δεν καταφέρνουν να επωφεληθούν από αυτούς καθώς τις περισσότερες φορές επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν τα λάθος μέτρα [19].

1.6.2. KPIs (Βασικοί Δείκτες Απόδοσης)

Με τον όρο KPIs αναφερόμαστε σε εκείνα τα μετρήσιμα χαρακτηριστικά της παραγωγής, των προϊόντων, των υπηρεσιών και των διαδικασιών που συνδέονται με την στρατηγική και μας παρέχουν ενδείξεις για την επιτυχία ή αποτυχία συγκεκριμένων παραγόντων οι οποίοι συνδέονται με την πορεία ενός έργου.

Οι Βασικοί Δείκτες Απόδοσης αποτυπώνουν τους κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας σε έναν οργανισμό, τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον. Διαφοροποιούνται ανάλογα με τις επιχειρηματικές δραστηριότητες της επιχείρησης αλλά και τις ανάγκες των ενδιαφερόμενων μελών. Η παρακολούθησή τους γίνεται σε ημερήσια ή εβδομαδιαία βάση και όχι σε μηνιαία/τριμηνιαία/ετήσια, γιατί σε αυτή την περίπτωση δεν θα αποτελούσαν το κλειδί για την επιτυχία της επιχείρησης αφού θα μεσολαβούσε μεγάλο χρονικό διάστημα από τα γεγονότα και δεν θα υπήρχε η δυνατότητα άμεσης παρέμβασης.

Γίνεται ευκόλως αντιληπτό ότι το σημείο υπεροχής τους είναι ότι παρουσιάζουν την απόδοση σε πραγματικό χρόνο και όχι παρελθοντικό, με αποτέλεσμα να δίνουν τη δυνατότητα για την πραγματοποίηση διορθωτικών κινήσεων ώστε να εξαλειφθούν τα λάθη που παρουσιάζονται. Οι βασικοί δείκτες απόδοσης, αποδίδουν την μέγιστη αξία τους όταν αποτελούν μέρος της στρατηγικής που ακολουθείται από την επιχείρηση.

Η σύνδεσή τους με την στρατηγική πραγματοποιείται σε τρία σημεία, ξεκινώντας ως το μέσο με το οποίο επικοινωνεί η εταιρία την στρατηγική της στους εργαζόμενους. Σε δεύτερο επίπεδο επιτυγχάνεται η ευθυγράμμιση των κινήσεων και των λειτουργιών του κάθε τομέα με την επιλεγόμενη στρατηγική, έτσι ώστε να υπάρξει ενίσχυση και στήριξη ανάμεσα στα τμήματα και κατ' επέκταση να μην δημιουργούνται αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα.

Τέλος αποτελούν ένα τρόπο ελέγχου της προόδου σε σχέση με τα σημεία στρατηγικής σημασίας για την πορεία ενός έργου.

Βασικά γνωρίσματα των KPIs είναι η ανάγκη για ακριβή ορισμό της έννοιάς τους ώστε να μην γίνονται παρανοήσεις από το προσωπικό που διαχειρίζεται τους δείκτες, αλλά και η δυνατότητα σωστής μέτρησης τους, για να μπορούν να χαρακτηρίζονται ως αξιόπιστοι. Κατά την παρουσίασή τους μπορούν να συνδυάζονται με αναφορές, διαγράμματα και υπολογιστικά φύλλα, ενώ χρησιμοποιούνται για έργα κάθε μορφής. Επίσης χρησιμοποιούνται και σε οποιαδήποτε περιοχή ενός έργου όπως είναι το IT, το Risk Management, η Διαχείριση της Ποιότητας κ.τ.λ.

Οι σωστά ορισμένοι και αποτελεσματικοί Κύριοι Δείκτες Απόδοσης ασκούν επιρροή όχι μόνο στους κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας ενός έργου, αλλά και μεταξύ τους με θετικό τρόπο. Συμπληρωματικά δεν πρέπει να παραλείψουμε πως απαιτείται η συνεχής εξέλιξη και βελτίωση των δεικτών αυτών, ώστε να καλύπτουν κάθε φορά τους νέους στόχους που θέτει η επιχείρηση αλλά και τις ανάγκες των ενδιαφερόμενων μερών, με βέλτιστο τρόπο. Τέλος ένα μέτρο απόδοσης για να ενταχθεί στην ομάδα των KPIs, πρέπει να έχει την ικανότητα να δημιουργεί την επιθυμητή συμπεριφορά στο προσωπικό που έχει αντίκτυπο.

1.6.3. ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Κάποιοι Κρίσιμοι Δείκτες Απόδοσης στο πεδίο της Συντήρησης, σύμφωνα με το KPIs Library [20] είναι οι παρακάτω:

1. Ποσοστό Κόστους προληπτικής συντήρησης επί του συνολικού κόστους συντήρησης (%)

Το παραπάνω είναι το ποσοστό του κόστους της προληπτικής συντήρησης επί του συνολικού κόστους συντήρησης, κατά την περίοδο μέτρησης. Κόστος προληπτικής συντήρησης είναι το κόστος που σχετίζεται με τη συντήρηση που διενεργείται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα και προορίζεται να μειώσει την πιθανότητα της αποτυχίας ή αστοχίας του εξοπλισμού (ή του εργοστασίου).

2. Ποσοστό των ωρών συντήρησης επί του χρόνου λειτουργίας (%)

Η Αποτελεσματικότητα της Συντήρησης είναι ένα μέτρο της προσπάθειας συντήρησης που απαιτείται για την παροχή των απαιτούμενων επιπέδων απόδοσης από τον εξοπλισμό. Εργατώρες συντήρησης είναι οι πραγματικές εργατώρες συντήρησης που δαπανήθηκαν για την συντήρηση ενός μέρους του εξοπλισμού. Οι Εργατώρες συντήρησης περιλαμβάνουν και την προληπτική και την διορθωτική συντήρηση. Ο Χρόνος λειτουργίας είναι ο παραγωγικός χρόνος με αθροιζόμενες τις χρονικές καθυστερήσεις.

3. Ποσοστό της επαναλαμβανόμενης εργασίας (rework) συντήρησης επί του συνόλου των εργασιών συντήρησης (%)

Η εργασία της Συντήρησης που επαναλαμβάνεται λόγω αναποτελεσματικής προσπάθειας και εφαρμογής κατά την αρχική φάση. Η αρχική αναποτελεσματικότητα μπορεί να οφείλεται σε μη ολοκληρωμένο αρχικό σχεδιασμό, κακοτεχνίες και ελλιπείς διαδικασίες.

4. Ποσοστό ολοκλήρωσης των προληπτικών εργασιών συντήρησης κατά την προγραμματισμένη ημερομηνία λήξης (%)

Αυτός ο δείκτης μετρά την απόδοση του Τμήματος Σχεδιασμού στην υλοποίηση και ολοκλήρωση των καθηκόντων του, κατά την προγραμματισμένη ημερομηνία λήξης.

5. Αναλογία διορθωτικής συντήρησης και προληπτικής συντήρησης (ώρες)

6. Ποσοστό μη προγραμματισμένης εργασίας συντήρησης επί του συνόλου των εργασιών συντήρησης (%)

Ποσοστό του συνόλου των ωρών της μη προγραμματισμένης εργασίας επί του συνόλου των ολοκληρωμένων εργασιών συντήρησης

7. Το κόστος συντήρησης ως ποσοστό (%) επί του κόστους παράγωγης

8. Ποσοστό (%) του χρόνου της προληπτικής συντήρησης
Ποσοστό του χρόνου της προληπτικής συντήρησης επί του συνόλου της συντήρησης
9. Ποσοστό (%) του κόστους πρόληψης της διάβρωσης επί του συνόλου του κόστους συντήρησης

Σε ειδικές αστοχίες όπως η διάβρωση, τα μέτρα πρόληψης, όπως το βάψιμο κλπ απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Το μέτρο αυτό είναι ένα μέτρο σύγκρισης για το ποσοστό (%) των μηνιαίων δαπανών των εργασιών πρόληψης της διάβρωσης, επί του συνόλου των δαπανών συντήρησης.

10. Ποσοστό (%) των εργασιών συντήρησης με χρονικές καθυστερήσεις
Ποσοστό των εργασιών συντήρησης που παρουσιάζουν χρονικές καθυστερήσεις επί του συνόλου των εργασιών συντήρησης.
11. Ποσοστό (%) των απαιτήσεων που έχουν ολοκληρωθεί επί του συνόλου των απαιτήσεων
12. Ποσοστό (%) του κόστους συντήρησης επί των συνολικών πωλήσεων
Το κόστος συντήρησης ως ποσοστό των συνολικών πωλήσεων.
13. Ποσοστό (%) αποτελεσματικότητας του χρονοδιαγράμματος ολοκλήρωσης
Ο συγκεκριμένος δείκτης αποτυπώνει πόσο αποτελεσματικός ήταν ο σχεδιασμός της συντήρησης που καταρτίστηκε. Είναι το ποσοστό των ωρών της προγραμματισμένης συντήρησης σε συνάρτηση με τις πραγματικές ώρες συντήρησης, για να ολοκληρωθούν επιτυχώς οι προγραμματισμένες εργασίες.
14. Συνολικό κόστος συντήρησης

Συνολικό κόστος συντήρησης, ή το κόστος Διαχείρισης της Ποιότητας, είναι το άθροισμα του κόστους της προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης κατά την περίοδο μέτρησης.

Άρα το συνολικό κόστος Συντήρησης προκύπτει αν αθροίσουμε τα κάτωθι:

- Συνολικό Κόστος Διορθωτικής Συντήρησης
- Συνολικό Κόστος Προληπτικής Συντήρησης

15. Συνολικός χρόνος συντήρησης είναι το άθροισμα των κάτωθι:

- Συνολικός Χρόνος Διορθωτικής Συντήρησης
- Συνολικός Χρόνος Προληπτικής Συντήρησης

❖ *Κομβικής Σημασίας κρίνεται η σύγκριση των παραπάνω πραγματικών δεδομένων με τους αρχικούς προγραμματισμούς χρόνου και κόστους.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.7 - Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ

1.7.1. ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ

Η Συντήρηση μιας Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας θεωρείται, με βάση τις σύγχρονες αρχές της Διοίκησης Έργων, ένα πλήρες Έργο. Ένα ορθώς και πλήρως ολοκληρωμένο Έργο Συντήρησης, καθιστά λειτουργικές όλες τις μονάδες ενός εργοστασίου. Αν αναλογιστούμε το παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι η επιτυχία του Έργου της Συντήρησης καθίσταται το ίδιο σημαντική με την επιτυχία, ενός κοινού Έργου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι οι ορθά λειτουργούσες λειτουργικές μονάδες ενός εργοστασίου αποτελούν τον σημαντικότερο πυλώνα για την σωστή υλοποίηση ενός οποιουδήποτε έργου. Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι το ειδικό βάρος που έχουν πλέον τα έργα συντήρησης, είναι ιδιαίτερα υψηλό.

Είναι σαφές ότι οι αρχές της Διοίκησης Έργων, όπως καταγράφονται στο PMBOK, ως γνωστικές περιοχές, αποτελούν τον βασικό οδηγό για όλους τους Σύγχρονους Διοικητές Έργων. Έχει ιδιαίτερη αξία, ιγνηλατώντας τις γνωστικές αυτές περιοχές, να διακρίνουμε τις ομοιότητες που εμφανίζονται κατά την διαχείριση ενός έργου Συντήρησης.

1. Project Integration Management

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η διαχείριση ενός έργου Συντήρησης, απαιτεί πλήρη και ολοκληρωμένη Ενοποίηση. Τα διάφορα στάδια του Έργου Συντήρησης, ιδιαίτερα στις Μεγάλες Μηχανολογικές Μονάδες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Όποτε απαιτείται ενοποίηση σε επίπεδο Σχεδιασμού, Εκτέλεσης, Ελέγχου αλλά και Ολοκλήρωσης του Έργου.

2. Project Scope Management

Ο καθορισμός του πεδίου εργασίας ή αλλιώς του Φυσικού Αντικείμενου του Έργου είναι μια ιδιαίτερος κρίσιμη διαδικασία, για την επιτυχία του Έργου. Στα κοινά Έργα η διαδικασία αυτή αποτελεί τον “ακρογωνιαίο λίθο” για την επιτυχία του Έργου. Λανθασμένος αρχικός καθορισμός στο Φυσικό Αντικείμενο μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε ολική αποτυχία του Έργου. Τα έργα συντήρησης παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα, στον τομέα αυτό. Είναι πολύ πιθανό, ο αρχικός καθορισμός του Φυσικού Αντικείμενου, να ανατραπεί πολλές φορές καθώς το έργο εξελίσσεται. Αυτό είναι απολύτως φυσιολογικό και αιτιολογείται από την φύση του έργου. Πολλές φορές προχωρώντας “βαθύτερα” στην συντήρηση, η Ομάδα διαχείρισης του Έργου έρχεται αντιμέτωπη με προβλήματα που ενδέχεται να μην είχαν προβλεφτεί.

Πάντως οι σύγχρονοι διαχειριστές έργων συντήρησης, έχουν ως στόχο – από την αρχή - να επιτυγχάνουν, όσο το δυνατό σε υψηλότερο ποσοστό, ακρίβεια στον καθορισμό του Φυσικού Αντικείμενου. Με αυτό τον τρόπο περιορίζονται οι αστοχίες και σε επίπεδο χρόνου και σε επίπεδο κόστους.

3. Project Time Management

Σε επίπεδο αυστηρότητας κατά την τήρηση του Χρονικού Προγραμματισμού στα έργα συντήρησης, απαιτείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια ακόμη και ταύτιση με τα κοινά έργα. Ο λόγος είναι ότι κατά την διαδικασία της Συντήρησης αναστέλλονται μερικώς ή/και ολικώς οι λειτουργίες του εργοστασίου, γεγονός το οποίο δημιουργεί άμεση επιχειρησιακή αδυναμία στην επιχείρηση. Οι σύγχρονοι διαχειριστές έργων συντήρησης προσπαθούν να επιτυγχάνουν όσο το δυνατό τον στόχο του χρόνου.

4. Project Cost Management

Ομοίως με τον χρόνο, περίπου παρόμοια αντίληψη, υπάρχει και για το κόστος ενός έργου συντήρησης. Το κόστος φυσικά επηρεάζεται δραματικά από το διαρκώς μεταβαλλόμενο Φυσικό Αντικείμενο. Το διαρκώς μεταβαλλόμενο Φυσικό Αντικείμενο συνήθως αυξάνει το κόστος. Παραλλήλως και συνεπακόλουθα, η ανάγκη καθώς και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται προκειμένου να επιτευχθεί ο χρονικός στόχος, οδηγούν σε αύξηση του κόστους (π.χ. αύξηση του ανθρώπινου δυναμικού). Παρόλα αυτά απαιτείται και σε αυτό το επίπεδο πειθαρχία και σωστή πρόβλεψη. Τέλος ας μη ξεχνάμε ότι τα έργα συντήρησης όπως και όλα τα υπόλοιπα έργα ενσωματώνονται στον προϋπολογισμό της επιχείρησης και κατ' επέκταση η διοίκηση δεν επιθυμεί αστοχίες σε αυτό το επίπεδο.

5. Project Quality Management

Η Διαχείριση της Ποιότητας σε ένα Έργο Συντήρησης, είναι ιδιαίτερα σημαντική για το Έργο, ιδιαίτερα αν αναλογιστούμε ότι μετά την συντήρηση η κατάσταση της μονάδας σε επίπεδο λειτουργικότητας, πρέπει να βρίσκεται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα. Το επίπεδο Ποιότητας που αναλύεται με την φράση ‘να λειτουργεί ο εξοπλισμός σαν να είναι καινούργιος’, καθιστά την αυστηρότητα στη διαχείριση σε αυτό το στάδιο, εξαιρετικά υψηλή.

6. Project Human Resource Management

Η διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού σε ένα έργο συντήρησης είναι ιδιαίτερα σημαντική. Αν αναλογιστούμε ότι στην Συντήρηση Μεγάλων Μηχανολογικών Μονάδων, συμμετέχει κυρίως προσωπικό που ανήκει σε υπεργολάβους, η παρούσα διαδικασία καθίσταται ιδιαίτερα πολύπλοκη. Απαιτείται λοιπόν μεγάλη προσπάθεια από την Ομάδα Διαχείρισης Έργου και στην κατεύθυνση αυτή.

7. Project Communication Management

Στην ίδια κατεύθυνση με πριν και επειδή στα έργα συντήρησης συμμετέχει αρκετό προσωπικό από υπεργολάβους απαιτείται ένα πλήρες, διαρθρωμένο και προωθημένο σχέδιο επικοινωνίας μεταξύ του προσωπικού και της διοίκησης. Το σχέδιο αυτό υποβοηθά στην κατανόηση των καθηκόντων και των αρμοδιοτήτων του προσωπικού. Και στο παραπάνω πεδίο απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια εφάμιλλή ή/και μεγαλύτερη από αυτή που εφαρμόζεται στα κοινά έργα.

8. Project Risk Management

“Κίνδυνος (Ρίσκο) σε ένα έργο είναι ένα αβέβαιο γεγονός ή κατάσταση, το οποίο μπορεί να έχει θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο σε ένα ή περισσότερα παραδοτέα του έργου” [16].

Στην κατεύθυνση της Διαχείρισης Κινδύνων τα έργα συντήρησης, απαιτούν αυξημένη αυστηρότητα κατά την εφαρμογή. Όπως είναι γνωστό και πέραν των γνωστών επιπέδων αστοχίας σε επίπεδο Φυσικού Αντικείμενου, Κόστους και Χρόνου, υπάρχουν ιδιαίτερα σημεία που εμφανίζονται Κίνδυνοι στα έργα συντήρησης. Ένα από αυτά τα σημεία είναι η Ασφάλεια. Τα έργα συντήρησης απαιτούν ιδιαίτερη αυστηρότητα στην διαχείριση της ασφάλειας, καθώς το προσωπικό έρχεται σε επαφή με επικίνδυνα υλικά και συνθήκες.

Βασική Αρχή όλων των έργων είναι η προστασία του προσωπικού και δεν πρέπει να αμελείται.

9. Project Procurement Management

Η Διαχείριση των Συμβάσεων, των Προμηθευτών και των Υπεργολάβων είναι επίσης μια κρίσιμη διαδικασία, σε ένα έργο συντήρησης. Πρέπει να παραγγελθούν εγκαίρως τα απαιτούμενα ανταλλακτικά, να τηρηθούν οι συμβάσεις και να επιτευχθεί σωστή συνεργασία με τους υπεργολάβους που συμμετέχουν στα έργα αυτά. Εμφανίζονται και εδώ ιδιαίτερες ομοιότητες με τα κοινά έργα.

10. Project Stakeholder Management

Το πεδίο της Διαχείρισης των ενδιαφερομένων στα έργα συντήρησης, μπορεί να φαίνεται πρωτογενώς και προς το παρόν ως ένα κενό περιεχομένου πεδίο. Η συγκεκριμένη γνωστική ενότητα εισήχθη πρόσφατα στο PMBOK, παρόλαυτα από τους σύγχρονους διαχειριστές έργων συντήρησης απαιτείται εγρήγορση και ενημέρωση και σε αυτή την κατεύθυνση.

1.7.2. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΡΓΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΕΡΓΩΝ

Η πειθαρχία στη διαχείριση ενός έργου, εδράζεται σε διαφορετικά επίπεδα ωριμότητας και σε πολλούς διαφορετικούς κλάδους. Ο κλάδος των κατασκευών κατά πάσα πιθανότητα εφαρμόζει με πολύ μεγαλύτερη πειθαρχία τις αρχές διαχείρισης ενός έργου. Παραλλήλως πρέπει να αναφέρουμε ότι ιδιαίτερα αυξανόμενη ωριμότητα στην παραπάνω κατεύθυνση παρουσιάζεται τα τελευταία χρόνια στον Τομέα της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών. Εν αντιθέσει με τα παραπάνω στην μεταποιητική βιομηχανία και ιδιαίτερα στα έργα συντήρησης, δεν παρουσιάζεται η ίδια πειθαρχία κατά την εκτέλεση του έργου. Όμοιες διαφοροποιήσεις και διακριτότητες συμβαίνουν και στα έργα συντήρησης.

Παρατηρείται έντονα ότι σε έργα συντήρησης επαναλαμβάνονται πολλές φορές τα ίδια λάθη, όπως αστοχίες στον Προϋπολογισμό και στο Φυσικό Αντικείμενο. Το παραπάνω λαμβάνει χώρα επειδή οι Διοικητές των Έργων της Συντήρησης, εφαρμόζουν τις πολιτικές Διοίκησης Έργων, χωρίς να ενσωματώνουν σε αυτές τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των έργων της Συντήρησης. Πολλοί μάλιστα και σε πλήρη αντίθεση με τις βασικές αρχές του Project Management συμπεριφέρονται όταν λαμβάνει χώρα το έργο, ως Διευθυντές Παραγωγής ή Διαχείρισης Προμηθειών ή Marketing. Ας μην ξεχνάμε ότι πολλές επιχειρήσεις για οικονομία χρόνου και κόστους, λίγο πριν ξεκινήσει το Έργο της Συντήρησης, διορίζουν ως Διοικητή του Έργου τον Διευθυντή Παραγωγής ή Προμηθειών – αντί να προσλάβουν έναν Πιστοποιημένο PM ή τουλάχιστον να εκπαιδεύσουν τον υπάρχον προσωπικό καταλλήλως.

Από τα παραπάνω εύκολα συνάγεται ότι η μεγαλύτερη πρόκληση για τους σύγχρονους διαχειριστές έργων συντήρησης είναι να διαχειρίζονται τα έργα συντήρησης αντιλαμβανόμενοι της διαφορές που υπάρχουν σε σχέση με τα υπόλοιπα Έργα. Οι διαφορές αυτές έγκεινται και σε επίπεδο χαρακτηριστικών αλλά και απαιτήσεων [22].

Το Ινστιτούτο Διαχείρισης Έργων (PMI) έχει δημοσιεύσει έναν Πρότυπο Οδηγό Διαχείρισης Έργων (PMBOK®), ο οποίος προσδιορίζει και περιγράφει γενικές κατευθυντήριες, στάδια και διαδικασίες σε όλο το εύρος διαχείρισης ενός έργου. [14]

Όπως τελικώς γίνεται αντιληπτό εναπόκειται στους Διαχειριστές Έργων να εναρμονίσουν την στρατηγική τους, με τις βασικές αρχές του PMI αντιλαμβανόμενοι παράλληλα τις ιδιαιτερότητες και εξειδικευμένες απαιτήσεις του έργου τους. Ακόμη περισσότερο οι Διοικητές έργων Συντήρησης οφείλουν να αντιληφθούν τις επί μέρους στρατηγικές και ιδιαιτερότητες των έργων αυτών σε σχέση με Έργα Μεταποίησης ή Προμηθειών.

1.7.3. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΈΡΓΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΈΡΓΩΝ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΜΗΘΕΙΩΝ

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ Έργων Συντήρησης και Έργων Μεταποίησης και Προμηθειών.

Επειδή το εύρος του Φυσικού Αντικειμένου είναι γνωστό μόνο εν μέρει όταν αρχίζει η εκτέλεση της Συντήρησης, οι απαιτήσεις σε πολύ αυστηρότερους ελέγχους επί αυτού του αντικειμένου, είναι πολύ μεγαλύτερες. Το διαρκώς μεταβαλλόμενο Φυσικό Αντικείμενο πολλές φορές μπορεί να εκτροχιάσει των Προγραμματισμό και να καταστήσει το αρχικό χρονοδιάγραμμα ένα μη φερέγγυο εργαλείο μέτρησης.

Ως συνέπεια των παραπάνω το μεταβαλλόμενο χρονοδιάγραμμα δημιουργεί μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και ανάγκες σε ανθρώπινο δυναμικό και δυσχεραίνει την εξισορρόπηση τω πόρων (resource leveling) . Υπενθυμίζουμε ότι η εξισορρόπηση των πόρων είναι ένα ιδιαίτερα δημοφιλές εργαλείο σε όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες έργων που πολλές φορές όμως και ειδικά αν δεν υπάρχει ο απαιτούμενος έλεγχος, στα έργα συντήρησης καθίσταται μη λειτουργικό.

Τα μεταβαλλόμενα χρονοδιαγράμματα, σε πολλές περιπτώσεις έργων συντήρησης, οδηγούν σε προβλήματα λόγω του μειωμένου χρόνου που υπάρχει καθώς και της αυξημένης πίεσης που ασκείται. Τα προβλήματα αυτά, οδηγούν σε μερική ή ολική αποτυχία στην επίτευξη των στόχων και του σκοπού του έργου.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι τα έργα Συντήρησης λόγω των πολλών ιδιομορφιών τους καθώς και των πολλών παραγόντων αστάθειας που έχουν, απαιτούν περισσότερους ελέγχους, διαρκή επιβεβαίωση και εξακρίβωση των χρονικών προθεσμιών και του Φυσικού Αντικειμένου, ώστε να ικανοποιηθούν πλήρως οι απαιτήσεις του έργου. [22]

Στην συνέχεια παρατίθεται ένας Πίνακας με τις διαφορές των Έργων Συντήρησης με τα υπόλοιπα Έργα.

Πίνακας 3 – Διαφορές Κοινού Έργου σε σχέση με τα Έργα Συντήρησης [22]

PROJECT MANAGEMENT	TURNAROUND MANAGEMENT
<p>1. Συνήθως καλά καθορισμένο Φυσικό αντικείμενο από:</p> <p>α. αναλήψεις</p> <p>β. προδιαγραφές</p> <p>γ. συμβάσεις</p> <p>δ. άδειες, υπομνήματα κ.λπ.</p>	<p>1. Διαρκώς μεταβαλλόμενο το Φυσικό Αντικείμενο, καθορισμένο από:</p> <p>α. εμπειρία του παρελθόντος</p> <p>β. εκθέσεις επιθεώρησης</p> <p>γ. αιτήματα λειτουργιών</p> <p>δ. ιστορικές εκτιμήσεις</p>
2. Στατικό ΦΟΑ - Συμβαίνουν λίγες αλλαγές κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης.	2. Δυναμικό ΦΟΑ - Πολλές αλλαγές συμβαίνουν με την πάροδο του χρόνου και των ελέγχων
3. Μπορεί να σχεδιαστεί και να προγραμματιστεί σε σημαντικό βαθμό, εκ των προτέρων.	3. Ο αρχικός Σχεδιασμός και προγραμματισμός υπόκειται σε πολλές αλλαγές σε συνάρτηση με την πρόοδο του Έργου.
4. Οργανώνονται γύρω από το κόστος, το χρόνο και τα παραγόμενα αποτελέσματα.	4. Βασίζονται σε εντολές εργασίας που είναι απαραίτητες για την βιωσιμότητα της επιχείρησης.
5. Σε γενικές γραμμές δεν απαιτούνται άδειες ασφαλείας για να εκτελεστεί η εργασία.	5. Οι εργασίες συντήρησης απαιτούν εκτεταμένη ασφάλεια και συγκεκριμένες βάρδιες εργασίας
6. Οι ανάγκες σε εργατικό δυναμικό σε προσωπικό συνήθως δεν αλλάζουν.	6. Οι απαιτήσεις σε ανθρώπινο δυναμικό μεταβάλλονται διαρκώς.
7. Το χρονοδιάγραμμα του έργου μπορεί να επικαιροποιείται, είτε σε εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση.	7. Το χρονοδιάγραμμα του Έργου πρέπει να ενημερώνεται σε κάθε βάρδια και καθημερινώς.
8. Μονάδα μέτρησης του χρόνου είναι σε ημέρες, εβδομάδες και μήνες.	8. Μονάδα Μέτρησης του χρόνου είναι σε ώρες ή βάρδιες.
9. Η Ολοκλήρωση του Φυσικού Αντικείμενου του έργου είναι συνήθως υποχρεωτική.	9. Συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό του ΦΟΑ μπορεί να αναβληθεί και να εκτελεστεί μεταγενέστερα εάν απαραίτητα απαιτείται.
10. Τα χρονοδιαγράμματα του έργου είναι ασυμπίεστα.	10. Τα χρονοδιαγράμματα του Έργου συμπίεζονται. Μπορεί να υπάρχει ελάχιστη ή καμία δυνατότητα να διορθωθεί η κρίσιμη διαδρομή από την επιτάχυνση του χρονοδιαγράμματος.

Knowledge Areas	PMBOK Guide 5 th edition – Project Management Process Groups				
	Initiating Process Group	Planning Process Group	Executing Process Group	Monitoring & Controlling Process Group	Closing Process Group
Project Management Integration	- Develop Project Charter	- Develop Project Management Plan	- Direct and Manage Project Work	- Monitor and Control Project Work - Perform Integrated Change Control	- Close Project or Phase
Project Scope Management		- Plan Scope Management - Collect Requirements - Define Scope - Create WBS		- Validate Scope - Control Scope	
Project Time Management		- Plan Schedule Management - Define Activities - Sequence Activities - Estimate Activity Resources - Estimate Activity Durations - Develop Schedule		- Control Schedule	
Project Cost Management		- Plan Cost Management - Estimate Costs - Determine Budget		- Control Costs	
Project Quality Management		- Plan Quality Management	- Perform Quality Assurance	- Control Quality	
Project Human Resource Management		- Plan Human Resource Management	- Acquire Project Team - Develop Project Team - Manage Project Team		
Project Communication Management		- Plan Communications Management	- Manage Communications	- Control Communications	
Project Risk Management		- Plan Risk Management - Identify Risks - Perform Qualitative Risk Analysis - Perform Quantitative Risk Analysis - Plan Risk Responses		- Control Risks	
Project Procurement Management		- Plan Procurement Management	- Conduct Procurements	- Control Procurements	- Close Procurements
Project Stakeholder Management	- Identify Stakeholders	- Plan Stakeholder Management	- Manage Stakeholder Engagement	- Control Stakeholder Engagement	

Πίνακας 4 - Γνωστικές Περιοχές του PMBOK σε συνάρτηση με τις διεργασίες του Project Management Institute, Inc. , 2013

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.8 – ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

1.8.1. MONTELO MANAGEMENT LOOP FOR MAINTENANCE

Το Management Loop for Maintenance είναι ένα μοντέλο διαχείρισης που αναπτύχθηκε από την PSAN (Petroleum Safety Authority Norway) και από την βιομηχανία πετρελαίου, κυρίως την Statoil. Το μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 (Petroleum Safety Authority Norway webpage [12]).

Η διαχείριση της ασφάλειας, της κανονικότητας και του κόστους που σχετίζεται με τη συντήρηση είναι το μοντέλο που παρουσιάζεται ως μια συνεχής διαδικασία (loop).

Με την εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου υποβοηθείται η μείωση του κόστους της Συντήρησης, μειώνεται η εμφάνιση κινδύνων και διασφαλίζεται σε σημαντικό βαθμό η διαθεσιμότητα σε πόρους.

Κάθε στοιχείο του συστήματος μπορεί να αποτελείται από διαφορετικές διαδικασίες. Απαραίτητη είναι η επίβλεψη όλων των στοιχείων και διαδικασιών του συστήματος.

1. Στόχοι και Απαιτήσεις

Ο σκοπός του στοιχείου που παρουσιάζεται πρώτο στο Σύστημα, "Στόχοι και απαιτήσεις", είναι για να μετατρέψετε τους εταιρικούς στόχους ασφαλείας σε στόχους του συστήματος συντήρησης, καθώς επίσης και να αναπτυχθούν τα KPIs (Βασικοί Δείκτες Απόδοσης).

Οι Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (KPIs) χρησιμοποιούνται από τη διοίκηση για την εποπτεία και για τον έλεγχο της ολοκλήρωσης των απαιτούμενων στόχων και απαιτήσεων.

2. Συντήρηση Προγράμματος

Ο σκοπός του δεύτερου στοιχείου, "Συντήρηση προγράμματος", είναι η βελτίωση του προγράμματος συντήρησης ώστε να καθίσταται δυνατό να ικανοποιήσει τους απαιτούμενους στόχους και απαιτήσεις.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τα κάτωθι:

1. γενικό πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης
2. πρόγραμμα επιθεωρήσεων
3. πρόγραμμα για την παρακολούθηση της προόδου και τον έλεγχο όλων των συστημάτων και του εξοπλισμού στην εγκατάσταση.

- Τα χαρακτηριστικά αστοχίας του εξοπλισμού αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο ώστε το πρόγραμμα συντήρησης να είναι αποδοτικό και αποτελεσματικό.

3. Προγραμματισμός Συντήρησης

Το τρίτο στοιχείο "Προγραμματισμός Συντήρησης" έχει ως σκοπό να δημιουργήσει και να προγραμματίσει δραστηριότητες συντήρησης που προκύπτουν από το πρόγραμμα συντήρησης. Ο προγραμματισμός αυτών των δραστηριοτήτων συντήρησης έχει έναν ορίζοντα 10 ετών, 1-2 ετών ακόμα και σε καθημερινή βάση, ανάλογα με το βαθμό λεπτομέρειας που απαιτείται.

4. Εκτέλεση

Ο σκοπός του τέταρτου στοιχείου "Εκτέλεση" είναι να εκτελέσει τις καθιερωμένες εργασίες συντήρησης από το προηγούμενο στοιχείο. Αυτό περιλαμβάνει τη διενέργεια των προληπτικών και διορθωτικών δραστηριοτήτων συντήρησης, ελέγχου και ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων. Η καταγραφή ιστορικών στοιχείων κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη.

- Οι πόροι (οργάνωση, υλικά και υποστήριξη) τροφοδοτούν την «Γραμμή Παραγωγής» που αποτελείται από τα προαναφερθέντα τέσσερα στοιχεία - στάδια. Τα δεδομένα των πόρων αποτελούν τα δεδομένα εισόδου του Συστήματος. Η παραπάνω εφαρμογή των σταδίων οδηγεί στην αποσαφήνιση της "Τεχνικής Κατάστασης του Συστήματος".

Η παραπάνω κατάσταση καθορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- επίπεδο κινδύνου για την εγκατάσταση
- επίπεδο διαθεσιμότητας της εγκατάστασης
- κόστος συντήρησης για την εγκατάσταση.

Τα τρία στοιχεία στο κάτω μέρος του βρόχου, είναι η «Αναφορά», «Ανάλυση» και οι «Βελτιώσεις». Αυτά είναι τα στάδια που έχουν ως στόχο να δημιουργήσουν τις διαδικασίες για τη βελτίωση της διαδικασίας.

5. Αναφορά

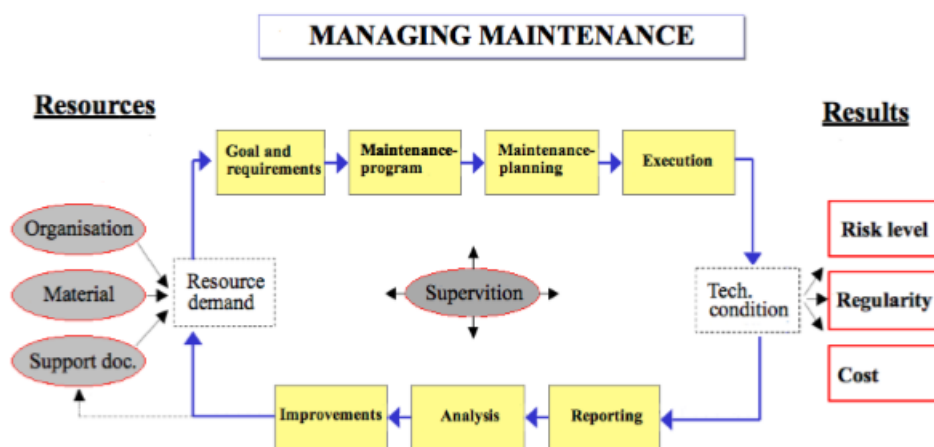
Ο σκοπός του στοιχείου "Αναφορά", είναι να συγκεντρωθούν, οι ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες και τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Οι πληροφορίες πρέπει να περιλαμβάνουν τους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης (KPIs) που είναι κατατοπιστικοί και καλύπτουν όλες τις σημαντικές πτυχές των διαδικασιών, σε επίπεδο πληροφόρησης και ανάλυσης. Είναι σημαντικό ότι αυτή η αναφορά αφορά και διατίθεται σε όλο το τμήμα του οργανισμού που εμπλέκεται στη διαχείριση συντήρησης. Τα ιστορικά στοιχεία αστοχίας για τον εξοπλισμό αποτελούν ουσιαστικό μέρος αυτής της αναφοράς, και είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν και να βελτιωθούν οι γνώσεις των χαρακτηριστικών αποτυχίας για τον εξοπλισμό.

6. Ανάλυση

Το επόμενο στοιχείο στη γραμμή είναι η "Ανάλυση". Το στάδιο αυτό, αφορά την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφονται από τον προηγούμενο "γύρο" βελτίωσης.

7. Βελτιώσεις

Το τελευταίο στοιχείο είναι οι «Βελτιώσεις». Το στοιχείο αυτό εστιάζει σε εργασιακές διαδικασίες που εκκινούν, εκτελούν και παρακολουθούν βελτιωτικές δράσεις που βασίζονται στην προηγούμενη ανάλυση, στην συσσωρευμένη γνώση και εμπειρία. Επίσης, ο τύπος της ποιότητας ή/και της ποσότητας των πόρων που τροφοδοτούν τον βρόχο της διαδικασίας της εργασίας ενδέχεται να αλλάζει.



Σχήμα 7 – Μοντέλο Management Loop for Maintenance

Η Ομάδα που συντονίζει το παραπάνω Σύστημα οφείλει και απαιτείται να ελέγχει και να εποπτεύει όλα τα παραπάνω στάδια-στοιχεία ώστε το εν λόγω Μοντέλο να λειτουργεί σωστά και εποικοδομητικά.

1.8.2. SWIM LANES MODEL

Πολλές φορές στα Έργα Συντήρησης καθώς και στα κοινά Έργα, δημιουργείται σε επίπεδο αρμοδιοτήτων και καθηκόντων, αλληλεπικαλύψεις και σύγχυση. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος του Έργου και το πλήθος των συμμετεχόντων, τόσο περισσότερο εντείνεται το παραπάνω πρόβλημα. Μια σύγχρονη πρακτική που εφαρμόζουν ορισμένες επιχειρήσεις είναι η εφαρμογή ενός γραφικού μοντέλου, που ονομάζεται SWIM LANES MODEL.

Σκοπός

Ο σκοπός του Μοντέλου είναι να κατανέμονται πλήρως και επαρκώς τα καθήκοντα των εμπλεκόμενων και να αποφεύγονται οι αλληλοεπικαλύψεις αρμοδιοτήτων. Όπως φαίνεται και στην συνέχεια (Σχήμα 8), η ορθή διάρθρωση των αρμοδιοτήτων επιτυγχάνεται μέσω των διακεκομμένων γραμμών (SWIM LANES), όπου καθορίζουν το αντίστοιχο πεδίο εργασίας, του κάθε εμπλεκόμενου, ανάλογα με την κάθε φάση του Έργου Συντήρησης.

Εύρος

Το μοντέλο καταγράφει ενδεικτικά, τα κάτωθι:

- Διεργασίες
- Ορόσημα
- Σημεία Αποφάσεων
- Καλύτερες Πρακτικές
- Διαδικασίες
- KPIs
- Πιστοποιημένα Έγγραφα
- Αρμοδιότητες
- Παραδοτέα
- Εργασίες
- Εμπλεκόμενους

Εφαρμογή

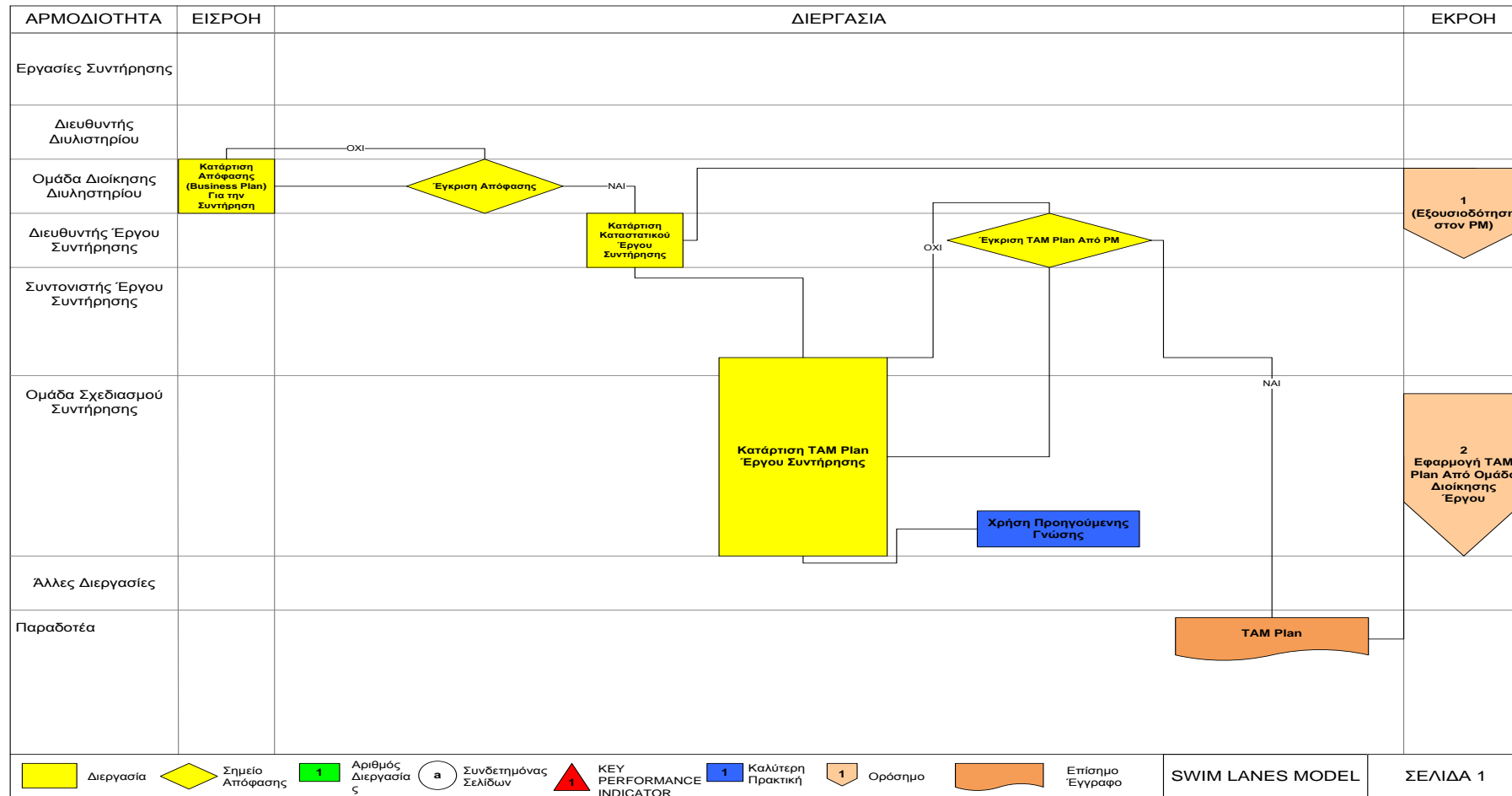
Το παραπάνω μοντέλο μπορεί να υποστηρίξει το Έργο της Συντήρησης σε όλη την διάρκειά του.

Σύνταξη

Όπως φαίνεται στην συνέχεια, η κατάρτιση του Μοντέλου, μπορεί να γίνει μέσω απλής εφαρμογής του Προγράμματος Microsoft Visio.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ SWIM LANES MODEL

Προχωρήσαμε στην συνέχεια σε ένα Παράδειγμα του Μοντέλου με την κατάρτιση ενός αντίστοιχου Σχεδίου, αναφορικά με την φάση σχεδίασης και κατάρτισης του Turn Around Management Plan. Αντίστοιχα σχέδια μπορούν να καταρτιστούν για όλες τις φάσεις του Έργου.



Σχήμα 8 – Προσέδιο SWIM LANES MODEL

ΕΝΟΤΗΤΑ 2 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Στην παρούσα Ενότητα αναλύονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε ώστε να δομήσουμε την περαιτέρω Ποσοτική και Ποιοτική Ανάλυσή μας.

Η Ανάλυση διαρθρώνεται στα κάτωθι κεφάλαια:

1. Πληθυσμός Εργασιών και Επιλογή Δείγματος
2. Ανάλυση Δεδομένων Δείγματος
3. Προσομοίωση και Πρόγραμμα @Risk
4. Μοντελοποίηση/Αποτελέσματα Μοντελοποίησης
5. Βελτιστοποίηση/Αποτελέσματα Βελτιστοποίησης
6. Τελικό Αποτέλεσμα/Αναπροσαρμογή Συντήρησης Μονάδας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1 – ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

2.1.1. ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η Επιλογή του δείγματος έγινε από μια Μεγάλη Μηχανολογική Μονάδα. Η Μηχανολογική Μονάδα ήταν ένα πραγματικό Διυλιστήριο που εδρεύει στην Ελλάδα.

Το είδος του ελεγχόμενου εξοπλισμού είναι ο εναλλάκτης θερμότητας. Ο εναλλάκτης θερμότητας επελέγη καθώς είναι ένα χαρακτηριστικό εξάρτημα στις Μεγάλες Μηχανολογικές Μονάδες με αρκετά μεγάλο εύρος εργασιών κατά την διαδικασία συντήρησής του. Επίσης οφείλουμε να επισημάνουμε ότι οι εναλλάκτες θερμότητας έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τα αερόψυκτα. Μια διαφορά τους είναι ότι οι εναλλάκτες κατά την Συντήρησή τους έχουν πολύ μεγαλύτερο εύρος εργασιών.

Το συνολικό πλήθος των εναλλακτών του διυλιστηρίου ήταν μεγαλύτερο από 350. Ο συνολικός πληθυσμός των εργασιών συντήρησης σε εναλλάκτες θερμότητας ήταν 522 εργασίες. Το χρονικό διάστημα των εργασιών συντήρησης, επί του συνολικού πληθυσμού, ήταν από το 2002 έως το 2013.

Το σύνολο των Μονάδων του Πληθυσμού ήταν 43 μονάδες.

Οι εργασίες συντήρησης που οφείλονται σε αντίστοιχες βλάβες/αστοχίες εξοπλισμού διαρθρώνονται στις κάτωθι κατηγορίες:

1. Εσωτερική Διαρροή
2. Εξωτερική Διαρροή
3. Αντικατάσταση
4. Κατασκευή/Επισκευή
5. Λοιπές Εργασίες Συντήρησης

Εσωτερική Διαρροή

Η βλάβη της Εσωτερικής Διαρροής αποκαθίσταται με τις κάτωθι εργασίες:

- Σύσφιξη Κοχλιών Floating Head
- Εκτονώματα Τούμπων
- Συγκόλληση Τούμπων
- Τάπωμα Τούμπων
- Άνοιγμα Καθαρισμός Φύλλων Τιτανίου

Εξωτερική Διαρροή

Η βλάβη της Εξωτερικής Διαρροής αποκαθίσταται με τις κάτωθι εργασίες:

- Σύσφιξη/Αντικατάσταση Κοχλιών
- Αλλαγή gasket
- Εισαγωγή τσίχλας

Αντικατάσταση

Οι εργασίες αντικατάστασης αφορούν σε ποσοστό άνω του 75% την εργασία “Ανατούμπωσης/Αναύλωσης Δέσμης”.

Κατασκευή

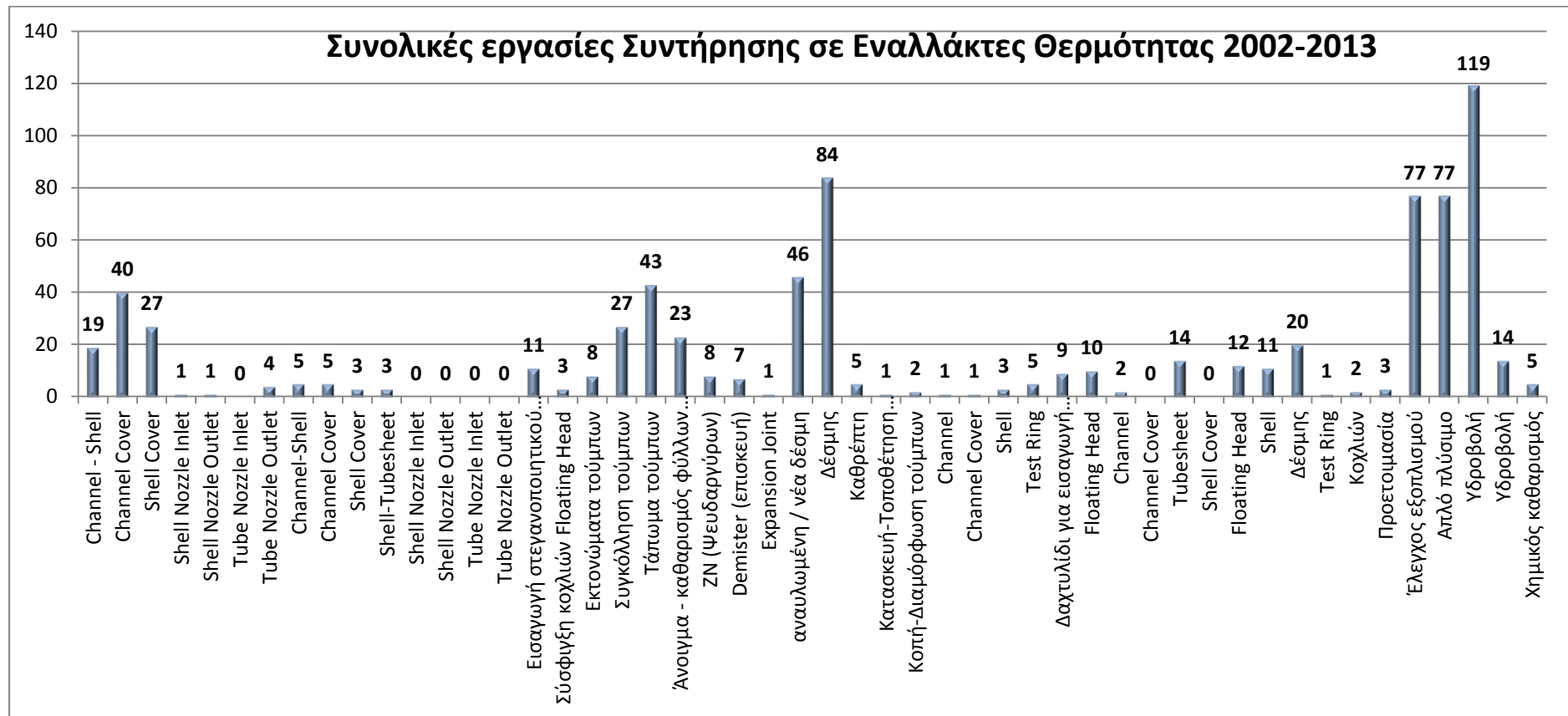
Οι εργασίες Κατασκευής αφορούν σε ποσοστό άνω του 45% την εργασία “Κατασκευής Δέσμης”.

Λοιπές Εργασίες Συντήρησης

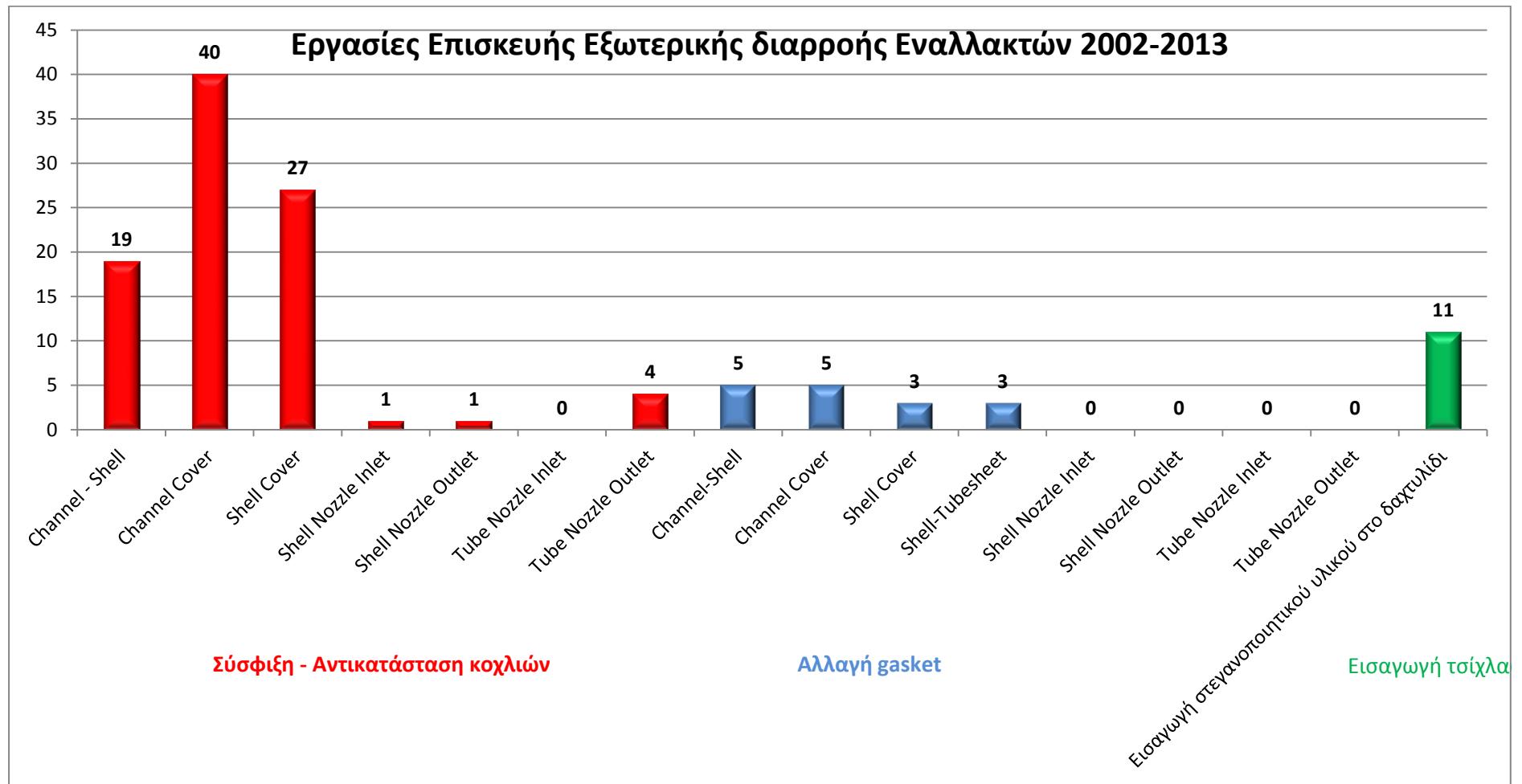
Οι Λοιπές Εργασίες Συντήρησης αφορούν σε ποσοστό άνω του 70% την εργασία “Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη”.

Η εργασία “Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη” γίνεται μέσω υδροβολής είτε με θαλασσινό νερό είτε με χημικές ουσίες. Σε λίγες περιπτώσεις, όπου δεν υπάρχει εκτεταμένη αστοχία του εξοπλισμού απαιτείται μόνο πλύσιμο της δέσμης χωρίς υδροβολή.

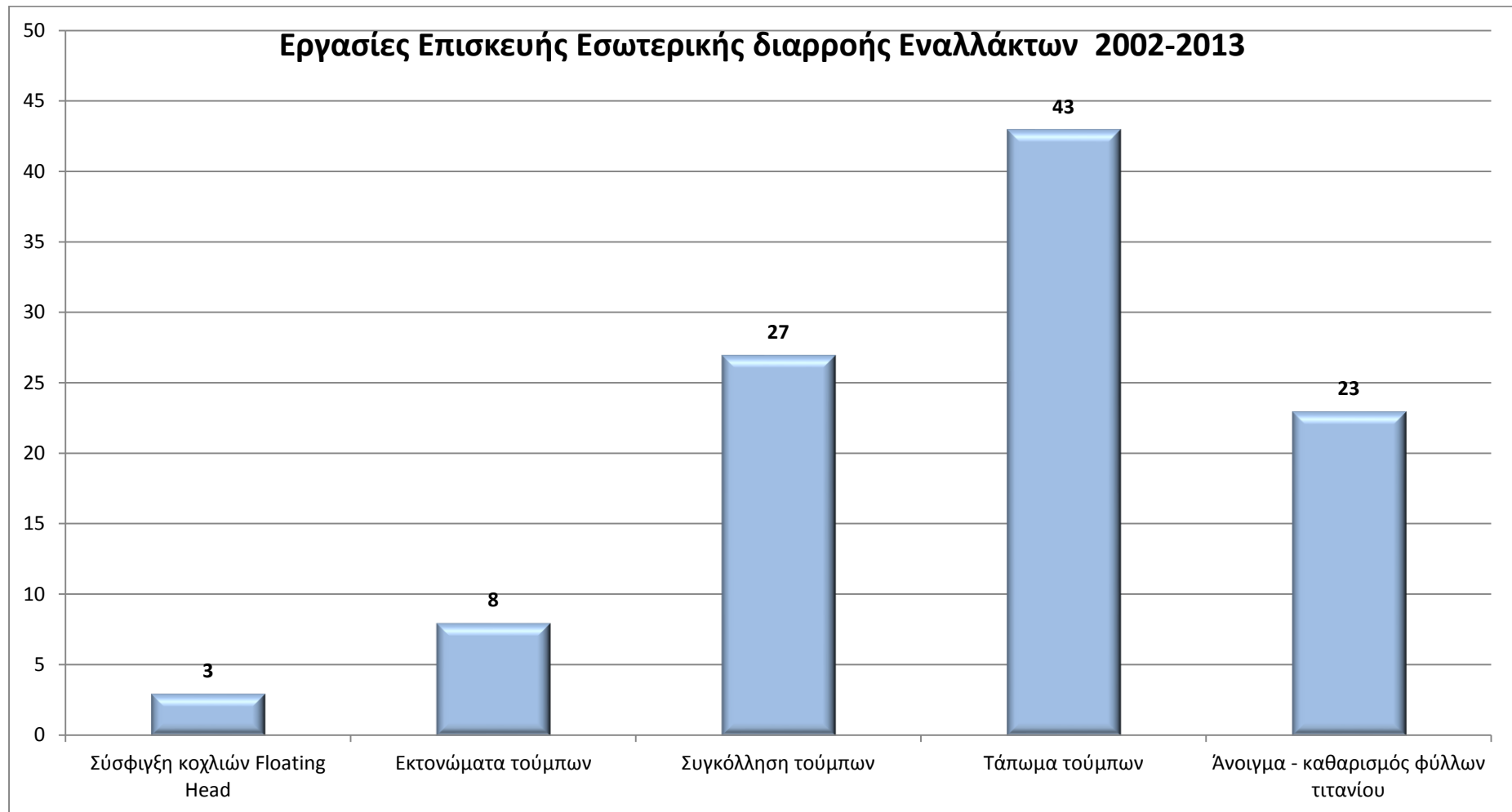
Ακολουθούν οι σχετικές Κατανομές των εργασιών Συντήρησης ανά Κατηγορία, με τα απαραίτητα διαγράμματα.



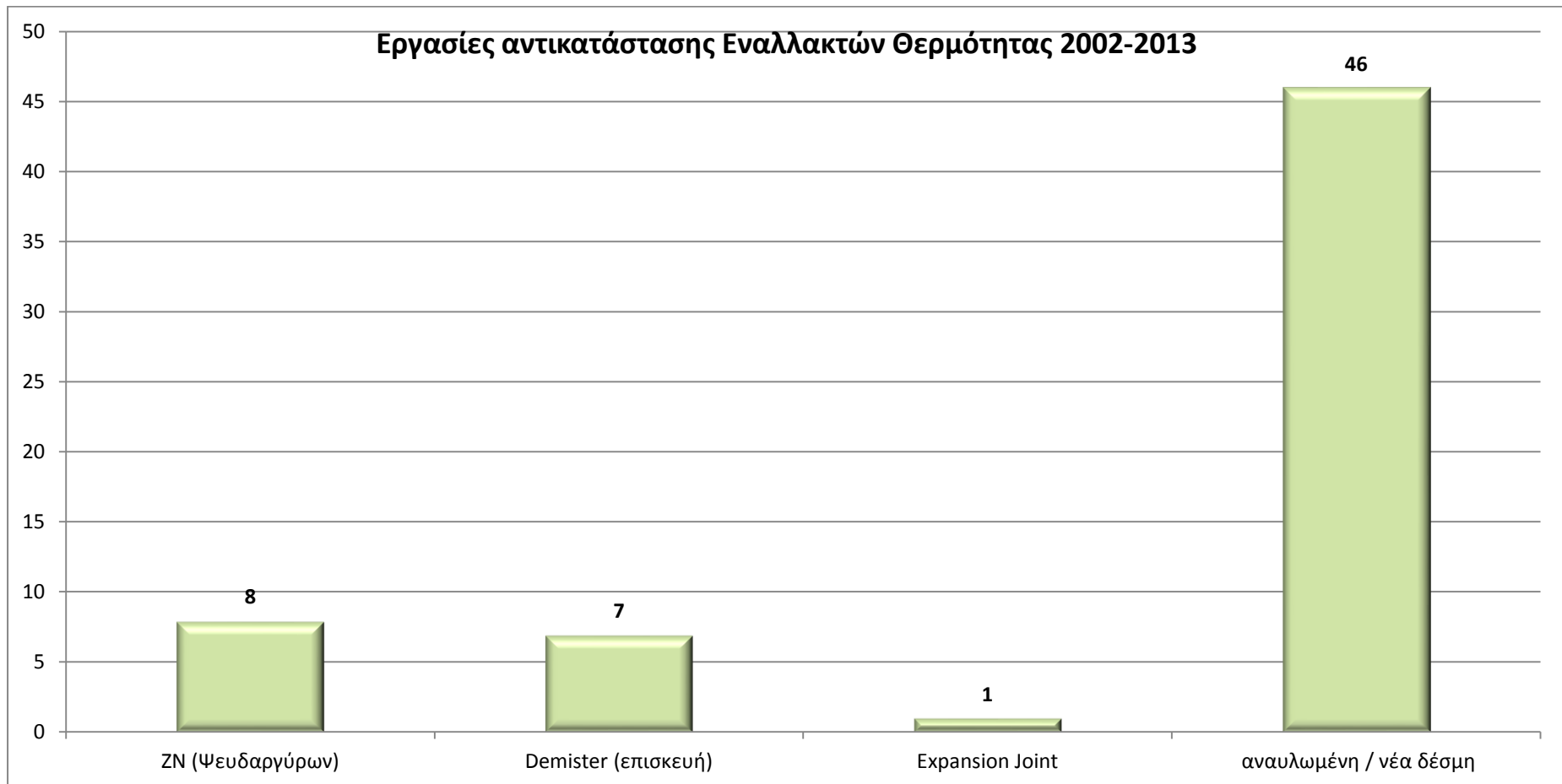
Διάγραμμα 4 – Κατανομή Συνολικών Εργασιών Συντήρησης Εναλλακτών Θερμότητας 2002-2013



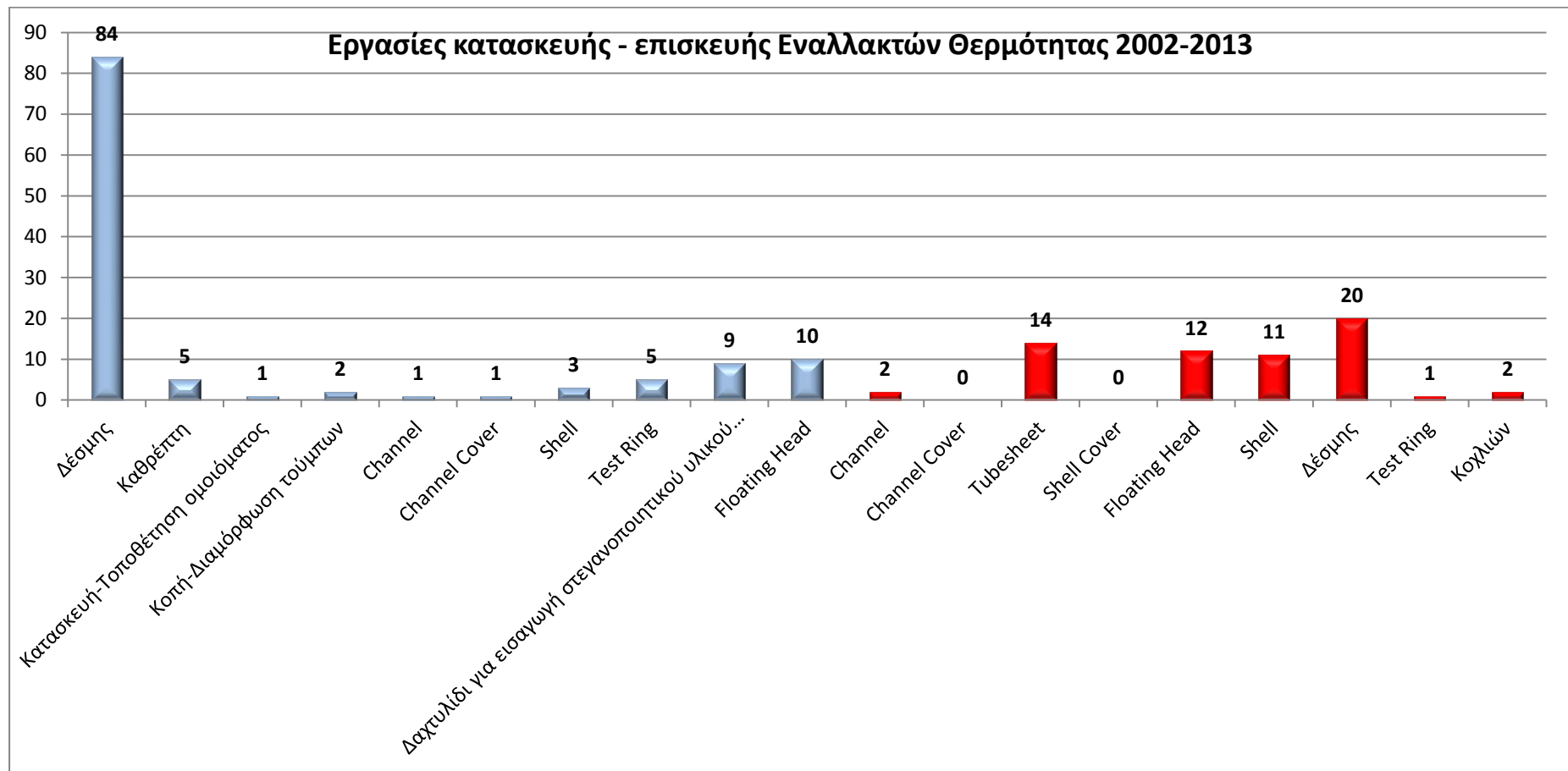
Διάγραμμα 5 – Κατανομή Εργασιών προς αποκατάσταση Εξωτερικής Διαρροής σε Εναλλάκτες Θερμότητας



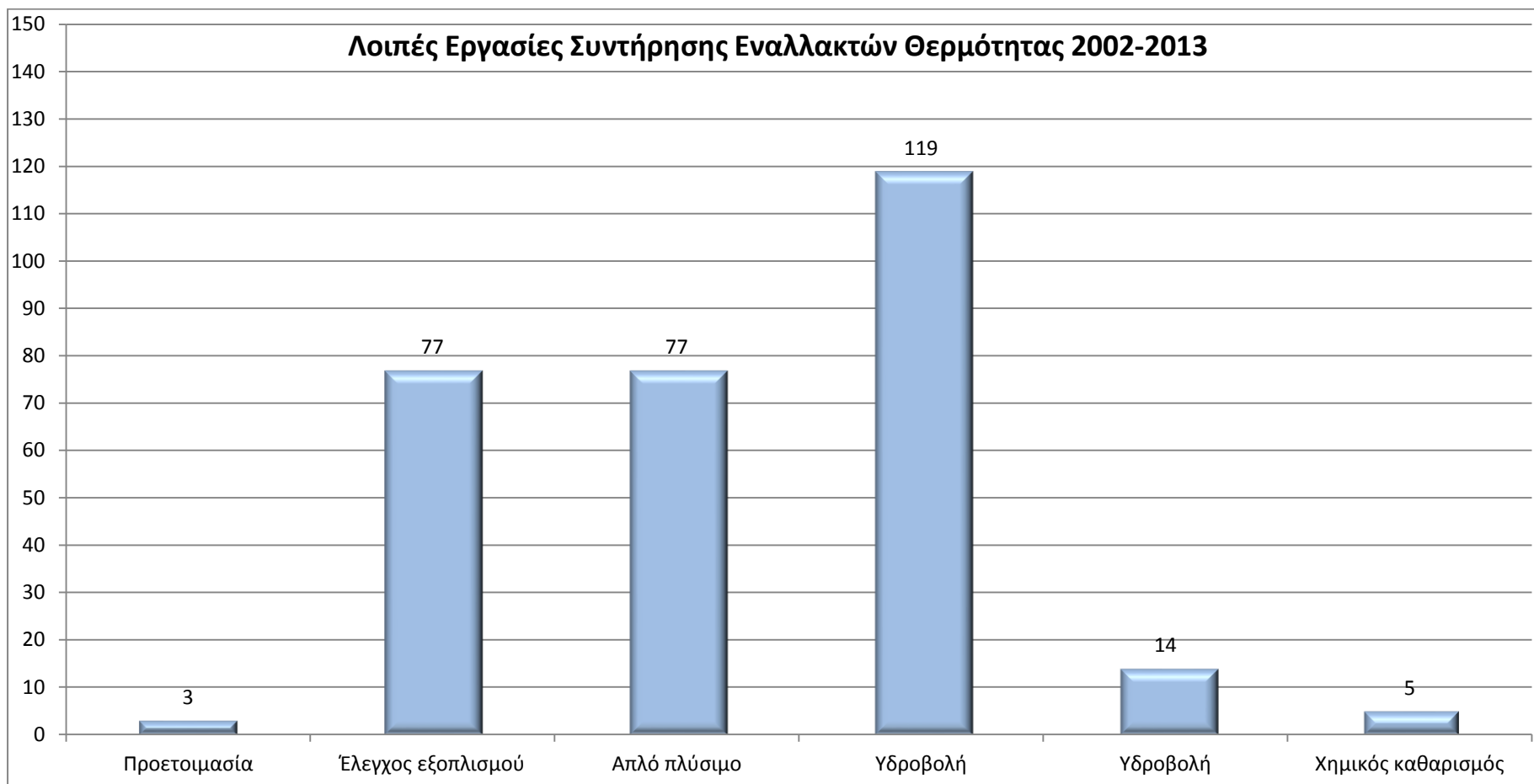
Διάγραμμα 6 – Κατανομή Εργασιών προς αποκατάσταση Εσωτερικής Διαρροής σε Εναλλάκτες Θερμότητας



Διάγραμμα 7 – Κατανομή Εργασιών Αντικατάστασης Εναλλακτών Θερμότητας



Διάγραμμα 8 – Κατανομή Εργασιών Κατασκευής – Επισκευής Εναλλακτών Θερμότητας



Διάγραμμα 9 – Κατανομή Λοιπών Εργασιών Συντήρησης Εναλλακτών Θερμότητας

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΕΙΚΟΝΕΣ



Εικόνα 8 - Σύστημα Εναλλακτών Θερμότητας



Εικόνα 9- Φλάντζα Εναλλάκτη Θερμότητας



Εικόνα 10 – Καθρέφτης του Εναλλάκτη πριν την Ανατούμωση



Εικόνα 11 - Σύσφιξη Καμπάνας Εναλλάκτη



Εικόνα 12 - Αφαίρεση Φλάντζας Εναλλάκτη



Εικόνα 13 – Μηχάνημα Αποσυναρμολόγησης – Συναρμολόγησης Τουμποστοιχείων Εναλλακτών



Εικόνα 14 – Καθαρισμός Χώρου Εναλλακτών Θερμότητας



Εικόνα 15 – Σύστημα Εξάρμωσης Τουμποστοιχείων Εναλλακτών



Εικόνα 16 – Διαβρωμένο Τουμποστοιχείο Εναλλάκτη (πίσω βρίσκεται το καινούργιο)



Εικόνα 17 – Βόρειο Στοιχείο Εναλλάκτη (πετρωμένο)

2.1.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Από τον ως άνω αναφερόμενο πληθυσμό επελέγη το δείγμα της έρευνάς μας. Το δείγμα μας αποτελείται από εργασίες που έλαβαν χώρα σε 5 μονάδες του Δυλιστηρίου.

Οι Μονάδες αυτές επιτελούν τις κάτωθι παραγωγικές λειτουργίες:

- Απόσταξη Αργού Πετρελαίου
- Αποθείωση Diesel
- Ισομερισμός
 - Συμπεριλαμβάνεται στα παραπάνω και ένα Συγκρότημα Ατμού

Χρονικό Διάστημα

Το χρονικό διάστημα της μελέτης μας ήταν από το 2008 έως 2013 (60 μήνες). Επελέγη αυτό το διάστημα καθώς είναι ένα ενδεικτικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις (Shutdown).

Ποιοτική Επιλογή

Οι παραπάνω μονάδες επελέγησαν καθώς είναι μονάδες που παρουσιάζουν αστοχίες, λόγω της παραγωγικής τους λειτουργίας, με μεγάλο εύρος εργασιών. Επίσης οι εναλλάκτες αυτών των μονάδων παρουσιάζουν αντίστοιχη κατανομή, σε επίπεδο εργασιών συντήρησης, με τον συνολικό πληθυσμό εναλλακτών του δυλιστηρίου.

Συνολικά πλήθη

Το συνολικό πλήθος των εναλλακτών του δείγματός μας είναι 114 εναλλάκτες θερμότητας.

Το συνολικό πλήθος των εργασιών αποκατάστασης βλαβών είναι 104 εργασίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.2 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

2.2.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ

Στο παρόν κεφάλαιο προχωρήσαμε στην ανάλυση των δεδομένων του δείγματός μας. Σε πρώτο επίπεδο μετρήσαμε τις εργασίες αποκατάστασης ανά βλάβη. Στην συνέχεια προχωρήσαμε στην Κατανομή των εργασιών, σύμφωνα με τις επικρατέστερες αστοχίες σε επίπεδο συνολικού πληθυσμού.

Ως εκ τούτου έγινε η κατανομή των εργασιών αποκατάστασης των αντίστοιχων βλαβών στις κάτωθι κατηγορίες:

- Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής
- Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη
- Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής
- Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη

Στην συνέχεια προσπαθήσαμε να υπολογίσουμε τον μέσο παρερχόμενο χρόνο για την εφαρμογή των παραπάνω εργασιών αποκατάστασης, επί του συνόλου του δείγματός μας. Στην ουσία ο μέσος παρερχόμενος χρόνος ανάμεσα σε 2 εργασίες αποκατάστασης βλάβης εκφράζεται μέσω του MTBF (Mean Time between failures).

Όπως είναι γνωστό ο τύπος του MTBF είναι:

$MTBF = \text{Χρονικό διάστημα μελέτης} * \text{Συνολικό πλήθος του ελεγχόμενου εξοπλισμού/Πλήθος των εργασιών}$

Ο παραπάνω τύπος είναι ένα τροποποιημένο MTBF που χρησιμοποιείται από τα περισσότερα διυλιστήρια ώστε να εξάγουν στοιχεία εργασιών αποκατάστασης.

Επίσης υπολογίσαμε και τον Μέσο Ρυθμό βλαβών που είναι $\lambda=1/MTBF$.

Προχωρώντας ορίσαμε 2 παραμέτρους κόστους:

1. Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης ανά εργασία

Το συγκεκριμένο κόστος είναι το κόστος σε περίπτωση που η εν λόγω εργασία (δηλαδή η συντήρηση του εν λόγω εξοπλισμού) γίνεται τακτικά και προγραμματισμένα.

2. Κόστος σε Περίπτωση Αστοχίας του Εξοπλισμού ανά εργασία

Το συγκεκριμένο κόστος είναι το κόστος σε περίπτωση που η Διοίκηση του Διυλιστηρίου αποφασίσει να μην εκτελεί τακτικά και προγραμματισμένα την αντίστοιχη εργασία συντήρησης, αλλά να εκτελεί την ανάλογη εργασία αποκατάστασης βλάβης (διορθωτική ενέργεια) σε περίπτωση που υπάρξει αστοχία του εξοπλισμού.

Πίνακας 5 – Υπολογιστικά Δεδομένα Δείγματος

α/α	εργασία αποκατάστασης	χρονικό διάστημα μελέτης 2008-2013 (60 μήνες)	πλήθος εργασιών	σύνολο εναλλακτών	MTBF (μήνες)	λ (μέσος ρυθμός βλαβών) =1/MTBF	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
1	Επισκευή εξωτερικής διαρροής	60	28	114	244,2857143	0,41%	1.000,00 €	6.000,00 €
2	Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη	60	47	114	145,5319149	0,69%	3.000,00 €	25.000,00 €
3	Επισκευή εσωτερικής διαρροής	60	12	114	570	0,18%	2.000,00 €	13.000,00 €
4	Ανατούμπωση-Αναύλωση Εναλλακτών	60	17	114	402,3529412	0,25%	20.000,00 €	80.000,00 €

Επισημαίνεται ότι τα σχετικά κόστη προέκυψαν μέσω δειγματοληψίας επί του συνόλου του δείγματος και επελέγησαν οι μέσοι όροι αυτών. Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι τα σχετικά κόστη έχουν μεγάλο εύρος και εξαρτώνται από τυπικά χαρακτηριστικά του κάθε Εναλλάκτη. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι το μέγεθος (διαστάσεις), η διάταξη, το υλικό του Εναλλάκτη καθώς και το υλικό που προκαλεί την αστοχία.

Πάγιο Κόστος Προληπτικού “Ανοίγματος” και Ελέγχου του Εξοπλισμού

Από την εμπειρία μας ξέρουμε ότι σε κάθε Γενική Συντήρηση (Shutdown), από την στιγμή που το διωλιστήριο είναι εκτός λειτουργίας, εφαρμόζεται η κάτωθι πρακτική. Ελέγχεται όλος ο εξοπλισμός είτε συντηρήθηκε πρόσφατα, είτε παρουσιάζει αστοχίες, είτε απαιτεί συντήρηση, είτε φυσικά δεν συμβαίνει τίποτα από τα προηγούμενα. Το συγκεκριμένο κόστος το ονομάσαμε “Πάγιο Κόστος Προληπτικού Ανοίγματος Εξοπλισμού” και υπολογίζεται στις 25.000,00 € ανά Γενική Συντήρηση σε πλήθος 114 εναλλακτών.

2.2.2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ MTBF ΜΕΣΩ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στην συνέχεια της Ανάλυσης προχωρήσαμε μέσω Κανονικοποίησης στην κατανομή του MTBF ανά Πιθανότητα να αστοχήσει ο εξοπλισμός, δηλαδή ανά πιθανότητα να εκτελεστεί η εργασία. Βάσει της εμπειρίας αλλά και της φύσης του Προβλήματος προκύπτει η παρακάτω διαδικασία Κανονικοποίησης η οποία περιγράφεται στον σχετικό ακόλουθο Πίνακα. Όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα το “μέτρο” της Κανονικοποίησης είναι το MTBF. Επίσης οι τιμές των μηνών στα σχετικά διαστήματα του επόμενου Πίνακα, είναι ενδεικτικές της φύσης του Προβλήματος.

Πίνακας 6 - Εξαγωγή Συντελεστών Κανονικοποίησης

Πιθανότητα να αστοχήσει ο εξοπλισμός	Παρερχόμενο χρονικό Διάστημα από την τελευταία Συντήρηση (μήνες)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ
50,00%	50	1
10,00%	10	0,2
25,00%	25	0,5
50,00%	50	1
75,00%	70	1,4
100,00%	85	1,7

Βάσει του παραπάνω Πίνακα εξάγαμε την κατανομή του MTBF για κάθε εργασία αποκατάστασης, μέσω αντίστοιχων πολλαπλασιασμών με τους εξαγόμενους συντελεστές Κανονικοποίησης. Οι αντίστοιχες κατανομές παρουσιάζονται στους κάτωθι Πίνακες.

Πίνακας 7 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής

ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 1		Επισκευή εξωτερικής διαρροής	
Πιθανότητα να αστοχήσει ο εξοπλισμός	Παρερχόμενο χρονικό Διάστημα από την τελευταία Συντήρηση (μήνες)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
50,00%	244	1.000,00 €	6.000,00 €
10,00%	48,8		
25,00%	122		
50,00%	244		
75,00%	341,6		
100,00%	414,8		

Πίνακας 8 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την εργασία Καθαρισμός Δέσμης

ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 2		Καθαρισμός δέσμης	
Πιθανότητα να αστοχήσει ο εξοπλισμός	Παρερχόμενο χρονικό Διάστημα από την τελευταία Συντήρηση (μήνες)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
50,00%	145	3.000,00 €	25.000,00 €
10,00%	29		
25,00%	72,5		
50,00%	145		
75,00%	203		
100,00%	246,5		

Πίνακας 9 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής

ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 3	Επισκευή Εσωτερικής διαρροής		
Πιθανότητα να αστογήσει ο εξοπλισμός	Παρερχόμενο χρονικό Διάστημα από την τελευταία Συντήρηση (μήνες)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
50,00%	570	2.000,00 €	13.000,00 €
10,00%	114		
25,00%	285		
50,00%	570		
75,00%	798		
100,00%	969		

Πίνακας 10 - Κανονικοποίηση Κατανομής Διαστήματος από τελευταία Συντήρηση (MTBF) για την εργασία Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη

ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ 4	Ανατούμπωση-Αναύλωση Δέσμης		
Πιθανότητα να αστογήσει ο εξοπλισμός	Παρερχόμενο χρονικό Διάστημα από την τελευταία Συντήρηση (μήνες)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
50,00%	402	20.000,00 €	80.000,00 €
10,00%	80,4		
25,00%	201		
50,00%	402		
75,00%	562,8		
100,00%	683,4		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.3 - ΘΕΩΡΙΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ /ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ @Risk

2.3.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Ορισμός

“Με τον όρο προσομοίωση εννοούμε την αναπαράσταση λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος σε ένα μοντέλο, στο οποίο απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά του πραγματικού συστήματος. Σκοπός της προσομοίωσης είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις ιδιότητες, τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του πραγματικού συστήματος μέσω της μελέτης του αντίστοιχου μοντέλου προσομοίωσης” [24].

Υπάρχουν διάφορα είδη προσομοίωσης τα οποία διαρθρώνονται ανάλογα με το είδος του πειραματισμού που εκτελείται στο κατά περίπτωση σύστημα.

Τα είδη προσομοίωσης είναι:

- 1. Εικονική προσομοίωση**, έχουμε στις περιπτώσεις που ο πειραματισμός του συστήματος εκτελείται μέσω ενός φυσικού μοντέλου (π.χ. έλεγχος του αεροπλάνου στην σήραγγα αέρος).
- 2. Αναλογική προσομοίωση**, έχουμε στις περιπτώσεις προσομοίωσης τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται π.χ. σε διαδικασίες παραγωγής.
- 3. Συμβολική προσομοίωση** λαμβάνει χώρα μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου του πραγματικού συστήματος όπως στα περισσότερα επιχειρησιακά, διοικητικά και οικονομικά προβλήματα.

Η συμβολική προσομοίωση, που βασίζεται σε μαθηματικά μοντέλα και εκτελείται με την βοήθεια υπολογιστή, διακρίνεται σε προσδιορισμένη και πιθανολογική.

Η Προσδιορισμένη (Deterministic) Προσομοίωση

Το βασικό χαρακτηριστικό των μοντέλων προσδιορισμένης προσομοίωσης είναι ότι οι παράμετροι αυτής λαμβάνουν συγκεκριμένες σταθερές τιμές. Επομένως η προσομοίωση εστιάζεται κυρίως στην εξέταση των επιπτώσεων των διαδικασιών ενός πολύπλοκου συστήματος και τον τρόπο συμπεριφοράς αυτού.

Η Πιθανολογική (Stochastic) Προσομοίωση

Σε αρκετές περιπτώσεις, η λειτουργία του πραγματικού συστήματος επηρεάζεται από παραμέτρους που παρουσιάζουν συνεχείς και μη καθορισμένες διακυμάνσεις, όπως για παράδειγμα οι χρόνοι άφιξης των πελατών σε μια τράπεζα, η ημερήσια ζήτηση για ένα προϊόν, η συχνότητα εμφάνισης βλαβών σε μια μηχανολογική μονάδα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η προσομοίωση εστιάζεται στην απεικόνιση της τυχαίας συμπεριφοράς γεγονότων και διαδικασιών που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος .

Οι παράμετροι που παρουσιάζουν συνεχείς και μη καθορισμένες (με την έννοια αυτή τυχαίες) διακυμάνσεις, ονομάζονται **στοχαστικές μεταβλητές**. Η προσομοίωση της τυχαίας διακύμανσης των στοχαστικών μεταβλητών του συστήματος γίνεται με την παραδοχή ότι η τυχαία διακύμανση κάθε μεταβλητής ορίζεται από μια κατανομή πιθανοτήτων (εμπειρική ή θεωρητική). Η συγκεκριμένη τιμή που λαμβάνει κάθε φορά μια στοχαστική μεταβλητή καθορίζεται με βάση την αρχή της τυχαίας δειγματοληψίας.

2.3.2. ΤΥΧΑΙΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ MONTE CARLO

Η διαδικασία προσομοίωσης στοχαστικών συστημάτων βασίζεται στη δημιουργία τιμών των τυχαίων εκβάσεων ή γεγονότων που περιλαμβάνονται στο υπό μελέτη σύστημα. Βασικό στοιχείο στην πιθανολογική προσομοίωση που αναφέρεται και ως προσομοίωση **Monte Carlo** είναι ο μηχανισμός δημιουργίας τυχαίων αριθμών που αποκαλείται γεννήτρια τυχαίων αριθμών (**random number generator**). Ως τέτοια γεννήτρια μπορεί να θεωρηθεί και η ρουλέτα του καζίνο από το οποίο προέρχεται και το όνομα της μεθόδου. Η προσομοίωση Monte Carlo εφαρμόστηκε κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο για την ανάπτυξη της ατομικής βόμβας [24].

Η γεννήτρια τυχαίων αριθμών στην προσομοίωση Monte Carlo είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας δημιουργούνται τυχαίες τιμές μιας στοχαστικής μεταβλητής, με τρόπο ώστε οι τυχαίες εκβάσεις να βασίζονται και να αντιστοιχούν στην κατανομή πιθανότητας της συγκεκριμένης στοχαστικής μεταβλητής. Έτσι εάν η διαδικασία επαναληφθεί πολλές φορές (θεωρία των Μεγάλων Αριθμών), η κατανομή των τιμών της στοχαστικής μεταβλητής που δημιουργήθηκαν μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo, αντιστοιχεί στην αντίστοιχη κατανομή πιθανότητας.

Η προσομοίωση Monte Carlo αποτελεί βασικό εργαλείο και σε επίπεδο Διαχείρισης Κινδύνων, ενός Έργου [16].

Οι Τυχαίοι αριθμοί αποτελούν μια σειρά αριθμών με την ιδιότητα ότι κάθε αριθμός εμφανίζεται με την ίδια πιθανότητα που εμφανίζεται και οποιοσδήποτε άλλος αριθμός της σειράς και αυτή η πιθανότητα δεν επηρεάζεται από τις προηγούμενες εμφανίσεις ή όχι του αριθμού αυτού (ομοιόμορφη κατανομή).

Διαδικασία Πιθανολογικής Προσομοίωσης

Πολύ σύντομα θα σας παρουσιάσουμε την διαδικασία πιθανολογικής προσομοίωσης η οποία περιλαμβάνει τα κάτωθι βήματα:

Βήμα 1: Ορίζουμε τις στοχαστικές μεταβλητές του συστήματος και την αντίστοιχη κατανομή για κάθε μια. Οι κατανομές μπορούν να είναι εμπειρικές ή να ακολουθούν κάποιες γνωστές κατανομές, όπως: Poisson, beta, εκθετική, διωνυμική, κλπ..

Βήμα 2: Ορίζουμε τις μεταβλητές εξόδου του συστήματος, δηλαδή τις μεταβλητές που περιγράφουν τα μεγέθη εκείνα με τα οποία κρίνεται η απόδοση ή η λειτουργία του συστήματος και ενδιαφέρουν τον λήπτη αποφάσεων.

Βήμα 3: Αναπτύσσουμε το μοντέλο της προσομοίωσης και ορίζουμε τις μεταβλητές ελέγχου (control variables) ή μεταβλητές αποφάσεων (decision variables), δηλαδή εκείνες τις μεταβλητές, οι οποίες καθορίζονται από τον λήπτη αποφάσεων και για τις οποίες ο λήπτης αποφάσεων επιθυμεί να εξετάσει την απόδοση ή λειτουργία του συστήματος.

Βήμα 4: Διεξάγουμε το πείραμα προσομοίωσης, μέσω της διαδικασίας Monte Carlo, και καθορισμού των τυχαίων τιμών των στοχαστικών μεταβλητών.

Βήμα 5: Πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και σύγκριση εναλλακτικών επιλογών. Σε αυτό το βήμα μελετούμε την προσομοιωμένη κατανομή πιθανότητας των μεταβλητών εξόδου και γίνονται εκτιμήσεις αποτελέσματος που αφορούν το σύστημα. Τέλος λαμβάνονται οι σχετικές ποιοτικές και ποσοτικές αποφάσεις για το σύστημα, σύμφωνα με τις κατανομές των μεταβλητών εξόδου.

2.3.3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ @RISK



Το Πρόγραμμα @Risk είναι ένα Πρόγραμμα Ανάλυσης Κινδύνων, Κατάστρωσης Μοντέλων Προσομοίωσης, Βελτιστοποίησης Αποτελεσμάτων και τελικώς λήψης αποφάσεων. Το Πρόγραμμα ανήκει στην Palisade Corporation. Το Πρόγραμμα δουλεύει σε ένα υπολογιστικό φύλλο xlsx, ο οποίος είναι ένας λόγος που το καθιστά εξαιρετικά εύχρηστο και λειτουργικό. Κατόπιν της εγκατάστασης του στον υπολογιστή εισάγεται ως tab στο Excel.

Είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι το Πρόγραμμα @Risk, το χρησιμοποιήσαμε μέσω του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Κάποιες από τις λειτουργίες του Προγράμματος είναι οι κάτωθι:

- Tab – Define Distributions
Η συγκεκριμένη επιλογή μας βοηθά να ορίσουμε την Κατανομή που περιγράφει το εκάστοτε πρόβλημα ανάμεσα σε πάρα πολλές κατανομές.
- Tab – Add Outputs
Η συγκεκριμένη επιλογή μας βοηθά να ορίσουμε τα “Outputs” του Συστήματος μας.
- Tab – Distribution Fitting
Η συγκεκριμένη επιλογή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που η Κατανομή του προβλήματός μας είναι μια εμπειρική Κατανομή (όπως συμβαίνει στο δικό μας Πρόβλημα). Η επιλογή αυτή μας βοηθά να κάνουμε ταύτιση (fitting) της εμπειρικής κατανομής με κάποια άλλη γνωστή Κατανομή. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο για να προχωρήσουμε στην Προσομοίωση.
- Tab – Simulation
Η συγκεκριμένη επιλογή είναι ουσιαστικά το κυρίως μέρος της Προσομοίωσης. Επιλέγουμε το κελί που θέλουμε να γίνει η προσομοίωση και ορίζουμε την μέθοδο προσομοίωσης (στην περίπτωσή μας είναι η Monte Carlo). Έπειτα ορίζουμε το πλήθος των επαναλήψεων (iterations) που θα

πραγματοποιήσει η Monte Carlo. Τέλος επιλέγουμε “start simulation” και λαμβάνουμε το σχετικό διάγραμμα Κατανομής καθώς και την τελευταία τιμή (προσπάθεια της Monte Carlo). Το χρήσιμο “παράγωγο” στο συγκεκριμένο σημείο είναι το διάγραμμα το οποίο κατανέμει τις επαναλήψεις που έγιναν ανάμεσα στο συνολικό φάσμα των τιμών.

- Tab – Advanced Analysis

Η συγκεκριμένη επιλογή προσφέρει ιδιαίτερες αναλύσεις όπως “Stress Analysis” και “Goal Seek”.

- Tab – Risk Optimizer

Αυτή είναι η επιλογή της Βελτιστοποίησης των Αποτελεσμάτων της Προσομοίωσης. Ορίζουμε ποιες τιμές εισόδου θέλουμε να μεταβληθούν και σε ποιο βαθμό. Παράλληλα θέτουμε συγκεκριμένο εύρος τιμών ή τιμές “στόχους” σε κάποια από τα “outputs”. Επίσης μπορούμε να θέσουμε και συγκεκριμένους περιορισμούς κατά την μεταβολή των τιμών εισόδου.

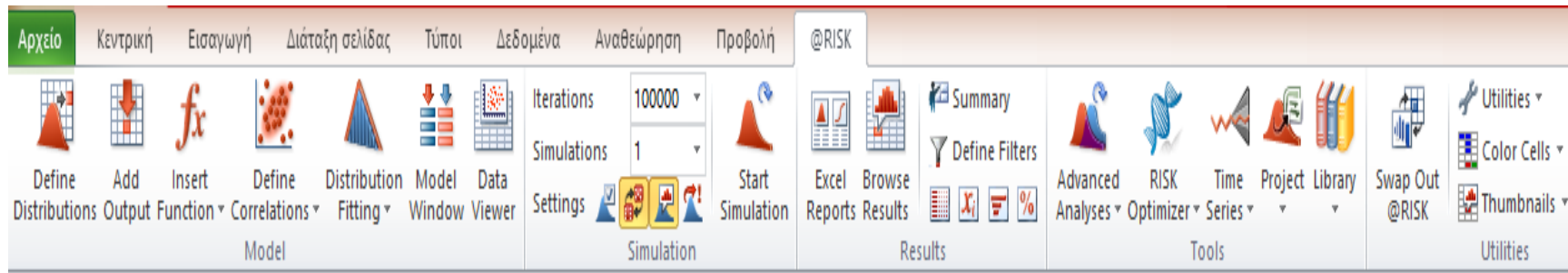
- Reports

Το συγκεκριμένο Πρόγραμμα αξίζει να σημειώσουμε ότι παράγει πολύ χρήσιμες αναφορές.

Σημείο κλειδί

Το σημαντικότερο που πρέπει να κάνουμε για να λειτουργήσει αποτελεσματικά το Πρόγραμμα είναι να δομήσουμε εξαρχής και σωστά το Μοντέλο στο φύλλο Excel.

Τα υπόλοιπα διεκπεραιώνονται μέσω του Συστήματος Προσομοίωσης.



Εικόνα 18 - Απεικόνιση των εργαλείων του Προγράμματος @Risk

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.4 - ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.4.1. ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η βασική ιδέα του Μοντέλου Προσομοίωσης που σχεδιάσαμε εδράζεται στην σύγκριση της κοινής πρακτικής της Διοίκησης μιας Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας η οποία εφαρμόζει προληπτική γενική συντήρηση του συνόλου του εξοπλισμού (shutdown) κάθε 5 χρόνια (60 μήνες), σε σχέση με την βέλτιστη (σε επίπεδο κόστους) συντήρηση που θα έπρεπε να πράττει βάσει των δεδομένων αστοχίας που παρουσιάζει ο εξοπλισμός της.

Συγκρίνεται λοιπόν το αποτέλεσμα της παραπάνω κοινής πρακτικής για Προγραμματισμένη συντήρηση σε σχέση με την παραδοχή ότι δεν θα γίνεται Προγραμματισμένη συντήρηση αλλά θα λαμβάνει χώρα Διορθωτική συντήρηση δηλαδή θα αντικαθίσταται ο εξοπλισμός όταν θα χαλάει. Η σύγκριση θα γίνεται σε επίπεδο Μακροπρόθεσμο Κόστους και σε βάθος 50 ετών (600 μήνες). Κατόπιν της παραπάνω σύγκρισης καταδεικνύεται σε ποιες περιπτώσεις είναι ωφελιμότερη για την επιχείρηση η κοινή πρακτική που έως τώρα εφαρμόζει και σε ποιες περιπτώσεις πρέπει να κάνει αναπροσαρμογές σε αυτή την πρακτική.

Ο στόχος της Ανάλυσης μας δεν είναι η Διοίκηση μιας μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας (στην περίπτωση μας διυλιστηρίου) να καταργήσει την Γενική Προγραμματισμένη Συντήρηση (shutdown), αλλά να την βελτιώσει προς όφελος της Εταιρείας. Κατόπιν των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης θα ακολουθήσει βελτιστοποίηση (επόμενο κεφάλαιο). Η βελτιστοποίηση θα λάβει χώρα στις περιπτώσεις που απαιτείται αναπροσαρμογή σε κάποιες εργασίες αποκατάστασης, ώστε να μην γίνεται Προγραμματισμένη συντήρηση αλλά να λαμβάνει χώρα στον κατάλληλο χρόνο και με το απαιτούμενο Φυσικό Αντικείμενο (scope).

2.4.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Σαν μεταβλητές εισόδου ορίζονται:

1. Οι εργασίες αποκατάστασης βλαβών που θα μελετήσουμε.
2. Ο χρόνος που παρέρχεται από κάθε προηγούμενη Γενική Συντήρηση (60 μήνες).
3. Το ενδεικτικό πλήθος εργασιών ανά εργασία αποκατάστασης, σε κάθε Γενική Συντήρηση.
4. Το κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης ανά εργασία
5. Το κόστος σε περίπτωση αστοχίας του εξοπλισμού ανά εργασία
6. Το διάστημα μελέτης του Προβλήματος, 50 χρόνια (600 μήνες).

7. Η σημαντικότερη μεταβλητή εισόδου την οποία ορίζουμε εμείς, αλλά η τιμή της υπολογίζεται μέσω του @Risk, είναι η “συχνότητα των εργασιών βάσει των αντίστοιχων Κατανομών”. Θα εξηγήσουμε στην συνέχεια την μέθοδο υπολογισμού της.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι όλες οι παραπάνω μεταβλητές είναι ντετερμινιστικές πλην της “**συχνότητας των εργασιών βάσει των αντίστοιχων Κατανομών**”, η οποία είναι στοχαστική.

2.4.3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Σαν Μεταβλητές Εξόδου ορίζονται:

1. Το Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης σε βάθος 50 χρόνων, ανά εργασία αποκατάστασης.
2. Το Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω της αστοχίας του εξοπλισμού σε βάθος 50 χρόνων, ανά εργασία αποκατάστασης

Τύποι υπολογισμού των Μεταβλητών Εξόδου:

1. **Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης** = (600 μήνες/60 μήνες) * (ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑ* ΠΛΗΘΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ σε μια Γενική Συντήρηση ανά εργασία αποκατάστασης).
2. **Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω της αστοχίας του Εξοπλισμού** = (600 μήνες/συχνότητα εργασιών σε επίπεδο μηνών) * (ΚΟΣΤΟΣ λόγω της Αστοχίας του Εξοπλισμού ανά Εργασία * Πλήθος Εργασιών ανά εργασία αποκατάστασης).

Στο Συνολικό Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης προστίθεται και ένα ποσό της τάξης 25.000,00 € ανά Γενική Συντήρηση, το οποίο θεωρείται το “Κόστος Προληπτικού Ανοίγματος Εξοπλισμού”.

2.4.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το Μοντέλο αρχικά καταστρώθηκε σε Πίνακα σε αρχείο Excel, ο οποίος περιελάμβανε το σύνολο των Μεταβλητών Εισόδου και Εξόδου του Μοντέλου.

Υπολογισμός Ντετερμινιστικών Μεταβλητών Εισόδου

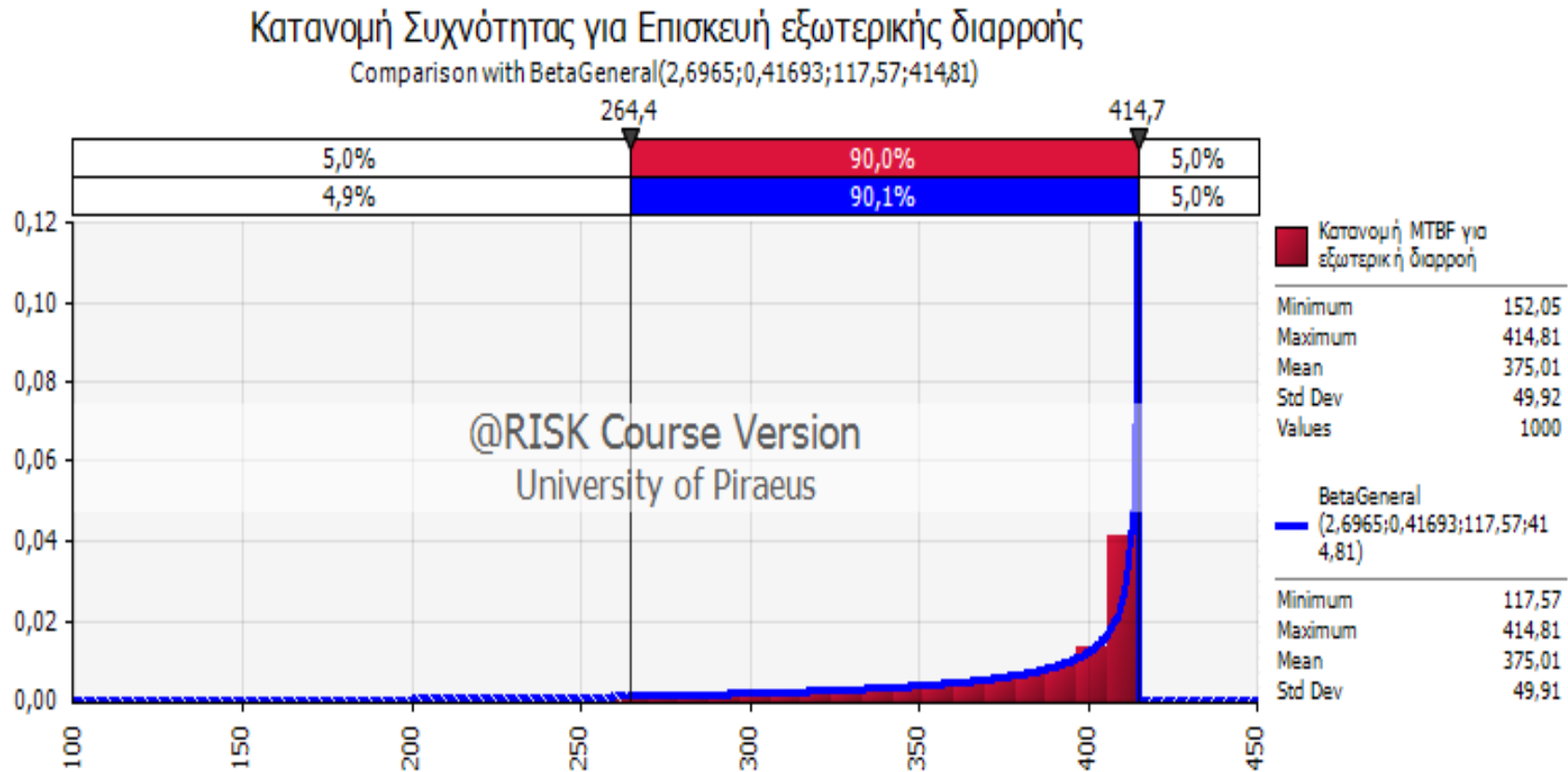
Ο υπολογισμός των ντετερμινιστικών μεταβλητών ουσιαστικά δεν υφίσταται, καθώς ορίζεται εξαρχής η τιμή τους.

Υπολογισμός Στοχαστικής Μεταβλητής Εισόδου

Η πρώτη ενέργεια που έγινε με το @Risk ενεργοποιημένο ήταν η εύρεση της ‘‘συχνότητας εργασιών βάσει των αντίστοιχων κατανομών’’. Οι αντίστοιχες Κατανομές των εργασιών αποκατάστασης υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο ‘‘Ανάλυση Δεδομένων Δείγματος’’ και περιλαμβάνονται στους αντίστοιχους Πίνακες στο τέλος του Κεφαλαίου. Η εργασία που έγινε στο σημείο αυτό ήταν ουσιαστικά η ταύτιση της εμπειρικής κατανομής που εμείς κατασκευάσαμε για κάθε εργασία, μέσω της γνώσης μας και της φυσικής του Προβλήματος, με κάποια γνωστή Κατανομή. Η ενέργεια αυτή έγινε μέσω του tab ‘‘distribution fitting’’ όπου για κάθε εργασία επιλέξαμε τις στήλες ‘‘Πιθανότητα να αστοχήσει ο εξοπλισμός’’ και ‘‘Παρερχόμενο χρονικό διάστημα από τελευταία συντήρηση’’. Επιλέξαμε τέλος οι τιμές να είναι συνεχείς και ομαλοποιημένες (Density X,Y Points, Normalized).

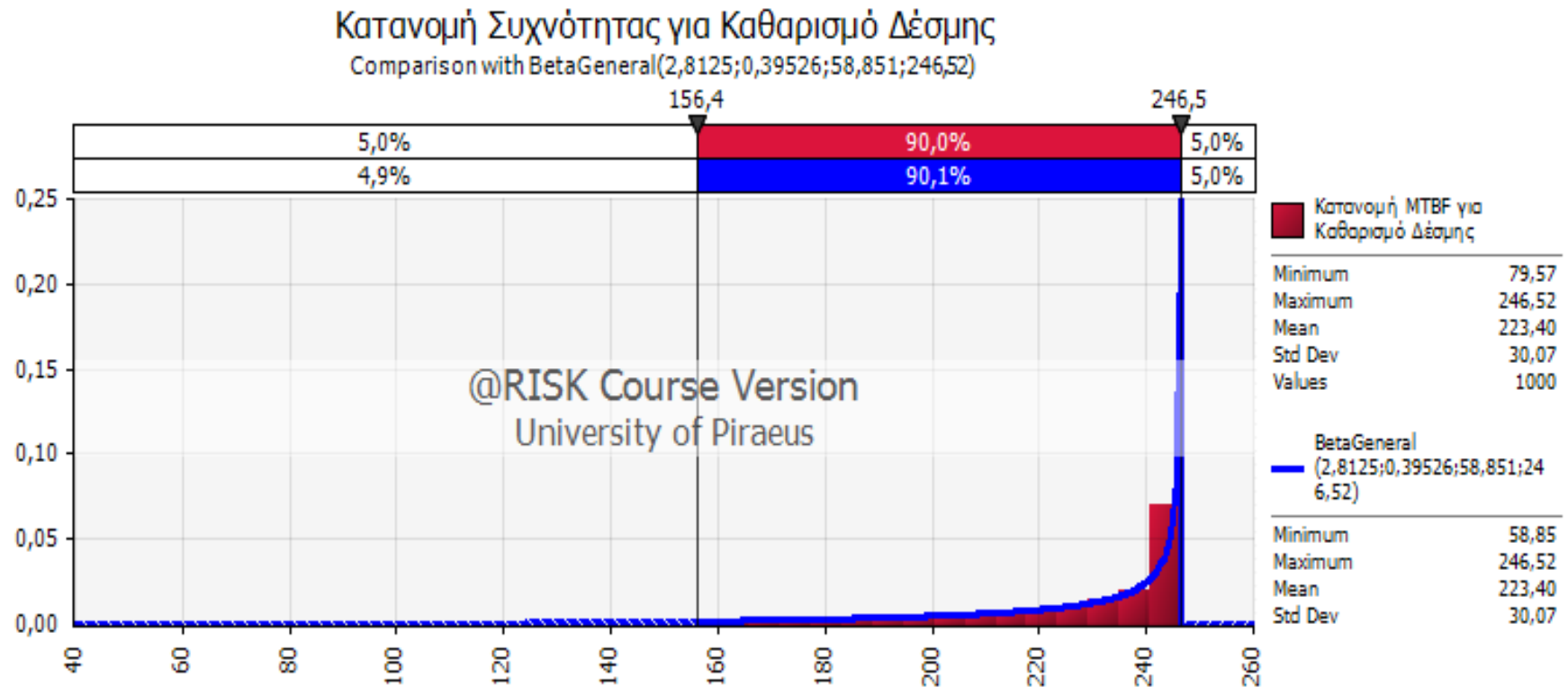
Την παραπάνω διαδικασία την κάναμε και για τις τέσσερις εργασίες αποκατάστασης. Το αποτέλεσμα ήταν ότι οι σχετικές κατανομές ταυτίζονται περισσότερο με την κατανομή beta general, όπως ήταν και αναμενόμενο. Προέκυψαν εκ των πραγμάτων 4 κατανομές τύπου Probability Density όπου δείχνουν το ποσοστό ταύτισης της δικής μας εμπειρικής κατανομής με την beta-general. Εκτός από την κατανομή που προέκυψε, για κάθε εργασία αποκατάστασης, προκύπτει και μια τιμή συχνότητας. Η βασική όμως πληροφορία δίνεται από την αντίστοιχη κατανομή.

Τα σχετικά διαγράμματα κατανομών παρουσιάζονται στην συνέχεια.



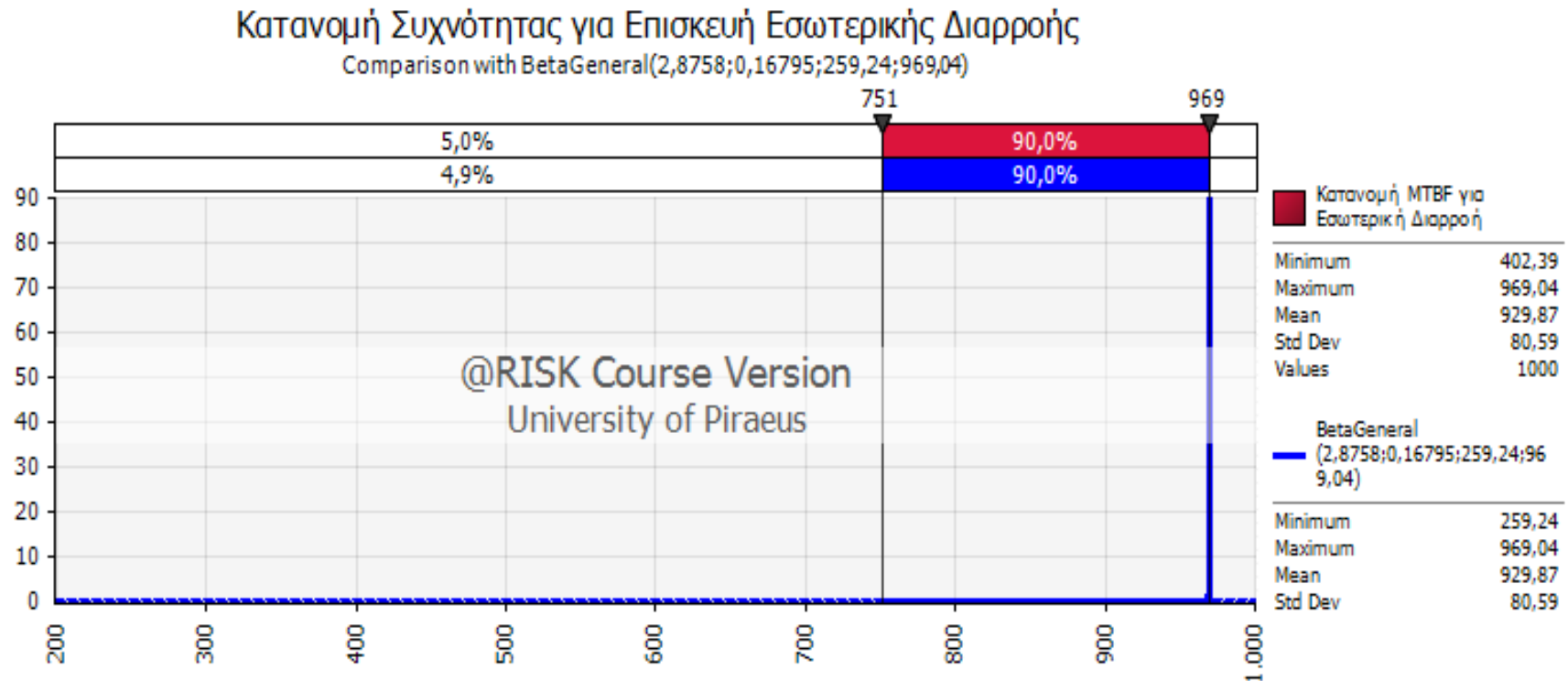
Διάγραμμα 10 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” και σχετική ταύτιση με την beta general.

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι με ασφάλεια 90%, η κατανομή Συχνότητας για την εργασία “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” κυμαίνεται από 265 μήνες έως 414 μήνες.



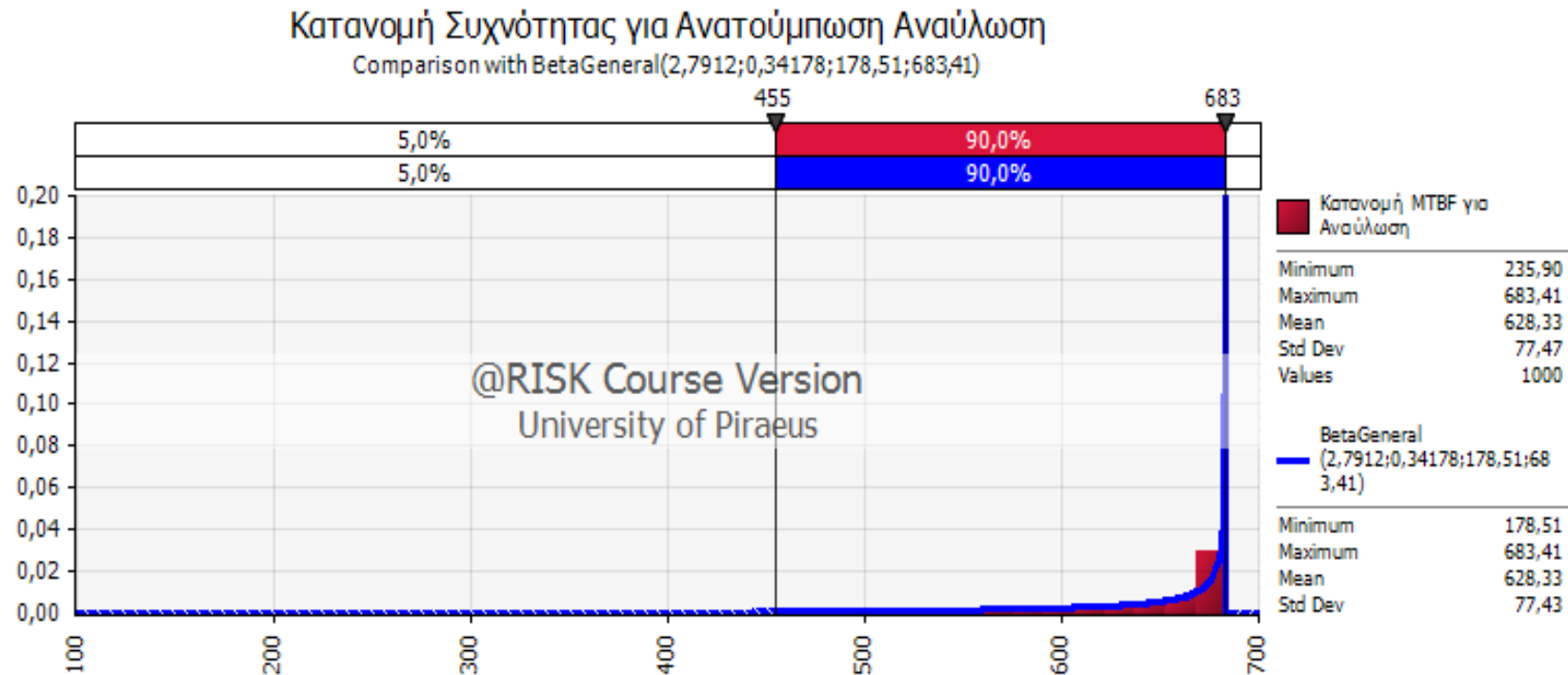
Διάγραμμα 11 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Καθαρισμός Δέσμης” και σχετική ταύτιση με την beta general.

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι με ασφάλεια 90%, η κατανομή Συχνότητας για την εργασία “Καθαρισμός Δέσμης” κυμαίνεται από 156 μήνες έως 247 μήνες.



Διάγραμμα 12 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” και σχετική ταύτιση με την beta general.

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι με ασφάλεια 90%, η κατανομή Συχνότητας για την εργασία “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” κυμαίνεται από 751 μήνες έως 969 μήνες.



Διάγραμμα 13 – Κατανομή Συχνότητας για την Εργασία Αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση” και σχετική ταύτιση με την beta general.

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι με ασφάλεια 90%, η κατανομή Συχνότητας για την εργασία “Ανατούμπωση Αναύλωση” κυμαίνεται από 455 μήνες έως 683 μήνες.

Η επόμενη ενέργεια που έγινε ήταν η αντικατάσταση της Κατανομής Πιθανότητας, για κάθε εργασία στον Πίνακα του Μοντέλου μας, στην στήλη “Συχνότητα Εργασιών Βάσει Κατανομών”.

2.4.5. ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΞΟΔΟΥ

1. Για τον υπολογισμό της Μεταβλητής Εξόδου (Output) **Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης** οι υπολογισμοί γίνονται μέσω αρχείου xlsx. Αυτό συμβαίνει καθώς δεν επηρεάζεται από καμία στοχαστική μεταβλητή.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον κάτωθι Πίνακα.

Πίνακας 11 – Αποτελέσματα Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγρ/νης Συντήρησης

Εργασίες Αποκατάστασης Βλαβών	ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡ/ΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής	280.000,00 €
Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη	1.410.000,00 €
Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής	240.000,00 €
Ανατούμπωση Αναύλωση	3.400.000,00 €

2. Για τον υπολογισμό της Μεταβλητής Εξόδου (Output) **Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω της αστοχίας του Εξοπλισμού**, οι υπολογισμοί γίνονται μέσω Προσομοίωσης Monte Carlo. Αυτό συμβαίνει διότι εκτός από τις ντετερμινιστικές μεταβλητές περιέχεται στον τύπο και η μεταβλητή εισόδου “Συχνότητα Εργασιών Βάσει Κατανομών”, η οποία είναι στοχαστική.

2.4.6. ΕΝΑΡΞΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO

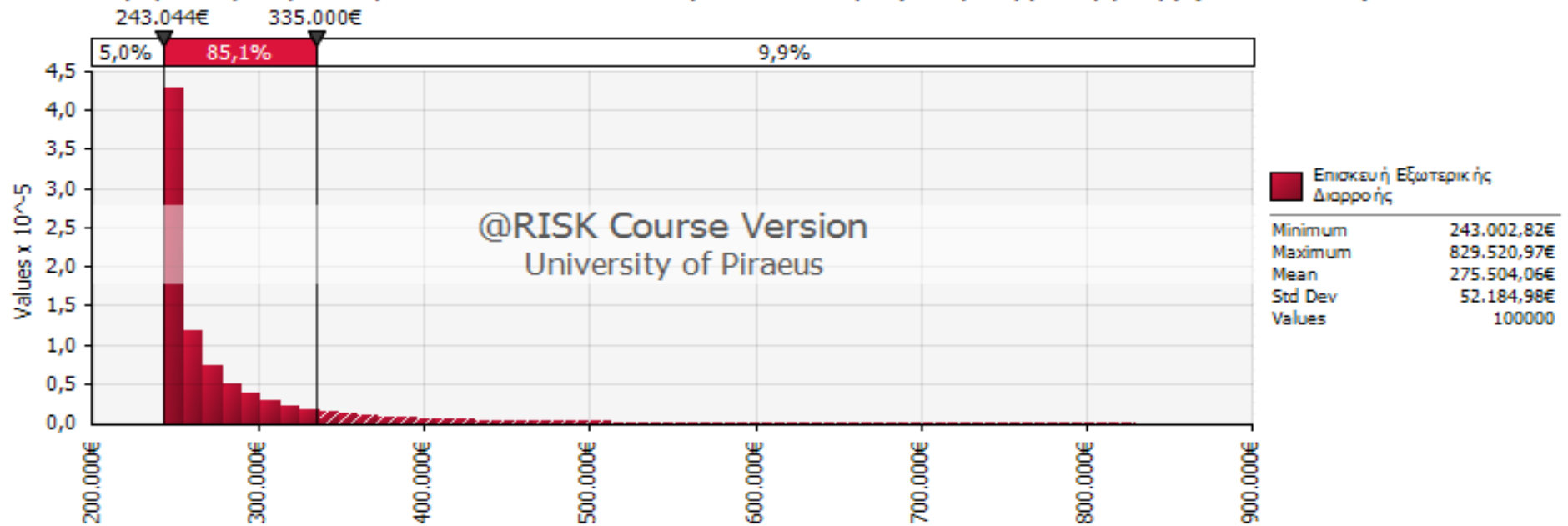
Πριν πατήσουμε την επιλογή “Start simulation” ορίσαμε στα “settings” ότι θέλουμε να γίνει Προσομοίωση Monte Carlo. Επίσης επιλέξαμε και τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων (iterations) ο οποίος είναι 100.000, για πιο ασφαλή αποτελέσματα.

2.4.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της Μεταβλητής Εξόδου ‘Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω της αστοχίας του Εξοπλισμού’, είναι τα εξής:

- Το πρώτο αποτέλεσμα είναι η τιμή της τελευταίας επανάληψης της μεθόδου Monte Carlo, που συγκρατεί το Σύστημα. Το αποτέλεσμα αυτό είναι τυχαίο και όχι καθοριστικό. Οι τιμές αυτές εισάγονται στην στήλη ‘ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ’.
- Το δεύτερο αποτέλεσμα είναι οι κατανομές Πιθανότητας του συνόλου των επαναλήψεων της μεθόδου Monte Carlo. Το καθοριστικό αποτέλεσμα είναι αυτό, καθώς δείχνει την κατανομή των τιμών που έβγαλε όλη η διαδικασία της Προσομοίωσης. **Το αποτέλεσμα αυτό σας παρουσιάζεται στα ακόλουθα διαγράμματα.**

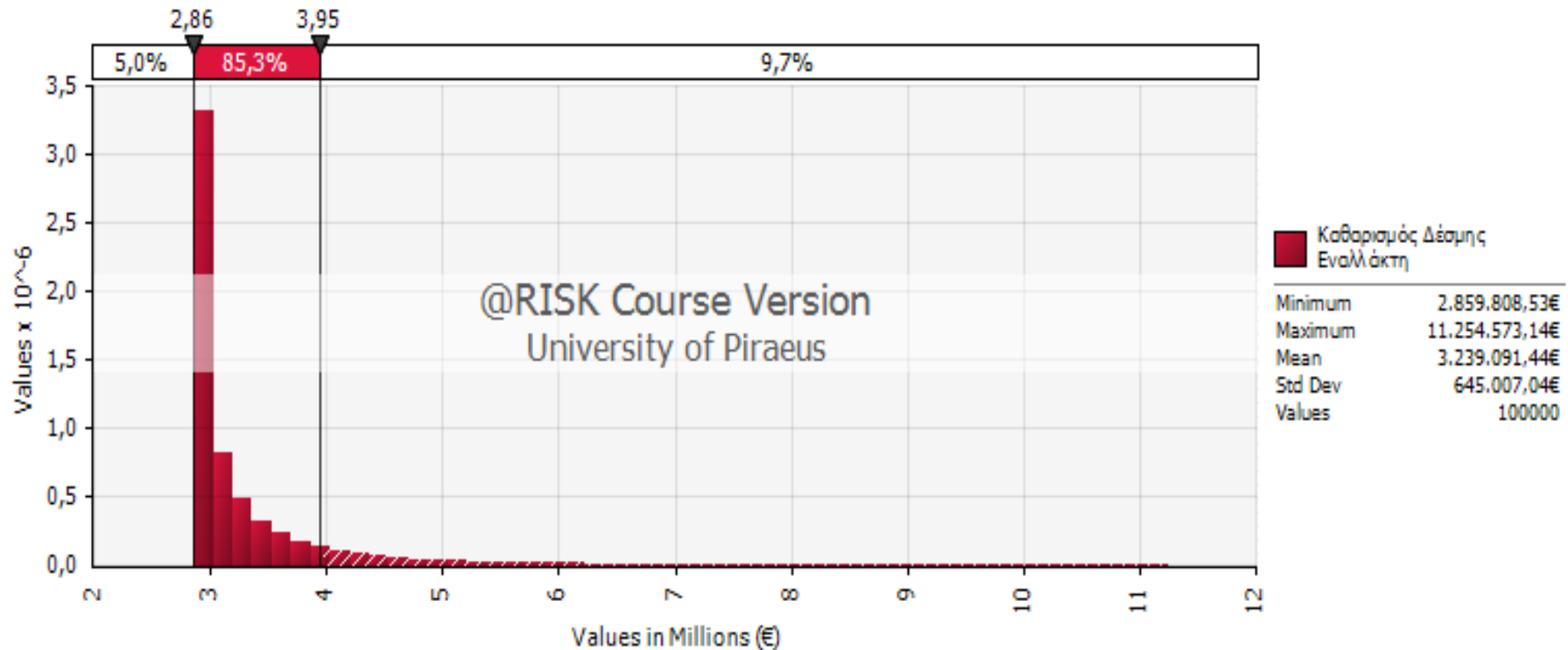
Κατανομή Μακροπρόθεσμου Reactive Κόστους - Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής (Montecarlo)



Διάγραμμα 14 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής”

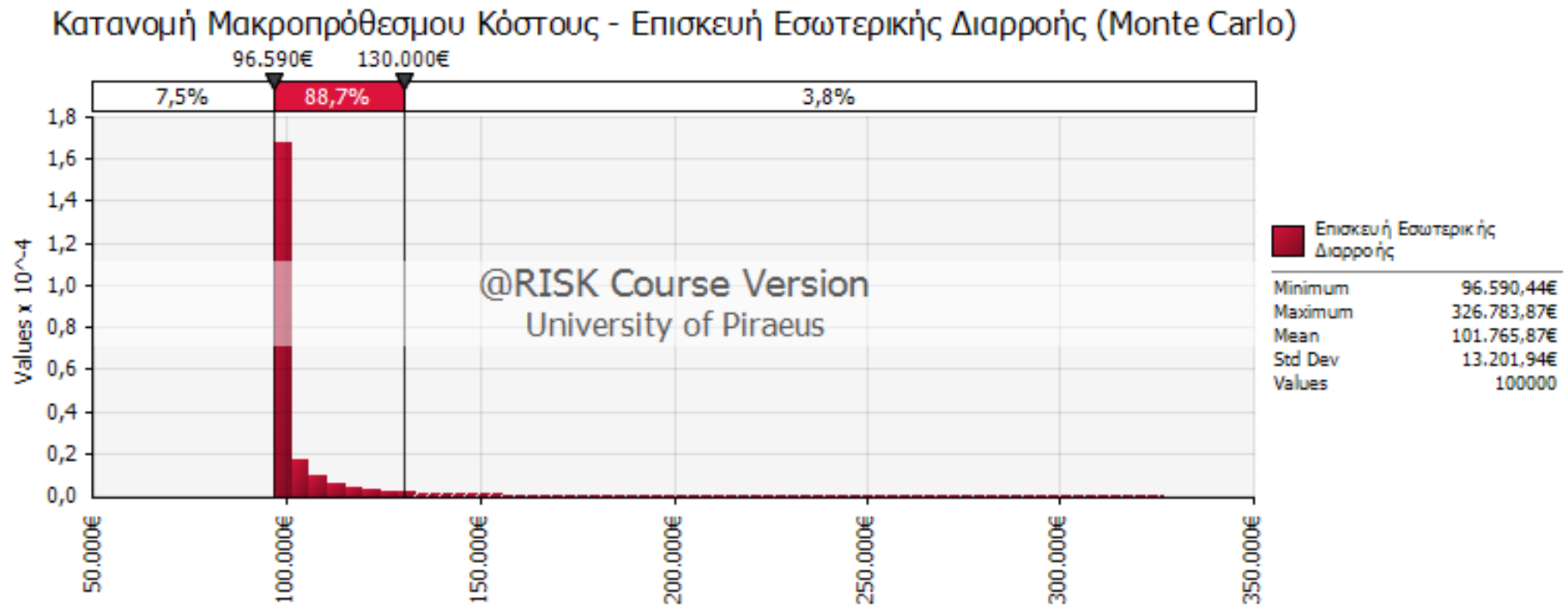
Από το διάγραμμα φαίνεται ότι το 85% των επαναλήψεων της μεθόδου έδωσε τιμές στο “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” για την εργασία “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής”, μεταξύ **243.044 € και 335.000 €**. Προχωρώντας λίγο περισσότερο την ανάλυσή μας παρατηρήσαμε ότι το 50% των επαναλήψεων έδωσε τιμές από **243.044 € έως 255.000 €**. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το εύρος των τιμών αυτών κυμαίνεται “χαμηλότερα” από την αντίστοιχη τιμή του “Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης” που είναι 280.000,00 €.

Κατανομή Μακροπρόθεσμου Reactive Κόστους για - Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη (Monte Carlo)



Διάγραμμα 15 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη”

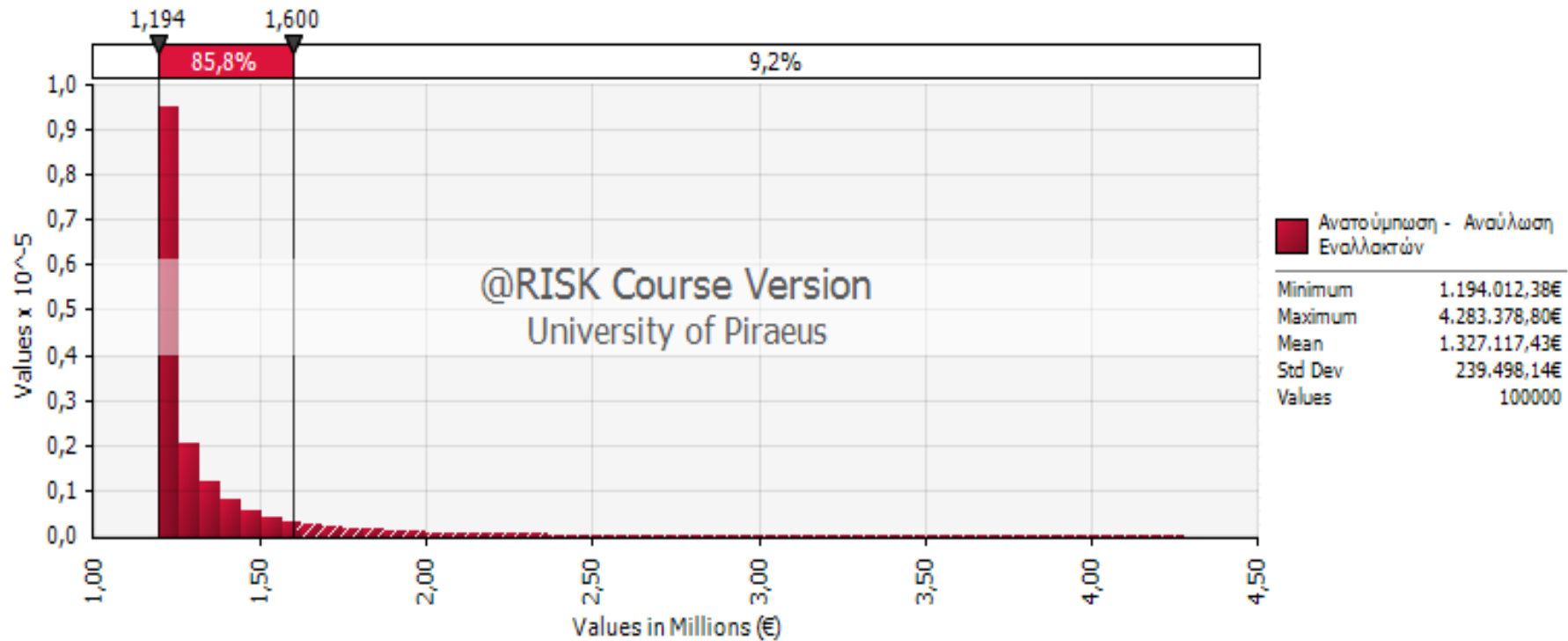
Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι το 85% των επαναλήψεων της μεθόδου έδωσε τιμές στο “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” για την εργασία “Καθαρισμός Δέσμης”, μεταξύ **2,86 εκ. € και 3,95 εκ. €**. Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι το εύρος των τιμών αυτών κυμαίνεται πολύ “υψηλότερα” από την αντίστοιχη τιμή του Μακροπροθέσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης που είναι **1,4 εκ. €**.



Διάγραμμα 16 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής”

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι το 89% των επαναλήψεων της μεθόδου έδωσε τιμές στο “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” για την εργασία “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής”, **μεταξύ 96.590 € και 130.000 €**. Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι το εύρος των τιμών αυτών κυμαίνεται “χαμηλότερα” από την αντίστοιχη τιμή του Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης που είναι **240.000 €**.

Κατανομή Μακροπρόθεσμου reactive Κόστους - Ανατούμπωση/Αναύλωση Εναλλακτών (Monte Carlo)



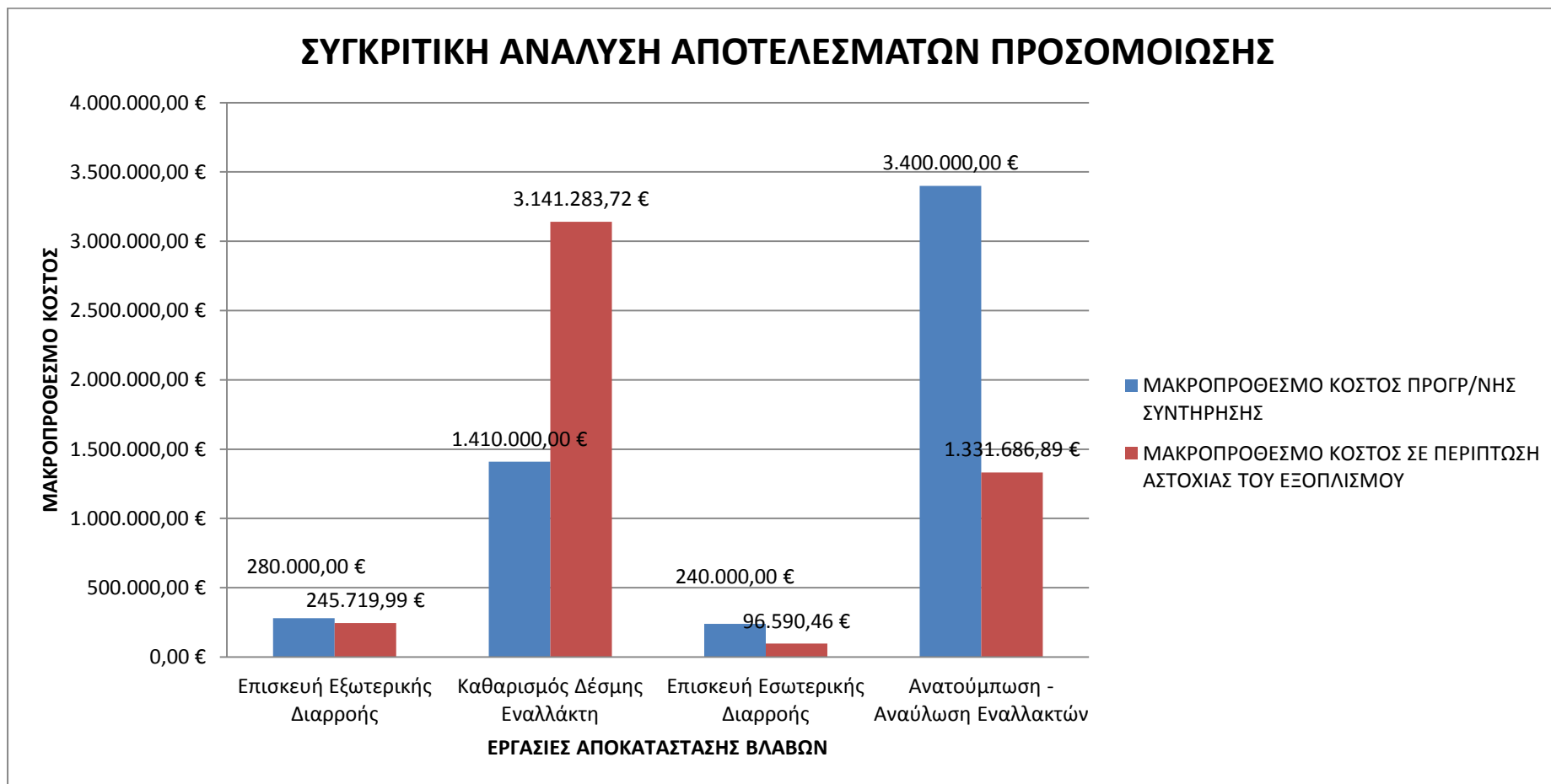
Διάγραμμα 17 – Κατανομή Μακροπρόθεσμου Κόστους λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Ανατούμπωση/Αναύλωση Εναλλακτών”

Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι το 86% των επαναλήψεων της μεθόδου έδωσε τιμές στο Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού για την εργασία “Ανατούμπωση/Αναύλωση”, μεταξύ **1,2 εκ. € και 1,6 εκ. €**. Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι το εύρος των τιμών αυτών κυμαίνεται πολύ “χαμηλότερα” από την αντίστοιχη τιμή του Μακροπροθέσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης που είναι **3,4 εκ. €**.

Πίνακας 12 – Αποτελέσματα Μοντέλου Προσομοίωσης

Εργασίες Αποκατάστασης Βλαβών	Μέσο Διάστημα από προηγούμενη Γενική Συντήρηση	Ενδεικτικό πλήθος εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση	Κόστος Προγρ/νης Συντήρησης ανά εργασία	Κόστος σε περίπτωση αστοχίας του εξοπλισμού ανά εργασία	Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγρ/νης Συντήρησης	Συχνότητα εργασιών βάσει Κατανομών (μήνες)	Μακροπρόθεσμο Κόστος σε περίπτωση αστοχίας του εξοπλισμού
Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής	60	28	1.000,00 €	6.000,00 €	280.000,00 €	410,2230346	245.719,99 €
Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη	60	47	3.000,00 €	25.000,00 €	1.410.000,00 €	224,4305392	3.141.283,72 €
Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής	60	12	2.000,00 €	13.000,00 €	240.000,00 €	969,0398375	96.590,46 €
Ανατούμπωση - Αναύλωση Εναλλακτών	60	17	20.000,00 €	80.000,00 €	3.400.000,00 €	612,756654	1.331.686,89 €

2.4.8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



Διάγραμμα 18 – Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να εξάγουμε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα αναφορικά με τα εκάστοτε Μακροπρόθεσμα Κόστη, ανά εργασία αποκατάστασης, που μελετάμε στο δείγμα μας.

Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής

Αναφορικά με την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής”, βλέπουμε ότι “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” σε σχέση με το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” έχουν μικρές διαφορές. Παρά ταύτα το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” είναι λίγο μικρότερο. Οπότε θα μπορούσε στην συγκεκριμένη περίπτωση να εφαρμοστεί βελτιστοποίηση, ώστε η συντήρηση να γίνει λιγότερο κοστοβόρα αλλά εξίσου αποτελεσματική.

Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη

Στην συγκεκριμένη περίπτωση το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” είναι πολύ μεγαλύτερο από το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης”. Όποτε μπορούμε να υποθέσουμε ότι την συγκεκριμένη εργασία καλώς έχει αποφασίσει η Διοίκηση της Εταιρίας να την εκτελεί προγραμματισμένα σε κάθε Γενική Συντήρηση του εξοπλισμού.

Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής

Σε αυτή την περίπτωση το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” είναι πολύ μικρότερο από το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης”. Οπότε σίγουρα θα λάβει χώρα βελτιστοποίηση του κόστους. Και τα 2 κόστη βέβαια πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν είναι πολύ υψηλά.

Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη

Σε αυτή την περίπτωση το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού” είναι πολύ μικρότερο από το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης”. Οπότε σίγουρα θα λάβει χώρα βελτιστοποίηση του κόστους. Και τα 2 κόστη βέβαια πρέπει να αναφέρουμε ότι είναι ιδιαίτερα υψηλά.

Στον προηγούμενο Πίνακα θα προσθέσουμε και το “Προληπτικό κόστος “Ανοίγματος Εξοπλισμού”.

Επίσης θα αντικαταστήσουμε στην εργασία “Καθαρισμός Δέσμης” την τιμή κόστους της Προγραμματισμένης Συντήρησης καθώς σε αυτή την εργασία δεν θα λάβει χώρα βελτιστοποίηση κόστους.

Ο παραπάνω πίνακας λοιπόν κατόπιν της παραπάνω ανάλυσης και για να προχωρήσουμε στην βελτιστοποίηση διαμορφώνεται ως εξής.

Πίνακας 13 – Ανάλυση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης

Εργασίες Αποκατάστασης Βλαβών	Μέσο Διάστημα από προηγούμενη Γενική Συντήρηση	Ενδεικτικό πλήθος εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση	Σύνολο εναλλακτών προς έλεγχο	Μακροπρόθεσμο Κόστος προγρ/νης συντήρησης (€)	Μακροπρόθεσμο Κόστος σε περίπτωση αστοχίας του εξοπλισμού (€)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (€)
Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής	60	28	114	280.000,00 €	245.719,99 €	34.280,01 €
Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη	60	47		1.410.000,00 €	1.410.000,00 €	0,00 €
Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής	60	12		240.000,00 €	96.590,46 €	143.409,54 €
Ανατούμπωση - Αναύλωση Εναλλακτών	60	17		3.400.000,00 €	1.331.686,89 €	2.068.313,11 €
Προληπτικό Κόστος Ανοίγματος του Εξοπλισμού				250.000,00 €	0,00 €	250.000,00 €
ΣΥΝΟΛΑ	60	104	114	5.580.000,00 €	3.083.997,33 €	2.496.002,67 €

Στο συγκεκριμένο σημείο παρατηρούμε ότι η επιχείρηση σε βάθος 50 χρόνων έχει απώλεια προϋπολογισμού της τάξης των 2,5 εκ. €.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.5 – ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ/ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα του προηγούμενου κεφαλαίου κατέδειξαν την ανάγκη βελτιστοποίησης της Προγραμματισμένης Γενικής Συντήρησης, ώστε η επιχείρηση να μην προβαίνει σε άσκοπες συντηρήσεις και να εξοικονομεί χρήματα. Οφείλουμε εδώ να επισημάνουμε ότι ο σκοπός της ανάλυσης που θα λάβει χώρα δεν είναι η επιχείρηση να καταργήσει τις Προγραμματισμένες Γενικές Συντηρήσεις, αλλά να τις βελτιώσει προς το δικό της όφελος.

Ο στόχος της βελτιστοποίησης είναι η μείωση του “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” ώστε αυτό να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω Αστοχίας του Εξοπλισμού”. Ας μην ξεχνάμε ότι το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω Αστοχίας του Εξοπλισμού” έχει εξαχθεί βάσει των πραγματικών στοιχείων αστοχίας του εξοπλισμού.

Μέσω της εφαρμογής Risk Optimizer που διαθέτει το @Risk πραγματοποιήσαμε 3 διαφορετικά σενάρια βελτιστοποίησης. Τα σενάρια διαχωρίζονται ανάλογα με την μεταβλητή εισόδου που επιθυμούμε να μεταβάλλεται κάθε φορά, ώστε το αποτέλεσμα του “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” να είναι το επιθυμητό.

Οι μεταβλητές εισόδου που θα μεταβάλλονται ανά σενάριο βελτιστοποίησης είναι οι κάτωθι:

- το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις
- το Φυσικό αντικείμενο κάθε Γενικής Συντήρησης, δηλαδή τις εργασίες που πραγματοποιούνται
- καθώς και τον συνδυασμό και των 2 μεταβλητών ταυτοχρόνως.

Η παραπάνω διαδικασία θα λάβει χώρα για κάθε εργασία αποκατάστασης ξεχωριστά.

2.5.1. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ – ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Κατά την διαδικασία βελτιστοποίησης ως προς το χρόνο “ζητήσαμε” από το Πρόγραμμα να μειώσει το “ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡ/ΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ” μειώνοντας τα επιμέρους Μακροπρόθεσμα κόστη για κάθε εργασία αποκατάστασης βλάβης, προσεγγίζοντας όσο το δυνατό περισσότερο το “ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ λόγω αστοχίας του εξοπλισμού”. Η μεταβλητή που ορίσαμε να αλλάξει ήταν το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στις Γενικές συντηρήσεις.

Παραλλήλως ορίσαμε να μην μεταβληθεί καθόλου το “πλήθος εργασιών που λαμβάνει χώρα σε κάθε Γενική Συντήρηση”.

Χαρακτηριστικά ορίσαμε:

1. Για την εργασία “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 280.000,00 € σε 245.000,00 € και τα όρια του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί για κάθε Γενική Συντήρηση να είναι 60-120 μήνες.
 2. Για την εργασία “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 240.000,00 € σε 100.000,00 € και τα όρια του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί για κάθε Γενική Συντήρηση να είναι 60-120 μήνες.
 3. Για την εργασία “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 3,4 εκ. € σε 1,4 εκ. € και τα όρια του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί για κάθε Γενική Συντήρηση, να είναι από 60-120 μήνες.
- ✓ Όπως βλέπουμε από τα παραπάνω, θέσαμε αυστηρό περιορισμό να μην παρέρχεται χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10 ετών (δηλαδή η εργασία να εκτελείται το αργότερο, ανά 2 Γενικές Συντηρήσεις), για να εκτελείται κάθε είδος εργασίας αποκατάστασης.
 - ✓ Επίσης ορίσαμε στο Risk Optimizer να διενεργήσει 100 trials (προσπάθειες) για κάθε 10.000 επαναλήψεις τις προσομοίωσης .

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης ως προς τον χρόνο παρουσιάζονται στον κάτωθι Πίνακα.

Πίνακας 14 – Ανάλυση Βελτιστοποίησης ‘Σενάριο 1’

Εργασίες Αποκατάστασης Βλαβών	Μέσο Διάστημα από προηγούμενη Γενική Συντήρηση (μήνες)	Μέσο Διάστημα από προηγούμενη Γενική Συντήρηση - Μήνες (Βελτιστοποιημένο)	Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγρ/νης Συντήρησης	Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης (βελτιστοποιημένο)	Κέρδος για την επιχείρηση
Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής	60	68	280.000,00 €	245.719,99 €	34.280,01 €
Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη		60	1.410.000,00 €	1.410.000,00 €	0,00 €
Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής		120	240.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €
Ανατούμπωση - Αναύλωση Εναλλακτών		120	3.400.000,00 €	1.700.000,00 €	1.700.000,00 €
ΣΥΝΟΛΑ		60		5.330.000,00 €	3.475.719,99 €

Ανάλυση των Αποτελεσμάτων της Βελτιστοποίησης του ‘Σεναρίου 1’

Κατά την βελτιστοποίηση ως προς το χρόνο επετεύχθησαν σε ικανοποιητικό βαθμό οι στόχοι που θέσαμε σε επίπεδο μείωσης του ‘Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης’. Αναλυτικότερα:

1. Για την εργασία αποκατάστασης ‘Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής’ το ‘Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης’ μειώθηκε από 280.000,00 € σε 245.719,99 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 34.280,01 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις απαιτείται να μεταβληθεί από 60 σε 68 μήνες.
2. Για την εργασία αποκατάστασης ‘Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής’ το ‘Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης’ μειώθηκε από 240.000,00 € σε 120.000 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 120.000 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις απαιτείται να μεταβληθεί από 60 σε 120 μήνες. Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να αναφέρουμε τα παρακάτω:
 - I. Ο στόχος της μείωσης του ‘Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης’ σε επίπεδα της τάξης των 100.000 €, δεν επετεύχθη, εντός των χρονικών ορίων που θέσαμε.
 - II. Η τιμή κόστους 120.000 €, για ‘Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης’, επετεύχθη θέτοντας το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις στην τιμή του άνω ορίου, δηλαδή μετά από 120 μήνες. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα διακατέχεται από επισφάλεια, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στα όρια, των χρονικών μας περιορισμών.
3. Για την εργασία αποκατάστασης ‘Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη’ το ‘Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης’ μειώθηκε από 3.400.000 € σε 1.700.000 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 1.700.000 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις απαιτείται να μεταβληθεί από 60 σε 120 μήνες. Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να αναφέρουμε τα παρακάτω:
 - I. Ο στόχος της μείωσης του ‘Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης’ σε επίπεδα της τάξης των 1.400.000 €, δεν επετεύχθη, εντός των χρονικών ορίων που θέσαμε.
 - II. Η τιμή κόστους 1.700.000 €, για ‘Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης’, επετεύχθη θέτοντας το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις στην τιμή του άνω ορίου, δηλαδή μετά από 120 μήνες. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα διακατέχεται

από επισφάλεια, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στα όρια, των χρονικών μας περιορισμών.

- III. Επίσης η συγκεκριμένη εργασία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλο κόστος και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή όταν μετατίθεται στο χρόνο.

Εν κατακλείδι σε αυτή την βελτιστοποίηση το συνολικό μακροπρόθεσμο κέρδος για την επιχείρηση, μετά από 50 χρόνια θα είναι της τάξης των **1.854.280,01 €**.

2.5.2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Κατά την διαδικασία βελτιστοποίησης ως προς το Φυσικό Αντικείμενο “ζητήσαμε” από το Πρόγραμμα να μειώσει το “ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡ/ΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ”, μειώνοντας τα επιμέρους Μακροπρόθεσμα κόστη για κάθε εργασία αποκατάστασης βλάβης, προσεγγίζοντας όσο το δυνατό περισσότερο το “ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ λόγω αστοχίας του εξοπλισμού”. Η μεταβλητή που ορίσαμε να αλλάξει ήταν το “πλήθος εργασιών σε κάθε εργασία αποκατάστασης βλαβών” ανά Γενική Συντήρηση.

Παραλλήλως ορίσαμε να μην μεταβληθεί καθόλου το “Διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις” και να παραμείνει στους 60 μήνες.

Χαρακτηριστικά ορίσαμε:

1. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 280.000,00 € σε 245.000,00 € και τα όρια των εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση να είναι από 14 έως 28 εργασίες.
 2. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 240.000,00 € σε 100.000,00 € και τα όρια του πλήθους των εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση να είναι από 6 έως 12 εργασίες.
 3. Για την εργασία αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 3,4 εκ. € σε 1,4 ε. € και τα όρια του πλήθους των εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση να είναι από 8 έως 17 εργασίες.
- ✓ Όπως βλέπουμε από τα παραπάνω θέσαμε αυστηρό περιορισμό σε κάθε Γενική Προγραμματισμένη συντήρηση να μην γίνονται λιγότερες από το 50% των εργασιών που γίνονταν όπως και με την έως τώρα εφαρμοζόμενη τακτική της επιχείρησης για Γενικές Προγραμματισμένες Συντηρήσεις κάθε 60 μήνες.
 - ✓ Επίσης ορίσαμε στο Risk Optimizer να κάνει 100 trials (προσπάθειες) για κάθε 10.000 επαναλήψεις τις προσομοίωσης .

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης ως προς το Φυσικό Αντικείμενο παρουσιάζονται στον κάτωθι Πίνακα.

Πίνακας 15 – Ανάλυση Βελτιστοποίησης ‘Σενάριο 2’

Εργασίες Αποκατάστασης Βλαβών	Ενδεικτικό πλήθος εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση	Ενδεικτικό πλήθος εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση (βελτιστοποιημένο)	Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγρ/νης Συντήρησης	Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης (βελτιστοποιημένο)	ΚΕΡΔΟΣ ΓΑ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής	28	25	280.000,00 €	245.719,99 €	34.280,01 €
Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη	47	47	1.410.000,00 €	1.410.000,00 €	0,00 €
Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής	12	6	240.000,00 €	120.000,00 €	120.000,00 €
Ανατούμπωση - Αναύλωση Εναλλακτών	17	8	3.400.000,00 €	1.600.000,00 €	1.800.000,00 €
ΣΥΝΟΛΑ	104	86	5.330.000,00 €	3.375.719,99 €	1.954.280,01 €

Ανάλυση Αποτελεσμάτων Βελτιστοποίησης – Σενάριο 2

Κατά την βελτιστοποίηση ως προς το Φυσικό Αντικείμενο επετεύχθησαν σε ικανοποιητικό βαθμό οι στόχοι που θέσαμε σε επίπεδο μείωσης του “Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης”. Αναλυτικότερα:

1. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” μειώθηκε από 280.000,00 € σε 245.719,99 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 34.280,01 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το φυσικό αντικείμενο που πρέπει να υλοποιείται σε κάθε Γενική Συντήρηση μειώθηκε από 28 σε 25 εργασίες αποκατάστασης αυτής της κατηγορίας βλάβης.
2. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” μειώθηκε από 240.000,00 € σε 120.000 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 120.000 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το φυσικό αντικείμενο που απαιτείται να υλοποιείται σε κάθε Γενική Συντήρηση μειώνεται από 12 σε 6 εργασίες αποκατάστασης.. Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να αναφέρουμε τα παρακάτω:
 - I. Ο στόχος της μείωσης του “Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης” σε επίπεδα της τάξης των 100.000 €, δεν επετεύχθη, εντός των ορίων Φυσικού Αντικειμένου που θέσαμε.
 - II. Η τιμή 120.000 €, για “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης”, επετεύχθη θέτοντας το Φυσικό Αντικείμενο σε κάθε Γενική Συντήρηση να είναι το μισό σε σχέση με την σημερινή πρακτική της επιχείρησης. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα διακατέχεται από υψηλό κίνδυνο, καθώς βρίσκεται στο κάτω όριο των περιορισμών που έχουμε θέσει σε επίπεδο Φυσικού Αντικειμένου.
3. Για την εργασία αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης” το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” μειώθηκε από 3.400.000 € σε 1.600.000 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 1.800.000 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το φυσικό αντικείμενο που απαιτείται να υλοποιείται σε κάθε Γενική Συντήρηση μειώνεται από 17 σε 8 εργασίες αποκατάστασης βλαβών. Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να αναφέρουμε τα παρακάτω:
 - I. Ο στόχος της μείωσης του “Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης” σε επίπεδα της τάξης των 1.400.000 €, δεν επετεύχθη, εντός των ορίων φυσικού αντικειμένου που θέσαμε.

- II. Η τιμή 1.600.000 €, για “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης”, επετεύχθη θέτοντας την τιμή του “πλήθους εργασιών ανά Γενική Συντήρηση” στην τιμή του κάτω ορίου που θέσαμε, δηλαδή σε επίπεδο 8 εργασιών αποκατάστασης. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα διακατέχεται από επισφάλεια, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στα όρια, των περιορισμών μας.
- III. Επίσης η συγκεκριμένη εργασία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλο κόστος και απαιτείται ιδιαίτερα προσοχή όταν μειώνεται δραματικά το Φυσικό της Αντικείμενο.

Εν κατακλείδι σε αυτή την βελτιστοποίηση το συνολικό μακροπρόθεσμο κέρδος για την επιχείρηση, μετά από 50 χρόνια θα είναι της τάξης των **1.954.280,01 €**.

Επίσης μέσω αυτής της βελτιστοποίησης έχουμε περιορισμό του Φυσικού αντικειμένου σε επίπεδα μεγαλύτερα του 17%. Δηλαδή οι εργασίες αποκατάστασης σε κάθε Γενική Συντήρηση, μειώθηκαν από 104 σε 86.

Συγκρίνοντας αυτή την βελτιστοποίηση με την προηγούμενη μπορούμε να πούμε ότι τα οικονομικά αποτελέσματα της είναι πιο ικανοποιητικά και ότι οι στόχοι που θέσαμε στο πρόγραμμα μερικώς ικανοποιήθηκαν. Βέβαια πρέπει να επισημάνουμε ότι παρατηρηθήκαν όμοια προβλήματα με την προηγούμενη βελτιστοποίηση όπως:

- I. Η μερική οικονομική επίτευξη των στόχων που θέσαμε.
- II. Η μεταβολή της μεταβλητής εισόδου (πλήθος εργασιών αποκατάστασης) στα όρια των περιορισμών, γεγονός το οποίο αυξάνει την επισφάλεια των αποτελεσμάτων σε επίπεδο επιχειρησιακής εφαρμογής.

2.5.3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΤΟ ΧΡΟΝΟ – ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Κατά την διαδικασία βελτιστοποίησης ως προς το Φυσικό Αντικείμενο και ως προς το χρόνο “ζητήσαμε” από το Πρόγραμμα να μειώσει το “ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΓΡ/ΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ”, μειώνοντας τα επιμέρους Μακροπρόθεσμα κόστη για κάθε εργασία αποκατάστασης βλάβης, προσεγγίζοντας όσο το δυνατό περισσότερο το “ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟ ΚΟΣΤΟΣ λόγω αστοχίας του εξοπλισμού”. Ζητήσαμε από το Πρόγραμμα να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι με ταυτόχρονη αλλαγή των μεταβλητών εισόδου:

- Πλήθος Εργασιών σε κάθε εργασία αποκατάστασης βλαβών
- Χρονικό Διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις

Χαρακτηριστικά ζητήσαμε:

1. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος 280.000,00 € σε 245.000,00 € και τα όρια των εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση να είναι από 14 έως 28 εργασίες.
2. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 240.000,00 € σε 100.000,00 € και τα όρια του πλήθους των εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση να είναι από 6 έως 12 εργασίες.
3. Για την εργασία αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη” οι απαιτήσεις που βάλαμε ήταν να μεταβληθεί το κόστος από 3,4 εκ. € σε 1,4 εκ. € και τα όρια του πλήθους των εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση να είναι από 8 έως 17 εργασίες.
 - ✓ Ταυτόχρονα με τα παραπάνω θέσαμε ως περιορισμό να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι χωρίς να παρέρχεται χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10 ετών (120 μήνες), ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις. Ο συγκεκριμένος περιορισμός εφαρμόστηκε για το σύνολο των εργασιών.
 - ✓ Επίσης ορίσαμε στο Risk Optimizer να κάνει 100 trials (προσπάθειες) για κάθε 10.000 επαναλήψεις τις προσομοίωσης .

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης ως προς το Φυσικό Αντικείμενο και ως προς το χρόνο παρουσιάζονται στον κάτωθι Πίνακα.

Πίνακας 16 – Ανάλυση Βελτιστοποίησης ‘Σενάριο 3’

Εργασίες Αποκατάστασης Βλαβών	Μέσο Διάστημα από προηγούμενη Γενική Συντήρηση (μήνες)	Μέσο Διάστημα από προηγούμενη Γενική Συντήρηση - Μηνες (Βελτιστοποιημένο)	Ενδεικτικό πλήθος εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση	Ενδεικτικό πλήθος εργασιών σε κάθε Γενική Συντήρηση (ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ)	Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγρ/νης Συντήρησης	Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης (ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ)	ΚΕΡΑΟΣ ΓΑ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής	60	60	28	24	280.000,00 €	245.000,00 €	35.000,00 €
Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη		60	47	47	1.410.000,00 €	1.410.000,00 €	0,00 €
Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής		117	12	10	240.000,00 €	100.000,00 €	140.000,00 €
Ανατούμπωση - Αναύλωση Εναλλακτών		106	17	12	3.400.000,00 €	1.400.000,00 €	2.000.000,00 €
ΣΥΝΟΛΑ		60		104	93	5.330.000,00 €	3.155.000,00 €

Ανάλυση Αποτελεσμάτων Βελτιστοποίησης - Σεναρίου 3

Κατά την βελτιστοποίηση ως προς το Φυσικό Αντικείμενο και ως προς το χρόνο επετεύχθησαν στο μεγαλύτερο βαθμό οι στόχοι που θέσαμε σε επίπεδο μείωσης του “Μακροπρόθεσμου Κόστους Προγραμματισμένης Συντήρησης”. Αναλυτικότερα:

1. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” μειώθηκε από 280.000 € σε 245.000 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 35.000 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το φυσικό αντικείμενο που πρέπει να υλοποιείται σε κάθε Γενική Συντήρηση μειώθηκε από 28 σε 24 εργασίες αποκατάστασης βλάβης αυτής της κατηγορίας. Ταυτόχρονα η συγκεκριμένη εργασία πρέπει να διενεργείται κάθε 60 μήνες, δηλαδή όπως και με την μέχρι τώρα εφαρμοζόμενη πρακτική.
2. Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” μειώθηκε από 240.000 € σε 100.000 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 140.000 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το φυσικό αντικείμενο που απαιτείται να υλοποιείται σε κάθε Γενική Συντήρηση μειώνεται από 12 σε 10 εργασίες αποκατάστασης. Το παρερχόμενο διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις πρέπει να είναι 117 μήνες. Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να αναφέρουμε τα παρακάτω:
 - I. Ο στόχος της μείωσης για το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” σε επίπεδα της τάξης των 100.000 €, επετεύχθη για πρώτη φορά, εντός των ορίων Φυσικού Αντικειμένου και των χρονικών διαστημάτων που θέσαμε.
3. Για την εργασία αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης” το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” μειώθηκε από 3.400.000 € σε 1.400.000 € και το κέρδος για την επιχείρηση, από αυτή την εργασία είναι 2.000.000 €. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος το φυσικό αντικείμενο που απαιτείται να υλοποιείται σε κάθε Γενική Συντήρηση μειώνεται από 17 σε 12 εργασίες αποκατάστασης. Επίσης το παρερχόμενο διάστημα ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις για την συγκεκριμένη εργασία, πρέπει να είναι 106 μήνες. Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να αναφέρουμε τα παρακάτω:
 - I. Ο στόχος της μείωσης για το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” σε επίπεδα της τάξης των 1.400.000 €, επετεύχθη για 1^η φορά, εντός των ορίων φυσικού αντικειμένου και χρονικών διαστημάτων που θέσαμε.

- II. Η τιμή 1.400.000 €, για “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης”, επετεύχθη θέτοντας την τιμή του πλήθους εργασιών ανά Γενική Συντήρηση μακριά από την τιμή του κάτω ορίου που θέσαμε, δηλαδή κυμαίνεται σε επίπεδο 12 εργασιών αποκατάστασης βλαβών. Ταυτόχρονα το αποτέλεσμα αυτό είναι μακριά από το άνω όριο του περιορισμού του χρονικού διαστήματος ανάμεσα σε 2 Γενικές Συντηρήσεις που θέσαμε, δηλαδή κυμαίνεται σε επίπεδο 106 μηνών.
- III. Επίσης η συγκεκριμένη εργασία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλο κόστος και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή όταν μειώνεται δραματικά το Φυσικό της Αντικείμενο καθώς και τα παρερχόμενα χρονικά διαστήματα ανάμεσα στις Γενικές Συντηρήσεις της. Σε αυτή την περίπτωση είμαστε μακριά και από τα 2 επικίνδυνα όρια.

Εν κατακλείδι σε αυτή την βελτιστοποίηση το συνολικό μακροπρόθεσμο κέρδος για την επιχείρηση, μετά από 50 χρόνια θα είναι της τάξης των **2.175.000 €**. Αν προστεθεί και το κέρδος από το “Κόστος Προληπτικού Ανοίγματος Εξοπλισμού” που είναι της τάξης των 250.000 σε βάθος 50 χρόνων, τότε το συνολικό κέρδος είναι **2.425.000 €**. Δηλαδή έχουμε περιορισμό σε επίπεδο κόστους της τάξης του **45%**.

Επίσης μέσω αυτής της βελτιστοποίησης έχουμε **περιορισμό του Φυσικού αντικειμένου** που θα διενεργείται σε κάθε Γενική Συντήρηση σε επίπεδα μεγαλύτερα του **32%**. Δηλαδή οι εργασίες αποκατάστασης σε κάθε Γενική Συντήρηση, μειώθηκαν από 104 σε 71, αν θεωρήσουμε ότι 2 Γενικές Συντηρήσεις εξακολουθούν να απέχουν μεταξύ τους, χρονικά 60 μήνες. Συνολικά οι εργασίες μειώνονται από 104 σε 93, δηλαδή σε επίπεδα 10%.

Συγκρίνοντας αυτή την βελτιστοποίηση με τις προηγούμενες μπορούμε να πούμε ότι τα οικονομικά αποτελέσματά της είναι τα πιο ικανοποιητικά και ότι οι στόχοι που θέσαμε στο πρόγραμμα ικανοποιήθηκαν πλήρως. Το βασικότερο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης βελτιστοποίησης είναι ότι η ταυτόχρονη συνεισφορά στην μεταβολή και από τον χρόνο και από το φυσικό αντικείμενο, δεν εξώθησε την μεταβολή των μεταβλητών εισόδου στα όρια των περιορισμών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα:

- I. Να επιτευχθούν οι οικονομικοί στόχοι που θέσαμε πλήρως
- II. Να μην υπάρχουν ακραίες μεταβολές που να προσεγγίζουν το άνω όριο ως προς τον περιορισμό του χρόνου. Τέτοιες μεταβολές, που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες βελτιστοποιήσεις, δημιουργούσαν τον κίνδυνο της μεγάλης καθυστέρησης στην συντήρηση του εξοπλισμού με κίνδυνο την αστοχία αυτού, σε ενδιάμεσο χρονικό διάστημα.
- III. Να μην υπάρχουν ακραίες μεταβολές που να προσεγγίζουν το κάτω όριο ως προς τον περιορισμό του Φυσικού Αντικείμενου. Τέτοιες μεταβολές δημιουργούν τον κίνδυνο να διενεργούνται Γενικές Συντηρήσεις με ελλιπές όμως Φυσικό Αντικείμενο, όπου και αυτή η κατάσταση πιθανόν να οδηγήσει σε αστοχίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.6 – ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Κατόπιν των αποτελεσμάτων του “Σεναρίου 3” θα προτείνουμε την αναπροσαρμογή της εφαρμοζόμενης Γενικής Συντήρησης της Επιχείρησης. Ουσιαστικά και κατόπιν των κάτωθι αναπροσαρμογών η επιχείρηση δύναται να βελτιώσει ουσιαστικά, το Έργο της Γενικής Προγραμματισμένης Συντήρησης που εφαρμόζει. Ο αρχικός Σχεδιασμός της Επιχείρησης ήταν, σε πλήθος 114 εναλλακτών να διενεργούνται ενδεικτικά 104 εργασίες κάθε 60 μήνες, στα πλαίσια προληπτικής συντήρησης.

Τα παραπάνω αναπροσαρμόζονται ως εξής ανά εργασία:

- Η εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” εφεξής θα διενεργείται κάθε 60 μήνες. Το πλήθος των εργασιών όμως μεταβάλλεται από 28 σε 24 εργασίες.
- Η εργασία αποκατάστασης “Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη” όπως αναφέραμε και πριν δεν απαιτήθηκε να βελτιστοποιηθεί καθώς το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” είναι πολύ μικρότερο από το “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού”. Η συγκεκριμένη εργασία θα πραγματοποιείται ως έχει (κάθε 60 μήνες) και με ενδεικτικό πλήθος εργασιών, σταθερό στις 47 εργασίες.

Συμπερασματικά οι 2 παραπάνω εργασίες παραμένουν σαν Φυσικό Αντικείμενο στην υπάρχουσα εφαρμοζόμενη Γενική Συντήρηση της επιχείρησης (Γενική συντήρηση κάθε 60 μήνες), με μια μικρή μείωση στο πλήθος. Οι δύο εργασίες αποκατάστασης που ακολουθούν, μετατοπίζονται χρονικά όπως θα αναλύσουμε παρακάτω. **Κατόπιν αυτού του γεγονότος, ο περιορισμός του Φυσικού Αντικειμένου, κάθε Γενικής Συντήρησης, είναι της τάξης του 32%.**

- Η Εργασία “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” θα διενεργείται κάθε 117 μήνες (κάθε 2 Γενικές Συντηρήσεις περίπου), με μικρή μείωση στο πλήθος εργασιών από 12 σε 10 εργασίες. Πρέπει να επισημάνουμε ότι τα αντίστοιχα Κόστη για αυτή την εργασία είναι αρκετά διαχειρίσιμα.
- Τέλος η εργασία αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη” πρέπει να διενεργείται κάθε 106 μήνες και με πλήθος εργασιών από 17 σε 12 εργασίες. Θα μπορούσε λοιπόν η συγκεκριμένη εργασία αφού εκτελεστεί σε μια Γενική Συντήρηση να μην εκτελεστεί και στην επόμενη, αλλά να εκτελεστεί στο μεθεπόμενο pit-stop. Οφείλουμε στο συγκεκριμένο σημείο να αναφέρουμε ότι “pit stop” ορίζεται μια διαδικασία ελεγχόμενης συντήρησης και μικρότερου εύρους από την Γενική Συντήρηση, η οποία παρεμβάλλεται χρονικά μεταξύ δύο Γενικών Συντηρήσεων. Στα “pit stop” εντάσσονται αρκετές νευραλγικές εργασίες.

- ✓ Αν εφαρμοστούν οι παρακάτω αλλαγές το κέρδος για την επιχείρηση σε βάθος 50 χρόνων, από 114 εναλλάκτες θα είναι μεγαλύτερο από 2,2 εκ. €. Αν προσθέσουμε και το ‘Προληπτικό Κόστος Ανοίγματος του Εξοπλισμού’, που πλέον δεν απαιτείται τότε το κέρδος ξεπερνά τα 2,4 εκ. €. **Άρα ο περιορισμός του κόστους είναι της τάξης του 45%.**
- ✓ Αν σκεφτούμε ότι τα παραπάνω αφορούν μόνο το 1/3 του εξοπλισμού, σε επίπεδο εναλλακτών θερμότητας, τότε το κέρδος για την επιχείρηση μπορεί να είναι αντίστοιχα πολλαπλάσιο.

ΕΝΟΤΗΤΑ 3 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ / ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαχείριση της συντήρησης αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διοίκησης σε έναν οργανισμό, και περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που καθορίζουν τους αντικειμενικούς στόχους αυτής. Ακόμη καθορίζεται η στρατηγική για την επίτευξη των αντικειμενικών στόχων και εκχωρούνται οι αντίστοιχες αρμοδιότητες στα στελέχη του οργανισμού που είναι υπεύθυνα για την επιτυχή ολοκλήρωση των αντίστοιχων δραστηριοτήτων.

Οι δύο βασικοί τύποι συντήρησης είναι η προληπτική και η διορθωτική συντήρηση. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν θετικά και αρνητικά σημεία. Το χαρακτηριστικότερο συμπέρασμα σε αυτό το σημείο είναι ότι το κόστος προληπτικής συντήρησης αυξάνεται και το κόστος διορθωτικής συντήρησης μειώνεται, καθώς ο όγκος των δραστηριοτήτων προληπτικής συντήρησης αυξάνεται. Αυτό δείχνει την εξάρτηση μεταξύ των δύο αυτών τύπων συντήρησης και δείχνει ότι υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο όπου το συνολικό κόστος έχει ένα ελάχιστο. Το βέλτιστο αυτό σημείο επηρεάζεται και εξαρτάται από τον τύπο και τα ιδιαίτερα εγγενή χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που συντηρείται καθώς και των σχετικών μεθόδων και του είδους των παρουσιαζόμενων βλαβών.

Το Έργο της Συντήρησης παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες και διαφορές σε σχέση με ένα κοινό έργο. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι κατά την διάρκεια ενός έργου συντήρησης εφαρμόζονται αρκετά σημεία από την Θεωρία Διαχείρισης Έργων όπως αυτά ορίζονται από το Project Management Institute. Απαιτείται εμπάθυνση και εξειδίκευση της θεωρίας των έργων συντήρησης και η συνολική ένταξή της στην Θεωρία της Διαχείρισης Έργων, διατηρώντας φυσικά τα εγγενή χαρακτηριστικά των έργων αυτών.

Η θεωρία της Αξιοπιστίας των Συστημάτων διαθέτει αρκετά και σημαντικά εργαλεία σε επίπεδο δεικτών απόδοσης. Τα διαφορετικά είδη των δεικτών αυτών, μας βοηθούν σημαντικά στην ποιοτική και ποσοτική καταγραφή ορισμένων ειδικών παραμέτρων σε επίπεδο αξιοπιστίας, αστοχιών και εργασιών αποκατάστασης. Επίσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό της εκάστοτε διαδικασίας συντήρησης. Τέλος βοηθούν στην περαιτέρω μελέτη και έρευνα του εν λόγω πεδίου.

Πολλές βιομηχανίες καθώς και ερευνητικά κέντρα προχωρούν στον σχεδιασμό εναλλακτικών μοντέλων συντήρησης, τα οποία εκσυγχρονίζουν και καθιστούν αποδοτικότερη την διαδικασία στο σύνολό της.

Το έργο της Γενικής Συντήρησης σε μια Βιομηχανία Παραγωγής Πετροχημικών Προϊόντων αποτελείται από πολλές διαδικασίες και εργασίες οι οποίες ποικίλουν σε επίπεδο εύρους Φυσικού Αντικειμένου, Χρονικού Διαστήματος Περάτωσης και Κόστους Ολοκλήρωσης.

Ένα χαρακτηριστικό εξάρτημα στις βιομηχανίες παραγωγής πετροχημικών προϊόντων είναι ο εναλλάκτης θερμότητας. Το εξάρτημα αυτό παρουσιάζεται σε μεγάλο πλήθος σε ένα διυλιστήριο. Στην περίπτωση του Εναλλάκτη Θερμότητας, οι βλάβες που παρουσιάζονται και απαιτούν διαδικασίες συντήρησης, είναι αρκετές σε πλήθος. Επίσης οι εργασίες αποκατάστασης των βλαβών που παρουσιάζονται σε εναλλάκτες θερμότητας έχουν μεγάλο εύρος άλλα ελεγχόμενο κόστος σε σχέση με εργασίες σε άλλα εξαρτήματα. Παραδείγματος χάριν το κόστος αποκατάστασης σε μια αστοχία που παρουσιάζεται σε μια αποστακτική στήλη είναι πολλαπλάσιο σε σχέση με το αντίστοιχο των εναλλακτών θερμότητας. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι οι εναλλάκτες θερμότητας έχουν πολλά κοινά σημεία σε επίπεδο εργασιών συντήρησης σε σχέση με τα αερόψυκτα.

Μια πάγια πρακτική που εφαρμόζουν οι Μεγάλες Μηχανολογικές Μονάδες και ειδικότερα τα διυλιστήρια είναι η Προληπτική Γενική Συντήρηση του Συνόλου του Εξοπλισμού κάθε 5 χρόνια (60 μήνες), χωρίς διακρίσεις. Δηλαδή ελέγχεται και συντηρείται το σύνολο του εξοπλισμού είτε απαιτείται συντήρηση είτε όχι. Η παρούσα πρακτική όπως είναι λογικό αυξάνει το κόστος και το εύρος των εργασιών (φυσικό αντικείμενο) σε κάθε έργο Γενικής Συντήρησης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιώντας ως δείγμα το 1/3 των εναλλακτών θερμότητας ενός πραγματικού διυλιστηρίου και με πραγματικά στοιχεία αστοχιών και εργασιών αποκατάστασης, επιχειρήσαμε να διερευνήσουμε αν η συγκεκριμένη πρακτική που εφαρμόζει το διυλιστήριο είναι ταυτόχρονα αποδοτική και οικονομική. Η βασική ιδέα μας ήταν να συγκρίνουμε τι θα συνέβαινε σε επίπεδο κόστους αν η διοίκηση του διυλιστηρίου αποφάσιζε να μην συντηρεί το σύνολο του εξοπλισμού προγραμματισμένα, αλλά να επέλεγε διορθωτική συντήρηση όταν θα προέκυπτε μια αστοχία του εξοπλισμού. Για την εν λόγω ανάλυση χρησιμοποιήσαμε 4 είδη βλαβών/εργασιών αποκατάστασης. Χρησιμοποιήσαμε πραγματικά στοιχεία, πλήθους και συχνότητας εργασιών αποκατάστασης των βλαβών που παρουσιάζονται σε επίπεδο εναλλακτών θερμότητας. Τα αντίστοιχα κόστη (Κόστος προγραμματισμένης συντήρησης και Κόστος λόγω της αστοχίας του εξοπλισμού) που ορίσαμε για κάθε βλάβη είναι ενδεικτικά. Μελετήσαμε το πρόβλημα σε βάθος 50 ετών. Καταστρώσαμε το Μοντέλο που θα περιέγραφε τα αντίστοιχα Μακροπρόθεσμα (μετά από 50 έτη) κόστη, στην μια περίπτωση για Προγραμματισμένη Συντήρηση του εξοπλισμού κάθε 60 μήνες και στην άλλη περίπτωση για διορθωτική συντήρηση του εξοπλισμού όταν θα παρουσιάζεται η εκάστοτε αστοχία. Ο κρίσιμος δείκτης απόδοσης, βάσει του οποίου εξάγαμε τα αποτελέσματα, ήταν το MTBF (Mean Time Between Failures). Όπως είναι γνωστό το MTBF το οποίο εκφράζει το μέσο διάστημα που παρέρχεται για την αστοχία του εξοπλισμού είναι, σε επίπεδο Θεωρίας προσομοίωσης, στοχαστική μεταβλητή. Λόγω των παραπάνω χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο προσομοίωσης Monte Carlo.

Οι εργασίες αποκατάστασης βλαβών οι οποίες ελέγχθηκαν ήταν:

- Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής
- Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη
- Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής
- Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη

Τα αποτελέσματα του Μοντέλου, μετά από 50 χρόνια, από την διαδικασία προσομοίωσης Monte Carlo ήταν τα ακόλουθα:

- ✓ Σε μια εργασία από τις τέσσερις και συγκεκριμένα στην εργασία “Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη”, είναι αποδοτική η εφαρμογή της πρακτικής του διωλιστηρίου για προγραμματισμένες συντηρήσεις κάθε 60 μήνες.
- ✓ Για την εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” τα αποτελέσματα της πάγιας πρακτικής του διωλιστηρίου καθώς και της εναλλακτικής πρακτικής που σχεδιάσαμε, για εφαρμογή διορθωτικών συντηρήσεων όταν εμφανίζεται μια αστοχία, είναι πολύ κοντινά σε επίπεδο κόστους. Όμως οικονομικότερα είναι τα αποτελέσματα της εναλλακτικής πρακτικής για διορθωτική συντήρηση.
- ✓ Για τις εργασίες “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” καθώς και “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη” τα αποτελέσματα του εναλλακτικού μοντέλου για διορθωτικές συντηρήσεις σε περίπτωση αστοχίας του εξοπλισμού είναι πολύ οικονομικότερα από την υφιστάμενη πρακτική που εφαρμόζει η επιχείρηση.

Αποδεικνύεται λοιπόν ότι ορισμένες εργασίες αποκατάστασης δεν θα έπρεπε να γίνονται τόσο συχνά (κάθε 60 μήνες) και όχι σε τόσο μεγάλο εύρος, βάσει των πραγματικών στοιχείων αστοχίας. Η συνολική απώλεια προϋπολογισμού για την επιχείρηση λόγω της εφαρμογής της υφιστάμενης πρακτικής, σε βάθος 50 χρόνων και σε δείγμα 114 εναλλακτών, είναι 2,5 εκ. €. Αν σκεφτούμε ότι εμείς ελέγξαμε μόνο το 1/3 των εναλλακτών που χρησιμοποιεί το διωλιστήριο, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συνολική απώλεια προϋπολογισμού για την επιχείρηση, είναι πολύ μεγαλύτερη.

Το συνολικό συμπέρασμα, βάσει των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, είναι ότι χρειάζονται αναπροσαρμογές στην μέθοδο συντήρησης της επιχείρησης. Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας δεν είναι να προτείνει στην επιχείρηση την κατάργηση των Προγραμματισμένων Προληπτικών Γενικών Συντηρήσεων, αλλά μελετώντας μέσω βελτιστοποίησης το Έργο της Γενικής Προγραμματισμένης Συντήρησης, να προτείνει βέλτιστες εναλλακτικές λύσεις, ώστε η συντήρηση να καθίσταται οικονομικότερη και εξίσου αποδοτική.

Κατόπιν προχωρήσαμε σε βελτιστοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων βάσει της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo. Ο στόχος της βελτιστοποίησης ήταν να μειώσει το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης”, ώστε αυτό να προσεγγίζει τα αντίστοιχα χαμηλότερα “Μακροπρόθεσμο Κόστη λόγω αστοχίας του εξοπλισμού”. Βελτιστοποίηση διενεργήσαμε μόνο στις 3 εργασίες αποκατάστασης που απαιτείτο. Η βελτιστοποίηση επετεύχθη μεταβάλλοντας μια ή περισσότερες μεταβλητές εισόδου του Μοντέλου. Πραγματοποιήσαμε 3 “σενάρια” βελτιστοποίησης, μεταβάλλοντας αντίστοιχα τις κάτωθι μεταβλητές εισόδου και θέτοντας περιορισμούς. Οι μεταβλητές εισόδου που μεταβάλαμε κάθε φορά ήταν:

1. Κατά το “Σενάριο 1” μεταβάλαμε το χρονικό διάστημα που παρέχεται μεταξύ 2 Γενικών Συντηρήσεων, θέτοντας περιορισμό το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα να μην υπερβαίνει τα 10 έτη.
2. Κατά το “Σενάριο 2” ζητήσαμε να μεταβληθεί το ενδεικτικό πλήθος εργασιών που πραγματοποιείται σε κάθε Γενική Προγραμματισμένη Συντήρηση, ανά εργασία αποκατάστασης, θέτοντας ως περιορισμό να μην μειωθεί το συγκεκριμένο πλήθος, περισσότερο από 50%.
3. Κατά το “Σενάριο 3” ζητήσαμε να μεταβληθούν ταυτόχρονα και οι 2 παραπάνω μεταβλητές εισόδου, με τους αντίστοιχους ως άνω περιορισμούς να βρίσκονται εν ισχύ.

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης ήταν ενδεικτικά:

Το “Σενάριο 1” απέδωσε σε ικανοποιητικό βαθμό καθώς μείωσε το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” των αντίστοιχων εργασιών κατά 1,8 εκ. €. Όμως 2 από τις 3 εργασίες αποκατάστασης, για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, “εξωθήθηκαν” στο άνω όριο της μεταβλητής εισόδου, δηλαδή στο όριο του χρονικού περιορισμού. Δηλαδή ουσιαστικά ζητήθηκε να εκτελούνται οι εργασίες αυτές κάθε 10 έτη. Η συγκεκριμένη παράμετρος αυξάνει την επικινδυνότητα και πιθανώς να οδηγήσει σε αύξηση των αστοχιών του εξοπλισμού, κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Το “Σενάριο 2” απέδωσε καλύτερα από το “Σενάριο 1” καθώς μείωσε το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” των αντίστοιχων εργασιών κατά περίπου 1,9 εκ. €. Επίσης μείωσε το “ενδεικτικό πλήθος εργασιών” που θα διενεργείται σε κάθε Προγραμματισμένη Συντήρηση κατά 17%. Όμως και σε αυτή την περίπτωση 2 από τις 3 εργασίες, για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, “εξωθήθηκαν” στο κάτω όριο της μεταβλητής εισόδου. Δηλαδή απαιτείται να μειωθεί το πλήθος των εργασιών αυτών, σε κάθε Γενική Συντήρηση, κατά 50%. Η συγκεκριμένη παράμετρος ενδέχεται να οδηγήσει στον κίνδυνο, η διαδικασία Γενικής Συντήρησης να καθίσταται ελλειμματική. Δηλαδή υπάρχει ο κίνδυνος να μην διενεργούνται οι εργασίες που πρέπει να διενεργηθούν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στο αποτέλεσμα μια βλάβη εξοπλισμού να συντηρείται αρχικά προγραμματισμένα, αλλά επειδή η συντήρηση δεν έγινε στο σύνολο του εξοπλισμού που εμφανίστηκε, να χρειάζεται η εκτέλεση και επιπρόσθετης διορθωτικής συντήρησης μετά από λίγο

καιρό. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι η διορθωτική συντήρηση καθότι πολύ πιο ακριβή της προληπτικής πρέπει να επιλέγεται πολύ προσεκτικά σε ποιες περιπτώσεις πρέπει να εφαρμόζεται. Αυτό θα μπορούσε να καταστήσει της Γενικές Συντηρήσεις ανεπαρκείς.

Το “Σενάριο 3” πρέπει να παραδεχτούμε ότι απέδωσε καλύτερα από τα δύο προηγούμενα. Πρώτον μείωσε το Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης κατά 2,2 εκ. €, πολύ περισσότερο δηλαδή από τα 2 προηγούμενα σενάρια. Επίσης μείωσε το πλήθος των εργασιών που πρέπει να διενεργείται σε κάθε Γενική Συντήρηση κατά 32%. Πρέπει να αναφέρουμε ότι κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου “σεναρίου” καμιά μεταβλητή εισόδου δεν “εξωθήθηκε” στα όρια των περιορισμών. Τα αποτελέσματα λοιπόν είναι πιο ομαλοποιημένα και διαχειρίσιμα.

Κατόπιν των παραπάνω ο αρχικός Σχεδιασμός της Επιχείρησης όπου κάθε Γενική Συντήρηση για 114 εναλλάκτες έχει 104 εργασίες κάθε 60 μήνες, μπορεί να αναπροσαρμοστεί όπως εξηγούμε παρακάτω. Ουσιαστικά και κατόπιν των κάτωθι αναπροσαρμογών η επιχείρηση ενδέχεται να βελτιώσει ουσιαστικά το έργο των Γενικών Προγραμματισμένων Συντηρήσεων της.

Χαρακτηριστικά τα αποτελέσματα είναι:

- Η εργασία αποκατάστασης “Επισκευή Εξωτερικής Διαρροής” θα διενεργείται κάθε 60 μήνες. Το πλήθος των εργασιών όμως μεταβάλλεται από 28 σε 24.
- Η εργασία αποκατάστασης “Καθαρισμός Δέσμης Εναλλάκτη” όπως αναφέραμε και πριν δεν απαιτήθηκε να βελτιστοποιηθεί καθώς το “Μακροπρόθεσμο Κόστος Προγραμματισμένης Συντήρησης” είναι πολύ μικρότερο από “Μακροπρόθεσμο Κόστος λόγω αστοχίας του εξοπλισμού”. Η συγκεκριμένη εργασία θα πραγματοποιείται ως έχει (κάθε 60 μήνες) και με πλήθος εργασιών σταθερό στις 47 εργασίες.

Συμπερασματικά οι 2 παραπάνω εργασίες παραμένουν σαν Φυσικό Αντικείμενο στην υπάρχουσα εφαρμοζόμενη Γενική Συντήρηση της επιχείρησης (Γενική συντήρηση κάθε 60 μήνες), με μια μικρή μείωση στο πλήθος. Οι δύο εργασίες αποκατάστασης που ακολουθούν, μετατοπίζονται χρονικά όπως θα αναλύσουμε παρακάτω. Κατόπιν αυτού του γεγονότος, **ο περιορισμός του Φυσικού Αντικειμένου, κάθε Γενικής Συντήρησης, είναι της τάξης του 32%.**

- Η Εργασία “Επισκευή Εσωτερικής Διαρροής” θα διενεργείται κάθε 117 μήνες (κάθε 2 Γενικές Συντηρήσεις περίπου), με μικρή μείωση στο πλήθος εργασιών από 12 σε 10 εργασίες. Πρέπει να επισημάνουμε ότι αντίστοιχα κόστη για αυτή την εργασία είναι σχετικά διαχειρίσιμα.

- Τέλος η εργασία αποκατάστασης “Ανατούμπωση/Αναύλωση Δέσμης Εναλλάκτη” πρέπει να διενεργείται κάθε 106 μήνες και με πλήθος εργασιών από 17 σε 12 εργασίες. Θα μπορούσε λοιπόν η συγκεκριμένη εργασία αφού εκτελεστεί σε μια Γενική Συντήρηση να μην εκτελεστεί και στην επόμενη, αλλά να εκτελεστεί στο μεθεπόμενο pit-stop. Οφείλουμε στο συγκεκριμένο σημείο να αναφέρουμε ότι “pit stop” ορίζεται μια διαδικασία ελεγχόμενης συντήρησης και μικρότερου εύρους από την Γενική Συντήρηση, η οποία παρεμβάλλεται χρονικά μεταξύ 2 Γενικών Συντηρήσεων. Στα pit stop εντάσσονται αρκετές νευραλγικές εργασίες.
- ✓ Αν εφαρμοστούν οι παρακάτω αλλαγές το κέρδος για την επιχείρηση σε βάθος 50 χρόνων, από την συντήρηση 114 εναλλακτών θα είναι μεγαλύτερο από 2,2 εκ. €. Αν προσθέσουμε και το “Προληπτικό Κόστος Ανοίγματος του Εξοπλισμού”, που πλέον δεν απαιτείται τότε το κέρδος ξεπερνά τα 2,4 εκ. €. Κατόπιν των παραπάνω έχουμε **περιορισμό σε επίπεδο κόστους συντήρησης της τάξης του 45%**.
- ✓ Αν σκεφτούμε ότι τα παραπάνω αφορούν μόνο το 1/3 του εξοπλισμού τότε το κέρδος για την επιχείρηση μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερο.
- ✓ Το χαρακτηριστικότερο συμπέρασμα σε αυτό το σημείο είναι ότι για να επιτευχθεί αποτελεσματική βελτιστοποίηση, ειδικά στα σύνθετα επίπεδα της συντήρησης, απαιτείται η μεταβολή δύο ή/και περισσότερων μεταβλητών εισόδου.
- ✓ Επίσης πρέπει οι περιορισμοί, που θα τεθούν, να εξυπηρετούν την φυσική του προβλήματος και να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.
- ✓ Μέρος των χρημάτων που εξοικονομούνται από την παραπάνω αναπροσαρμογή της προληπτικής προγραμματισμένης συντήρησης της επιχείρησης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ασφάλεια του προσωπικού κατά το Έργο της Γενικής Συντήρησης, όπως και σε άλλες δραστηριότητες της επιχείρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2 - ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ/ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και της αντίστοιχης βελτιστοποίησης αφορούν μόνο ένα συγκεκριμένο δείγμα από το πλήθος των εναλλακτών θερμότητας του διυλιστηρίου. Όπως είχαμε αναφέρει και προηγούμενα οι εναλλάκτες θερμότητας έχουν μεγάλο εύρος εργασιών αποκατάστασης βλαβών. Οι εργασίες αυτές όμως έχουν σχετικά μικρό κόστους σε σχέση με εργασίες σε άλλα μέρη εξοπλισμού.

Σαν μελλοντική έρευνα θα μπορούσαμε να προτείνουμε να γίνουν αντίστοιχες εργασίες βελτιστοποίησης της Γενικής Συντήρησης για εργασίες αποκατάστασης βλαβών που αφορούν άλλα εξαρτήματα μιας Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας όπως:

- ✓ Πύργοι Απόσταξης
- ✓ Φούρνοι
- ✓ Αντιδραστήρες
- ✓ Συμπιεστές

Εν κατακλείδι το πεδίο έρευνας της Θεωρίας της Συντήρησης και οι αντίστοιχες εφαρμοζόμενες πρακτικές που αφορούν μια Μεγάλη Μηχανολογική Μονάδα, είναι ένας τομέας διαρκώς εξελισσόμενος και αναπτυσσόμενος. Η έρευνα αυτού του πεδίου απαιτεί εμβάθυνση και συμπόρευση με τις νέες πρακτικές και με τα σύγχρονα εργαλεία, ώστε το Έργο της Συντήρησης μιας Μεγάλης Μηχανολογικής Μονάδας να είναι αποτελεσματικότερο, οικονομικότερο και ασφαλέστερο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Sadik Kakaç and Hongtan Liu, 2002. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design (2nd ed.). CRC Press
- [2] Σημειώσεις Μαθήματος Μεταφοράς Θερμότητας Τμήμα Μεταλλειολόγων Μηχανικών, 2010 ΕΜΠ <http://www.metal.ntua.gr/uploads/2263/enallaktes.pdf>
- [3] Saunders, E. A. 1988. Heat Exchanges: Selection, Design and Construction. New York: Longman Scientific and Technical
- [4] PFA Properties. Fluorotherm Polymers, Inc. 2014, <http://www.fluorotherm.com/>.
- [5] Perry, Robert H. and Green, Don W. 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook (6th Edition ed.). McGraw-Hill
- [6] "Shell and Tube Exchangers". Southwest Thermal Technology Inc. Retrieved, 2009.
- [7] <http://thermex.co.uk/Shell-and-Tube-Heat-Exchangers-1>. Thermex
- [8] <http://www.shell-tube.com/Corrosion-Failure.html>, Southwest Thermal Technology Inc. Retrieved 2009.
- [9] M. Rasmussen, Driftsteknikk, 2003. GK. NTNU
- [10] Inge Lundhaug Berdahl, 2011 Turnaround strategy development - a case study
- [11] Driftsteknikk GK, 2011 TMR4160 - Course Material
- [12] Petroleum Safety Authority Norway webpage
- [13] Duffuaa, S.O., Raouf, A. and Campbell, J. 1999, Maintenance Planning and Control: Modeling and Analysis, Wiley, New York, NY.
- [14] Project Management Body of Knowledge-PMBOK
- [15] Duffuaa, S.O., Raouf, A. and Campbell, J. 1999, Maintenance Planning and Control: Modeling and Analysis , Wiley, New York, NY.
- [16] Project Management Institute 2000, A guide to the Project Management Body of Knowledge , 2000 Editions, available at: www.pmi.org/
- [17] Κώστογλου Β., 2010 Διοίκηση και Προγραμματισμός Έργων http://aetos.it.teithe.gr/~vkostogl/files/Epixeirisiaki/Project%20Management_GR_Teliko.pdf
- [18] Lenahan, T. 1999, Turnaround management , Butterworth Heinemann, Oxford.

[19] Τσιμπούρα Παναγιώτα 2011, Μελέτη εφαρμογής βασικών δεικτών απόδοσης στο πεδίο της διοίκησης έργων ΠΜΣ Οικονομική και Επιχειρησιακή στρατηγική

[20] <http://kpilibrary.com>

[21] Ι.Βωσσοσ,2014 Σημειώσεις μαθήματος Αξιοπιστία Συστημάτων - Μηχανών – Εξαρτημάτων

[22] Applying PMBOK to Shutdowns, Turnarounds and Outages from Bernard Ertl Vice President, Inter Plan Systems Inc

[23] Based on Table 3-1, Page 61, Project Management Institute, a Guide to the Project Management Body Of Knowledge (PMBOK Guide – Fifth Edition, Project Management

[24] Π. Υψηλάντης, 2012, Επιχειρησιακή Έρευνα