



# Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας

Ποσοτική και βάσει κινδύνου προσέγγιση της  
βελτιστοποίησης των διαστημάτων προληπτικής  
συντήρησης των Μετρητικών και Ρυθμιστικών  
Σταθμών Φυσικού Αερίου της ΕΠΑ ΑΤΤΙΚΗΣ Α.Ε

Διπλωματική Εργασία

της

**ΕΙΡΗΝΗΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ Π. ΔΑΡΕΙΩΤΑΚΗ**

**Επιβλέπων:** Τατσιόπουλος Ηλίας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Ηλία Τατσιόπουλο τόσο για την άριστη συνεργασία μας όσο και την καθοδήγηση που προσέφερε. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Νεκταρία Δερβάκου για την αμέριστη βοήθεια της στη διεκπεραίωση της Διπλωματικής, καθώς και το κ. Βασίλειο Βασιλείου για την παροχή και επεξήγηση όλων των απαραίτητων πληροφοριών για την παρούσα ανάλυση. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχαν καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



## Περίληψη

Η ανάπτυξη του κλάδου του φυσικού αερίου, έχει δημιουργήσει την απαίτηση για συνεχή λειτουργία και υψηλή απόδοση των εκάστοτε επιχειρήσεων διαχείρισης του. Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη εργαλείων λήψης αποφάσεων δραστηριοτήτων συντήρησης σε πολύπλοκες εγκαταστάσεις με επιστημονική βάση. Η παρούσα διπλωματική ασχολείται με τη δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου, υπολογισμού των διαστημάτων συντήρησης των μετρητικών σταθμών της εταιρίας Φυσικού Αερίου ΕΠΑ Αττικής.

Η εταιρία ΕΠΑ Αττικής είναι επιχείρηση διανομής φυσικού αερίου και το δίκτυο της αποτελείται από ένα πρωτεύον δίκτυο με δευτερεύουσες εγκαταστάσεις, που τροφοδοτεί μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες. Για την μέτρηση και μείωση της πίεσης στα δευτερεύοντα δίκτυα, υπάρχουν ειδικοί σταθμοί μέτρησης της παροχής τροφοδοσίας των πελατών. Η επίλυση που παρουσιάζεται αφορά την μελέτη αστοχιών αυτών των σταθμών και τη δημιουργία προγραμματισμένου πλάνου συντήρησης τους.

Κάθε σταθμός παρουσιάζει διαφορετική συχνότητα βλαβών η οποία κατά βάση επηρεάζεται από τα επίπεδα σκόνης, οδηγώντας σε περισσότερες αντικαταστάσεις φίλτρων. Έτσι για την μοντελοποίηση, ως αστοχίες λήφθηκαν υπόψιν οι απρογραμματιστές αλλαγές φίλτρων. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν αρχικά οι χρόνοι παρέμβασης λόγω διορθωτικών συντηρήσεων από τα ιστορικά στοιχεία της επιχείρησης, ώστε να βρεθεί η συμπεριφορά των σταθμών σε σχέση με τις ενδεχόμενες βλάβες. Έπειτα διαπιστώθηκε η κατανομή που ακολουθούν οι βλάβες και υπολογίστηκε η αξιοπιστία του υπό μελέτη εξοπλισμού.

Έπειτα επιλέχθηκε η μελέτη αντιπροσωπευτικών σταθμών της εταιρίας προκειμένου να υπολογισθεί η επικινδυνότητα που ενέχει κάθε σταθμός. Για τον υπολογισμό του συντελεστή αυτού χρησιμοποιήθηκαν ποσοτικά κριτήρια για τον προσδιορισμό των πιθανοτήτων και ποιοτικά κριτήρια για την εύρεση των επιπτώσεων. Ο συντελεστής που υπολογίστηκε είναι αποτέλεσμα της πιθανότητας και επίπτωσης αστοχίας και παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τον προσδιορισμό βέλτιστου πλάνου συντήρησης. Για την ολοκλήρωση της μελέτης αναπτύχθηκε ένα επιπλέον μοντέλο βάσει της θεωρίας αντικατάστασης εξαρτημάτων, από όπου καθορίστηκαν τα βέλτιστα διαστήματα για μείωση του συνολικού κόστους συντήρησης.



## Abstract

The development of the natural gas industry, has led to an increasing demand for constant function as well as high performance of the companies responsible for its distribution. In order to achieve this goal, it is necessary that decision making tools be developed. This thesis project is focusing on creating a model for calculating and optimizing maintenance intervals for the natural gas company EPA Attikis.

EPA, located in Athens, is a major natural gas distributor and its network consists of a primary network with secondary facilities that supply big industrial customers. For the measurement and reduction of the pressure in the secondary networks, special stations exist. The proposed method is primarily concerned with studying failures at those stations and developing a new maintenance schedule.

Every station appears to have a different frequency of failure, which is influenced by the dust levels, leading in more frequent filter replacements. For the development of the model only the non-scheduled filter changes were considered as failures. The first step of the analysis was to study the historical data of the company in order to model the behavior of each station accordingly with the failures. Therefore, the data was input in a statistical software (EasyFit 5.6) to find the appropriate distribution and reliability of each station separately.

Then representative stations were chosen in order to calculate the risk posed by each of them. Thus qualitative and quantitative criteria were used for calculating a risk factor called RBM. This factor is the outcome of the probability and impact of failure and provides important information for maintenance plan optimization. The completion of the current study was achieved by the development of an additional model based on the theory of maintenance with parts replacement, from which optimal maintenance intervals for cost reduction were determined.





## Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	4
Abstract .....	6
Κατάλογος Σχημάτων .....	12
Κατάλογος εξισώσεων.....	14
Κατάλογος πινάκων.....	16
1 Εισαγωγή .....	18
1.1 Η σημασία της συντήρησης στους μετρητικούς σταθμούς Φυσικού Αερίου της ΕΠΑ Αττικής .....	18
1.2 Δομή Διπλωματικής.....	19
2 Η εταιρία Φυσικού Αερίου ΕΠΑ Αττικής .....	20
2.1 Ιστορική αναδρομή .....	20
2.2 Φυσικό Αέριο .....	20
2.2.1 Ιδιότητες Φυσικού Αερίου .....	21
2.2.2 Χρήσεις του Φυσικού Αερίου.....	22
2.3 Βασικοί ορισμοί.....	23
2.4 Η εφοδιαστική αλυσίδα του ελληνικού φυσικού αερίου.....	27
2.4.1 Εξαγωγή και μεταφορά Φυσικού Αερίου .....	27
2.5 Περιγραφή των εγκαταστάσεων της ΕΠΑ Αττικής .....	30
2.6 Τεχνική περιγραφή Ρυθμιστικών και Μετρητικών σταθμών.....	37
2.6.1 Κατηγοριοποίηση Ρυθμιστικών και Μετρητικών σταθμών.....	40
2.7 Δραστηριότητες Συντήρησης .....	40
2.7.1 Προληπτική συντήρηση δικτύου.....	42
2.7.2 Διορθωτική συντήρηση.....	43
2.8 Έλεγχος δικτύου .....	43
2.8.1 Γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα .....	43
2.8.2 Σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων.....	43
2.9 Λειτουργικά προβλήματα με υψηλή συχνότητα εμφάνισης.....	45
2.9.1 Κρίσιμα εξαρτήματα Υπέργειων Μετρητικών σταθμών .....	45
2.9.2 Κρίσιμα εξαρτήματα Υπόγειων Μετρητικών σταθμών.....	48
2.10 Ενέργειες και μέτρα Ασφαλείας.....	49
2.11 Διαδικασίες Αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών .....	49

3	Το πρόβλημα της συντήρησης .....	50
3.1	Η σημασία της συντήρησης .....	50
3.2	Επιπτώσεις ελλιπούς συντήρησης .....	51
3.3	Στόχοι της διοίκησης συντήρησης.....	52
3.4	Μέθοδοι Συντήρησης.....	53
3.4.1	Σύντομη Ιστορική Αναδρομή.....	53
3.5	Σύγχρονες Μέθοδοι Συντήρησης .....	55
3.5.1	Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance).....	55
3.5.2	Προληπτική Συντήρηση.....	56
3.6	Νέες προσεγγίσεις συντήρησης.....	59
3.6.1	Συντήρηση βάσει εκτίμησης επικινδυνότητας .....	60
4	Στοιχεία Αξιοπιστίας.....	62
4.1	Τύποι βλαβών.....	62
4.1.1	Τύποι βλαβών μηχανολογικού εξοπλισμού.....	64
4.2	Μορφή μεταβλητών.....	65
4.3	Κατανομές .....	65
4.3.1	Κανονική Κατανομή (Normal Distribution) .....	65
4.3.2	Τριγωνική κατανομή (Triangular distribution).....	67
4.3.3	Κατανομή Γάμα (Gamma Distribution) .....	68
4.3.4	Κατανομή Poisson (Poisson distribution).....	69
4.3.5	Εκθετική Κατανομή (Exponential distribution) .....	70
4.3.6	Κατανομή Weibull (Weibull distribution).....	71
5	Συντήρηση βάσει εκτίμησης Επικινδυνότητας (Risk-Based Maintenance, RBM).....	73
5.1	Θεμελιώδη στοιχεία της RBM .....	74
5.1.1	Μέθοδοι Εκτίμησης της RBM.....	75
5.1.2	Ημιοσοτική Μέθοδος Εκτίμησης Επικινδυνότητας .....	75
5.2	Διαδικασία της Εκτίμησης Επικινδυνότητας.....	76
5.3	Δομή της RBM .....	77
5.4	Εφαρμογή της RBM .....	78
5.5	Βήματα της RBM.....	79
5.5.1	Η έννοια του Συστήματος και των υποδιαίρέσεων του.....	79
5.5.2	Αναγνώριση Αντικειμένου μελέτης.....	81
5.5.3	Εκτίμηση κινδύνου (Αναγνώριση και Ποσοτικοποίηση).....	81
5.5.4	Συλλογή Δεδομένων.....	91

5.5.5	Επιλογή τρόπου αξιολόγησης .....	92
5.5.6	Αξιολόγηση κινδύνου .....	94
5.5.7	Προγραμματισμός συντήρησης .....	95
5.5.8	Εκτέλεση και αξιολόγηση .....	95
5.6	Αξιολόγηση πιθανότητας αστοχίας.....	96
5.6.1	Μονάδες μέτρησης της ανάλυσης των Πιθανοτήτων Αστοχίας.....	97
5.6.2	Τύποι ανάλυσης Πιθανότητας αστοχιών .....	97
5.6.3	Υπολογισμός της Πιθανότητας Αστοχίας .....	98
5.7	Αξιολόγηση Επιπτώσεων Αστοχίας .....	100
5.7.1	Τύποι ανάλυσης επιπτώσεων .....	100
5.8	Αξιολόγηση κινδύνου με τη χρήση πίνακα Κινδύνου .....	102
5.8.1	Εκτίμηση κινδύνου .....	102
5.8.2	Εκτίμηση και βελτιστοποίηση των συντελεστών συντήρησης .....	104
5.9	Συμπεράσματα της μεθόδου RBIM.....	105
6	Αντικατάσταση μεμονωμένων εξαρτημάτων .....	106
6.1	Διορθωτική συντήρηση .....	107
6.2	Προληπτική συντήρηση .....	107
6.2.1	Στρατηγική Α.....	107
6.2.2	Στρατηγική Β.....	109
7	Ορισμός του υπό μελέτη προβλήματος.....	110
7.1	Παρούσα κατάσταση.....	110
7.1.1	Διαθέσιμα δεδομένα.....	110
8	Προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης .....	113
8.1	Περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε.....	113
8.2	Μελέτη περίπτωσης δέκα μετρητικών σταθμών .....	115
8.2.1	Σταθμός 1 .....	117
8.2.2	Σταθμός 2 .....	119
8.2.3	Σταθμός 3 .....	121
8.2.4	Σταθμός 4 .....	123
8.2.5	Σταθμός 5 .....	126
8.2.6	Σταθμός 6 .....	127
8.2.7	Σταθμός 7 .....	129
8.2.8	Σταθμός 8 .....	131
8.2.9	Σταθμός 9 .....	133

8.2.10	Σταθμός 10 .....	134
8.2.11	Εκτίμηση κινδύνου (RBM) .....	136
9	Εκτίμηση διαστημάτων συντήρησης.....	141
10	Συμπεράσματα .....	148
10.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων .....	148
	Βιβλιογραφία .....	150

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Εφοδιαστική αλυσίδα φυσικού αερίου Αττικής .....	28
Σχήμα 2 Χάρτης δικτύου σταθμών ΕΠΑ .....	29
Σχήμα 3 Μονογραμμικό σχέδιο λειτουργίας μετρητικών σταθμών .....	38
Σχήμα 4 Τεχνικό σχέδιο σταθμού 19/4 bar .....	39
Σχήμα 5 Στιγμιότυπο διπλού σταθμού DR από το SCADA .....	44
Σχήμα 6 Σχέση κόστους - είδους συντήρησης.....	52
Σχήμα 7 Περίοδοι εξέλιξης συντήρησης .....	53
Σχήμα 8 Καμπύλη ρυθμού βλαβών (bathtub curve).....	63
Σχήμα 9 Μορφή κανονικής κατανομής.....	66
Σχήμα 10 Τριγωνικές κατανομές διαφορετικών παραμέτρων .....	68
Σχήμα 11 Κατανομή Γάμα .....	68
Σχήμα 12 Κατανομή Poisson .....	70
Σχήμα 13 Απεικόνιση του τρόπου που επηρεάζει ο συντελεστής λ την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας .....	70
Σχήμα 14 Καμπύλη Weibull για διάφορες τιμές του β .....	72
Σχήμα 15 Γενική δομή της Εκτίμησης Επικινδυνότητας βάσει Κινδύνου (RBM) .....	73
Σχήμα 16 Πεδίο Εκτίμησης Επικινδυνότητας βάσει Ρίσκου .....	74
Σχήμα 17 Συσχέτιση των προσεγγίσεων εκτίμησης ρίσκου.....	76
Σχήμα 18 Προσέγγιση της RBM.....	76
Σχήμα 19 Δομή RBIM τεσσάρων βημάτων.....	77
Σχήμα 20 Γενική απεικόνιση Συστήματος και υποδιαίρέσεων του .....	80
Σχήμα 21 Ενδεικτική εφαρμογή ανάλυσης επικινδυνότητας στην Ολική Διαθεσιμότητα μιας εγκατάστασης.....	82
Σχήμα 22 Υπολογισμός επιπτώσεων συμβάντος (Khan and Haddara, 2003).....	83
Σχήμα 23 Ανάλυση χρόνου που το σύστημα δεν λειτουργεί λόγω αστοχίας.....	87
Σχήμα 24 Συμβολισμός των δένδρων σφαλμάτων .....	88
Σχήμα 25 Ενδεικτικό παράδειγμα υπολογισμού πιθανοτήτων με FTA .....	89
Σχήμα 26 Αναγνώριση και Ποσοτικοποίηση κινδύνου .....	90
Σχήμα 27 Παράγοντες που συμβάλουν στην ποιότητα της RBM .....	92
Σχήμα 28 Το γενικό πλαίσιο ανάπτυξης RBIM (DNV, 2010) .....	94
Σχήμα 29 Ετήσιο πλάνο 2013, ΕΠΑ Αττικής .....	110
Σχήμα 30 Σύνδεση καταναλώσεων με βλάβες φίλτρων, ΕΠΑ Αττικής .....	111
Σχήμα 31 Είσοδος έξοδος λογισμικού EasyFit .....	113
Σχήμα 32 Επιλογή κατανομής .....	114
Σχήμα 33 Εισαγωγή δεδομένων και εύρεση παραμέτρων .....	114
Σχήμα 34 Παράδειγμα κατανομής συχνότητας πιθανότητας.....	116
Σχήμα 35 Αξιοπιστία Σταθμού 1.....	118
Σχήμα 36 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 1 .....	118
Σχήμα 37 Αξιοπιστία σταθμού 2 .....	120
Σχήμα 38 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 2 .....	120
Σχήμα 39 Αξιοπιστία Σταθμού 3.....	122
Σχήμα 40 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 3 .....	122

Σχήμα 41 Αξιοπιστία Σταθμού 4.....	125
Σχήμα 42 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 4 .....	125
Σχήμα 43 Αξιοπιστία Σταθμού 5.....	126
Σχήμα 44 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 5 .....	127
Σχήμα 45 Αξιοπιστία Σταθμού 6.....	128
Σχήμα 46 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 6 .....	128
Σχήμα 47 Αξιοπιστία Σταθμού 7.....	130
Σχήμα 48 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 7 .....	130
Σχήμα 49 Αξιοπιστία Σταθμού 8.....	132
Σχήμα 50 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 8 .....	132
Σχήμα 51 Αξιοπιστία Σταθμού 9.....	133
Σχήμα 52 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 9 .....	134
Σχήμα 53 Αξιοπιστία Σταθμού 10.....	135
Σχήμα 54 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 10 .....	135
Σχήμα 55 Χάρτης των υπό μελέτη σταθμών .....	139

## Κατάλογος εξισώσεων

4-1.....	64
4-2.....	64
4-3.....	65
4-4.....	65
4-5.....	66
4-6.....	66
4-7.....	66
4-8.....	67
4-9.....	67
4-10.....	67
4-11.....	67
4-12.....	67
4-13.....	67
4-14.....	68
4-15.....	69
4-16.....	69
4-17.....	69
4-18.....	69
4-19.....	70
4-20.....	70
4-21.....	70
4-22.....	71
4-23.....	71
4-24.....	71
4-25.....	71
5-1.....	84
5-2.....	84
5-3.....	85
5-4.....	85
5-5.....	85
5-6.....	85
5-7.....	85
5-8.....	86
5-9.....	86
5-10.....	87
5-11.....	89
5-11.....	95
5-12.....	97
5-13.....	105
5-14.....	105
6-1.....	107
6-2.....	107

6-3.....	108
6-4.....	108
6-5.....	108
6-6.....	108
6-7.....	108
6-8.....	108
6-9.....	109
6-10.....	109
6-11.....	109
6-12.....	109
8-1.....	141
8-2.....	142



## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Χημική σύσταση φυσικού αερίου.....	22
Πίνακας 2 Πίνακας δραστηριοτήτων λειτουργίας και συντήρησης ΕΠΑ.....	41
Πίνακας 3 Προβλήματα με υψηλή συχνότητα σε υπέργειους σταθμούς.....	46
Πίνακας 4 Προβλήματα με υψηλή συχνότητα σε υπόγειους σταθμούς.....	48
Πίνακας 5 Πίνακας εκτίμησης της απόδοσης συστήματος.....	84
Πίνακας 6 Ποσοτικοποίηση του παράγοντα σημαντικότητας (IM) (Khan and Abbasi, 1997)	86
Πίνακας 7 Ποιοτική θεώρηση αστοχίας βάσει της RBM.....	97
Πίνακας 8 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στην Ασφάλεια.....	101
Πίνακας 9 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στην Υγεία.....	101
Πίνακας 10 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στο Περιβάλλον.....	102
Πίνακας 11 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στην Επιχείρηση.....	102
Πίνακας 12 Παράδειγμα υπολογισμού κινδύνου βάσει πίνακα RBM.....	103
Πίνακας 13 Παράδειγμα λήψης αποφάσεων με πίνακα υπολογισμού.....	104
Πίνακας 14 Κωδικοί Σταθμών.....	115
Πίνακας 15 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 1.....	117
Πίνακας 16 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 2.....	119
Πίνακας 17 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 3.....	121
Πίνακας 18 Διορθωτικές συντηρήσεις σταθμού.....	124
Πίνακας 19 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 5.....	126
Πίνακας 20 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 6.....	127
Πίνακας 21 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 7.....	129
Πίνακας 22 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 8.....	131
Πίνακας 23 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 9.....	133
Πίνακας 24 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 10.....	134
Πίνακας 25 Συγκεντρωτικός πίνακας πιθανοτήτων αστοχιών των δέκα σταθμών.....	136
Πίνακας 26 Πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας των 10 σταθμών.....	136
Πίνακας 27 Δεδομένα σκόνης ΕΠΑΑ.....	138
Πίνακας 28 επίπτωση λόγω επιπέδων σκόνης.....	138
Πίνακας 29 Δείκτης κινδύνου κάθε σταθμού της ΕΠΑΑ.....	140
Πίνακας 30 Σταθμός 1.....	143
Πίνακας 31 Σταθμός 2.....	143
Πίνακας 32 Σταθμός 3.....	144
Πίνακας 33 Σταθμός 4.....	144
Πίνακας 34 Σταθμός 5.....	144
Πίνακας 35 Σταθμός 6.....	145
Πίνακας 36 Σταθμός 7.....	145
Πίνακας 37 Σταθμός 8.....	145
Πίνακας 38 Σταθμός 9.....	146
Πίνακας 39 Σταθμός 10.....	146
Πίνακας 40 Ηλικία προληπτικής συντήρησης σταθμών ΕΠΑΑ.....	147
Πίνακας 41 Αποτελέσματα των δύο μεθόδων.....	148



# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Η σημασία της συντήρησης στους μετρητικούς σταθμούς Φυσικού Αερίου της ΕΠΑ Αττικής

Λόγω της τάσης διεθνοποίησης τις τελευταίες δεκαετίες, η σημασία της συντήρησης γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη. Οι ιδιοκτήτες και υπεύθυνοι επιχειρήσεων διύλισης πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν την εναλλακτική λύση να διαμορφώνουν το πρόγραμμα συντήρησης των εγκαταστάσεων τους, εξετάζοντας τη συχνότητα εμφάνισης αστοχίας σε αυτές. Για αυτό τον λόγο κρίνεται αναγκαία η δυνατότητα ανάπτυξης ενός αξιόπιστου πλάνου συντήρησης και αξιολόγησης του κινδύνου (Pouliezos and Stavrakakis 2013).

Τις τελευταίες δεκαετίες πληθώρα ερευνητών έχουν επικεντρωθεί στο πρόβλημα της δημιουργίας προγραμματισμένου πλάνου συντήρησης, λόγω της απαίτησης για αύξηση της αποδοτικότητας, της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας του παραγωγικού εξοπλισμού των επιχειρήσεων, σε συνδυασμό με την μείωση του κόστους συντήρησης τους. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έχουν αναπτυχθεί προσεγγίσεις που βασίζονται στον κίνδυνο και στο κόστος. Σχεδόν σε όλες τις προσεγγίσεις αξιολογείται η πιθανότητα εμφάνισης ενός ανεπιθύμητου γεγονότος και των συνεπειών του σε σχέση με το χρόνο το κόστος και την ποιότητα.

Η παρούσα διπλωματική ασχολείται με την μοντελοποίηση και επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος συντήρησης, το οποίο προσεγγίζει ικανοποιητικά τις συνθήκες που επικρατούν στην πράξη. Συγκεκριμένα μελετάται ο καθορισμός των κατάλληλων διαστημάτων συντήρησης σε μετρητικούς σταθμούς της επιχείρησης φυσικού αερίου ΕΠΑ Αττικής. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έγινε χρήση δεδομένων που αφορούσαν τις δραστηριότητες συντήρησης προηγούμενων ετών δραστηριοποίησης της εταιρίας. Για την πραγματοποίηση της έρευνας, έγινε:

- Μελέτη της μεθόδου συντήρησης βάσει κινδύνου RBM (Risk Based Maintenance)
- Αναθεώρηση των συστημάτων και υποσυστημάτων του δικτύου διανομής φυσικού αερίου ανάλογα με τη λειτουργία, μορφή και τους πελάτες στους οποίους απευθύνονται, σε κατηγορίες είδους
- Συλλογή δεδομένων συντήρησης και ανάλυση τους για τον καθορισμό του ζητούμενου ρυθμού συντήρησης
- Προσδιορισμός παραγόντων που επηρεάζονται από τη συντήρηση
- Επικύρωση του μοντέλου με προηγούμενα στοιχεία συντήρησης και αποδεκτά όρια κινδύνου.

## 1.2 Δομή Διπλωματικής

### **Κεφάλαιο 1**

Περιγράφεται η σημασία της συντήρησης.

### **Κεφάλαιο 2**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται και περιγράφεται η επιχείρηση ΕΠΑ Αττικής Α.Ε από τεχνικής και λειτουργικής οπτικής.

### **Κεφάλαιο 3**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα βασικότερα είδη συντήρησης που εφαρμόζονται στη βιομηχανία.

### **Κεφάλαιο 4**

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται κατανομές χρήσιμες για την ανάλυση προβλημάτων εκτίμησης προγραμματισμένου πλάνου συντήρησης

### **Κεφάλαιο 5**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται μία μέθοδος συντήρησης που ονομάζεται μέθοδος συντήρησης βάσει εκτίμησης κινδύνου RBM.

### **Κεφάλαιο 6**

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύχθηκε η θεωρία προληπτικής συντήρησης με αντικατάσταση όμοιων εξαρτημάτων.

### **Κεφάλαιο 7**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το πρόβλημα προς επίλυση και τα διαθέσιμα δεδομένα.

### **Κεφάλαιο 8**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μαθηματική μοντελοποίηση του εξεταζόμενου προβλήματος και επεξηγούνται αναλυτικά οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν.

### **Κεφάλαιο 9**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η αναλυτική επίλυση του προβλήματος με μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.

### **Κεφάλαιο 10**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και αποτελέσματα που προέκυψαν από την επίλυση του προβλήματος και η γραφική απεικόνισή τους.

## 2 Η εταιρία Φυσικού Αερίου ΕΠΑ Αττικής

Η Εταιρεία Παροχής Αερίου (ΕΠΑ) Αττικής Α.Ε. ιδρύθηκε το Νοέμβριο του 2001 ως ο αποκλειστικός διανομέας του φυσικού αερίου για οικιακή και επαγγελματική χρήση στην γεωγραφική περιοχή της Αττικής. Ο διακριτικός τίτλος της ΕΠΑ Αττικής είναι “Φυσικό Αέριο Αττικής”.

Η εταιρία ΕΠΑ Αττικής ΑΕ έχει αναλάβει την αρμοδιότητα των δικτύων φυσικού αερίου πίεσης λειτουργίας έως και 19bar στην περιοχή της Αττικής. Τα δίκτυα μέσης πίεσης είναι τα δίκτυα με πίεση λειτουργίας άνω των 4 bar έως 19 bar και αποτελούν συνδυασμό παλαιού δικτύου, με ημερομηνία εγκατάστασης την δεκαετία του 1980, αρχικά υπό τον έλεγχο της ΔΕΦΑ Αττικής (μετέπειτα ΕΔΑ Αττικής), νεώτερα δίκτυα, που κατασκευάστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1990 από την ΔΕΠΑ ΑΕ και νέα δίκτυα που κατασκευάζονται από την ΕΠΑ Αττικής.

### 2.1 Ιστορική αναδρομή

Πρόδρομος του φυσικού αερίου στην Ελλάδα ήταν το φωταέριο. Το 1857 το φωταέριο άρχισε να παράγεται από πρώτη ύλη το κάρβουνο σε εργοστάσιο στο Γκάζι, ενώ το 1939 η εταιρία περιήλθε στη διαχείριση από το Δήμο Αθηναίων (Δημοτική Επιχείρηση Φωταερίου Αθηνών, ΔΕΦΑ). Η ΔΕΦΑ προμήθευε τους καταναλωτές με φωταέριο μέχρι το 1985, όπου σταμάτησε η λειτουργία του εργοστασίου και ξεκίνησε η παραγωγή αερίου από νάφθα στα Δημόσια Διυλιστήρια Ασπροπύργου.

Η τεχνολογική εξέλιξη και οι σύγχρονες απαιτήσεις οδήγησαν στην αναζήτηση και χρήση πιο αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον μορφών ενέργειας. Έτσι το 1988 εισήχθη το φυσικό αέριο στην Ελλάδα μέσω της ΔΕΠΑ από όπου εξυπηρετούνταν οι μεγάλοι πελάτες.

Το 1996 η Αθήνα άρχισε να προμηθεύεται το φυσικό αέριο από την Ρωσία, μέσω αγωγών και λίγο αργότερα από την Αλγερία, με ειδικά δεξαμενόπλοια μέσω των δικτύων της ΔΕΠΑ.

Το 2001 ιδρύθηκε η Εταιρία Παροχής Αερίου (ΕΠΑ) Αττικής για την αποκλειστική διανομή του αερίου στην Αττική.

Σήμερα η ΕΠΑ Αττικής, μέσω ενός σύγχρονου δικτύου αγωγών, επεκτείνεται διαρκώς, διανέμοντας με φυσικό αέριο καθημερινά και με ασφάλεια χιλιάδες νοικοκυριά και επιχειρήσεις σε όλη την Αττική.

### 2.2 Φυσικό Αέριο

Πριν γίνει περιγραφή των εγκαταστάσεων και δραστηριοτήτων της ΕΠΑ Αττικής κρίνεται σκόπιμο να γίνει σύντομη αναφορά στο προϊόν που παρέχει στους πελάτες της. Το φυσικό

αέριο είναι ένα καύσιμο αέριο μίγμα απλών υδρογονανθράκων, που συνήθως απαντάται σε βαθιούς υπόγειους ταμειυτήρες που δημιουργούνται σε πορώδη πετρώματα. Μπορεί να βρεθεί μόνο του ή με αργό πετρέλαιο και συμπυκνώματα υδρογονανθράκων - αερίων που υγροποιούνται σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση και μοιάζουν αρκετά με κηροζίνη.

Με αργό ρυθμό, με την πάροδο 200 έως 400 εκατομμυρίων ετών, η πίεση και η θερμότητα από την γη μετέτρεψαν τα υπολείμματα φυτών και μικρών θαλάσσιων ζώων που θάφτηκαν κάτω από ιζήματα σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Αν και το φυσικό αέριο έχει μακρά ιστορία χρήσης ως πηγή ενέργειας, σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής του έρχεται από τις ΗΠΑ και την Ρωσία.

Το φυσικό αέριο είναι μια σημαντική συνιστώσα στην παγκόσμια προσφορά ενέργειας. Είναι μια από τις πιο καθαρές, ασφαλείς και χρήσιμες ενεργειακές πηγές. Το φυσικό αέριο ως αέριο είναι άχρωμο και άοσμο στην καθαρή μορφή του. Είναι όμως αρκετά σημαντικό καθώς είναι καύσιμο και όταν καίγεται παράγει μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Σε αντίθεση με άλλα ορυκτά καύσιμα, ωστόσο, το φυσικό αέριο καίγεται καθαρά παράγοντας κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς και μικρά ποσά οξειδίων του αζώτου. Ως αποτέλεσμα, η χρήση του φυσικού αερίου θα πρέπει να αυξηθεί μελλοντικά κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα ευεργετικό για το περιβάλλον.

### 2.2.1 Ιδιότητες Φυσικού Αερίου

Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σε αυτό και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου, καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, υδρογόνο, ήλιο και υδρόθειο. Το φυσικό αέριο που είναι απαλλαγμένο από τους υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου, δηλαδή το καθαρό μεθάνιο, συχνά αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο. Αντίστοιχα, το φυσικό αέριο που συμπεριλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο, αποκαλείται και υγρό φυσικό αέριο.

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχόν διαρροές. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αέριων καυσίμων. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59. Η καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων όπως ο γαιάνθρακας ή το λάδι, έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Παράγει, για παράδειγμα, μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

Η καύση του σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον, παράγοντας μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Αποτελεί την καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι σαφώς μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου, περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση. Μόνο σε

συγκεκριμένη αναλογία με τον αέρα και εάν υπάρξει σπινθήρας μπορεί να γίνει έκρηξη (εφόσον υπάρξει σπινθήρας 5-15%, ενώ για υγραέρια 2-9%).

Συστατικά	% κατά όγκο σύσταση
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	70-90
Αιθάνιο (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	5-15
Προπάνιο (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) & Βουτάνιο (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	<5
CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, κτλ.	Μικρότερες ποσότητες

Πίνακας 1 Χημική σύσταση φυσικού αερίου

Τα χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου το καθιστούν συμβατό με τους υφιστάμενους εναλλακτικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης (δείκτης οκτανίου υψηλότερος του 110, θερμική δύναμη 10% μεγαλύτερη του πετρελαίου).

### 2.2.2 Χρήσεις του Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο λόγω των ιδιοτήτων του έχει πληθώρα χρήσεων, τόσο οικιακών όσο και βιομηχανικών. Ενδεικτικές χρήσεις του είναι :

- Χρήση ως βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Χρήση για την παραγωγή Υδρογόνου
- Καύσιμο οικολογικών οχημάτων
- Οικιακή χρήση
- Άλλες χρήσεις όπως παραγωγή γυαλιού, υφασμάτων, ατσαλιού, πλαστικών, ειδών χρωματισμού και άλλων προϊόντων

Τα χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου ευνοούν τη χρήση του στον βιομηχανικό τομέα, καθώς είναι εφικτή η συνεχής παροχή καυσίμου. Κάτι τέτοιο εξασφαλίζει απρόσκοπτη λειτουργία και αποδέσμευση κεφαλαίων που σε άλλες περιπτώσεις απαιτούνται για τη διατήρηση αποθεμάτων και αποθηκευτικών χώρων, έχει μειωμένες, σε σχέση με άλλα καύσιμα, εκπομπές ρύπων, έτσι η χρήση του συμβάλλει στο καθαρότερο περιβάλλον και στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, έχει μειωμένο λειτουργικό κόστος διαχείρισης καυσίμου και συντήρησης, αυξημένη ενεργειακή απόδοση και οικονομία, συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και παρέχει ευχέρεια χειρισμού και ελέγχου.

## 2.3 Βασικοί ορισμοί

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν οι ορισμοί εννοιών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική τόσο για την τεχνική περιγραφή της υπό μελέτη επιχείρησης όσο και για την ανάλυση που θα ακολουθήσει στα επόμενα κεφάλαια. Οι έννοιες αυτές περιγράφονται παρακάτω:

### **Πίεση**

Χαρακτηρίζεται η δύναμη που ασκείται στη μονάδα της επιφάνειας ενός αγωγού από το ρευστό που κινείται εντός του και ορίζεται ως το πηλίκο της ασκούμενης δύναμης που δρα σε μια επιφάνεια δια του εμβαδού της επιφάνειας αυτής.

### **Πίεση σχεδιασμού (DP)**

Είναι η τιμή της πίεσης για τη οποία έγινε η μελέτη του δικτύου φυσικού αερίου.

### **Πίεση λειτουργίας (OP)**

Είναι η τιμή της πίεσης που αναπτύσσεται στους σωληναγωγούς του δικτύου κάτω από ομαλές συνθήκες λειτουργίας.

### **Μέγιστη πίεση λειτουργίας (MOP)**

Είναι η μέγιστη πίεση αερίου που επιτρέπεται να ασκηθεί στους σωληναγωγούς.

### **Ατμοσφαιρική ή Βαρομετρική πίεση**

Ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα με το βάρος της στην επιφάνεια της γης. Στην επιφάνεια της γης η ατμοσφαιρική πίεση ισούται, κατά μέσον όρο με το βάρος στήλης ύδατος ύψους 11 μ.(m) περίπου ή με το βάρος στήλης υδραργύρου ύψους 760χιλ. (mm)

### **Σχετική πίεση (barg)**

Είναι η πίεση ενός ρευστού σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση.

### **Απόλυτη πίεση (bara)**

Είναι το άθροισμα της ατμοσφαιρικής και της σχετικής πίεσης.

### **Κανονικό Κυβικό Μέτρο Αερίου (Αδιόρθωτα m<sup>3</sup>)**

Η ποσότητα της μάζας του ξηρού φυσικού αερίου που καταλαμβάνει όγκο ενός κυβικού μέτρου σε συνθήκες απόλυτης πίεσης PN=1,01325 bar και θερμοκρασίας TN=0°C.

### **Διορθωμένο Κυβικό Μέτρο Αερίου (Nm<sup>3</sup>)**

Η ποσότητα της μάζας του ξηρού φυσικού αερίου, που καταλαμβάνει όγκο ενός κυβικού μέτρου m<sup>3</sup> επί το συντελεστή διόρθωσης ο οποίος λαμβάνει υπόψιν την πίεση και τη θερμοκρασία υπό τις οποίες βρίσκεται το αέριο τη στιγμή της μέτρησης.

### **Θερμογόνος Δύναμη**

Η ποσότητα της θερμότητας που απελευθερώνεται από την τέλεια στοιχειομετρική καύση με αέρα ενός κανονικού κυβικού μέτρου φυσικού αερίου, κάτω από την πίεση 1,325 bar. Η αρχική θερμοκρασία του καυσίμου μίγματος καθώς και η τελική θερμοκρασία των



προϊόντων της καύσης θεωρείται αυτή των 0°C. Ονομάζουμε τη θερμογόνο δύναμη ανωτέρα (ΑΘΔ) όταν το νερό που παράγεται κατά την καύση βρίσκεται σε υγρή κατάσταση στα προϊόντα της καύσης. Η μονάδα μέτρησης της θερμογόνου δύναμης είναι Kcal/Nm<sup>3</sup>.

### **Ανάφλεξη**

Η έναρξη της καύσης. Για να συμβεί απαιτούνται τρεις παράγοντες:

- Καύσιμο
- Οξυγόνο, στην απαραίτητη αναλογία με το καύσιμο
- Πηγή ανάφλεξης (πχ σπινθήρας)

### **Όρια αναφλεξιμότητας**

Τα όρια της απαιτούμενης αναλογίας καυσίμου/αέρα για να συμβεί ανάφλεξη. Για το φυσικό αέριο τα όρια ανάφλεξης είναι 5% (κατώτερο, Lower Explosive Limit) έως και 15% (ανώτερο, Higher Explosive Limit).

### **City Gate**

Το σημείο παράδοσης φυσικού αερίου στην ΕΠΑ Αττικής το οποίο αποτελεί και το σημείο έγχυσης της οσμητικής ουσίας στο δίκτυο της.

### **Δίκτυο Αερίου**

Είναι το σύνολο των συνδεδεμένων σωλήνων, εξαρτημάτων και εξοπλισμού μέσω των οποίων διανέμεται το φυσικό αέριο.

### **Σωλήνας Αερίου**

Είναι το σύνολο των συνδεδεμένων σωλήνων, εξαρτημάτων και εξοπλισμού μέσω των οποίων διανέμεται το φυσικό αέριο.

### **Εξαρτήματα αγωγών**

Αντικείμενα σύνδεσης τμημάτων αγωγού κατασκευασμένα από ίδια με τον αγωγό υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται προκειμένου να επιταχύνεται αλλαγή όδευσης αγωγού ή κάθετης σύνδεσης δύο αγωγών ή τερματισμός αγωγού ή δημιουργίας σημείου σύνδεσης του αγωγού με κινητό εξωτερικό εξοπλισμό (π.χ. καμπύλη, ταυ, τάπα, φλάντζα).

### **Μόνωση**

Ομοιόμορφη προστατευτική κάλυψη χαλύβδινων σωλήνων και εξαρτημάτων για αντιδιαβρωτική προστασία κατασκευασμένη από πολυμερισμένα υλικά.

### **Βάνα**

Διάταξη μέσω της οποίας επιτρέπεται ή αποτρέπεται η ροή του αερίου εντός του αγωγού. Ο συνδυασμός δύο η περισσότερων βανών δίδει τη δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης της ροής του αερίου.

### **Παροχτετευτικός αγωγός**

Συναρμολογημένα σύνολα σωλήνων και εξαρτημάτων, που είναι από το τμήμα σύνδεσης με τον κεντρικό αγωγό έως και το σημείο παράδοσης του αερίου. Θα πρέπει να σημειωθεί πως στα εξαρτήματα συμπεριλαμβάνονται οι βάνες απομόνωσης οι ρυθμιστές, οι μετρητές και τα λοιπά όργανα που συνδέονται στο παροχτετευτικό αγωγό.

### **Εξοπλισμός**

Είναι οι σταθμοί ΜΡ, τα τροφοδοτικά καθοδικής προστασίας, οι μετρητικοί σταθμοί καθοδικής προστασίας, τα πύλλαρ τηλε-ελέγχου-τηλεχειρισμού, οι Διορθωτές όγκου, οι ρυθμιστές πίεσης, οι μετρητές, τα καταγραφικά πίεσης.

### **Σταθμός μέτρησης/ρύθμισης**

Είναι μηχανολογική διάταξη με σκοπό την μείωση της πίεσης και τη μέτρηση των διερχόμενων ποσοτήτων αερίου.

### **Ρυθμιστής αερίου**

Είναι μηχανολογική διάταξη με σκοπό τη μείωση και τη διατήρηση της πίεσης στην επιθυμητή τιμή.

### **Μετρητής αερίου**

Όργανο για τη μέτρηση των όγκων του αερίου που διέρχονται μέσω αυτού χωρίς να διακόπτει τη ροή αερίου.

### **Καθοδική Προστασία**

Σύστημα ενεργητικής προστασίας του χαλύβδινου αγωγού έναντι της φυσικής διαδικασίας διάβρωσης στην οποία υπόκεινται όλα τα θαμμένα μεταλλικά αντικείμενα.

### **Πύλλαρ**

Ερμάριο εντός του οποίου φιλοξενείται ο ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός ελέγχου είτε των σταθμών 19/4 bar είτε των ηλεκτροκινήτων βανοστασίων είτε των τροφοδοτικών του Κεντρικού Αγωγού (ΚΑ).

### **Όσμηση**

Η εισαγωγή χημικής ουσίας η οποία προσδίδει τη χαρακτηριστική οσμή στο φυσικό αέριο το οποίο σε φυσική μορφή είναι άοσμο.

### **Scada (Σύστημα τηλεελέγχου, τηλεχειρισμού και τηλεμετρίας, supervisory control and data acquisition)**

Είναι σύστημα του δικτύου φυσικού αερίου, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο ηλεκτρονικού εξοπλισμού και λογισμικού, το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την παρακολούθηση διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε απομακρυσμένα σημεία του δικτύου

και από τα οποία συλλέγονται δεδομένα / μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο με σκοπό τη διαχείριση ανάλυση και αποθήκευσή τους.

### **Τηλεμέτρηση**

Χρήση της ηλεκτρονικής συσκευής, -όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του Scada- για την ένδειξη, καταγραφή και τη μετάδοση στοιχείων σε κεντρικό σύστημα προκειμένου να είναι δυνατή η παρακολούθηση σημαντικών λειτουργικών δεδομένων όπως η παροχή και η πίεση του αερίου σε ένα σταθμό.

### **Όργανα ανίχνευσης αερίου**

Συσκευές μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα ανίχνευσης του ακριβούς ποσοστού παρουσίας αερίου στην ατμόσφαιρα ή σε κλειστό χώρο ή εντός αγωγού.

### **ΡΤΖ ή διορθωτής όγκου**

Συσκευή η οποία δέχεται σήματα-πληροφορίες από το μετρητή αερίου, το πιεσόμετρο και το θερμόμετρο και διορθώνει τον όγκο, μετατρέποντας τα αδιόρθωτα κυβικά αερίου σε διορθωμένα για λόγους τιμολόγησης.

### **Περιοχή ευθύνης λειτουργίας**

Για το χαλύβδινο δίκτυο διανομής αερίου 19 bar αρχίζει από τη συγκόλληση εξόδου του μονωτικού συνδέσμου που χωρίζει τα συστήματα καθοδικής προστασίας ΔΕΣΦΑ-ΕΠΑ και τελειώνει στη φλάντζα εξόδου των σταθμών διανομής 19/4 bar ή στο σημείο όπου ο αγωγός εξόδου των σταθμών IND διέρχεται κάτω από τη περίφραξη οριοθέτησης των ιδιοκτησιών ΕΠΑ και βιομηχανικού καταναλωτή.

Για το δίκτυο διανομής 4 bar αρχίζει από τη φλάντζα εξόδου του μονωτικού συνδέσμου των σταθμών διανομής 19/4 bar και τελειώνει στη έξοδο του μετρητή του καταναλωτή ή στη φλάντζα εισόδου των σταθμών MRS ή στη φλάντζα εισόδου των σταθμών διανομής 4/0,025 bar και τελειώνει στην έξοδο του μετρητή του καταναλωτή.

### **Προληπτική συντήρηση**

Ενέργειες που σκοπό έχουν την εύρυθμη λειτουργία όλων των εξαρτημάτων ή των εγκαταστάσεων του δικτύου, τόσο μηχανολογικών όσο και ηλεκτρολογικών και τον περιορισμό του ενδεχόμενου εμφάνισης βλάβης.

### **Διορθωτική Συντήρηση**

Ενέργειες που σκοπό έχουν την επαναφορά του δικτύου και των εγκαταστάσεων του στην αρχική τους κατάσταση μετά την εμφάνιση δυσλειτουργίας ή βλάβης ή ζημιάς.

### **Μεταπωλητικές εργασίες**

Εργασίες που εκτελούνται μετά από αίτημα πελάτη ή για την υποστήριξη λειτουργιών της εταιρίας που σχετίζονται με πελάτη.

## **Εργασίες υποστήριξης Κατασκευαστικού Έργου**

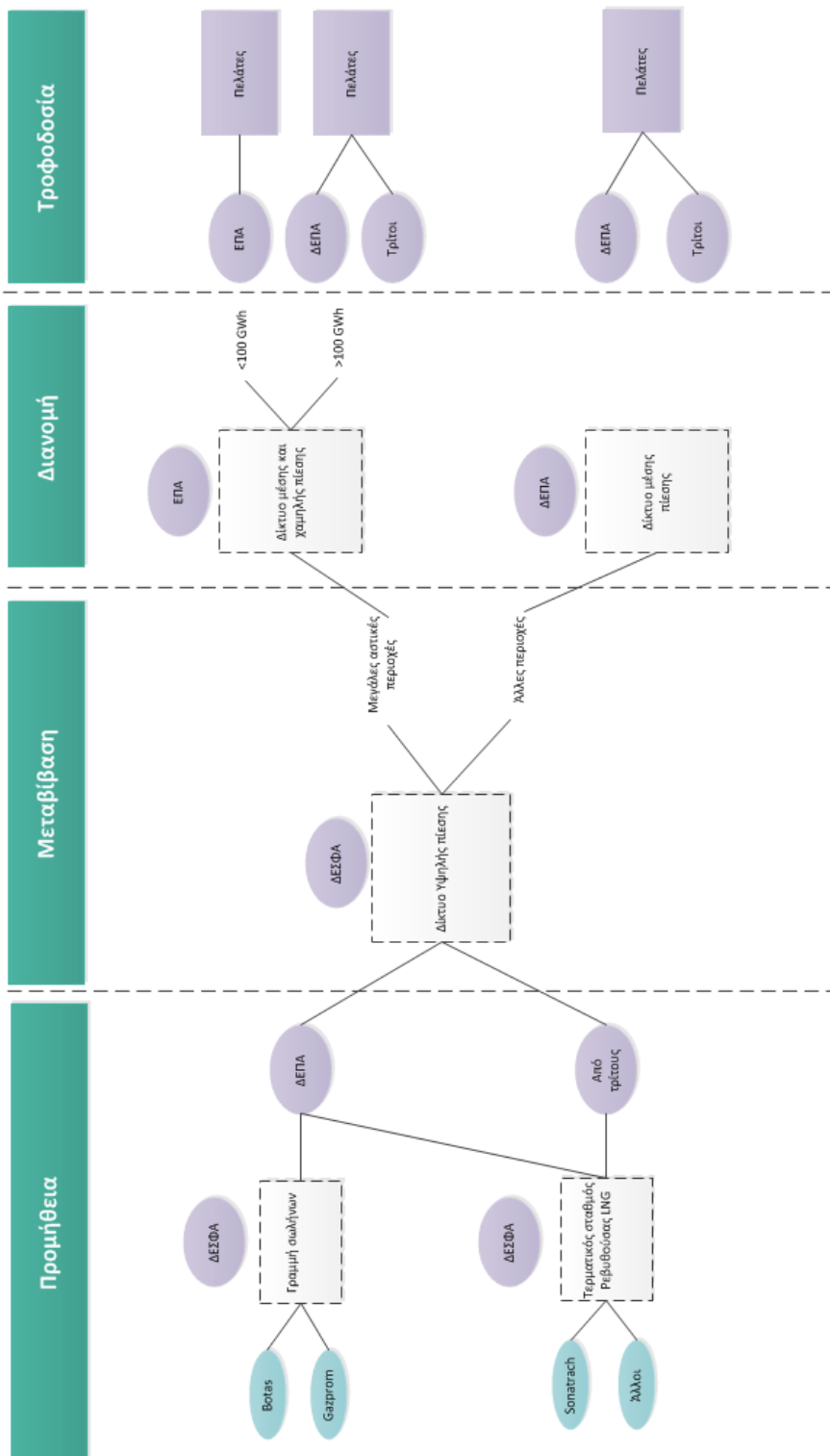
Εργασίες που σκοπό έχουν τη σύνδεση νέου δικτύου ή εγκαταστάσεων με το εν λειτουργία δίκτυο και την ενεργοποίηση τους.

## **2.4 Η εφοδιαστική αλυσίδα του ελληνικού φυσικού αερίου**

### **2.4.1 Εξαγωγή και μεταφορά Φυσικού Αερίου**

Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως· συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία.

Οι μεγάλοι αγωγοί υψηλής πίεσης καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του αερίου σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων. Παραδείγματα τέτοιων αγωγών είναι οι αγωγοί της Βόρειας Αμερικής, που εκτείνονται από το Τέξας και τη Λουιζιάνα μέχρι τη βορειοανατολική ακτή και από την Αλμπέρτα ως τον Ατλαντικό. Αγωγοί επίσης εκτείνονται από τη Σιβηρία μέχρι την Κεντρική και Δυτική Ευρώπη. Οι έρευνες για πετρέλαιο έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων αερίου στην Αφρική, Μέση Ανατολή, Αλάσκα και αλλού. Η μεταφορά από τέτοιες περιοχές γίνεται με πλοία. Το αέριο υγροποιείται στους -160 βαθμούς Κελσίου και μεταφέρεται, όπως το πετρέλαιο, με δεξαμενόπλοια ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτό. Ένα κυβικό μέτρο υγρού φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε 600 κυβικά μέτρα αερίου σε ατμοσφαιρική πίεση. Το ειδικό βάρος του υγρού αερίου είναι σχετικά χαμηλό (περίπου 0,55).



Σχήμα 1 Εφοδιαστική αλυσίδα φυσικού αερίου Αττικής

## Προμήθεια

Όπως παρουσιάζεται και σχηματικά, η ΔΕΠΑ εισάγει το φυσικό αέριο μέσω γραμμών σωληνών και του τερματικού σταθμού της Ρεβυθούσας, ενώ παράλληλα μέσω της Ρεβυθούσας ή σωληνώσεων τροφοδοτούνται άλλοι πελάτες.

## Μεταβίβαση

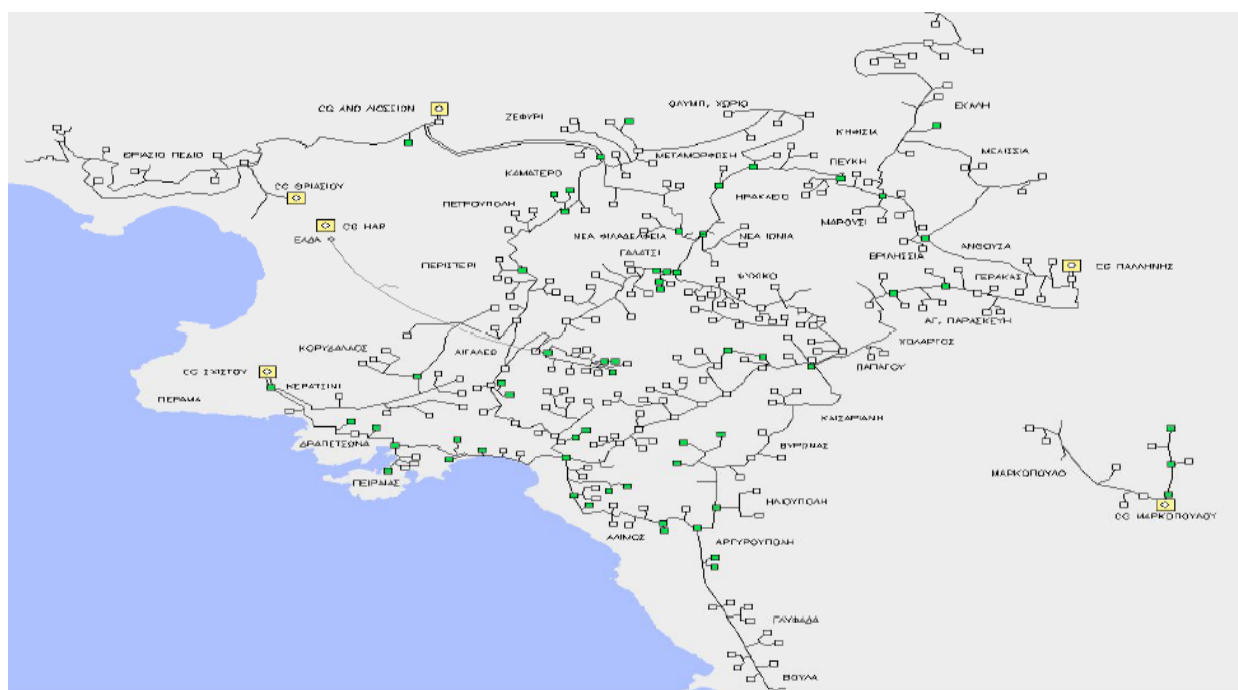
Οι γραμμές σωληνώσεων και ο τερματικός σταθμός LNG στη Ρεβυθούσα διαχειρίζονται από τη ΔΕΣΦΑ και το φυσικό αέριο στην Ελλάδα μεταδίδεται μέσω του δικτύου υψηλής πίεσης της ΔΕΣΦΑ.

## Διανομή

Η εταιρία ΕΠΑ διανέμει το φυσικό αέριο μέσω του δικτύου χαμηλής και μέσης πίεσης στους αντίστοιχους αστικούς τομείς. Στους υπόλοιπους τομείς το αέριο διανέμεται μέσω δικτύου μέσης πίεσης.

## Τροφοδοσία

Ο ρόλος της ΕΠΑ αφορά την τροφοδοσία πελατών με καταναλώσεις σε ενέργεια λιγότερη από 100 GWh, ενώ οι πελάτες που καταναλώνουν ενέργεια μεγαλύτερη από 100 GWh, τροφοδοτούνται είτε από την ΔΕΠΑ είτε από τρίτους προμηθευτές. Στις υπόλοιπες περιοχές οι πελάτες τροφοδοτούνται από τη ΔΕΠΑ ή από τρίτους. Παρακάτω παρουσιάζεται το δίκτυο της ΕΠΑ Αττικής σε μορφή χάρτη όπως παρουσιάζεται στο σύστημα SCADA της εταιρίας.



Σχήμα 2 Χάρτης δικτύου σταθμών ΕΠΑ

## 2.5 Περιγραφή των εγκαταστάσεων της ΕΠΑ Αττικής

Η περιγραφή ξεκινά αμέσως μετά τους σταθμούς Μέτρησης και Ρύθμισης του δικτύου υψηλής πίεσης (City Gates) της ΔΕΣΦΑ. Το σύστημα μέσης πίεσης της ΕΠΑ αττικής περιλαμβάνει όλα τα δίκτυα και τις και τις εγκαταστάσεις από την έξοδο των City Gates μέχρι και την έξοδο των Σταθμών Διανομής 19/4 bar ή των σταθμών Βιομηχανικών Πελατών που τροφοδοτούνται από το Σύστημα Μέσης Πίεσης.

### **Πρωτεύον δίκτυο**

Το πρωτεύον χαλύβδινο παροχευτικό δίκτυο με δευτερεύουσες εγκαταστάσεις τροφοδοτεί με φυσικό αέριο την Αθήνα και τα περίχωρά της καθώς και μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες. Η Μέγιστη Πίεση Λειτουργίας είναι 19 Bar.

### **Σταθμοί μέτρησης της παροχής δευτερευόντων δικτύων**

Οι σταθμοί μέτρησης της παροχής ή αλλιώς μείωσης της πίεσης (σταθμοί M/R) τροφοδοτούν τα δευτερεύοντα δίκτυα και τα ακόλουθα δίκτυα μέσης ή χαμηλής πίεσης, μειώνοντας την πίεση από τα 19 Bar σε 10 bar / 4 Bar/ 25 mbar κατά περίπτωση.

### **Σταθμοί μέτρησης της παροχής βιομηχανικών πελατών**

Οι σταθμοί μέτρησης της παροχής και μείωσης της πίεσης (σταθμοί M/R) Βιομηχανικών Πελατών τροφοδοτούν με φυσικό αέριο μεγάλους πελάτες.

Η πίεση εξόδου στους εν λόγω σταθμούς είναι (2bar,1bar,500mbar,300mbar,100mbar).

### **City Gates**

Είναι σταθμοί πίεσης αερίου και μέτρησης διερχομένων ποσοτήτων αερίου. Δέχονται στην είσοδο τους αέριο υπό τη μέγιστη πίεση 60 barg και την υποβιβάζουν στην πίεση των 19 barg διοχετεύοντας το στα χαλύβδινα δίκτυα της ΕΠΑΑ. Στους σταθμούς αυτούς είναι εγκατεστημένο το σύστημα όσμησης του ΦΑ που προσδίδει τη χαρακτηριστική οσμή στο ΦΑ προκειμένου να γίνεται αντιληπτή η παρουσία του στην ατμόσφαιρα. Η λειτουργία και συντήρηση αυτών των σταθμών είναι στην ευθύνη του Διαχειριστή του Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ) και αποτελούν την πύλη εισόδου (City Gates) του ΦΑ στα δίκτυα της ΕΠΑΑ. Ο νομός Αττικής τροφοδοτείται με ΦΑ μέσω πέντε τέτοιων σταθμών οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στην Ανθούσα, στο Σχιστό, στα Άνω Λιόσια, στον Ασπρόπυργο και στο Μαρκόπουλο αντίστοιχα.

## Σταθμοί Αποστολής/Παραλαβής Ξέστρων (Scrapper stations)

Είναι μηχανολογική διάταξη η οποία αποτελείται από χαλύβδινους σωλήνες, χαλύβδινες βάνες, σωληνώσεις εκτόνωσης του αερίου στην ατμόσφαιρα καθώς και την ξεστροπαγίδα. Η ξεστροπαγίδα είναι σωληνώση μεγαλύτερης – από τον κυρίως αγωγό – διατομής στην άκρη της οποίας υπάρχει θυρίδα μέσω της οποίας εισέρχεται ή εξέρχεται το ξέστρο. Το δίκτυο της ΕΠΑΑ διαθέτει δέκα σταθμούς ξεστρών οι οποίοι είναι τοποθετημένοι ανά ζεύγη κατάντη των City Gates Παλλήνης, Σχιστού, Άνω Λιοσίων, στο σταθμό της Combusta και στο χώρο ξεστροπαγίδων στον περιβάλλοντα χώρο του Κολυμβητηρίου στο Γουδή. Μέσω της ξεστροπαγίδας που υπάρχει στη αρχή ενός αγωγού, εισάγονται εντός του ξέστρα καθαρισμού τα οποία κατά τη διαδρομή τους μέσω του αγωγού, απομακρύνουν τυχόν υπάρχοντα σωματίδια (κυρίως σιδηρούχες ενώσεις, χώμα νερό και μικροαντικείμενα που εισήλθαν στον αγωγό κατά τη φάση της κατασκευής του). Η έξοδος των ξεστρών και η συλλογή των σωματιδίων επιτυγχάνεται μέσω της ξεστροπαγίδας που υπάρχει στην άλλη άκρη του αγωγού. Εκτός των ξεστρών καθαρισμού και σε τακτά χρονικά διαστήματα (ανά 15-20 έτη) εισάγονται εντός του αγωγού συσκευές (intelligent rigs) εφοδιασμένες με διάφορα όργανα οι οποίες διενεργούν λεπτομερή έλεγχο στα τοιχώματα του αγωγού που διαπιστώνουν τυχόν φθορές.

## Χαλύβδινο δίκτυο διανομής (Steel Network)

Η μέγιστη Πίεση Λειτουργίας του είναι τα 19 barg. Αποτελείται από χαλύβδινους αγωγούς διατομών από 18” έως και 4” και είναι πλήρως συγκολλητό. Είναι επικαλυμμένος με μόνωση πολυαιθυλενίου προκειμένου να προστατεύεται από το φαινόμενο της διάβρωσης των μετάλλων (παθητική προστασία). Επιπροσθέτως προστατεύεται από τη διάβρωση του μέσω του συστήματος Καθοδικής Προστασίας (ενεργή προστασία). Πάνω από το δίκτυο συνδέονται σταθμοί διανομής οι οποίοι υποβιβάζουν την πίεση από 19 bar ( ή 10 bar σε κάποια τμήματα).

- **Δίκτυο Θριασίου Πεδίου**

Το δίκτυο του Θριασίου Πεδίου, το οποίο αποτελείται από αγωγούς διαμέτρου 10”, 6” και 4” και τροφοδοτεί μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές καθώς και οικιακές και εμπορικές καταναλώσεις (μέσω αντίστοιχων σταθμών) στις περιοχές Ελευσίνας, Μάνδρας και Ασπρόπυργου. Το δίκτυο αυτό τροφοδοτείται με ΦΑ από το City Gate του Θριασίου Πεδίου και είναι γραμμικής μορφής, το οποίο σημαίνει ότι σε περίπτωση εμφάνισης προβλήματος σε κάποιο σημείο του ή στο City Gate, τότε στο τμήμα του δικτύου κατάντη του σημείου εμφάνισης του προβλήματος θα υπάρξει διακοπή τροφοδοσίας αερίου ή πτώση της πίεσης. Επίσης έχει κατασκευασθεί και ενεργοποιηθεί η σύνδεση του δικτύου της Αθήνας με το δίκτυο του Θριασίου Πεδίου μέσω της Λ. NATO.

- **Δίκτυο Μαρκόπουλου**

Το δίκτυο του Μαρκόπουλου-Κορωπίου το οποίο αποτελείται από αγωγούς διαμέτρου 8”, 6” και 4” και τροφοδοτεί μεγάλους βιομηχανικούς ή εμπορικούς (Αερολιμένας Αθηνών) καταναλωτές καθώς και οικιακές και εμπορικές



καταναλώσεις (μέσω αντίστοιχων σταθμών) στις περιοχές Μαρκόπουλου και Σπάτων. Το δίκτυο αυτό τροφοδοτείται με ΦΑ από το City Gate του Μαρκόπουλου και είναι γραμμικής μορφής, το οποίο σημαίνει ότι σε περίπτωση εμφάνισης προβλήματος σε κάποιο σημείο του ή στο City Gate, τότε στο τμήμα του δικτύου κατάντη του σημείου εμφάνισης του προβλήματος θα υπάρξει διακοπή τροφοδοσίας αερίου ή πτώση της πίεσης.

- **Δίκτυο περιοχής Αθηνών**

Το δίκτυο της ευρύτερης περιοχής Αθηνών το οποίο αποτελείται από αγωγούς διαμέτρου 18", 14", 10", 8", 6" και 4" και τροφοδοτεί μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές καθώς και οικιακές και εμπορικές καταναλώσεις (μέσω αντίστοιχων σταθμών) σε όλες τις περιοχές της Αθήνας και του Πειραιά και των προαστίων. Το δίκτυο αυτό τροφοδοτείται με ΦΑ από τρεις City Gates τα οποία είναι εγκατεστημένα στο Σχιστό Περάματος, στα Άνω Λιόσια και στην Παλλήνη. Είναι κατασκευασμένο σε μορφή διπλού δακτυλίου με έναν εξωτερικό και έναν εσωτερικό οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους σε τρία σημεία. Ο εξωτερικός δακτύλιος ουσιαστικά συνδέει μεταξύ τους τα τρία City Gates, τα οποία είναι εγκατεστημένα Βόρεια, Δυτικά και Ανατολικά των Αθηνών και μέσω των τριών συνδέσεων με τον εσωτερικό δακτύλιο μεταφέρεται το ΦΑ μέχρι το κέντρο της Αθήνας. Είναι κατασκευασμένο σε μορφή διπλού δακτυλίου με έναν εξωτερικό και έναν εσωτερικό οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους σε τρία σημεία. Ο εξωτερικός δακτύλιος ουσιαστικά συνδέει μεταξύ τους τα τρία City Gate, τα οποία είναι εγκατεστημένα Βόρεια, Δυτικά και Ανατολικά των Αθηνών και μέσω των τριών συνδέσεων με τον εσωτερικό δακτύλιο μεταφέρεται το ΦΑ μέχρι το κέντρο της Αθήνας.

Ένα δίκτυο κατασκευασμένο σε μορφή δακτυλίου το οποίο μάλιστα διαθέτει περισσότερες της μιας τροφοδοσίες (City Gate) έχει το πλεονέκτημα ότι εάν παρουσιάσει πρόβλημα σε κάποιο σημείο του ή σε κάποιο από τα City Gate που το τροφοδοτούν, τότε με κατάλληλους χειρισμούς βανών το πρόβλημα καθίσταται τοπικό και το υπόλοιπο δίκτυο τροφοδοτείται κανονικά με Φα από τις δύο άλλες πλευρές. Από το σχεδιασμό του συνολικού συστήματος διανομής 19 bar έχει γίνει πρόβλεψη μελλοντικής υλοποίησης των παρακάτω συνδέσεων:

- Τέταρτη σύνδεση του εξωτερικού με τον εσωτερικό δακτύλιο της Αθήνας
- Σύνδεση του δικτύου της Αθήνας με το δίκτυο του Μαρκόπουλου τόσο μέσω της Λ. Λαυρίου (βόρεια διασύνδεση) όσο και μέσω των Λ.Βουλιαγμένης και Βάρης-Κορωπίου(νότια διασύνδεση).

### **Βανοστάσια ή φρεάτια βανών (Valve Pits)**

Τα βανοστάσια είναι υπόγειοι χώροι κυβικής μορφής κατασκευασμένοι από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσα στους οποίους διέρχεται χαλύβδινος αγωγός. Η πρόσβαση σε αυτούς τους χώρους εξασφαλίζεται μέσω ανθρωποθυρίδας εγκατεστημένης στην επιφάνεια του εδάφους και κλίμακας, η οποία οδηγεί στο εσωτερικό του χώρου. Ο χώρος του

βανοστασίου αερίζεται μέσω δύο γαλβανιζέ σωλήνων με διάμετρο 6". Εκκινούν μέσα από το χώρο του βανοστασίου, ο ένας από το σημείο κοντά στο δάπεδο του χώρου και ο άλλος αντιδιαβητικά από το σημείο κοντά στην οροφή του χώρου. Περνούν κάθετα τα στοιχεία του βανοστασίου και τερματίζουν ως ζεύγος σωλήνων περίπου 2 μέτρα υψηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους. Μέσα στο βανοστάσιο και επί του αγωγού είναι εγκατεστημένη βάνα ίσης διατομής με αυτή του αγωγού. Εκατέρωθεν της βάνας αυτής είναι εγκατεστημένες σωληνώσεις μικρότερης διαμέτρου από αυτήν του κυρίως αγωγού με βάνες (by-pass) της αντίστοιχης διατομής οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους πάνω από την κυρίως βάνα και καταλήγουν στην επιφάνεια του εδάφους τερματίζοντας εντός μικρού κυλινδρικού φρεατίου. Οι σωληνώσεις αυτές αποτελούν το σύστημα εξαέρωσης/ αποσυμπίεσης του αγωγού και χρησιμοποιούνται προκειμένου να εκκενωθεί τμήμα αγωγού μεταξύ δύο βανών από ΦΑ. Η διατομή αυτών των σωλήνων καθώς και των βανών τους εξαρτάται από τη διατομή του κυρίως αγωγού επί του οποίου είναι εγκατεστημένες (πχ σε αγωγό 18" εγκαθίσταται εξαεριστικό σύστημα 3"). Ένα βανοστάσιο που περιλαμβάνει μία κύρια βάνα με το εξαεριστικό της σύστημα ονομάζεται βανοστάσιο μιας βάνας και χρησιμοποιείται για να κατατέμνει το δίκτυο σε μικρότερα τμήματα. Συνήθως βανοστάσια τμηματοποίησης εγκαθίστανται κάθε 2-3 km. Όταν ο αγωγός διέρχεται από ειδικά περάσματα όπως Λεωφόροι Ταχείας Κυκλοφορίας, Εθνικοί Οδοί και Γραμμές τραίνου τοποθετούνται βανοστάσια τμηματοποίησης εκατέρωθεν της διασταύρωσης με το ειδικό πέρασμα. Ένα βανοστάσιο εκτός από την τμηματοποίηση ενός αγωγού (μέσω των βανών που περιέχει) μπορεί επίσης να είναι και σημείο εκκίνησης ενός άλλου αγωγού κάθετα εγκατεστημένου ως προς τον κύριο αγωγό. Από τέτοιου είδους βανοστάσια εκκινούν οι κλάδοι οι οποίοι συνήθως καταλήγουν σε σταθμό διανομής ή σταθμό πελάτη. Σε βανοστάσια σύνδεσης δύο κύριων αγωγών συναντάμε τους δύο κύριους αγωγούς με τις βάνες τους σε παράλληλη διάταξη και εκατέρωθεν τους τις δύο συνδετήριες βάνες επί των συνδετήριων αγωγών με τα αντίστοιχα εξαεριστικά συστήματα τα οποία συνδέονται σε ένα. Τότε προκύπτει βανοστάσιων τεσσάρων βανών. Η πλειοψηφία των βανοστασίων είναι μιας ή τριών βανών.

### **Φρεάτια βανών θαμμένου τύπου (Buried Valve Pits)**

Τα φρεάτια βανών θαμμένου τύπου είναι κυλινδρικά φρεάτια που ξεκινούν από τη στέψη του αγωγού και καταλήγουν στην επιφάνεια του εδάφους. Καλύπτονται από καπάκι οβαλ σχήματος, στην περίπτωση που φιλοξενούν θαμμένη βάνα και κυκλικού σχήματος όταν φιλοξενούν τυφλή φλάντζα. Οι διαστάσεις τους είναι για μεν τα οβαλ καπάκια 250mmx300mm για δε τα κυκλικά χρησιμοποιούνται δύο ειδών (Φ300 και Φ350) ανάλογα με τη διατομή της φλάντζας που φιλοξενούν. Εντός του φρεατίου και ομοαξονικά με τον άξονα χειρισμού της βάνας τοποθετείται σωλήνας κατασκευασμένος από PVC διατομής 250mm, ο οποίος τερματίζει 10-15cm κάτω από το καπάκι του φρεατίου. Στο πάνω μέρος του σωλήνα τοποθετείται καπάκι προκειμένου να αποφεύγεται η εισροή υδάτων και ξένων σωμάτων στον προστατευτικό σωλήνα του άξονα της βάνας.

## Βάνες (Valves)

Τοποθετούνται επί του αγωγού και χρησιμοποιούνται προκειμένου να χωρίζεται ένα δίκτυο σε μικρότερα τμήματα με στόχο την καλύτερη διαχείριση του. Οι βάνες που χρησιμοποιούνται στα χαλύβδινα δίκτυα είναι σφαιρικές (ball valves) , πλήρους διάτρησης (full bore), πλήρους συγκολλητού σώματος (fully welded body) και διπλής (trunnion mounted) ή μονής (floating) στήριξης της σφαίρας ανάλογα με τη διατομή τους. Μπορεί να είναι υπέργεια τοποθετημένες, υπόγεια εντός βανοστασίου ή υπόγεια θαμμένες στο έδαφος. Ο χειρισμός τους, ανάλογα με τη διατομή τους ή τη χρήση τους μπορεί να γίνει μέσω γρاناζοκιβωτίου-με χειροτροχό ή ηλεκτροκινητήρα- είτε μέσω μοχλού ή με ειδικό κλειδί σχήματος ταυ εάν πρόκειται για θαμμένες στο έδαφος βάνες. Οι βάνες χωρίζονται στις παρακάτω ανάλογα με τη λειτουργική τους χρήση:

- I. **Κύριες βάνες (main valves)**, οι οποίες είναι ίσης διατομής με αυτήν του αγωγού επί του οποίου εγκαθίστανται. Οι διατομές των κύριων βανών που διαθέτει το δίκτυο είναι 18",14",10",8",6" και 4". Δύο κύριες βάνες ορίζουν ένα τμήμα αγωγού, βρίσκονται εγκατεστημένες εντός βανοστασίου και ο χειρισμός τους γίνεται μέσω γρاناζοκιβωτίου.
- II. **Βάνες ελέγχου διακλάδωσης (branch valves)**. Οι βάνες αυτές τοποθετούνται κάθετα ως προς τον άξονα του κυρίως αγωγού και εκατέρωθεν της κύριας βάνας και ελέγχουν έναν αγωγό διακλάδωσης. Οι διατομές των κύριων βανών που διαθέτει το δίκτυο είναι 18",14",10",8",6" και 4". Είναι πάντοτε δύο, προκειμένου ο αγωγός διακλάδωσης να μπορεί να ελεγχθεί αν κλείσει μία από τις δυο.
- III. **Βάνες συστήματος αποσυμπίεσης του αγωγού (by-pass valves)**. Οι βάνες αυτές βρίσκονται εκατέρωθεν της κύριας βάνας ή των βανών διακλαδώσεων και ο λόγος και χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που πρέπει να αποσυμπιεστεί τμήμα αγωγού. Για αυτό τον λόγο κλείνεται η κύρια βάνα και μέσω της αντίστοιχης βάνας αποσυμπιέζεται το τμήμα του αγωγού που επιθυμείται.
- IV. **Θαμμένη βάνα του συστήματος αποσυμπίεσης του αγωγού**. Αυτή η βάνα βρίσκεται εκτός του χώρου του βανοστασίου και η πρόσβαση της γίνεται μέσω του φρεατίου ΘΒ με ειδικό κλειδί χειρισμού σχήματος ταυ. Σε αυτή τη βάνα καταλήγουν οι σωληνώσεις που ξεκινούν από τις βάνες by-pass.

### Τερματικό Σημείο αποσυμπίεσης του Αγωγού

Σε αυτό το σημείο καταλήγουν οι σωληνώσεις που ξεκινούν από τις βάνες by-pass. Το σημείο αυτό ελέγχεται από τη θαμμένη βάνα του συστήματος αποσυμπίεσης του αγωγού. Στο τερματικό σημείο υπάρχει συγκολλημένη φλάντζα επί της οποίας συνδέεται με χρήση κοχλία-περικοχλίου τυφλή φλάντζα. Οι μόνες μηχανικές συνδέσεις που υπάρχουν στο χαλύβδινο δίκτυο είναι αυτές του τερματικού σημείου. Αφαιρώντας την τυφλή φλάντζα και ανοίγοντας τη θαμμένη βάνα καθώς και την αντίστοιχη βάνα by-pass έχουμε τη δυνατότητα να αποσυμπιέσουμε τμήμα του αγωγού ή να εκτελέσουμε άλλες εργασίες όπως αδρανοποίηση ή έκπλυση αγωγού.

### Σταθμοί Μέτρησης της παροχής/ Μείωσης της πίεσης (σταθμοί M/R)

Οι σταθμοί MR τροφοδοτούν δίκτυα μέσης ή χαμηλής πίεσης καθώς και βιομηχανικούς ή μεγάλους εμπορικούς καταναλωτές. Ανάλογα με την κατανάλωση που τροφοδοτούν,

διακρίνονται σε σταθμούς Διανομής ή σταθμούς Δικτύου και σε σταθμούς Πελατών. Οι σταθμοί Διανομής (MR DR) μειώνουν την πίεση ανάλογα με το δίκτυο που τροφοδοτούν από τα 19 bar και σε 10 bar, από τα 19 σε 4 bar και από τα 4 bar σε 25mbar. Οι σταθμοί Πελατών μειώνουν την πίεση ανάλογα με το δίκτυο από το οποίο τροφοδοτούνται και τον καταναλωτή τον οποίο τροφοδοτούν από τα 19 σε 2 bar ή 1 bar (MR IND), και από τα 4 bar σε 1, 0,5, 0,3, και 0,1 bar (MRS).

Ο ρυθμιστικός και μετρητικός σταθμός αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά εξαρτήματα:

- Είσοδο σταθμού με μονωτικό σύνδεσμο ή μεταβατικό εξάρτημα PE/ST
- Τις κεντρικές βάνες εισόδου ή βάνες εισόδου των γραμμών
- Φίλτρο αερίου
- Γραμμή ρύθμισης πίεσης με τις απαραίτητες ασφαλιστικές διατάξεις
- Γραμμή μέτρησης της παροχής ΦΑ
- Γραμμή παράκαμψης για την εξασφάλιση της συνεχούς τροφοδοσίας σε περίπτωση βλάβης ή επισκευής του μετρητή (μόνο στους σταθμούς IND19-6/4-2)
- Τις κεντρικές βάνες εξόδου
- Έξοδο σταθμού με μονωτικό σύνδεσμο ή μεταβατικό εξάρτημα PE/ST

### **Σύστημα SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**

Το σύστημα SCADA της ΕΠΑ αττικής εξυπηρετεί τις ανάγκες 24ώρου απομακρυσμένου ελέγχου και τηλεχειρισμού του δικτύου Μ.Π. φυσικού αερίου με στόχο την ενίσχυση της ασφάλειας της λειτουργίας του χαλύβδινου δικτύου διανομής μέσω της παρακολούθησης του σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα SCADA σε γενικές γραμμές αποτελείται από:

- Τον server του συστήματος, ο οποίος εκτελεί τις κύριες λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνίας με τον εξοπλισμό του πεδίου (RTU), μέσω κατάλληλου λειτουργικού προγράμματος (UNIX) και χρήσης modem
- Τους Τοπικούς ελεγκτές (RTU – Remote Terminal Units), οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στους σταθμούς MR/DR και στα ηλεκτροβανοστάσια του δικτύου Μ.Π. Οι συσκευές αυτές λαμβάνουν τα σήματα των αισθητήριων οργάνων των σταθμών MR/DR και των ηλεκτροβανοστασίων και το μεταφέρουν στο server, μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου του συστήματος και κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών (modem, router, terminal servers)
- Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο αποτελούμενο από μισθωμένες αναλογικές γραμμές ΟΤΕ (παλιό δίκτυο) και μισθωμένες (ή ADSL) ψηφιακές γραμμές (νέο δίκτυο)
- Το τοπικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο (τηλεφωνικές γραμμές κατά μήκος του αγωγού 19bar), το οποίο επιτρέπει τον σχηματισμό ενός ενιαίου ακτινικού δικτύου με τη δημιουργία τηλεπικοινωνιακών κόμβων

Ο server του συστήματος SCADA είναι εγκατεστημένος στο Κέντρο Ελέγχου Άμεσης Επέμβασης (ΚΕΑΕ) και εξυπηρετεί τις λειτουργικές απαιτήσεις τηλελέγχου και τηλεχειρισμού. Λαμβάνει όλα τα δεδομένα που αποστέλλονται από τους Τοπικούς Ελεγκτές, τα επεξεργάζεται και τα παρουσιάζει στις οθόνες του συστήματος, σε κατάλληλη γραφική μορφή.

Στους σταθμούς MR DR και MR IND καθώς και σε επιλεγμένα φρεάτια βανών του δικτύου ΜΠ υπάρχουν εγκατεστημένα όργανα και αυτοματισμοί, μέσω των οποίων μετρούνται χρήσιμα μεγέθη, ανιχνεύεται η κατάσταση λειτουργίας των σταθμών, η θέση των βανών και οι βλάβες που παρουσιάζονται στα ελεγχόμενα σημεία του δικτύου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται μέσω των εγκατεστημένων οργάνων και αυτοματισμών είναι:

Για τους σταθμούς MR:

- Πίεση αγωγού εισόδου
- Πίεση αγωγού εξόδου
- Θερμοκρασία αερίου στον αγωγό εξόδου
- Κατανάλωση αερίου
- Θέση (ανοιχτή-κλειστή-στραγγαλισμένη) όλων των βανών του σταθμού
- Διαφορική πίεση φίλτρων
- Ύπαρξη αερίου στο χώρο
- Ύπαρξη τάσης ΔΕΗ (ύπαρξη και διαδοχή φάσεων)
- Έλεγχος λειτουργίας UPS
- Έλεγχος της πόρτας του pillar του σταθμού

Για τα φρεάτια βανών:

- Σήματα κατάστασης των ηλεκτροκίνητων βανών (βάνα ανοιχτή- κλειστή)
- Ύπαρξη αερίου στο χώρο

### **Σύστημα καθοδικής προστασίας**

Το σύστημα καθοδικής προστασίας αποτελεί την ενεργητική προστασία του χαλύβδινου δικτύου διανομής.

Στόχος του συστήματος είναι η μεταβολή του φυσικού δυναμικού της μεταλλικής κατασκευής σε τιμές τέτοιες ώστε να επιτυγχάνεται η αντιστροφή της αντίδρασης οξείδωσης της μεταλλικής επιφάνειας. Κατά το σχεδιασμό του συστήματος λαμβάνεται υπόψη η παλαιότητα του δικτύου, οι συνθήκες όδευσης του αγωγού, η ποιότητα του εδάφους εγκατάστασης κλπ. Για να έχουμε αντίδραση οξείδωσης του αγωγού θα πρέπει αυτός να έρχεται σε επαφή με το οξειδωτικό περιβάλλον (έδαφος). Για να συμβεί αυτό και δεδομένου ότι ο αγωγός διαθέτει κατάλληλη μόνωση, θα πρέπει να έχει παρουσιαστεί σφάλμα στη μόνωση αυτή όπως απομάκρυνση της λόγω εξωτερικής παρέμβασης επί του αγωγού ή αποκόλληση της από τον αγωγό λόγω κακής αρχικής εφαρμογής.

Η χρήση συστήματος καθοδικής προστασίας νοείται μόνο με την ύπαρξη ηλεκτρολυτικού περιβάλλοντος (έδαφος ή νερό) οπότε δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε υπέργειες εγκαταστάσεις όπως σταθμούς αποξεστών και σταθμούς MR.

Το σύστημα καθοδικής προστασίας στηρίζεται στην εφαρμογή τάσης στην μεταλλική επιφάνεια με την δημιουργία ενός ηλεκτρολυτικού κελιού (άνοδος-κάθοδος-ηλεκτρολύτης). Η δημιουργία του ηλεκτρολυτικού κελιού επιτυγχάνεται με την εφαρμογή τάσης μεταξύ

καθόδου (προστατευόμενος αγωγός) και ανόδου (συστοιχία ανόδων ή αλλιώς κλίνη ανόδων).

Η τροφοδοσία του συστήματος πραγματοποιείται με τους ακόλουθους δύο τρόπους:

1. Εξωτερικά επιβαλλόμενη τάση (impressed current), όπου μεταξύ ανόδου και καθόδου τοποθετείται πηγή ρεύματος (Τροφοδοτικό Μηχάνημα Ανορθωτή/Μετασχηματιστή – T/R unit).
2. Θυσιαζόμενες άνοδοι (sacrificial anodes) οι οποίες είναι υλικά ηλεκτροαρνητικότερα του χάλυβα έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα φυσικό ηλεκτρολυτικό στοιχείο από τη διαφορά δυναμικού μεταξύ αγωγού και ανόδου. Οι άνοδοι στην περίπτωση αυτή παρέχουν ιόντα και ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα την ταχεία διάβρωση τους. Για το λόγο αυτό ονομάζονται και θυσιαζόμενες. Τα συνηθέστερα υλικά θυσιαζόμενων ανόδων είναι το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, το αλουμίνιο ή ακόμη και σίδηρος μεγάλης καθαρότητας. Οι άνοδοι τοποθετούνται σε κάθε σημείο τροφοδοσίας και μπορεί να είναι περισσότερες από μια. Το πλήθος και ο χρόνος ζωής αυτών εξαρτάται από τα αποτελέσματα της σχετικής μελέτης. Το σύνολο της εγκατάστασης ονομάζεται κλίνη ανόδων.

Προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα της καθοδικής προστασίας είναι αναγκαίο να ελέγχεται αν τα κριτήρια προστασίας πληρούνται σε όλη την έκταση της κατασκευής.

Για τον αξιόπιστο έλεγχο της Κ.Π. τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία σταθμοί μέτρησης, όπου με κατάλληλη συνδεσμολογία με την υπό προστασία κατασκευή (αγωγός) είναι δυνατό να μετρηθούν διάφορα μεγέθη όπως το δυναμικό, το ρεύμα προστασίας κλπ.

## 2.6 Τεχνική περιγραφή Ρυθμιστικών και Μετρητικών σταθμών

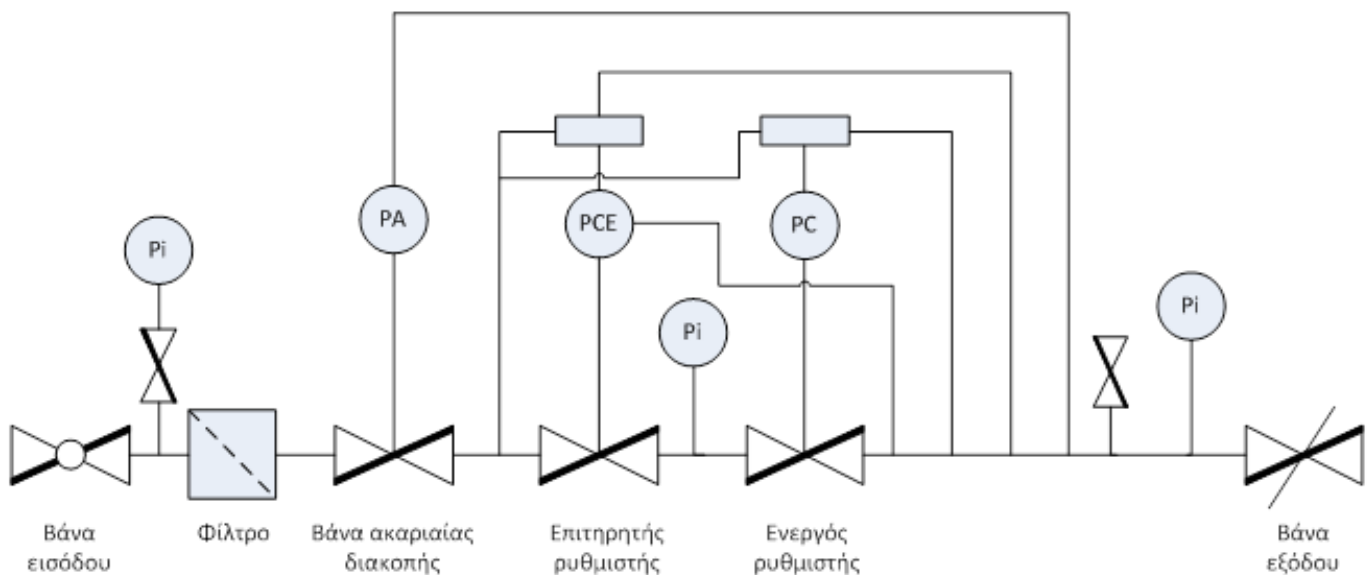
Η λειτουργία των ρυθμιστικών και μετρητικών σταθμών περιγράφεται ως εξής, στην είσοδο του Σταθμού τοποθετείται μονωτικός σύνδεσμος (μόνο στους σταθμούς MR που τροφοδοτούνται από χαλύβδινο δίκτυο ) για την ηλεκτρική απομόνωση του υπόγειου τμήματος του αγωγού από το υπέργειο τμήμα του Σταθμού και την αποφυγή δημιουργίας στατικού ηλεκτρισμού και δινορευμάτων. Το αέριο εισέρχεται στις σωληνώσεις μέσω της βάνας εισόδου της γραμμής. Το φίλτρο κατακρατεί τη σκόνη (μέχρι 5) και τα σωματίδια που μπορεί να εμπεριέχονται στο φυσικό αέριο. Ενσωματωμένο στο φίλτρο βρίσκεται ένα διαφορικό μανόμετρο το οποίο αποτελεί δείκτη της κατάστασης του φίλτρου. Η υγρασία και η σκόνη που κατακρατούνται στο στοιχείο του φίλτρου αποβάλλονται μέσω μίας σφαιρικής βάνας (drain). Στη συνέχεια το αέριο διέρχεται από την ανοιχτή βάνα ακαριαίας διακοπής και καταλήγει στον ρυθμιστή όπου και ρυθμίζεται η επιθυμητή τιμή πίεσης εξόδου. Σε περίπτωση αύξησης της πίεσης εξόδου του αερίου, τότε η βάνα ακαριαίας διακοπής μπαίνει σε λειτουργία μη επιτρέποντας τη διόδο του αερίου. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση πτώσης

της πίεσης εξόδου. Ανακουφιστικές βάνες χρησιμοποιούνται για τη διαφυγή του αερίου σε περίπτωση μικρής υπερπίεσης στην έξοδο του ρυθμιστή.

Κατόπιν, το αέριο διέρχεται από το μετρητή ο οποίος μπορεί να είναι μετρητής τουρμπίνας ή μετρητής θετικού εκτοπίσματος (Rotary). Ανάλογα με τον τύπο του σταθμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο μετατροπέας όγκου (PTZ) για την αναγωγή της μέτρησης σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, τα δεδομένα του οποίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τιμολόγηση. Σ' αυτή την περίπτωση, τοποθετούνται στο σταθμό μεταδότες πίεσης και θερμοκρασίας. Το αέριο εξέρχεται μέσω της βάνας εξόδου. Στο τμήμα εξόδου του Σταθμού επίσης τοποθετείται μονωτικός σύνδεσμος (μόνο στους σταθμούς MR & IND).

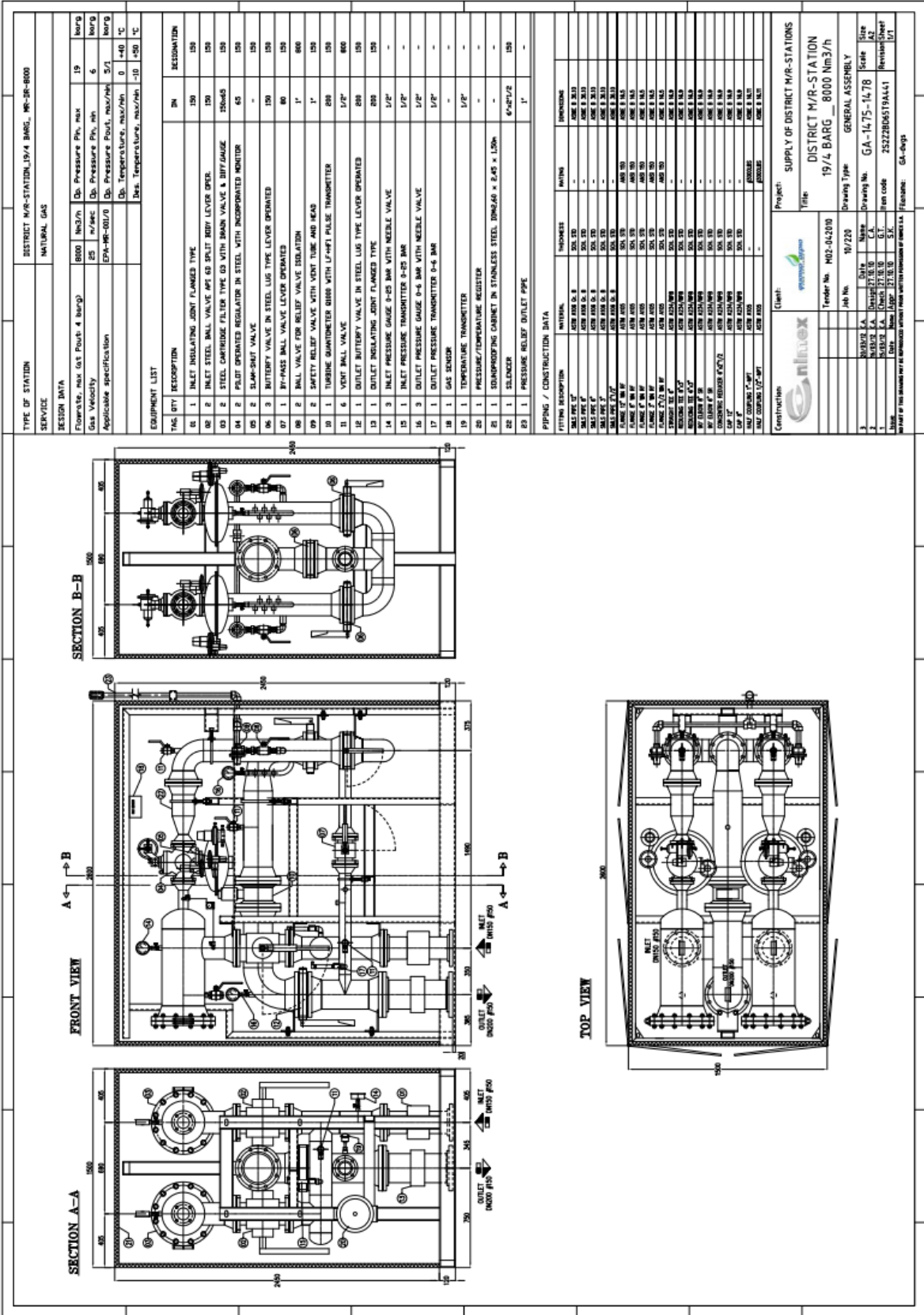
Τέλος, στο Σταθμό τοποθετούνται μανόμετρα για τη μέτρηση της πίεσης του αερίου καθώς επίσης και εξαεριστικές βάνες για την εκτόνωση του αερίου.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των μετρητικών και ρυθμιστών σταθμών ακολουθεί μονογραμμικό σχέδιο αυτών.



Σχήμα 3 Μονογραμμικό σχέδιο λειτουργίας μετρητικών σταθμών

Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί επίσης αναλυτικό τεχνικό σχέδιο σταθμού διανομής από 19 σε 4 bar.



Σχήμα 4 Τεχνικό σχέδιο σταθμού 19/4 bar



### 2.6.1 Κατηγοριοποίηση Ρυθμιστικών και Μετρητικών σταθμών

Το δίκτυο της εταιρίας αποτελείται από ένα πρωτεύον παροχетеυτικό δίκτυο με δευτερεύουσες εγκαταστάσεις που τροφοδοτεί με φυσικό αέριο την Αττική και μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες. Η μέγιστη πίεση λειτουργίας του δικτύου είναι 19 bar. Για την μέτρηση της παροχής και μείωσης της πίεσης στα δευτερεύοντα δίκτυα από 19 bar σε 10 και από 4bar σε 25 mbar κατά περίπτωση, υπάρχουν ειδικοί σταθμοί Μέτρησης/Μείωσης τόσο για την παροχή στην Αττική όσο και στους μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες. Οι σταθμοί αυτοί μπορούν κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο που είναι τοποθετημένοι σε σχέση με το έδαφος, δηλαδή υπέργειοι ή υπόγειοι σταθμοί.

## 2.7 Δραστηριότητες Συντήρησης

Για τη λειτουργία και συντήρηση των Δικτύων Διανομής Φυσικού Αερίου εκτελούνται τέσσερις κατηγορίες εργασιών οι οποίες είναι:

- Προληπτική Συντήρηση Δικτύων και Εξοπλισμού
- Διορθωτική Συντήρηση Δικτύων και Εξοπλισμού
- Μεταπωλητικές Εργασίες
- Εργασίες Υποστήριξης Κατασκευαστικού Έργου

Οι εργασίες και ενέργειες που γίνονται στα πλαίσια συντήρησης δικτύων και εξοπλισμού Μ.Π. περιλαμβάνουν, την εποπτεία του δικτύου και των συστημάτων του, την τακτική συντήρηση, την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών, την παρακολούθηση του Κεντρικού συστήματος Ελέγχου (SCADA), τη μεταβολή της πίεσης λειτουργίας των δικτύων ανάλογα με τους καταναλισκόμενους όγκους, τη σύνδεση νέων τμημάτων αγωγού στα πλαίσια της επέκτασης του δικτύου και τη σύνδεση νέων τμημάτων αγωγού στα πλαίσια της επέκτασης του δικτύου και τη σύνδεση νέων σταθμών MR, καθώς και την εκπαίδευση του προσωπικού σε όλα τα παραπάνω.

Οι δραστηριότητες συντήρησης είναι αυτές που εκτελούνται για την τήρηση της ομαλής λειτουργίας των εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων του καθορισμού, της λίπανσης, συντήρησης και επισκευής του δικτύου και των συστημάτων του. Παρακάτω ακολουθεί περιγραφή των δραστηριοτήτων λειτουργίας και συντήρησης με αναφορά στη δυνατότητα προγραμματισμού της εργασίας όπως αποτυπώνεται στο «Βιβλίο Συντήρησης» ανά ημερολογιακό έτος.

Ο σχεδιασμός και η οργάνωση όλων των δραστηριοτήτων λειτουργίας και συντήρησης πρέπει να γίνεται κατά τρόπο προσεκτικό, ώστε να αποφευχθεί σύγχυση ή αλληλοεπικάλυψη αρμοδιοτήτων που μπορεί να προκαλέσουν έκτακτα περιστατικά. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όσα περιγράφηκαν παραπάνω:

Εργασία	Περιγραφή	Προγραμματισμός
Έκτακτα περιστατικά	Περιλαμβάνουν όλες τις επείγουσες ενέργειες που πρέπει να υλοποιηθούν για την αντιμετώπιση ενός συμβάντος, προκειμένου να διασφαλισθεί η ασφάλεια του κοινού και να διατηρηθεί η παροχή αερίου.	Δεν προγραμματίζονται/ Πρόβλεψη όγκου στο ετήσιο πλάνο
Εποπτεία δικτύου	Περιοδικός έλεγχος του συνόλου του δικτύου και των εγκαταστάσεων του με σκοπό τον εντοπισμό πιθανών φθορών ή κινδύνων για τη λειτουργία του, εκσκαφών τρίτων πλησίον του κλπ.	Ετήσιο πλάνο προγραμματισμού εποπτείας δικτύου
Έρευνα Διαρροών	Περιοδικός έλεγχος του συνόλου των μηχανικών συνδέσεων του δικτύου και των εγκαταστάσεων του, που βρίσκονται υπό πίεση αερίου, με σκοπό τον πιθανό εντοπισμό και επισκευή των διαφυγών αερίου και την επαναφορά του δικτύου σε ασφαλή κατάσταση λειτουργίας.	Ετήσιο πλάνο προγραμματισμού έρευνας διαρροών
Έργα τρίτων	Έκδοση αδειών εκσκαφής προς αναδόχους έργων τρίτων και επί τόπου παρακολούθηση και συνεργασία με αυτούς με σκοπό την αποφυγή πρόκλησης φθοράς στο δίκτυο και τις εγκαταστάσεις του.	Ο προγραμματισμός εξαρτάται από τον προγραμματισμό των έργων των τρίτων φορέων/ Πρόβλεψη στο ετήσιο πλάνο
Μη επαναλαμβανόμενες εργασίες	Είναι εργασίες ειδικού χαρακτήρα όπως σύνδεση νέου τμήματος δικτύου με το εν λειτουργία δίκτυο, σύνδεση νέου σταθμού, αντικατάσταση ή μετατόπιση τμήματος αγωγού, εσωτερικός καθαρισμός ή επιθεώρηση δικτύου κλπ. συντάσσεται ειδική λεπτομερής διαδικασία εκτέλεσης της εργασίας ανά περίπτωση.	Ετήσιο πλάνο προγραμματισμού εκτέλεσης μη επαναλαμβανόμενων εργασιών
Όσμηση	Είναι εργασία ελέγχου για τον προσδιορισμό της ελάχιστης συγκέντρωσης οσμητικού υλικού στα δίκτυα ΦΑ.	Ετήσιο πλάνο προγραμματισμού ελέγχων όσμησης
Λοιπές εργασίες	Εργασίες ελέγχων και συντήρησης του εξοπλισμού των μηχανημάτων και των συσκευών που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των τακτικών εργασιών και την αντιμετώπιση των έκτακτων περιστατικών.	Ετήσιο πλάνο προγραμματισμού ελέγχων και συντήρησης

Πίνακας 2 Πίνακας δραστηριοτήτων λειτουργίας και συντήρησης ΕΠΑ

### 2.7.1 Προληπτική συντήρηση δικτύου

Η διαδικασία Εποπτείας δικτύων μέσης πίεσης έχει ως σκοπό:

- A. Τη διασφάλιση της ακεραιότητας των χαλύβδινων δικτύων και εγκαταστάσεων Μέσης Πίεσης από δραστηριότητες τρίτων που εκτελούνται ή προγραμματίζονται να εκτελεσθούν πάνω ή σε εγγύτητα με τα δίκτυα και τις εγκαταστάσεις Μέσης Πίεσης.
- B. Την καταγραφή και αναφορά προβλημάτων σε δίκτυα και εγκαταστάσεις Μέσης Πίεσης τα οποία προέκυψαν από δραστηριότητες τρίτων (ολοκληρωμένες εργασίες τρίτων φορέων), φυσικές δραστηριότητες (κατολισθήσεις , καθιζήσεις), συμβάντα (ατυχήματα, βανδαλισμοί), φυσική φθορά.

Πρωταρχικός στόχος της εποπτείας δικτύων Μέσης Πίεσης είναι η αξιολόγηση και έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανού συμβάντος μέσω της ενημέρωσης τρίτων φορέων που δραστηριοποιούνται σε γειτνίαση με δίκτυα και εγκαταστάσεις Μέσης πίεσης, όπως και η έγκαιρη ενημέρωση της υπηρεσίας για την ύπαρξη προβλήματος που θέτει σε κίνδυνο τη δημόσια ασφάλεια ή την ασφάλεια των δικτύων.

#### 2.7.1.1 Διαδικασίες προληπτικών συντηρήσεων Μετρητικών και Ρυθμιστικών σταθμών

Η εργασία προληπτικής συντήρησης υπέργειων ή υπόγειων σταθμών διανομής (DR) και καταναλωτών (MRS ή MR-IND) έχει σαν στόχο την εύρυθμη λειτουργία των σταθμών, με απώτερο σκοπό την ασφαλή λειτουργία αυτών και τη διασφάλιση της αδιάλειπτης παροχής αερίου στους λειτουργικούς τομείς και τους εμπορικούς πελάτες της ΕΠΑ Αττικής. Ομοίως ισχύει για τους του υπέργειους σταθμούς τύπου Gorter DR 19/4 bar ή 4/0,25 bar. Τα βασικά βήματα προληπτικής συντήρησης για τους σταθμούς των δικτύων της ΕΠΑ είναι τα εξής:

1. Εκτέλεση ελέγχου διαρροής σταθμού
2. Ενέργειες σε περίπτωση διαρροής
3. Έλεγχος καλής λειτουργίας του μηχανολογικού εξοπλισμού του σταθμού
  - a) Έλεγχος στεγανότητας βανών εισόδου και εξόδου
  - b) Έλεγχος στοιχείου φίλτρου
  - c) Έλεγχος ενεργοποίησης βάνας ακαριαίας διακοπής (max/min limit) και εσωτερικής στεγανότητας
  - d) Έλεγχος ενεργοποίησης εκτονωτικής βαλβίδας
  - e) Έλεγχος καλής λειτουργίας και εσωτερικής στεγανότητας ρυθμιστών πίεσης
  - f) Έλεγχος καλής λειτουργίας και ρύθμισης καταγραφικού
  - g) Έλεγχος λειτουργίας μετρητή
  - h) Αλλαγή γραμμών τροφοδοσίας, εφόσον ο σταθμός διαθέτει δύο γραμμές τροφοδοσίας

- i) Επανέλεγχος διαρροών σε όλα τα εξαρτήματα που έγινε εργασία
- j) Όπου παρατηρείται δυσκολία σε λύσιμο βιδών ή παξιμαδιών, χρησιμοποιείται αντισκοριακό λάδι σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσεως

### 2.7.2 Διορθωτική συντήρηση

Η διαδικασία διορθωτικής συντήρησης βανών έχει σαν στόχο την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας μιας βάνης. Ενεργοποιείται κατόπιν εντοπισμού βλάβης είτε κατά τη διάρκεια προληπτικής συντήρησης είτε κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας NRO. Το τμήμα της βάνας που παρουσιάζει συνήθως προβλήματα είναι το γριναζοκιβώτιο της. Συνήθη προβλήματα είναι τα εξής:

- Η μεγάλη αντίσταση περιστροφής του βολάν με αποτέλεσμα να είναι πολύ δύσκολος έως αδύνατος ο χειρισμός της βάνας από τον τεχνίτη
- Μεταλλικοί θόρυβοι κατά τη διάρκεια του χειρισμού οι οποίοι αποτελούν προειδοποίηση για επερχόμενη βλάβη
- Η περιστροφή του βολάν με μηδενική αντίσταση και ταυτόχρονη απουσία μετάδοσης της κίνησης στον άξονα της βάνας
- Η θραύση του βολάν του γριναζοκιβωτίου
- Η θραύση των τερματικών ορίων βάνας

## 2.8 Έλεγχος δικτύου

### 2.8.1 Γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα

Το γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα της ΕΠΑ Αττικής σχεδιάστηκε το 2005 και υλοποιήθηκε το 2006 με στόχο την ύπαρξη:

- Σχεσιακής βάσης δεδομένων
- Ολοκληρωμένου υποσυστήματος (GIS, SynerGEE Gas)
- Σύνδεσης GIS με το πληροφοριακό σύστημα SAP

### 2.8.2 Σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων

Η ολοκληρωμένη εποπτεία του δικτύου των μετρητικών σταθμών της ΕΠΑ, πραγματοποιείται μέσω του συστήματος SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Πρόκειται για σύστημα βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας. Χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι πως αποτελείται από τοπικούς ελεγκτές, που ελέγχουν τα

επιμέρους στοιχεία και μονάδες της εγκατάστασης, συνδεδεμένους σε ένα κύριο σταθμό εργασίας (Master Station). Ο κεντρικός σταθμός εργασίας κατόπιν επικοινωνεί τα δεδομένα που συλλέγει από την εγκατάσταση σε ένα πλήθος από σταθμούς εργασίας σε τοπικό LAN και μεταδίδει τα δεδομένα της εγκατάστασης σε μακρινά σημεία μέσω κάποιου συστήματος τηλεπικοινωνίας, πχ μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου ή μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου. Επίσης είναι δυνατό ο κάθε ένας τοπικός ελεγκτής να βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία και να μεταδίδει τα δεδομένα προς το master station μέσω απλού καλωδίου ή μέσω ασύρματου πομποδέκτη, πάντα με σύνολο από τοπικούς ελεγκτές συνδεδεμένους σε τοπολογία αστέρα προς ένα κύριο σταθμό εργασίας

### 2.8.2.1 Δίκτυο μέσης πίεσης

Συγκεκριμένα το σύστημα SCADA του δικτύου μέσης πίεσης αποτελείται από τα εξής μέρη:

#### Κύριος Σταθμός (Master Station)

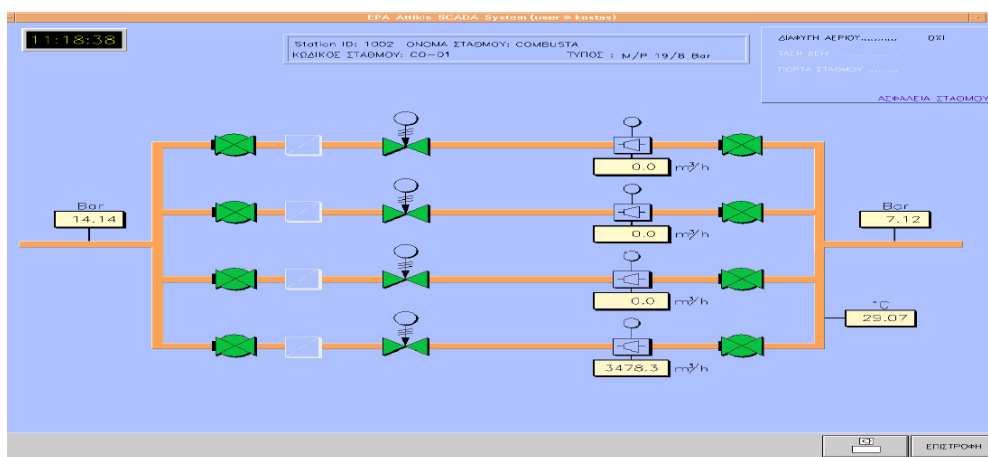
Πρόκειται για το χώρο ελέγχου, στον οποίο ο κεντρικός διακομιστής και το λογισμικό επικοινωνούν με το πεδίο του εξοπλισμού (RTU').

#### Απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units, RTU's)

Οι μονάδες αυτές διασυνδέονται μέσω αισθητήρων και διακοπών, ώστε να συλλέξουν και να μεταφέρουν πληροφορίες στον κεντρικό διακομιστή και τους ενεργοποιητές βανών.

#### Δίκτυο επικοινωνίας

Το δίκτυο επικοινωνίας, αποτελείται από ένα δίκτυο τηλεφωνικών γραμμών μεταξύ νέου και παλιού δικτύου και παρέχεται από τον Οργανισμό τηλεπικοινωνιών Ελλάδος (OTE). Επίσης υπάρχει και ένα τοπικό σύστημα τηλεπικοινωνίας, που αφορά τις γραμμές μέσης πίεσης. Ακολουθεί στιγμιότυπο διπλού μετρητικού σταθμού από το σύστημα SCADA.



Σχήμα 5 Στιγμιότυπο διπλού σταθμού DR από το SCADA

## 2.9 Λειτουργικά προβλήματα με υψηλή συχνότητα εμφάνισης

Κατά την συντήρηση και τακτικό έλεγχο των σταθμών έχουν παρατηρηθεί κάποιες συχνότερες αστοχίες μερών του εξοπλισμού , καθώς και συνήθη αίτια εμφάνισης των προβλημάτων αυτών . Τα συνηθέστερα λειτουργικά προβλήματα που έχουν εντοπισθεί παρουσιάζονται παρακάτω:

- Υψηλή πίεση εξόδου
- Χαμηλή πίεση εξόδου
- Καμία παροχή αερίου

Οι παραπάνω αστοχίες ευθύνονται κυρίως σε ορισμένα εξαρτήματα του εξοπλισμού κάθε σταθμού, του δικτύου παροχής αερίου και αναφέρονται παρακάτω:

- Ρυθμιστής
- Ελατήριο ρυθμιστή
- Βάνα ακαριαίας διακοπής
- Φίλτρο
- Βάνα εισόδου
- Βάνα εξόδου

Επίσης συνήθη αίτια που οδηγούν σε ανάγκη για συντήρηση και αντικατάσταση εξαρτημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Δεν έχει γίνει σωστή ρύθμιση του ελατηρίου του ρυθμιστή
- Ο ρυθμιστής δεν λειτουργεί σωστά
- Η βάνα ακαριαίας διακοπής δεν λειτουργεί σωστά
- Διάβρωση φίλτρου
- Κλειστή βάνα εισόδου
- Κλειστή βάνα εξόδου
- Ανοικτή ηλεκτρομαγνητική βάνα σημαίνει πρόβλημα στο μετρητή ROTARY

### 2.9.1 Κρίσιμα εξαρτήματα Υπέργειων Μετρητικών σταθμών

Βάσει των συστημάτων εποπτείας των μετρητικών σταθμών έχουν προκύψει κάποια βοηθητικά δεδομένα για τις συνηθέστερες βλάβες που μπορούν να ανακύψουν. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την κατηγοριοποίηση των αστοχιών σε κλίμακα σημαντικότητας. Ως υψηλής σημαντικότητας εξαρτήματα των υπέργειων μετρητικών σταθμών έχουν ορισθεί τα παρακάτω:

- Βάνες εισόδου
- Βάνες εξόδου
- Φίλτρα
- Βάνα ακαριαίας διακοπής και εσωτερικής στεγανότητας

- Εκτονωτική βαλβίδα
- Ρυθμιστής πίεσης
- Καταγραφικό
- Μετρητής
- Βίδες/Παξιμάδια

Επίσης το ιστορικό συντήρησης των σταθμών δίνει πληροφορίες για τα πιθανότερα λειτουργικά προβλήματα που μπορεί να ανακύψουν, μαζί με τα πιθανά τους αίτια. Οι συχνότερες αστοχίες με τα αίτιά τους παρουσιάζονται ακολούθως:

Πρόβλημα	Αίτιο
Υψηλή πίεση εξόδου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν έχει γίνει σωστή ρύθμιση του ελατηρίου του ρυθμιστή</li> <li>• Ο ρυθμιστής και η βάνα ακαριαίας διακοπής δε λειτουργούν σωστά</li> </ul>
Χαμηλή πίεση εξόδου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν έχει γίνει σωστή ρύθμιση του ελατηρίου του ρυθμιστή</li> <li>• Το φίλτρο έχει κορεστεί</li> <li>• Κλειστή βάνα εισόδου</li> </ul>
Δεν υπάρχει παροχή αερίου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν έχει γίνει σωστή ρύθμιση του ελατηρίου του ρυθμιστή</li> <li>• Κλειστή βάνα εξόδου</li> <li>• Κλειστή βάνα ακαριαίας διακοπής</li> </ul>
Σκόνη στο σωλήνα εξόδου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κορεσμένο φίλτρο</li> </ul>

Πίνακας 3 Προβλήματα με υψηλή συχνότητα σε υπέργειους σταθμούς

### Ρυθμιστής

Ο ρυθμιστής αποτελεί ένα από τα βασικότερα εξαρτήματα του εξοπλισμού, καθώς εξασφαλίζει την αδιάλειπτη παροχή αερίου. Συγκεκριμένα στους σταθμούς με πίεση εισόδου 19 bar και εξόδου 6 bar γίνεται χρήση του ενεργού ρυθμιστή, ο οποίος παρακολουθεί την πίεση εξόδου αυξάνοντας ή ελαττώνοντας τη ροή του αερίου και χρήση του επιτηρητή ρυθμιστή, ο οποίος μειώνει την πίεση αερίου και παρακολουθεί την πίεση εξόδου αυξάνοντας ή ελαττώνοντας τη ροή αερίου και ενεργοποιείται σε περίπτωση που η πίεση εξόδου αυξηθεί. Ο επιτηρητής ρυθμιστής αποτελεί πρώτη βαθμίδα ασφαλείας αφού ενεργοποιείται στην περίπτωση που υπάρξει δυσλειτουργία στον ενεργό ρυθμιστή και συγκεκριμένα χωρίς να διακόψει την παροχή αερίου. Η ρύθμιση του ορίζεται στο 107% της πίεσης λειτουργίας του σταθμού Rout.

### Βάνα ακαριαίας διακοπής

Το εξάρτημα αυτό διασφαλίζει τη ασφάλεια του δικτύου κατόπιν του σταθμού σε περίπτωση μη εύρυθμης λειτουργίας του ρυθμιστή, είτε πρόκειται αύξηση της πίεσης του αερίου πέρα από την ονομαστική τιμή λειτουργίας στο δίκτυο εξόδου ή την υποπίεση αερίου στο δίκτυο εξόδου. Σε αυτές τις δύο περιπτώσεις η βάνα ακαριαίας διακοπής

ενεργοποιείται μη επιτρέποντας την περαιτέρω παροχή αερίου. Οι ρυθμίσεις που ορίζουμε στις βάνες ακαριαίας διακοπής είναι για το ανώτατο όριο πίεσης  $P_{max}$ :

- 120% της πίεσης εξόδου  $P_{out}$  στην ενεργή γραμμή
- 125% της πίεσης εξόδου  $P_{out}$  στην εφεδρική γραμμή

Ενώ το κατώτατο όριο  $P_{in}$  ορίζεται:

- 1 bar για τους σταθμούς με πίεση εισόδου  $P_{in}$  19-6 bar
- 100mbar για τους σταθμούς με πίεση εισόδου  $P_{in}$  1-5bar

### **Μετρητής**

Ο μετρητής εγκαθίσταται με στόχο την ακριβή μέτρηση του αερίου που διέρχεται από το σταθμό πρώτον για την τιμολόγηση των εμπορικών και βιομηχανικών πελατών και δεύτερον για τη διάθεση πληροφοριών κατανάλωσης αερίου. Οι πληροφορίες αυτές αξιοποιούνται τόσο για την παρακολούθηση της καλής λειτουργίας και συντήρησης του ίδιου του σταθμού, όσο και για το βαθμό ανάπτυξης του λειτουργικού τομέα που τροφοδοτούν. Οι πληροφορίες αυτές αξιολογούνται επίσης από το αρμόδιο τμήμα Μελετών προκειμένου να αποφασιστούν οι ενέργειες που έχουν σχέση με την εγκατάσταση και άλλου σταθμού σε συγκεκριμένο τομέα ή διαίρεσης του τομέα ή έργων ενίσχυσης ή διασύνδεσης τομέων.

### **Φίλτρο**

Σημαντικό επίσης στοιχείο ενός σταθμού είναι το φίλτρο. Τα φίλτρα είναι τοποθετημένα στην είσοδο της διάταξης ενός DR με σκοπό να κατακρατούν τη σκόνη (σωματίδια μέχρι  $\mu m$ ) τα σωματίδια και την υγρασία που μπορεί να εμπεριέχονται στο φυσικό αέριο.

### **Εκτονωτική βαλβίδα**

Η εκτονωτική βαλβίδα αποτελεί σημαντικό εξάρτημα του εξοπλισμού ενός σταθμού, διότι επιτρέπει τη διαφυγή του αερίου σε περίπτωση μερικής υπερπίεσης στη έξοδο του ρυθμιστή. Η δυναμικότητα ροής του είναι ίση με το 1,5% της ονομαστικής ροής του σταθμού.

Για τα παραπάνω εξαρτήματα υπάρχουν τα εξής σενάρια αστοχιών:

#### **1.Επιτηρητής ρυθμιστής**

Βλάβη του αποτρέπει την αδιάλειπτη και προβλεπόμενη παροχή αερίου στους πελάτες.

#### **2.Ενεργός ρυθμιστής**

Βλάβη του αποτρέπει τον εντοπισμό πιθανής βλάβης του επιτηρητή ρυθμιστή.

#### **3.Βάνα ακαριαίας διακοπής**

Βλάβη της αποτρέπει τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του σταθμού σε περίπτωση μη εύρυθμης λειτουργίας του ρυθμιστή.



#### 4. Μετρητής

Βλάβη του εμποδίζει την ακριβή μέτρηση των ποσοτήτων αερίου που διέρχονται από τον σταθμό.

#### 5. Φίλτρο

Το ρευστό εμπεριέχει σωματίδια επιβλαβή στη λειτουργία του σταθμού.

#### 6. Εκτονωτική βαλβίδα

Βλάβη της εμποδίζει τη διαφυγή του αερίου σε περίπτωση μερικής υπερπίεσης στην έξοδο του ρυθμιστή.

### 2.9.2 Κρίσιμα εξαρτήματα Υπόγειων Μετρητικών σταθμών

Όμοια με τους Υπέργειους μετρητικούς σταθμούς κρίσιμα εξαρτήματα των Υπόγειων σταθμών είναι τα εξής:

- Μηχανικές συνδέσεις
- Φίλτρα
- Εκτονωτική βαλβίδα
- Βάνα ακαριαίας διακοπής
- Μετρητής (εφόσον υπάρχει)
- Ενεργός ρυθμιστής
- Επιτηρητής ρυθμιστής

Επιπλέον τα πιθανότερα προβλήματα και αίτια που ενδέχεται να προκύψουν αναλύονται στον παρακάτω πίνακα:

Πρόβλημα	Αίτιο
Υψηλή πίεση εξόδου	<ul style="list-style-type: none"><li>• Δεν έχει γίνει σωστή ρύθμιση του ελατηρίου του ρυθμιστή</li><li>• Ο ρυθμιστής και η βάνα ακαριαίας διακοπής δε λειτουργούν σωστά</li></ul>
Χαμηλή πίεση εξόδου	<ul style="list-style-type: none"><li>• Δεν έχει γίνει σωστή ρύθμιση του ελατηρίου του ρυθμιστή</li><li>• Το φίλτρο έχει κορεστεί</li><li>• Κλειστή βάνα εισόδου</li></ul>
Δεν υπάρχει παροχή αερίου	<ul style="list-style-type: none"><li>• Δεν έχει γίνει σωστή ρύθμιση του ελατηρίου του ρυθμιστή</li><li>• Κλειστή βάνα εξόδου</li></ul>
Σκόνη στο σωλήνα εξόδου	<ul style="list-style-type: none"><li>• Κλειστή βάνα ακαριαίας διακοπής</li><li>• Κορεσμένο φίλτρο</li></ul>

Πίνακας 4 Προβλήματα με υψηλή συχνότητα σε υπόγειους σταθμούς

Όσον αφορά τα στοιχεία του εξοπλισμού των υπόγειων σταθμών , είναι όμοια με εκείνα των υπέργειων στα οποία αναλύονται επίσης τα ίδια σενάρια αστοχιών, όπως παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

## 2.10 Ενέργειες και μέτρα Ασφαλείας

Στην περίπτωση που γίνονται εργασίες σε εγκατάσταση (Σταθμός διανομής) που τηλεελέγχεται από το σύστημα SCADA τότε θα πρέπει να γίνεται ενημέρωση για την έναρξη και λήξη των εργασιών σε αυτό. Ειδικότερα θα πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω κανονισμοί ασφαλείας:

- Ο χώρος εκτέλεσης εργασιών πρέπει να ελέγχεται συνεχώς για την ύπαρξη αερίου πριν την έναρξη των εργασιών. Αν διαπιστωθεί αέριο, πρέπει να δημιουργηθεί μια ασφαλής περιοχή εκτέλεσης εργασιών, καθώς και να ενημερωθεί και ο Μηχ. Επιφυλακής.
- Το κάπνισμα και η χρήση κινητού τηλεφώνου δεν επιτρέπονται κοντά στον χώρο εργασίας,.
- Ο χώρος πρέπει να διαθέτει εξοπλισμό πυρόσβεσης.
- Η ύπαρξη εξοπλισμού ασφαλούς πρόσβασης και εξόδου από τον χώρο εργασίας είναι απαραίτητη. Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τον αποκλεισμό παρουσίας τρίτων ατόμων μη σχετικών με την εργασία.

## 2.11 Διαδικασίες Αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών

Στην περίπτωση που πρέπει να αντιμετωπισθεί κάποιο έκτακτο περιστατικό αυτό αντιμετωπίζεται σύμφωνα με την διαδικασία αντιμετώπισης εκτάκτων περιστατικών μέσης πίεσης. Το προβλεπόμενο προσωπικό, τεχνίτες, μηχανικοί λοιπά στελέχη της εταιρείας πρέπει να είναι διαθέσιμα ανά πάσα στιγμή για την αντιμετώπιση δηλωθέντων διαφυγών αερίου ή άλλων έκτακτων περιστατικών. Οι διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών, κοινοποιούνται σε όλο το προσωπικό διασαφηνίζοντας τις αρμοδιότητες του καθένα χωριστά. Τέλος οι διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών ελέγχονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αν οι συνθήκες αλλάξουν, τότε η διαδικασία ενημερώνεται, ώστε να ανταποκρίνεται στα νέα δεδομένα.

## 3 Το πρόβλημα της συντήρησης

### 3.1 Η σημασία της συντήρησης

Στο σημερινό πλαίσιο της διεθνοποίησης, κρίνεται κρίσιμο οι παραγωγικές επιχειρήσεις να βελτιώνονται και να καινοτομούν σε ρυθμούς ταχύτερους από τον ανταγωνισμό, σε όλο το φάσμα των δραστηριοτήτων τους, περιλαμβανομένων και των δραστηριοτήτων της συντήρησης του συνόλου του παραγωγικού τους εξοπλισμού. Η απαίτηση αυτή γίνεται καλύτερα κατανοητή, από το γεγονός ότι η συντήρηση αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα κέντρα κόστους όλων των παραγωγικών μονάδων. Ανάλογα με τον κλάδο, το κόστος συντήρησης σαν ποσοστό του παραγόμενου προϊόντος, κυμαίνεται από 15% στις ελαφρές βιομηχανικές μονάδες (π.χ. βιομηχανίες τροφίμων) έως 40% στις βαριές βιομηχανικές εγκαταστάσεις (π.χ. χημικές βιομηχανίες, χαρτοβιομηχανίες, βιομηχανίες παραγωγής ρεύματος, κ.λπ.) (Jovanovic 2003).

Η συντήρηση είναι σημαντικός παράγοντας στη διασφάλιση της καλής ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος, γεγονός που προσδίδει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε μία επιχείρηση. Ελαττώματα και ασυνέχειες στον εξοπλισμό μιας βιομηχανίας μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων ή προϊόντων που ποικίλουν σε χαρακτηριστικά και έρχονται σε ασυμφωνία με τις κατοχυρωμένες προδιαγραφές. Στόχος της συντήρησης -εκτός της αποφυγής αστοχιών ή παύσης της λειτουργίας του παραγωγικού εξοπλισμού – είναι η εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του εξοπλισμού στα πλαίσια των κανονισμών, ώστε να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο ποιότητας (Nakajima 1986).

Η καλή διαχείριση της συντήρησης είναι μεγάλης σημασίας για τον έλεγχο του κόστους της. Καθώς επιζητείται η αυτοματοποίηση πολλών διαδικασιών από τις εταιρίες ώστε να γίνουν ανταγωνιστικές, βασίζονται όλο και περισσότερο στην αξιοπιστία του εξοπλισμού για να παράγουν μεγαλύτερο ποσοστό από το ήδη υπάρχον. Για να συμβεί αυτό κρίνεται απαραίτητη η αξιόπιστη λειτουργία του εξοπλισμού εντός των προδιαγραφών.

Ένα μέτρο εκτίμησης της υπεροχής μίας επιχείρησης έναντι άλλων είναι η αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών της. Για την εξασφάλιση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος και καλής εξυπηρέτησης πελατών, κρίνεται σημαντική η ύπαρξη αξιόπιστου εξοπλισμού που θα ανταποκρίνεται άμεσα στις απαιτήσεις των πελατών. Ο εξοπλισμός θα πρέπει να βρίσκεται σε καλή κατάσταση χωρίς διακοπές μεγάλου κόστους ή διακοπές λόγω επιδιορθώσεων, ώστε η επιχείρηση να παραμένουν παραγωγικές και ανταγωνιστικές.

Πολλοί κατασκευαστικοί οργανισμοί, όπως αυτοί που λειτουργούν με διατήρηση πολύ χαμηλών αποθεμάτων (Just-In-Time), δεν μπορούν να καλύψουν τη ζήτηση σε περίπτωση αστοχίας που ενδεχομένως να έχει μεγάλη διάρκεια. Εκτός από τα κόστη νεκρών χρόνων από βλάβη υπάρχει κίνδυνος μια εταιρία να χάσει μόνιμα μερίδιο της αγοράς από άλλες πιο αξιόπιστες επιχειρήσεις. Έτσι η συντήρηση συμβάλλει στην αποφυγή εμφάνισης ενός τέτοιου γεγονότος.

Οργανισμοί όπως αεροπορικές εταιρίες, διυλιστήρια πετρελαίου και επιχειρήσεις φυσικού αερίου πραγματοποιούν μεγάλες επενδύσεις σε εξοπλισμό. Για αυτό τον λόγο βλάβες σε

εξοπλισμό τους μπορούν να κριθούν καταστροφικές. Επομένως είναι απαραίτητη η σωστή συντήρηση για τη διατήρηση του εξοπλισμού σε καλή κατάσταση (Nakajima 1988).

### **3.2 Επιπτώσεις ελλιπούς συντήρησης**

Οι διαδικασίες συντήρησης στοχεύουν στην διατήρηση των παραγωγικών εγκαταστάσεων και εξοπλισμών σε αποδεκτή κατάσταση λειτουργίας. Οι βλάβες ή δυσλειτουργίες σε μηχανήματα και μέρη εξοπλισμού σε παραγωγικές ή επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών επιχειρήσεις έχουν άμεσες επιπτώσεις, ο οποίος αναλύονται ακολούθως (Nakajima 1986):

#### **1) Ποσότητα παραγωγής**

Τα μηχανήματα που σταματούν να λειτουργούν λόγω βλαβών, δεν μπορούν να συνεχίσουν να παράγουν με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποσότητα παραγωγής που είχε προγραμματισθεί.

#### **2) Κόστος παραγωγής**

Όταν εμφανίζονται βλάβες σε κάποιον εξοπλισμό αυξάνεται το κόστος παραγωγής ανά προϊόν ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και το κόστος υλικών. Εκτός αυτών, το κόστος συντήρησης, το οποίο περιλαμβάνει κόστη όπως , κόστος για επισκευή εγκαταστάσεων, συνεργεία επισκευής , προληπτική συντήρηση, επιθεωρήσεις, ανταλλακτικά αυξάνεται όσο συχνότερα εμφανίζονται αστοχίες.

#### **3) Ποιότητα προϊόντων και υπηρεσιών**

Η εσφαλμένη συντήρηση παραγωγικών μονάδων οδηγεί σε παραγωγή προϊόντων χαμηλής ποιότητας. Συστήματα που δεν έχουν συντηρηθεί σωστά παρουσιάζουν συχνές αστοχίες και δεν παρέχουν άμεση κάλυψη των αναγκών των πελατών.

#### **4) Ασφάλεια εργαζομένων και πελατών**

Ο φθαρμένος εξοπλισμός μπορεί να αστοχήσει ανά πάσα στιγμή και ενδεχομένως να προκαλέσει τραυματισμούς στους εργαζομένους που έρχονται σε επαφή.

#### **5) Ικανοποίηση πελατών**

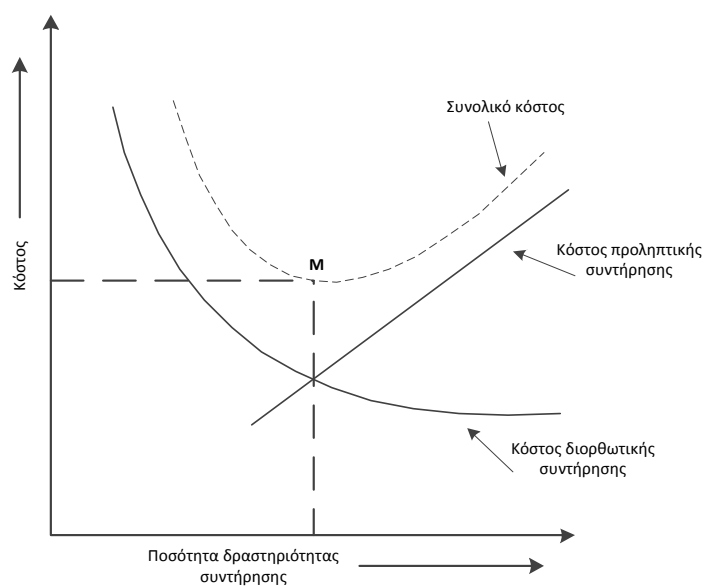
Όταν κάποια παραγωγική μονάδα αστοχήσει, τότε τα προϊόντα και οι υπηρεσίες δεν μπορούν να παραχθούν σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα παραγωγής. Ένα τέτοιο γεγονός δημιουργεί καθυστερήσεις στην παράδοση προϊόντων και παροχή υπηρεσιών.

### 3.3 Στόχοι της διοίκησης συντήρησης

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν μερικοί από τους στόχους της διοίκησης συντήρησης. Οι στόχοι αυτοί αναλύονται παρακάτω:

- Μείωση της απώλειας παραγωγικού χρόνου εξαιτίας αστοχίας του εξοπλισμού, μείωση δηλαδή του νεκρού χρόνου που θα δημιουργηθεί λόγω βλάβης
- Μείωση χρόνου και κόστους επισκευής
- Μείωση της απώλειας παραγωγής
- Αποδοτική εκμετάλλευση προσωπικού και εξοπλισμού
- Παράταση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού λόγω της μείωσης του ρυθμού φθοράς του
- Διατήρηση των παραγωγικών μονάδων σε καλή κατάσταση λειτουργίας
- Αύξηση της απόδοσης και οικονομίας της παραγωγής μέσω της βέλτιστης χρήσης των εγκαταστάσεων μια επιχείρησης
- Μείωση ατυχημάτων μέσω συχνών επιθεωρήσεων και επιδιόρθωσης των συσκευών ασφαλείας
- Μείωση του συνολικού κόστους συντήρησης. Το κόστος αυτό περιέχει κόστος επιδιόρθωσης, κόστος προληπτικής συντήρησης και κόστος αποθέματος λόγω ανταλλακτικών που χρησιμοποιούνται στη συντήρηση
- Βελτίωση ποιότητας προϊόντων και υπηρεσιών και βελτίωση παραγωγικότητας και διανομής

Για την καλύτερη κατανόηση των στόχων της διοίκησης συντήρησης παρατίθεται διάγραμμα της σχέσης κόστους και ποσότητας της δραστηριότητας συντήρησης.



Σχήμα 6 Σχέση κόστους - είδους συντήρησης

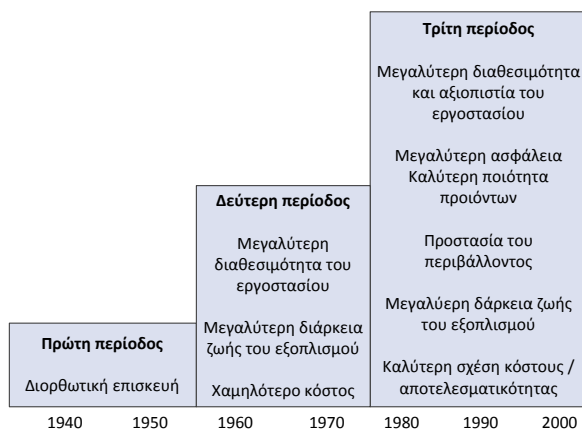
### 3.4 Μέθοδοι Συντήρησης

Η συντήρηση τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει να απομακρύνεται από τις παραδοσιακές πρακτικές της προληπτικής συντήρησης, των επιθεωρήσεων και των επισκευών και στρέφεται σε πιο σύνθετα και αποδοτικότερα συστήματα με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας, της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας του εξοπλισμού των επιχειρήσεων, με στόχο την ελάττωση του κόστους συντήρησης. Γι'αυτόν τον λόγο, προσεγγίσεις που βασίζονται στον κίνδυνο και στο κόστος, στην αξιοπιστία και στην κατάσταση του εξοπλισμού έχουν ξεκινήσει να υιοθετούνται όλο και περισσότερο (Nachlas 2005).

Στην κατεύθυνση αυτή έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον των επιχειρήσεων, σε προσεγγίσεις διαχείρισης της συντήρησης που βασίζονται στη θεωρία κινδύνων (Khan and Haddara 2003). Ο στόχος τέτοιων προσεγγίσεων είναι να επικεντρωθούν οι πόροι της συντήρησης και ιδιαίτερα των επιθεωρήσεων στις κρίσιμες (με υψηλότερο κίνδυνο) περιοχές των εγκαταστάσεων. Απαιτούνται μέθοδοι για τον προσδιορισμό των κινδύνων, την αξιόπιστη εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισής τους και του αντίκτυπου αυτών κατά τρόπο ποσοτικό. Σχεδόν όλες οι προσεγγίσεις αποσκοπούν στην αξιολόγηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός ανεπιθύμητου γεγονότος και των συνεπειών που θα επιφέρει από άποψη επίδρασης στο χρόνο, στο κόστος και στην ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος ή υπηρεσίας.

#### 3.4.1 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή

Η συντήρηση αποτελεί το σύνολο των δραστηριοτήτων που έχουν ως στόχο να διατηρούν τον εξοπλισμό μιας επιχείρησης σε λειτουργία, ή να τον επαναφέρουν σε μια κατάσταση ικανή να εκτελεί αυτή τη λειτουργία (Selvik and Aven 2011). Οι δραστηριότητες αυτές είναι ο έλεγχος, οι δοκιμές, οι μετρήσεις, οι αντικαταστάσεις, οι ρυθμίσεις εξαρτημάτων, οι επισκευές και σε μερικές περιπτώσεις και διοικητικές παρεμβάσεις. Η εξέλιξη του τομέα της συντήρησης, από το 1930 και μετά χωρίζεται σε τρεις περιόδους και παρουσιάζεται σχηματικά και αναλύεται ακολούθως.



Σχήμα 7 Περίοδοι εξέλιξης συντήρησης

### **3.4.1.1** *Πρώτη περίοδος*

Η πρώτη περίοδος έχει διάρκεια από το 1930 έως το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Καθώς η βιομηχανία κατά το διάστημα αυτό στηρίζεται περισσότερο στο ανθρώπινο δυναμικό, το κόστος λειτουργίας της βιομηχανίας είναι πού χαμηλό επομένως η ιδέα της προληπτικής συντήρησης βρίσκεται σε χαμηλή προτεραιότητα. Ταυτόχρονα επειδή ο εξοπλισμός είναι πολύ απλός και σχεδιασμένος με υψηλό βαθμό ασφαλείας, καθίσταται αξιόπιστος και εύκολα επισκευάσιμος. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει ανάγκη για προγραμματισμό συντήρησης εκτός από τις συνήθεις διαδικασίες καθαρισμού, επισκευής και λίπανσης.

### **3.4.1.2** *Δεύτερη περίοδος*

Κατά τη διάρκεια του παγκοσμίου πολέμου οι συνθήκες στη βιομηχανία άλλαξαν. Το ανθρώπινο δυναμικό μειώθηκε, ενώ η ζήτηση πολεμικών εφοδίων αυξήθηκε. Αυτό οδήγησε στη χρήση περισσότερων μηχανών. Τη δεκαετία του 1950 οι μηχανές ήταν περισσότερες και πολυπλοκότερες και η βιομηχανία στηριζόταν άρρηκτα σε αυτές. Το κόστος μη λειτουργίας έγινε υψηλότερο και η εξάρτηση μεγάλωνε με το πέρασμα των χρόνων. Η εξέλιξη αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη της ιδέας της προληπτικής συντήρησης. Μέχρι το 1960 η συντήρηση περιορίζεται στην διενέργεια γενικών επισκευών του εξοπλισμού σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η ανάπτυξη της συντήρησης προγραμματισμένα ήταν αποτέλεσμα της αύξουσας πορείας κόστους συντήρησης.

### **3.4.1.3** *Τρίτη περίοδος*

Την τελευταία εικοσαετία έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνικές σχετικές με τη συντήρηση. Η κλασική μέθοδος της γενικής επιθεώρησης γίνεται με τη προσθήκη νέων εργαλείων. Τα εργαλεία αυτά είναι τα εξής:

- Μελέτες κινδύνων και αναλύσεις των αιτιών και επιπτώσεων των βλαβών
- Καταγραφή κατάστασης (condition monitoring)
- Σχεδιασμός εξοπλισμού με έμφαση στην αξιοπιστία και συντηρησιμότητα
- Αλλαγή της μορφής οργάνωσης προς τη συμμετοχή, την ευελιξία και την ομαδική εργασία

## 3.5 Σύγχρονες Μέθοδοι Συντήρησης

Βασική προϋπόθεση επιλογής είδους συντήρησης στην οποία θα προβεί μια επιχείρηση είναι ο καθορισμός ορισμένων παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί θέτουν τη βάση για την επιλογή και το προγραμματισμό των ενεργειών συντήρησης και αφορά την επίδραση στον εξοπλισμό, το κόστος και στο χρόνο αντικατάστασης εξαρτήματος ή μηχανήματος, στις επιπτώσεις στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών καθώς και στην επίδραση σε άλλες διαδικασίες. Στον τομέα της συντήρησης εκτός από τη γνώση των τεχνικών συντήρησης κρίσιμη είναι η επιλογή των κατάλληλων τεχνικών. Η απαίτηση αυτή υπάρχει διότι δεν είναι όλες οι μέθοδοι εφαρμόσιμες και αποτελεσματικές σε έναν οργανισμό. Οι σωστές αποφάσεις οδηγούν στη βελτίωση των συστημάτων και ταυτόχρονα στον περιορισμό του κόστους συντήρησης.

Οι πιο διαδεδομένες μορφές συντήρησης είναι δύο. Η Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance) και η Προγραμματισμένη Συντήρηση (Planned/Scheduled Maintenance). Στις επόμενες ενότητες αναλύονται αυτά τα δύο είδη, ενώ προστίθενται πληροφορίες και για επιπλέον τεχνικές συντήρησης (Khan and Haddara 2004).

### 3.5.1 Διορθωτική Συντήρηση (Corrective Maintenance)

Η διορθωτική συντήρηση ταυτίζεται με τις επισκευές και δεσμεύει το μεγαλύτερο ποσοστό των πόρων που διατίθενται για τη συντήρηση. Οι επισκευές αυτές λαμβάνουν χώρα στον εξοπλισμό μόνο όταν εμφανίζεται πραγματική αστοχία (βλάβη) προκειμένου να αποκατασταθούν οι βλάβες και ο εξοπλισμός να επανατεθεί σε παραγωγική διαδικασία (Kenne, Boukas et al. 2003). Σε κάποιες περιπτώσεις απαιτούνται ιδιαίτερες ενέργειες για τον εντοπισμό των αιτιών που προκάλεσαν δυσλειτουργίες, συνήθως όμως ο προσδιορισμός του εξαρτήματος με βλάβη είναι άμεσα αντιληπτός από το προσωπικό συντήρησης. Η μορφή αυτής της συντήρησης (run to breakdown) έχει σημαντικά μειονεκτήματα διότι :

- Οι αστοχίες εμφανίζονται τυχαία
- Μια απροσδόκητη βλάβη ενός εξαρτήματος ενδέχεται να προκαλέσει ζημιά και σε άλλα μέρη του εξοπλισμού, απαιτώντας περαιτέρω πόρους για την αποκατάσταση
- Οι απρογραμματίστες διακοπές λειτουργίας λόγω βλάβης και οι απαραίτητες επισκευές ενδέχεται να διαρκέσουν μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. λόγω αναμονής ελευθέρωσης διαφόρων πόρων), κρατούν χαμηλά την παραγωγή και δεσμεύουν κρίσιμο προσωπικό
- Έχει υψηλό κόστος και αποκλείει τη δυνατότητα μέγιστης διαθεσιμότητας του εξοπλισμού



### 3.5.2 Προληπτική Συντήρηση

Σε αυτό το είδος συντήρησης έχουν αποδοθεί διάφοροι ορισμοί διεθνώς. Κοινό σημείο είναι ο καθορισμός των διαδικασιών συντήρησης βάσει προγραμματισμένου πλαισίου. Οι δραστηριότητες συντήρησης προγραμματίζονται είτε σύμφωνα με τις ώρες λειτουργίας ενός μηχανήματος, είτε βάσει του συνολικού χρονικού διαστήματος από την προμήθειά του. Αυτή η πρακτική βασίζεται στην αρχή, ότι ο ρυθμός βλαβών εξαρτάται από την επίδραση του χρόνου. Τα διαστήματα συντήρησης καθορίζονται είτε εμπειρικά σύμφωνα δηλαδή με τις προτάσεις του κατασκευαστή του εξοπλισμού, είτε από τη συστηματική τήρηση αρχείων της επιχείρησης. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να προγραμματιστούν οι διαδικασίες συντήρησης και να υπολογισθούν νεκροί χρόνοι του εξοπλισμού και να είναι διαθέσιμα τα απαραίτητα εξαρτήματα συντήρησης (Malik 1979).

#### 3.5.2.1 Ολική Παραγωγική συντήρηση

Ο όρος ολική παραγωγική συντήρηση αναφέρεται στο σύνολο μεθόδων για τη διαχείριση λειτουργίας παραγωγικών μονάδων, τόσο διοικητικά όσο και τεχνολογικά, με στόχο την αύξηση της συνολικής διαθεσιμότητας της εγκατάστασης. Η ολική παραγωγική συντήρηση περιλαμβάνει τις εξής στρατηγικές (Ireland and Dale 2001):

- Μεγιστοποίηση της Ολικής αποτελεσματικότητας του εξοπλισμού
- Το προγραμματισμό πλάνου συντήρησης , που να καλύπτει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού
- Την εμπλοκή στο πρόγραμμα συντήρησης όλων των τμημάτων της επιχείρησης
- Την εμπλοκή όλων των εργαζομένων στην επιχείρηση

Η μέθοδος αυτή διασφαλίζει το βαθμό ασφαλείας των εγκαταστάσεων , το περιορισμό ατυχημάτων, την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας του παρεχόμενου προϊόντος ή υπηρεσίας. Η ολική παραγωγική συντήρηση βασίζεται στις εξής αρχές:

- Σωστός προγραμματισμός του εξοπλισμού για όλη τη διάρκεια ζωής του
- Τον ακολουθούμενο τρόπο συντήρησης (Διορθωτική, Προληπτική, Προβλεπτική) και τη συχνότητά της
- Σωστή κατανομή αρμοδιοτήτων των εμπλεκόμενων τμημάτων της επιχείρησης σε όλο το φάσμα της συντήρησης

Συνεπώς σε αυτό το πλαίσιο συντήρησης, ο κύριος ρόλος των παραδοσιακών τμημάτων συντήρησης είναι η εκπόνηση και η λειτουργία ενός συστήματος Προγραμματισμένης Συντήρησης, που στηρίζεται σε προκαθορισμένες ενέργειες που περιλαμβάνουν τα παρακάτω βήματα:

- Εκτίμηση εξοπλισμού – Κατανόηση κατάστασης
- Αναστροφή επιδείνωσης – Διόρθωση αδυναμιών

- Ανάπτυξη υπολογιστικού συστήματος συντήρησης
- Ανάπτυξη συστήματος περιοδικής (προληπτικής) συντήρησης
- Ανάπτυξη συστήματος προβλεπτικής συντήρησης
- Αξιολόγηση του συστήματος συντήρησης

Τα παραπάνω βήματα αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για το σύνολο των παραγωγικών εγκαταστάσεων.

### **3.5.2.2 Προγραμματισμένη Συντήρηση (Planned Maintenance)**

Η προγραμματισμένη συντήρηση είναι οι συστηματικοί έλεγχοι λειτουργίας του εξοπλισμού, βάσει μελετών διάγνωσης και αποκατάστασης, με σκοπό τη μέγιστη αποδοτικότητα και διαθεσιμότητα του (Mirghani 2001). Κατά την προγραμματισμένη συντήρηση επιδιώκεται να αποτραπούν οι διακοπές της λειτουργίας του εξοπλισμού, μέσω συστηματικής επιθεώρησης και περιοδικών επεμβάσεων, πριν να εμφανιστούν αστοχίες. Τα βασικά μέρη της προληπτικής συντήρησης είναι οι επιθεωρήσεις, η λίπανση, η αποκατάσταση λειτουργίας λόγω βλαβών ή η αντικατάσταση και η επισκευή. Σημαντικότερα κομμάτια αυτού του είδους συντήρησης είναι οι επιθεωρήσεις, σύμφωνα με τις οποίες ελέγχονται τα όργανα και εξαρτήματα μια δεδομένης εγκατάστασης, αντικαθιστώντας ή επισκευάζοντας τα μέρη που κρίνονται ελαττωματικά. Η επέμβαση αυτή αποσκοπεί στην ανακαίνιση της επιθεωρούμενης εγκατάστασης ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη διαθεσιμότητα κατά τη διάρκεια πολλών ετών λειτουργίας.

### **3.5.2.3 Προβλεπτική Συντήρηση (Predictive Maintenance)**

Η Προβλεπτική Συντήρηση είναι η εκτίμηση της πραγματικής φυσικής κατάστασης του εξοπλισμού, με στόχο τη σταδιακή μεταβολή των διαδικασιών συντήρησης από εργασίες αποκατάστασης-επισκευής βλαβών σε διαδικασίες πρόληψης-πρόβλεψης. Ύστερα από υλοποίηση προγραμμάτων προβλεπτικής συντήρησης σε 500 βιομηχανίες διεθνώς προέκυψαν τα παρακάτω οφέλη (Mobley 2002).

- Μείωση κόστους συντήρησης περίπου 50-80%
- Μείωση των καταστροφών του εξοπλισμού κατά 50-60%
- Μείωση των αποθεμάτων σε ανταλλακτικά 20-30%
- Μείωση του νεκρού χρόνου των μηχανών κατά 50-80%
- Μείωση του κόστους υπερωριών κατά 20-50%
- Αύξηση της διάρκειας ζωής των μηχανών κατά 20-40%
- Αύξηση της παραγωγικότητας κατά 20-30%
- Αύξηση κερδών κατά 20-60%

Οι σχετικές μέθοδοι της Προβλεπτικής συντήρησης στηρίζονται σε ένα σύνολο μετρητικών Τεχνικών, συνοδευόμενων από κατάλληλες Διαγνωστικές Μεθοδολογίες. Οι πιο διαδεδομένες Μετρητικές Τεχνικές είναι οι παρακάτω (Tumer and Stone 2003):

### **1) Μέτρηση Κραδασμών Θορύβων**

Σήμερα αποτελεί το πιο διαδεδομένο εργαλείο διάγνωσης βλαβών του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η μέθοδος αυτή είναι σημαντική διότι οποιαδήποτε βλάβη ή διαταραχή σε έναν εξοπλισμό προκαλεί αλλαγή της δυναμικής συμπεριφοράς του, η οποία μεταβιβάζεται στην μηχανική δομή του προκαλώντας μεταβολή των κραδασμών στους οποίους υπόκεινται. Επομένως η μέτρηση κραδασμών παρέχει κατάλληλες πληροφορίες για διάγνωση πιθανών βλαβών .

### **2) Ανάλυση τριβής**

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην ανάλυση του ελαίου λίπανσης (αφορά κυρίως εξοπλισμούς που διαθέτουν περιστρεφόμενα μέρη). Με την ανάλυση αυτή παρέχονται πληροφορίες για την προβλεπτική συντήρηση. Η χρήση της συνεπάγεται κόστος, που εντοπίζεται όχι μόνο στον απαραίτητο πάγιο εξοπλισμό και προσωπικό αλλά και στο κόστος σχετικών αναλώσιμων που χρησιμοποιούνται.

### **3) Υπερήχοι**

Οι μέτρηση με υπερήχους ακολουθεί την ίδια αρχή με τη μέτρηση κραδασμών, η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η σχετική περιοχή μέτρησης βρίσκεται στην περιοχή των υπερήχων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην περιοχή των ρωγμών του εξοπλισμού. Προϋπόθεση εφαρμογής της είναι η εκ των προτέρων γνώση των πιθανών σημείων εμφάνισης ρωγμών , διότι η γενική της χρήση είναι εξαιρετικά δαπανηρή.

### **4) Θερμογραφία**

Η μέθοδος με θερμογραφία βασίζεται στη μέτρηση ανωμαλιών στην εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας του εξοπλισμού. Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου εφαρμόζεται κατάλληλη απομόνωση της προς παρακολούθησης της εκπεμπόμενης ενέργειας, από άλλες ενεργειακές πηγές π.χ. ανακλώμενη ή μεταφερόμενη ενέργεια. Πρόκειται για ευαίσθητη μέθοδο και απαιτεί εκτεταμένη εκπαίδευση και εμπειρία.

Επιπλέον τεχνικές είναι οι μέθοδοι Δινορευμάτων, μέθοδοι Διεισδυτικών-Μαγνητικών υγρών, Ραδιογραφήματα και η Μέτρηση Ακουστικής Εκπομπής. Εκτός από τις μετρητικές τεχνικές υπάρχουν και Διαγνωστικές Τεχνικές. Στις Μετρητικές Μεθόδους στόχος είναι η διάγνωση βλαβών. Προϋπόθεση της διάγνωσης βλαβών είναι η σωστή ερμηνεία των σχετικών μετρήσεων. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί οι παρακάτω Διαγνωστικές Μεθοδολογίες (Stamatis 2003):

#### **1) Παρακολούθηση Λειτουργικών παραμέτρων (Parameter Trending)**

Πρόκειται για πρωτογενή μέθοδο διάγνωσης. Η εφαρμογή της περιλαμβάνει την παρακολούθηση των τάσεων εξέλιξης μεγεθών (Physical parameters trending) που σχετίζονται με τη φυσική διεργασία που εκτελείται από τον εξοπλισμό, δηλαδή πίεση,

θερμοκρασία, παροχή. Οι βλάβες εντοπίζονται έμμεσα από την εύρεση τιμών εκτός των λειτουργικών πλαισίων. Η επίτευξη τέτοιων διαγνωστικών μεθοδολογιών γίνεται με ανάπτυξη συστημάτων εποπτικής λειτουργίας των εγκαταστάσεων (Supervisory control and Data Acquisition Systems).

Μια δευτερογενής μέθοδος, είναι η παρακολούθηση δευτερογενών μεταβλητών, που προέρχονται από τις Μετρητικές Τεχνικές Διάγνωσης βλαβών, όπως δηλαδή η παρακολούθηση των τάσεων εξέλιξης συνιστωσών του φάσματος συχνοτήτων των μετρήσεων κραδασμών.

## 2) Επεξεργασία σήματος (Digital Signal Processing)

Αυτό το είδος μεθόδων έχει αναπτυχθεί με στόχο την επεξεργασία του μεγάλου όγκου μετρήσεων που προκύπτουν από τις Μετρητικές Τεχνικές και αποσκοπεί στην ελάττωση των σχετικών προς παρακολούθηση παραμέτρων και το βέλτιστο συσχετισμό τους με τα αίτια των βλαβών. Η πιο συνήθης μέθοδος βασίζεται στην ανάλυση συχνοτήτων που προκύπτουν από την ανάλυση μέτρησης κραδασμών. Έτσι οι συχνότητες μπορούν να συσχετισθούν με τύπο βλαβών. Άλλες μέθοδοι επεξεργασίας σήματος είναι η ανάλυση κυματιδίων (wavelets), η ανάλυση περιβάλλουσας (envelope analysis) και οι μέθοδοι ARMA.

## 3) Αυτοματοποιημένες Μέθοδοι Διάγνωσης (Automated Diagnosis)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί αυτοματοποιημένο σύστημα διάγνωσης βλαβών, τα οποία στηρίζονται σε τεκμηριωμένες επιστημονικές αρχές. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στη σύγκριση των λαμβανομένων μετρήσεων με δεδομένα ορθής λειτουργίας (Reference Model Diagnosis). Άλλα τέτοια συστήματα είναι τα εμπειρικά συστήματα (expert systems), τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks) ή η ασαφής λογική (fuzzy logic). Τα συστήματα αυτά παρά το γεγονός πως βρίσκονται σε ερευνητικό επίπεδο, η πρακτική εφαρμογή τους σε πολλές περιπτώσεις έχει οδηγήσει σε χρήσιμα αποτελέσματα.

## 3.6 Νέες προσεγγίσεις συντήρησης

Τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως η διαχείριση της συντήρησης έχει αρχίσει να απομακρύνεται από τις παραδοσιακές μεθόδους της διορθωτικής και προγραμματισμένης συντήρησης και στρέφεται σε πιο σύνθετες και αποδοτικότερες τεχνικές. Επίσης έχουν αρχίσει να υιοθετούνται όλο και περισσότερο προσεγγίσεις επιθεωρήσεων με ενδιαφέρον στον κίνδυνο (Khan, Haddara et al. 2008). Αυτό συμβαίνει διότι οι μέθοδοι προληπτικής συντήρησης, εάν χρησιμοποιηθούν σε έκταση μεγαλύτερη από αυτή που δικαιολογείται από τα πραγματικά δεδομένα της εγκατάστασης, μπορεί να οδηγήσουν σε υπερβολική επιβάρυνση του τμήματος συντήρησης, και κατά συνέπεια του κόστους συντήρησης, είτε να καταστήσουν τις μεθόδους αυτές πρακτικά ανεφάρμοστες, λόγω περιορισμού των διαθέσιμων πόρων.

Σε εγκαταστάσεις μικρής προς μεσαία κλίμακα, οι σχετικές δράσεις προσδιορίζονται συνήθως εμπειρικά, βάσει του ιστορικού της εγκατάστασης και της εμπειρίας του προσωπικού λειτουργίας και συντήρησης. Σε εγκαταστάσεις μεγαλύτερης κλίμακας, αυτό δεν είναι συνήθως δυνατό, λόγω της σημαντικής πληθώρας του προς συντήρηση εξοπλισμού. Για το λόγο αυτό, με στόχο την ιεράρχηση των απαιτήσεων επιθεώρησης-συντήρησης όχι βάσει εμπειρίας αλλά βάσει τεκμηριωμένων κριτηρίων αποφάσεων αναπτύχθηκαν μέθοδοι συντήρησης βασισμένες στην επικινδυνότητα.

### 3.6.1 Συντήρηση βάσει εκτίμησης επικινδυνότητας

Κοινή παράμετρος των μεθόδων που στηρίζονται στη συντήρηση βάσει της εκτίμησης επικινδυνότητας αποτελεί η εκτίμηση του **Παράγοντα Επικινδυνότητας (Bertolini, Bevilacqua et al. 2009)**. Ο παράγοντας αυτός τυπικά ορίζεται με τη σχέση:

$$Π.Ε. = (Επίπτωση Αστοχίας) \times (Πιθανότητα Εμφάνισης)$$

Στην επίπτωση αστοχίας εισάγεται με ένα ποσοτικό κριτήριο η εκτίμηση των πιθανών αποτελεσμάτων μιας συγκεκριμένης αστοχίας. Τέτοια ποσοτικά κριτήρια μπορεί να είναι η μείωση του βαθμού διαθεσιμότητας του συνόλου ή τμήματος της εγκατάστασης, η απώλεια παραγωγικών χρόνων, η μείωση της ποιότητας του προϊόντος, είτε ακόμη και οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Ο δεύτερος παράγοντας απεικονίζει την πιθανότητα εμφάνισης της συγκεκριμένης αστοχίας. Το γινόμενο των δύο παραμέτρων αποτελεί πλέον ένα συγκεκριμένο ποσοτικό κριτήριο για τη λήψη αποφάσεων συντήρησης (Krishnasamy, Khan et al. 2005, Bertolini, Bevilacqua et al. 2009).

Στη συντήρηση η πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος όπως η αστοχία εξοπλισμού μπορεί να προσδιοριστεί είτε χρησιμοποιώντας υποκειμενικές κρίσεις ειδικών, είτε μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας αντικειμενικά ιστορικά στοιχεία, από τις βάσεις δεδομένων που τηρούνται στον τομέα συντήρησης. Η πιθανότητα εμφάνισης μπορεί να δοθεί σαν η πιθανότητα αστοχίας ανά χιλιάδες ώρες λειτουργίας. Η επίπτωση μπορεί να ορισθεί ως ο αριθμός των αστοχιών που προκαλούνται ή ως η οικονομική απώλεια που προκαλείται από τις απώλειες. Ο ορισμός του κινδύνου με αυτόν τον τρόπο προσεγγίζει τον τρόπο που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον κίνδυνο και οδηγεί άμεσα σε μια ποσοτικοποιημένη απόδοση της απώλειας π.χ. ανά ώρες λειτουργίας. Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται νέες έννοιες για τη συντήρηση, όπως η συντήρηση βασισμένη στον κίνδυνο, οι επιθεωρήσεις βασισμένες στον κίνδυνο, η συντήρηση επικεντρωμένη στην Αξιοπιστία καθώς και η Ολική Παραγωγική Συντήρηση.

#### 3.6.1.1 Συντήρηση βασισμένη στον κίνδυνο (*Risk-based Maintenance, RBM*)

Η συντήρηση βασισμένη στον κίνδυνο (RBM) είναι μια προσέγγιση για τη βελτίωση των πρακτικών της διαχείρισης της συντήρησης. Σύμφωνα με τη προσέγγιση της RBM ο

μεγαλύτερος βαθμός κινδύνου σε μια εγκατάσταση περιέχεται σε μια μικρή μερίδα του εξοπλισμού της. Η μέθοδος αυτή έχει σαν σκοπό να επικεντρώσει τις επιθεωρήσεις και τους πόρους της συντήρησης στην αύξηση του επιπέδου κάλυψης στα στοιχεία υψηλού κινδύνου (Krishnasamy, Khan et al. 2005).

### **3.6.1.2      *Επιθεωρήσεις συντήρησης βασισμένες στον κίνδυνο (Risk-based Inspection, RBI)***

Ο προγραμματισμός της συντήρησης βασισμένη στον κίνδυνο συνδυάζει τον προγραμματισμό των επιθεωρήσεων βασισμένων στον κίνδυνο (RBI) για το στατικό εξοπλισμό και την ανάλυση της συντήρησης που θα επικεντρώνεται στην αξιοπιστία (Reliability Centered Maintenance, RCM) κομματιών του εξοπλισμού για να εξασφαλιστεί ένα πλαίσιο για τη βελτιστοποίηση των προγραμμάτων συντήρησης στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Reynolds 1996).

Οι επιθεωρήσεις βασισμένες στον κίνδυνο (RBI) είναι μέθοδοι που χρησιμοποιούν τον κίνδυνο ως βάση για τη κατηγοριοποίηση και την απόδοση προτεραιότητας στις εργασίες ενός προγράμματος επιθεωρήσεων. Ένα πρόγραμμα επιθεωρήσεων βασισμένο στον κίνδυνο επιτρέπει στους πόρους της συντήρησης να εξασφαλίσουν ένα μεγαλύτερο επίπεδο κάλυψης στα στοιχεία υψηλού κινδύνου και μια κατάλληλη προσέγγιση για τα στοιχεία χαμηλότερου κινδύνου, καταλήγοντας σε μια βελτίωση της διαθεσιμότητας της αξιοπιστίας της εγκατάστασης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τον ορισμό του κινδύνου που περιγράφηκε παραπάνω και το γινόμενο που προκύπτει δίνει τον κίνδυνο που συνδέεται με κάθε εξάρτημα (Kallen 2002). Η επίδραση του κινδύνου στις επιθεωρήσεις, έτσι ποσοτικοποιείται και η μείωση του μπορεί να αποτιμηθεί βάσει των προτεραιοτήτων του προγράμματος επιθεωρήσεων (Kallen 2002) . Επιπλέον όφελος ενός τέτοιου προγράμματος επιθεωρήσεων είναι η αύξηση των περιόδων λειτουργίας των παραγωγικών εγκαταστάσεων, καθώς και ο αποτελεσματικός έλεγχος του συνολικού κινδύνου.

## 4 Στοιχεία Αξιοπιστίας

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν η έννοια της αξιοπιστίας του εξοπλισμού. Θα περιγραφούν οι τύποι των βλαβών που μπορεί να παρουσιασθούν σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και στη συνέχεια θα παρατεθούν οι δείκτες αξιοπιστίας και τα είδη των κατανομών που μπορεί να προκύψουν από την μελέτη αξιοπιστίας του εξοπλισμού.

Αξιοπιστία ενός εξαρτήματος, συσκευής και γενικότερα τεχνολογικού συστήματος ή εξοπλισμού είναι η δεσμευμένη πιθανότητα με δοσμένο βαθμό εμπιστοσύνης ότι ο μηχανικός εξοπλισμός θα λειτουργήσει ικανοποιητικά (σύμφωνα με τις προδιαγραφές χωρίς αποτυχίες και μέσα σε καθορισμένα όρια αποδόσεως), σε δοσμένη ηλικία για καθορισμένο χρονικό διάστημα ή διάρκεια αποστολής, όταν χρησιμοποιείται με τον τρόπο και για τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε, σε καθορισμένο περιβάλλον και σε αντίστοιχα σε αυτό μεγέθη φορτίσεων (Barringer 1996).

### 4.1 Τύποι βλαβών

Η απόδοση της λειτουργίας συστήματος εγκατάστασης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τύπους, ανάλογα με την αιτία πρόκλησης βλάβης, τον τρόπο εκδήλωσης της καθώς και το βαθμό σημαντικότητας της. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες (Barringer 1996):

#### **Ανάλογα με την αιτία βλάβης**

- Βλάβη συνεχούς λειτουργίας
- Βλάβη καταπόνησης
- Βλάβη φθοράς
- Βλάβη κακής συντήρησης

#### **Ανάλογα με τον τρόπο εκδήλωσης της βλάβης**

- Άμεση βλάβη
- Βλάβη σε στάδια

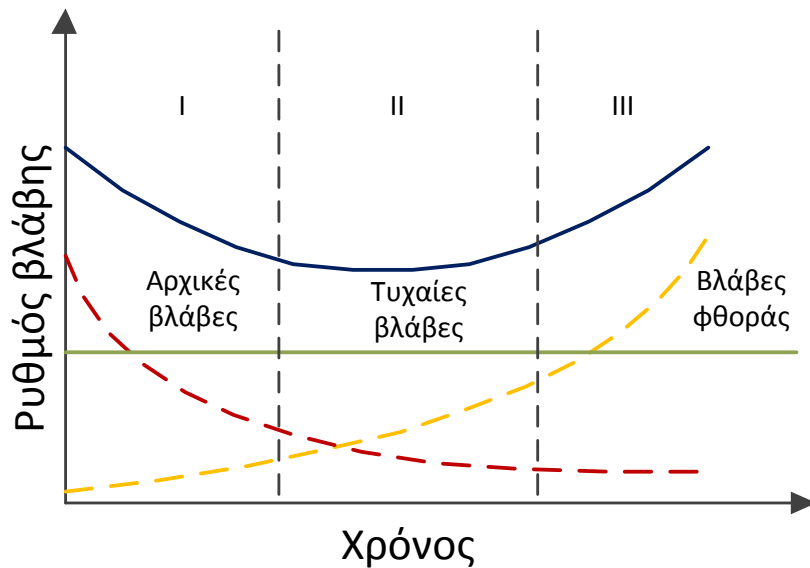
#### **Ανάλογα με το βαθμό επίδρασης της βλάβης**

- Καταστροφική βλάβη
- Διακοπή λειτουργίας
- Βλάβη μερικής απόδοσης

#### **Ανάλογα με τα αποτελέσματα της βλάβης**

- Πολύ σοβαρή
- Σοβαρή
- Όχι σοβαρή βλάβη

Επίσης η μεταβολή του ρυθμού βλάβης των περισσότερων στοιχείων ενός συστήματος, κατά τη διάρκεια ζωής τους παριστάνεται από την ακόλουθη καμπύλη:



Σχήμα 8 Καμπύλη ρυθμού βλαβών (bathtub curve)

- I. Το πρώτο τμήμα της καμπύλης αναφέρεται στις αρχικές βλάβες (infant mortality) που μπορεί να παρουσιάσει ένα σύστημα. Χαρακτηριστικό του είναι ο υψηλός ρυθμός βλαβών. Οι περισσότερες βλάβες εμφανίζονται στην αρχή λειτουργίας και μειώνονται με την πάροδο του χρόνου. Αίτια των πρώιμων βλαβών είναι οι κατασκευαστικές ατέλειες του συστήματος.
  
- II. Το δεύτερο τμήμα αφορά τυχαίες βλάβες (useful life period). Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι ο χρόνος δεν επηρεάζει το ρυθμό βλαβών, ο οποίος είναι σταθερός και οι βλάβες συμβαίνουν τυχαία. Τα εξαρτήματα ενός συστήματος σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν κάτω από ορισμένες συνθήκες, ως κάποιο όριο αντοχής. Όταν υπερβαίνονται αυτά τα όρια από απρογραμμάτιστα γεγονότα, τότε προκύπτουν τυχαίες βλάβες. Τα στοιχεία των συστημάτων δεν πρέπει να εισέλθουν σε προχωρημένη κατάσταση φθοράς πριν την αντικατάστασή τους, καθώς μπορούν να παραμένουν στο τμήμα της ωφέλιμης ζωής τους (σταθερός ρυθμός βλάβης) κατά το μεγαλύτερο μέρος της οικονομικά παραδεκτής ζωής τους με προληπτική συντήρηση που εκτελείται σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Η υπόθεση αυτή είναι σημαντική διότι όλες οι μέθοδοι υπολογισμού της αξιοπιστίας βασίζονται στους ρυθμούς βλαβών των στοιχείων κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής τους.



- III. Το τελευταίο τμήμα της καμπύλης αναπαριστά τις βλάβες που προέρχονται από φθορά (wear out period). Σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι η αύξηση του ρυθμού βλάβης με τον χρόνο.

Το παραπάνω διάγραμμα παρέχει σημαντικές πληροφορίες για το είδος των στατιστικών κατανομών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε τμήμα της καμπύλης. Για παράδειγμα στο τμήμα I χρησιμοποιούνται συνήθως οι κατανομές Γάμα και Weibull, στο τμήμα II η εκθετική και στο τελευταίο τμήμα η κανονική κατανομή ή κατανομή Γάμα.

#### 4.1.1 Τύποι βλαβών μηχανολογικού εξοπλισμού

Συνήθεις κατηγορίες βλαβών που παρουσιάζονται σε μηχανολογικούς εξοπλισμούς είναι (Neville Sachs, 1993):

- Βλάβες υπερφόρτωσης
- Βλάβες κόπωσης
- Βλάβες κόπωσης λόγω διάβρωσης
- Βλάβες διάβρωσης

##### 4.1.1.1 Ρυθμός βλάβης

Ως ρυθμός βλάβης ορίζεται ο λόγος του ολικού αριθμού των παρατηρήσεων βλαβών  $r$  προς το συνολικό χρόνο λειτουργίας του στην περίοδο ανάλυσης  $T$  (Tixier, Dusserre et al. 2002). Ο υπολογιζόμενος μέσος ρυθμός βλαβών  $\lambda$  για την αναλυόμενη περίοδο δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda = \frac{r}{T} \quad 4-1$$

##### 4.1.1.2 Μέσος χρόνος βλάβης

Ο μέσος χρόνος εμφάνισης βλάβης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$MTTF = \int_0^{+\infty} tf(t)dt = \int_0^{+\infty} t\left[-\frac{dR(t)}{dt}\right]dt \quad 4-2$$

### 4.1.1.3 Μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών

Μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών είναι η μέση τιμή της διάρκειας των χρονικών περιόδων μεταξύ διαδοχικών βλαβών για ορισμένη περίοδο ζωής ενός στοιχείου και υπολογίζεται ως ο λόγος του συνολικού χρόνου λειτουργίας  $T$  προς τον ολικό αριθμό παρατηρούμενων βλαβών  $r$ . Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για στοιχεία που επισκευάζονται και δίνεται από τη σχέση:

$$MTBF = \frac{T(t)}{r} \quad 4-3$$

Όπου  $T(t)$  ο συνολικός χρόνος λειτουργίας και  $r$  ο ολικός αριθμός των παρατηρούμενων βλαβών όπου  $\theta = \frac{1}{\lambda}$ . Στην περίπτωση σταθερού ρυθμού βλαβών ισχύει:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{\theta}} = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad 4-4$$

## 4.2 Μορφή μεταβλητών

Στο ερευνητικό πεδίο όλων των Επιστημών ο όρος μεταβλητή αποτελεί ειδικό εργαλείο της παρατήρησης που καθορίζεται στο μεταβατικό στάδιο που μεσολαβεί μεταξύ της διατύπωσης μιας υπόθεσης και της καθεαυτής παρατήρησης, δηλαδή της επαλήθευσης. Οι ποσοτικές μεταβλητές είναι μία από τις δύο βασικές κατηγορίες των μεταβλητών στο επιστημονικό πεδίο της έρευνας, της παρατήρησης και βασικότερα του πειράματος. Σε αντίθεση των μεταβλητών της έτερης κατηγορίας των "ποιοτικών μεταβλητών", οι ποσοτικές μεταβλητές είναι άμεσα μετρήσιμες καθώς είναι αυτές που δείχνουν ότι οι διάφοροι παράγοντες μεταβάλλονται κατά αριθμητική ποσότητα, αφού πρόκειται πάντα για ποσοτικά μεγέθη. Οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται επιμέρους σε συνεχείς και σε ασυνεχείς (ποσοτικές) μεταβλητές. Μία διακριτή μεταβλητή δύναται να λάβει πεπερασμένο αριθμό πλήθους τιμών, όπως για παράδειγμα ο αριθμός των βλαβών που παρουσιάζει ένα μηχανολογικό εξάρτημα. Ωστόσο είναι δυνατό για ευκολία στους υπολογισμούς να προσαρμοστεί μία συνεχής κατανομή σε μία τέτοια μεταβλητή, ειδικά όταν στους υπολογισμούς υπεισέρχεται η έννοια του χρόνου.

## 4.3 Κατανομές

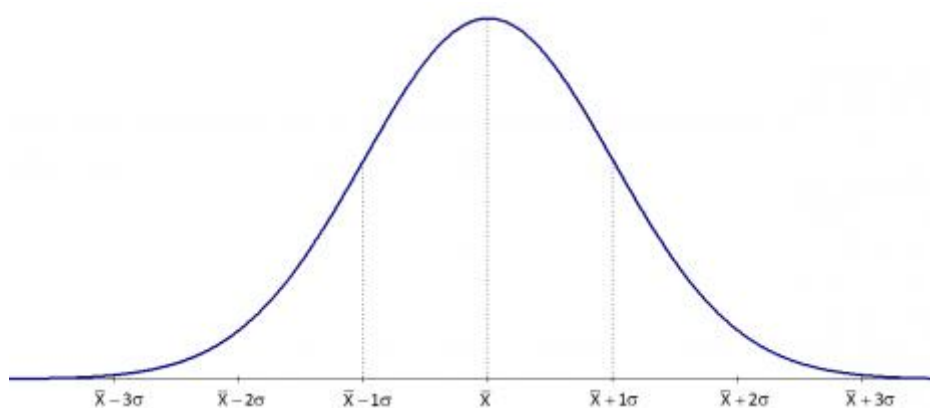
### 4.3.1 Κανονική Κατανομή (Normal Distribution)

Η κανονική κατανομή είναι σημαντική συνεχής κατανομή, διότι περιγράφει ικανοποιητικά κατανομές που εμφανίζονται σε πληθώρα πειραμάτων και δειγματοληψιών. Η μαθηματική διατύπωση της κανονικής κατανομής έγινε αρχικά από τον Γάλλο DeMoivre το 1733, παρόλα αυτά η κανονική κατανομή ονομάζεται και κατανομή Gauss προς τιμή του Gauss (1777-1855), ο οποίος κατέληξε στην διατύπωση της ίδιας κατανομής μετά από μελέτη των σφαλμάτων που παρουσιάζονται στις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ενός μεγέθους.

Δύο είναι οι κύριες εφαρμογές της κανονικής κατανομής στον υπολογισμό της αξιοπιστίας συστημάτων. Η μια εφαρμογή αφορά την ανάλυση των στοιχείων που παθαίνουν βλάβη λόγω της χρήσης τους, όπως μηχανολογικά εξαρτήματα. Συνήθως η κατανομή της βλάβης λόγω χρήσης είναι αρκετά κοντά στην κανονική και η χρησιμότητα αυτής της κατανομής για πρόβλεψη ή καθορισμό της αξιοπιστίας είναι αποτελεσματική. Μια άλλη εφαρμογή είναι στην ανάλυση της κατασκευής εξαρτημάτων και στη δυνατότητα να ικανοποιούν τις προδιαγραφές (Johnson 1997, Tixier, Dusserre et al. 2002).

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κανονικής κατανομής παρουσιάζεται ακολούθως. Όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι συμμετρική ως προς τη μέση τιμή, ενώ το ακριβές σχήμα και η μορφή της συνάρτησης μπορούν να υπολογισθούν από την παρακάτω εξίσωση, με παραμέτρους τη μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ .

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad 4-5$$



Σχήμα 9 Μορφή κανονικής κατανομής

Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των συνεχών μεταβλητών, ικανοποιούν τη σχέση:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)dt = 1 \quad 4-6$$

Η πιθανότητα  $P_t$  μιας τυχαίας μεταβλητής  $t$ , που ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$  ανάμεσα στα όρια  $t_1, t_2$  υπολογίζεται ως εξής:

$$P_t = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad 4-7$$

Η αποκληρωτική σχέση επειδή δεν μπορεί να εκφρασθεί με μια απλή συναρτησιακή μορφή ή να υπολογισθεί με ολοκληρωτικές τεχνικές. Οι υπολογισμοί γίνονται εφαρμόζοντας κλασσικές αριθμητικές τεχνικές ολοκλήρωσης, όπως η μέθοδος Simpson ή κατάλληλους πίνακες που δίνουν το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της κατανομής για ένα μεγάλο

εύρος πιθανών ορίων. Έτσι η ποινικοποίηση γίνεται συνάρτηση των παραμέτρων ( $\mu, \sigma$ ) και ορίζεται ως η αδιάστατη ανηγμένη μεταβλητή της κανονικής κατανομής.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad 4-8$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad 4-9$$

Η  $z$  είναι στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή, με μέση τιμή μηδέν και τυπική απόκλιση ένα. Η κανονική αυτή κατανομή ονομάζεται τυποποιημένη κανονική κατανομή (standardized normal distribution). Επιπλέον ισχύει η παρακάτω ανίσωση.

$$P\left(z \leq \frac{t-\mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad 4-10$$

Όπου  $\Phi$  είναι η πιθανότητα της στοχαστικής μεταβλητής  $z$ .

### 4.3.2 Τριγωνική κατανομή (Triangular distribution)

Η τριγωνική κατανομή δίνεται από τη συνάρτηση:

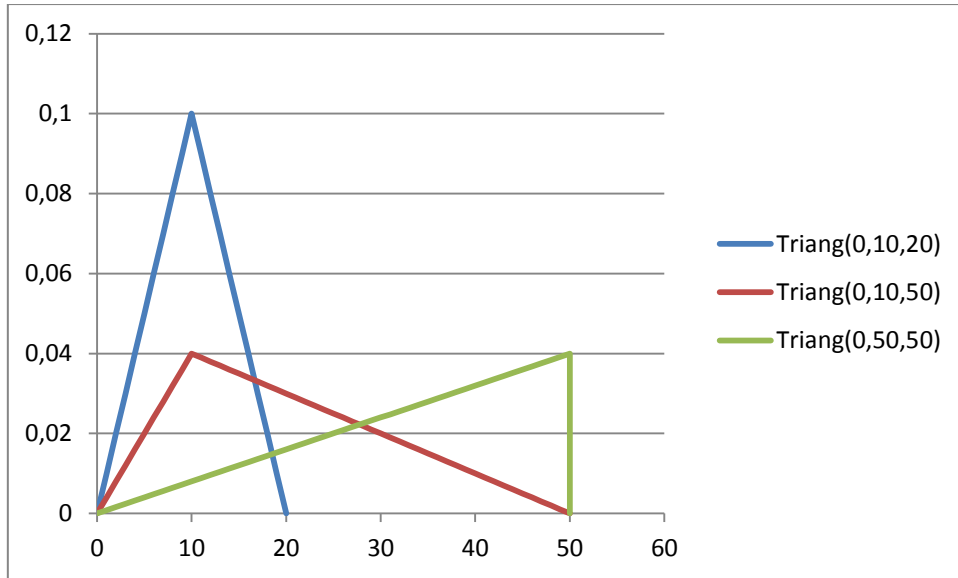
$$f(x; \mu, \Gamma) = \frac{-|x - \mu|}{\Gamma^2} + \frac{1}{\Gamma} \quad 4-11$$

Όπου η μεταβλητή  $x$  βρίσκεται ανάμεσα στα όρια  $\mu - \Gamma \leq x \leq \mu + \Gamma$  με  $\mu$  και  $\Gamma$  πραγματικούς αριθμούς και την ακόλουθη μέση τιμή και τυπική απόκλιση (Johnson 1997):

$$\mu = \frac{a + 4b + c}{6} \quad 4-12$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}}{18} \quad 4-13$$

Η κατανομή αυτή χρησιμοποιείται συχνά για την απεικόνιση εκτιμήσεων και καθορίζεται από τρεις παραμέτρους  $a, b, c$ , όπου  $a$  είναι η ελάχιστη τιμή,  $b$  είναι η πιθανή τιμή και  $c$  η μέγιστη τιμή. Παρακάτω φαίνεται η σχηματική της απεικόνιση τριών τριγωνικών κατανομών με τιμές παραμέτρων  $(0,10,20)$ ,  $(0,10,50)$  και  $(0,50,50)$  αντιστοίχως

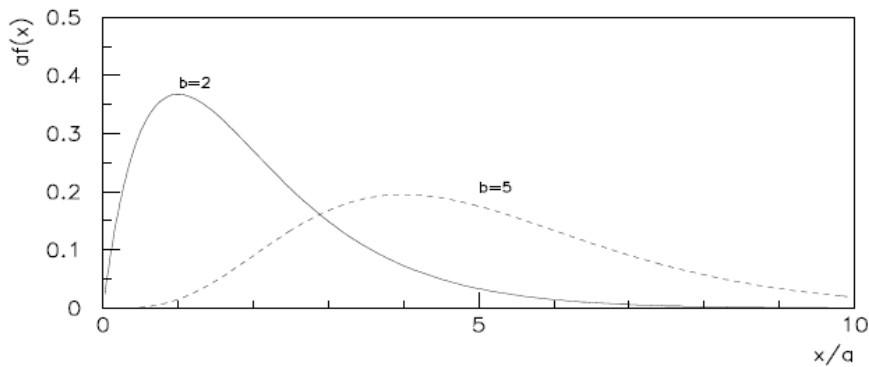


Σχήμα 10 Τριγωνικές κατανομές διαφορετικών παραμέτρων

### 4.3.3 Κατανομή Γάμα (Gamma Distribution)

Η κατανομή Γάμα χρησιμοποιείται στην ανάλυση αξιοπιστίας σε περιπτώσεις όπου μπορεί να προκύψει μερική βλάβη. Χρησιμοποιείται για την έκφραση αστοχίας ενός εξαρτήματος που υφίσταται σειρά από κρούσεις ή ταλαντώσεις. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται από την εξίσωση (Fay and Feuer 1997):

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t} \quad 4-14$$



Σχήμα 11 Κατανομή Γάμα

Όπου  $\alpha > 0$ ,  $\lambda > 0$  και  $\alpha = \lambda \cdot \mu$ . Ο ρυθμός βλάβης παριστάνεται με  $\lambda$  και  $\alpha$  είναι ο αριθμός μερικών βλαβών που οδηγούν σε ολική αστοχία.  $\Gamma(\alpha)$  είναι η συνάρτηση Γάμα και ορίζεται από τη σχέση:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{+\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad 4-15$$

Οι τιμές της  $\Gamma(\alpha)$  προκύπτουν από πίνακες. Επίσης διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις όταν ο παράγοντας  $\alpha-1$  είναι θετικός:

- Για  $\alpha=1$ , η κατανομή είναι εκθετική
- Για  $\alpha$ =ακέραιος, η συνάρτηση της αθροιστικής κατανομής είναι

$$F(t) = \sum_{k=\alpha}^{\infty} \frac{(\lambda t)^k \exp[-\lambda t]}{k!} \quad 4-16$$

Ορίζεται η αξιοπιστία  $R(t) = 1 - F(t)$  και ειδικός ρυθμός βλαβών  $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$ .

#### 4.3.4 Κατανομή Poisson (Poisson distribution)

Η κατανομή Poisson συνήθως χρησιμοποιείται στην ανάλυση αξιοπιστίας. Τα γεγονότα που ακολουθούν την κατανομή αυτή συμβαίνουν με σταθερό ρυθμό, σε μια χρονική περίοδο και είναι ανεξάρτητος από τον αριθμό των γεγονότων που έχουν συμβεί σε οποιαδήποτε άλλη περίοδο. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι η παρακάτω (Brownlee and Brownlee 1965):

$$f(x) = \frac{a^x e^{-a}}{x!} \quad 4-17$$

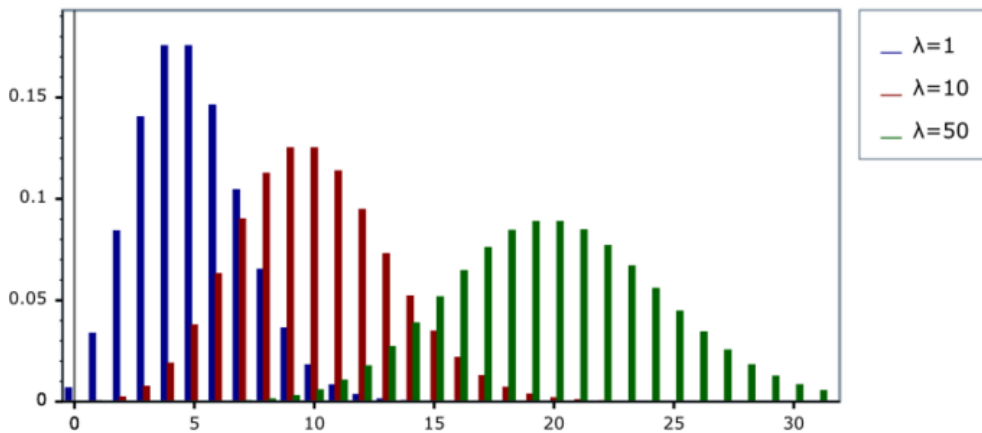
Όπου  $x$  είναι ο αριθμός και  $a$  ο αναμενόμενος αριθμός βλαβών. Για την ανάλυση αξιοπιστίας η συνάρτηση γίνεται:

$$f(x; \lambda, t) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad 4-18$$

Όπου  $\lambda$  είναι ο ρυθμός εμφάνισης βλαβών,  $t$  η χρονική περίοδος που εξετάζουμε και  $x$  ο αριθμός των βλαβών. Η συνάρτηση αξιοπιστίας δίνεται ακολούθως:

$$R(t) = \sum_{x=0}^{\gamma} \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$$

4-19



Σχήμα 12 Κατανομή Poisson

#### 4.3.5 Εκθετική Κατανομή (Exponential distribution)

Η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται στην μελέτη αξιοπιστίας και χρησιμοποιείται για πρόβλεψη αξιοπιστίας σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα (MIL-HDBK-217). Στην εκθετική κατανομή ο ρυθμός βλάβης θεωρείται σταθερός και αποτελεί μια περίπτωση της κατανομής Poisson (Chen and Trivedi 2005). Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται από τη σχέση:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

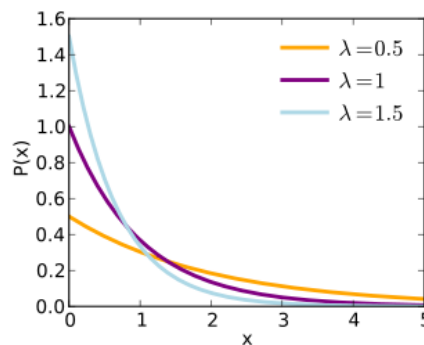
4-20

Όπου  $\lambda$  είναι ο ρυθμός βλάβης. Η συνάρτηση αξιοπιστίας είναι:

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

4-21

Ακολουθεί γραφική απεικόνιση της κατανομής σε σχέση με την παράμετρο  $\lambda$ .



Σχήμα 13 Απεικόνιση του τρόπου που επηρεάζει ο συντελεστής  $\lambda$  την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

#### 4.3.6 Κατανομή Weibull (Weibull distribution)

Τα διαφορετικά εξαρτήματα ενός συστήματος εξοπλισμού λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες, αυτό σημαίνει πως αστοχούν σε διαφορετικούς, απροσδιόριστους χρόνους. Γι'αυτό τον λόγο έχει διαπιστωθεί πως από τις στατιστικές κατανομές, η κατανομή Weibull αντιπροσωπεύει καλύτερα το μέγεθος των διαστημάτων επιθεώρησης (Cohen 1965). Η διάρκεια ζωής ενός εξαρτήματος μέχρι να αστοχήσει αποτελεί στοχαστική μεταβλητή  $t$ , η οποία ακολουθεί κατανομή Weibull. Η συνάρτηση της παρούσας κατανομής ορίζεται ως εξής (Cohen 1965):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad 4-22$$

Όπου  $\beta$  είναι παράμετρος σχήματος,  $\eta$  είναι παράμετρος κλίμακας και  $\gamma$  είναι παράμετρος θέσης. Θα πρέπει να σημειωθεί πως στις περισσότερες περιπτώσεις η παράμετρος  $\gamma$  λαμβάνει την τιμή μηδέν, επομένως η συνάρτηση παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad 4-23$$

Και η συνάρτηση αξιοπιστίας του υπό μελέτη εξοπλισμού είναι:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad 4-24$$

Τέλος ο ρυθμός βλάβης δίνεται από τη συνάρτηση:

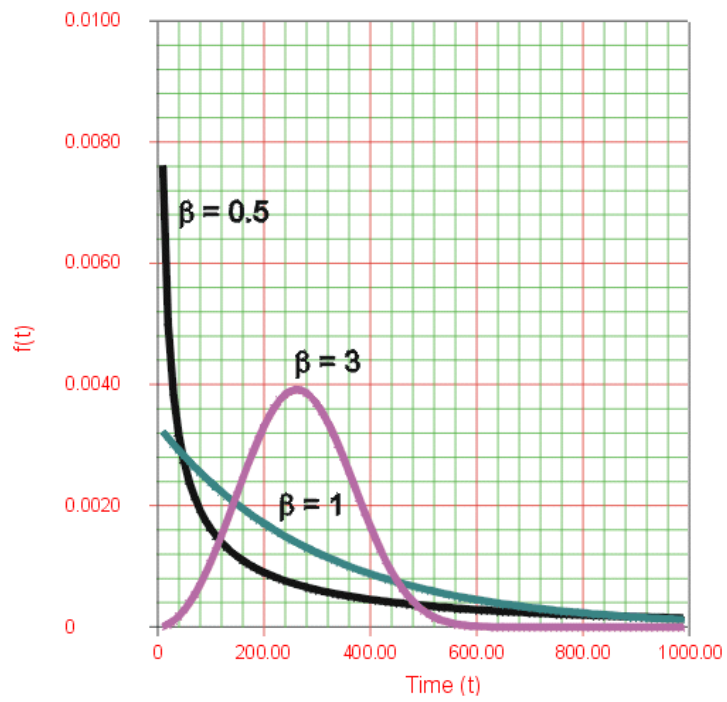
$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad 4-25$$

Ανάλογα με τις τιμές της παραμέτρου  $\beta$ , η καμπύλη του ρυθμού βλαβών μεταβάλλεται.

- Για  $\beta < 1$  ο ρυθμός βλαβών μειώνεται
- Για  $\beta = 1$  ο ρυθμός βλαβών είναι σταθερός
- Για  $\beta > 1$  ο αριθμός βλαβών αυξάνεται

Για την καλύτερη κατανόηση αυτών των μεταβολών, ακολουθούν καμπύλες πυκνότητας πιθανότητας, αξιοπιστίας και ρυθμού βλαβών για διαφορετικές τιμές των παραμέτρων  $\beta$  και  $\eta$ .

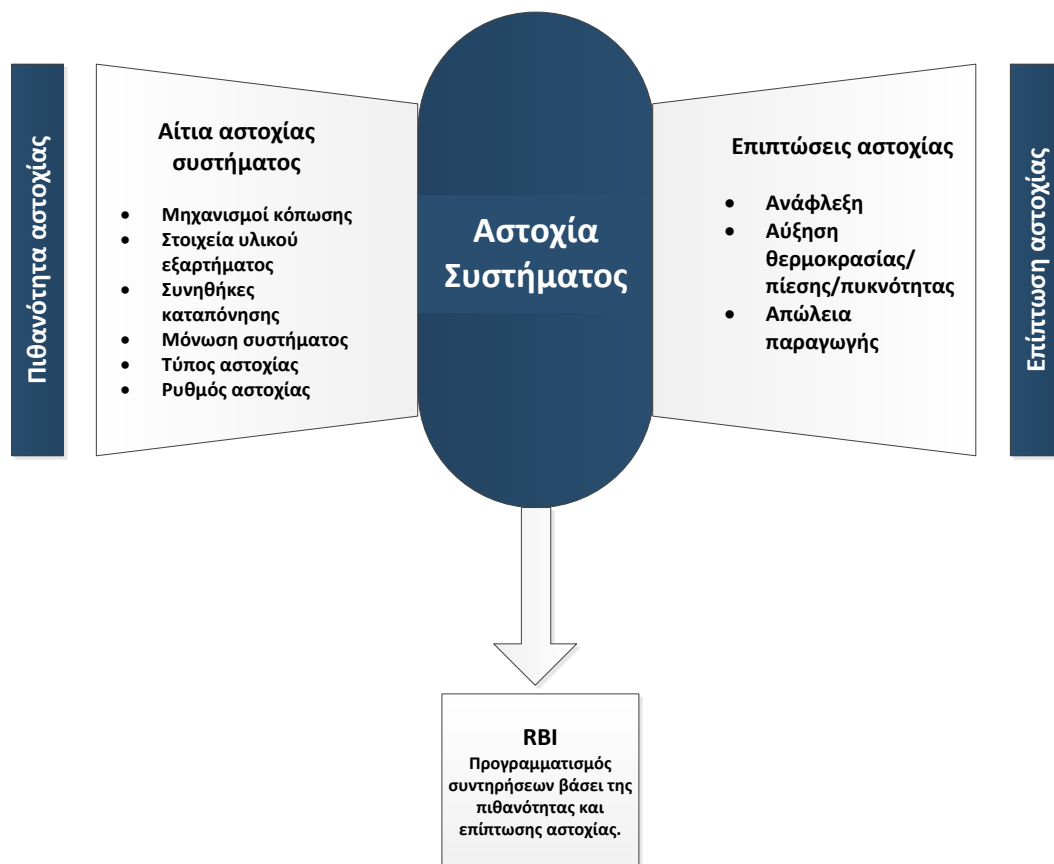




Σχήμα 14 Καμπύλη Weibull για διάφορες τιμές του  $\beta$

## 5 Συντήρηση βάσει εκτίμησης Επικινδυνότητας (Risk-Based Maintenance, RBM)

Η συντήρηση βάσει εκτίμησης επικινδυνότητας (RBM) είναι μια μέθοδος που σχεδιάστηκε για τον προγραμματισμό και λήψη αποφάσεων όσον αφορά τις επιθεωρήσεις συντήρησης. Η μέθοδος αυτή αποτελείται από δύο κύρια μέρη, το πρώτο μέρος είναι ο προσδιορισμός της πιθανότητας αστοχίας ενός εξαρτήματος του εξοπλισμού μια επιχείρησης και το δεύτερο μέρος είναι ο υπολογισμός των επιπτώσεων μιας ενδεχόμενης αστοχίας. Η μεθοδολογία βασίζεται σε ένα 5x5 πίνακα που παρέχει τον ζητούμενο υπολογισμό των τιμών της RBM και χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση του προγράμματος συντήρησης, ενώ παράλληλα παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τον καθορισμό προγραμματισμένου πλάνου συντήρησης και επιθεωρήσεων. Για να εφαρμοστεί η εκτίμηση επικινδυνότητας βάσει ρίσκου είναι σκόπιμο να υπολογισθεί ξεχωριστά τόσο η ζητούμενη πιθανότητα όσο και επίπτωση, ώστε να βρεθεί η τιμή του τελικού ρίσκου. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η γενική δομή της μεθόδου RBM. Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος παρουσιάζει τους μηχανισμούς που συντελούν στην εμφάνιση βλαβών ενός συστήματος, καθένας από αυτούς τους παράγοντες δεν οδηγεί απαραίτητα σε αστοχία ολόκληρου συστήματος, ενώ τέλος ο υπολογισμός της πιθανότητας αστοχίας γίνεται είτε αριθμητικά, είτε εμπειρικά σύμφωνα με την κρίση του ειδικού μηχανικού (Arunraj and Maiti 2007).



Σχήμα 15 Γενική δομή της Εκτίμησης Επικινδυνότητας βάσει Κινδύνου (RBM)

## 5.1 Θεμελιώδη στοιχεία της RBM

Ο προγραμματισμός συντήρησης βάσει της εκτίμησης επικινδυνότητας είναι μια μέθοδος με πολλά οφέλη, ένα από αυτά είναι η ελάττωση του κόστους συντήρησης, καθώς χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των παρακάτω βασικών απαιτήσεων ενός ολοκληρωμένου προγράμματος συντήρησης (Vo and Balkey 1995) :

- Που πρέπει να γίνει επιθεώρηση συντήρησης
- Τι πρέπει να ελεγχθεί
- Πως πρέπει να γίνει η επιθεώρηση
- Κάθε πότε πρέπει να γίνεται επιθεώρηση συντήρησης

Οι παραπάνω απαιτήσεις καλύπτονται από την μέθοδο RBM μέσα στα πλαίσια της ασφάλειας και υγιεινής της εργασίας καθώς και τήρηση των περιβαλλοντικών ορίων. Το πεδίο προγραμματισμού συντήρησης απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 16 Πεδίο Εκτίμησης Επικινδυνότητας βάσει Ρίσκου

Η συγκεκριμένη μέθοδος πρόβλεψης του κατάλληλου προγράμματος συντήρησης έχει μεγάλη πολυπλοκότητα εξαιτίας των παρακάτω παραγόντων:

- Μεγάλος αριθμός παραμέτρων που εμπλέκονται στο πρόβλημα της RBM
- Πολυπλοκότητα των μονάδων του εξεταζόμενου συστήματος
- Μεγάλος αριθμός στοιχείων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν
- Θεωρητική δομή που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ρίσκου

### 5.1.1 Μέθοδοι Εκτίμησης της RBM

Η μέθοδος εκτίμησης βάσει ρίσκου μπορεί να επιτευχθεί είτε με ποιοτικές μεθόδους, είτε με ποσοτικές, ωστόσο συνήθως χρησιμοποιείται μια τρίτη μέθοδος η οποία είναι συνδυασμός των προηγούμενων δύο και καλείται ημι-ποσοτική (Khan, Sadiq et al. 2004).

#### 5.1.1.1 Ποσοτική Μέθοδος Εκτίμησης Επικινδυνότητας

Κατά την ποσοτική μέθοδο αντιστοιχίζονται τιμές ρίσκου με βαθμίδες ρίσκου, εκφρασμένες με όρους πιθανοτήτων αστοχίας ή επίπτωσης αστοχίας. Η αριθμητική τιμή του ρίσκου που προκύπτει υπολογίζεται και ανανεώνεται συστηματικά. Η ποσοτική προσέγγιση απαιτεί την χρήση υπολογιστή για τον υπολογισμό του ρίσκου και των προγραμμάτων συντήρησης. Αυτή η μέθοδος εκτίμησης αποτελείται από ανάλυση δένδρων σφαλμάτων, προκειμένου να καθορισθεί η πιθανότητα εμφάνισης κάθε ακολουθίας αστοχιών και το αποτέλεσμα του ρίσκου παρουσιάζεται ως αριθμητική τιμή (Krishnasamy, Khan et al. 2005).

#### 5.1.1.2 Ποιοτική Μέθοδος Εκτίμησης Επικινδυνότητας

Στην ποιοτική μέθοδο, αντί για αριθμητικές τιμές το ρίσκο αξιολογείται με όρους όπως, χαμηλό, μέσο, υψηλό. Συνήθως βασίζεται στην κρίση του μηχανικού και εφαρμόζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα με σχεδόν μηδενικό αρχικό κόστος και με κατανοητά αποτελέσματα, χωρίς ωστόσο να ενημερώνεται εύκολα. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου τρόπου εκτίμησης ρίσκου εξαρτάται από το γνωστικό πεδίο και εμπειρία της ομάδας συντήρησης (Bass and Robichaux 2001).

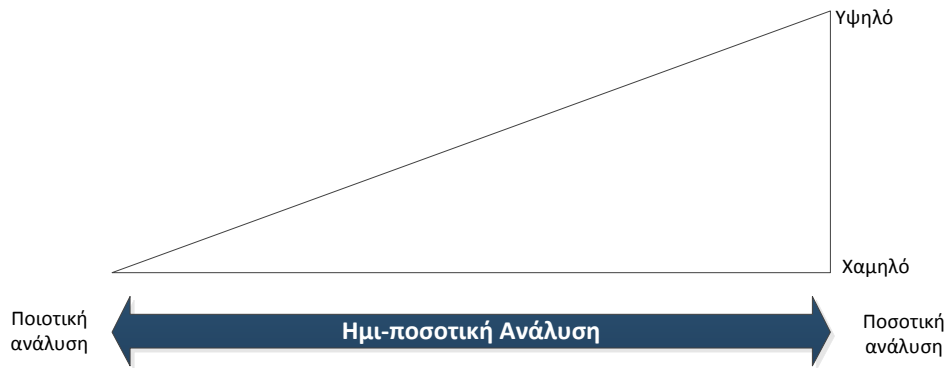
### 5.1.2 Ημιποσοτική Μέθοδος Εκτίμησης Επικινδυνότητας

Η τρίτη μέθοδος εκτίμησης ρίσκου είναι συνδυασμός Ημι-ποσοτικής/Ημι-ποιοτικής εκτίμησης και κάνει χρήση των κύριων πλεονεκτημάτων των δύο παραπάνω μεθόδων. Είναι δυνατόν να υπάρχουν διαφορετικές περιπτώσεις σαν τις ακόλουθες (Aven 2008):

- Η επίπτωση αστοχίας είναι ποιοτική και η πιθανότητα αστοχίας είναι ποσοτική
- Η επίπτωση και η πιθανότητα αστοχίας είναι ποσοτικές συμβαδίζοντας με τα ποιοτικά δεδομένα και ο χρόνος συντήρησης ποιοτικός

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε κατηγορίες πιθανοτήτων και επιπτώσεων ή ως τιμές ρίσκου, ωστόσο οι αριθμητικές τιμές συνδέονται με κάθε κατηγορία ώστε να υπολογισθεί το τελικό ρίσκο. Η διοίκηση κάθε επιχείρησης, καθορίζει με ποια προσέγγιση θα χρησιμοποιηθεί η ανάλυση ρίσκου, ώστε η ποιοτική και ποσοτική προσέγγιση να είναι οι

βέλτιστες δυνατές (ΑΠΙ,2009,DNV,2010). Η συνέχεια μεταξύ των μεθόδων εκτίμησης ρίσκου παριστάνεται γραφικά ακολούθως.



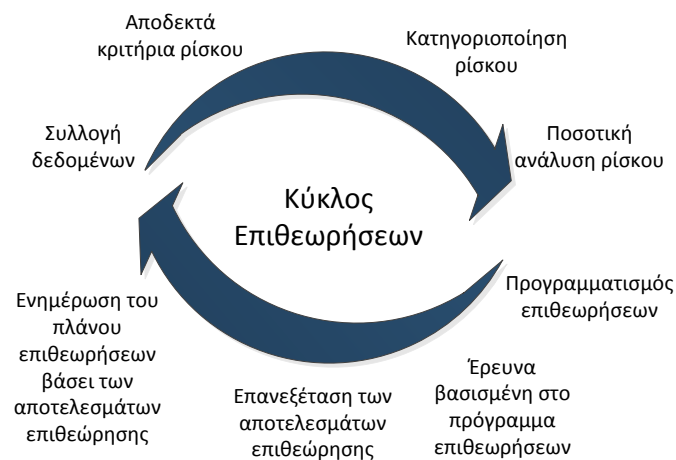
Σχήμα 17 Συσχέτιση των προσεγγίσεων εκτίμησης ρίσκου

## 5.2 Διαδικασία της Εκτίμησης Επικινδυνότητας

Η μεγάλη ποικιλία του εξοπλισμού των επιχειρήσεων οδηγεί στη διενέργεια της μεθόδου RBM. Η μέθοδος εκτίμησης επικινδυνότητας χωρίζεται σε πέντε κύρια βήματα και είναι τα παρακάτω (Arunraj and Maiti 2010):

- I. Συλλογή δεδομένων και πληροφοριών
- II. Επιλογή τρόπου αξιολόγησης
- III. Λεπτομερής αξιολόγηση
- IV. Προγραμματισμός
- V. Εκτέλεση και εκτίμηση

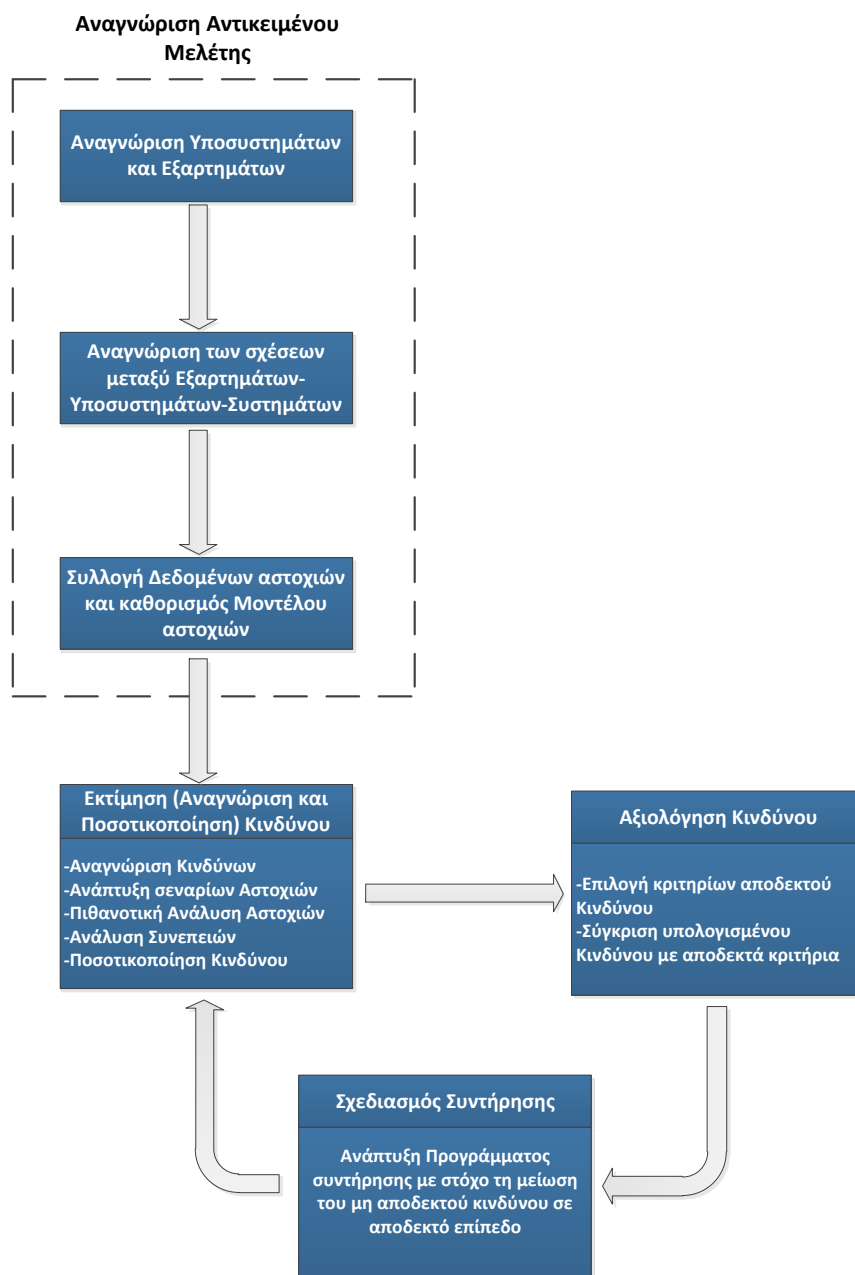
Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η διαδικασία που ακολουθείται ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος βάσει κινδύνου, στον προγραμματισμό συντήρησης.



Σχήμα 18 Προσέγγιση της RBM

### 5.3 Δομή της RBM

Σύμφωνα με πολλούς μελετητές η δομή της κλασικής μεθόδου εκτίμησης της επικινδυνότητας δεν έχει μοναδική μορφή. Παρόλο που υπάρχουν μελέτες στις οποίες τα βήματα της διαδικασίας είναι διαφορετικά το αποτέλεσμα παραμένει ίδιο. Σε κάποιες προσεγγίσεις τα στάδια μελέτης είναι τρία ενώ σε άλλες τέσσερα. Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στο γεγονός ότι τα δύο πρώτα βήματα ομαδοποιούνται σε ένα, χωρίς να προκύπτει ουσιαστική διαφοροποίηση στο παραγόμενο αποτέλεσμα. Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας RBIM τεσσάρων βημάτων, καθώς προτιμάται περισσότερο από τους αναλυτές και τις ενδιαφερόμενες επιχειρήσεις τον τελευταίο καιρό (Khan, Sadiq et al. 2004).



Σχήμα 19 Δομή RBM τεσσάρων βημάτων

Όπως παρουσιάζεται παραπάνω η μέθοδος εκτίμησης διαστημάτων συντήρησης, βάσει της μελέτης επικινδυνότητας ακολουθεί τα παρακάτω τέσσερα βήματα:

1. Αναγνώριση Αντικειμένου μελέτης
2. Εκτίμηση του Κινδύνου
3. Αξιολόγηση του Κινδύνου
4. Σχεδιασμός Συντήρησης

Εύκολα συμπεραίνεται πως η μέθοδος RBM είναι ένας αλγόριθμος, καθώς περιέχει βήματα τα οποία είναι άρρηκτα συνυφασμένα μεταξύ τους, δημιουργώντας δομή βρόγχου, από την οποία προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα. Προϋπόθεση της εξαγωγής αποτελέσματος είναι η ικανοποίηση όλων των κριτηρίων αποδοχής κάθε περίπτωσης (Jardine, Lin et al. 2006).

## 5.4 Εφαρμογή της RBM

Πρώτο βήμα της εφαρμογής RBM είναι η διαίρεση του εξεταζόμενου συστήματος σε μικρότερες μονάδες, καθώς μπορούν να αναλυθούν με ακρίβεια. Στη συνέχεια αναλύεται κάθε μονάδα σύμφωνα με τα στάδια της ανάλυσης. Η τιμή του Παράγοντα Κινδύνου που υπολογίζεται για κάθε σενάριο αστοχιών της μονάδας του εξοπλισμού, συγκρίνεται με τα αποδεκτά κριτήρια. Εάν η τιμή που προκύπτει υπερβαίνει τις αποδεκτές τιμές κινδύνου, το σενάριο αστοχιών αξιολογείται εκ νέου βάσει βελτιωμένων διαστημάτων επιθεωρήσεων και συντηρήσεων. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις μονάδες μέχρι το εξαγόμενο αποτέλεσμα να ικανοποιεί τα αποδεκτά κριτήρια κινδύνου. Τέλος τα αποτελέσματα συνδυάζονται ώστε να παράγουν το συνολικό πρόγραμμα συντήρησης του συστήματος (Jardine, Lin et al. 2006).

Εφαρμόζοντας αυτή τη μέθοδο, προσδιορίζεται ο κίνδυνος ενδεχόμενων αστοχιών, ως συνάρτηση της πιθανότητας να συμβούν και των συνεπειών τους. Έπειτα αναγνωρίζεται ο κρίσιμος εξοπλισμός ως αποτέλεσμα σύγκρισης με τα αποδεκτά όρια. Έτσι διαχωρίζονται τα τμήματα του εξοπλισμού βάσει του παράγοντα κινδύνου και δίνεται προτεραιότητα συντήρησης σε εκείνα που παρουσιάζουν υψηλή τιμή. Η RBM αποτελεί εργαλείο καθορισμού της χρονικής διάρκειας μεταξύ δύο διαδοχικών ελέγχων, των τμημάτων του εξοπλισμού, με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος αστοχίας τους. Κατά συνέπεια μειώνεται ο ολικός κίνδυνος της εγκατάστασης (Khan and Haddara, 2004).

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται και αναλύονται τα βήματα της μεθόδου με σχετικά παραδείγματα.

## 5.5 Βήματα της RBM

Πριν ξεκινήσουν να παρουσιάζονται τα βήματα της ανάλυσης κινδύνου, κρίνεται σκόπιμο να γίνει περιγραφή βασικών εννοιών στις οποίες στηρίζεται η RBM.

### 5.5.1 Η έννοια του Συστήματος και των υποδιαιρέσεων του

Καθώς γίνεται η ανάλυση της μεθόδου RBM γίνονται αναφορές σε έννοιες όπως Σύστημα, Υποσύστημα, Μονάδα και Εξάρτημα. Για αυτόν το λόγο ακολουθούν οι ορισμοί αυτών των εννοιών, μαζί με σχηματική αναπαράσταση (Jardine, Lin et al. 2006).

#### **Εγκατάσταση**

Η εγκατάσταση είναι το σύνολο του βιομηχανικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων και παροχή υπηρεσιών. Η εγκατάσταση μπορεί να υποδιαιρεθεί σε υπο-εγκαταστάσεις.

#### **Σύστημα**

Σύστημα είναι το σύνολο των τεχνικών μέσων που χρησιμοποιούνται για την ολοκλήρωση συνδυασμού εργασιών.

#### **Μονάδα**

Μονάδα είναι η ανεξάρτητη συσκευή για την εκπλήρωση ενός καθήκοντος. Για παράδειγμα μια μονάδα εξοπλισμού αντλίας συμπεριλαμβάνει την αντλία, τις συνδέσεις και το σύστημα μετάδοσης κίνησης.

#### **Εξάρτημα**

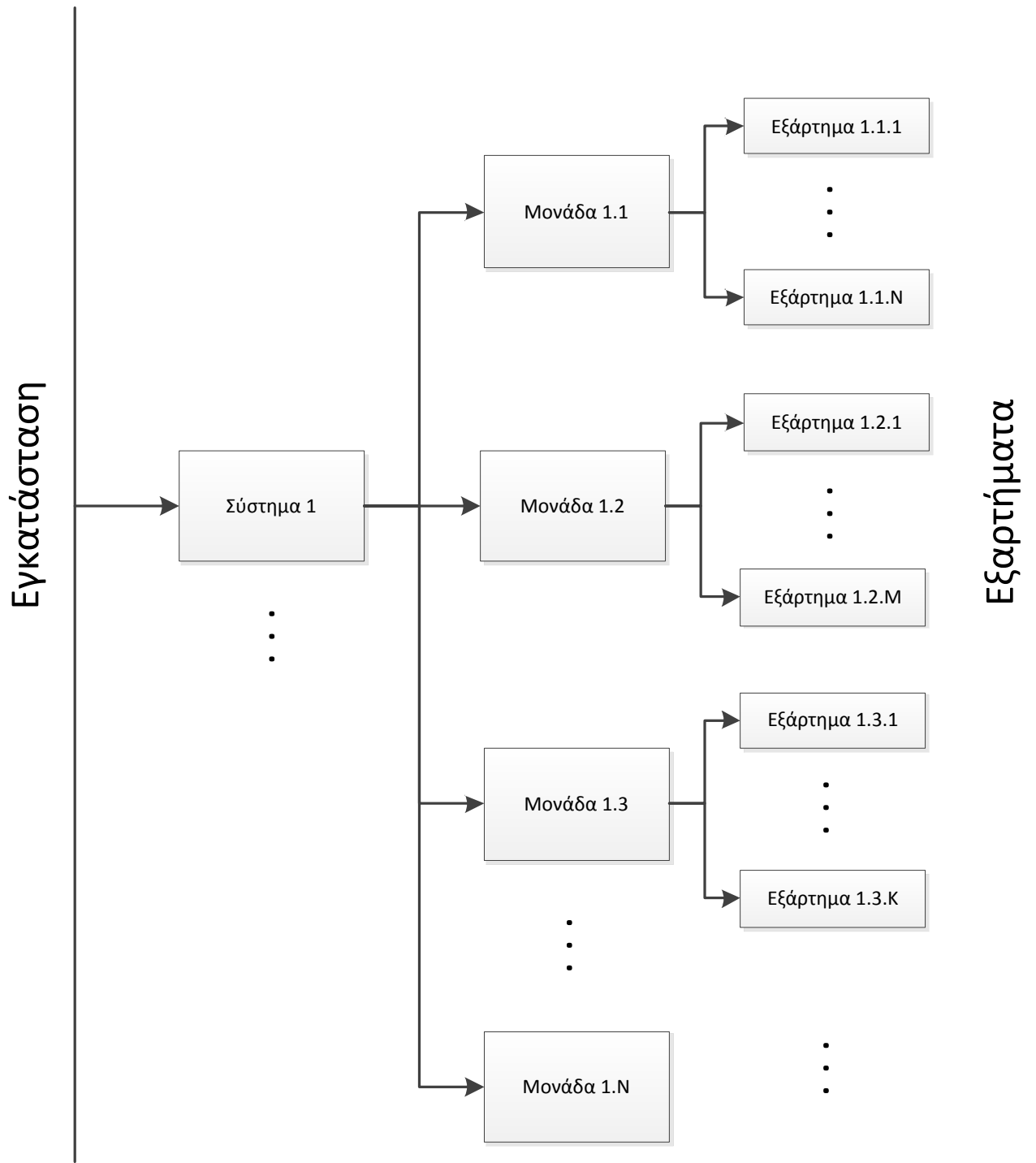
Το εξάρτημα είναι μια λειτουργική μονάδα, και το σύνολο περισσότερων του ενός απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας εργασίας. Για παράδειγμα για μια αντλία που αποτελείται από πλαίσιο, άξονα, στροφέιο, έδρανο κ.τ.λ. για τη μετάδοση κίνησης ως εξαρτήματα αναγνωρίζονται, ο στάτορας, ο ρότορας, το έδρανο κ.τ.λ.

#### **Υπό-εξάρτημα**

Υπό-εξαρτήματα είναι το σύνολο των αντικειμένων που απαρτίζουν την εσωτερική δομή ενός αντικειμένου, αποτελούμενα από σύνολο υλικών που συνθέτουν το εξάρτημα, ενώ είναι δυνατή η ανάλυση τους σε διαφορετικό βαθμό και δομή.

Στην επόμενη σελίδα δίνεται η γενική απεικόνιση μια εγκατάστασης και των επιμέρους δυνατών της διαιρέσεων σε συστήματα, μονάδες και εξαρτήματα.





Σχήμα 20 Γενική απεικόνιση Συστήματος και υποδιαίρεσών του

### 5.5.2 Αναγνώριση Αντικειμένου μελέτης

Σε αυτό το βήμα, καθορίζεται το σύστημα στο οποίο θα εφαρμοσθεί η μέθοδος συντήρησης βάσει εκτίμησης επικινδυνότητας RBM. Η ανάλυση μπορεί να αφορά είτε ολόκληρη την εγκατάσταση, είτε τμήμα της. Η εγκατάσταση χωρίζεται σε μεγάλα συστήματα, κάθε σύστημα διαιρείται σε υποσυστήματα και καθένα από αυτά αναλύεται ξεχωριστά. Έπειτα συλλέγονται δεδομένα σχετικά με την εγκατάσταση και τα στοιχειώδη τμήματα του, ώστε να αναπτυχθούν σενάρια αστοχιών. Οι πληροφορίες που συλλέγονται περιέχουν ιστορικό βλαβών του εξοπλισμού. Παράλληλα μελετώνται οι σχέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων και υποσυστημάτων του συστήματος, τόσο εντός όσο και εκτός αυτού (Tixier, Dusserre et al. 2002).

Παράλληλα με την κατηγοριοποίηση του συστήματος, τίθενται παραδοχές και ερμηνεύονται τα διαθέσιμα δεδομένα ώστε να προκύψουν συμπεράσματα, για την κατανομή των πιθανοτήτων που ακολουθούν οι μεταβλητές του υπό μελέτης προβλήματος. Ένα από τα βασικότερα μέρη της ανάλυσης είναι η επιλογή κατανομής, καθώς επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα της ανάλυσης. Τέλος με μεθόδους όπως αυτή των ελαχίστων τετραγώνων, οι εξερευνητές εξετάζουν αν οι προκύπτουσες καμπύλες περιγράφουν τα δεδομένα με τη μέγιστη ακρίβεια.

### 5.5.3 Εκτίμηση κινδύνου (Αναγνώριση και Ποσοτικοποίηση)

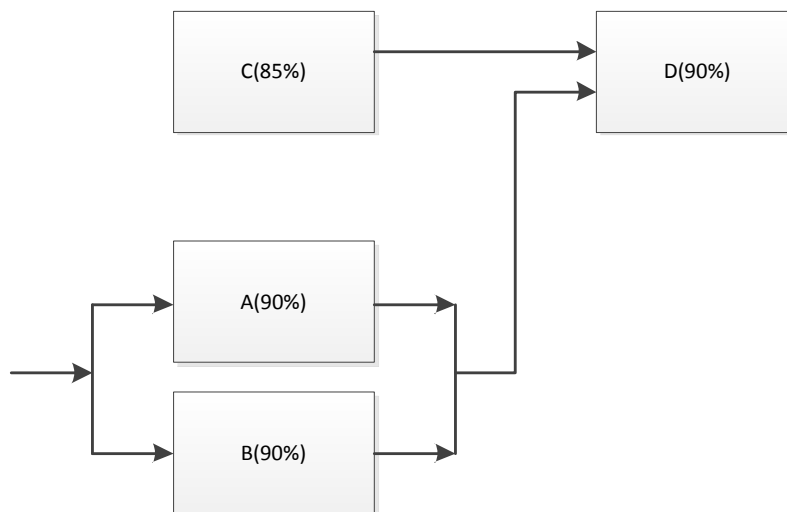
Σε αυτό το βήμα, πραγματοποιείται πλήθος υπολογισμών για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου, τα στάδια υπολογισμού αναπτύσσονται ακολούθως:

#### 5.5.3.1 Σενάρια αστοχιών (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, FMECA)

Σε αυτό το στάδιο αναγνωρίζονται τα σημαντικότερα γεγονότα που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία. Ειδικότερα η μέθοδος προσδιορίζει διάφορες πιθανές αστοχίες υποσυστημάτων και τις επιπτώσεις τους στο συνολικό σύστημα. Αποτελεί την πιο άμεση μέθοδο ανάλυσης και ενδείκνυται κυρίως σε περιπτώσεις, όπου μια μεμονωμένη αστοχία είναι ικανή να οδηγήσει σε αστοχία του συνολικού συστήματος. Τα αποτελέσματα της συνήθως τυποποιούνται σε ένα πίνακα με στήλες που περιλαμβάνουν την υπό εξέταση συνιστώσα, την πιθανή αστοχία, την αιτία της, την πιθανότητα εμφάνισης και την κρισιμότητα της επίπτωσης (Carlson).

### 5.5.3.2 Ποσοτική εκτίμηση επιπτώσεων

Δημιουργείται ιεραρχικά ένα μοντέλο ανάλυσης των πιθανών επιπτώσεων , πρώτα σε υποσυστήματα παραγωγής , στη συνέχεια σε μηχανήματα , και τέλος σε εξαρτήματα μηχανημάτων. Και μόνο η ανάλυση αυτού του σκέλους είναι δυνατόν να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα για τη βελτίωση τόσο της συντήρησης όσο και της γενικότερης σχεδίασης της εγκατάστασης. Ενδεικτικά αναφέρεται η σχετική ανάλυση της μείωσης της Ολικής Διαθεσιμότητας. Στο σχήμα 7 σαν αποτέλεσμα της μείωσης των επιμέρους διαθεσιμοτήτων. Εάν η εκτίμηση των επιπτώσεων δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθεί , μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποιοτικά κριτήρια κατάταξης σε κατηγορίες (π.χ. Σοβαρές επιπτώσεις , μέτριες , ήσσονος σημασίας, κ.λπ.).



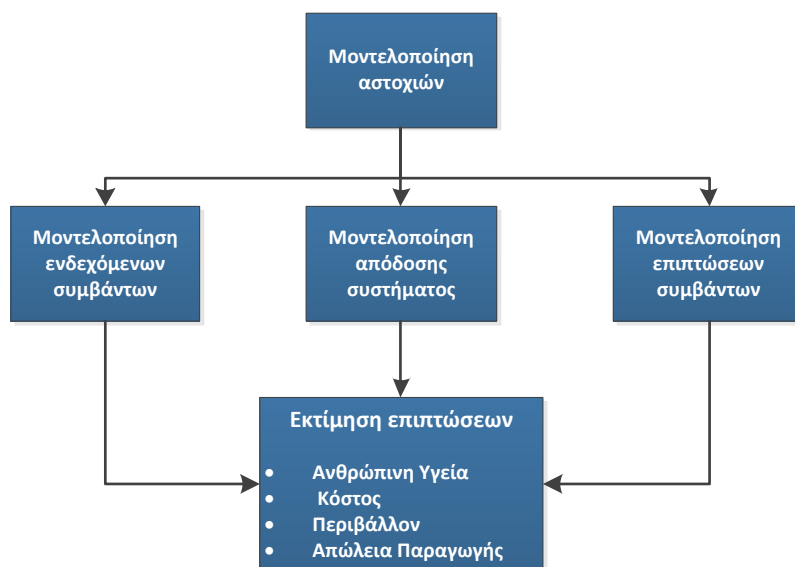
Μηχάνημα	Τύπος Βλάβης	Μείωση διαθεσιμότητας Μηχανήματος	Πιθανότητα Εμφάνισης	Νέα Ολική Διαθεσιμότητα	Παράγων Επικινδυνότητας
A	F1	30%	0,15	73%	0,34
B	F2	10%	0,05	67%	0,46
C	F3	5%	0,1	72%	0,42

**Σχήμα 21 Ενδεικτική εφαρμογή ανάλυσης επικινδυνότητας στην Ολική Διαθεσιμότητα μιας εγκατάστασης**

Στο σχήμα 7 το τελικό προϊόν παράγεται από τη μονάδα D, η οποία επεξεργάζεται τα υποπροϊόντα της μονάδας C και της ομάδας (A,B). Η Ολική Διαθεσιμότητα της εγκατάστασης προσδιορίζεται από τον τύπο  $O.Δ. = [1 - (1-A) \times (1-B)] \times C \times D$  , όπου A,B,C,D είναι οι διαθεσιμότητες κάθε μηχανήματος. Οι αντίστοιχες αρχικές τιμές φαίνονται στο σχήμα και η αρχική O.Δ. είναι 76%.

Γενικά η αξιολόγηση συνεπειών περιλαμβάνει ποικιλία μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση ανεπιθύμητων συμβάντων όπως της ρυθμού απελευθέρωσης επικίνδυνων τοξικών, εκρήξεων ή διαρροών καθώς και την ακτίνα δράσης τέτοιων γεγονότων. Επίσης με τα εργαλεία αυτά υπολογίζεται η αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού σε διάφορα επίπεδα έκθεσης σε τοξικά . Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί πως

για την διεξαγωγή τέτοιου είδους αναλύσεων υπάρχουν διάφορα εργαλεία όπως το, RISKIT, WHAZAN, MAXCRED (Khan and Abbasi 2001). Έπειτα ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας υπολογισμού συνεπειών αστοχιών.



Σχήμα 22 Υπολογισμός επιπτώσεων συμβάντος (Khan and Haddara, 2003)

Μία προσέγγιση υπολογισμού των επιπτώσεων ενός γεγονότος είναι η εξέταση τεσσάρων κατηγοριών κόστους. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Κόστος στην Ανθρώπινη Υγεία
- Οικονομικό κόστος
- Κόστος στο περιβάλλον
- Κόστος στη μείωση παραγωγής

Ανάλογα με τον σκοπό της μελέτης κάθε κατηγορία κόστους μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ανάλογα. Μία από τις προσεγγίσεις εκτίμησης επιπτώσεων είναι η ακόλουθη (Khan and Haddara 2003).

#### 5.5.3.2.1 Ανάλυση Επιπτώσεων κατά Khan και Haddara, 2003

##### *Κόστος απώλειας παραγωγής*

Το κόστος αυτό παριστάνεται με έναν παράγοντα  $A$  και προσδιορίζει την απώλεια παραγωγής εξαιτίας αστοχίας εξαρτήματος ή μονάδας του συστήματος. Η συγκεκριμένη ημιποσοτική εκτίμηση βασίζεται στην γνώμη του ειδικού. Ο πίνακας που προτείνεται για τον υπολογισμό της εξεταζόμενης παραμέτρου είναι ο ακόλουθος:

$A_i$ = Απόδοση του συστήματος

Τάξη	Περιγραφή	Λειτουργία
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Πολύ σημαντική για τη λειτουργία του συστήματος</li> <li>Ενδεχόμενη αστοχία θα μπορούσε να σταματήσει τη λειτουργία του συστήματος</li> </ul>	8-10
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Σημαντική για τη λειτουργία του συστήματος</li> <li>Ενδεχόμενη αστοχία θα μπορούσε να προκαλέσει ανεπανόρθωτες επιπτώσεις</li> </ul>	6-8
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρειάζεται για την καλή λειτουργία του συστήματος</li> <li>Ενδεχόμενη αστοχία μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του συστήματος και να οδηγήσει σε αστοχία αυτού</li> </ul>	4-6
IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προαιρετική για καλή λειτουργία του συστήματος</li> <li>Ενδεχόμενη αστοχία μπορεί να μην επηρεάσει τη λειτουργία του συστήματος άμεσα, αλλά αν είναι παρατεταμένη μπορεί να οδηγήσει σε παύση αυτής</li> </ul>	2-4
V	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προαιρετική για τη λειτουργία του συστήματος</li> <li>Ενδεχόμενη αστοχία μπορεί να μην επηρεάσει καθόλου την απόδοση και τη γενικότερη λειτουργία του συστήματος</li> </ul>	0-2

Πίνακας 5 Πίνακας εκτίμησης της απόδοσης συστήματος

### Οικονομικό κόστος

Ο υπολογισμός των οικονομικών συνεπειών του συστήματος λόγω αστοχίας υπολογίζεται βάσει του παράγοντα B. Συγκεκριμένα μπορεί να υπολογιστεί για κάθε σενάριο που αναλύθηκε ως ακολούθως:

$$B_i = (AR)_i \times (AD)_i / UFL \quad 5-1$$

$$B = \sum_{i=1,n} B_i \quad 5-2$$

Όπου **AR** είναι η περιοχή που υφίσταται βλάβη, **AD** είναι το κόστος του συστήματος ανά τετραγωνικό μέτρο και **UFL** είναι η τιμή του αποδεκτού ορίου επίπτωσης. Τέλος i είναι ο

αριθμός των ανεπιθύμητων γεγονότων πχ φωτιά, έκρηξη. Η ανάλυση κόστους είναι υποκειμενική διαδικασία και αλλάζει ανάλογα με τον οργανισμό εφαρμογής.

### *Επίπτωση στην Ανθρώπινη Υγεία*

Ο παράγοντας PD1 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνέπειας μιας αστοχίας σε ανθρώπινη ζωή και υπολογίζεται για κάθε σενάριο που έχει αναπτυχθεί σε κάθε μονάδα. Ο υπολογισμός του γίνεται ως εξής:

$$PD1=PD \times PDF1 \quad 5-3$$

$$C_i=(AR)_i \times (PD1)_i / UFR \quad 5-4$$

$$C = \sum_{i=1,n} C_i \quad 5-5$$

Όπου UFR είναι το μη αποδεκτό ποσοστό θνησιμότητας . Προτεινόμενη τιμή του **UFR** είναι  $10^{-3}$  , πρόκειται για υποκειμενική τιμή και μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με την κρίση της επιχείρησης. Ο όρος **PDF1** υποδηλώνει το συντελεστή κατανομής πληθυσμού, ο οποίος αντικατοπτρίζει την ανομοιογένεια της κατανομής του πληθυσμού. Αν ο πληθυσμός είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος στην περιοχή της μελέτης (ακτίνα έως 500 m) , ο παράγοντας PDF1 παίρνει την τιμή 1. Αν ο πληθυσμός είναι σχετικά απομακρυσμένος από σημείο πιθανής αστοχίας σταθμού παίρνει την χαμηλότερη τιμή η οποία είναι 0,2.

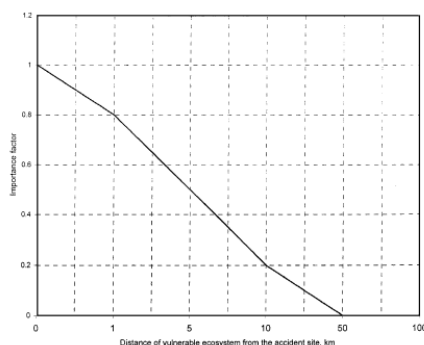
### *Επίπτωση στο περιβάλλον*

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος υπολογίζονται από τον παράγοντα D ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$D_i=(AR)_i \times (IM)_i / UDA \quad 5-6$$

$$D = \sum_{i=1,n} D_i \quad 5-7$$

Η μεταβλητή **UDA** δείχνει την μη αποδεκτή τιμή της περιοχής που υπόκειται σε καταστροφή. Προτεινόμενη τιμή για αυτή τη μεταβλητή είναι 1000 m<sup>2</sup> (υποκειμενική τιμή που μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με την κρίση της επιχείρησης). Ο παράγοντας **IM** είναι δείκτης σημαντικότητας. Ο δείκτης αυτός είναι ο νούμερο ένα παράγοντας αν η ακτίνα καταστροφής είναι μεγαλύτερη από την απόσταση μεταξύ του ατυχήματος λόγω αστοχίας σταθμού και της θέσης του οικοσυστήματος. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται από το παρακάτω σχήμα.



Πίνακας 6 Ποσοτικοποίηση του παράγοντα σημαντικότητας (IM) (Khan and Abbasi, 1997)

Τέλος ο συνδυασμός των τριών συντελεστών που αναλύθηκαν παραπάνω δίνουν τον παράγοντα επίπτωσης Con.

$$\text{Con}=[0,25A^2 + 0,25B^2 + 0,25C^2 + 0,25D^2]^{0,5} \quad 5-8$$

#### 5.5.3.2.2 Ανάλυση επιπτώσεων κατά Krishnasamy et al (2005)

Για τον υπολογισμό της επίπτωσης αστοχίας μιας μονάδας ακολουθείται η εξής διαδικασία. Σύμφωνα με την προσέγγιση κατά Khan και Haddara (2003) η ανάλυση επίπτωσης αστοχίας έχει δύο σκέλη, την ανάλυση κόστους και την ανάλυση απώλειας παραγωγής (Krishnasamy, Khan et al. 2005).

#### Ανάλυση κόστους

Η συνέπεια αστοχίας όσον αφορά το κόστος ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{MC}=\text{Cf}+\text{DT}\cdot\text{CV} \quad 5-9$$

Όπου Cf είναι το κόστος αστοχίας της μονάδας. Συγκεκριμένα απαρτίζεται από το κόστος αστοχίας ενός εξαρτήματος της υπό εξέταση μονάδας, δηλαδή το κόστος αλλαγής ή

επιδιόρθωσης του στοιχείου που εμφάνισε βλάβη και ενδεχομένως το κόστος εξοπλισμού που απαιτείται για αλλαγή και επιδιόρθωση. Έπειτα ο όρος DT είναι ο χρόνος που το σύστημα δεν λειτουργεί λόγω βλάβης, ο χρόνος αυτός εμπεριέχει τον χρόνο που το σύστημα σταμάτησε να λειτουργεί λόγω αστοχίας, το χρόνο που χρειάστηκε για τον έλεγχο και καθορισμό βλάβης καθώς και τον χρόνο επιδιόρθωσης. Τέλος ο όρος C<sub>v</sub> είναι το κόστος επιδιόρθωσης, υπολογίζεται σε €/ώρα και είναι το μεταβλητό κόστος που περιλαμβάνει το κόστος των εργατικών και το μέγεθος της απασχολούμενης ομάδας συντηρητών.

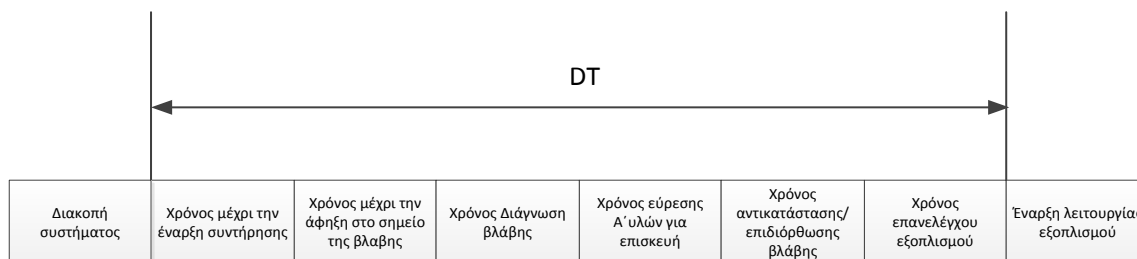
### Ανάλυση απώλειας παραγωγής

Ο υπολογισμός του παράγοντα απώλειας γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$PLC=DT \cdot PL \cdot SP$$

5-10

Στη σχέση αυτή, η μεταβλητή DT είναι ο χρόνος που διαρκεί η συντήρηση και υπολογίζεται σε ώρες. Η μεταβλητή PL είναι η παραγωγικότητα της εγκατάστασης πχ η ισχύς μιας βιομηχανίας παραγωγής ηλεκτρισμού σε Mwh (μεγαβάτ ανά ώρα). Η μεταβλητή SP υπολογίζεται σε €/Mwh και είναι η τιμή πώλησης, για παράδειγμα της ενέργειας ανά MWatt. Στη περίπτωση που δεν διατίθενται επαρκή στοιχεία για ποσοτική εκτίμηση της απώλειας παραγωγής, θα γίνει ημιποσοτική εκτίμηση της επίπτωσης βλάβης ενός σταθμού, όπως προτείνεται από τους Khan και Haddara. Πιο κάτω δίνεται σχηματική απεικόνιση των τμημάτων που απαρτίζουν το συντελεστή DT.



Σχήμα 23 Ανάλυση χρόνου που το σύστημα δεν λειτουργεί λόγω αστοχίας

### 5.5.3.3 Εκτίμηση πιθανοτήτων εμφάνισης βλαβών

Στηρίζεται στη συστηματική εφαρμογή της Ανάλυσης Αξιοπιστίας (Reliability Analysis) των παραγωγικών υποσυστημάτων της εγκατάστασης η οποία μπορεί να δομηθεί σε τρία επίπεδα (Υψηλή πιθανότητα, Μέτρια, Χαμηλή). Ο καλύτερος τρόπος μέτρησης της αξιοπιστίας στηρίζεται στην συστηματική τήρηση αρχείων βλαβών της εγκατάστασης, από τα οποία να προκύπτουν οι μέσοι χρόνοι μεταξύ βλαβών του εξοπλισμού (MTBF, Mean Time Between Failures). Σε εναλλακτική περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε εμπειρικές εκτιμήσεις του προσωπικού συντήρησης, είτε οργανωμένες βάσεις δεδομένων

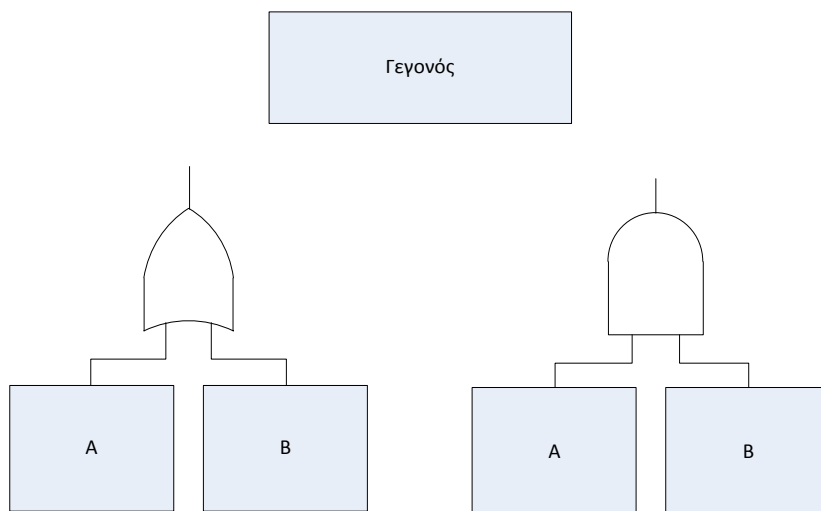


αξιοπιστίας εξαρτημάτων , είτε δεδομένα κατασκευαστών. Ιστορικά οι μέθοδοι της κατηγορίας αυτής ξεκίνησαν από προχωρημένους τεχνολογικά κλάδους (π.χ. αεροναυπηγική, πυρηνικές εγκαταστάσεις, ηλεκτρονική) και σταδιακά επεκτείνονται και σε βιομηχανίες άλλου τύπου (εγκαταστάσεις παραγωγής ρεύματος, βιομηχανίες διεργασιών , κ.λπ.) (Volkanovski, Čerpin et al. 2009). Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι:

### *Ανάλυση δένδρων γεγονότων (FTA-Fault Tree Analysis)*

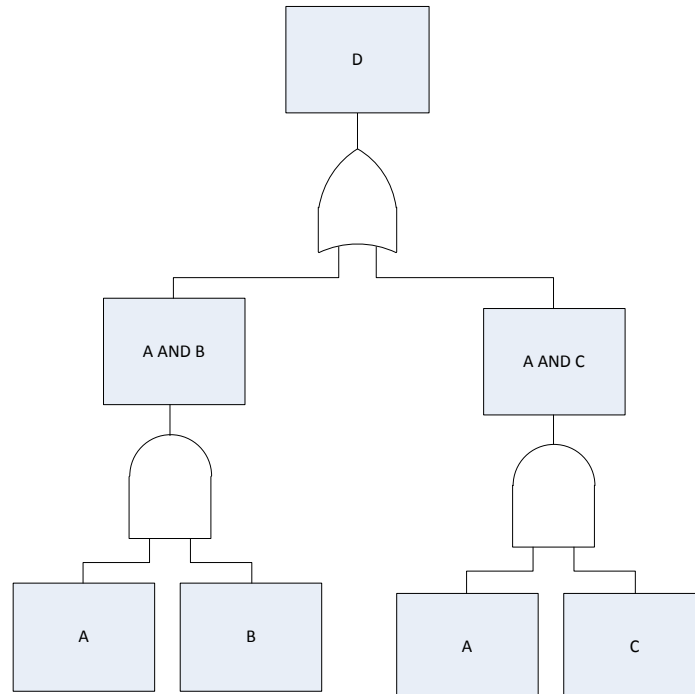
Αποτελεί μια μέθοδο ανάλυσης εκ των άνω. Μια πιθανή αστοχία του συστήματος αναλύεται σε ένα δένδρο πιθανών αστοχιών υποσυνιστωσών της. Η εφαρμογή της είναι σύνθετη και ενδείκνυται κυρίως σε περιπτώσεις, όπου μια βλάβη του συστήματος απαιτεί τον συνδυασμό πολλών επί μέρους βλαβών των υποσυνιστωσών. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται ως εξής: Ο προσδιορισμός ενός κορυφαίου γεγονότος (π.χ. αστοχία ενός συστήματος) γίνεται με την λεπτομερή ανάλυση των επιμέρους γεγονότων που θα οδηγήσουν στο ζητούμενο. Συγκεκριμένα αναλύεται η συμπεριφορά κάθε στοιχείου που μπορεί να συντελέσει σε ένα κορυφαίο γεγονός και η συσχέτιση μεταξύ των επιμέρους στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται η λογική εξάρτηση μεταξύ των στοιχείων ενός συστήματος που οδηγούν στο κορυφαίο γεγονός. Πρόκειται για μια συστηματική μέθοδο, η οποία κάνει ανάλυση με φορά από πάνω προς τα κάτω δηλαδή από το τελικό γεγονός προς το αρχικό και προσφέρει γραφική απεικόνιση με επακόλουθο την εύκολη κατανόηση. Επίσης η ανάλυση δέντρου έχει ενσωματωμένα μαθηματικά εργαλεία που εξυπηρετούν την καλύτερη έρευνα των κρίσιμων περιοχών ενός συστήματος (Lee, Grosh et al. 1985).

Η γραφική απεικόνιση της μεθόδου ανάλυσης δέντρου γίνεται με τον εξής τρόπο. Λογικές πύλες αναπαριστούν εξόδους του συστήματος και γεγονότα αναπαριστούν τις εισόδους του συστήματος. Ο συμβολισμός του είναι ο παρακάτω:



Σχήμα 24 Συμβολισμός των δένδρων σφαλμάτων

Τα γεγονότα A και B έχουν πιθανότητα να συμβούν P(A) και P(B) αντίστοιχα. Οι πιθανότητες αυτές προκύπτουν από δεδομένα βλαβών και από κατανομές που παρουσιάζουν τη συχνότητα αστοχιών των εμπλεκόμενων μερών. Τυπικό παράδειγμα δένδρου σφαλμάτων δίνεται παρακάτω (Ericson and LI 1999):



Σχήμα 25 Ενδεικτικό παράδειγμα υπολογισμού πιθανοτήτων με FTA

σύμφωνα με το δέντρο σφαλμάτων που έχει αναπτυχθεί, η πιθανότητα να συμβεί το κορυφαίο γεγονός D είναι:

$$P(D) = P(A) \cdot P(B) + P(A) \cdot P(C)$$

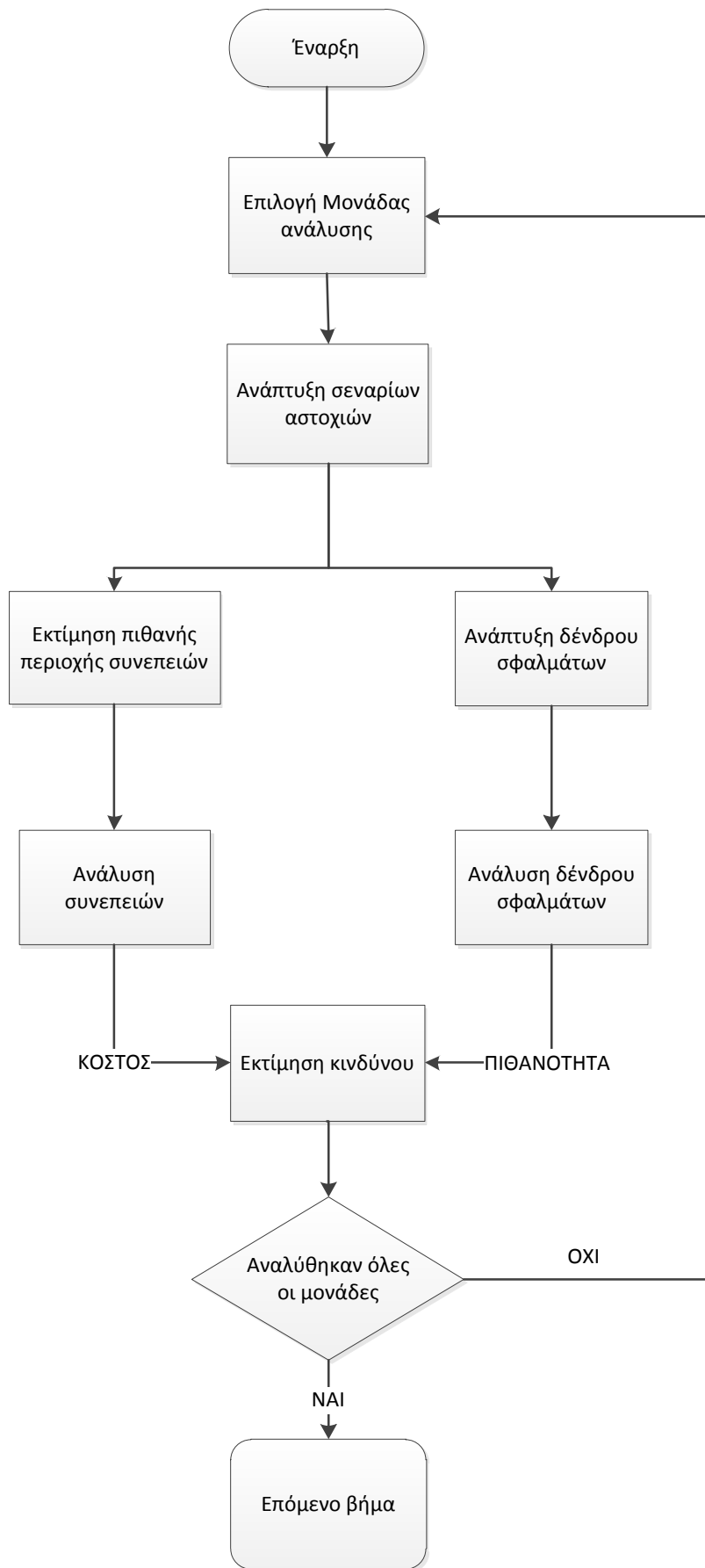
5-11

Προκύπτει επομένως μία τιμή για τη πιθανότητα επαλήθευσης του κάθε σεναρίου αστοχιών σύμφωνα με τους νόμους της θεωρίας πιθανοτήτων και της άλγεβρας Boole. Η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ της μονάδος (απόλυτη βεβαιότητα) και του μηδενός (εντελώς απίθανο σενάριο αστοχιών).

#### *Ανάλυση δένδρων συμβάντων (ETA-Event Tree Analysis)*

Στηρίζεται στην ίδια λογική με τα δένδρα γεγονότων, αλλά έχει σαν στόχο την εκτίμηση των επιπτώσεων διαφόρων εναλλακτικών δράσεων στην λειτουργία του συστήματος, ώστε να τεκμηριωθούν οι αποφάσεις επιθεώρησης συντήρησης (Hong, Lee et al. 2009).

Όσα περιγράφηκαν στην παραπάνω ανάλυση συνοψίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα, σε μορφή αλγορίθμου.



Σχήμα 26 Αναγνώριση και Ποσοτικοποίηση κινδύνου

#### 5.5.4 Συλλογή Δεδομένων

Αντικείμενο αυτού του βήματος είναι η παροχή επισκόπησης των δεδομένων που πιθανόν να κριθούν σημαντικά στην αξιολόγηση ενδεχόμενων μηχανισμών αστοχιών, πιθανοτήτων και επιπτώσεων καθώς και ανάπτυξη πλάνου επιθεωρήσεων συντήρησης. Τα δεδομένα που χρειάζονται για τη διεξαγωγή της ανάλυσης βάσει ρίσκου χωρίζονται σε τρεις κύριες ομάδες δεδομένων (Rausand and Vatn 2008):

##### 1) Δεδομένα επιθεωρήσεων

Αυτό το είδος δεδομένων προκύπτει από της δραστηριότητες επιθεωρήσεων. Κάθε μηχανισμός που συντελεί στην πρόκληση αστοχίας έχει συγκεκριμένο προσδιορισμό.

##### 2) Δεδομένα επιπτώσεων

Αφότου πραγματοποιηθεί ανάλυση ρίσκου, θα πρέπει να καθορισθεί μέθοδος πρόβλεψης των προσδοκώμενων αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

##### 3) Τεχνικά δεδομένα

Πρόκειται για βασικά δεδομένα όπως θερμοκρασία, πίεση και διαστάσεις που καθορίζονται από το πεδίο της μηχανικής (Hofmann 2011).

#### 5.5.4.1 Απαιτήσεις Εκτίμησης του Παράγοντα Επικινδυνότητας

##### 1) Διαχείριση στατικών δεδομένων

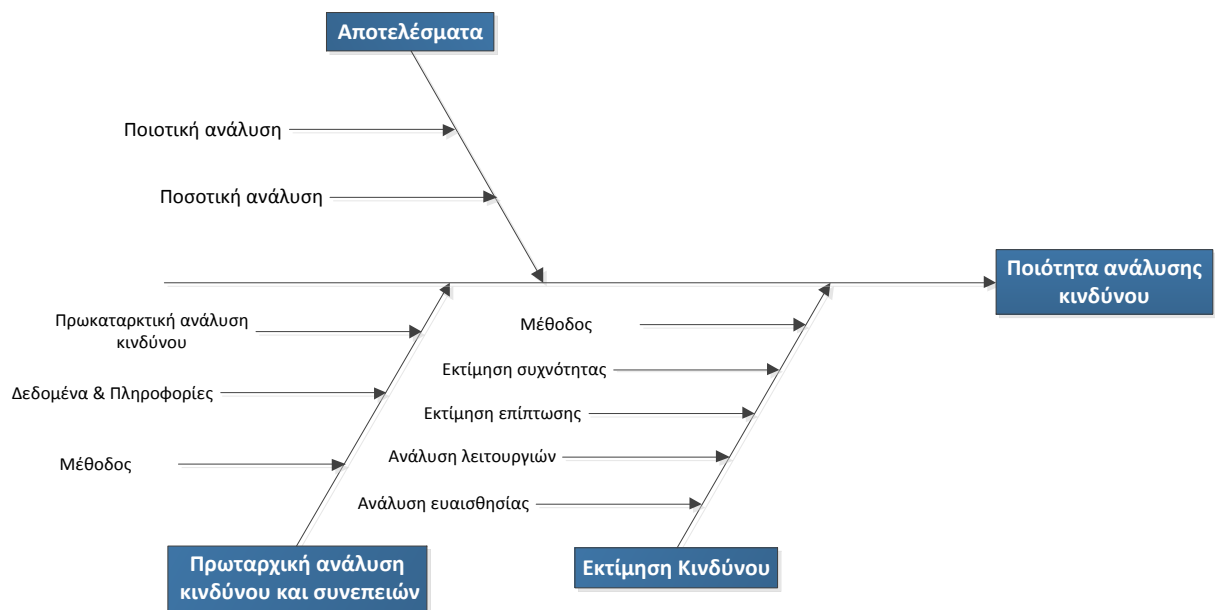
Οι πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό συντήρησης βάσει κινδύνου, θα πρέπει να περιέχουν ενημερωμένα δεδομένα του βασικού εξοπλισμού μιας επιχείρησης, στοιχεία εξαρτημάτων, κατασκευαστικά και σχεδιαστικά δεδομένα, πληροφορίες για την τροφοδοσία με πρώτες ύλες, ιστορικό επιθεωρήσεων, καθορισμένο πλάνο συντήρησης, πληροφορίες σχετικές με τον εξοπλισμό, έγγραφες διαδικασίες συντηρήσεων, αρχεία γραφημάτων, φωτογραφικό υλικό στοιχείων εξοπλισμού ή εξοπλισμού μετά από βλάβη και στοιχεία που έχουν προκύψει από τη συστηματική παρακολούθηση των μονάδων μιας επιχείρησης.

##### 2) Ανάλυση των επιθεωρήσεων συντήρησης εξοπλισμού

Για την κάλυψη αυτής της απαίτησης είναι απαραίτητη η ύπαρξη βάσης δεδομένων διαμορφωμένης σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα, σχεδιασμένης έτσι ώστε να εμπεριέχει συναρτήσεις υπολογισμού και υλικού αναφοράς σύμφωνα με την απαίτηση κατά ASME API,BS (Tian, Jin et al. 2011).

### 5.5.4.2 Ποιότητα Δεδομένων

Η ακρίβεια της ανάλυσης RBI έχει άμεση σχέση με την ποιότητα των δεδομένων. Κρίνεται αρκετά σημαντικό και χρήσιμο τα δεδομένα να είναι χρονικά κοντά με την ανάλυση και να είναι επικυρωμένα από του ειδικούς. Η χρήση υποθέσεων, επίσης διευκολύνει την ανάλυση. Ακόμη, η σύγκριση δεδομένων που έχουν προκύψει από επιθεωρήσεις συντήρησης με τους προβλεπόμενους ρυθμούς βλαβών είναι μια επιπλέον πηγή γνώσης των σφαλμάτων που μπορεί να ανακλύψουν ενώ η στατιστική καθίσταται σημαντική στη σύγκριση μετρήσεων με προηγούμενες ενός συστήματος ή παρόμοιων συστημάτων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα ανάλυσης κινδύνου παρουσιάζονται και σχηματικά στη συνέχεια (Arunraj and Maiti 2007).



Σχήμα 27 Παράγοντες που συμβάλουν στην ποιότητα της RBM

### 5.5.5 Επιλογή τρόπου αξιολόγησης

Σκοπός αυτού του βήματος είναι η επιλογή και αξιολόγηση των στοιχείων που συντελούν στην πρόκληση υψηλών επιπέδων ρίσκου. Οι επιπτώσεις που ανακλύπουν από βλάβες και η πιθανότητα εμφάνισης τους εξετάζονται ξεχωριστά ώστε να διαπιστωθεί η σημαντικότητα τους ή μη στην τιμή του τελικού ρίσκου, δηλαδή σε υψηλό ή χαμηλό επίπεδο κινδύνου. Γενικά εξαρτήματα και στοιχεία συστήματος με χαμηλό δείκτη ρίσκου οδηγούν σε λιγότερες συντηρήσεις σε σχέση με μονάδες που διαθέτουν μεσαίας ή υψηλής κλίμακας ρίσκο με αποτέλεσμα να καθιστούν απαραίτητη την περαιτέρω εξέταση και αξιολόγηση. (Jiang, McCalley et al. 2006).

#### **5.5.5.1 Παρακολούθηση λειτουργίας συστημάτων**

Η παρακολούθηση επιπέδου κινδύνου διεξάγεται με τη χρήση του ποιοτικού παράγοντα RBM. Ο δείκτης αυτός έχει εφαρμογή σε όλους τους τύπους εργοστασίων, όπως σε επιχειρήσεις παραγωγής πετρελαίου και αερίου, καθώς και επιχειρήσεις διανομής υγρών και φυσικού αερίου μέσω σωληνώσεων. Η παρακολούθηση λειτουργίας συστημάτων περιέχει:

- I) Ιστορικό βλαβών μέσα στην εγκατάσταση
- II) Διάστημα λειτουργίας εγκατάστασης (ηλικία)
- III) Ποιότητα προϊόντος
- IV) Εγγύτητα σε δημόσια περιοχή και ευαισθησία σε σχέση με το περιβάλλον

#### **5.5.5.2 Παρακολούθηση διαδικασιών μονάδων**

Το πρώτο βήμα είναι η παρακολούθηση της λειτουργίας συστημάτων ώστε να κατηγοριοποιηθεί το σχετικό ρίσκο και βάσει των υψηλότερων περιοχών προτεραιότητας, προτείνεται η έναρξη της διαδικασίας σε συγκεκριμένη μονάδα. Επίσης παρέχεται λεπτομερές επίπεδο αξιολόγησης ποικίλων τμημάτων.

#### **5.5.5.3 Συστήματα κατά τη διαδικασία παρακολούθησης μονάδων**

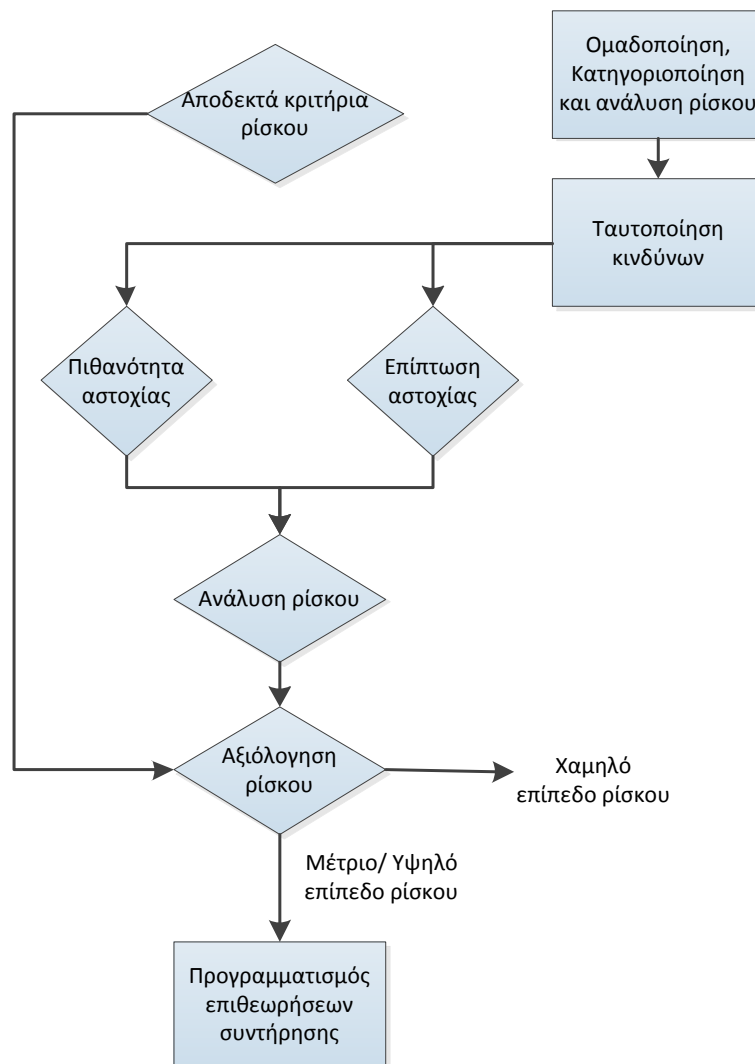
Σε αυτό το βήμα τα συστήματα χωρίζονται σε υποσυστήματα και τα υποσυστήματα σε εξαρτήματα. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιούνται διαγράμματα ροής, ώστε να αναγνωριστεί η λειτουργία τους καθώς και να διαπιστωθούν απαραίτητες πληροφορίες για τις διαδικασίες, ιστορικό βλαβών και αστοχίες μηχανισμών. Οι επιπτώσεις εμφάνισης βλαβών καθώς και η πιθανότητα εμφάνισης τους αξιολογούνται και υπολογίζονται βάσει των διαθέσιμων πληροφοριών.

Όταν μια μονάδα καθορίζεται από τον δείκτη κινδύνου, συνήθως είναι χρήσιμο και μεγάλης σημασίας να εμπεριέχεται στο ρίσκο αυτό και ο δείκτης RBIM των υποσυστημάτων η επίπτωση και η πιθανότητα αστοχίας τους καθώς και η σχετική αξιοπιστία των υποσυστημάτων. Με αυτόν τον τρόπο καθορίζονται τα κρίσιμα εξαρτήματα και υποσυστήματα (DNV, 2010).

### 5.5.6 Αξιολόγηση κινδύνου

Τα στοιχεία που έχουν καθοριστεί ως μεσαίου ή υψηλού ρίσκου από τα προηγούμενα βήματα, εξετάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Αντικείμενο αυτού του βήματος είναι ο καθορισμός των μηχανισμών αστοχίας, υπολογίζοντας την έκταση που προκαλεί η βλάβη και τον υπολογισμό του διαστήματος συντήρησης που οδηγεί σε αποδεκτό επίπεδο ρίσκου. Η λεπτομερής ανάλυση RBIM περιέχει επιθεώρηση τόσο της πιθανότητας εμφάνισης αστοχίας όσο και της επίπτωσης για κανονική λειτουργία (Montague 1990).

Παρακάτω παρατίθεται σχηματική αναπαράσταση της ανάπτυξης εμπειρικού πλάνου υπολογισμού διαστημάτων συντήρησης.



Σχήμα 28 Το γενικό πλαίσιο ανάπτυξης RBIM (DNV, 2010)

Για την εποπτεία της μεθόδου, προτείνεται ένα αδιάστατο μέγεθος συντελεστής κινδύνου RI και εκφράζεται ως το πηλίκο του υπολογισθέντος κινδύνου R(D) προς τον αποδεκτό κίνδυνο A(R). (Krishnasamy et al. 2005).

$$RI(D) = \frac{R(D)}{AR} \quad 5-12$$

Όπου AR είναι ο αποδεκτός κίνδυνος και R(D) ο κίνδυνος που έχει υπολογισθεί. Ο συντελεστής αυτός έχει το πλεονέκτημα της αδιαστατοποίησης και χρησιμοποιείται από αρκετούς μελετητές. Συνεπώς τα σενάρια αστοχιών που αναπτύσσονται κατά τα αρχικά βήματα της διαδικασίας RBM διαχωρίζονται ως εξής:

- Μη αποδεκτού κινδύνου για  $RI > 1$
- Υψηλού κινδύνου για  $RI \ 0.8 < RI < 1$
- Μέσου κινδύνου για  $RI \ 0.4 < RI < 0.8$
- Χαμηλού κινδύνου για  $RI < 0.4$

#### 5.5.7 Προγραμματισμός συντήρησης

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παρακολούθηση και λεπτομερή αξιολόγηση που παρουσιάστηκαν στα παραπάνω βήματα χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στον προγραμματισμό συντήρησης. Το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της RBM ανάλυσης και της ομάδας προγραμματισμού, σχηματίζεται ένα προκαταρτικό πλάνο συντήρησης βασισμένο στο διαθέσιμο προσωπικό, την διάρκεια απώλειας παραγωγής, την αλληλεπίδραση με διαδικασίες συντήρησης και την ανανέωση της βάσης δεδομένων. Τα αποτελέσματα αυτού του μέρους αξιολόγησης παρέχουν τη βάση για τον τελικό προγραμματισμό συντήρησης (Kennedy and Kirwan 1998).

#### 5.5.8 Εκτέλεση και αξιολόγηση

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τα προηγούμενα βήματα της ανάλυσης βάσει κινδύνου αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων. Η ποσότητα των δεδομένων εξαρτάται από την χωρητικότητα της βάσης, επίσης ορισμένες πληροφορίες μπορούν να αποθηκευτούν ως εικόνες, έγγραφα ή βίντεο. Γι'αυτό τον λόγο θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα παρακάτω ζητήματα (Carter, Hirst et al. 2003):

##### 1) Ποιότητα Δεδομένων:

Για την εξασφάλιση της ποιότητας των πληροφοριών θα πρέπει να ελέγχονται τα δεδομένα και να διατηρούνται οι μεταξύ τους συσχετίσεις ώστε να επιτευχθεί σωστός συντονισμός των δεδομένων συντήρησης.



## 2) Διαδικασία εργασιών:

Θα πρέπει να αξιολογείται η διαδικασία εύρεσης των πληροφοριών επιθεώρησης και συντήρησης.

## 3) Ενημερώσεις δεδομένων:

Οι αλλαγές που πραγματοποιούνται σε βιομηχανικές μονάδες και δεδομένα αξιολογούνται από το υπεύθυνο προσωπικό, για την επίδραση τους στην εξασφάλιση ασφάλειας και τήρησης των διαδικασιών

## 4) Αποθήκευση δεδομένων

Η αποθήκευση των δεδομένων θα πρέπει να γίνεται σε αξιόπιστο διακομιστή, ώστε η πρόσβαση σε αυτά να είναι δυνατή ακόμα και ύστερα από ενδεχόμενες βλάβες.

## 5) Αποθηκευτικός χώρος

Ο διακομιστής θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμος ακόμη και από απομονωμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. (Hofmann 2011).

## 5.6 Αξιολόγηση πιθανότητας αστοχίας

Η ανάλυση πιθανοτήτων εμφάνισης βλαβών κατά τη μέθοδο RBIM γίνεται με στόχο τον υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης γεγονότος που μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του μηχανισμού. Η διαδικασία ανάλυσης σύμφωνα με τον κίνδυνο καθορίζει το πρόγραμμα επιθεωρήσεων συντήρησης, δίνοντας προτεραιότητα σε τμήματα του εξοπλισμού που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ρίσκου. Η συνολική πιθανότητα αστοχίας ενός συστήματος είναι το άθροισμα των πιθανοτήτων όλων των γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν στην αστοχία. Ειδικότερα τα είδη πιθανοτήτων σύμφωνα με βιβλιογραφία κατηγοριοποιούνται ως εξής (Martens and Teuteberg 2012).

**POF<sub>technical</sub>** = Η πιθανότητα αυτή σχετίζεται με τις τεχνικές πρόβλεψης αβεβαιότητας που έχουν αναπτυχθεί.

**POF<sub>accidental</sub>** = Πρόκειται για την πιθανότητα εμφάνισης ατυχημάτων, συμπεριλαμβανομένου επιπτώσεων στο περιβάλλον, και μπορεί να προβλεφθεί από ιστορικά δεδομένα της εκάστοτε επιχείρησης.

**POF<sub>gross-error</sub>** = Αυτό το είδος πιθανότητας αφορά αστοχίες που ανακύπτουν λόγω, του είδους μόνωσης του εξοπλισμού και σφάλματα κατά την εγκατάσταση και λειτουργίας. Καθώς αυτό το είδος βλαβών εξαρτάται από τον ανθρώπινο παράγοντα, καθώς προκαλείται από ανθρώπινα λάθη, είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Ωστόσο το σύστημα διαχείρισης έχει σαν στόχο την αποφυγή τέτοιου είδους λαθών.

$POF_{unknown}$  = Αυτή η πιθανότητα αφορά την εμφάνιση απρόβλεπτων γεγονότων. Αν και συνήθως έχουν χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης, έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο σύστημα.

Επομένως όπως αναφέρθηκε στην αρχή αυτής της ενότητας, η συνολική πιθανότητα αστοχίας είναι η παρακάτω:

$$POF_{total} = \sum POF_{technical}, POF_{accidental}, POF_{gross-error}, POF_{unknown}$$

5-13

### 5.6.1 Μονάδες μέτρησης της ανάλυσης των Πιθανοτήτων Αστοχίας

Η πιθανότητα αστοχίας συνήθως εκφράζεται από τον όρο συχνότητα και η συχνότητα δηλαδή το πλήθος των γεγονότων που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου διαστήματος. Συνεπώς συχνότητα καλείται το πλήθος των γεγονότων ανά χρονικό διάστημα. Κατά την ποιοτική ανάλυση των πιθανοτήτων αστοχίας γίνεται κατηγοριοποίηση τους σε υψηλή μέση και χαμηλή πιθανότητα. Για την καλύτερη κατανόηση της κατηγοριοποίησης αυτής δίνεται το παρακάτω παράδειγμα, έξι επιπέδων πιθανοτήτων αστοχίας (Peterson and Jablonski 2003).

Ποιοτική κατάταξη	Ετήσια πιθανότητα αστοχίας ή Συχνότητα
Απίθανη	<0,00001
Πολύ χαμηλή	0,00001-0,0001
Χαμηλή	0,0001-0,001
Μέτρια	0,001-0,01
Υψηλή	0,01-0,1
Πολύ Υψηλή	>0,1

Πίνακας 7 Ποιοτική θεώρηση αστοχίας βάσει της RBM

### 5.6.2 Τύποι ανάλυσης Πιθανότητας αστοχιών

Η πιθανότητα αστοχίας μπορεί να καθοριστεί με ποσοτικές και ποιοτικές μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτοί αναλύονται στις ενότητες που ακολουθούν.

#### 5.6.2.1 Ποσοτική μέθοδος ανάλυσης της Πιθανότητας Αστοχίας

Η ποσοτική μέθοδος είναι μια στοχαστική προσέγγιση, κατά την οποία γίνεται χρήση δεδομένων αστοχιών των στοιχείων του εξοπλισμού, έτσι ώστε να υπολογισθεί η πιθανότητα αστοχίας, δηλαδή πρόκειται για την  $POF_{technical}$  που αναφέρθηκε στην παραπάνω ενότητα. Όταν τα δεδομένα βλαβών δεν είναι επαρκή για την στοχαστική προσέγγιση,

χρησιμοποιούνται γενικά δεδομένα για το προς εξέταση στοιχείο τροποποιώντας με αύξηση ή μείωση τις προβλεπόμενες συχνότητες βλαβών (Dey, Ogunlana et al. 2004) .

#### **5.6.2.2 Ποιοτική μέθοδος ανάλυσης της Πιθανότητας Αστοχίας**

Η πιθανότητα αστοχίας αφορά εξαρτήματα, ομάδες ή ολόκληρο εξοπλισμό, ανάλογα με την μεθοδολογία που θα επιλεγεί, κατηγοριοποιούνται είτε σε χαμηλής, μέτριας, υψηλής πιθανότητας, είτε τους δίνονται αριθμητικές τιμές . Η εκτίμηση της πιθανότητας σε ποιοτικό επίπεδο είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται από έμπειρο προσωπικό, καθώς πρόκειται για υποκειμενική εκτίμηση (Rogers 2000).

#### **5.6.3 Υπολογισμός της Πιθανότητας Αστοχίας**

Ανάλογα με την προσέγγιση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της πιθανότητας αστοχίας, ο καθορισμός της βασίζεται στο ποσοστό των μηχανισμών βλαβών του εξοπλισμού, είτε πρόκειται για εξωτερικούς παράγοντες είτε εσωτερικούς του συστήματος καθώς και την αποτελεσματικότητα του προγράμματος επιθεωρήσεων.

##### **5.6.3.1 Μηχανισμοί επιδείνωσης κατάστασης συστήματος**

Οι μηχανισμοί που οδηγούν σε αστοχίες εμφανίζονται σε διάφορες μορφές , όπως διάβρωση, σπάσιμο ή κόπωση, έχοντας καταστροφικές συνέπειες για το σύστημα. Αντικείμενο της RBIM είναι να κατευθύνει τη Διοίκηση στη λήψη αποφάσεων δίνοντας προτεραιότητα σε στοιχεία που εμπεριέχουν υψηλό ρίσκο. Οι επιθεωρήσεις συντήρησης επηρεάζουν την αποτίμηση του ρίσκου, αναγνωρίζοντας τη φθορά και την πιθανότητα αστοχίας και οδηγεί σε μείωση του ρίσκου τελικά. Οι υπηρεσίες επιθεώρησης δίνουν έμφαση στον εντοπισμό και παρακολούθηση των μηχανισμών που οδηγούν σε αστοχίες. Η εμφάνιση βλαβών σε ένα σύστημα δεν αποφεύγεται με τις επιθεωρήσεις συντήρησης, εκτός από την περίπτωση που η συντήρηση επηρεάζει την πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας. Η πιθανότητα εμφάνισης βλαβών είναι αποτέλεσμα τεσσάρων παραγόντων (Rogers 2000):

- Τύπος και μηχανισμός επιδείνωσης
- Ρυθμός επιδείνωσης
- Πιθανότητα επιδείνωσης, η οποία βρίσκεται μέσω τεχνικών επιθεώρησης
- Ανοχή συστήματος σε τύπους μηχανισμών επιδείνωσης

Ένας τρόπος περιγραφής των μηχανισμών που οδηγούν σε βλάβη του συστήματος, είναι ομαδοποιώντας τα επιμέρους στοιχεία που εκτίθενται στις ίδιες εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες ως εξής:

- Υλικό κατασκευής
- Επιδιορθώσεις προϊόντος
- Περιβάλλον χώρος
- Προστατευτικά μέτρα
- Συνθήκες λειτουργίας (Hofmann 2011)

Για τον προσδιορισμό του ρυθμού βλαβών, κρίνεται σκόπιμο να ληφθούν υπόψιν οι παρακάτω παράγοντες:

- Θερμοκρασία λειτουργίας
- Τιμές PH
- Ποσότητα οξυγόνου
- Γεωμετρία εξαρτημάτων
- Υλικό
- Πάχος υλικών
- Κατάσταση επιστρωμάτων
- Ταχύτητα ροής
- Επίπεδο CO<sub>2</sub>
- Υγρασία
- Πίεση (Tan, Li et al. 2011)

Η συχνότητα αστοχίας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της πιθανότητας αστοχίας. Το ιστορικό βλαβών όλου του εξοπλισμού αποθηκεύεται σε βάσεις δεδομένων και κατηγοριοποιείται από ανάλογο λογισμικό.

### **5.6.3.2 Μοντελοποίηση των μηχανισμών δημιουργίας βλαβών συστήματος**

Ο σκοπός της μοντελοποίησης των μηχανισμών πρόκλησης βλαβών σε ένα σύστημα και ο υπολογισμός της πιθανότητας αστοχίας είναι ο ακόλουθος:

- Αξιολόγηση της πιθανότητας αστοχίας
- Αξιολόγηση επίπτωσης της βλάβης σε σχέση με το χρόνο
- Προσδοκώμενη βλάβη σε στοιχείο του συστήματος
- Πρόσβαση καταγραφής ποικίλων προγραμμάτων συντήρησης
- Παροχή μεθόδου για τον υπολογισμό του ρίσκου (Tan, Li et al. 2011)

Ο προβλεπόμενος ρυθμός βλαβών κατηγοριοποιείται σε τέσσερις τύπους:

#### **1) Ασήμαντος τύπος**

Σε αυτή την κατηγορία δεν προβλέπεται κάποια βλάβη. Συγκεκριμένα η τιμή της πιθανότητας αστοχίας αναφέρεται σε διάστημα περίπου πέντε με δέκα έτη. Η επιθεώρηση των στοιχείων του συστήματος δεν κρίνεται απαραίτητη, με την προϋπόθεση πως η θέση επιθεώρησης είναι έγκυρη.

## II) Άγνωστος τύπος

Πρόκειται για τύπους αστοχιών που η πιθανότητα εμφάνισης τους δεν μπορεί να προβλεφθεί, καθώς οφείλονται σε άγνωστους παράγοντες και η περαιτέρω διερεύνηση είναι απαραίτητη.

## III) Τύπος βάσει εκτίμησης

Αυτό το είδος σχετίζεται με βλάβες που προκύπτουν λόγω μείωσης για παράδειγμα του πάχους των τοιχωμάτων ενός στοιχείου. Η εκτίμηση αυτού του πάχους εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού, το πάχος, τις ιδιότητες του υγρού που ρέει μέσα σε αυτό το στοιχείο και την κατάσταση λειτουργίας.

## IV) Τύπος βάσει ευαισθησίας

Σε αυτή την κατηγορία, βλάβες σε ένα στοιχείο του συστήματος εμφανίζονται εξαιτίας εξωτερικών παραγόντων, άγνωστης διάρκειας (Hofmann 2011).

## 5.7 Αξιολόγηση Επιπτώσεων Αστοχίας

Οι επιπτώσεις αστοχίας σχετίζονται με όλες τις επιπτώσεις που είναι υπεύθυνες για την απόκλιση από την ομαλή λειτουργία του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων, την επίπτωση κόστους (απώλεια παραγωγής, επιδιόρθωση), την επίπτωση στο περιβάλλον, στην ασφάλεια και υγιεινή του προσωπικού και του πληθυσμού έξω από τις εγκαταστάσεις (Schröder and Kauer, 2004). Οι Συνέπειες αστοχίας εξετάζονται από τέσσερις οπτικές, της ασφάλειας (CoF<sub>safety</sub>), της υγείας (CoF<sub>health</sub>), του περιβάλλοντος (CoF<sub>environment</sub>) και της επιχείρησης (CoF<sub>business</sub>) (Heerings and den Herder 2004, Hofmann 2011).

### 5.7.1 Τύποι ανάλυσης επιπτώσεων

Οι επιπτώσεις αστοχίας ενός συστήματος εξαιτίας ενδεχόμενης βλάβης κατηγοριοποιούνται, όπως και οι πιθανότητες αστοχίας σε ποσοτικές και ποιοτικές μεθόδους. Τα δύο αυτά είδη προσεγγίσεων περιγράφονται ακολούθως.

#### 5.7.1.1 Ποσοτικοί μέθοδοι Αξιολόγησης Επιπτώσεων

Οι ποσοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν λογικά μοντέλα, ώστε να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ γεγονότων προκειμένου να ερμηνεύσουν τον τρόπο που μια αστοχία επηρεάζει τον άνθρωπο, το περιβάλλον και την ίδια την επιχείρηση. Το μοντέλο αυτό υπολογισμού της επίπτωσης αστοχίας βασίζεται σε ορισμένους παράγοντες και το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι αριθμητική τιμή. Οι παράγοντες αυτοί αναφέρονται παρακάτω:

- Τύπος και κατάσταση ρευστού μέσα στον εξοπλισμό
- Μεταβλητές όπως πίεση και θερμοκρασία
- Τρόπος αστοχίας και μέγεθος ενδεχόμενης διαρροής (Tammer and Kaminski 2013)

### 5.7.1.2 Ποιοτικοί μέθοδοι Αξιολόγησης Επιπτώσεων

Η μέθοδος ποιοτικής αξιολόγησης, βασίζεται στην εμπειρία και στην κρίση του μηχανικού. Η κρίση αυτή στηρίζεται στην παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού. Η επίπτωση αστοχίας εκτιμάται για κάθε μονάδα του συστήματος και κατηγοριοποιείται ως σημαντική, μέτριας σημασίας και χαμηλή (Tammer and Kaminski 2013) (Jalali Motahari 2011).

#### 5.7.1.2.1 Παρακολούθηση κατάστασης συστήματος

Η παρακολούθηση του συστήματος συνήθως διεξάγεται σύμφωνα με την κρίση του ειδικού, -χωρίς την ύπαρξη κάποιας ποσοτικής ανάλυσης- στα τέσσερα πεδία εξέτασης της επίπτωσης αστοχίας CoF: Ασφάλεια, Υγεία, Περιβάλλον, Επιχείρηση. Η υψηλότερη βαθμολογία των τεσσάρων πεδίων CoF καθορίζεται από το σύνολο των συνεπειών των διαφορετικών πεδίων εξέτασης. Αυτό σημαίνει πως πρέπει να εξισορροπηθεί η κατηγοριοποίηση μεταξύ των τεσσάρων οπτικών ανάλυσης. Η κατηγοριοποίηση γίνεται οργανώνοντας τις κλάσεις επιπτώσεων αστοχίας, από την χαμηλότερης σημασίας στην υψηλότερης, ανά πεδίο εφαρμογής. Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους κατηγοριοποίησης παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες (Heerings and den Herder 2004) (Jalali Motahari 2011).

Κλάση Επίπτωσης	Περιγραφή
5	Θνησιμότητα
4	Μόνιμος τραυματισμός
3	Θεραπεύσιμος τραυματισμός
2	Ήπιος τραυματισμός
1	Καθόλου τραυματισμός

Πίνακας 8 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στην Ασφάλεια

Κλάση Επίπτωσης	Περιγραφή
5	Μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία/Πιθανός θάνατος
4	Μόνιμη επίπτωση στην υγεία
3	Μικρής διάρκειας επίπτωση στην υγεία
2	Ελάχιστη επίπτωση στην υγεία
1	Καμία επίπτωση στην υγεία

Πίνακας 9 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στην Υγεία

Κλάση επίπτωσης	Περιγραφή
5	Σοβαρή καταστροφή του περιβάλλοντος
4	Καταστροφή χωρίς δυνατότητα άμβλυσης
3	Καταστροφή με μικρή δυνατότητα άμβλυσης
2	Ελάχιστη επίπτωση στο περιβάλλον
1	Καμία επίπτωση στο περιβάλλον

Πίνακας 10 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στο Περιβάλλον

Κλάση επίπτωσης	Περιγραφή
5	Επίπτωση > 10.000,00 €
4	Επίπτωση 1.000,00 -10.000,00 €
3	Επίπτωση 100,00-1.000,00 €
2	Επίπτωση 10,00-100,00 €
1	Επίπτωση < 10,00 €

Πίνακας 11 Κατηγοριοποίηση Επίπτωσης στην Επιχείρηση

## 5.8 Αξιολόγηση κινδύνου με τη χρήση πίνακα Κινδύνου

### 5.8.1 Εκτίμηση κινδύνου

Η εκτίμηση κινδύνου είναι η διαδικασία αξιολόγησης της πιθανότητας μια αστοχία να έχει αρνητικές συνέπειες. Γι'αυτό το λόγο, μέρος της εκτίμησης κινδύνου είναι η ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση του επιπέδου ρίσκου που θα μπορούσε να δημιουργηθεί από την εμφάνιση ενός γεγονότος όπως αναλύθηκε στα παραπάνω εδάφια. Το ρίσκο είναι η συνάρτηση ενός γεγονότος, της πιθανότητας εμφάνισης του και των επιπτώσεων του. Για να γίνει σαφέστερος ο στόχος της εκτίμησης κινδύνου εισήχθη ένα τρίστιχο, το οποίο βασίστηκε στις απαντήσεις τριών κύριων ερωτήσεων (Kaplan and Garrick 1981)

- Τι μπορεί να αστοχήσει
- Ποια η πιθανότητα να εμφανιστεί αστοχία
- Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις της αστοχίας

Το παραπάνω σύνολο R, μπορεί να αναπαρασταθεί μαθηματικά ως εξής:

$$R=(s_i, p_i, x_{ij}), i=1,2,...n$$

Όπου s είναι το γεγονός, p η πιθανότητα εμφάνισης του s, και x η επίπτωση από την εμφάνιση του γεγονότος s.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν δημιουργηθεί δύο μεγάλες κατηγορίες εκτίμησης ρίσκου. Πρόκειται για την ποιοτική εκτίμηση ρίσκου και την ποσοτική εκτίμηση ρίσκου.

Κατά την ποσοτική εκτίμηση ρίσκου, αξιολογούνται η πιθανότητα και οι συνέπειες μιας αστοχίας, με στόχο να καθοριστεί το επίπεδο του ρίσκου. Τα αποτελέσματα συνήθως αναπαριστώνται σε έναν πίνακα, ο οποίος κατά τον άξονα x αναπαριστά τη πιθανότητα και ο άξονας y τις συνέπειες. Ένα απλό παράδειγμα τέτοιου πίνακα φαίνεται παρακάτω:

Πιθανότητα	Υψηλή	Μέτρια 2	Υψηλή 3	Σοβαρή 5
	Μέτρια	Χαμηλή 1	Μέτρια 2	Υψηλή 3
	Χαμηλή	Χαμηλή 1	Χαμηλή 1	Μέτρια 2
		Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
		Επίπτωση		

Πίνακας 12 Παράδειγμα υπολογισμού κινδύνου βάσει πίνακα RBM

Ωστόσο κατά την ποιοτική εκτίμηση κινδύνου υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί. Το 2003 ο Khan εξήγησε πως το αποτέλεσμα μιας ποιοτικής εκτίμησης κινδύνου είναι μια σχετική τιμή η οποία πιθανόν να έχει πολύ μικρή σημασία έξω από τα πλαίσια του πίνακα που αναφέρθηκε παραπάνω. Άλλο αρνητικό της εκτίμησης αυτής είναι η απουσία αντικειμενικότητας κατά τη λήψη αποφάσεων. Αυτό σημαίνει πως το αποτέλεσμα της μεθόδου μπορεί να επηρεαστεί κατά μεγάλο βαθμό από τον αποφασίζων.

Η ποσοτική εκτίμηση κινδύνου χρησιμοποιεί αριθμητικές τιμές (εκτός από τις περιγραφικές κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν στην ποιοτική εκτίμηση) για τη αξιολόγηση των πιθανοτήτων και επιπτώσεων. Γενικά, η ποσοτική εκτίμησης κινδύνου περιέχει κάποια τέσσερα βασικά βήματα τα οποία είναι τα ακόλουθα:

1. Υπολογισμός της συχνότητας αστοχίας
2. Καθορισμός της πιθανής επίπτωσης της αστοχίας
3. Υπολογισμός του επιπέδου του ρίσκου ( Το γινόμενο της συχνότητας και της επίπτωσης της αστοχίας)
4. Αξιολόγηση του ρίσκου που υπολογίστηκε

Για την κατηγοριοποίηση του ρίσκου, οι πιθανότητες και επιπτώσεις ομαδοποιούνται σε πίνακα της μορφής του σχήματος 13. Ωστόσο κάθε επιχείρηση είναι ελεύθερη να επιλέξει τον αριθμό κλάσεων συντελεστών ρίσκου, χωρίς να είναι απαραίτητο ο αριθμός των κλάσεων πιθανοτήτων να είναι ίδιος με τον αριθμό κλάσεων επιπτώσεων. Επίσης ο τρόπος που επιλέγεται η περιγραφή του ρίσκου (χαμηλή, μεσαία, υψηλή) ή το χρώμα των



σχημάτων (κόκκινο, κίτρινο, πράσινο) πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά ώστε να αντιπροσωπεύει την κλίμακα που περιγράφει. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα συγκεκριμένο παράδειγμα τέτοιου πίνακα, πρόκειται για την αναπαράσταση του τρόπου λήψης αποφάσεων προγραμματισμού συντήρησης, και προτεραιότητας εργασιών της Statfjord μιας επιχείρησης διανομής πετρελαίου και φυσικού αερίου δυτικά της Νορβηγίας.

Όπως φαίνεται ακολούθως, η πιθανότητα αστοχίας έχει κατηγοριοποιηθεί σε πέντε τάξεις πιθανοτήτων και ο χρόνος διαστημάτων συντήρησης περιγράφεται ως 6, 72, 120 κ.τ.λ. μήνες. Οι επιπτώσεις αστοχίας κατηγοριοποιούνται από την κλίμακα 1 έως 9 και αφορούν την υγεία, την επιχείρηση και το περιβάλλον.

Πίνακας RBIM											
PoF	P5	VH	VL (144)	L (120)	M (72)	VH (6)	VH (6)	VH (6)	VH (6)	VH (6)	VH (6)
	P4	H	VL (144)	L (120)	M (72)	H (48)	H (48)	H (48)	VH (6)	VH (6)	VH (6)
	P3	M	VL (144)	VL (144)	L (120)	M (72)	M (72)	H (48)	H (48)	H (48)	H (48)
	P2	L	VL (144)	VL (144)	L (120)	L (120)	M (72)	M (72)	M (72)	M (72)	M (72)
	P1	VL	VL (144)	VL (144)	VL (144)	L (120)	L (120)	L (120)	M (72)	M (72)	M (72)
Ασφάλεια			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			0	1-5	6-10	11-20	21-40	41-60	61-79	80-100	>100
			VL CoF	L CoF		M CoF			H CoF		VH CoF
	Κόστος						NA		RS		
	Περιβάλλον		M4	M3	M2	M1					
CoF											

Πίνακας 13 Παράδειγμα λήψης αποφάσεων με πίνακα υπολογισμού

δείκτη RBM (Jalali Motahari 2011)

Στον παραπάνω πίνακα ως VL χαρακτηρίζεται η πολύ χαμηλή τιμή επίπτωσης και αστοχίας, L η χαμηλή, M η μέτρια και VH η πολύ μεγάλη.

### 5.8.2 Εκτίμηση και βελτιστοποίηση των συντελεστών συντήρησης

Για την εκτίμηση και βελτιστοποίηση των συντελεστών της συντήρησης, αναπτύσσεται μπορεί να αναπτυχθεί ένα βελτιστοποιημένο μοντέλο συντήρησης. Το μοντέλο επιλύεται παράλληλα με την αναστροφή ανάλυση του δέντρου σφαλμάτων, για μία δεδομένη τιμή ολικού κινδύνου ή πιθανότητα αστοχίας του συστήματος. Έτσι προκύπτουν οι βέλτιστες τιμές των συντελεστών συντήρησης για το σύστημα που μελετάται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα υπόλοιπα υποσυστήματα και για όλα τα σενάρια αστοχιών. Το σύνολο των συντελεστών συντήρησης που προκύπτουν, χρησιμοποιείται για τη κατάσταση του βελτιστοποιημένου προγράμματος συντηρήσεων. Μία προσέγγιση του

βελτιστοποιημένου μοντέλου συντήρησης παρουσιάζεται ακολούθως (Khan, Sadiq et al. 2004).

Ελαχιστοποίηση της συνάρτησης κόστους Z:

$$Z = \sum c_i \cdot x_i^p \quad 5-14$$

Περιορισμοί:

$$f(R_i + x_i) \geq R^* , 0 < (R_i + x_i) < B_i < 1 \quad 5-15$$

Ο αύξων δείκτης  $i$  αναφέρεται στα επί μέρους εξαρτήματα, με  $i = 1, 2, 3 \dots, n$ ; όπου  $n$  είναι ο συνολικός αριθμός των επί μέρους εξαρτημάτων. Η παράμετρος  $x_i$  συμβολίζει τη μεταβολή της αξιοπιστίας του εξαρτήματος  $i$  ώστε να φτάσει το αποδεκτό σε σχέση με τον κίνδυνο επίπεδο. Η παράμετρος  $c_i$  συμβολίζει το συνακόλουθο της μεταβολής αυτής κόστος. Η παράμετρος  $R_i$  συμβολίζει την αξιοπιστία του εξαρτήματος  $i$ . Η παράμετρος  $R^*$  συμβολίζει την επιθυμητή αξιοπιστία του συστήματος βάσει του αποδεκτού κινδύνου. Η παράμετρος  $B_i$  συμβολίζει το άνω όριο της εφικτής αξιοπιστίας του εξαρτήματος  $i$ . Η παράμετρος  $p$  είναι η δύναμη της συνάρτησης κόστους αύξησης της αξιοπιστίας. Η τετραγωνική δύναμη ( $p = 2$ ) είναι η πιο απλή μη γραμμική συνάρτηση κόστους. Δίνει το κόστος αύξησης της αξιοπιστίας καθώς αυξάνει με αυξανόμενο ρυθμό, αποτελώντας μία συχνά παρατηρούμενη και σχετικά αναμενόμενη συμπεριφορά

## 5.9 Συμπεράσματα της μεθόδου RBIM

Η ανάλυση βάσει κινδύνου, είναι μια συστηματική, δομημένη και συλλογική μέθοδος για την ανάπτυξη προγράμματος συντηρήσεων και πραγματοποιείται με τη χρήση τεχνικών διαχείρισης ρίσκου, με τον προσδιορισμό της πιθανότητας αστοχίας σύμφωνα με μελέτη μηχανισμών που οδηγούν σε αυτή και με τον καθορισμό των επιπτώσεων μιας τέτοιας αστοχίας από την οπτική του ανθρώπου, της ασφαλείας και υγείας καθώς και της προστασίας του περιβάλλοντος (Dos Santos and Al Hajri 2000). Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύθηκαν τα κύρια ζητήματα που αφορούν τη μέθοδο RBIM. Η μέθοδος της εκτίμησης των διαστημάτων συντήρησης, διεξάγεται με σκοπό την βελτίωση της διαχείρισης του κινδύνου και πραγματοποιείται για τις κρίσιμες περιοχές του υπό εξέταση συστήματος.

## 6 Αντικατάσταση μεμονωμένων εξαρτημάτων

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται το πρόβλημα της αντικατάστασης εξαρτημάτων που παθαίνουν βλάβη ξαφνικά και πρέπει να αντικατασταθούν με όμοια καινούρια εξαρτήματα για να συνεχισθεί η λειτουργία του παραγωγικού μηχανισμού στον οποίο ανήκουν. Στην κατηγορία αυτή συνήθως υπάγονται οι λυχνίες φωτισμού, τρανζίστορ, πυκνωτές κ.α. Ο χρόνος εμφάνισης της βλάβης του εξαρτήματος από τη στιγμή που θα αρχίσει να λειτουργεί είναι συνήθως τυχαία μεταβλητή και καλείται “χρόνος λειτουργίας χωρίς βλάβη” ή χρόνος εμφάνισης βλάβης.

Στην κατηγορία των εξαρτημάτων που εξετάζονται, είτε αντικαθίστανται αμέσως μετά τη βλάβη, είτε αντικαθίστανται προληπτικά. Η αντικατάσταση εξαρτήματος αφού έχει προηγηθεί βλάβη δημιουργεί συνήθως μεγαλύτερο κόστος από μια προγραμματισμένη συντήρηση, πριν εμφανισθεί βλάβη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην πρώτη περίπτωση εκτός από το καθαρό κόστος αντικατάστασης, που περιλαμβάνει την αξία του εξαρτήματος και τις απαραίτητες εργασίες αντικατάστασης, υπάρχουν και άλλες πρόσθετες δαπάνες που οφείλονται στους εξής λόγους:

- I. Απώλειες της παραγωγής ή παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων
- II. Αργία των χειριστών των μηχανημάτων
- III. Δευτερογενείς βλάβες σε άλλα εξαρτήματα του εξοπλισμού

Οι παραπάνω λόγοι είναι εμφανείς στις περιπτώσεις όπου το εξάρτημα ή η συσκευή αποτελεί μέρος μιας σύνθετης μηχανής ή μιας βιομηχανικής διαδικασίας γιατί η βλάβη του εξαρτήματος προκαλεί ανωμαλίες ή πλήρη διακοπή της λειτουργίας της μηχανής ή ολόκληρης της βιομηχανικής διαδικασίας, μέχρι να αποκατασταθεί η βλάβη.

Το πρόβλημα της αντικατάστασης μεμονωμένων εξαρτημάτων αντιμετωπίζεται με τις παρακάτω παραδοχές:

- Τα εξαρτήματα είναι απολύτως αποτελεσματικά μέχρι να πάθουν βλάβη. Αποκλείονται δηλαδή προβλήματα αντικατάστασης στα οποία εμφανίζεται βαθμιαία ελάττωση της αποτελεσματικότητας ή βαθμιαία αύξηση του κόστους συντηρήσεως τους.
- Παραβλέπονται προβλήματα αναμονής, που προκύπτουν από το γεγονός πως διάφορα εξαρτήματα παθαίνουν βλάβη ταυτόχρονα και επομένως πρέπει να περιμένουν πριν αντικατασταθούν, αφού τα μέσα εξυπηρέτησεως είναι περιορισμένα.
- Σε μια αντικατάσταση, είτε τοποθετείται ένα καινούριο εξάρτημα, είτε επισκευάζεται το υπάρχον, σε τέτοιο βαθμό όμως ώστε η συνολική πυκνότητα πιθανότητας του χρόνου λειτουργίας του χωρίς βλάβες να είναι η ίδια όπως του καινούριου εξαρτήματος, υποθέτοντας έτσι ότι η επισκευή αποκαθιστά το εξάρτημα στην κατάσταση του καινούριου.
- Είναι γνωστή η σ.π.π.  $f(t)$  του χρόνου ζωής του εξαρτήματος ή οποιαδήποτε ισοδύναμη με αυτή συνάρτηση ( $F(t)$ ,  $R(t)$  ή  $h(t)$ ).

## 6.1 Διορθωτική συντήρηση

Το κόστος αντικατάστασης μετά από βλάβη ορίζεται ως  $C_F$ , συνεπώς το μέσο κόστος αντικαταστάσεως ανά περίοδο χρόνου υπολογίζεται ως εξής:

$$K_F = \frac{C_F}{L} \quad 6-1$$

Όπου  $L$  η μέση διάρκεια ζωής του εξαρτήματος. Η στρατηγική αυτή αντικατάστασης είναι βέλτιστη και εφαρμόζεται όταν οι βλάβες του εξαρτήματος είναι τυχαίες, ενώ δεν εξαρτώνται από την ηλικία του, δηλαδή ο ειδικός ρυθμός βλαβών του είναι σταθερός και δεν εξαρτάται από την ηλικία.

## 6.2 Προληπτική συντήρηση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η προληπτική αντικατάσταση εξαρτημάτων, βασίζεται στο ότι:

- Το κόστος αντικατάστασης μετά από βλάβη είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος προγραμματισμένης προληπτικής αντικατάστασης
- Ο ειδικός ρυθμός βλαβών αυξάνεται με το χρόνο, λόγω φθοράς του εξαρτήματος.

Για αυτό το λόγο υπάρχουν δύο στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοσθούν.

### 6.2.1 Στρατηγική Α

Το μαθηματικό πρότυπο αυτής της στρατηγικής περιγράφεται ακολούθως και ορίζονται:

$n$ : η ηλικία αντικατάστασης εξαρτήματος

$L_n$ : η μέση διάρκεια ζωής του εξαρτήματος

$P_i$ : η πιθανότητα εμφάνισης βλάβης στο χρονικό διάστημα

Εξ ορισμού η μέση διάρκεια ζωής είναι:

$$L_n = \sum_{i=0}^{\infty} i p_i \quad 6-2$$

Ειδικότερα με βάση την παραπάνω σχέση ισχύει:

$$L_n = p_1 + 2p_2 + 3p_3 + \dots + (n-1)p_{n-1} + n(p_n + p_{n+1} + p_{n+2} + \dots) \quad 6-3$$

Είτε

$$L_n = (p_1 + p_2 + p_3 + \dots) + (p_2 + p_3 + \dots) + (p_3 + p_4 + \dots) + \dots + (p_n + p_{n+1} + \dots) \quad 6-4$$

Δηλαδή

$$L_n = R_0 + R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} R_i \quad 6-5$$

Θεωρώντας ένα μεγάλο χρονικό διάστημα  $T$ . Στο διάστημα αυτό χρησιμοποιούνται συνολικά  $T/L_n$  εξαρτήματα. Από αυτά τα εξαρτήματα  $T(p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_{n-1})/L_n = \frac{T(1-R_{n-1})}{L_n}$  αντικαθίστανται μετά από βλάβη, ενώ αντικαθίστανται προληπτικά τα  $\frac{TR_{n-1}}{L_n}$  σε ηλικία  $n$ . Συνεπώς, το κόστος κατά το χρονικό διάστημα  $T$  θα είναι:

$$\frac{TC_F(1 - R_{n-1}) + TC_R R_{n-1}}{L_n} \quad 6-6$$

Όπου

$CF$ : Κόστος αντικατάστασης μετά από βλάβη ενός εξαρτήματος

$CR$ : κόστος προληπτικής αντικατάστασης ενός εξαρτήματος

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση το μέσο κόστος ανά μονάδα χρόνου είναι:

$$K_n = \frac{C_F(1 - R_{n-1}) + C_R R_{n-1}}{L_n} = \frac{C_F(C_F - C_R)R_{n-1}}{L_n} \quad 6-7$$

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τιμής του  $n$ , δίνονται διάφορες τιμές σε αυτό και βρίσκεται εκείνη η τιμή για την οποία το  $K_n$  γίνεται ελάχιστο. Επίσης σημειώνεται ότι αν  $CF=CR$  τότε από την παραπάνω σχέση το κόστος αντικατάστασης λαμβάνεται μόνο από βλάβη  $K_n = \frac{C_F}{L}$ .

Η πιθανότητα να τελειώσει η ζωή ενός εξαρτήματος με μια προγραμματισμένη συντήρηση σε ηλικία  $t(a)$  είναι  $R(t_a)$ . Επίσης η μέση διάρκεια ζωής ενός εξαρτήματος που αντικαθίσταται, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$L_{(t_a)} = \int_0^{t_a} t f(t) dt + t_a R(t_a) = \int_0^{t_a} R(t) dt \quad 6-8$$

Επιπλέον θεωρώντας ένα μεγάλο πλήθος  $N$  όμοιων εξαρτημάτων, το αναμενόμενο ολικό κόστος αντικατάστασης είναι:

$$N \cdot R(t_a)C_R + N[1 - R(t_a)]C_F \quad 6-9$$

Και ο αναμενόμενος χρόνος χρησιμοποίησης των εξαρτημάτων είναι:

$$N \int_0^{t_a} R(t)dt \quad 6-10$$

και το μέσο κόστος αντικατάστασης ανά μονάδα χρόνου είναι:

$$K_A = \frac{C_F - (C_F - C_R)R(t_a)}{\int_0^{t_a} R(t)dt} = \frac{C_F - (C_F - C_R)R(t_a)}{L(t_a)} \quad 6-11$$

Τέλος αποδεικνύεται πως η ικανή συνθήκη, για να είναι η παρούσα στρατηγική προτιμότερη από την αντικατάσταση μόνο μετά από βλάβη  $n$ :

$$\mu \cdot h(+\infty) > \frac{C_F}{C_F - C_R} \quad 6-12$$

Όπου  $\mu$  είναι η μέση τιμή της  $f(t)$  και  $h(t)$  ο ειδικός ρυθμός βλαβών.

### 6.2.2 Στρατηγική Β

Κατά την στρατηγική αυτή προγραμματίζονται αντικαταστάσεις στις χρονικές στιγμές  $t_b$ ,  $2t_b$ ,  $3t_b$ , ... ανεξάρτητα από την ηλικία του εξαρτήματος καθώς και αντικαταστάσεις όταν συμβαίνουν βλάβες κατά τα ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα.

Ωστόσο η στρατηγική Α που αναλύθηκε προηγουμένως είναι προτιμότερη αφού σύμφωνα με τη δεύτερη μπορεί να συμβεί προγραμματισμένη προληπτική συντήρηση σε εξάρτημα που τοποθετήθηκε πρόσφατα. Παρόλα αυτά υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η παρούσα στρατηγική κρίνεται προτιμότερη, όπως αν, για κάποιον άλλο λόγο, γίνεται επιθεώρηση του μηχανήματος κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Τέλος η στρατηγική Β μπορεί να βελτιωθεί με διάφορες τεχνικές όπως, η αντικατάσταση εξαρτημάτων που είναι σχεδόν καινούρια.

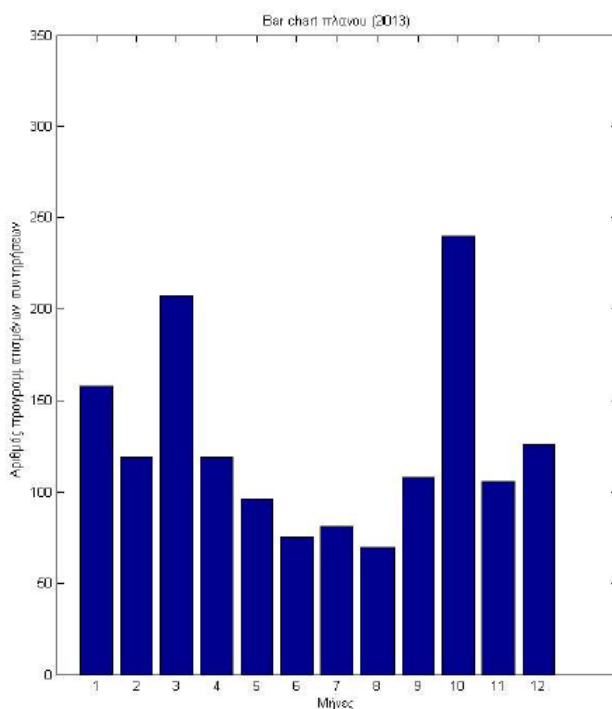
## 7 Ορισμός του υπό μελέτη προβλήματος

### 7.1 Παρούσα κατάσταση

Το υπό μελέτη πρόβλημα, αφορά τη δημιουργία ενός προγραμματισμένου πλάνου συντήρησης, για τους μετρητικούς σταθμούς Μέσης Πίεσης της ΕΠΑ Αττικής. Ως τώρα ο ετήσιος προγραμματισμός, διαμορφώνεται χειροκίνητα, βάσει ειδικά διαμορφωμένων αρχείων excel και κανόνων. Οι κανόνες αυτοί περιλαμβάνουν προτεινόμενη συχνότητα συντήρησης η οποία στηρίζεται στην πρόταση του κατασκευαστή του εκάστοτε ρυθμιστικού σταθμού. Επίσης ο ρυθμός επιθεωρήσεων και συντηρήσεων ακολουθεί και κάποιους κανόνες που ορίζονται από τα ανάλογα ΦΕΚ συντήρησης μετρητικών σταθμών φυσικού αερίου. Τα ζητούμενα λοιπόν από τη νέα μέθοδο προγραμματισμού, είναι η επιτάχυνση της διαδικασίας κατάρτισης του ετήσιου πλάνου και υιοθέτηση πρακτικών βελτίωσης της αποδοτικότητας του συστήματος συντήρησης.

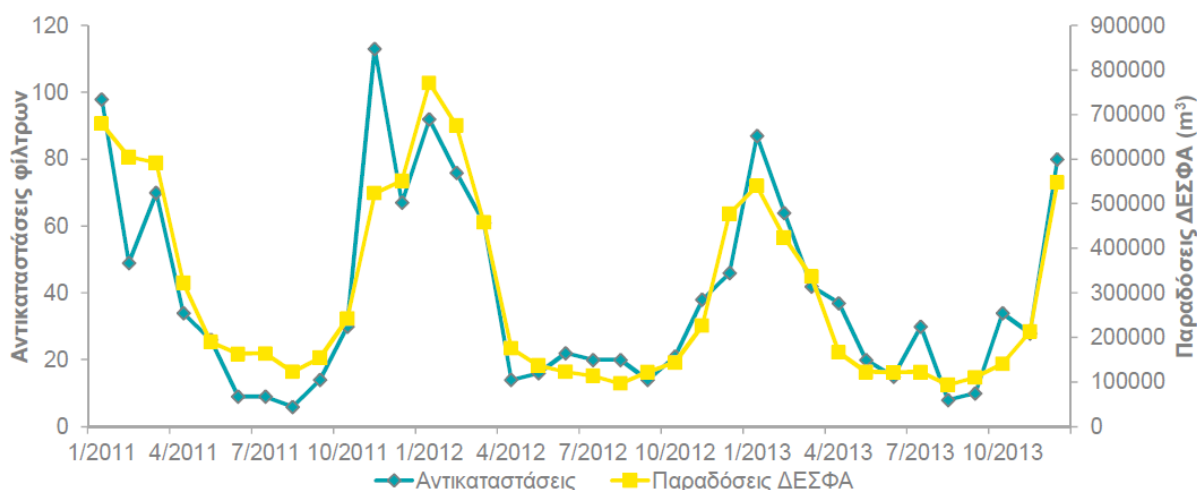
#### 7.1.1 Διαθέσιμα δεδομένα

Από τον ετήσιο προγραμματισμό συντηρήσεων που ακολουθείται έχει παρατηρηθεί, πως η ανάγκη για επιθεωρήσεις και συντηρήσεις είναι αυξημένη κατά του χειμερινούς μήνες του έτους, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς παρουσιάζουν σχετική βύθιση. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ένα σχετικό παράδειγμα κατά το έτος 2013.



Σχήμα 29 Ετήσιο πλάνο 2013, ΕΠΑ Αττικής

Επίσης έχει παρατηρηθεί πως η κατανάλωση του φυσικού αερίου συνδέεται με τις βλάβες φίλτρων, πληροφορία που συμβάλει στην ανάπτυξη του ζητούμενου προγραμματισμένου πλάνου συντηρήσεων. Το διάγραμμα αυτής της παρατήρησης φαίνεται ακολούθως:



Σχήμα 30 Σύνδεση καταναλώσεων με βλάβες φίλτρων, ΕΠΑ Αττικής

Τα διαθέσιμα δεδομένα για ανάλυση και προγραμματισμού των συντηρήσεων ετησίως είναι τα εξής:

- Πρόγραμμα εργασιών Μέσης πίεσης 2014
- Πρόγραμμα συντήρησης σταθμών 2014
- Βασικά δεδομένα σταθμών όπως, τύπος, κατασκευαστής, γεωγραφικές συντεταγμένες
- Στοιχεία εντολών συντήρησης 2011-2013
- Στοιχεία αντικατάστασης φίλτρων σταθμών 2011-2013
- Καταναλώσεις έξι σταθμών από SCADA
- Οικονομικά στοιχεία προληπτικών συντηρήσεων

Επίσης υπάρχουν αναλυτικές πληροφορίες για την κατάσταση των φίλτρων, ημερησίως για το διάστημα 2011-2013. Τα φίλτρα είναι βαθμονομημένα σε κλίμακα Α έως Ε. Κάθε γράμμα προσδιορίζει την κατάσταση του φίλτρου, και καθορίζει αν θα αντικατασταθεί ή όχι. Συγκεκριμένα η κλίμακα αυτή είναι η ακόλουθη:

Α: Το φίλτρο ήταν σε πολύ καλή κατάσταση συνεπώς δεν χρειάστηκε αντικατάσταση.

Β: Το φίλτρο ήταν σε καλή κατάσταση, τινάχθηκε και επαναχρησιμοποιήθηκε.

Γ: Το φίλτρο ήταν βρώμικο, συνεπώς αντικαταστάθηκε.



Δ: Το φίλτρο ήταν πολύ βρώμικο συνεπώς αντικαταστάθηκε.

Ε: Το φίλτρο ήταν πολύ βρώμικο και η σκόνη είχε εισέλθει μπροστά, συνεπώς αντικαταστάθηκε.

Τα αρχεία φίλτρων παρέχουν κατάλληλες πληροφορίες για στοιχεία αστοχιών κάθε σταθμού και χρησιμοποιούνται στη διαμόρφωση σχετικών συναρτήσεων κινδύνου.

Τα είδη των συντηρήσεων που εκτελούνται από την ΕΠΑ Αττικής είναι προληπτική και διορθωτική συντήρηση. Η προληπτική συντήρηση ακολουθεί το εκάστοτε ετήσιο προγραμματισμό. Στην περίπτωση της διορθωτικής, αν έχουν γίνει ταυτόχρονα ή σε σύντομο χρονικό διάστημα επεμβάσεις, τα διάφορα περιστατικά τίθενται σε σειρά προτεραιότητας ανάλογα με την κρισιμότητα τους. Άμεση προτεραιότητα έχουν οι διαρροές ή πιθανές διαρροές φυσικού αερίου, η διακοπή τροφοδοσίας λειτουργικού τομέα και η ένδειξη παρουσίας φυσικού αερίου σε εσωτερικούς χώρους.

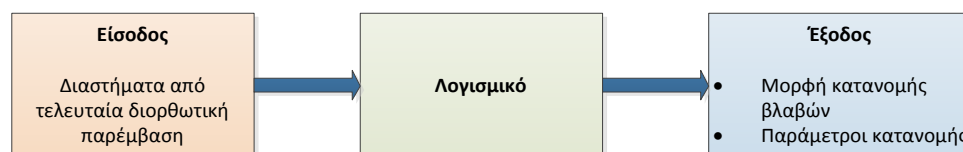
## 8 Προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης

### 8.1 Περιγραφή του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε

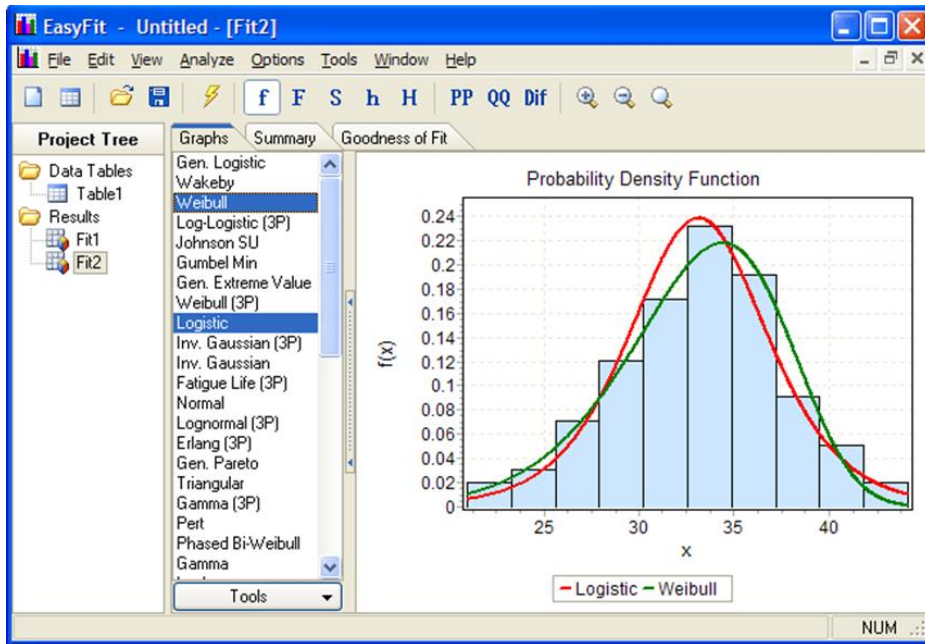
Με στόχο την επίλυση του προτεινόμενου προβλήματος συντήρησης, όπως αυτό ορίστηκε στο κεφάλαιο 7, αναπτύχθηκε μία μέθοδος βασισμένη στον κίνδυνο για δέκα αντιπροσωπευτικούς σταθμούς της ΕΠΑΑ. Για την ανάλυση αυτή, πρώτο βήμα είναι η μελέτη αστοχιών των εκάστοτε σταθμών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη αυτή, είναι το διάστημα παρέμβασης σε κάθε μετρητικό σταθμό από την τελευταία συντήρηση. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι διορθωτικές συντηρήσεις, που διενεργήθηκαν κατά την τριετία 2013-2015, καθώς μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά των σταθμών, σε σχέση με την εμφάνιση βλαβών.

Για την ανάλυση βλαβών των σταθμών, κρίνεται σκόπιμο να ορισθεί η κατανομή που ακολουθείται, ωστόσο το εύρος των δεδομένων συντήρησης για συγκεκριμένους σταθμούς, δεν επαρκεί για την εξαγωγή συμπεράσματος, όσον αφορά την κατανομή που ακολουθούν οι βλάβες των μετρητικών σταθμών της εταιρίας. Παρόλα αυτά η βιβλιογραφία, μελέτης παρόμοιου εξοπλισμού, προτείνει την κατανομή Weibull, όπως ορίστηκε και στο κεφάλαιο 4. Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης κατανομής και εξαγωγή αποτελεσμάτων, θα πρέπει πρώτα να ορισθούν οι δύο παράμετροι  $\beta$  και  $\eta$ . Η παράμετρος  $\beta$  ονομάζεται παράμετρος σχήματος και  $\eta$  είναι η παράμετρος μεγέθους. Για την εύρεση λοιπόν αυτών των μεγεθών, χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό, το οποίο λαμβάνει υπόψη προηγμένους αλγορίθμους προσαρμογής και βρίσκει την καμπύλη της κατανομής που περιγράφει καλύτερα το σύνολο των στοιχείων που δίνονται σαν είσοδος. Το πρόγραμμα αυτό ονομάζεται EasyFit 5.6 και διατίθεται είτε σαν πλήρες επαγγελματικό πακέτο είτε σαν δοκιμαστικό τριάντα ημερών. Πρόκειται για ιδιαίτερα εύχρηστο λογισμικό και τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

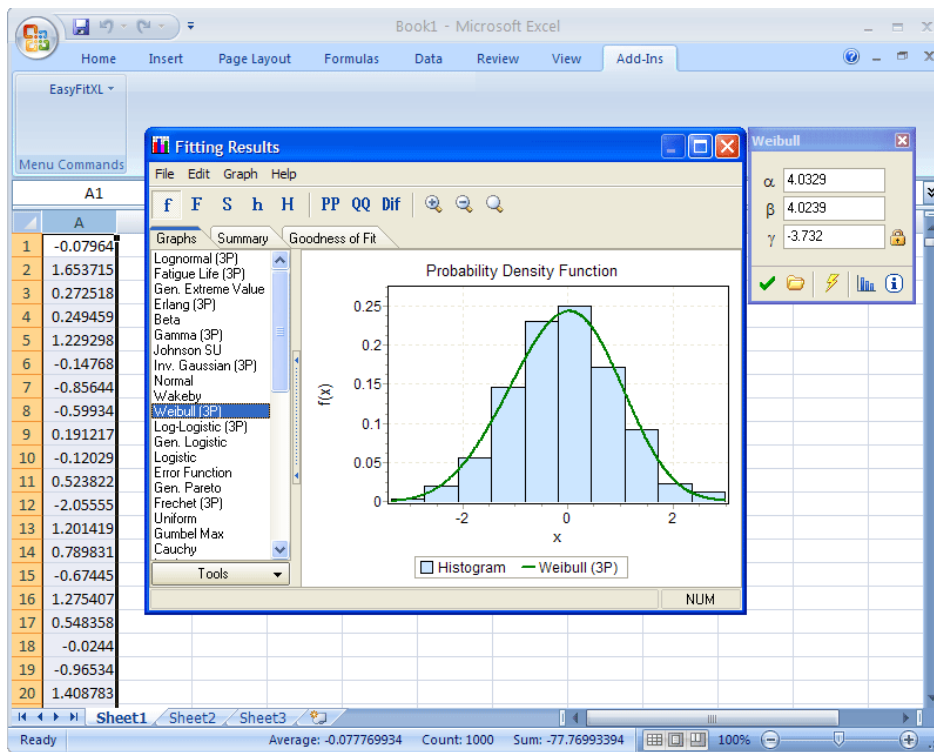
- I. Από τις ημερομηνίες διορθωτικών συντηρήσεων των σταθμών που επιλέχθηκαν να αναλυθούν, υπολογίσθηκαν τα διαστήματα παρέμβασης σε αυτούς λόγω βλάβης.
- II. Τα διαστήματα που υπολογίσθηκαν, εισήχθησαν στην εφαρμογή EasyFit και χρησιμοποιώντας τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις, γίνεται επεξεργασία των δεδομένων.
- III. Το πρόγραμμα αυτό εξετάζει πάνω από 27 διαφορετικές κατανομές, ενώ δίνει τη δυνατότητα επιλογής συγκεκριμένης, επιστρέφοντας τις τιμές των ζητούμενων παραμέτρων. Ακολουθεί στιγμιότυπο της χρήσης του λογισμικού αυτού για την καλύτερη κατανόηση του.



Σχήμα 31 Είσοδος έξοδος λογισμικού EasyFit



Σχήμα 32 Επιλογή κατανομής



Σχήμα 33 Εισαγωγή δεδομένων και εύρεση παραμέτρων

## 8.2 Μελέτη περίπτωσης δέκα μετρητικών σταθμών

Η μελέτη έγινε για τους παρακάτω δέκα σταθμούς. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι σταθμοί με τον κωδικό λειτουργικού τομέα και την τοποθεσία αυτών.

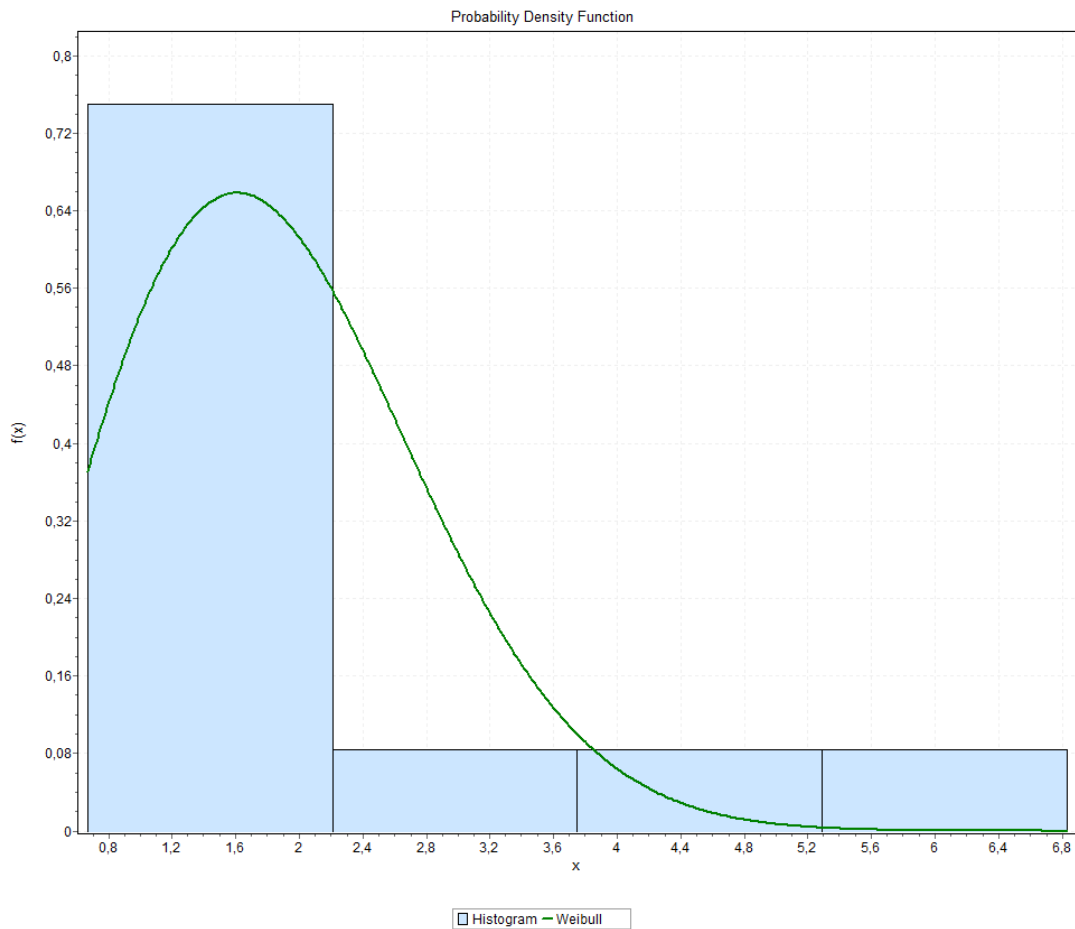
Σταθμός	Λειτουργικός τομέας	Διεύθυνση	Τοποθεσία
Σταθμός 1	Z0-MRST-N00000000017	ΟΠΙΣΘΕΝ ΜΑΚΡΟ	ΑΓ. Ι. ΡΕΝΤΗΣ
Σταθμός 2	Z0-MRST-N00000000038	ΗΛΙΟΥΠΟΛΕΩΣ & ΚΕΛΣΟΥ	ΑΘΗΝΑ
Σταθμός 3	Z0-MRST-N00000000080	ΑΡΒΑΝΙΤΗ & ΓΚΙΝΟΣΑΤΗ	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ
Σταθμός 4	Z0-MRST-N00000000097	ΕΜΜ. ΠΑΠΠΑ 13	ΑΙΓΑΛΕΩ
Σταθμός 5	Z0-MRST-N000000007530	ΠΕΙΡΑΙΩΣ & ΑΝΑΞΑΓΟΡΑ	ΤΑΥΡΟΣ
Σταθμός 6	Z0-MRST-N000000009131	ΗΛΙΑ ΗΛΙΟΥ & ΗΛΙΟΥΠΟΛΕΩΣ	ΑΘΗΝΑ
Σταθμός 7	Z0-MRST-N000000000002	ΛΑΓΟΥΜΙΤΖΗ & ΗΛΙΑ ΗΛΙΟΥ-ΠΛ. ΜΑΧΗΣ ΑΝΑΛΑΤΩΝ	ΑΘΗΝΑ
Σταθμός 8	Z0-MRST-N000000000079	ΔΑΦΝΗΣ & ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ	ΑΜΑΡΟΥΣΙΟ
Σταθμός 9	Z0-MRST-N000000000014	Λ. ΑΝΔΡΕΑ ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ & ΠΑΠΑΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ	ΖΩΓΡΑΦΟΥ
Σταθμός 10	Z0-MRST-N000000000029	ΠΕΡΣΕΦΟΝΗΣ & ΙΑΚΧΟΥ	ΑΘΗΝΑ

Πίνακας 14 Κωδικοί Σταθμών

Σύμφωνα με τα δεδομένα της εταιρίας, οι βλάβες που τείνουν να παρουσιάζονται σε αυτούς τους σταθμούς είναι:

- Αλλαγή φίλτρου
- Αλλαγή διαφορικού μανομέτρου
- Αλλαγή λοιπών μανομέτρων
- Εσωτερική διαρροή βάνας εισόδου
- Εσωτερική διαρροή βάνας εξόδου
- Εσωτερική διαρροή πιλότου
- Δυσλειτουργία βάνας ακαριαίας διακοπής
- Πρόβλημα rumpiring
- Εσωτερική διαρροή ρυθμιστή διάταξης
- Εσωτερική διαρροή βάνας relief
- Δυσκολία χειρισμού βανών εισόδου
- Δυσκολία χειρισμού βανών εξόδου

Από τις βλάβες αυτές σε συνδυασμό με τα διαστήματα διορθωτικών συντηρήσεων, υπολογίστηκαν οι παράμετροι Weibull κάθε σταθμού. Παράδειγμα υπολογισμού αυτών με τη χρήση του λογισμικού EasyFit για το Σταθμό 1 είναι το παρακάτω:



**Σχήμα 34 Παράδειγμα κατανομής συχνότητας πιθανότητας των χρόνων παρέμβασης του Σταθμού 1**

Αφού υπολογίσθηκαν οι παράμετροι των κατανομών κάθε σταθμού, έπειτα βρέθηκε η αξιοπιστία τους και η συχνότητα αστοχιών σύμφωνα με τις σχέσεις της Weibull όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 4.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

Και η αξιοπιστία:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

### 8.2.1 Σταθμός 1

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις ημερομηνίες διορθωτικών συντηρήσεων του σταθμού 1 για το διάστημα 2013-2015:

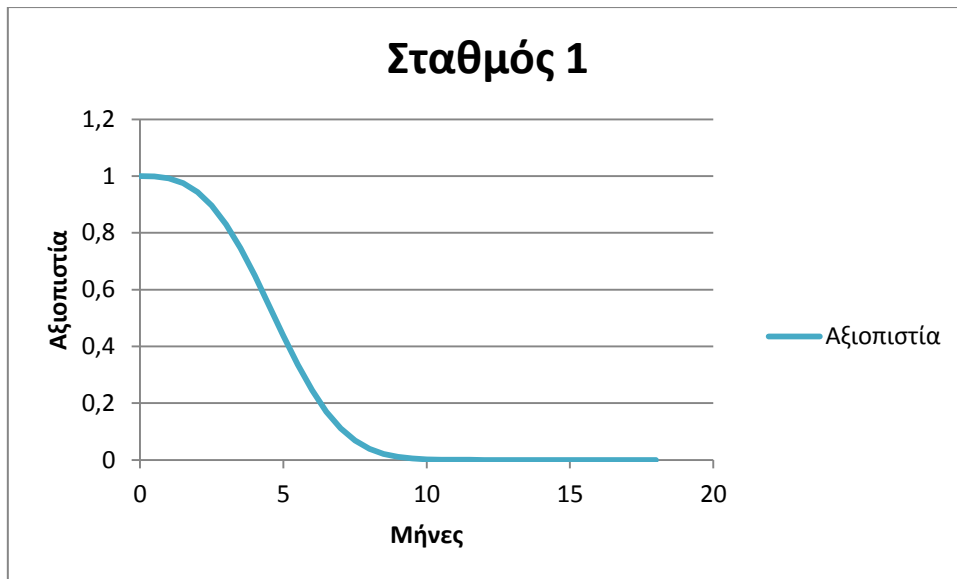
Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021997	30/1/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000022911	19/2/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000029155	9/7/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000029186	11/7/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000029211	15/7/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000029235	17/7/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000029249	18/7/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000029293	23/7/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000033268	29/10/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000033670	4/11/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000034747	3/12/2013	Z0-MRST-N00000000017
2000038824	5/3/2014	Z0-MRST-N00000000017
2000041439	23/5/2014	Z0-MRST-N00000000017
2000041439	23/5/2014	Z0-MRST-N00000000017
2000045130	29/9/2014	Z0-MRST-N00000000017
2000048047	8/1/2015	Z0-MRST-N00000000017
2000048804	10/2/2015	Z0-MRST-N00000000017
2000048851	11/2/2015	Z0-MRST-N00000000017
2000053984	17/8/2015	Z0-MRST-N00000000017
2000054007	20/8/2015	Z0-MRST-N00000000017

Πίνακας 15 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 1

Από τον παραπάνω πίνακα με χρήση του λογισμικού EasyFit προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές παραμέτρων:

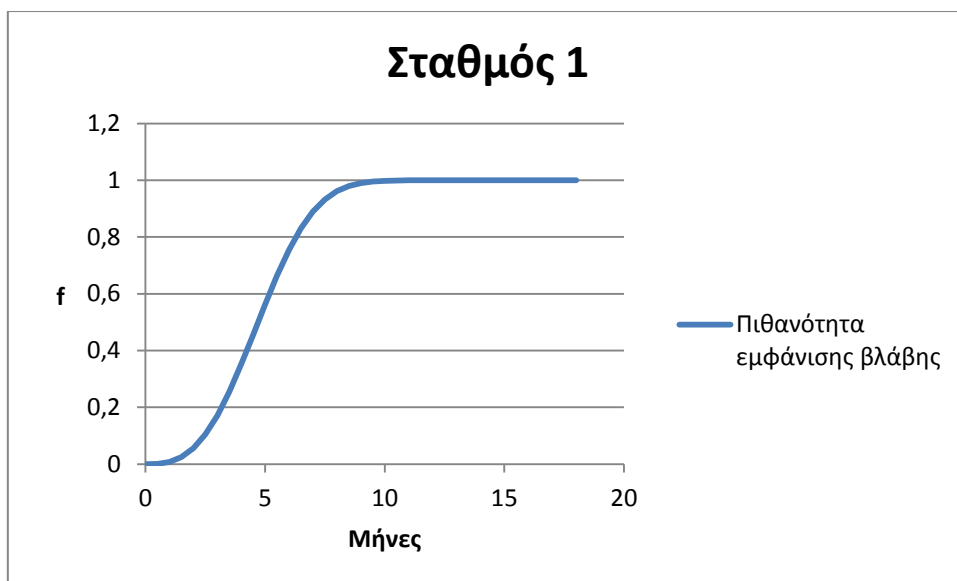
$\beta$	2,9089
$1/\eta$	0,187378

Και η αξιοπιστία του σταθμού σε μήνες, φαίνεται ακολούθως:



Σχήμα 35 Αξιοπιστία Σταθμού 1

Και η πιθανότητα εμφάνισης βλάβης:



Σχήμα 36 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 1

Ομοίως υπολογίσθηκαν η αξιοπιστία και οι πιθανότητες εμφάνισης βλαβών για τους υπόλοιπους σταθμούς. Στο τέλος της ανάλυσης παρουσιάζονται όλες οι τιμές των πιθανοτήτων αστοχίας και των δέκα σταθμών συγκεντρωτικά.

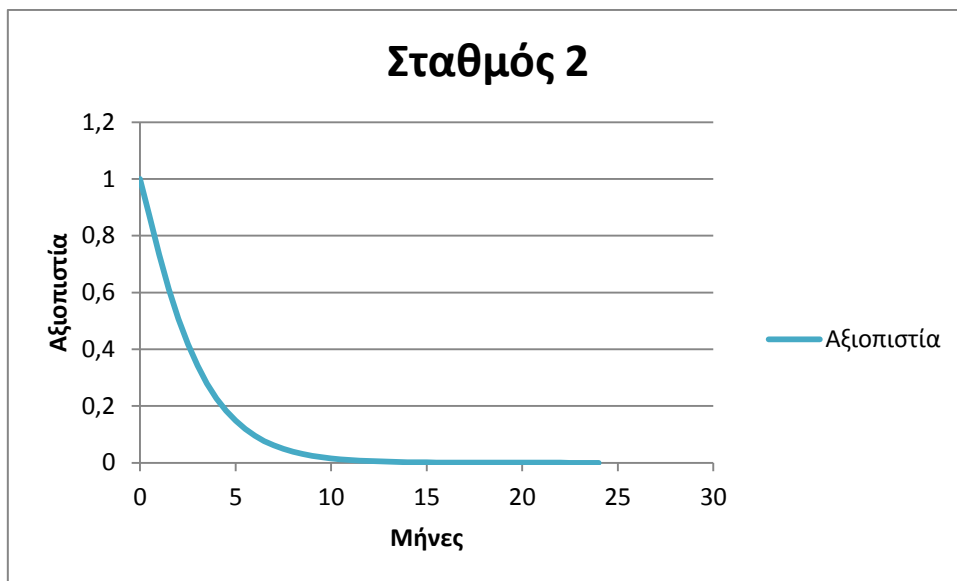
8.2.2 Σταθμός 2

Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021127	2/1/2013	Z0-MRST-N000000000038
2000022961	22/2/2013	Z0-MRST-N000000000038
2000023569	27/2/2013	Z0-MRST-N000000000038
2000023835	4/3/2013	Z0-MRST-N000000000038
2000024148	19/3/2013	Z0-MRST-N000000000038
2000033837	20/11/2013	Z0-MRST-N000000000038
2000035898	27/12/2013	Z0-MRST-N000000000038
2000037254	20/1/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000037292	22/1/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000037405	27/1/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000037443	29/1/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000037809	3/2/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000038314	25/2/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000038389	27/2/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000038816	4/3/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000038832	6/3/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000038871	10/3/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000039765	28/3/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000039784	31/3/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000042061	17/6/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000047168	23/12/2014	Z0-MRST-N000000000038
2000047828	2/1/2015	Z0-MRST-N000000000038
2000048880	12/2/2015	Z0-MRST-N000000000038
2000048969	18/2/2015	Z0-MRST-N000000000038
2000049805	12/3/2015	Z0-MRST-N000000000038
2000049841	16/3/2015	Z0-MRST-N000000000038
2000050841	23/4/2015	Z0-MRST-N000000000038
2000057413	14/12/2015	Z0-MRST-N000000000038
2000057535	17/12/2015	Z0-MRST-N000000000038

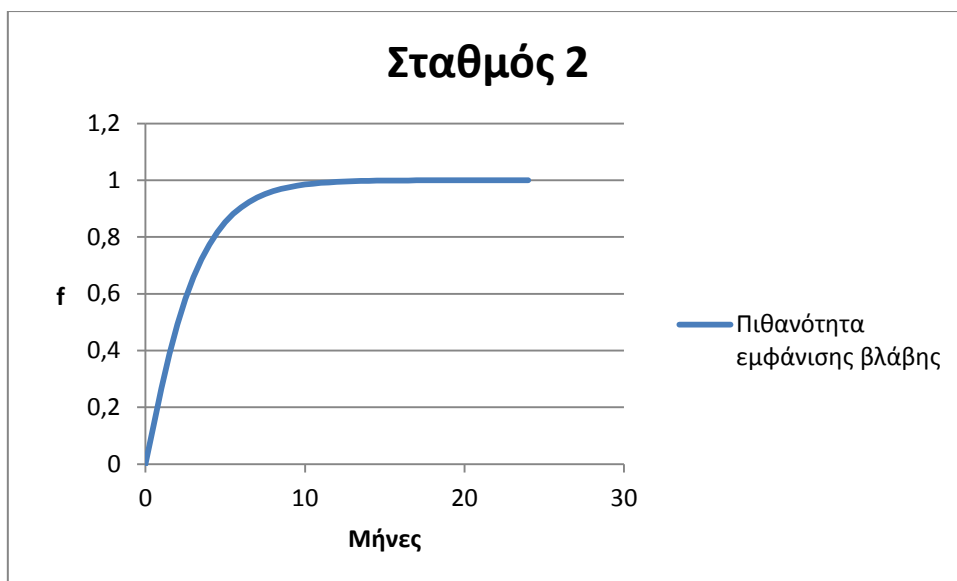
Πίνακας 16 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 2

β	1,1298
1/η	0,354874





Σχήμα 37 Αξιοπιστία σταθμού 2



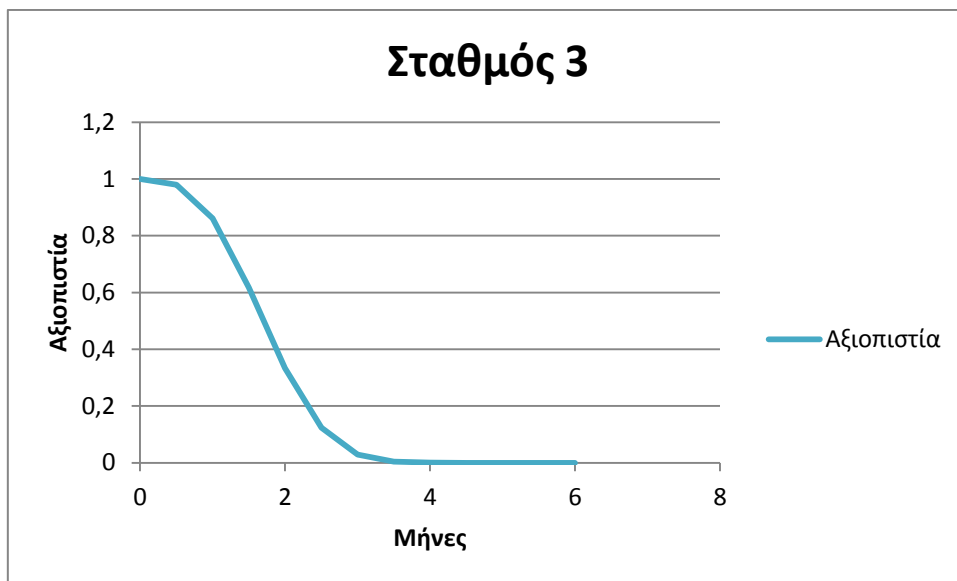
Σχήμα 38 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 2

### 8.2.3 Σταθμός 3

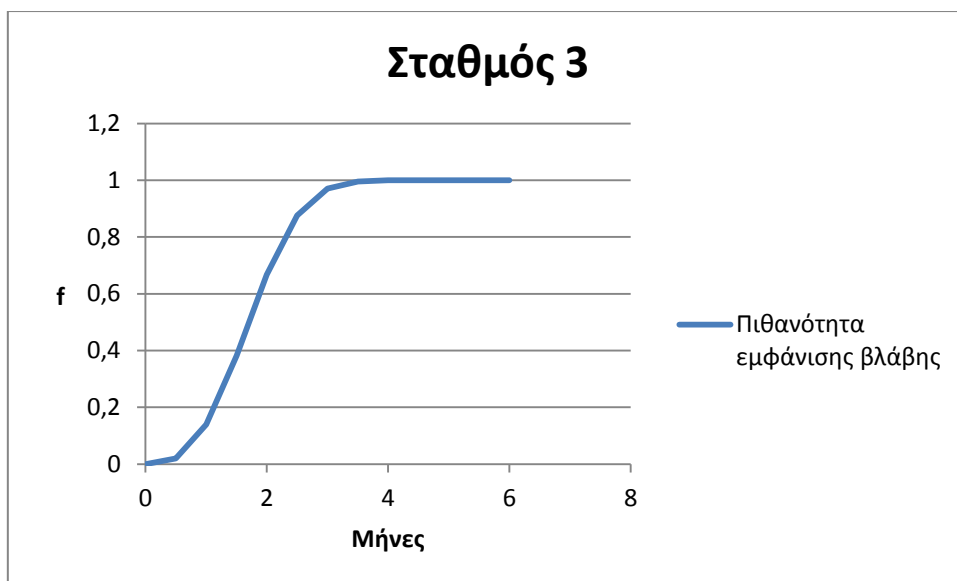
Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021873	25/1/2013	Z0-MRST-N000000000080
2000022885	18/2/2013	Z0-MRST-N000000000080
2000023886	5/3/2013	Z0-MRST-N000000000080
2000034745	3/12/2013	Z0-MRST-N000000000080
2000034936	13/12/2013	Z0-MRST-N000000000080
2000035442	23/12/2013	Z0-MRST-N000000000080
2000035895	27/12/2013	Z0-MRST-N000000000080
2000037308	23/1/2014	Z0-MRST-N000000000080
2000038053	6/2/2014	Z0-MRST-N000000000080
2000038956	13/3/2014	Z0-MRST-N000000000080
2000045486	21/10/2014	Z0-MRST-N000000000080
2000046380	21/11/2014	Z0-MRST-N000000000080
2000048024	5/1/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000048791	9/2/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000049789	11/3/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000049882	19/3/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000052314	8/6/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000052358	11/6/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000053928	10/8/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000056162	29/10/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000057244	1/12/2015	Z0-MRST-N000000000080
2000057546	18/12/2015	Z0-MRST-N000000000080

Πίνακας 17 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 3

$\beta$	2,8751
$1/\eta$	0,516876



Σχήμα 39 Αξιοπιστία Σταθμού 3



Σχήμα 40 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 3

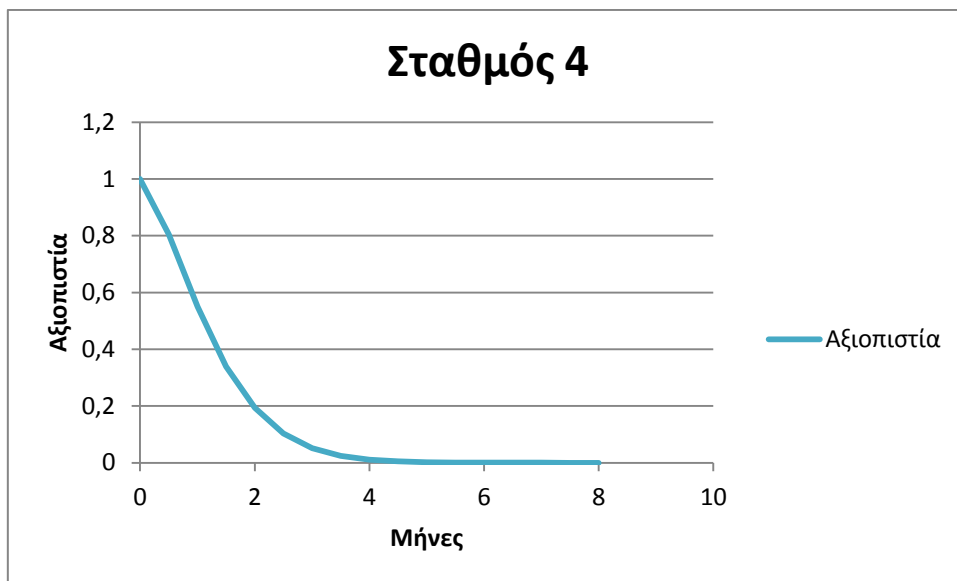
8.2.4 Σταθμός 4

Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021492	17/1/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000022589	4/2/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000022929	19/2/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029157	9/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029187	11/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029188	11/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029210	15/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029234	17/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029237	17/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029250	18/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029271	19/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029283	22/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029292	23/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000029730	24/7/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000030250	5/8/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000030419	19/8/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000031354	6/9/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000032556	18/10/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000033269	29/10/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000033288	30/10/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000033320	31/10/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000033594	1/11/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000033666	4/11/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000033671	4/11/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000033703	5/11/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000034286	25/11/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000034863	10/12/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000034906	12/12/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000035433	23/12/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000035949	30/12/2013	Z0-MRST-N000000000097
2000038315	25/2/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000038870	10/3/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000039276	21/3/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000041965	2/6/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000041965	2/6/2014	Z0-MRST-N000000000097

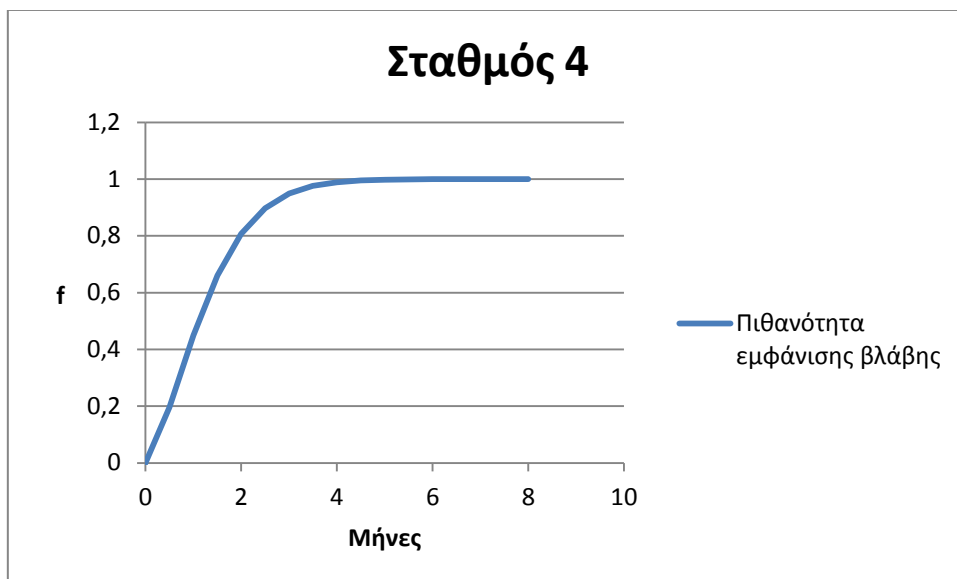
Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000045129	29/9/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045131	29/9/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045133	29/9/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045319	1/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045352	3/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045353	3/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045362	3/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045382	6/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045426	13/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045433	14/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000045445	15/10/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000046299	18/11/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000046724	24/11/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000046724	24/11/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000047087	15/12/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000047613	30/12/2014	Z0-MRST-N000000000097
2000048035	7/1/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000048036	7/1/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000048385	26/1/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000048415	29/1/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000048805	10/2/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000048879	12/2/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000049234	24/2/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000053983	17/8/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000053985	17/8/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000054824	8/9/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000055291	29/9/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000056159	29/10/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000056622	16/11/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000057338	7/12/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000057458	15/12/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000057459	15/12/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000057641	21/12/2015	Z0-MRST-N000000000097
2000057642	21/12/2015	Z0-MRST-N000000000097

Πίνακας 18 Διορθωτικές συντηρήσεις σταθμού

$\beta$	1,4587
$1/\eta$	0,702889



Σχήμα 41 Αξιοπιστία Σταθμού 4



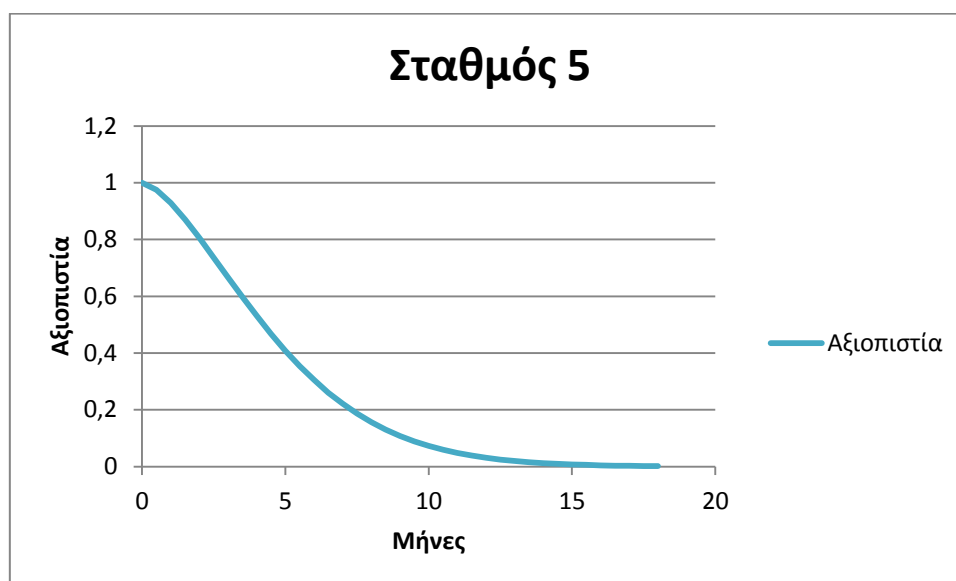
Σχήμα 42 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 4

## 8.2.5 Σταθμός 5

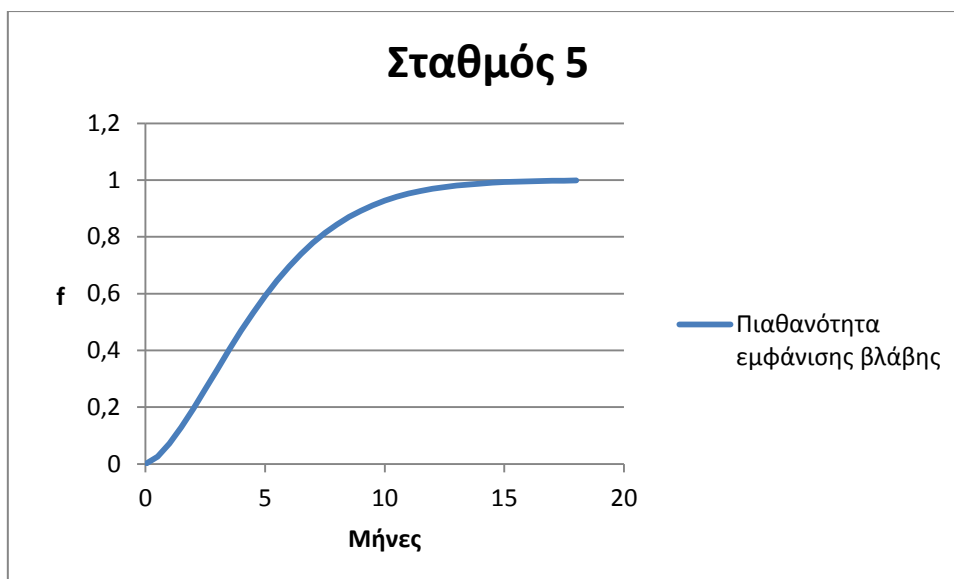
Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
11/2/2013	Z0-MRST-N000000007530
15/2/2013	Z0-MRST-N000000007530
26/2/2013	Z0-MRST-N000000007530
11/4/2013	Z0-MRST-N000000007530
30/4/2013	Z0-MRST-N000000007530
18/11/2013	Z0-MRST-N000000007530
3/12/2013	Z0-MRST-N000000007530
29/1/2014	Z0-MRST-N000000007530
11/2/2014	Z0-MRST-N000000007530
21/10/2014	Z0-MRST-N000000007530
8/1/2015	Z0-MRST-N000000007530
10/2/2015	Z0-MRST-N000000007530
12/2/2015	Z0-MRST-N000000007530
19/2/2015	Z0-MRST-N000000007530
12/3/2015	Z0-MRST-N000000007530
16/4/2015	Z0-MRST-N000000007530
2/11/2015	Z0-MRST-N000000007530
7/12/2015	Z0-MRST-N000000007530

Πίνακας 19 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 5

$\beta$	1,5494
$1/\eta$	0,186293



Σχήμα 43 Αξιοπιστία Σταθμού 5



Σχήμα 44 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 5

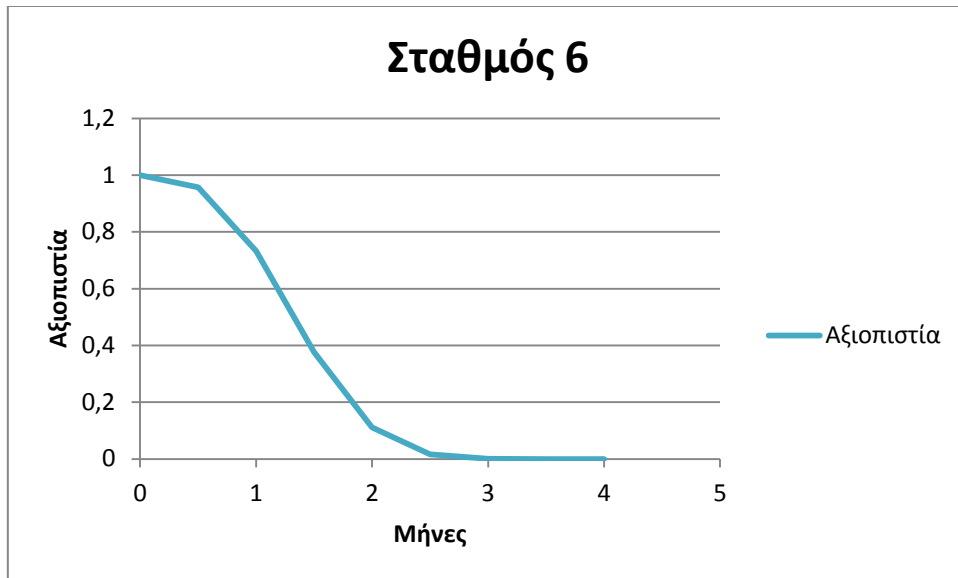
## 8.2.6 Σταθμός 6

Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000022034	31/1/2013	Z0-MRST-N000000009131
2000035905	27/12/2013	Z0-MRST-N000000009131
2000037387	24/1/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000038072	7/2/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000038395	27/2/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000038817	4/3/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000038869	10/3/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000039764	28/3/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000041652	26/5/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000042843	3/7/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000046298	18/11/2014	Z0-MRST-N000000009131
2000048068	9/1/2015	Z0-MRST-N000000009131
2000048756	6/2/2015	Z0-MRST-N000000009131
2000048769	9/2/2015	Z0-MRST-N000000009131
2000048873	12/2/2015	Z0-MRST-N000000009131
2000048956	18/2/2015	Z0-MRST-N000000009131
2000056924	24/11/2015	Z0-MRST-N000000009131
2000057552	18/12/2015	Z0-MRST-N000000009131
2000057755	23/12/2015	Z0-MRST-N000000009131

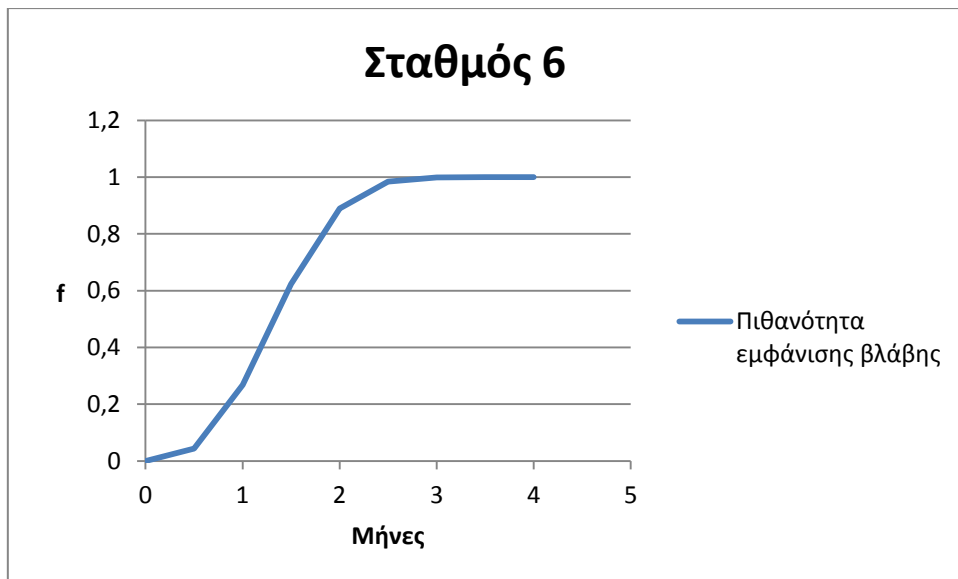
Πίνακας 20 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 6



$\beta$	2,8195
$1/\eta$	0,661113



Σχήμα 45 Αξιοπιστία Σταθμού 6



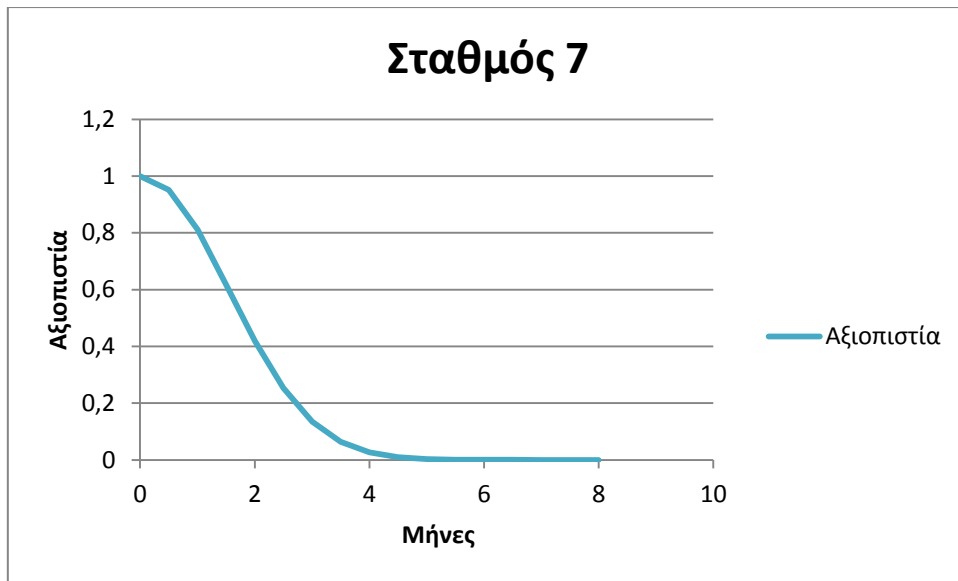
Σχήμα 46 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 6

8.2.7 Σταθμός 7

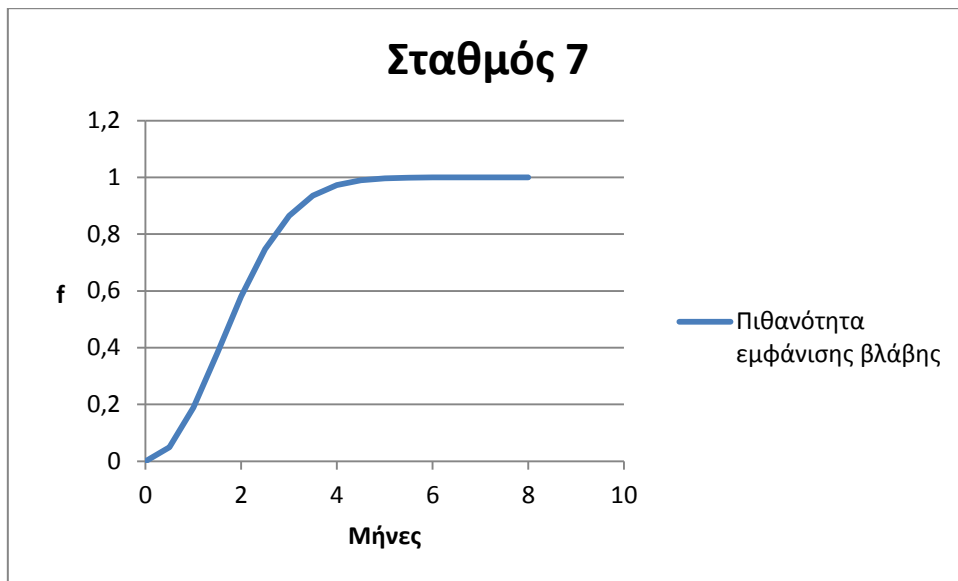
Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021829	24/1/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000022964	22/2/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000024149	19/3/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000032428	10/10/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000034749	3/12/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000034913	12/12/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000034946	13/12/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000035436	23/12/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000035453	23/12/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000035894	27/12/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000035950	30/12/2013	Z0-MRST-N000000000002
2000037255	20/1/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000037310	23/1/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000037442	29/1/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000037808	3/2/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000038815	4/3/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000038873	10/3/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000041266	6/5/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000043309	28/7/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000046295	18/11/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000047617	30/12/2014	Z0-MRST-N000000000002
2000048094	14/1/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000048774	9/2/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000048968	18/2/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000050371	27/3/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000050773	16/4/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000056485	2/11/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000057243	1/12/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000057481	16/12/2015	Z0-MRST-N000000000002
2000057534	17/12/2015	Z0-MRST-N000000000002

Πίνακας 21 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 7

β	2,0567
1/η	0,467071



Σχήμα 47 Αξιοπιστία Σταθμού 7



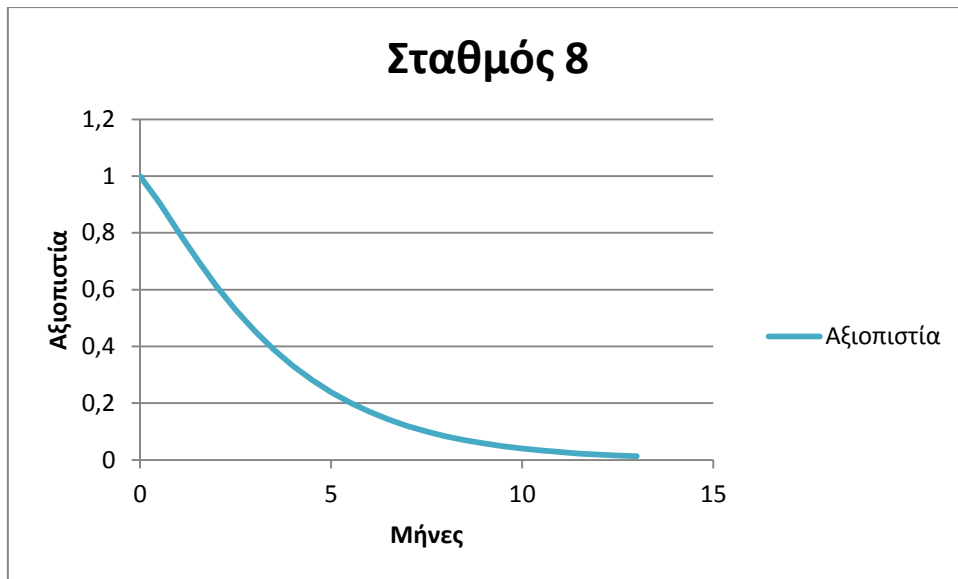
Σχήμα 48 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 7

## 8.2.8 Σταθμός 8

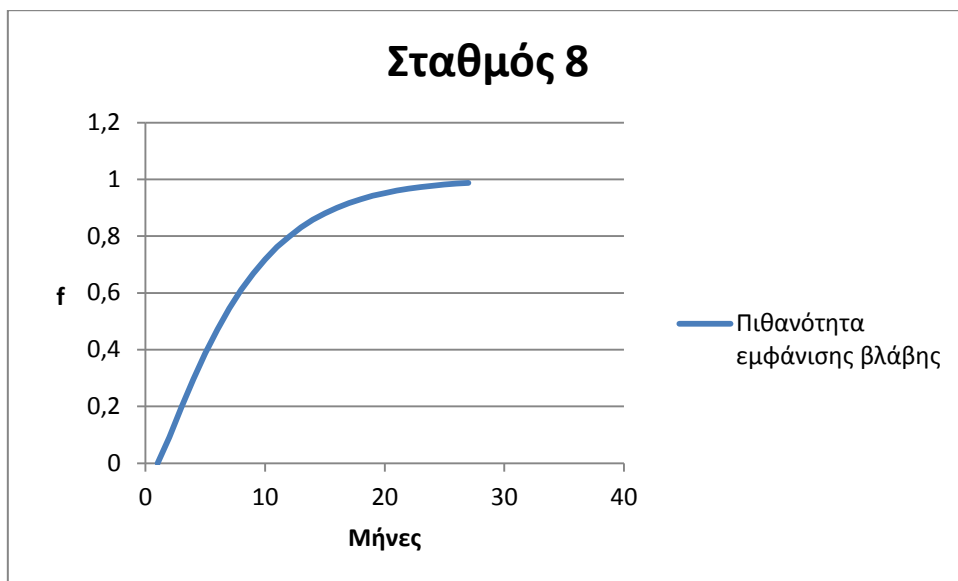
Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021118	2/1/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000021558	21/1/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000022001	30/1/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000023528	26/2/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000024144	19/3/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000034889	11/12/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000035440	23/12/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000035899	27/12/2013	Z0-MRST-N000000000079
2000037304	23/1/2014	Z0-MRST-N000000000079
2000038064	6/2/2014	Z0-MRST-N000000000079
2000038913	11/3/2014	Z0-MRST-N000000000079
2000047096	16/12/2014	Z0-MRST-N000000000079
2000048027	5/1/2015	Z0-MRST-N000000000079
2000048818	10/2/2015	Z0-MRST-N000000000079
2000050806	21/4/2015	Z0-MRST-N000000000079
2000056149	29/10/2015	Z0-MRST-N000000000079
2000057236	1/12/2015	Z0-MRST-N000000000079
2000057371	9/12/2015	Z0-MRST-N000000000079
2000057652	21/12/2015	Z0-MRST-N000000000079
2000058098	28/12/2015	Z0-MRST-N000000000079

Πίνακας 22 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 8

$\beta$	1,1696
$1/\eta$	0,272042



Σχήμα 49 Αξιοπιστία Σταθμού 8



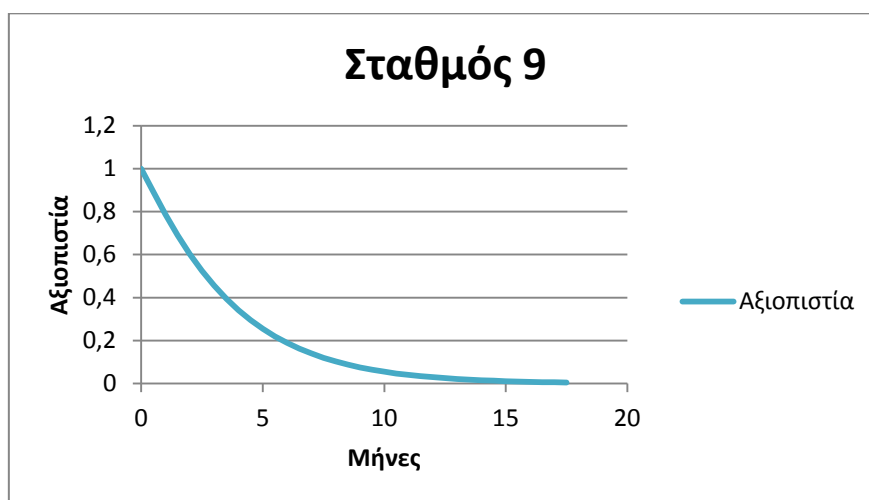
Σχήμα 50 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 8

8.2.9 Σταθμός 9

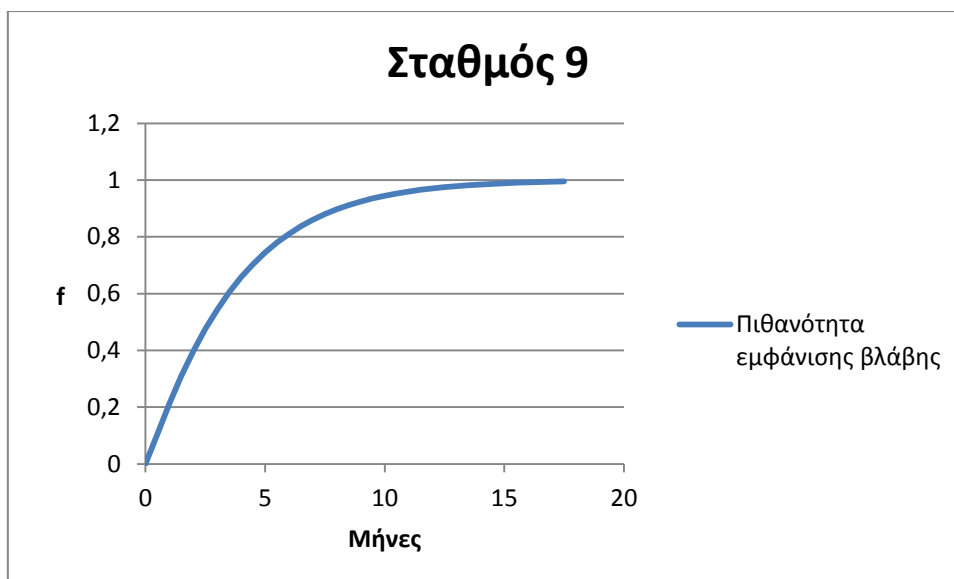
Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021512	18/1/2013	Z0-MRST-N000000000014
2000022884	18/2/2013	Z0-MRST-N000000000014
2000023472	25/2/2013	Z0-MRST-N000000000014
2000029731	24/7/2013	Z0-MRST-N000000000014
2000035463	23/12/2013	Z0-MRST-N000000000014
2000037426	28/1/2014	Z0-MRST-N000000000014
2000038867	10/3/2014	Z0-MRST-N000000000014
2000047162	22/12/2014	Z0-MRST-N000000000014
2000047620	30/12/2014	Z0-MRST-N000000000014
2000048785	9/2/2015	Z0-MRST-N000000000014
2000048963	18/2/2015	Z0-MRST-N000000000014
2000050653	2/4/2015	Z0-MRST-N000000000014
2000057484	16/12/2015	Z0-MRST-N000000000014
2000057637	21/12/2015	Z0-MRST-N000000000014
2000057707	22/12/2015	Z0-MRST-N000000000014
2000058127	29/12/2015	Z0-MRST-N000000000014

Πίνακας 23 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 9

$\beta$	1,0833
$1/\eta$	0,26688



Σχήμα 51 Αξιοπιστία Σταθμού 9



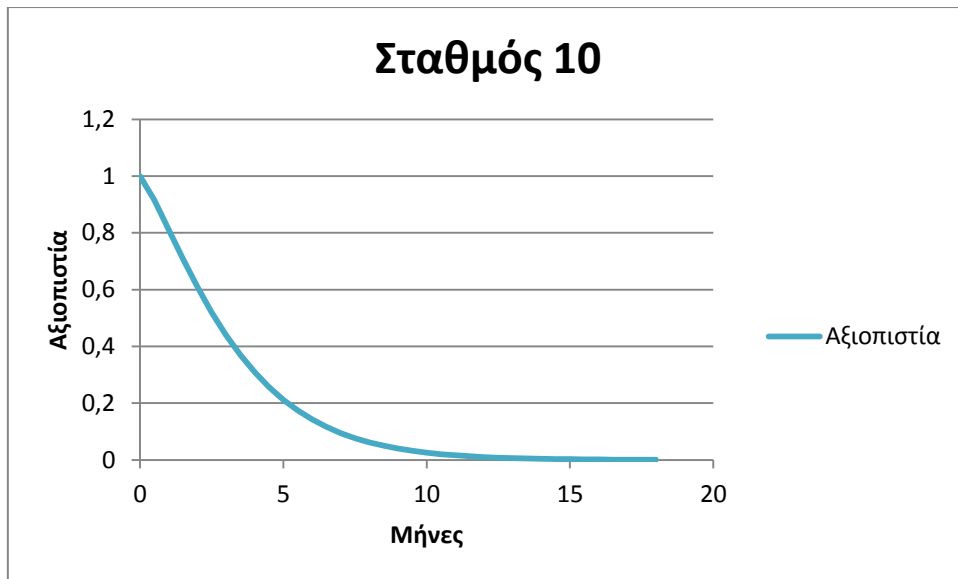
Σχήμα 52 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 9

#### 8.2.10 Σταθμός 10

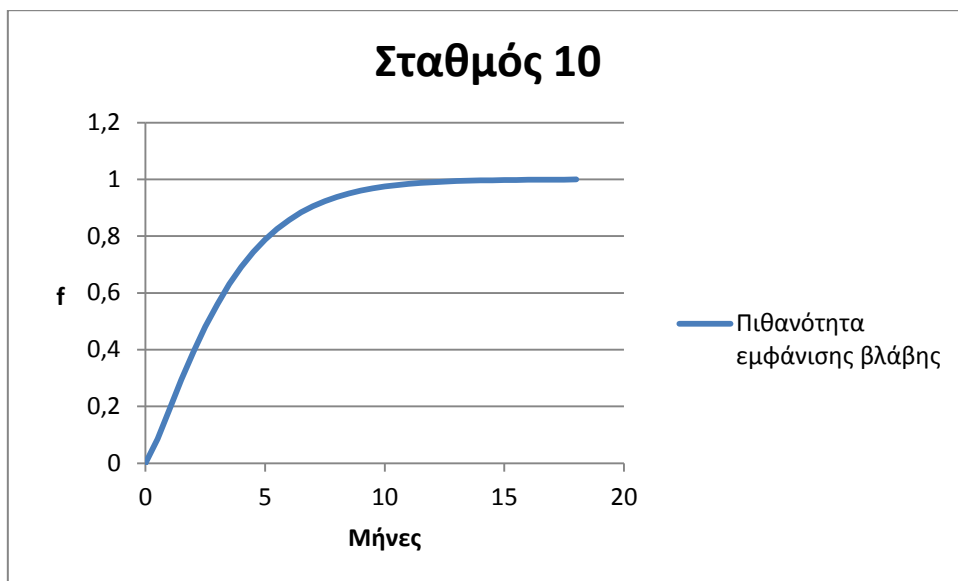
Αντικείμενο	Ημερομηνία	Λειτουργικός τομέας
2000021461	15/1/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000021834	24/1/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000022428	1/2/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000022924	19/2/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000025564	19/4/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000026996	21/5/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000029294	23/7/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000034383	28/11/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000034900	11/12/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000035434	23/12/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000035907	27/12/2013	Z0-MRST-N000000000029
2000044191	29/8/2014	Z0-MRST-N000000000029
2000045132	29/9/2014	Z0-MRST-N000000000029
2000046348	19/11/2014	Z0-MRST-N000000000029
2000055656	12/10/2015	Z0-MRST-N000000000029
2000057460	15/12/2015	Z0-MRST-N000000000029
2000057643	21/12/2015	Z0-MRST-N000000000029

Πίνακας 24 Διορθωτικές συντηρήσεις Σταθμού 10

$\beta$	1,2431
$1/\eta$	0,284754



Σχήμα 53 Αξιοπιστία Σταθμού 10



Σχήμα 54 Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης Σταθμού 10

Επίσης στους επόμενους πίνακες φαίνονται συγκεντρωτικά, οι παράμετροι που υπολογίστηκαν με το λογισμικό EasyFit και οι πιθανότητες εμφάνισης αστοχίας για κάθε μήνα σε διάστημα ενός έτους.



Μήνας	Σταθμός 1	Σταθμός 2	Σταθμός 3	Σταθμός 4	Σταθμός 5	Σταθμός 6	Σταθμός 7	Σταθμός 8	Σταθμός 9	Σταθμός 10
12	0,000249196	0,003621566	5,66873E-65	2,44545E-09	0,0169976	1,7761E-117	2,62883E-13	0,008717716	0,010962439	0,00602754
11	0,001727757	0,005773366	1,42102E-49	3,15038E-08	0,024785788	5,77442E-90	4,5484E-11	0,012589227	0,014925062	0,0094019
10	0,008323235	0,009138581	8,28973E-37	3,6113E-07	0,035184396	4,96724E-67	4,6834E-09	0,018040272	0,020253657	0,014476444
9	0,028585311	0,014351394	1,91993E-26	3,65688E-06	0,048518091	2,70427E-48	2,87574E-07	0,025630078	0,027383525	0,021973182
8	0,071725909	0,022337147	3,03437E-18	3,24274E-05	0,064815725	2,26877E-33	1,05473E-05	0,036060112	0,03686735	0,03282197
7	0,134491314	0,034410457	5,6734E-12	0,0002491	0,083581531	7,28941E-22	0,000231262	0,050167439	0,049391399	0,048139223
6	0,192113426	0,052368692	2,19731E-07	0,001634864	0,103515483	2,28304E-13	0,00302914	0,06886994	0,06577854	0,069111789
5	0,21179866	0,078521323	0,000312178	0,00899807	0,122209477	1,82618E-07	0,023607797	0,093007104	0,086955263	0,096685184
4	0,180235437	0,115492313	0,029003533	0,040429048	0,135852481	0,001013024	0,108278063	0,122950744	0,113824951	0,130854397
3	0,114794325	0,165322193	0,303508105	0,141957422	0,138921699	0,110014985	0,284105093	0,157650021	0,146875057	0,169080506
2	0,048295531	0,226086563	0,527923804	0,356641416	0,123417595	0,62141928	0,392182074	0,191822298	0,184795821	0,202170511
1	0,007633954	0,266716631	0,13925216	0,4500536	0,07132978	0,267552528	0,188555732	0,195993316	0,212641697	0,189271816

Πίνακας 25 Συγκεντρωτικός πίνακας πιθανοτήτων αστοχιών των δέκα σταθμών

### 8.2.11 Εκτίμηση κινδύνου (RBM)

Στο στάδιο αυτό θα γίνει εκτίμηση του κινδύνου, για κάθε σταθμό που μελετήθηκε, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 5. Απαραίτητα στοιχεία για την εκτίμηση αυτή είναι η πιθανότητα αστοχίας και η επίπτωση της αστοχίας αυτής. Για την παρούσα μελέτη έγινε η παραδοχή πως για κάθε σταθμό ως βλάβη θεωρείται η αντικατάσταση φίλτρου, καθώς για αυτά τα στοιχεία του εξοπλισμού υπήρχαν επαρκή δεδομένα για διεξαγωγή συμπεράσματος.

#### 8.2.11.1.1 Εκτίμηση πιθανοτήτων

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, για κάθε ένα από τους δέκα σταθμούς υπολογίστηκε η πιθανότητα να αστοχήσει για κάθε μήνα σε διάστημα ενός έτους. Συγκεντρωτικά οι πιθανότητες αυτές είναι οι ακόλουθες:

Σταθμός	Πιθανότητα αστοχίας
Σταθμός 1	0,007634
Σταθμός 2	0,266717
Σταθμός 3	0,139252
Σταθμός 4	0,450054
Σταθμός 5	0,07133
Σταθμός 6	0,267553
Σταθμός 7	0,188556
Σταθμός 8	0,195993
Σταθμός 9	0,212642
Σταθμός 10	0,189272

Πίνακας 26 Πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας των 10 σταθμών

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία κατά Khan και Haddara για την εύρεση της επίπτωσης μιας αστοχίας εξετάζονται σενάρια αστοχιών για τα επιμέρους εξαρτήματα ενός εξοπλισμού και εκτιμώνται οι συνέπειες τους στο σύστημα βάσει μια κλίμακας από ένα έως δέκα. Οι συνήθεις επιπτώσεις που εξετάζονται είναι η οικονομική επίπτωση, η επίπτωση στο περιβάλλον και η επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο κάθε επιχείρηση ανάλογα με τη μορφή και τα δεδομένα της μπορεί να χρησιμοποιήσει επιπτώσεις που προκύπτουν από τα διαθέσιμα δεδομένα. Στην περίπτωση των σταθμών που μελετήθηκαν είναι το οικονομικό κόστος και η αλλαγή φίλτρου λόγω επιπέδων σκόνης ανά περιοχή λειτουργικού τομέα.

#### *Επίπτωση κόστους*

Όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα, σύμφωνα με τα οικονομικά στοιχεία της επιχείρησης, η επίπτωση στο κόστος θα είναι ίδια για όλους τους σταθμούς που μελετήθηκαν, καθώς πρόκειται για όμοιους σταθμούς. Δηλαδή σταθμούς που εξυπηρετούν κυρίως οικιακούς πελάτες, συνεπώς δεν παρουσιάζουν κάποια ουσιαστική διαφοροποίηση μεταξύ τους. Καθώς λοιπόν ο συντελεστής κόστους που προκύπτει είναι ίδιος σε κάθε σταθμό, δεν λαμβάνεται υπόψιν στον υπολογισμό του τελικού κινδύνου, αφού δεν αλλάζει το τελικό αποτέλεσμα. Θα πρέπει να σημειωθεί πως επιλέχθηκε αυτό το είδος σταθμών διότι τα στοιχεία αυτά για μελέτη τους είχαν την κατάλληλη μορφή και πλήθος για εξαγωγή συμπεράσματος.

#### *Επίπτωση λόγω επιπέδων σκόνης*

Σε αυτήν την ενότητα καθορίστηκε η επίπτωση βάσει ενός συντελεστή σκόνης, όπως έχει καθορισθεί από την επιχείρηση. Τα δεδομένα που υπάρχουν αφορούν τη βαθμονόμηση της επίπτωσης λόγω σκόνης σε κλίμακα από ένα έως δέκα ανά περιοχή σταθμού. Η κλίμακα αυτή φαίνεται ακολούθως:

Τομέας	Περίοδος Κατασκευής	Μήκος Βρόγχου	Τμήμα Κλάδου	ΣΚΟΝΗ
East A	2000	11,5	2,6	8
East B	1995 - 1996	34,5	17,5	9
South A	2001	22,9	1	8
South B	2000	6	0,3	3
West A	1997	14,5	4,1	7
West B	1999	12,4	4,5	6
North A	1999	14,8	1,1	4
North B	1998	21,4	0,9	4
Industrial 10 bar	Πριν το 1998	12,4	7,2	7
Defa Ring	Πριν το 1990	35	30	9
Thrasio	Πριν το 1998	22,1	3,8	6
Koropi	Πριν το 1998	14,6		4
Markopoulo	2005	7,3		4
Anatoliki trofodosia O.X.	2004		11,2	4
Dutikh trofodosia O.X.	2004		6,8	4

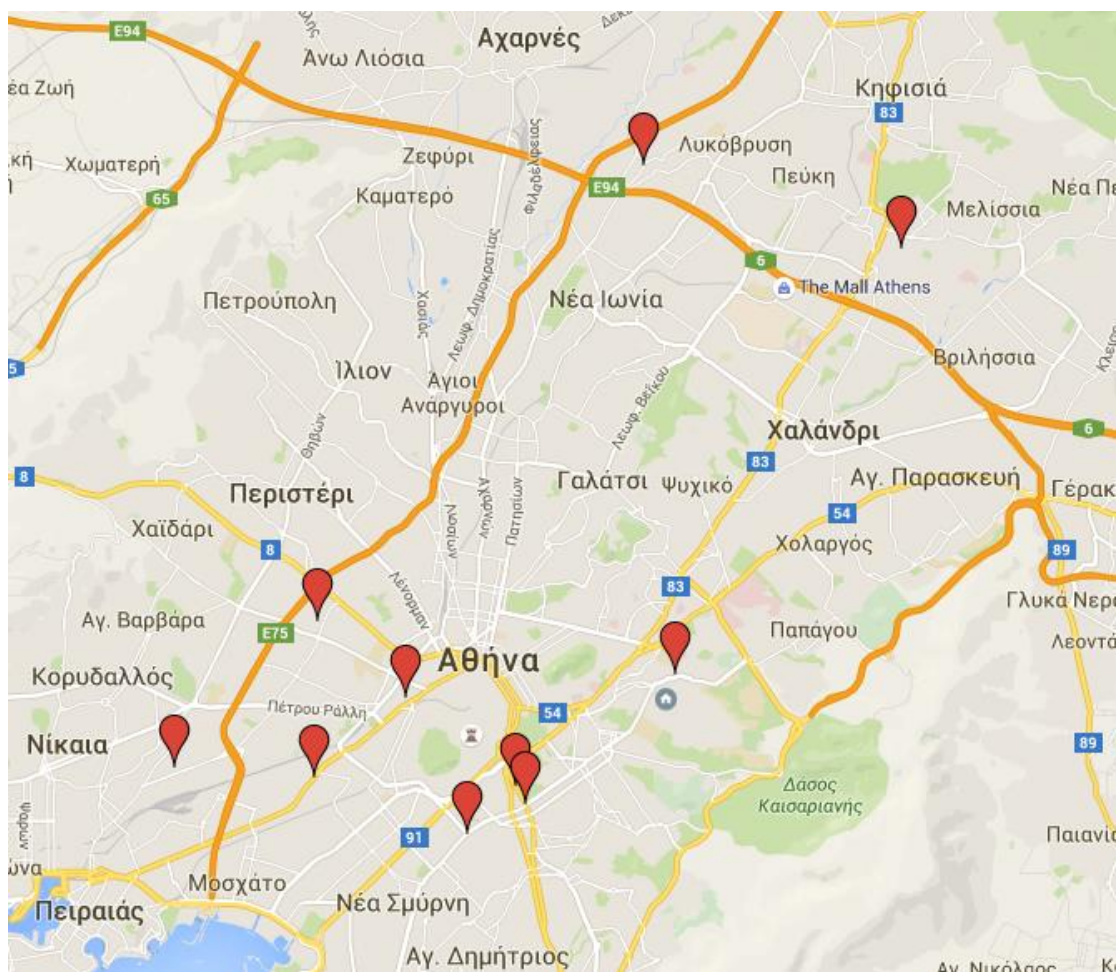
Πίνακας 27 Δεδομένα σκόνης ΕΠΑΑ

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα έγινε εκτίμηση του συντελεστή επίπτωσης λόγω σκόνης στους δέκα σταθμούς. Έτσι προέκυψε ο παρακάτω πίνακας για κάθε σταθμό, ανάλογα με την γεωγραφική του θέση.

Σταθμός	Δείκτης σκόνης
Σταθμός 1	6
Σταθμός 2	9
Σταθμός 3	4
Σταθμός 4	6
Σταθμός 5	7
Σταθμός 6	8
Σταθμός 7	6
Σταθμός 8	4
Σταθμός 9	8
Σταθμός 10	7

Πίνακας 28 επίπτωση λόγω επιπέδων σκόνης

Και ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση τους στον χάρτη της Αττικής, από όπου σύμφωνα με τις γεωγραφικές που έχει καθορίσει η επιχείρηση, εκτιμήθηκαν οι συντελεστές σκόνης.



Σχήμα 55 Χάρτης των υπό μελέτη σταθμών

#### Υπολογισμός δείκτη επικινδυνότητας RBM

Σε αυτό το σημείο και όπως ορίστηκε από το κεφάλαιο 5 υπολογίζεται ο κίνδυνος για κάθε σταθμό. Ο Δείκτης Επικινδυνότητας (RBM) υπολογίζεται ως:

$$RBM = (\text{Πιθανότητα Αστοχίας}) \times (\text{Επίπτωση Αστοχίας})$$

Τα αποτελέσματα της μελέτης δίνουν τα ακόλουθα αποτελέσματα κατά φθίνουσα σειρά:

Σταθμός	Πιθανότητα αστοχίας	Επίπτωση σκόνης	RBM
Σταθμός 4	0,450054	6	2,700324
Σταθμός 2	0,266717	9	2,400453
Σταθμός 6	0,267553	8	2,140424
Σταθμός 9	0,212642	8	1,701136
Σταθμός 10	0,189272	7	1,324904
Σταθμός 7	0,188556	6	1,131336
Σταθμός 8	0,195993	4	0,783972
Σταθμός 3	0,139252	4	0,557008
Σταθμός 5	0,07133	7	0,49931
Σταθμός 1	0,007634	6	0,045804

Πίνακας 29 Δείκτης κινδύνου κάθε σταθμού της ΕΠΑΑ

#### Αξιολόγηση κινδύνου

Ο κίνδυνος που υπολογίσθηκε αποτελεί μία ένδειξη της σημασίας που έχει η συντήρηση του εν λόγω εξαρτήματος για την λειτουργία του σταθμού. Έχει δηλαδή σημασία η σύγκριση των τιμών αυτών μεταξύ τους, και συνεπώς αυτές οι αδιάστατες τιμές μεμονωμένες δεν παρέχουν καμία πληροφορία. Τα συμπεράσματα αυτά εξάγονται από τον πίνακα που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Συγκεκριμένα αναφέρονται όλες οι τιμές που εμφανίζουν την μεγαλύτερη επικινδυνότητα για την απόδοση κάθε σταθμού. Συνεπώς θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα και εκτέλεση περισσότερων συντηρήσεων στους σταθμούς εκείνους που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα. Για την εύρεση των βέλτιστων διαστημάτων συντήρησης, θα χρησιμοποιηθεί μοντέλο ελαχιστοποίησης του κόστους συντήρησης, σύμφωνα με την θεωρία αντικατάστασης μεμονωμένων εξαρτημάτων στο επόμενο κεφάλαιο.

## 9 Εκτίμηση διαστημάτων συντήρησης

Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθείται η στρατηγική του προγραμματισμού συντήρησης, βάσει προληπτικής αντικατάστασης. Όπως έχει αναφερθεί μελετώνται τα φίλτρα των εξεταζόμενων σταθμών και η προληπτική αντικατάσταση διεξάγεται όταν η ηλικία του φίλτρου φθάσει στην τιμή τα.

Το βέλτιστο πρόγραμμα, δηλαδή ο βέλτιστος χρόνος της προληπτικής αντικαταστάσεως θα αναζητηθεί με κριτήριο το μέσο κόστος ανά μονάδα χρόνου και δεδομένα το κόστος προληπτικής αντικαταστάσεως, το κόστος αντικαταστάσεως μετά από βλάβη και την κατανομή των χρόνων εμφάνισης βλάβης.

Η βέλτιστη ηλικία αντικατάστασης του φίλτρου είναι εκείνη που ελαχιστοποιεί το μέσο κόστος ανά χρονική περίοδο. Όπως είναι γνωστό το κόστος αυτό δίνεται από την ακόλουθη σχέση όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 6.

$$Kn = \frac{C_F - (C_F - C_R)R_{n-1}}{L_n}$$

Για τη επίλυση των διαστημάτων συντήρησης των δέκα σταθμών που αναλύθηκαν στη προηγούμενη παράγραφο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι μια ανάλυση κόστους για την εύρεση του κόστους τόσο της προληπτικής, όσο και της διορθωτικής συντήρησης.

Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την εταιρεία έχουμε:

Για τις **προληπτικές συντηρήσεις** για το έτος 2014:

Αριθμός εργατών	Κόστος εργατοώρας	Συνολικές εργατοώρες προληπτικών συντηρήσεων	Ώρες στη διαδρομή	Χιλιόμετρα απόστασης	Κόστη μηχανικών	Κόστη βοηθών μηχανικών	Κόστη διοίκησης	Κόστη υλικών
1	14,97	4800,1	1370,22	14248	10223,68	15979,16	7221,62	7770,16

Επιπλέον ο συνολικός αριθμός των προληπτικών συντηρήσεων για το ίδιο έτος ήταν 2986.

Το συνολικό κόστος μιας προληπτικής συντήρησης υπολογίζεται ως:

$$C_p = T * (H_1 + H_2) * W + C_{km} * K + C_m + C_a + C_{admin} + C_{mat} \quad 9-1$$

Όπου

- T είναι ο αριθμός των εργαζομένων
- H<sub>1</sub> οι καθαρές ώρες εργασίας ανά συντήρηση
- H<sub>2</sub> οι ώρες στη διαδρομή ανά συντήρηση

- W το κόστος της μιας ώρας για τους εργάτες
- K Αριθμός χιλιομέτρων
- $C_{km}$  Κόστος ανά χιλιόμετρο
- $C_m$  το κόστος μηχανικού ανά συντήρηση
- $C_a$  το κόστος βοηθού μηχανικού ανά συντήρηση
- $C_{admin}$  το κόστος διοίκησης ανά συντήρηση
- $C_{mat}$  το κόστος υλικών ανά συντήρηση

Επομένως το μέσο κόστος μιας προληπτικής συντήρησης υπολογίζεται ως:

$$C_p = 2 * (0,81 + 0,23) * 14,97 + 0,2 * 4,77 + 3,43 + 5,35 + 2,42 + 2,61 = 45,69\text{€}$$

Για τις **διορθωτικές συντηρήσεις** υπάρχει ένα κομμάτι που είναι ίδιο με το κόστος των προληπτικών συντηρήσεων και ένα επιπλέον κομμάτι που περιλαμβάνει το κόστος των επιπλέον εργατικών και το κόστος αντικατάστασης του εξοπλισμού.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΠΑΑ, το κόστος αντικατάστασης εξοπλισμού ανέρχεται σε 35€ και απαιτείται επιπλέον μιάμιση ώρα εργατικών (συνολικά). Έτσι,

$$C_R = T * (H_1 + H_2 + H_3) * W + C_{km} * K + C_m + C_a + C_{admin} + C_{mat} + C_{rep} + C \quad 9-2$$

Όπου:

- T είναι ο αριθμός των εργατών
- $H_1$  οι καθαρές ώρες εργασίας ανά συντήρηση
- $H_2$  οι ώρες στη διαδρομή ανά συντήρηση
- $H_3$  οι ώρες αντικατάστασης του νέου εξοπλισμού
- W το κόστος της μιας ώρας για τους εργάτες
- K Αριθμός χιλιομέτρων
- $C_{km}$  Κόστος ανά χιλιόμετρο
- $C_m$  το κόστος μηχανικού ανά συντήρηση
- $C_a$  το κόστος βοηθού μηχανικού ανά συντήρηση
- $C_{admin}$  το κόστος διοίκησης ανά συντήρηση
- $C_{mat}$  το κόστος υλικών ανά συντήρηση
- $C_{rep}$  το κόστος αντικατάστασης του εξοπλισμού

Επομένως το κόστος της διορθωτικής συντήρησης ανέρχεται σε:

$$C_F = 2 * (0,81 + 0,23 + 0,75) * 14,97 + 0,2 * 4,77 + 3,43 + 5,35 + 2,42 + 2,61 + 35 = 103,15\text{€}$$

Όπως γίνεται αντιληπτό το κόστος διορθωτικής συντήρησης είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος προληπτικής συντήρησης, περίπου δυόμισι φορές μεγαλύτερο. Αυτό το γεγονός θα επηρεάσει έντονα τη διαδικασία βελτιστοποίησης των διαστημάτων συντήρησης που θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο. Γενικά, λίγες προληπτικές συντηρήσεις θα οδηγήσουν σε περισσότερες διορθωτικές με μεγαλύτερο κόστος. Αντίθετα, περισσότερες προληπτικές συντηρήσεις θα μειώσουν το κόστος διορθωτικών αλλά θα αυξήσουν το κόστος προληπτικής συντήρησης. Συνεπώς η οικονομική επίπτωση λόγω βλάβης είναι το κόστος

διορθωτικής συντήρησης, το οποίο και όπως γίνεται αντιληπτό είναι κοινό για όλους τους σταθμούς.

Όπως παρουσιάστηκε στην ανάλυση κόστους στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχουν προκύψει τα ακόλουθα κόστη αντικατάστασης λόγω βλάβης και κόστος προληπτικής αντικαταστάσεως φίλτρου:

$$C_R = 45,69 \text{ €}$$

$$C_F = 103,15 \text{ €}$$

Ακολουθήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί για τα επιμέρους στοιχεία της συνάρτησης κόστους για κάθε έναν από τους δέκα σταθμούς:

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>b</sup>	-(t/n) <sup>b</sup>	Αξιοπιστία R(t)	Ln	ρi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	2,24853845	10,5594874	-10,5595	2,59461E-05	5,25927724	0,000249196	19,60995506
11	2,061160246	8,198222321	-8,19822	0,000275142	5,259002098	0,001727757	19,5921035
10	1,873782042	6,213159599	-6,21316	0,002002899	5,256999199	0,008323235	19,50859349
9	1,686403838	4,57307733	-4,57308	0,010326134	5,246673065	0,028585311	19,23393112
8	1,499025633	3,246466851	-3,24647	0,038911445	5,20776162	0,071725909	18,5862535
7	1,311647429	2,201497508	-2,2015	0,110637354	5,097124266	0,134491314	17,47356001
6	1,124269225	1,405972033	-1,40597	0,245128668	4,851995598	0,192113426	16,0812325
5	0,936891021	0,827268247	-0,82727	0,437242094	4,414753505	0,21179866	14,91728094
4	0,749512817	0,43225977	-0,43226	0,649040753	3,765712751	0,180235437	14,73819002
3	0,562134613	0,187202019	-0,1872	0,82927619	2,936436561	0,114794325	16,65410003
2	0,374756408	0,057554418	-0,05755	0,944070515	1,992366046	0,048295531	23,1526968
1	0,187378204	0,007663241	-0,00766	0,992366046	1	0,007633954	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 30 Σταθμός 1

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>b</sup>	-(t/n) <sup>b</sup>	Αξιοπιστία R(t)	Ln	ρi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	4,258490365	5,139644194	-5,13964	0,005859774	3,201046186	0,003621566	32,05364629
11	3,903616168	4,658429622	-4,65843	0,00948134	3,191564846	0,005773366	32,04492767
10	3,548741971	4,182867262	-4,18287	0,015254706	3,17631014	0,009138581	32,03350973
9	3,193867774	3,713447345	-3,71345	0,024393286	3,151916854	0,014351394	32,01979473
8	2,838993577	3,25076182	-3,25076	0,03874468	3,113172174	0,022337147	32,00601594
7	2,48411938	2,795540888	-2,79554	0,061081827	3,052090347	0,034410457	31,99872948
6	2,129245183	2,348709832	-2,34871	0,095492284	2,956598063	0,052368692	32,01446605
5	1,774370985	1,911482798	-1,91148	0,147860976	2,808737087	0,078521323	32,09345349
4	1,419496788	1,485530118	-1,48553	0,2263823	2,582354787	0,115492313	32,33710765
3	1,064622591	1,073311238	-1,07331	0,341874613	2,240480174	0,165322193	33,03152262
2	0,709748394	0,678856174	-0,67886	0,507196806	1,733283369	0,226086563	35,20228644
1	0,354874197	0,310223064	-0,31022	0,733283369	1	0,266716631	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 31 Σταθμός 2



Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>a</sup> b	-(t/n) <sup>a</sup> b	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	6,202512017	189,9814282	-189,981	3,10538E-83	2,223200424	5,66873E-65	46,39707642
11	5,685636016	147,9330654	-147,933	5,66873E-65	2,223200424	1,42102E-49	46,39707642
10	5,168760014	112,4752967	-112,475	1,42102E-49	2,223200424	8,28973E-37	46,39707642
9	4,651884013	83,08063103	-83,0806	8,28973E-37	2,223200424	1,91993E-26	46,39707642
8	4,135008012	59,21492305	-59,2149	1,91993E-26	2,223200424	3,03437E-18	46,39707642
7	3,61813201	40,33652886	-40,3365	3,03437E-18	2,223200424	5,6734E-12	46,39707642
6	3,101256009	25,89523208	-25,8952	5,6734E-12	2,223200424	2,19731E-07	46,39707075
5	2,584380007	15,33083491	-15,3308	2,19737E-07	2,223200205	0,000312178	46,38900688
4	2,067504006	8,071231959	-8,07123	0,000312398	2,222887807	0,029003533	45,64580646
3	1,550628004	3,529624189	-3,52962	0,029315931	2,193571875	0,303508105	38,30552891
2	1,033752003	1,100141349	-1,10014	0,332824036	1,86074784	0,527923804	28,85475828
1	0,516876001	0,149953687	-0,14995	0,86074784	1	0,13925216	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 32 Σταθμός 3

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>a</sup> b	-(t/n) <sup>a</sup> b	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	8,434666479	22,43134252	-22,4313	1,81214E-10	1,807764447	2,44545E-09	57,05942499
11	7,731777606	19,75755016	-19,7576	2,62667E-09	1,807764444	3,15038E-08	57,05942407
10	7,028888733	17,19307602	-17,1931	3,41304E-08	1,807764441	3,6113E-07	57,05941367
9	6,325999859	14,74372195	-14,7437	3,9526E-07	1,807764015	3,65688E-06	57,05930991
8	5,623110986	12,41626426	-12,4163	4,05214E-06	1,807759963	3,24274E-05	57,0584071
7	4,920222113	10,21875753	-10,2188	3,64796E-05	1,807723483	0,0002491	57,05164067
6	4,21733324	8,160989372	-8,16099	0,00028558	1,807437903	0,001634864	57,00868124
5	3,514444366	6,255198971	-6,2552	0,001920444	1,80551746	0,00899807	56,78295807
4	2,811555493	4,517295414	-4,5173	0,010918514	1,794598946	0,040429048	55,83396186
3	2,10866662	2,969137824	-2,96914	0,051347562	1,743251384	0,141957422	52,7994393
2	1,405777747	1,64348611	-1,64349	0,193304984	1,5499464	0,356641416	46,16293819
1	0,702888873	0,59793446	-0,59793	0,5499464	1	0,4500536	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 33 Σταθμός 4

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>a</sup> b	-(t/n) <sup>a</sup> b	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	2,235511094	3,477959012	-3,47796	0,030870353	5,249642669	0,0169976	19,12501741
11	2,049218503	3,03930905	-3,03931	0,047867952	5,201774717	0,024785788	19,0272208
10	1,862925911	2,622050409	-2,62205	0,07265374	5,129120977	0,035184396	18,90258021
9	1,67663332	2,227123913	-2,22712	0,107838136	5,02128284	0,048518091	18,75332942
8	1,490340729	1,855618368	-1,85562	0,156356227	4,864926613	0,064815725	18,59050852
7	1,304048138	1,508814816	-1,50881	0,221171952	4,643754661	0,083581531	18,44172898
6	1,117755547	1,188252083	-1,18825	0,304753483	4,339001178	0,103515483	18,36617736
5	0,931462956	0,895829091	-0,89583	0,408268966	3,930732212	0,122209477	18,48732112
4	0,745170365	0,633975956	-0,63398	0,530478443	3,400253769	0,135852481	19,07581889
3	0,558877773	0,405968848	-0,40597	0,666330925	2,733922844	0,138921699	20,80533631
2	0,372585182	0,216599232	-0,2166	0,805252624	1,92867022	0,123417595	25,8149935
1	0,186292591	0,074001588	-0,074	0,92867022	1	0,07132978	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 34 Σταθμός 5

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>^b</sup>	-(t/n) <sup>^b</sup>	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	7,933359778	343,5733222	-343,573	6,1376E-150	1,844489053	1,7761E-117	55,92334627
11	7,272246463	268,8280532	-268,828	1,7761E-117	1,844489053	5,77442E-90	55,92334627
10	6,611133148	205,4792213	-205,479	5,77442E-90	1,844489053	4,96724E-67	55,92334627
9	5,950019833	152,6703378	-152,67	4,96724E-67	1,844489053	2,70427E-48	55,92334627
8	5,288906519	109,5292539	-109,529	2,70427E-48	1,844489053	2,26877E-33	55,92334627
7	4,627793204	75,16606842	-75,1661	2,26877E-33	1,844489053	7,28941E-22	55,92334627
6	3,966679889	48,67044999	-48,6704	7,28941E-22	1,844489053	2,28304E-13	55,92334627
5	3,305566574	29,10809867	-29,1081	2,28304E-13	1,844489053	1,82618E-07	55,92334058
4	2,644453259	15,5158673	-15,5159	1,82618E-07	1,84448887	0,001013024	55,89178813
3	1,983339944	6,894635145	-6,89464	0,001013207	1,843475664	0,110014985	52,49340797
2	1,32222663	2,197971131	-2,19797	0,111028192	1,732447472	0,62141928	35,2469955
1	0,661113315	0,311363651	-0,31136	0,732447472	1	0,267552528	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 35 Σταθμός 6

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>^b</sup>	-(t/n) <sup>^b</sup>	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	5,604857543	34,63959208	-34,6396	9,041E-16	2,396267082	2,62883E-13	43,04611984
11	5,137786081	28,963633	-28,9636	2,63787E-13	2,396267082	4,5484E-11	43,04611984
10	4,670714619	23,80787866	-23,8079	4,57477E-11	2,396267082	4,6834E-09	43,04611973
9	4,203643157	19,16952137	-19,1695	4,72915E-09	2,396267077	2,87574E-07	43,04611292
8	3,736571695	15,04547407	-15,0455	2,92303E-07	2,396266785	1,05473E-05	43,04586526
7	3,269500234	11,43230597	-11,4323	1,08396E-05	2,396255946	0,000231262	43,04051453
6	2,802428772	8,326152806	-8,32615	0,000242102	2,396013844	0,00302914	42,97222019
5	2,33535731	5,72258574	-5,72259	0,003271241	2,392742603	0,023607797	42,46404537
4	1,868285848	3,616408527	-3,61641	0,026879039	2,365863564	0,108278063	40,31672596
3	1,401214386	2,001317463	-2,00132	0,135157101	2,230706462	0,284105093	35,44132572
2	0,934142924	0,869258793	-0,86926	0,419262194	1,811444268	0,392182074	31,20405819
1	0,467071462	0,208939572	-0,20894	0,811444268	1	0,188555732	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 36 Σταθμός 7

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n) <sup>^b</sup>	-(t/n) <sup>^b</sup>	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	3,264506651	3,989890856	-3,98989	0,018501733	3,938487393	0,008717716	25,79314349
11	2,99246443	3,603823516	-3,60382	0,027219449	3,911267943	0,012589227	25,78769722
10	2,72042221	3,22367039	-3,22367	0,039808676	3,871459267	0,018040272	25,78510906
9	2,448379989	2,849920001	-2,84992	0,057848949	3,813610319	0,025630078	25,79007474
8	2,176337768	2,483159858	-2,48316	0,083479026	3,730131292	0,036060112	25,81176735
7	1,904295547	2,124111439	-2,12411	0,119539139	3,610592153	0,050167439	25,86796184
6	1,632253326	1,773684344	-1,77368	0,169706578	3,440885575	0,06886994	25,99371335
5	1,360211105	1,433065191	-1,43307	0,238576518	3,202309057	0,093007104	26,26142687
4	1,088168884	1,10387525	-1,10388	0,331583621	2,870725436	0,122950744	26,83379414
3	0,816126663	0,788481757	-0,78848	0,454534365	2,416191071	0,157650021	28,13266134
2	0,544084442	0,490721757	-0,49072	0,612184387	1,804006684	0,191822298	31,5696036
1	0,272042221	0,218147696	-0,21815	0,804006684	1	0,195993316	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 37 Σταθμός 8

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n)^b	-(t/n)^b	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	3,20256205	3,528624938	-3,52862	0,02934524	4,045140578	0,010962439	24,92717344
11	2,935681879	3,211213279	-3,21121	0,040307679	4,004832899	0,014925062	24,96391966
10	2,668801708	2,896199374	-2,8962	0,055232741	3,949600158	0,020253657	25,01836836
9	2,401921537	2,583802807	-2,5838	0,075486397	3,874113761	0,027383525	25,09970029
8	2,135041366	2,274289981	-2,27429	0,102869922	3,771243838	0,03686735	25,22263221
7	1,868161196	1,967991245	-1,96799	0,139737272	3,631506566	0,049391399	25,41167553
6	1,601281025	1,665327696	-1,66533	0,189128671	3,442377895	0,06577854	25,70985358
5	1,334400854	1,366855677	-1,36686	0,254907211	3,187470684	0,086955263	26,1983844
4	1,067520683	1,073346746	-1,07335	0,341862474	2,84560821	0,113824951	27,04736383
3	0,800640512	0,785948176	-0,78595	0,455687425	2,389920785	0,146875057	28,67323479
2	0,533760342	0,506563915	-0,50656	0,602562482	1,787358303	0,184795821	32,39887146
1	0,266880171	0,239071857	-0,23907	0,787358303	1	0,212641697	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 38 Σταθμός 9

Ηλικία αντικατάστασης (n)	t/n	(t/n)^b	-(t/n)^b	Αξιοπιστία R(t)	Ln	pi	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
12	3,417051085	4,606617407	-4,60662	0,009985538	3,760019838	0,00602754	27,18865669
11	3,132296828	4,134349472	-4,13435	0,016013079	3,744006759	0,0094019	27,1606495
10	2,847542571	3,672416562	-3,67242	0,025414979	3,71859178	0,014476444	27,12258963
9	2,562788314	3,221593948	-3,22159	0,039891423	3,678700357	0,021973182	27,07349068
8	2,278034057	2,782807083	-2,78281	0,061864604	3,616835753	0,03282197	27,01513591
7	1,9932798	2,357183057	-2,35718	0,094686575	3,522149179	0,048139223	26,95605009
6	1,708525542	1,946129593	-1,94613	0,142825797	3,379323381	0,069111789	26,92020148
5	1,423771285	1,551463453	-1,55146	0,211937586	3,167385795	0,096685184	26,96751869
4	1,139017028	1,175635556	-1,17564	0,30862277	2,858763025	0,130854397	27,24872305
3	0,854262771	0,822169514	-0,82217	0,439477168	2,419285858	0,169080506	28,18281101
2	0,569508514	0,496663592	-0,49666	0,608557673	1,810728184	0,202170511	31,23912192
1	0,284754257	0,209822442	-0,20982	0,810728184	1	0,189271816	45,69
0	0	0	0	1	1		

Πίνακας 39 Σταθμός 10

Σύμφωνα με την θεωρία του κεφαλαίου 6 για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τιμής του n, δηλαδή της ηλικίας του εξαρτήματος προς αντικατάσταση, δίνονται διάφορες τιμές σε αυτό και υπολογίζεται εκείνη για την οποία το κόστος γίνεται ελάχιστο. Έπειτα λοιπόν από την ανάλυση αυτή στο excel προέκυψαν τα ακόλουθα διαστήματα συντήρησης για όλους τους σταθμούς. Τα αποτελέσματα της ηλικίας προληπτικής συντήρησης μαζί με το κόστος συντήρησης ανά μήνα, συνολικά φαίνονται ακολούθως:

Σταθμός	Ηλικία Προληπτικών συντηρήσεων(Mi)	Κόστος ανά μονάδα χρόνου (€)
Σταθμός 1	4	14,74
Σταθμός 2	7	32,00
Σταθμός 3	2	28,85
Σταθμός 4	1	45,69
Σταθμός 5	6	18,37
Σταθμός 6	2	35,25
Σταθμός 7	2	31,20
Σταθμός 8	10	25,79
Σταθμός 9	>12	24,90
Σταθμός 10	6	26,92

Πίνακας 40 Ηλικία προληπτικής συντήρησης σταθμών ΕΠΑΑ

Συνεπώς με αυτή τη στρατηγική συντήρησης, πραγματοποιείται προγραμματισμένη προληπτική αντικατάσταση, κάθε φορά που το φίλτρο φτάσει σε ηλικία Mi, καθώς και αντικατάσταση μετά από κάθε βλάβη. Δηλαδή κατά την μέθοδο αυτή, το εξάρτημα αντικαθίσταται υποχρεωτικά μετά από βλάβη, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα αντικατάστασης πριν συμβεί αυτή, δηλαδή προληπτικά.

## 10 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική στόχος είναι ο καθορισμός ενός προγραμματισμένου πλάνου συντήρησης, το οποίο βασίζεται τόσο στην μελέτη κινδύνου, όσο και στην μείωση του συνολικού κόστους συντήρησης. Ύστερα από την μελέτη των προβλημάτων της βιβλιογραφίας, αποφασίστηκε πρώτον να καθορισθεί η σημαντικότητα των σταθμών που μελετήθηκαν βάσει κινδύνου και έπειτα να προγραμματισθεί ετήσιο πλάνο συντήρησης βάσει της θεωρίας αξιοπιστίας για αντικατάσταση εξαρτημάτων.

Για το σκοπό αυτό έγινε μία μελέτη περίπτωσης δέκα σταθμών. Στη μελέτη αυτή εξετάζονται τα φίλτρα των σταθμών και σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία των βλαβών διεξάγονται συμπεράσματα για την πιθανότητα αστοχίας τους. Έπειτα από ποιοτικούς παράγοντες καθορίζονται οι επιπτώσεις των ενδεχόμενων βλαβών και τελικά προκύπτει μια ενδεικτική αδιάστατη τιμή κινδύνου, η οποία έχει σημασία μόνο κάτω από τα πλαίσια της ανάλυσης βάσει ρίσκου. Η τιμή αυτή δίνει χρήσιμες πληροφορίες καθώς συμβάλλει στην:

- Αύξηση της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού
- Βελτίωση της λειτουργίας των σταθμών και την αδιάλειπτη παροχή με φυσικό αέριο των πελατών
- Μείωση του κόστους συντήρησης του εξοπλισμού

Παράλληλα με την μελέτη του κινδύνου έγινε και έρευνα προληπτικής συντήρησης, για τον τελικό καθορισμό των βέλτιστων διαστημάτων συντήρησης των σταθμών. Σημειώνεται επίσης πως η μελέτη αυτή έχει άμεση εφαρμογή σε όλη την έκταση του δικτύου της επιχείρησης.

### 10.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων

Σταθμός	Ηλικία Προληπτικών συντηρήσεων(Mi)	Σημαντικότητα σταθμών (RBM)
Σταθμός 4	1	2,700324
Σταθμός 2	7	2,400453
Σταθμός 6	2	2,140424
Σταθμός 9	>12	1,701136
Σταθμός 10	6	1,324904
Σταθμός 7	2	1,131336
Σταθμός 8	10	0,783972
Σταθμός 3	2	0,557008
Σταθμός 5	6	0,49931
Σταθμός 1	4	0,045804

Πίνακας 41 Αποτελέσματα των δύο μεθόδων

Κατά την μελέτη του προβλήματος συντήρησης σύμφωνα με τη μέθοδο εκτίμησης βάσει επικινδυνότητας, χρησιμοποιήθηκαν ποιοτικοί παράγοντες συντελώντας στην εξαγωγή ενός αδιάστατου δείκτη κινδύνου. Ο δείκτης αυτός δεν έχει φυσική σημασία έξω από τα όρια της μελέτης, αλλά αποτελεί εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων όσον αφορά στην κρισιμότητα των σταθμών που μελετώνται και στην προτεραιότητα συντήρησης τους. Κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί πως επειδή στον υπολογισμό του δείκτη RBM χρησιμοποιούνται ποιοτικές τιμές, η ακρίβεια του αποτελέσματος είναι άρρηκτα συνιφασμένη με την εμπειρία του ειδικού που μελετά το πρόβλημα.

Σύμφωνα με την προσέγγιση συντήρησης βάσει αντικατάστασης εξαρτημάτων, έγινε χρήση καθαρά οικονομικών στοιχείων, συνεπώς τα αποτελέσματα αφορούν στην μείωση του κόστους συντήρησης. Όπως είναι λογικό τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων δεν μπορούν να συμφωνούν άμεσα, καθώς επηρεάζονται από διαφορετικούς παράγοντες. Ωστόσο ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων αυτών δίνει βασικές πληροφορίες για τη στρατηγική συντήρησης που θα πρέπει να ακολουθηθεί. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα σε σταθμούς αυξημένης κρισιμότητας, όπως για παράδειγμα ο Σταθμός 4 που παρουσιάζει υψηλή κρισιμότητα σύμφωνα με την RBM αλλά και παρουσιάζει πιο συχνές αστοχίες. Ενώ ο Σταθμός 5 που παρουσιάζει σχετικά χαμηλή κρισιμότητα, εξαιτίας του χαμηλού του κόστους θα πρέπει να ελέγχεται πιο αραιά.

Το πρόβλημα που επιλύθηκε μπορεί να βελτιωθεί με περαιτέρω έρευνα και περισσότερα δεδομένα. Συγκεκριμένα η μελέτη μπορεί να επεκταθεί και σε άλλα εξαρτήματα του εξοπλισμού, ωστόσο αυτό απαιτεί λεπτομερή παρακολούθηση και καταγραφή όλων των βλαβών και ανάλογη κωδικοποίηση και κατηγοριοποίησή τους. Έτσι με χρήση δένδρων σφαλμάτων μπορεί να καθορισθεί ο τελικός κίνδυνος τόσο κάθε σταθμού όσο και ολόκληρου του συστήματος. Επίσης τα διαστήματα συντήρησης μπορούν να προσδιοριστούν σε περιβάλλον προγραμματισμού με κατάλληλη μοντελοποίηση των παραμέτρων του προβλήματος και αριθμού συντηρήσεων.

Τέλος κρίνεται σκόπιμη η χρήση νέων μεθόδων συλλογής δεδομένων που θα τροφοδοτούν το πρόβλημα με περισσότερα στοιχεία, ώστε τα αποτελέσματα να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης πως στην αγορά διατίθενται προγράμματα για την υποβοήθηση της εφαρμογής της RBM και γι'αυτό θα ήταν καλό να μελετηθεί η περίπτωση αγοράς κάποιου εξ αυτών.

## Βιβλιογραφία

- Arunraj, N. and J. Maiti (2007). "Risk-based maintenance—Techniques and applications." Journal of Hazardous Materials **142**(3): 653-661.
- Arunraj, N. and J. Maiti (2010). "Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming." Safety science **48**(2): 238-247.
- Aven, T. (2008). "A semi-quantitative approach to risk analysis, as an alternative to QRAs." Reliability Engineering & System Safety **93**(6): 790-797.
- Barringer, H. P. (1996). An overview of reliability engineering principles, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY (United States).
- Bass, T. and R. Robichaux (2001). Defense-in-depth revisited: qualitative risk analysis methodology for complex network-centric operations. Military Communications Conference, 2001. MILCOM 2001. Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force. IEEE, IEEE.
- Bertolini, M., M. Bevilacqua, F. Ciarapica and G. Giacchetta (2009). "Development of risk-based inspection and maintenance procedures for an oil refinery." Journal of Loss Prevention in the Process Industries **22**(2): 244-253.
- Brownlee, K. A. and K. A. Brownlee (1965). Statistical theory and methodology in science and engineering, Wiley New York.
- Carlson, C. S. "Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA)." Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis: 285-296.
- Carter, D., I. Hirst, T. Maddison and S. Porter (2003). "Appropriate risk assessment methods for major accident establishments." Process Safety and Environmental Protection **81**(1): 12-18.
- Chen, D. and K. S. Trivedi (2005). "Optimization for condition-based maintenance with semi-Markov decision process." Reliability Engineering & System Safety **90**(1): 25-29.
- Cohen, A. C. (1965). "Maximum likelihood estimation in the Weibull distribution based on complete and on censored samples." Technometrics **7**(4): 579-588.
- Dey, P. K., S. O. Ogunlana and S. Naksuksakul (2004). "Risk-based maintenance model for offshore oil and gas pipelines: a case study." Journal of Quality in Maintenance Engineering **10**(3): 169-183.
- Dos Santos, A. and A. A. Al Hajri (2000). Risk Based Inspection-A Valuable Approach. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Society of Petroleum Engineers.
- Ericson, C. A. and C. Li (1999). Fault tree analysis. System Safety Conference, Orlando, Florida.
- Fay, M. P. and E. J. Feuer (1997). "Confidence intervals for directly standardized rates: a method based on the gamma distribution." Statistics in medicine **16**(7): 791-801.
- Heerings, J. and A. den Herder (2004). "Consequence of failure for RBMI: 29th MPA Seminar, Stuttgart, October 9 and 10, 2003." International journal of pressure vessels and piping **81**(10): 787-796.
- Hofmann, M. (2011). "A review of decision support models for offshore wind farms with an emphasis on operation and maintenance strategies." Wind Engineering **35**(1): 1-16.
- Hong, E.-S., I.-M. Lee, H.-S. Shin, S.-W. Nam and J.-S. Kong (2009). "Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: application to the design of shield TBM." Tunnelling and Underground Space Technology **24**(3): 269-277.
- Ireland, F. and B. G. Dale (2001). "A study of total productive maintenance implementation." Journal of Quality in Maintenance Engineering **7**(3): 183-192.
- Jalali Motahari, M. S. (2011). "Risk based inspection: developing empirical formula to calculate inspection coverage."
- Jardine, A. K., D. Lin and D. Banjevic (2006). "A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance." Mechanical systems and signal processing **20**(7): 1483-1510.
- Jiang, Y., J. D. McCalley and T. Van Voorhis (2006). "Risk-based resource optimization for transmission system maintenance." Power Systems, IEEE Transactions on **21**(3): 1191-1200.
- Johnson, D. (1997). "The triangular distribution as a proxy for the beta distribution in risk analysis." Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician) **46**(3): 387-398.
- Jovanovic, A. (2003). "Risk-based inspection and maintenance in power and process plants in Europe." Nuclear Engineering and Design **226**(2): 165-182.

Kallen, M.-J. (2002). "Risk based inspection in the process and refining industry." Master's thesis, Faculty of Information Technology and Science, Technical University of Delft, Delft, The Netherlands.

Kaplan, S. and B. J. Garrick (1981). "On the quantitative definition of risk." Risk analysis **1**(1): 11-27.

Kenne, J., E. Boukas and A. Gharbi (2003). "Control of production and corrective maintenance rates in a multiple-machine, multiple-product manufacturing system." Mathematical and Computer Modelling **38**(3): 351-365.

Kennedy, R. and B. Kirwan (1998). "Development of a hazard and operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems." Safety Science **30**(3): 249-274.

Khan, F., R. Sadiq and M. Haddara (2004). "Risk-based inspection and maintenance (RBIM): multi-attribute decision-making with aggregative risk analysis." Process safety and environmental protection **82**(6): 398-411.

Khan, F. I. and S. Abbasi (2001). "An assessment of the likelihood of occurrence, and the damage potential of domino effect (chain of accidents) in a typical cluster of industries." Journal of Loss Prevention in the Process Industries **14**(4): 283-306.

Khan, F. I. and M. Haddara (2004). "Risk-based maintenance (RBM): A new approach for process plant inspection and maintenance." Process Safety Progress **23**(4): 252-265.

Khan, F. I., M. Haddara and L. Krishnasamy (2008). "A new methodology for risk-based availability analysis." Reliability, IEEE Transactions on **57**(1): 103-112.

Khan, F. I. and M. M. Haddara (2003). "Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning." Journal of Loss Prevention in the Process Industries **16**(6): 561-573.

Krishnasamy, L., F. Khan and M. Haddara (2005). "Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant." Journal of Loss Prevention in the Process Industries **18**(2): 69-81.

Lee, W.-S., D. L. Grosh, F. A. Tillman and C. H. Lie (1985). "Fault Tree Analysis, Methods, and Applications: A Review." Reliability, IEEE Transactions on **34**(3): 194-203.

Malik, M. A. K. (1979). "Reliable preventive maintenance scheduling." AIEE transactions **11**(3): 221-228.

Martens, B. and F. Teuteberg (2012). "Decision-making in cloud computing environments: A cost and risk based approach." Information Systems Frontiers **14**(4): 871-893.

Mirghani, M. A. (2001). "A framework for costing planned maintenance." Journal of Quality in Maintenance Engineering **7**(3): 170-182.

Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance, Butterworth-Heinemann.

Montague, D. F. (1990). "Process risk evaluation—What method to use?" Reliability Engineering & System Safety **29**(1): 27-53.

Nachlas, J. A. (2005). Reliability engineering: probabilistic models and maintenance methods, CRC Press.

Nakajima, S. (1986). "TPM-CHALLENGE TO THE IMPROVEMENT OF PRODUCTIVITY BY SMALL-GROUP ACTIVITIES." Maintenance Management International **6**(2): 73-83.

Nakajima, S. (1988). "Introduction to TPM: Total Productive Maintenance.(Translation)." Productivity Press, Inc., 1988: 129.

Peterson, R. and R. Jablonski (2003). Risk Based Inspection-as part of an overall inspection management program. CORROSION 2003, NACE International.

Pouliezos, A. and G. S. Stavrakakis (2013). Real time fault monitoring of industrial processes, Springer Science & Business Media.

Rausand, M. and J. Vatn (2008). Reliability centred maintenance. Complex system maintenance handbook, Springer: 79-108.

Reynolds, J. T. (1996). The application of risk-based inspection methodology in the petroleum and petrochemical industry, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY (United States).

Rogers, R. (2000). "The RASE Project risk assessment of unit operations and equipment." Journal of Loss Prevention in the process industries: 50.

Selvik, J. T. and T. Aven (2011). "A framework for reliability and risk centered maintenance." Reliability Engineering & System Safety **96**(2): 324-331.

Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution, ASQ Quality Press.



Tammer, M. and M. L. Kaminski (2013). Fatigue oriented risk based inspection and structural health monitoring of FPSOs. The Twenty-third International Offshore and Polar Engineering Conference, International Society of Offshore and Polar Engineers.

Tan, Z., J. Li, Z. Wu, J. Zheng and W. He (2011). "An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection." Safety science **49**(6): 852-860.

Tian, Z., T. Jin, B. Wu and F. Ding (2011). "Condition based maintenance optimization for wind power generation systems under continuous monitoring." Renewable Energy **36**(5): 1502-1509.

Tixier, J., G. Dusserre, O. Salvi and D. Gaston (2002). "Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants." Journal of Loss Prevention in the process industries **15**(4): 291-303.

Tumer, I. Y. and R. B. Stone (2003). "Mapping function to failure mode during component development." Research in Engineering Design **14**(1): 25-33.

Vo, T. V. and K. R. Balkey (1995). Risk-Based Inspection and Maintenance. Probabilistic Structural Mechanics Handbook, Springer: 388-415.

Volkanovski, A., M. Čepin and B. Mavko (2009). "Application of the fault tree analysis for assessment of power system reliability." Reliability Engineering & System Safety **94**(6): 1116-1127.