



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας
Υγιεινής & Ασφάλειας στη Μεταλλευτική

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΤΟΥ ΚΟΝΤΑΡΑΚΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ Ε.Μ.Π.**

ΧΑΝΙΑ 2017

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΙΧΑΗΛ ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΒΑΜΒΟΥΚΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

Copyright © Κονταράκης Κωνσταντίνος, 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για άλλους σκοπούς, θα πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον» της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, Καθηγητή Μιχαήλ Γαλετάκη, ο οποίος με πνεύμα αγάπης και συνεργασίας μου ανέθεσε και επέβλεψε την παρούσα διατριβή, για την πολύτιμη συνεισφορά του στην εκπόνηση της, με τις προτάσεις και τα εύστοχα σχόλια του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την Καθηγήτρια Δέσποινα Βάμβουκα και τον Καθηγητή Γεώργιο Σταυρακάκη για το χρόνο που αφιέρωσαν για τη μελέτη και την παρουσίαση της εργασίας μου.

Επιπλέον, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στον Οργανισμό Ανάπτυξης Κρήτης ΑΕ και ιδιαιτέρως στους κυρίους Παναγιώτη Πιπερίδη, Γιώργο Δραμηλαράκη, Αντρέα Ιγγλεζάκη, Μάρκο Πατρελάκη, Ευάγγελο Μαμαγκάκη και Λευτέρη Κοπάση, τόσο για την παροχή χρήσιμων στοιχείων όσο και για τη συνεργασία τους.

Τέλος, τη διατριβή αυτή θα ήθελα να την αφιερώσω στην οικογένεια μου, καθώς χωρίς τη στήριξη της, δεν θα τα είχα καταφέρει.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λειτουργία των αντλιοστασίων ύδρευσης, άρδευσης και λυμάτων, είναι στενά συνδεδεμένη με την εργασιακή ασφάλεια, καθώς πρόκειται ουσιαστικά για χώρους βιομηχανικής χρήσης, τους οποίους οι εργαζόμενοι επισκέπτονται συχνά, τόσο κατά τη λειτουργία τους, όσο και κατά την εμφάνιση βλαβών, με στόχο την αποκατάσταση τους.

Τα αντλιοστάσια χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους ηλεκτρική ενέργεια για τα φορτία ισχύος και κίνησης των ηλεκτρικών κινητήρων, του φωτισμού και του λοιπού εξοπλισμού των χώρων. Επίσης, για τα συμπληρωματικά δίκτυα ασθενών ρευμάτων, τα οποία συντελούν στην ορθή λειτουργία των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων.

Στα πλαίσια αυτά, έγινε εκτενής βιβλιογραφική έρευνα για την εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια και για τη λειτουργική τους ασφάλεια, με αποτέλεσμα τα δύο αυτά μείζονα θέματα να εξεταστούν ταυτόχρονα. Κατ' αυτήν την έννοια, η εργασία επικεντρώνεται κυρίως στα ήδη λειτουργούντα αντλιοστάσια. Υπάρχει πρόβλεψη ο σχεδιασμός και οι προτάσεις που παρουσιάζονται να εφαρμοστούν σε νέα σχεδιαζόμενα, ή στα τελούντα υπό σχεδιασμό αντλιοστάσια. Τέλος, υπάρχει πλήθος παραγόντων που επηρεάζουν την εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια και οι οποίοι αναλύονται στη διατριβή.

Στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζονται ορισμοί και έννοιες σχετικά με τη λειτουργική ασφάλεια των αντλιοστασίων και την εξοικονόμηση της ενέργειας και γίνεται ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Γίνεται σύντομη κριτική θεώρηση των αποτελεσμάτων - συμπερασμάτων που έχουν προκύψει και παρουσίαση-σύγκριση της βασική ιδέας της προτεινόμενης από την εργασία αυτή μεθοδολογίας με τις έως τώρα υπάρχουσες. Στη συνέχεια αναπτύσσεται το θεωρητικό τμήμα της εργασίας, όπου παρουσιάζεται η φιλοσοφία της εξοικονόμησης ενέργειας στα αντλιοστάσια, γίνεται ανάλυση του θεωρητικού μέρους που αφορά στο πεδίο της λειτουργικής ασφάλειας, επιλέγονται, αναλύονται και προτείνονται, οι συνηθέστεροι μέθοδοι εκτίμησης των αστοχιών και κατά επέκταση των κινδύνων για τους αντίστοιχους χώρους. Επιπλέον, παρουσιάζονται περιπτώσεις λειτουργίας σε πραγματικά λειτουργούντα αντλιοστάσια και αποσαφηνίζονται λεπτομέρειες που σχετίζονται με τις παραμέτρους που οφείλουμε να λαμβάνουμε υπόψη, σε σχέση με το βέλτιστο σχεδιασμό και τη λειτουργία του αντλιοστασίου.

Στο 2^ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εφαρμογή του θεωρητικού μέρους της λειτουργικής ασφάλειας, σε ένα τυπικό παράδειγμα αντλιοστασίου, προκειμένου να εξαχθούν ουσιαστικά και συγκεκριμένα πραγματικά αποτελέσματα. Κατά την ανάλυση του συγκεκριμένου κεφαλαίου μέσω της εκτενούς βιβλιογραφικής έρευνας έγινε μια

αρχική εκτίμηση για το αντλιοστάσιο του Βλητέ, με στόχο να προταθούν μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής εξοικονόμησης και της λειτουργικής ασφάλειας.

Η ανάλυση ολοκληρώνεται στο 3^ο κεφάλαιο με την παρουσίαση των προτάσεων και των συμπερασμάτων της διατριβής. Τέλος η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση της σχετικής βιβλιογραφίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αντλιοστάσια, αντλία, αντλητικά συστήματα, λειτουργία, λειτουργική ασφάλεια, αξιοπιστία, αστοχία, σφάλμα, ανάλυση, ενεργειακή εξοικονόμηση, ενεργειακή αποδοτικότητα, νερό, λύματα, κίνδυνος, εργατικό ατύχημα, εκτίμηση επικινδυνότητας.

ABSTRACT

The operation of water pumping, irrigation and sewage stations is closely linked to staff health and safety. These stations are mainly industrial places, where staff often works during normal operation and maintenance, or after a breakdown or an accident has occurred.

Pumping stations operate using electricity to power loads and electric motors, lighting, and other equipment. Also, pumping stations demand power supply for additional low voltage networks, which contribute to the proper functioning of the installations.

In this context, extensive bibliographic research has been carried out in order to present in what ways and how, simultaneously, energy saving and operational safety affects pumping stations functionality. In this sense, this thesis focuses, mainly, on existing operating pumping stations. There is provision that the design and the proposals presented, are applicable to both new planned pump stations and to those which are under design and construction. Finally, there is a multitude of factors affecting energy savings in pumping stations, which are duly presented.

In the first chapter of the thesis certain definitions, concepts and general considerations on the operational safety of the pumping stations and energy saving are presented. Also, a relative literature review of studies and past findings is conducted. Furthermore, a brief review of the results and conclusions that have emerged, are presented and compared to the basic idea of the methodology that is proposed, related to the studies materialized so far. In this section, the theoretical part of the thesis which concerns the concept of energy savings in pumping stations and the functional safety field is duly presented. Furthermore, the most common methods of failure assessment and extension of risks for the respective areas of pump stations are selected, analyzed and proposed. Finally, operating cases in real pumping stations are presented. Also, details related to the parameters to be taken into consideration are clarified, in relation to the optimal design and operation of a pumping station. In the second chapter, the application of the theoretical part of the operational safety is presented, in a typical example of a pumping station, in order to get substantially, specific results. The thesis concludes with the presentation of proposals in the third chapter followed by the bibliography.

KEYWORDS: pumping stations, pump, pumping systems, operation, operational safety, reliability, failure, error analysis, energy saving, energy efficiency, water, waste, hazard, accident, risk assessment.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	12
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο.	
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΩΝ ΝΕΡΟΥ & ΛΥΜΑΤΩΝ.....	16
1. Εισαγωγή.....	17
1.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας στην εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια νερού και λυμάτων.....	22
1.2.1 Σύστημα τροφοδοσίας και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στα Αντλιοστάσια.....	23
1.2.2 Ο ρόλος της μέτρησης/καταγραφής στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	28
1.2.2.1 Η καταγραφή/μέτρηση για την παρακολούθηση και τη λειτουργική απόδοση.....	28
1.2.2.2 Σημασία της καταγραφής/μέτρησης της ενέργειας.....	29
1.2.2.3 Καταγραφικές/μετρητικές προσεγγίσεις.....	30
1.2.2.4 Στοιχεία συστήματος καταγραφής/μέτρησης.....	30
1.2.2.5 Τα οικονομικά της καταγραφής/μέτρησης.....	30
1.2.3 Εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων	32
1.2.4 Ηλεκτρικοί κινητήρες.....	35
1.2.4.1 Κινητήρες αντλίας.....	35
1.2.4.2 Κριτήρια σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικών κινητήρων.....	39
1.2.4.3 Ταχύτητα κινητήρα.....	39
1.2.4.4 Ονομαστική απόδοση	39
1.2.4.5 Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	40
1.2.4.6 Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	40
1.2.5 Διαγνωστικός εξοπλισμός	40
1.2.5.1 Ηλεκτρικοί Καταγραφείς δεδομένων.....	40
1.2.5.2 Στροβοσκοπικός Μετρητής.....	41
1.2.6 Ο ρόλος της συντήρησης στη λειτουργική ασφάλεια των αντλιοστασίων και στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	41
1.2.7 Εργασίες συντήρησης και επαγγελματικοί κίνδυνοι σε εγκαταστάσεις	

ύδρευσης-άρδευσης και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.	45
1.2.8 Αποτελεσματικό πρόγραμμα συντήρησης, δομή, οργάνωση και εργαλεία.....	47
1.2.9 Εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια μέσω των αντλιών/αντλητικών συστημάτων και των υποσυστημάτων τους.....	51
1.2.9.1 Ευέλικτα φορτία σε συστήματα της Δημοτικής Επιχείρη- σης Ύδρευσης.....	51
1.2.9.2 Παράμετροι βελτιστοποίησης εγκατεστημένων αντλιών.....	60
1.2.9.3 Στραγγαλισμός.....	60
1.2.9.4 By-pass.....	61
1.2.9.5 Μείωση διαμέτρου πτερωτής.....	62
1.2.9.6 Οι νόμοι αναλογίας.....	63
1.2.10 Σημείο λειτουργίας συμπεριλαμβανομένου της μέγιστης- ελάχιστης ζήτησης	63
1.2.11 Μεταβολή στροφών αντλίας	71
1.2.11.1 Soft starter.....	71
1.2.11.2 VFD - μονάδα μετάδοσης μεταβλητής συχνότητας.....	73
1.2.11.3 Οφέλη από τη χρήση ενός VFD.....	75
1.2.12 Αντλητικά συγκροτήματα και VFD.....	77
1.2.12.1 Ειδική ενέργεια.....	83
1.2.13 Διακύμανση παροχής και ενεργειακοί υπολογισμοί.....	87
1.2.14 Κεφαλαιοποιώντας ενεργειακά κόστη.....	88
1.2.15 Άλλες θεωρήσεις	92
1.2.15.1 Έλεγχος συστήματος	92
1.2.15.2 Όγκος Υδροθαλάμου Αντλιοστασίου.....	94
1.2.15.3 Καθίζηση και απόφραξη.....	94
1.2.15.4 Σύστημα Ψύξης.....	95
1.2.15.5 Διάρκεια Ζωής.....	95
1.2.15.6 Προ-στροβιλισμοί και στροβιλισμοί στην εισαγωγή της αντλίας.....	96
1.2.15.7 Εισαγωγή αέρα.....	96
1.2.15.8 Έλεγχος (κυρίως για τα αντλιοστάσια όμβριων νερών, ή την είσοδο σε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων ή την υδρομάστευση νερού από επιφανειακά ύδατα)	97
1.2.16 Έλεγχος Αντλιών.....	98
1.2.17 Έλεγχος του πραγματικού σημείου λειτουργίας μιας αντλίας.....	99
1.2.18 Επίδραση της αποδοτικότητας της αντλίας στη συντήρηση.....	100
1.2.19 Σχεδιασμός αντλητικών συστημάτων.....	100

1.2.20 Προτεινόμενη μεθοδολογία για την ενεργειακή αξιοποίηση.....	102
1.3. Ασφάλεια συστήματος.....	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο	
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΟΑΚ ΑΕ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	
ΒΛΗΤΕ ΣΟΥΔΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ.....	121
2.1 Εισαγωγή.....	122
2.2 Προωθητικό αντλιοστάσιο Βλητέ.....	123
2.3 Αξιολόγηση της λειτουργικής ασφάλειας αντλιοστασίου Βλητέ.....	130
2.4 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης για το αντλιοστάσιο	
Βλητέ.....	143
2.4.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σε σχέση με την λειτουργική	
ασφάλεια.....	143
2.4.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σε σχέση με την	
ενεργειακή εξοικονόμηση.....	144
2.4.2.1 Ο ρόλος της ενεργειακής ομάδας.....	144
2.4.2.2 Ο ρόλος των δεικτών ενεργειακής απόδοσης.....	147
2.4.2.3 Ο ρόλος του μοντέλου ενεργειακής απόδοσης και διαχείρισης.....	149
2.4.2.4 Εναλλακτικές στρατηγικές ενεργειακής διαχείρισης.....	151
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο	
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	161
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	165
Ελληνική βιβλιογραφία.....	165
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	166
Πηγές internet.....	168

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 : Διάγραμμα υπερθέρμανσης κινητήρων λόγω ανισορροπίας της τάσης.....	24
Σχήμα 1.2 : Διάγραμμα μείωσης της απόδοσης του κινητήρα λόγω ανισορροπίας της τάσης	25
Σχήμα 1.3 : Διαγράμματα Αρμονικών σε κινητήρα	27
Σχήμα 1.4 : Διάγραμμα ροής των σταδίων σχεδιασμού της καταγραφής/μέτρησης σε ένα αντλιοστάσιο.....	32
Σχήμα 1.5 : Οριακό Κόστος διατήρησης της ενέργειας σε € / kWh.....	50
Σχήμα 1.6 : Τυπική ενεργειακή χρήση σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας.....	51
Σχήμα 1.7: Οι απώλειες ισχύος από την παραγωγή μέχρι την τελική χρήση.....	52
Σχήμα 1.8: Μεγάλη ακτινική εγκατάσταση διπλής ροής σε αντλιοστάσιο όμβριων νερών.....	54
Σχήμα 1.9: Τυπικές διαμορφώσεις φυγοκεντρικής πτερωτής.....	54
Σχήμα 1.10: Τυπική υποβρύχια εγκατάσταση αντλιών μεταφοράς (Το επάνω κάλυμμα έχει αφαιρεθεί).....	53
Σχήμα 1.11: Χαρακτηριστική αντλητικού συστήματος, ανοιχτά κυκλώματα.....	55
Σχήμα 1.12 : Καμπύλες συστήματος για περίπτωση μόνο με δυναμικές απώλειες και μία περίπτωση μόνο με στατικό μανομετρικό και χωρίς απώλειες (ανύψωση).....	57
Σχήμα 1.13 : Καμπύλες απόδοσης και ισχύος για μια αντλία που ελέγχεται η συχνότητα της στα συστήματα απωλειών και ανύψωσης του σχήματος 12.	58
Σχήμα 1.14 : Χαρακτηριστική αντλητικού συστήματος για κλειστό κύκλωμα.....	59
Σχήμα 1.15 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλεί στραγγαλιστική Διάταξη.....	61
Σχήμα 1.16 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλεί διάταξη by-pass.....	62
Σχήμα 1.17 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλεί μείωση της διαμέτρου της πτερωτής.....	62
Σχήμα 1.18 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλείται από τους νόμους της αναλογίας.....	63
Σχήμα 1.19: Thames Water 'Κύκλος ζωής Μοντέλων Κόστους.....	66
Σχήμα 1.20: Παράδειγμα καμπύλης απόδοσης αντλίας σε σχέση με την ειδική ταχύτητα.....	68
Σχήμα 1.21: Διατομές τύπων πτερωτής αντλίας.....	68
Σχήμα 1.22: Σχεδιασμός γραμμών σταθερής απόδοσης μιας αντλίας.....	70
Σχήμα 1.23: Παραδείγματα soft starter στερεάς κατάστασης.....	72
Σχήμα 1.24: soft starter στερεάς κατάστασης, κύριο διάγραμμα κυκλώματος.....	72

Σχήμα 1.25: Παραδείγματα τυπικών μονάδων VFD.....	74
Σχήμα 1.26: VFD, κύριο διάγραμμα κυκλώματος.....	74
Σχήμα 1.27: Παλμός με διαμορφωμένη κυματομορφή.....	75
Σχήμα 1.28: Αποδοτικότητα λειτουργίας VFD.....	79
Σχήμα 1.29: Καμπύλες αποδόσεων αντλιών σε διαφορετικούς συνδυασμούς λειτουργίας.....	82
Σχήμα 1.30 : Αλλαγή του σημείου λειτουργίας για VFD-ελεγχόμενη αντλία Και σταθερής ταχύτητας αντλίες καθώς η παροχή μειώνεται.....	82
Σχήμα 1.31: Η ειδική ενέργεια ως μια λειτουργία της παροχής για μια αντλία που ελέγχεται η συχνότητα της στις απώλειες και στην ανύψωση φορτίου.....	84
Σχήμα 1.32: Η ειδική ενέργεια με και χωρίς VFD σε τρία συστήματα.....	85
Σχήμα 1.33: Σύγκριση της συνδυασμένης συνολικής απόδοσης και της ειδικής ενέργειας για ένα VFD-ελεγχόμενο σύστημα, συγκριτικά με ένα τυπικό σύστημα (on-off)	86
Σχήμα 1.34: Διάγραμμα διάρκειας και Ιστόγραμμα για τις δύο (παραπάνω) περιπτώσεις μεταβλητής παροχής.....	87
Σχήμα: 1.35 Απλοποίηση του αρχικού διαγράμματος διάρκειας, κατασκευασμένο από στοιχεία μετρήσεων.....	89
Σχήμα 1.36: Ισοδύναμο ιστόγραμμα στο απλοποιημένο διάγραμμα διάρκειας του σχήματος 34 σε σύγκριση με μια αντλία που λειτουργεί με on-off έλεγχο απεικονίζεται στο σχήμα 37.....	89
Σχήμα 1.37: Ειδική ενέργεια για δύο ιδανικά συστήματα: ένα με έλεγχο VFD και ένα με απλό έλεγχο (on-off)	90
Σχήμα 1.38 : Σύγκριση καμπυλών αρχικής και τρέχουσας λειτουργίας αντλίας (Courtesy Fayetteville Public Works Commission, Fayetteville, North Carolina)	98
Σχήμα 1.39 : Σύγκριση του αρχικού σημείου λειτουργίας σε σχέση με το πραγματικό σημείο λειτουργίας	99
Σχήμα 1.40 :Σύγκριση της καμπύλης ενός συστήματος με μεγάλες απώλειες τριβής και ενός συστήματος με ευθεία καμπύλη μανομετρικού.....	102
Σχήμα 1.41 : Προσέγγιση για την αξιολόγηση ενός υπάρχοντος Αντλιοστασίου.....	102
Σχήμα 1.42 : Προσέγγιση βελτιστοποίησης υφιστάμενου Αντλιοστασίου	104
Σχήμα 1.43: Σχεδιαστική προσέγγιση για την ενεργειακή απόδοση για ένα νέο αντλιοστάσιο.....	105
Σχήμα 2.1: Δορυφορική φωτογραφία περιοχής αντλιοστασίου Βλητέ, σε σχέση με την περιοχή του Ακρωτηρίου που τροφοδοτεί.....	123

Σχήμα 2.2: Διάγραμμα προωθητικού κατακόρυφου αντλητικού συγκροτήματος της εταιρείας TORRENT TAMESIS PUMP τύπου 12KHN/15 τύπου Πομόνας, παροχής 350m ³ /h κινητήρα 250kW, 1450 rpm.....	124
Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα προωθητικού οριζόντιου αντλητικού συγκροτήματος τύπου MS 125/3 1450 rpm της εταιρείας Δράκος Πολέμης, με ηλεκτρικό κινητήρα 125Hp, και ο οποίος περιστρέφεται με 1450rpm.....	125
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα booster παροχής 300m ³ /h της εταιρείας ANAVALOS PUMPS τύπου 10MD/4 2900rpm με κινητήρα Franklin 250Hp.....	126
Σχήμα 2.5: Διάγραμμα booster της εταιρείας TORRENT E. KAZΗΣ τύπου 10KMM/4 2900rpm με κινητήρα ATURIA 260Hp.....	127
Σχήμα 2.6: Αποτύπωση συστήματος παρακολούθησης SCADA του ΟΑΚ ΑΕ για την περιοχή από φράγμα Βαλσαμιώτη έως και Δεξαμενή Γάλλου (Ρέθυμνο)...	129
Σχήμα 2.7: Ημιποσοτική ανάλυση της επικινδυνότητας-πιθανότητας σε σχέση με τη συνέπεια.....	134
Σχήμα 2.8: Δέντρο γεγονότων για την απώλεια ηλεκτρικής ισχύος του Αντλιοστασίου Βλητέ.....	139
Σχήμα 2.9: Δέντρο γεγονότων για την απώλεια ηλεκτρικής ισχύος του Αντλιοστασίου Βλητέ, χωρίς συναγερμό.....	139
Σχήμα 2.10: Μηχανολογικά σχέδια αντλιοστασίου Βλητέ.....	142

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 : Επίδραση στις ηλεκτρικές απώλειες των κινητήρων και στη μείωση της διάρκειας ζωής τους , εξαιτίας της ανισορροπίας της τάσης και της αύξησης της θερμοκρασίας.....	26
Πίνακας 1.2: Τύποι αντλιών/Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	56
Πίνακας 1.3. Πίνακας ελέγχου δράσεων βέλτιστης διαχείρισης που οδηγούν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια.....	106
Πίνακας 1.4 κλίμακα βαθμολόγησης της σοβαρότητας της συνέπειας (severity).....	114
Πίνακας 1.5 κλίμακα βαθμολόγησης της πιθανότητας εμφάνισης (occurrence) μιας αστοχίας	115
Πίνακας 1.6 κλίμακα βαθμολόγησης της πιθανότητας ανίχνευσης(detection) μιας αστοχίας.....	116
Πίνακας 1.7: Σύμβολα περιγραφής γεγονότων στο δένδρο αστοχιών.....	118
Πίνακας 1.8 : Πίνακας πυλών διασύνδεσης γεγονότων στο δένδρο αστοχιών.....	118
Πίνακας 1.9 : Τιμές δείκτη FAR σε διάφορες – έτος αναφοράς 2001	120
Πίνακας 2.1 : Παραδείγματα επιπέδων επικινδυνότητας.....	134

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΕΛ	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
MEN	Μονάδα Επεξεργασίας Νερού
ΟΑΔΥΚ	Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης
ΟΑΚ	Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης
AFD	Adjustable Frequency Drive
Cpk	Process Capability Index
DOE	Department of Energy
EMP	Energy Management Plant
HAZIDs	Hazard Identification Studies
HAZOP	Hazard And Operability Study
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
KPI	Key Performance Index
kW	Κιλοβάτ (μονάδα ισχύος)
kWh	Κιλοβατώρες (μονάδα ενέργειας)
LSL	Lower Specification Limit
NPSH	Net Positive Suction Head
O& M	Operational and Maintenance
PF	Power Factor
PI	Program Increment

PLC	Program Logical Controller
PPI	Process Performance Index
PWM	Pulse Width Manipulation
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SFF	Safe Failure Fraction
SIL	Safety Integrity Level
SI	Διεθνές Σύστημα Μονάδων
USL	Upper Specification Limit
VFD	Variable Frequency Drive

Κατά την ανάπτυξη της διατριβής, έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI). Σε κάποιες περιπτώσεις αναφέρονται παραδείγματα τα οποία εμπεριέχουν μονάδες και από το Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων.

Επιπλέον, αναφέρεται ότι στις αριθμητικές τιμές χρησιμοποιείται συστηματικά αντί της υποδιαστολής, το σύμβολο της τελείας, ενώ οι αριθμοί οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι των τριψηφίων νούμερων δεν φέρουν τελεία ή κόμμα διαχωρισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΩΝ ΝΕΡΟΥ & ΛΥΜΑΤΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Στην εποχή μας, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις γίνονται ολοένα και πιο σύνθετες, με νέα χαρακτηριστικά, όπως τα συστήματα υποστήριξης των χειριστών των εγκαταστάσεων και άλλες ηλεκτρονικές λειτουργίες. Έτσι πλέον, καθίσταται αναγκαίο να εντοπισθούν οι πιθανοί κίνδυνοι αστοχιών σε επίπεδο προγραμματισμού και υλικοτεχνικών υποδομών, καθώς οι συνέπειες τους συχνά αποβαίνουν καταστροφικές. Η ανάγκη λοιπόν, για την εξασφάλιση της λειτουργικής ασφάλειας των μηχανολογικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων στις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις, θεωρείται κρίσιμη. Όταν αυτό επιτυγχάνεται και μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας, τότε δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες λειτουργίας.

Όπως είναι γνωστό από την βιβλιογραφία, **κίνδυνος** είναι κάθε κατάσταση που υπάρχει ή είναι δυνατόν να υπάρξει και η οποία είτε μόνη της είτε με τη συμβολή άλλων παραγόντων μπορεί να προκαλέσει γεγονότα όπως θάνατοι, τραυματισμοί, βλάβες στην υγεία, ζημιές σε κτίρια, μηχανήματα, εξοπλισμό ή άλλες απώλειες.

Αντίστοιχα, ως **εργατικό ατύχημα**, χαρακτηρίζεται κάθε βίαιο, ξαφνικό και απρόβλεπτο γεγονός που συμβαίνει στον εργαζόμενο κατά την διάρκεια, ή με αφορμή την εργασία του. Ενώ, μετά από αποφάσεις δικαστηρίων, θεωρούνται εργατικά ατυχήματα και τα τροχαία που συμβαίνουν σε ένα εργαζόμενο την ώρα της εργασίας ή όταν φεύγει από αυτή, οποιοδήποτε μεταφορικό μέσο και αν χρησιμοποιεί. Τα εργατικά ατυχήματα, συνήθως, οφείλονται σε πολλές και διαφορετικές αιτίες. Είναι χρήσιμο να ερευνούμε τα αίτια ενός ατυχήματος με τη μεγαλύτερη δυνατή αντικειμενικότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο στόχος μας είναι να βρούμε τα πραγματικά αίτια των ατυχημάτων, ώστε να αποκλείσουμε την περίπτωση να ξανασυμβεί στο μέλλον ατύχημα από τις ίδιες αιτίες. Συχνά, το αποτέλεσμα ενός εργατικού ατυχήματος, μπορεί να είναι η ελαφρά σωματική βλάβη. Για την ίδια αιτία όμως, σε μια άλλη περίπτωση τα αποτελέσματα μπορεί να είναι πολύ σοβαρότερα.

Οι αιτίες που συμβάλλουν στο να προκληθούν εργατικά ατυχήματα, μπορούν να ομαδοποιηθούν στον ανθρώπινο παράγοντα, στον εξοπλισμό, το είδος της εργασίας και στις συνθήκες που επικρατούν στο εργασιακό περιβάλλον [Μακρής, 2003].

Από τις μέχρι σήμερα έρευνες, τα ατυχήματα σχετίζονται στενά με τη συχνότητα επίσκεψης και τους χρόνους παραμονής των εργαζόμενων για λόγους λειτουργίας, ή συντήρησης στους αντίστοιχους χώρους. Η παρούσα διατριβή, ασχολείται κυρίως με χώρους αντλιοστασίων που ήδη λειτουργούν, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να βρει εφαρμογές και σε χώρους στους οποίους δεν πραγματοποιούνται λειτουργικές δράσεις. Κατά τις λειτουργικές δράσεις στους χώρους εργασίας παίζει

κυρίαρχο ρόλο η λειτουργική ασφάλεια, καθώς σχετίζεται με την ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία του συνολικού συστήματος του αντλιοστασίου, αλλά και γενικότερα με την υγιεινή και ασφάλεια των εργαζόμενων στους αντίστοιχους χώρους.

Με τον όρο **λειτουργική ασφάλεια**, εννοούμε το μέρος της συνολικής ασφάλειας ενός συστήματος, ή τμήμα του εξοπλισμού το οποίο εξαρτάται από το σύστημα ή τον εξοπλισμό, τα οποία λειτουργούν σωστά στην απόκριση των εισαγόμενων δεδομένων. Στα παραπάνω, συμπεριλαμβάνονται η ασφαλής διαχείριση των πιθανών σφαλμάτων των χειριστών του συστήματος, οι αστοχίες των υλικών και των περιβαλλοντικών αλλαγών. Ο στόχος της λειτουργικής ασφάλειας, είναι η ελευθερία από μη αποδεκτό κίνδυνο τραυματισμού, ή βλάβης για την υγεία των ανθρώπων, είτε άμεσα, είτε έμμεσα (πχ μέσω ζημιάς σε περιουσία ή το περιβάλλον). Η λειτουργική ασφάλεια συνδέεται εγγενώς στο σύνολο της με τη διαχείριση της λειτουργίας ενός στοιχείου, ή μέσω ενός υποσυστήματος ως μέρος της λειτουργίας του συνολικού συστήματος. Ενώ λοιπόν, τα λειτουργικά πρότυπα ασφάλειας επικεντρώνονται στα ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά και προγραμματιζόμενα συστήματα (E / E / PS), το συνολικό πεδίο εφαρμογής σημαίνει ότι στην πράξη οι μέθοδοι λειτουργικής ασφάλειας πρέπει να επεκταθούν στα μη-E / E / PS μέρη του συστήματος, τα οποία τα αντίστοιχα E / E / PS μέρη του συστήματος ενεργοποιούν, ελέγχουν, ή παρακολουθούν [IEC, 2016].

Στις μέρες μας, οι παραγωγικές και λειτουργικές δράσεις εμπεριέχουν το στοιχείο της αειφορίας, δηλαδή της χρήσης των φυσικών οικοσυστημάτων και των πηγών ενέργειας, ώστε να εξασφαλίζεται η μελλοντική ποιότητα και ισορροπία της ζωής. Φυσικά, η έννοια της αειφορίας είναι στενά συνδεδεμένη με την ενέργεια και συνεπώς με την εξοικονόμηση της. Ο όρος **εξοικονόμηση ενέργειας** αναφέρεται στην προσπάθεια βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των παραγωγικών μέσων και γενικότερα, στην εξεύρεση τρόπων μείωσης της ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε επίπεδο. Όμως, έμμεσα, η εξοικονόμηση της ενέργειας πραγματοποιείται και από την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των διάφορων συστημάτων, ή υποσυστημάτων. Από τις αναλύσεις που δημοσιεύονται τα τελευταία χρόνια, γνωρίζουμε ότι εξελίσσονται διαρκώς συζητήσεις και δράσεις σχετικά με την εξοικονόμηση της ενέργειας. Αυτό συμβαίνει, λόγω των προβλημάτων που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης και της σπατάλης της ενέργειας. Συνεπώς, είναι θεμελιώδες όταν στοχεύουμε στην αειφόρα ανάπτυξη, να επιδιώκεται η εξοικονόμηση της ενέργειας.

Οι μονάδες επεξεργασίας νερού (MEN), οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (EEΛ) και τα δίκτυα διανομής, σε παγκόσμιο επίπεδο, ως βιομηχανικές

εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας. Συγκεκριμένα στις μέρες μας, στις αντίστοιχες εγκαταστάσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιείται περίπου 2%- 4% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενεργειακή χρήση στις αντίστοιχες εγκαταστάσεις αναμένεται να αυξηθεί, καθώς οι πληθυσμοί αυξάνουν. Αναπόφευκτα, οι βιομηχανίες νερού και επεξεργασίας λυμάτων επηρεάζονται, κυρίως, από τη δημόσια και την περιβαλλοντική υγεία. Τα συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης σε μεγάλο βαθμό μέχρι σήμερα, έχουν αποσυνδεθεί από τις προσπάθειες των ηλεκτρικών επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, επειδή η βασική αποστολή τους είναι να παρέχουν καθαρό νερό και αποτελεσματική επεξεργασία λυμάτων. Έτσι, το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την παροχή καθαρού νερού απασχολεί λιγότερο σε σχέση με την εξασφάλιση ότι το καθαρό νερό πληροί όλες τις απαιτήσεις για την υγεία.

Ωστόσο, η ενεργειακή απόδοση και η εξοικονόμηση έχει παρεισφρήσει αργά τα τελευταία χρόνια στη βιομηχανία νερού και λυμάτων, καθώς το οικονομικό όφελος έχει γίνει πιο εμφανές, όμως εξακολουθεί να υπάρχει περαιτέρω δυνατότητα για σημαντική βελτίωση. Σταδιακά, η νοοτροπία της εξοικονόμησης ενέργειας αλλάζει και οι βιομηχανίες/υπηρεσίες νερού και λυμάτων συμπεριλαμβάνουν την ενεργειακή εξοικονόμηση στο σχεδιασμό τους, όμως, δεν θα έκαναν οτιδήποτε που θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο τον πρωταρχικό τους στόχο, δηλαδή την παροχή καθαρού νερού και επεξεργασμένων λυμάτων [Bethany and Hunsberger, 2015].

Οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας ύδρευσης και επεξεργασίας λυμάτων, οι οποίες στη χώρα μας έχουν το χαρακτήρα δημόσιου οργανισμού, πληρώνουν για την ηλεκτρική ενέργεια τους, σύμφωνα με τη χρέωση που εφαρμόζεται από τη Δ.Ε.Η., καθώς μέχρι σήμερα οι ανταγωνιστικές ιδιωτικές ηλεκτρικές εταιρείες δεν έχουν κατορθώσει να δεισδύσουν στη συγκεκριμένη αγορά. Διαφοροποιήσεις ως προς την τιμολόγηση δεν υπάρχουν για τις συγκεκριμένες επιχειρήσεις, πέραν της βιομηχανικής τιμολόγησης που παρέχεται. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπως συμβαίνει σε παραγωγούς αγροτικών εκμεταλλεύσεων, ή σε αγροτικούς Δήμους κλπ, παρέχεται από τη Δ.Ε.Η. η δυνατότητα τιμολόγησης αρδευτικής χρήσεως, η οποία είναι ευνοϊκότερη ως προς την τιμολόγηση σε σχέση με το οικιακό τιμολόγιο χρέωσης.

Τα αντλιοστάσια, τα οποία εξετάζονται στη συγκεκριμένη εργασία, είναι κτιριακοί χώροι εντός των οποίων είναι εγκατεστημένο μόνιμα κάποιο αντλητικό συγκρότημα, ή ένα σύνολο από αντλητικά συγκροτήματα. Ο λόγος ύπαρξης του αντλιοστασίου είναι, συνήθως, με τη χρήση των αντλιών να μεταφέρονται ποσότητες νερού σε υψηλότερης στάθμης σημεία (δεξαμενές, αγωγοί) και στη συνέχεια με φυσική ροή λόγω των υπαρκτών κλίσεων να διαμοιράζεται το νερό στα σημεία υποδοχής (κτίρια, δεξαμενές, υδροληψίες, κλπ). Ανάλογα με το μέγεθος και τη δυναμικότητα του

αντλιοστασίου, προκειμένου να καλύπτεται το ηλεκτρικό φορτίο ισχύος, συχνά, επιβάλλεται η τοποθέτηση ηλεκτρικών μετασχηματιστών. Σε πολύ μεγάλα φορτία, απαιτείται η εγκατάσταση ηλεκτρικών υποσταθμών, αποκλειστικής χρήσης για το αντίστοιχο αντλιοστάσιο.

Οι αυξημένες ενεργειακές καταναλώσεις που μπορούν να προκύψουν σε ένα λειτουργικό αντλιοστάσιο περιλαμβάνουν τροποποιήσεις στη δομή του κτιρίου, σωληνώσεις και αλλαγές στα σχετιζόμενα στοιχεία, αναβαθμίσεις συστημάτων ελέγχου και μετακίνηση προσωπικού από και προς τα αντλιοστάσια [Environmental Agency, 2012].

Στα πλαίσια αυτά, οι δημόσιοι οργανισμοί διαχείρισης υδατικών αποθεμάτων και επεξεργασίας λυμάτων οφείλουν να στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και στον ορθότερο σχεδιασμό και τη διαχείριση του συνόλου των εγκαταστάσεων τους. Οι οργανισμοί διαχείρισης υδατικών αποθεμάτων και λυμάτων στην Ελλάδα, ως επί το πλείστον διαχειρίζονται συστήματα νερού (ύδρευσης, άρδευσης) και συστήματα αποχέτευσης (συλλογή, διαχείριση και επεξεργασία όμβριων υδάτων και λυμάτων). Η λειτουργία των αντίστοιχων αντλιοστασίων ύδρευσης, άρδευσης και λυμάτων, είναι στενά συνδεδεμένη με την εργασιακή και τη λειτουργική ασφάλεια, καθώς πρόκειται ουσιαστικά για χώρους βιομηχανικής χρήσης, τους οποίους οι εργαζόμενοι επισκέπτονται συχνά, τόσο κατά τη λειτουργία τους, όσο και κατά την αποκατάσταση των εμφανιζόμενων βλαβών. Γενικότερα, οι συνθήκες εργασίας στα αντλιοστάσια, τα οποία αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα βιομηχανικής εγκατάστασης, εμφανίζονται αναμφισβήτητα βελτιωμένες σε σχέση με παλαιότερα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των εργατικών ατυχημάτων. Η βελτίωση αυτή οφείλεται σε ένα συνδυασμό παραγόντων, μερικοί από τους οποίους είναι, οι υπηρεσίες υγιεινής και ασφάλειας, οι νέες νομοθεσίες και οι νέες εργασιακές σχέσεις, οι επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων που μελετούν το εργασιακό περιβάλλον, αλλά και οι ίδιοι οι εργαζόμενοι οι οποίοι καταλαβαίνουν ότι περνούν το ένα τρίτο της ζωής τους στους χώρους εργασίας και άρα οφείλουν να μεριμνούν για αυτούς.

Υπό αυτή τη λογική, οι εργαζόμενοι έχουν την υποχρέωση, όχι μόνο να τηρούν τους νόμους και τους κανόνες ασφαλείας, αλλά και να υποδεικνύουν πιθανά επικίνδυνα σημεία που υπάρχουν στη θέση εργασίας του, έτσι ώστε να λαμβάνονται από την εκάστοτε επιχείρηση τα κατάλληλα μέτρα για τη προστασία τους. Η μη έγκαιρη αντιμετώπιση των κινδύνων, που μπορεί να οδηγήσει σε εργατικά ατυχήματα, έχει πολύ υψηλό κόστος τόσο για τους εργαζομένους και τις οικογένειές τους, όσο και για την επιχείρηση. Στους εργαζομένους και στις οικογένειές τους προκαλεί ταλαιπωρία και πόνο, αναστάτωση και άγχος, απώλεια χρημάτων και στέρηση οικογενειακών δραστηριοτήτων και κοινωνικής ζωής. Για την επιχείρηση, αντίστοιχα συνεπάγεται

άμεση μείωση της παραγωγής και διακοπή της εργασίας (εργαζομένων και εξοπλισμού), ανάγκη επανάληψης της εργασίας, ζημιές μηχανημάτων και λοιπού εξοπλισμού, χαμηλό ηθικό των εργαζομένων, απώλεια εξειδικευμένου προσωπικού, απουσίες, αποζημιώσεις, μετακίνηση των εργαζομένων σε νέες θέσεις εργασίας και εκπαίδευσή τους σε νέα καθήκοντα ή πρόσληψη και εκπαίδευση νέου εργαζομένου και τέλος, δυσφήμιση της επιχείρησης. Ενώ, είναι γενικά αποδεκτό ότι, τα εργατικά ατυχήματα που συμβαίνουν σε μια επιχείρηση δεν είναι μόνο ένα βαρύ ανθρώπινο τίμημα, αλλά είναι συγχρόνως και ένα σημαντικό μήνυμα ότι υπάρχουν στρεβλώσεις και αστοχίες στην παραγωγική διαδικασία και στη λειτουργία της επιχείρησης [Μακρής, 2003] .

Συνοψίζουμε λοιπόν, ότι τα αντλιοστάσια προκειμένου να λειτουργούν, χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για τα φορτία ισχύος και κίνησης των ηλεκτρικών κινητήρων, του φωτισμού των χώρων, αλλά και για τα υποστηρικτικά δίκτυα των ασθενών ρευμάτων, τα οποία συντελούν στην ορθή λειτουργία των αντίστοιχων εγκαταστάσεων. Η εργασία επικεντρώνεται κυρίως στα υφιστάμενα και ήδη λειτουργούντα αντλιοστάσια, ενώ κάλλιστα οι ιδιαιτερότητες, η ανάλυση της λειτουργικότητας, ο σχεδιασμός, οι προτάσεις που παρουσιάζονται και τα συμπεράσματα που προκύπτουν, θα μπορούσαν να αφορούν και σε νέα σχεδιαζόμενα αντλιοστάσια, ή σε τελούντα υπό σχεδιασμό. Επίσης, επειδή τα αντλιοστάσια είναι βιομηχανικοί χώροι, στους οποίους οι αντλίες αποτελούν υποσυστήματα του συνολικού συστήματος του αντλιοστασίου, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι, ένα μεγάλο μέρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αλλά και των συμπερασμάτων και των προτάσεων της εργασίας, βρίσκουν εφαρμογές και σε άλλους τύπους βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Παράλληλα, αυτό που προαναφέρεται για το πεδίο της ενέργειας ισχύει και για τη λειτουργική ασφάλεια, καθώς το πεδίο της ασφάλειας απαντάται στο σύνολο των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, οι οποίες συνήθως είναι εγκαταστάσεις με αυξημένη επικινδυνότητα.

Κατά αυτήν την έννοια, ταυτόχρονα με την ενεργειακή εξοικονόμηση, προκειμένου να ελαχιστοποιούμε τους κινδύνους ατυχήματος, θα πρέπει να επικεντρωνόμαστε στο σωστό σχεδιασμό και υλοποίηση των εγκαταστάσεων, στην ορθή λειτουργία και συντήρηση των αντλιοστασίων και του συνόλου του εξοπλισμού, με απώτερο σκοπό την απρόσκοπτη, οικονομική λειτουργία και την αποσόβηση των κινδύνων πρόκλησης εργατικού ατυχήματος.

1.2 Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας στην εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια νερού και λυμάτων

Είναι γεγονός ότι, τόσο η διεθνής, όσο και η Ελληνική επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιούν διαρκώς μελέτες που σχετίζονται με την εξοικονόμηση της ενέργειας. Ο λόγος για την έκρηξη των ερευνών στο συγκεκριμένο πεδίο, οφείλεται στο σύνολο των ενεργειακών προβλημάτων που απορρέουν από την αλόγιστη χρήση της ενέργειας παγκοσμίως. Έτσι σήμερα, περισσότερο από ποτέ, η ανάγκη για εναλλακτικούς πόρους αποκτάει διαρκώς μεγαλύτερη βαρύτητα, καθώς η σημερινή διαχείριση της ενέργειας, σε παγκόσμιο επίπεδο δεν είναι βιώσιμη. Τα ορυκτά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, οι γαιάνθρακες και το φυσικό αέριο, δεν είναι ανανεώσιμα, αλλά αντιθέτως αναλώσιμα. Έτσι, αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν. Ταυτόχρονα, η παραγωγή ενέργειας, τουλάχιστον με τα σημερινά δεδομένα, συνεπάγεται έκλυση «αερίων θερμοκηπίου» (στη συντριπτική πλειοψηφία διοξείδιο του άνθρακα CO₂ το οποίο θεωρείται και το σημαντικότερο, αλλά και οξείδια του αζώτου, μεθάνιο κ.ά.). Η αντιμετώπιση του δυσμενούς αυτού φαινομένου, προϋποθέτει τη μείωση της έκλυσης αερίων του θερμοκηπίου [Τράπεζα της Ελλάδας, 2008].

Ωστόσο, μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει δεσμευτική νομοθεσία της ΕΕ σχετικά με τον τρόπο υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα ενός δημόσιου οργανισμού, όπως είναι συνήθως οι υπηρεσίες ύδρευσης και λυμάτων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σε σύσταση της που εγκρίθηκε στις 9 Απριλίου 2013, ενθαρρύνει τη χρήση της μεθόδου του περιβαλλοντικού αποτυπώματος οργανισμού για τη μέτρηση και τη γνωστοποίηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων κατά τον κύκλο ζωής των δημόσιων οργανισμών. Οι χρήστες της μεθόδου του περιβαλλοντικού αποτυπώματος οργανισμού πρέπει να τηρούν τις αρχές της συνάφειας, της πληρότητας, της συνοχής, της ακρίβειας και της διαφάνειας [Schroenberger, 2013] .

Εν τω μεταξύ, στην πάροδο του χρόνου, η κατανάλωση της ενέργειας αυξάνεται εκρηκτικά λόγω του καταναλωτικού μοντέλου που ακολουθούν οι ανεπτυγμένες χώρες. Σύμφωνα με κάποιες προβλέψεις, οι οποίες υποδεικνύουν ότι εφόσον οι ισχύουσες ενεργειακές πολιτικές συνεχιστούν, ο σημερινός μέσος παγκόσμιος ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας (της τάξης των 13 TW) προβλέπεται να φθάσει τα 25-30 TW το 2050 και τα 40-50 TW το 2100. Λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα των καυσίμων στο μέλλον, έχει εκτιμηθεί ότι θα υπάρχει ενεργειακό έλλειμμα 14 TW το 2050 (μεγαλύτερο του σημερινού συνολικού ρυθμού παραγωγής) και 33 TW το 2100 [IEA, 2006] .

Οι προβλέψεις αυτές είναι ενδεικτικές του μεγέθους του ενεργειακού προβλήματος και σηματοδοτούν την ανάγκη αλλαγής του σημερινού μοντέλου ζωής και ειδικότερα του ενεργειακού τοπίου, καθώς υπάρχουν διάφορες εκτιμήσεις που τοποθετούν την «πετρελαϊκή αιχμή» σε ένα χρονικό ορίζοντα μεταξύ των επόμενων 10 έως και 30 ετών. Ενώ, βάσει άλλων συλλογισμών, εκτιμάται ότι ήδη διανύουμε την περίοδο της μέγιστης δυνατής παραγωγής [Κουτσογιάννης Δ., 2007].

Στα πλαίσια αυτά, οι δημόσιοι οργανισμοί διαχείρισης υδατικών αποθεμάτων και επεξεργασίας λυμάτων καλούνται να στοχεύσουν στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα κατά τα επόμενα χρόνια με τη βοήθεια της εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και του ορθότερου σχεδιασμού και της κατάλληλης διαχείρισης του συνόλου των εγκαταστάσεων τους.

1.2.1 Σύστημα τροφοδοσίας και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στα Αντλιοστάσια

Οι χρήσεις της ισχύος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού / υγρών αποβλήτων επηρεάζουν το σύνολο του συστήματος της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και του συστήματος παραγωγής. Οι αυξήσεις στα ποσοστά της ισχύος εξαρτώνται άμεσα από την αύξηση της ζήτησης και την αιχμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην πάροδο του χρόνου. Ένα στοιχείο, που συνήθως αμελείται κατά τις διάφορες θεωρήσεις, είναι το γεγονός ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τα συστήματα διανομής είναι μη αποδοτικά. Για κάθε 9,5 μονάδες υδραυλικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για μία αντλία νερού, απαιτούνται 100 μονάδες της ενέργειας που παράγεται στην εγκατάσταση ισχύος [Reinbold and Hart, 2010].

Τα αντλιοστάσια προκειμένου να λειτουργούν χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για τα φορτία ισχύος και κίνησης των ηλεκτρικών κινητήρων, του φωτισμού των χώρων, αλλά και για τα συμπληρωματικά δίκτυα ασθενών ρευμάτων, τα οποία συντελούν στην ορθή λειτουργία των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων.

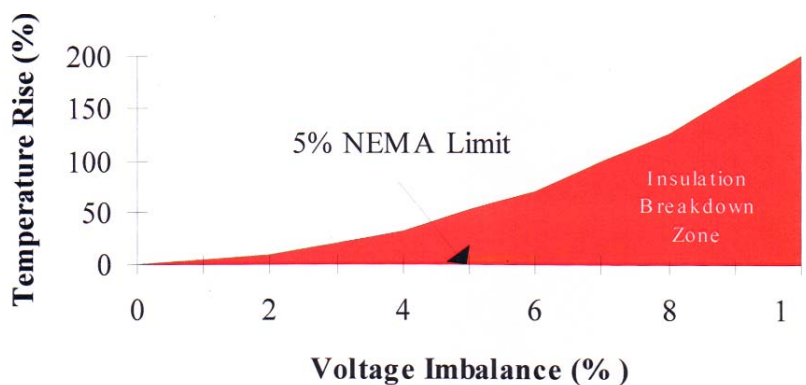
Από τη θεωρία του ηλεκτρισμού, αλλά και των ηλεκτρικών κινητήρων καθώς και των εφαρμογών των σύγχρονων ηλεκτρονικών σε υφιστάμενες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, γνωρίζουμε ότι προκύπτουν προβλήματα από τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρισμού που παρέχεται από τους πάροχους ηλεκτρικού ρεύματος (Δ.Ε.Η.). Συχνά, τα συγκεκριμένα προβλήματα απαντώνται στις περιοχές που αναπτύσσονται και λειτουργούν τα αντλιοστάσια, καθώς συνήθως πρόκειται για εγκαταστάσεις απομακρυσμένες από το ανεπτυγμένο ηλεκτρικό δίκτυο.

Καταρχάς, υπάρχουν προβλήματα υπέρτασης και γενικότερα ανισορροπίας της τάσης. Τα προβλήματα ανισορροπίας της τάσης, προκαλούν αρνητικά αποτελέσματα, όπως:

- Υπερθέρμανση των ηλεκτροκινητήρων με αποτέλεσμα την ανάπτυξη βλαβών στη μόνωση τους.
- Ανισορροπία τριφασικού ηλεκτρικού φορτίου
- Φθορά στα ρουλεμάν των ηλεκτροκινητήρων
- Μειωμένη ποιότητα παραγωγής
- Μειωμένη απόδοση ηλεκτροκινητήρων
- Χαμένη ηλεκτρική ενέργεια που οδηγεί σε υψηλότερους ηλεκτρικούς λογαριασμούς
- Χαμένες επενδύσεις και λειτουργικά κεφάλαια
- Χρήση μεγάλου μεγέθους μηχανημάτων
- Δυσκολότερη ικανοποιητική προστασία από υπερφόρτιση ηλεκτρικής εγκατάστασης
- Αύξηση θορύβου και δόνησης μηχανημάτων
- Αύξηση κόστους συντήρησης και φθοράς μηχανημάτων

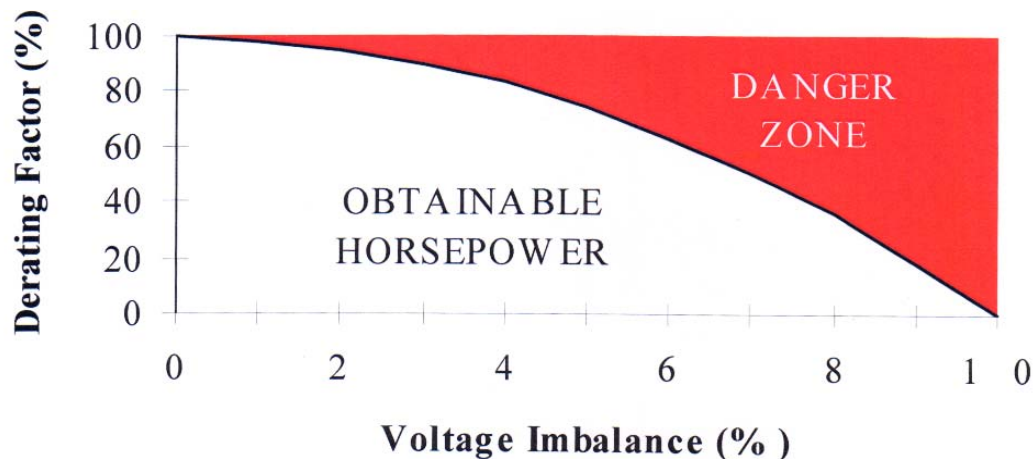
Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, συσκευή σχεδιασμένη να λειτουργεί στα 230 V, η οποία στην πραγματικότητα λειτουργεί σε τάση 240 V, καταναλώνει 9% περισσότερη ενέργεια από ότι χρειάζεται.

Στο σχήμα 1.1 αποτυπώνεται η ποσοστιαία επί της εκατό (%) αστάθεια της τάσης σε σχέση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε έναν ηλεκτροκινητήρα. Έτσι, προκύπτει το διάγραμμα υπερθέρμανσης κινητήρων λόγω ανισορροπίας της τάσης. Περαιτέρω, η λειτουργία ενός ηλεκτροκινητήρα με πάνω από 5% κατάσταση ανισορροπίας τάσης δεν συνιστάται, καθώς είναι πιθανόν να προκληθεί βλάβη στον κινητήρα. Το συγκεκριμένο όριο 5% έχει αποδοθεί από τον οργανισμό NEMA (National Electrical Manufacturers Association). Με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται η περιοχή στην οποία καταρρέει η μόνωση του ηλεκτροκινητήρα.



Σχήμα 1.1 : Διάγραμμα υπερθέρμανσης κινητήρων (temperature rise) λόγω ανισορροπίας της τάσης (voltage imbalance) [Bishop H. Thomas, 2008].

Αν και γενικά δεν είναι επιθυμητό, μια άλλη διορθωτική ενέργεια μπορεί να είναι η μείωση της ισχύος ενός κινητήρα. Δηλαδή, όταν η ανισορροπία της τάσης υπερβαίνει το 1%, η ισχύς του κινητήρα πρέπει να υποβαθμιστεί για να λειτουργήσει αυτός επιτυχώς. Η καμπύλη της υποβάθμισης του κινητήρα όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2, δείχνει ότι στο όριο του 5% που καθορίστηκε από την NEMA για την κατάσταση της ανισορροπίας, ένας κινητήρας ο οποίος έχει υποστεί μείωση της ισχύος θα λειτουργούσε σωστά περίπου στο 75% της ονομαστικής τιμής της ιπποδύναμης.



Σχήμα 1.2 : Διάγραμμα μείωσης της απόδοσης του κινητήρα (derating factor) λόγω ανισορροπίας της τάσης (voltage imbalance) [Bishop H. Thomas, 2008].

Με κόκκινο χρώμα ορίζεται η επικίνδυνη ζώνη λειτουργίας του κινητήρα, για τον οποίο η λειτουργία στο συγκεκριμένο εύρος θα οδηγούσε σε καταστροφή του.

Ειδικότερα οι υπερτάσεις και οι αιχμές της τάσης του ηλεκτρικού δικτύου έχουν τα εξής αρνητικά αποτελέσματα:

- Αύξηση κόστους συντήρησης και διακοπής λειτουργίας των μηχανημάτων (downtime).
- Μείωση διάρκειας ζωής του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.
- Πρόκληση διακοπής λειτουργίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των λοιπών ηλεκτρονικών διατάξεων.
- Δημιουργούν λανθασμένα στοιχεία στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, διαγραφή δεδομένων στη μνήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και βλάβη στα εξαρτήματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των λοιπών ηλεκτρονικών διατάξεων που συνεπικουρούν τη λειτουργία του αντλιοστασίου.

- Προκαλούν βλάβη στη μόνωση των μετασχηματιστών και των ηλεκτροκινητήρων

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η επίδραση στις ηλεκτρικές απώλειες των κινητήρων και στη μείωση της διάρκειας ζωής τους, λόγω της ανισορροπίας της τάσης και της αύξησης της θερμοκρασίας.

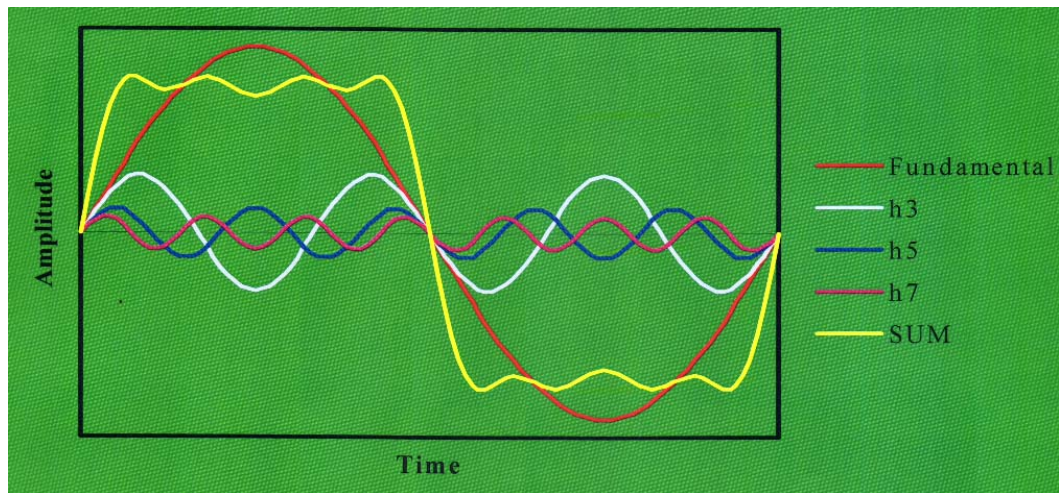
Πίνακας 1.1 : Επίδραση στις ηλεκτρικές απώλειες των κινητήρων και στη μείωση της διάρκειας ζωής τους , εξαιτίας της ανισορροπίας της τάσης και της αύξησης της θερμοκρασίας [Bishop H. Thomas, 2008].

% Ανισορροπία Τάσης	% Αύξηση Θερμοκρασίας	% Απώλειες σε kWh
3	18	15
4	32	25
5	50	35
Αύξηση Θερμοκρασίας °C	Μείωση ζωής μηχανημάτων %	
10	50	
20	75	

Αντίστοιχα, οι αρμονικές προκαλούν τα παρακάτω αρνητικές επιδράσεις:

- Υπερθέρμανση των μετασχηματιστών και όλων των περιστρεφόμενων μηχανημάτων (ηλεκτροκινητήρες).
- Διαστρεβλωμένες κυματομορφές τάσης και έντασης.
- Καταστρέφουν τις τράπεζες των πυκνωτών.
- Πτώση διακοπών και ασφαλειών.
- Αναξιόπιστη λειτουργία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού και των γεννητριών
- Λανθασμένες καταγραφές στους ηλεκτρικούς μετρητές
- Χαμένη ενέργεια και υψηλότεροι ηλεκτρικοί λογαριασμοί
- Χαμένη ισχύς και αναποτελεσματική διανομή της

Στο σχήμα 1.3, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αρμονικών σε ένα ηλεκτρικό κινητήρα.



Σχήμα 1.3 : Διαγράμματα Αρμονικών σε κινητήρα , πλάτους (amplitude) σε σχέση με το χρόνο (time) [Bishop H. Thomas, 2008].

Στην περίπτωση της προσαυξημένης ισχύος, προκύπτουν τα παρακάτω προβλήματα:

- Επιπλέον ηλεκτρικό φορτίο απαιτεί αύξηση στο μέγεθος της ηλεκτρικής παροχής.
- Επιπλέον ηλεκτρικό φορτίο απαιτεί μεγαλύτερους ασφαλειοδιακόπτες.
- Επιπλέον ηλεκτρικό φορτίο απαιτεί μεγαλύτερες συσκευές προστασίας.
- Οι αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος πρέπει να είναι μεγαλύτεροι από το κανονικό.
- Προκύπτει περιττό κεφάλαιο δαπάνης για τη χαμένη ισχύ (KVA).
- Απαιτείται περισσότερος χώρος για τον μετασχηματιστή.

Σημαντικό επίσης ρόλο στην λειτουργική εξοικονόμηση ενέργειας για τους συγκεκριμένους χώρους των αντλιοστασίων διαδραματίζει και ο συντελεστής ισχύος (PF- Power Factor). Χαμηλός συντελεστής ισχύος προκαλεί τις επόμενες αρνητικές παρενέργειες:

- Αύξηση στις απώλειες των ηλεκτρικών γραμμών.
- Μειωμένη ικανότητα διανομής της ισχύος και της δυναμικότητας ισχύος των μετασχηματιστών (KVA).
- Μειωμένη ισχύς των συστημάτων (KVA).
- Μειωμένη αποδοτικότητα των συστημάτων (kW).
- Αύξηση της μέγιστης ζήτησης (KVA) και των σχετικών δαπανών.

- Αύξηση του κόστους συντήρησης του εξοπλισμού.
- Απώλεια ενέργειας που οδηγεί σε υψηλότερο κόστος.
- Απώλεια μέρους της αρχικής επένδυσης και του αρχικού κεφαλαίου.

Κατά την εφαρμογή συστημάτων εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως η λύση που επιλέγεται, είναι η διόρθωση το συντελεστή ισχύος ώστε να προσεγγίσει τη μέγιστη τιμή -1-. Έτσι προκύπτουν μια σειρά από οφέλη και αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται ως εξής :

ΟΦΕΛΗ :

1. Εξισορρόπηση της τάσης μεταξύ των 3 φάσεων.
2. Έλεγχος και σταθεροποίηση της τάσης.
3. Αύξηση συντελεστή ισχύος PF.
4. Φιλτράρισμα υπερτάσεων /αιχμών τάσεων.
5. Μείωση των αρμονικών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ :

1. Μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh).
2. Μείωση μέγιστης ζήτησης.
3. Εξουδετέρωση επιβάρυνσης συντελεστή ισχύος PF.
4. Μείωση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Μειωμένα κόστη συντήρησης και λειτουργίας [Bishop H. Thomas, 2008].

1.2.2 Ο ρόλος της μέτρησης/καταγραφής στην εξοικονόμηση ενέργειας

1.2.2.1 Η καταγραφή/μέτρηση για την παρακολούθηση και τη λειτουργική απόδοση.

Σήμερα, δεν νοείται να μιλάμε για εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια, αλλά και σε οποιονδήποτε χώρο στον οποίο σκοπεύουμε να επιβάλουμε τέτοιου είδους δράσεις, χωρίς να προηγείται η διαδικασία της μέτρησης/καταγραφής των καταναλώσεων των αντίστοιχα εγκατεστημένων μηχανημάτων και συσκευών κάθε φύσεως.

Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους κάθε προγράμματος λειτουργίας και συντήρησης (Operational and Maintenance ή O & M) είναι η δυνατότητα να κατανοήσουμε τη λειτουργική απόδοση του εξοπλισμού, ή του συστήματος μας. Χωρίς την ικανότητα να αξιολογούμε τις επιδόσεις αυτές, είναι απίθανο να λάβουμε τις βέλτιστες αποφάσεις. Η μέτρηση της χρήσης της ενέργειας και των πόρων είναι ένα κρίσιμο συστατικό ενός ολοκληρωμένου προγράμματος O & M, όπως πρέπει να συμβαίνει και στα αντλιοστάσια. Η μέτρηση για τα προγράμματα O & M και η ενεργειακή αποδοτικότητα αναφέρονται στη μέτρηση των ποσοτήτων ενέργειας που παραδίδονται στην κατανάλωση από τις εγκατεστημένες συσκευές, όπως για παράδειγμα, κιλοβατώρες ηλεκτρισμού (kWh).

Η μέτρηση επίσης, μπορεί να περιλαμβάνει τον εντοπισμό της συχνότητας χρήσης για τις διάφορες πηγές ενέργειας, τη στιγμιαία ζήτηση για ενέργεια, καθώς και τον προσδιορισμό της χρήσης της ενέργειας για έναν κινητήρα, ή τη χρήση σε κάποιο ειδικό εξοπλισμό των αντλιοστασίων.

Η αναγκαιότητα για τον έλεγχο του κόστους, τη διάγνωση δυσλειτουργιών του εξοπλισμού, την κατανομή της χρήσης και τη ρύθμιση της αποδοτικότητας των πόρων, οδηγεί σε όλο και περισσότερο σημαντικούς λόγους για τη μέτρηση της ενέργειας στα αντλιοστάσια. Επιπλέον, με την κλιμάκωση της αστάθειας στην αύξηση της ενέργειας, οι ανάγκες αυτές γίνονται όλο και πιο σημαντικές. Έτσι, η μέτρηση των ενεργειακών πόρων μιας αντλητικής εγκατάστασης έχει μια ποικιλία εφαρμογών.

Η κρισιμότητα της καταγραφής της ενέργειας σε κάθε περίπτωση, μπορεί να συνοψιστεί στο ρητό: *«Εάν δεν την συγκεντρώνεις ...δεν μπορείς να τη μετρήσεις. Εάν δεν μπορείς να τη μετρήσεις ... δεν μπορείς να τη διαχειριστείς»* [Sullivan et al.,2007].

1.2.2.2 Σημασία της καταγραφής/μέτρησης της ενέργειας

Η καταγραφή/μέτρηση της ενέργειας παρέχει την πληροφορία η οποία όταν αναλύεται δίνει τα εξειδικευμένα δεδομένα, τα οποία επιτρέπουν στο προσωπικό της αντίστοιχης επιχείρησης να λάβει τις καλύτερες αποφάσεις για το πώς θα λειτουργήσουν βέλτιστα τα μηχανικά, τα ηλεκτρικά συστήματα και ο υπόλοιπος εξοπλισμός. Οι αποφάσεις αυτές θα επηρεάσουν τελικά το κόστος της ενέργειας, το κόστος του εξοπλισμού, καθώς και τη συνολική απόδοση του αντλιοστασίου. Οι λόγοι για τη μέτρηση διαφέρουν ανάλογα με το χώρο που εξετάζουμε. Παρακάτω παρουσιάζονται για κάθε αντίστοιχο υπό καταγραφή αντλιοστάσιο, συγκεκριμένες δράσεις που πρέπει να πραγματοποιούνται :

- Παρακολούθηση του υπάρχοντος ηλεκτρικού προγράμματος χρήσης.
- Επαλήθευση των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος.
- Αναγνώριση της χρησιμότητας των προγραμμάτων χρηματοδότησης.
- Μέτρηση, επαλήθευση και βελτιστοποίηση της απόδοσης του εξοπλισμού.
- Απομόνωση της ενεργειακής χρήσης και του κόστους.
- Μέτρηση, όχι υπολογισμό, του οικονομικού αποτελέσματος της ενεργειακής κατανάλωσης.
- Διάγνωση των λειτουργιών του εξοπλισμού και των συστημάτων του αντλιοστασίου.
- Διαχείριση της ενεργειακής χρήσης.

1.2.2.3 Καταγραφικές/μετρητικές προσεγγίσεις

Τα τέσσερα προκαθορισμένα επίπεδα καταγραφής/μέτρησης της ενέργειας είναι :

- Εφάπαξ (και ταυτόχρονα) στιγμιαία καταγραφή.
- Καταγραφή σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας.
- Καταγραφή σε μία σύντομη περίοδο λειτουργίας.
- Καταγραφή σε μία μακρά περίοδο λειτουργίας.

Κάθε επίπεδο καταγραφής έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και καμία από τις προαναφερόμενες προσεγγίσεις δεν μπορεί να ανταποκριθεί σε όλα τα είδη των περιπτώσεων.

1.2.2.4 Στοιχεία συστήματος καταγραφής/μέτρησης

Υπάρχουν τέσσερα απαραίτητα στοιχεία καταγραφής σε ένα βιώσιμο καταγραφικό σύστημα σε ένα αντλιοστάσιο.

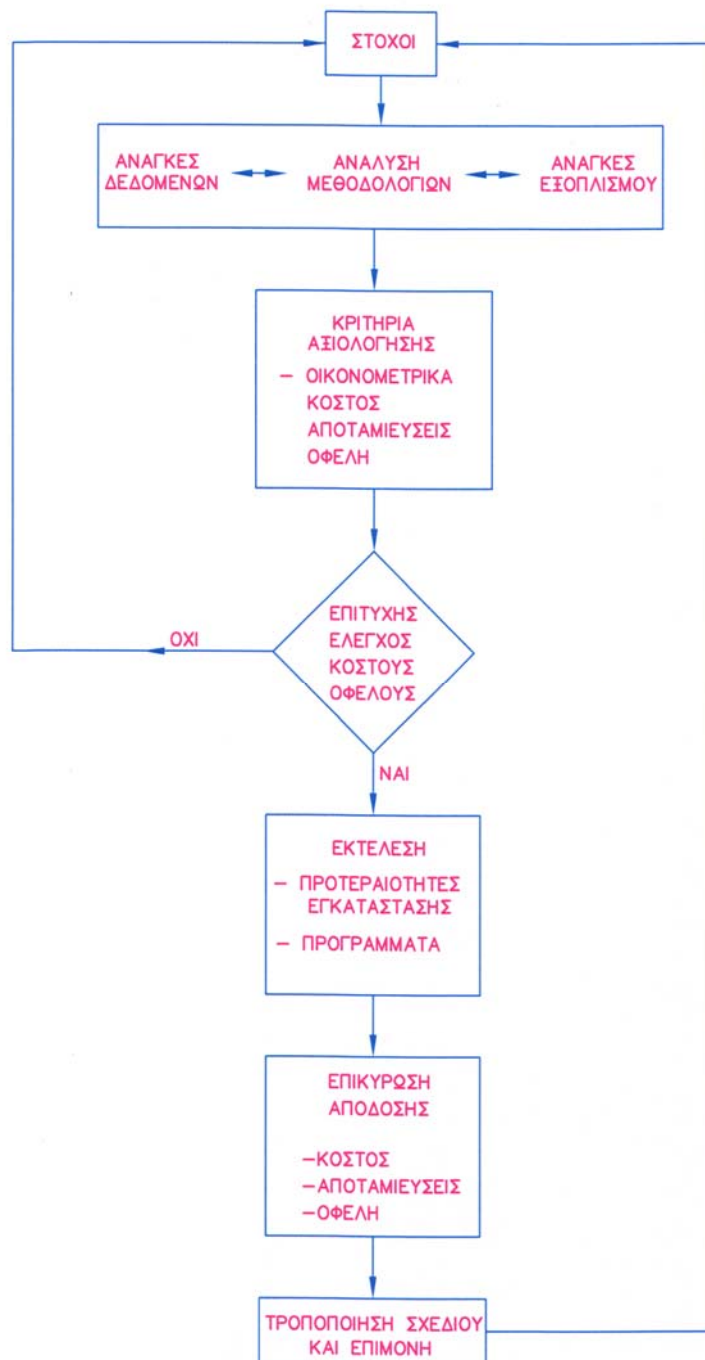
- Οι μετρητές (καταγραφικά)
- Το σύστημα συλλογής δεδομένων
- Το σύστημα αποθήκευσης / ανάκτησης δεδομένων
- Το σύστημα ανάλυσης /ικανότητας

1.2.2.5 Τα οικονομικά της καταγραφής/μέτρησης

Η οικονομική αξία της μέτρησης είναι ευθέως ανάλογη προς τη χρήση των δεδομένων που προέκυψαν. Το φάσμα της πιθανής εξοικονόμησης πόρων που

σχετίζονται με την μέτρηση, ποικίλλει ανάλογα με το αντλιοστάσιο, τον εξοπλισμό, και τη χρήση των μετρούμενων δεδομένων. Η οικονομική εξοικονόμηση που μπορεί να αποδοθεί στη μέτρηση μπορεί να φτάνει στο 20%, ενώ υψηλότερα ποσοστά εξοικονόμησης απαιτούν προηγμένες μεθόδους διαχείρισης των μετρούμενων δεδομένων. Το κόστος του εγκατεστημένου συστήματος μέτρησης θα ποικίλει ανάλογα με το σύστημα, την υπάρχουσα υποδομή, τον τύπο του μετρητή, την επικοινωνία, τις ανάγκες, τον αριθμό των συστημάτων που αγοράστηκαν, κλπ. Η μέτρηση σε επίπεδο τελικής παρακολούθησης με προσωρινούς ή φορητούς καταγραφείς δεδομένων έχει κόστος για την εκάστοτε εγκατάσταση, συνήθως της τάξεως των \$ 300 έως \$ 1.000, ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται [Sullivan et al.,2007].

Στο σχήμα 1.4, αναπτύσσεται το διάγραμμα ροής των σταδίων σχεδιασμού της καταγραφής/μέτρησης σε ένα αντλιοστάσιο.



Σχήμα 1.4 : διάγραμμα ροής των σταδίων σχεδιασμού της καταγραφής/μέτρησης σε ένα αντλιοστάσιο [Sullivan et al.,2007].

1.2.3 Εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων

Σήμερα, οι περισσότερες εγκαταστάσεις νερού μεγάλου μεγέθους, παρακολουθούνται από τις αντίστοιχες υπηρεσίες μέσω συστημάτων SCADA. Τα

συστήματα SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων) συνδυάζουν software (λογισμικό) και hardware (υλικό), τα οποία επιτρέπουν στους φορείς εκμετάλλευσης της διανομής, της συλλογής, και τα συστήματα επεξεργασίας, να παρακολουθούν απομακρυσμένα διάφορες παραμέτρους στο πεδίο δράσης και τις λειτουργίες του εξοπλισμού, καθώς επίσης, παρέχουν τη δυνατότητα της απομακρυσμένης παρέμβασης και της πραγματοποίησης διαφόρων ρυθμίσεων.

Ένα σύστημα SCADA αποτελείται ως επί τω πλείστον από τα υποσυστήματα :

A) Ένα σύστημα επικοινωνίας ανθρώπου – μηχανής (Human-Machine Interface ή HMI) το οποίο απεικονίζει δεδομένα των διεργασιών προς τους χρήστες, έτσι οι χρήστες ελέγχουν την διαδικασία.

B) Ένα σύστημα εποπτείας το οποίο συλλέγει τα δεδομένα των διεργασιών και στη συνέχεια μέσω εντολών ελέγχει το πεδίο δράσης.

Γ) Διάφορα συστήματα RTU (Remote Terminal Unit) για την επικοινωνία με τους αισθητήρες της ελεγχόμενης διαδικασίας και οι οποίοι μετατρέπουν το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό και στη συνέχεια προωθούν το ψηφιακό σήμα προς το σύστημα της εποπτείας.

Δ) Προγραμματιζόμενους Ελεγκτές PLC, οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή ως συσκευές ελέγχου του πεδίου δράσης.

Ε) Επικοινωνιακή υποδομή, η οποία συνδέει το εποπτικό σύστημα με τις διάφορες τερματικές μονάδες.

Οι περισσότερες ενέργειες ελέγχου σε ένα σύστημα SCADA πραγματοποιούνται αυτόματα μέσω των RTU ή των PLC. Κυρίως, οι ενέργειες ελέγχου των χειριστών περιορίζονται σε παρεμβάσεις εποπτικού επιπέδου. Για παράδειγμα, ένα PLC ελέγχει τη ροή του νερού σε κάποιο σημείο μίας διεργασίας. Το σύστημα SCADA μπορεί και επιτρέπει στον εκάστοτε χειριστή να αλλάξει το επιθυμητό σημείο ροής και να ενεργοποιήσει συναγερμούς πχ για απώλεια ροής και υψηλής θερμοκρασίας. Ωστόσο, ο χρήστης δεν έχει απόλυτο έλεγχο πάνω στην εν λόγω διαδικασία. Ο βρόχος ελέγχου ανάδρασης διέρχεται μέσα από το αντίστοιχο RTU ή PLC, ενώ το σύστημα SCADA εποπτεύει τη συνολική απόδοση του βρόχου [Κοκόγιας, 2012].

Τα συστήματα SCADA μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή χρήση μιας εγκατάστασης νερού και λυμάτων, μέσω της παρακολούθησης μιας ρουτίνας ενέργειας "συγκριτικής αξιολόγησης", με:

- Παρακολούθηση της χρήσης της ενέργειας στην πάροδο του χρόνου, συμπεριλαμβανομένου των συγκρίσεων με τις μεταβλητές της διαδικασίας ή τους βασικούς δείκτες απόδοσης, όπως η ταχύτητα ροής, η χρήση χημικών, ποσότητα BOD, TSS κλπ.
- Συμψηφισμό των φορτίων και έλεγχο των χρόνων λειτουργίας των κινητήρων για τη διαχείριση αιχμής της ηλεκτρικής ζήτησης.

Τυπικά, η εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει από την ικανότητα να ταιριάζουν οι επιδόσεις του εξοπλισμού με τις «πραγματικού χρόνου» (real time) απαιτήσεις του συστήματος. Η εφαρμογή των συστημάτων SCADA επηρεάζει τα όργανα μέτρησης και ελέγχου μιας εγκατάστασης, καθώς επίσης συμβάλλει στη βελτίωση της διαχείρισης των συστημάτων νερού και λυμάτων, επειδή εντοπίζονται πιο εύκολα τα προβλήματα. Επιπλέον, τα συστήματα SCADA συμβάλλουν στην κατανόηση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω της παρακολούθησης και της ιχνηλάτησης της αντίστοιχης εγκατάστασης.

Τα συστήματα SCADA, όπως προαναφέρεται, απαντώνται ευρέως στις εγκαταστάσεις νερού και λυμάτων. Συνήθως, το κόστος αποτελεί το μεγαλύτερο ανασταλτικό παράγοντα για την υιοθέτηση τους. Η επένδυση κεφαλαίου που απαιτείται για την υλοποίηση ενός συστήματος SCADA μπορεί να είναι απαγορευτική για ορισμένες μικρότερες επιχειρήσεις νερού και λυμάτων κοινής ωφέλειας. Οι Υπηρεσίες νερού και λυμάτων, οι οποίες ήδη χρησιμοποιούν SCADA επιβαρύνονται με πρόσθετο κόστος κεφαλαίου για την προσθήκη δυνατοτήτων παρακολούθησης της ενέργειας και την ανάπτυξη αναφορών μετά από συγκριτική αξιολόγηση [Commission of Wisconsin, 2016].

Κατά την τελευταία δεκαετία, η τεχνολογία SCADA έχει περάσει μέσα από ένα μετασχηματισμό, από μεμονωμένα και ιδιόκτητα συστήματα, σε ανοικτές αρχιτεκτονικές και τυποποιημένες τεχνολογίες που διασυνδέονται στενά με άλλα εταιρικά δίκτυα και το Internet. Μια συνέπεια αυτού του μετασχηματισμού είναι η αυξημένη ευπάθεια σε εξωτερικές επιθέσεις. Ένας τρόπος για να ενισχυθεί η ασφάλεια του SCADA είναι μέσα από την εφαρμογή των «patches» (λογισμικά ενημέρωσης/επιδιόρθωσης). Δύο από τα βασικά σημαντικά ζητήματα με τα «patches», αυτή τη στιγμή είναι το ποσοστό αποτυχίας τους και η έλλειψη ικανού αριθμού patches για τα συστήματα SCADA.

Το παράθυρο της έκθεσης ενός συστήματος SCADA, θεωρείται ότι είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που αποκαλύπτεται μια ευπάθεια του συστήματος, ενώ την ίδια στιγμή ένα «patch» είναι διαθέσιμο σε λειτουργία. Από τη σκοπιά ενός οργανισμού, η στιγμή που ένα παράθυρο έκθεσης είναι κλειστό, θεωρείται ότι είναι η στιγμή που όλα τα επηρεαζόμενα συστήματα έχουν επιδιορθωθεί.

Αν και η διαχείριση των «patches» δεν αποτελεί πανάκεια για την επίλυση των ζητημάτων ασφάλειας των συστημάτων SCADA, είναι ωστόσο σημαντικό οι φορείς διαχείρισης να καθιερώσουν μια πολιτική διαχείρισης των «patches». Χωρίς μία καλά σχεδιασμένη πολιτική διαχείρισης των «patches», οι φορείς διαχείρισης μπορεί να είναι ευάλωτοι σε εξωτερικές επιθέσεις και η διαδικασία της ενημέρωσης κώδικα (patching), θα μπορούσε να αποδειχθεί ένα δύσκολο εγχείρημα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η διαχείριση των «patches» απαιτείται για φορείς διαχείρισης οι οποίοι πρέπει να συμμορφώνονται με το πρότυπο NERC CIP. Ενώ το πρότυπο NERC CIP είναι υποχρεωτικό για τις περισσότερες επιχειρήσεις κοινής ωφελείας στη Βόρεια Αμερική, δεν υπάρχει αντίστοιχο υποχρεωτικό πρότυπο στην Ευρώπη. Έτσι, οι ιδιοκτήτες των φορέων διαχείρισης εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης λαμβάνουν πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς τη διαχείριση των «patches». Η Ευρωπαϊκή Ένωση ή τα κράτη μέλη, θα μπορούσαν να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση και διαχείριση των «patches» μέσω επιβολής ότι θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το θέμα της διαχείρισης των «patches» όταν θεσπίζονται νέες απαιτήσεις για τις συσκευές και κατά αυτήν την έννοια να καθιερώσουν ένα πρότυπο για τη διαχείριση τους. [Pauna and Moulinos, 2013]

1.2.4 Ηλεκτρικοί κινητήρες

1.2.4.1 Κινητήρες αντλίας

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει τη βελτιστοποίηση της εξοικονόμησης της ενέργειας στα αντλιοστάσια, είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων. Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία, οι κινητήρες και η απόδοσή τους, είναι πολύ πιο αποτελεσματικοί σε ένα μεγάλο εύρος λειτουργίας σε σχέση με μία αντλία που χρησιμοποιεί συσκευή μεταβλητού οδηγού συχνότητας (VFD ή Variable Frequency Drive). Στη συγκεκριμένη παράγραφο, παρουσιάζονται τα λειτουργικά στοιχεία αποδοτικότητας και πώς αυτά επηρεάζονται από τις παρεμβάσεις/επισκευές στους ηλεκτρικούς κινητήρες, κατά τη λειτουργία του αντλιοστασίου [Sullivan et al.,2007].

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες, χρησιμοποιούνται κατά καθοριστικό τρόπο στα αντλιοστάσια για να οδηγήσουν ένα σύνολο αντλιών, ανεμιστήρων και άλλου τύπου φορτίων. Ο τύπος του κινητήρα ελέγχου μπορεί να διαφέρει σε κάθε αντλιοστάσιο, αλλά και σε κάθε διακριτή αντλία η οποία βρίσκεται εγκατεστημένη στο εκάστοτε αντλιοστάσιο. Στο πλαίσιο αυτό, ο κάθε κινητήρας και η διαχείριση του αποτελεί μια πρόκληση για το πεδίο της εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς επιβάλλεται η κατά το μέγιστο οικονομική λειτουργία του. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, πάνω από τη μισή ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται, απορροφάται από τους ηλεκτρικούς κινητήρες [DOE, 1996]. Αυτό το εντυπωσιακό ποσοστό ενέργειας, προσφέρει μια μεγάλη ευκαιρία για πολλές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα.

Αντικαθιστώντας έναν ηλεκτρικό κινητήρα με έναν άλλο υψηλής ενεργειακής απόδοσης μπορεί να υπάρξει επίδραση κατά 5% στην ενεργειακή εξοικονόμηση [IAC, 1996]. Ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα και το φορτίο του, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να μεταφράζεται από μερικές εκατοντάδες έως μερικές χιλιάδες ευρώ.

Ένας μέσης τάσης υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας κινητήρας μπορεί να έχει τις ακόλουθες αποδόσεις στα αντίστοιχα φορτία :

- Πλήρες φορτίο - 95,2 % απόδοση
- 3/4 του φορτίου - 95,0 % απόδοση
- 1/2 του φορτίου - 94,8 % απόδοση

Η μεγάλη πλειοψηφία των ηλεκτροκινητήρων που οδηγούν άλλα συστήματα, όπως είναι οι αντλίες, χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα (AC). Έτσι, αναφερόμαστε στην ανάλυση μας κυρίως σε μέτρα που σχετίζονται με κινητήρες εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι αναβαθμίσεις που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια στους ηλεκτρικούς κινητήρες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη κινητήρων οι οποίοι συγκριτικά είναι πιο αποδοτικοί από τους συνηθισμένους. Επιπρόσθετα, από την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει από τους ενεργειακά αποδοτικούς κινητήρες, προκύπτουν επιπλέον οφέλη τα οποία περιλαμβάνουν αυξημένη αξιοπιστία εξοπλισμού, μειωμένους νεκρούς χρόνους και μειωμένα λειτουργικά κόστη και κόστη συντήρησης [CDA, 2006].

Ο Εθνικός Σύνδεσμος Ηλεκτρικών κατασκευαστών στις Η.Π.Α. (N.E.M.A.- National Electrical Manufacturers Association) έχει αναπτύξει τις πιο πρόσφατες προδιαγραφές , το 2001 και ονομάζονται «NEMA Premium Energy Efficiency Motor Standard». Αρχικά, αναπτύχθηκαν σαν ένα εθελοντικό πρόγραμμα, στο οποίο οι

κατασκευαστές ηλεκτρικών κινητήρων μπορούσαν να πιστοποιήσουν τον ηλεκτροκινητήρα που παρήγαγαν ως «NEMA PREMIUM MOTORS». Αυτό σήμαινε ότι, όποιος κινητήρας έφερε τη συγκεκριμένη πιστοποίηση, τότε τεκμηριωμένα μπορούσε να ανταποκριθεί στα επίπεδα πλήρους φορτίου ελάχιστης αποδοτικότητας. Αυτές οι νέες προδιαγραφές, αναπτύχθηκαν υπό το νέο πρόγραμμα «NEMA Premium Efficiency» και έθεσαν υψηλότερες προδιαγραφές αποδοτικότητας από αυτές που είχαν τεθεί παλαιότερα από την EPA το 1992 [DOE, 2005] .

Από τη στιγμή που αναπτύχθηκαν οι προδιαγραφές «NEMA Premium Efficiency», πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στους ρότορες των ηλεκτρικών κινητήρων και έτσι προέκυψαν ακόμα πιο αποδοτικοί κινητήρες. Οι νέοι «εξαιρετικά αποδοτικοί» κινητήρες πλέον εξοπλίζονται με χάλκινους ρότορες σε σχέση με τους παλιότερους που ήταν από αλουμίνιο. Αυτοί οι χάλκινοι ρότορες αυξάνουν την ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος και μειώνουν τις απώλειες του ρότορα (I^2R -απώλειες) του κινητήρα. Οι νέοι «εξαιρετικά αποδοτικοί» ηλεκτρικοί κινητήρες παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές αποδοτικότητας από αυτούς που μέχρι τη δεδομένη στιγμή θεωρούνταν ηλεκτρικοί κινητήρες «υψηλής απόδοσης», σε μια τάξη μεγέθους 3-5 %. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες με το χαρακτηρισμό «NEMA Premium Efficiency» και οι νέοι «εξαιρετικά αποδοτικοί» ηλεκτρικοί κινητήρες, εμφανίζονται αποδοτικοί σε σχέση με το κόστος, όταν η λειτουργία τους υπερβαίνει τις 2000 ώρες/έτος και χρησιμοποιούνται για περίπου 7,5 ώρες/ημέρα και τουλάχιστον για τις εργάσιμες μέρες της εβδομάδας από Δευτέρα έως και Παρασκευή [DOE, 2005].

Επιπλέον, τα ποσά καταναλούμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπαγορεύουν την εξοικονόμηση και την επίδραση στο κόστος των επισκευών. Έτσι, οι συγκεκριμένοι εξαιρετικά αποδοτικοί ηλεκτρικοί κινητήρες θα πρέπει να προωθούνται για τοποθέτηση σε όλα τα νέα κατασκευαστικά έργα που εμπεριέχουν ηλεκτροκινητήρια συστήματα, καθώς και σε όλα τα παλιότερα συστήματα χαμηλότερης αποδοτικότητας που απαιτούν επισκευή ή επαναπεριέλιξη [Sullivan et al.,2007].

Προκειμένου να υπάρξουν βελτιώσεις στα λειτουργικά αντλιοστάσια στον τομέα των ηλεκτρικών κινητήρων, οι υπεύθυνοι των εγκαταστάσεων θα πρέπει να προχωρούν σε καταγραφή και κατηγοριοποίηση όλων των ηλεκτρικών κινητήρων, ξεκινώντας από τους μεγαλύτερους. Αυτή η κατηγοριοποίηση, θα πρέπει να περιλαμβάνει μία καταγραφή όλων των πληροφοριών που παρέχονται από την πινακίδα του ηλεκτροκινητήρα, καθώς και επιμέρους σημειώσεις για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Το προσωπικό της κάθε εγκατάστασης μπορεί να επικοινωνεί με τον κατασκευαστή του εξοπλισμού για να πάρει πληροφορίες για την αποδοτικότητα του ηλεκτροκινητήρα σε σχέση με το φορτίο που αναπτύσσει και την εφαρμογή που

χρησιμοποιείται, ή μπορεί να χρησιμοποιείται κάποιο λογισμικό προσομοίωσης λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα. Εφόσον η αρχική αποτύπωση ολοκληρωθεί, θα πρέπει να ακολουθήσει μια πρόταση από το προσωπικό, ώστε να υπάρξει μία οικονομική ανάλυση των διαφόρων ηλεκτροκινητήρων η οποία θα καθορίσει τις πιο οικονομικές παρεμβάσεις. Η συγκεκριμένη ανάλυση, συνήθως, απαιτεί τη χρήση ηλεκτρικού μετρητικού εξοπλισμού, η οποία θα πρέπει να πραγματοποιείται μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό. Εάν δεν υπάρχει η κατάλληλη εκπαίδευση στο υφιστάμενο προσωπικό, τότε θα πρέπει να προσληφθεί κάποιος ειδικός, εξοικειωμένος με την ανάλυση των ηλεκτρικών κινητήρων. Εάν η ανάλυση ανακαλύψει κινητήρες οι οποίοι θα πρέπει να αντικατασταθούν με ενεργειακά αποδοτικούς κινητήρες, τότε το προσωπικό θα πρέπει να εντοπίσει όλους τους κινητήρες οι οποίοι θα πρέπει να αντικατασταθούν. Οι συγκεκριμένες επισημάνσεις θα υποδείξουν εάν αυτοί οι κινητήρες θα πρέπει να αντικατασταθούν άμεσα, ή απλά όταν θα καταστραφούν λόγω χρήσης. Προκειμένου να βοηθήσουν στην κατεύθυνση των σωστών οικονομικών αποφάσεων για το ποιοι κινητήρες θα αντικατασταθούν και ποιοι όχι και πότε, το υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ (DOE ή Department Of Energy) και οι συνεργάτες του έχουν αναπτύξει ένα ελεύθερο λογισμικό, το οποίο ονομάζεται “Motor Master”. Το συγκεκριμένο λογισμικό βοηθάει στην ανάλυση των υφιστάμενων ηλεκτροκινητήρων, στηριζόμενο στο μέγεθος, στην απόδοση, στα χαρακτηριστικά του φορτίου και εξάγει δεδομένα κύκλου ζωής του ηλεκτροκινητήρα, επίδρασης κόστους και επιλογές επισκευής για το συγκεκριμένο ηλεκτροκινητήρα που αναλύεται.

Στις μέρες μας, συνήθως, οι ηλεκτροκινητήρες δεν λαμβάνουν την απαιτούμενη συντήρηση εκτός από την περιστασιακή λίπανση των ρουλεμάν. Όταν συμβεί κάποια βλάβη στον ηλεκτροκινητήρα συνήθως αντικαθίσταται με μια εφεδρική μονάδα και ο βασικός κινητήρας συνήθως οδηγείται προς επαναπεριέλιξη και εξοπλίζεται με νέα ρουλεμάν [Malgorzata, Kosk-Bienko, 2010].

Η επιλογή της επισκευής συνδέεται με ένα από τα πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με απόδοση του κινητήρα, όπως είναι η διαδικασία νέας περιέλιξης των τυλιγμάτων του κινητήρα μετά από ενδεχόμενη βλάβη. Τις περισσότερες φορές, η διαδικασία της νέας περιέλιξης των τυλιγμάτων του κινητήρα υποβαθμίζει την απόδοση του. Οι περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες παροχής νερού και επεξεργασίας λυμάτων απαιτούν η διαδικασία της νέας περιέλιξης να γίνεται γρήγορα, το οποίο είναι αντιπαραγωγικό ως προς τη διατήρηση της αρχικής απόδοσης του κινητήρα [ACEEE, 2006].

Ωστόσο, οι υπεύθυνοι συντήρησης, μηχανικοί, θα πρέπει να γνωρίζουν ότι οι μικρότεροι κινητήρες μειώνουν την απόδοση τους κατά τουλάχιστον 15% μετά τη

δεύτερη επισκευή περιέλιξης. Η συνεχής επαναπεριέλιξη είναι αποδοτική μόνο για τους μεγαλύτερους κινητήρες [Mooges, 2001].

Εξαιτίας αυτής της κατάστασης, ο κατασκευαστής που πραγματοποιεί την επαναπεριέλιξη θα πρέπει να είναι σε θέση να εγγυηθεί ότι ο κινητήρας και μετά την επισκευή θα λειτουργεί με την αρχική του απόδοση [ACEEE, 2006].

1.2.4.2 Κριτήρια σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικών κινητήρων

Ως γνωστόν, οι ενεργειακά αποδοτικοί ηλεκτροκινητήρες έχουν πολλά πλεονεκτήματα, ωστόσο, προκύπτουν διάφορα θεμελιώδη ερωτήματα ως προς το σχεδιασμό, τα οποία θα πρέπει να επιλυθούν. Ακολούθως, παρουσιάζονται μερικά από τα πιο κρίσιμα κριτήρια που καλούμαστε να λάβουμε υπόψη μας κατά την εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικών ηλεκτροκινητήρων [ACEEE, 2006].

1.2.4.3 Ταχύτητα κινητήρα

Υπάρχει μια σημαντική διακύμανση στην ταχύτητα του κινητήρα ανάλογα με τον τύπο του. Οι υψηλής ενεργειακής απόδοσης κινητήρες συνήθως έχουν υψηλότερες ταχύτητες λειτουργίας με πλήρες φορτίο σε σχέση με τους απλούς κινητήρες [ACEEE, 2006].

Εάν ο τρέχων κινητήρας είναι σωστά υπολογισμένος, τότε είναι πολύ σημαντικό σε περίπτωση επισκευής του κινητήρα, οι επιλογές ενίσχυσης του να τείνουν στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας κατά το δυνατόν. Σε συγκεκριμένες εφαρμογές, πχ στους κινητήρες που οδηγούν φυγόκεντρικές αντλίες, η υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας μπορεί να αλλάξει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος και να προξενήσει έτσι μια καταστρεπτική επίδραση στο συνολικό σύστημα. Πριν από την μετασκευή, το προσωπικό της εγκατάστασης θα πρέπει να συνεννοηθεί με το συγκεκριμένο κατασκευαστή του κινητήρα για να βεβαιωθεί για τις ονομαστικές στροφές του κινητήρα (rpm), ώστε να εξασφαλιστεί ότι η παρέμβαση στον εξοπλισμό είναι η κατάλληλη.

1.2.4.4 Ονομαστική απόδοση

Κατά τη διεξαγωγή της οικονομικής ανάλυσης για κινητήρες που έχουν υποστεί παρεμβάσεις, συνήθως προτείνεται να χρησιμοποιούνται οι τιμές της ονομαστικής ισχύος, οι οποίες δίνονται από τους αντίστοιχους κατασκευαστές σε σχέση με την ελάχιστη εγγυημένη απόδοση, ή κάποιες άλλες αντίστοιχες τιμές. Η τιμή της ονομαστικής ισχύος είναι τυποποιημένη και θα πρέπει να είναι ακριβής για

υφιστάμενους λειτουργικούς κινητήρες και για κινητήρες που έχουν υποστεί παρεμβάσεις.

1.2.4.5 Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι υψηλής απόδοσης κινητήρες, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της NEMA, οι οποίοι προαναφέρονται, έχουν υψηλότερο ρεύμα εισροής σε σχέση με τους κινητήρες της στάνταρ απόδοσης [ACEEE, 2006]. Το συγκεκριμένο ρεύμα μπορεί να προκαλέσει ειδικού τύπου μαγνητικά κυκλώματα- τα οποία μπορούν να ενεργοποιηθούν, ανάλογα με το μέγεθος τους. Εάν μια εγκατάσταση έχει τέτοιου είδους θέματα μετά από την τοποθέτηση ενός υψηλής απόδοσης κινητήρα, τότε συστήνεται μία αναθεώρηση των ορίων διακοπής (μεγέθυνση του αυτόματου ηλεκτρικού διακόπτη). Μια άλλη επιλογή, είναι η εξέταση τοποθέτησης των νέων υβριδικών ή θερμικών διακοπών, που δεν ενεργοποιούνται σε υψηλότερα ρεύματα εισροής.

1.2.4.6 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Η τελευταία εξέταση που πρέπει να γίνει κατά την επιλογή ενός ενεργειακά αποδοτικού ηλεκτρικού κινητήρα είναι οι απαιτήσεις ροπής του κινητήρα. Κινητήρες της κατηγορίας «NEMA Design B» έχουν χαμηλότερη ροπή εκκίνησης σε σχέση με κινητήρες της κατηγορίας «NEMA Design A».

Κατά συνέπεια, σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να προσπαθήσουμε να κατηγοριοποιήσουμε με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά ροπής του κινητήρα, για να μπορούμε να επιλέξουμε και τη σωστή παρέμβαση στην αντίστοιχη συσκευή [ACEEE, 2006].

1.2.5 Διαγνωστικός εξοπλισμός

1.2.5.1 Ηλεκτρικοί καταγραφείς δεδομένων

Για έναν ακριβή χαρακτηρισμό του φορτίου του κινητήρα και για τον καθορισμό λειτουργίας του προφίλ του, οφείλουμε να τοποθετήσουμε καταγραφείς δεδομένων για να μετρήσουμε τη χρήση της ενέργειας από τον κινητήρα, στην πάροδο του χρόνου. Η καταγραφή μπορεί να πραγματοποιηθεί πχ εβδομαδιαία λαμβάνοντας μετρήσεις έντασης και τάσης, τουλάχιστον ανά 15 λεπτά. Αυτού του είδους η ανάλυση είναι χρήσιμη στην κατανόηση του φορτίου του κινητήρα και στα χαρακτηριστικά του χρόνου εκτέλεσης, τα οποία και τα δύο είναι εξίσου σημαντικά στον καθορισμό της σωστής λειτουργίας του κινητήρα και κατά συνέπεια στην εξοικονόμηση ενέργειας που μπορούμε να πετύχουμε.

1.2.5.2 Στροβοσκοπικός Μετρητής

Άλλο ένα πρακτικό εργαλείο για να καθοριστεί το φορτίο του κινητήρα είναι ο στροβοσκοπικός μετρητής. Οι στροβοσκοπικοί μετρητές είναι χρήσιμοι στον καθορισμό της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Οι συγκεκριμένοι έλεγχοι πρέπει να πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και υπό διαφορετικές συνθήκες φόρτισης, ώστε να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα της ακριβούς μέτρησης των στροφών σε σχέση με το προφίλ φορτίου του κινητήρα. Μόλις αναπτυχθεί το συγκεκριμένο προφίλ, μπορεί να συγκριθεί με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή για την εκτίμηση του φορτίου του κινητήρα. Όπως γίνεται αντιληπτό, το προφίλ του εκάστοτε κινητήρα θα οδηγήσει στη λήψη σημαντικών αποφάσεων, σχετικά με την επισκευή, ή την αντικατάσταση του κινητήρα από άλλον με υψηλότερη ενεργειακή απόδοση [Sullivan et al., 2007].

Η τοποθέτηση συστημάτων καταγραφής για την παρακολούθηση της κατανάλωσης της ενέργειας, γενικά, βοηθάει τους σχεδιαστές των αντλιοστασίων να αναπτύξουν μια ενεργειακή στρατηγική για το σύνολο του έργου. Μάλιστα τα αποτελέσματα, τις περισσότερες φορές, ξεπερνούν τις αρχικές προσδοκίες και οδηγούν σε διαρκή εξοικονόμηση στις εγκαταστάσεις που εφαρμόζεται αυτό [Mooges, 2001].

Είναι αξιοσημείωτο να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο, ένα πρακτικό παράδειγμα της μέχρι τώρα ανάλυσης μας. Οι ηλεκτροκινητήρες μπορούν εύκολα να παρακολουθηθούν με ένα σφινγκήρα- αμπερόμετρο. Μια αύξηση στο ρεύμα που καταναλώνει ο κινητήρας, υπό συνθήκες σταθερού φορτίου, καταδεικνύει σαφώς την ανάγκη για συντήρηση του κινητήρα. Συνεπώς, με μια απλή και χαμηλού κόστους καταγραφή, μπορούμε να οδηγηθούμε σε διορθωτικές δράσεις και συνεπώς στην αύξηση της λειτουργικής απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας του εκάστοτε αντλιοστασίου [Mooges, 2001].

1.2.6 Ο ρόλος της συντήρησης στη λειτουργική ασφάλεια των αντλιοστασίων και στην εξοικονόμηση ενέργειας

Στα αντλιοστάσια, οι εργασίες συντήρησης είναι θεμελιώδεις για τη λειτουργία του εξοπλισμού και τις διαδικασίες εξοικονόμησης ενέργειας, ώστε να εξασφαλιστεί ότι μια εγκατάσταση μπορεί να πετύχει την επιθυμητή λειτουργική απόδοση, ταυτόχρονα με τα αποτελέσματα της συντήρησης που απαιτείται. Η επιδείνωση της κατάστασης των λειτουργικών συστημάτων και ως εκ τούτου η αποδοτικότητα τους, αρχίζει να εμφανίζεται αμέσως μετά την έναρξη λειτουργίας του συστήματος. Εκτός από την κανονική φθορά και την υποβάθμιση, μπορεί να προκύψουν και άλλες αστοχίες,

ιδίως όταν ο εξοπλισμός ωθείται πέρα από τα όρια του σχεδιασμού του, είτε λόγω άλλων λειτουργικών σφαλμάτων. Έτσι, προκύπτουν διάφορα προφανή αρνητικά αποτελέσματα, όπως η διακοπή της λειτουργίας του εξοπλισμού, απώλειες ενέργειας, κίνδυνοι για την εργασιακή ασφάλεια και την περιβαλλοντική ρύπανση. Όλα αυτά τα αποτελέσματα, έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν αρνητικά το κόστος λειτουργίας, την αποδοτικότητα, την ικανοποίηση της ζήτησης των πελατών και την παραγωγικότητα άλλων σημαντικών μερών του συστήματος.

Η μεγάλη πρόκληση της βελτιστοποίησης της συντήρησης, είναι να εφαρμόσει στρατηγικές, οι οποίες μεγιστοποιούν τη διαθεσιμότητα και την αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού, ελέγχουν το ρυθμό φθοράς του εξοπλισμού, εξασφαλίζουν την ασφαλή και φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία, και ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος της επιχείρησης, τόσο στην παραγωγή όσο και στην ενεργειακή δαπάνη.

Η ενεργειακή απόδοση είναι σημαντική για τις εγκαταστάσεις των αντλιοστασίων, γιατί συμβάλλει στη μείωση του ενεργειακού κόστους, της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (μειώνονται οι εκπομπές CO₂). Πολλά μέτρα ενεργειακής απόδοσης στα αντλιοστάσια συνίστανται στη βελτίωση διάφορων πρακτικών, διαδικασιών, καθώς και της συντήρησης. Τα μέτρα αυτά έχουν συχνά και άλλες θετικές συνέπειες, εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας. Μπορούν επίσης, να μειώσουν το κόστος συντήρησης και να οδηγήσουν σε αύξηση της αποδοτικότητας του αντλιοστασίου, και το αντίστροφο. Η λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, με βάση την κατάσταση του συστήματος, πρέπει να βασίζεται σε τεχνικές και οικονομικές σκοπιμότητες, ενώ κάθε φορά πρέπει να σταθμίζονται αυτά τα δύο σημαντικά γεγονότα, προκειμένου να γίνεται εφικτή η λήψη μίας βελτιστοποιημένης απόφασης [Behnouch and Demichela, 2013].

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων επιτρέπει την επιλογή ενός βέλτιστου συνόλου διαδικασιών συντήρησης, αλλά δεν υποδεικνύει την επιλογή της πιο οικονομικής λύσης. Για να μπορέσουμε να ασχοληθούμε με αυτό το θέμα, οφείλουμε να αξιολογήσουμε την πιθανότητα της βλάβης του εξοπλισμού και να υπολογίσουμε το κόστος της συντήρησης αλλά και της βλάβης. Στη συνέχεια, με μια διαδικασία λήψης αποφάσεων, πχ τη μέθοδο των δέντρων αποφάσεων, μπορούμε να επιλέξουμε τη διαδικασία συντήρησης που ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο που συνδέεται με την αποτυχία του εξοπλισμού [Carazas and Souza, 2010].

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι στρατηγικές συντήρησης έχουν εξελιχθεί από τη διορθωτική προσέγγιση σε ένα μοντέλο προληπτικής προσέγγισης και τα ντετερμινιστικά μοντέλα έχουν ενσωματωθεί, ή αντικαθίστανται από εκείνα που βασίζονται στην αξιοπιστία και στον κίνδυνο, τα οποία σχετίζονται με την θεωρία των

πιθανοτήτων. Πρόκειται για προσεγγίσεις, οι οποίες στοχεύουν στην επίτευξη της βέλτιστης συντήρησης, σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Η ελαχιστοποίηση του κόστους είναι επίσης ένας από τους στόχους του σχεδιασμού συντήρησης. Συνήθως, η πιο σημαντική επίδραση στα μέτρα της εξοικονόμησης ενέργειας στις εγκαταστάσεις των αντλιοστασίων είναι η αποτελεσματική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των μεγάλων εξοπλισμών. Από την άλλη πλευρά, ο σκοπός αυτών των προσεγγίσεων στα αντλιοστάσια είναι να επιτευχθεί η παραγωγικότητα και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τα οικονομικά οφέλη. Ακόμα και αν ο σκοπός αυτών των προσεγγίσεων δεν σχετίζεται άμεσα με την ενέργεια, τα οφέλη τους συχνά βρίσκουν εφαρμογή και στην εξοικονόμηση της ενέργειας [Behnoush and Demichela, 2013].

Όπως γίνεται αντιληπτό, η σωστή λειτουργία των αντλιοστασίων συνεπάγεται την οργανωμένη συντήρηση από την υπηρεσία, η οποία διαχειρίζεται τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις. Σε ένα λειτουργικό αντλιοστάσιο, οι κυρίαρχες εργασίες που πραγματοποιούνται σχετίζονται με τη συντήρηση. Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο **EN 13306**, η συντήρηση αφορά στο συνδυασμό όλων των τεχνικών, διοικητικών και διαχειριστικών δράσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός πράγματος που προορίζεται να διατηρηθεί ή να αποκατασταθεί σε μια κατάσταση, η οποία κατάσταση μπορεί να επιτελέσει την απαιτούμενη λειτουργία.

Μια λειτουργία συντήρησης συμβάλλει σημαντικά στην επαγγελματική υγιεινή και ασφάλεια και είναι κρίσιμη για να διασφαλιστεί η συνεχής παραγωγικότητα, να παραχθούν προϊόντα υψηλής ποιότητας και να διατηρηθεί η ανταγωνιστικότητα μιας επιχείρησης.

Η συντήρηση επηρεάζει την υγεία και ασφάλεια της εργασίας των εργαζομένων με διαφορετικούς τρόπους. Η συνήθης συντήρηση, η οποία είναι σωστά σχεδιασμένη και εφαρμόζεται αντίστοιχα, είναι θεμελιώδης στο να λειτουργεί με ασφάλεια και αξιόπιστα τόσο τα μηχανήματα, όσο και το εργασιακό περιβάλλον. Η συντήρηση πρέπει να εφαρμόζεται με ασφάλεια, με την κατάλληλη προστασία των συντηρητών αλλά και των υπόλοιπων εργαζομένων οι οποίοι βρίσκονται στον εργασιακό χώρο. Δύο διαφορετικοί τύποι συντήρησης μπορούν να διακριθούν:

- Διορθωτική συντήρηση – όταν οι δράσεις συντήρησης στοχεύουν να επισκευάσουν ένα σύστημα από την κατάσταση της βλάβης/αποτυχίας λειτουργίας, στην κατάσταση λειτουργίας. Αυτός ο τύπος συντήρησης είναι επίσης γνωστός με τον όρο «αντιδραστική συντήρηση» επειδή πραγματοποιείται όταν συμβαίνει μία αναπάντεχη βλάβη στον εξοπλισμό.

- Προληπτική συντήρηση - όταν οι δράσεις συντήρησης συμβαίνουν σε προκαθορισμένα διαστήματα ή σε σχέση με προκαθορισμένα κριτήρια που έχουν ως σκοπό να μειώσουν την πιθανότητα της αποτυχίας, ή την υποβάθμιση της λειτουργίας ενός στοιχείου. Σε αυτήν την περίπτωση, αναφερόμαστε σε δράσεις που προγραμματίζονται, τόσο σε προληπτικές, όσο και σε αυτές που προορίζονται για τον έλεγχο της ελαχιστοποίησης των διαδικασιών που οδηγούν σε διαδικασία υποβάθμισης του εκάστοτε συστήματος (πχ προληπτική αντικατάσταση εξαρτημάτων, λίπανση μηχανών, διαδικασίες καθαρισμών και ελέγχων).

Υπάρχει επίσης, ένας τρίτος τύπος συντήρησης, ο οποίος αφορά τις συντηρήσεις μεγάλης κλίμακας. Αυτός ο τρόπος, εφαρμόζεται ώστε να επιτρέψει σε ένα αντικείμενο να ολοκληρώσει νέες ή πρόσθετες λειτουργίες, ή τις ίδιες λειτουργίες σε καλύτερες συνθήκες. Ο συγκεκριμένος τρόπος συντήρησης, συχνά πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια μιας προγραμματισμένης διακοπής λειτουργίας του αντικειμένου συντήρησης.

Επειδή οι συντηρητές διεξάγουν ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, είναι εκτεθειμένοι σε πολλούς και ποικίλους κινδύνους κατά την εργασία τους. Υπάρχουν φυσικοί κίνδυνοι στους οποίους εκτίθενται όπως ο θόρυβος, οι δονήσεις, υψηλές και χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, ακτινοβολίες, μεγάλα φορτία και εντατικές και απότομες κινήσεις. Επιπλέον, οι εργαζόμενοι συντήρησης, βρίσκονται υπό τον κίνδυνο όλων των τύπων ατυχημάτων. Οι εργαζόμενοι συντήρησης, κυρίως στα αντλιοστάσια λυμάτων, συχνά, έχουν επαφή με ατμούς ή αέρια, σωματίδια (σκόνη, καπνό), ίνες (αμίαντος, γυαλί ινών) και διάφορες σκόνες.

Τα χαρακτηριστικά των εργασιών συντήρησης συνεπάγονται επίσης την παρουσία των ψυχοκοινωνικών κινδύνων. Κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης, η παραγωγικότητα ενός οργανισμού διακόπτεται και υπάρχει επείγουσα ανάγκη να γίνει επανεκκίνηση των δραστηριοτήτων, το συντομότερο δυνατό. Αυτό, μπορεί να ασκήσει μεγάλη πίεση στους εργαζόμενους συντήρησης να ολοκληρώσουν τις εργασίες τους. Η πίεση χρόνου και η κακή οργάνωση της εργασίας μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική καταπόνηση. Επιπλέον, όταν οι εργασίες συντήρησης πραγματοποιούνται από εξωτερικούς εργολάβους, η συνεργασία μπορεί μερικές φορές να οδηγήσει σε προβλήματα επικοινωνίας και κατά επέκταση σε προβληματική αποκατάσταση της βλάβης.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της Ισπανικής Εθνικής Έρευνας των Συνθηκών Εργασίας (2007) αποκάλυψε ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με την έκθεση σε κινδύνους μεταξύ των ισπανών εργαζομένων συντήρησης.

Τα αποτελέσματα δείχνουν μεγαλύτερη έκθεση των εργαζομένων συντήρησης σε σχέση με το σύνολο των εργαζόμενων για:

- Δυνατό θόρυβο (16% έναντι 8%).
- Πολύ δυνατό θόρυβο (3% έναντι 2%).
- Δονήσεις χεριού-βραχίονα (24% έναντι 9%).
- Κραδασμούς σε ολόκληρο το σώμα (12% έναντι 5%).
- Υπεριώδες φως (8% έναντι 4%).
- Ραδιοσυχνότητες (4% έναντι 2%).

Επιπλέον, εξάχθηκε από την έρευνα ότι οι εργάτες συντήρησης είναι επίσης πιο εκτεθειμένοι σε:

- Ζέστη το καλοκαίρι (44% έναντι 19% μεταξύ των άλλων επαγγελματιών).
- Κρύο το χειμώνα (44% έναντι 17%).
- Υγρή ατμόσφαιρα (25% σε σύγκριση με 13%).
- Επικίνδυνες ουσίες, ατμούς και αναθυμιάσεις.

Επιστημονικές μελέτες δείχνουν ότι οι επαγγελματικές ασθένειες και τα προβλήματα υγείας που συνδέονται με την εργασία (π.χ. αμιάντωση, καρκίνος, προβλήματα ακοής και μυοσκελετικές παθήσεις) είναι διαδεδομένα μεταξύ των εργαζομένων που συμμετέχουν σε δραστηριότητες συντήρησης. Οι εργαζόμενοι στη συντήρηση βιομηχανικών εγκαταστάσεων έχουν 8-10 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα ανάπτυξης μιας επαγγελματικής ασθένειας από τον μέσο όρο του πληθυσμού [Malgorzata and Kosk-Bienko, 2010].

1.2.7 Εργασίες συντήρησης και επαγγελματικοί κίνδυνοι σε εγκαταστάσεις ύδρευσης-άρδευσης και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

Τα τελευταία χρόνια, η συντήρηση έχει αποτελέσει αντικείμενο θεμελιωδών αλλαγών και σήμερα θεωρείται ως μια βασική λειτουργία εντός των εταιρειών ύδρευσης και αποχέτευσης. Ωστόσο, οι κίνδυνοι της συντήρησης συνεχίζουν να λαμβάνουν περιορισμένη προσοχή και λίγη έρευνα έχει αφιερωθεί μέχρι σήμερα στις επιπτώσεις

της συντήρησης για την ασφάλεια όσων εργάζονται στο συγκεκριμένο τομέα. Οι εργασίες συντήρησης μπορούν να πραγματοποιηθούν σε μόνιμες εγκαταστάσεις (π.χ. εργαστήρια συντήρησης) με κατάλληλα μηχανήματα και εργαλεία, αλλά και όπου παρουσιάζεται η βλάβη. Σε αυτήν την τελευταία περίπτωση, συμβάντα και ατυχήματα είναι πιο συχνά, γιατί οι εργαζόμενοι συχνά χρησιμοποιούν ακατάλληλο ή αυτοσχέδιο εξοπλισμό, μπορεί να εργάζονται κάτω από πίεση χρόνου, κλπ. Επιπλέον, οι δραστηριότητες συντήρησης σπάνια λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του εξοπλισμού, με αποτέλεσμα να υπάρχουν δυσκολίες κατά την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης.

Οι συντηρητές στα αντλιοστάσια εκτίθενται σε πολλούς και ποικίλους κινδύνους κατά την εκτέλεση της εργασίας τους, λόγω των πολύ διαφορετικών δραστηριοτήτων συντήρησης, το περιβάλλον συντήρησης, τις πολλές διαφορετικές συσκευές και τον εξοπλισμό. Η συντήρηση των αντλιοστασίων καλύπτει διαφορετικές συνθήκες:

Οι συντηρητές των αντλιοστασίων συχνά εργάζονται,

A) σε εξωτερικούς χώρους που εκτίθενται σε μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες, ή σε δονήσεις, θόρυβο και χημικές ουσίες.

B) σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους που εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα θορύβου στις αντλητικές εγκαταστάσεις.

Έτσι, οι κίνδυνοι που τους απειλούν σχετίζονται κυρίως με το περιβάλλον όπου η εργασία εκτελείται, τα μηχανήματα και εργαλεία που χρησιμοποιούνται, το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιείται, τις συνθήκες εργασίας και τους χημικούς ή / και βιολογικούς παράγοντες τους οποίους οι εργαζόμενοι χειρίζονται κατά τη διάρκεια της εργασίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει ένας συνδυασμός των κινδύνων.

Οι εγκαταστάσεις αντλιοστασίων με τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα είναι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις συνδυάζουν φυσικές, χημικές ή / και βιολογικές διαδικασίες για την απομάκρυνση προσμείξεων. Οι εργαζόμενοι μπορούν να εκτίθενται σε μια σειρά επικίνδυνων ουσιών και βιολογικών παραγόντων από αυτές τις διαδικασίες. Η σύνθεση της μικροχλωρίδας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ποικίλει σε σχέση με το φάσμα των ειδών και τη συγκέντρωση των λυμάτων (παραγόντες όπως η εισροή μικροοργανισμών, χημικές ουσίες στα λύματα, οι κλιματικές συνθήκες και οι διαδικασίες επηρεάζουν αυτές τις παραμέτρους) .

Η ανάλυση παραγόντων, ως μέρος μιας μελέτης για τη διερεύνηση των συμπτωμάτων που σχετίζονται με την εργασία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, απέδωσε τρεις ομάδες των συσχετιζόμενων συμπτωμάτων:

- Συμπτώματα από το κατώτερο αναπνευστικό και το δέρμα.
- Συμπτώματα γρίπης και συστηματικά συμπτώματα.
- Συμπτώματα ανώτερου αναπνευστικού.

Τα συμπτώματα φάνηκε να είναι πιο διαδεδομένα σε εργαζόμενους που εκτίθενται σε επίπεδα ενδοτοξινών, υψηλότερα από 50 μονάδες ενδοτοξίνης ανά m^3 (EU/ m^3). Μια σημαντική σχέση δόσης-απόκρισης βρέθηκε για «συμπτώματα από το κατώτερο αναπνευστικό και το δέρμα» και «γριππώδη και συστηματικά συμπτώματα». Το συμπέρασμα ήταν ότι:

Οι εργαζόμενοι σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων ανέφεραν ένα ευρύ φάσμα συμπτωμάτων που μπορεί να σχετίζονται με την εργασία τους. Η μικροβιακή έκθεση, συμπεριλαμβανομένων των ενδοτοξινών φαίνεται να διαδραματίζει ένα κρίσιμο ρόλο [Malgorzata and Kosk-Bienko, 2010].

1.2.8 Αποτελεσματικό πρόγραμμα συντήρησης, δομή, οργάνωση και εργασία

Τα πιο αποδοτικά προγράμματα Ο & Μ ξεκινούν με μια σταθερή οργανωτική βάση. Οι επιτυχημένοι Ο & Μ επικεφαλείς των εγκαταστάσεων, γνωρίζουν ότι ακόμα και αν έχουν τον καλύτερα δυνατό / αποδοτικό εξοπλισμό, προσωπικό και λογισμικό, αν δεν υπάρχει μία καλά οργανωμένη δομή λειτουργίας και συντήρησης, τότε δεν μπορεί να μεγιστοποιηθεί το δυναμικό της επιχειρησιακής απόδοσης της εγκατάστασης.

Η διαχείριση Ο & Μ είναι ένα κρίσιμο συστατικό του συνολικού προγράμματος. Η λειτουργία διαχείρισης θα πρέπει να δεσμεύει τα διακριτά μέρη του προγράμματος σε μια συνεκτική οντότητα. Από την εμπειρία προκύπτει ότι, το συνολικό πρόγραμμα θα πρέπει να περιλαμβάνει πέντε πολύ διαφορετικές λειτουργίες που απαρτίζουν την οργάνωση: Λειτουργία, Συντήρηση, Μηχανική, Εκπαίδευση και Διοίκηση (Operations, Maintenance, Engineering, Training, and Administration- OMETA).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ενώ σε μεγαλύτερες Ο & Μ οργανώσεις αυτές οι πέντε διακριτές περιοχές (OMETA) γίνονται από σαφώς καθορισμένα τμήματα με ειδικό προσωπικό. Σε μικρότερες οργανώσεις αυτές οι λειτουργίες μπορούν να εκτελεστούν

από ένα ελάχιστο προσωπικό. Σε κάθε περίπτωση, θεωρείται απαραίτητη η ιεράρχηση.

Καλά σχεδιαζόμενα και υλοποιούμενα έργα Ο & Μ μπορούν να οδηγήσουν σε μερικές από τις πιο γρήγορες επιστροφές επένδυσης κάθε έργου που σχετίζεται με ενέργεια. Στην πραγματικότητα, δεν είναι ασυνήθιστο τα έργα Ο & Μ να δείχνουν απλά αποσβέσεις που μετρώνται σε ημέρες και όχι χρόνια. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα Ο & Μ έργα θα πρέπει να θεωρούνται ως το πρώτο μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας για τους ακόλουθους λόγους:

- Τα Ο & Μ μέτρα είναι συνήθως χαμηλού κόστους
- Τα Ο & Μ μέτρα μπορούν συχνά να επηρεαστούν, ή να ολοκληρωθούν με τη χρήση του προσωπικού της επιχείρησης.
- Τα Ο & Μ μέτρα οδηγούν σε μερικές από τις πιο γρήγορες οικονομικές αποσβέσεις της κάθε δραστηριότητας.
- Τα Ο & Μ μέτρα συνήθως ολοκληρώνονται γρήγορα και σπάνια απαιτούν το σχεδιασμό και την προσφορά δραστηριοτήτων που αφορούν σε απαραίτητα επενδυτικά σχέδια.

Ένα από τα βασικά βήματα για την εκτέλεση των έργων συντήρησης είναι η σκοπιμότητα και ο προσχεδιασμός του έργου. Οι συγκεκριμένες δράσεις επικεντρώνονται στις οικονομικές και τεχνικές λεπτομέρειες σχετικά με τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται. Συνήθως, περιλαμβάνουν εκτιμήσεις για την εξοικονόμηση της ενέργειας και των πόρων και τις συναφείς δαπάνες για να παρθούν οι τελικές αποφάσεις. Στην περίπτωση που μπορεί να εφαρμόζεται, συνίσταται να χρησιμοποιείται η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής. Επειδή πολλά έργα Ο & Μ είναι χαμηλού κόστους ή δεν συνεπάγονται κόστος, αυτό το βήμα μπορεί να επικεντρωθεί στον προγραμματισμό των διακοπών του συστήματος, στο χρόνο του προσωπικού, καθώς και τις απαραίτητες αλλαγές σε διαδικαστικά έγγραφα.

Σε κάθε περίπτωση, ο μηχανισμός οποιοδήποτε προγράμματος για επίτευξη υψηλής αποδοτικότητας έχει ως αφετηρία την καλή λειτουργία και συντήρηση (Ο & Μ). Η ύπαρξη ενός καλά δομημένου και οργανωμένου προγράμματος Ο & Μ, είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα, την επιτυχία, και την επίτευξη της λειτουργικής αποδοτικότητας. Αντιθέτως, χωρίς μια καλά αναπτυγμένη και λειτουργική οργάνωση Ο & Μ, όλα τα άλλα στοιχεία της αποδοτικότητας και της δράσης θα είναι βραχύβια και μη αποτελεσματικά.

Το δεύτερο κρίσιμο στοιχείο της λειτουργικής αποδοτικότητας είναι η κατανόηση της χρήσης της ενέργειας και των πόρων από τον εξοπλισμό και τα συστήματα και άρα η

ανάγκη για καλή καταγραφή, παρακολούθηση και αλλαγές, όποτε κρίνεται απαραίτητο. Χωρίς πληροφορίες, γενικά προκύπτει λανθασμένη εικόνα για τις λειτουργίες, τις επιδόσεις ή την αποδοτικότητα.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα δύο πρώτα στοιχεία, με μία λειτουργική δομή O & M και με μια μέθοδο για την αξιολόγηση των επιδόσεων, μέσω μέτρησης και διορθωτικών αλλαγών, ο υπεύθυνος της εγκατάστασης μπορεί να αρχίσει να δίνει προτεραιότητα σε συστήματα και σε εξοπλισμό με αξιολόγηση υπό όρους και να οδηγηθεί σε έξυπνες / προληπτικές / διορθωτικές ενέργειες, και τελικά την επίτευξη της μέγιστης δυνατής λειτουργικής αποδοτικότητας της εγκατάστασης. [Sullivan et al.,2007].

Ένα αναλυτικό εργαλείο που καταγράφει τόσο τη μηχανική όσο και την οικονομική προοπτική της διατήρησης της ενέργειας, το οποίο εισήχθη για πρώτη φορά από τον Meier το 1982, είναι η καμπύλη προσφοράς διατήρησης. Η καμπύλη αυτή δείχνει τη δυναμική εξοικονόμησης της ενέργειας ως συνάρτηση του οριακού κόστους της διατήρησης της ενέργειας (CCE-Cost of Energy Conservation), η οποία αντιπροσωπεύει τόσο το κόστος που συνδέεται με την εφαρμογή, όσο και με το κόστος που αφορά στις εργασίες συντήρησης μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας, ή τη μέτρηση και την εξοικονόμηση ενέργειας που συνδέεται με αυτή την επιλογή. Το πλεονέκτημα της χρήσης μίας καμπύλης προσφοράς διατήρησης είναι ότι παρέχει μια σαφή εικόνα, σε ένα εύκολα αντιληπτό πλαίσιο που συνοψίζει σύνθετες πληροφορίες σχετικά με τις τεχνολογίες ενεργειακής αποδοτικότητας, το κόστος τους, και το δυναμικό για την εξοικονόμηση ενέργειας. Με άλλα λόγια, το οριακό κόστος διατήρησης της Ενέργειας (CCE), περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση του συστήματος συντήρησης και λειτουργίας και μπορεί να υπολογιστεί από τις εξισώσεις (1) και (2).

$$CCE = (\text{Ετήσιο Κόστος Κεφαλαίου} + \text{Ετήσια μεταβολή στο κόστος O\&M}) / \text{Ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας} \quad (1)$$

$$\text{Ετήσιο Κόστος Κεφαλαίου} = \text{Κόστος Κεφαλαίου} \times [d / (1 - (1+d)^{-n})] \quad (2)$$

Όπου, το κόστος O & M είναι το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας σε € / έτος, η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας είναι σε kWh / y, το ετήσιο κόστος κεφαλαίου είναι σε € / y, d είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο και n είναι ο χρόνος ζωής της ενεργειακής απόδοσης μετρούμενο σε έτη (y). Η ανάλυση κόστους εξαρτάται από την ύπαρξη μιας βάσης δεδομένων που συσχετίζει κόστη με ορισμένα ανεπιθύμητα γεγονότα αποτυχίας, τα οποία με τη σειρά τους εξαρτώνται από τον εξοπλισμό των εγκαταστάσεων της διαδικασίας. Γενικά, οι δαπάνες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

(α) Σταθερό λειτουργικό κόστος (β) Μεταβλητό λειτουργικό κόστος, και (γ) μη διαθέσιμα στοιχεία του κόστους. Το σύνολο των δαπανών συντήρησης και λειτουργίας μπορεί να υπολογιστεί με το άθροισμα των εξόδων αυτών, όπως φαίνεται στην Εξίσωση (3).

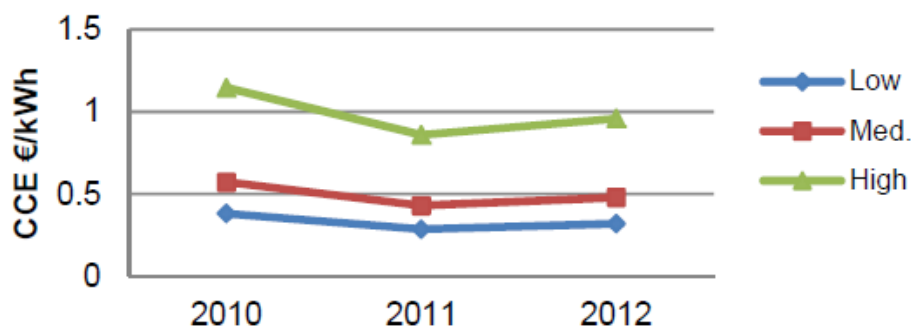
Ολικό κόστος O&M = Πάγιο κόστος + Μεταβλητό (Λειτουργικό) Κόστος + άλλο κόστος μη διαθέσιμων στοιχείων (3)

Τα πάγια κόστη Συντήρησης και Λειτουργίας (O&M) είναι ανεξάρτητα της διαδικασίας λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Στις συγκεκριμένες δαπάνες περιλαμβάνονται, γενικά, οι μισθοί των χειριστών του έργου, το κόστος της συντήρησης του εξοπλισμού, η ασφάλιση και οι φόροι. Στο Μεταβλητό Κόστος O&M περιλαμβάνονται δαπάνες που εξαρτώνται από την ποσότητα της παραγωγής, ή από την ιστορία του χρόνου λειτουργίας του εξοπλισμού. Οι δύο κατηγορίες κόστους εξαρτώνται από την πολιτική συντήρησης που εφαρμόζεται σχετικά με τον εξοπλισμό του κάθε έργου. Στο σχήμα 1.5, παρουσιάζεται ενδεικτικά μία εκτίμηση για το οριακό κόστος διατήρησης της ενέργειας (CCE) για τα έτη 2010, 2011 και το 2012 και για τρία διαφορετικά σενάρια.

Low: Η συντήρηση περιορίζεται στο βασικό επίπεδο για την υποστήριξη της λειτουργίας.

Med: Η συντήρηση είναι μέρος της ρουτίνας της λειτουργίας και περιλαμβάνει κάποιες επιπλέον προληπτικές δράσεις.

High: Η συντήρηση περιλαμβάνει τόσο δράσεις ρουτίνας, όσο και προληπτικές δράσεις [Behnouch and Demichela, 2013].

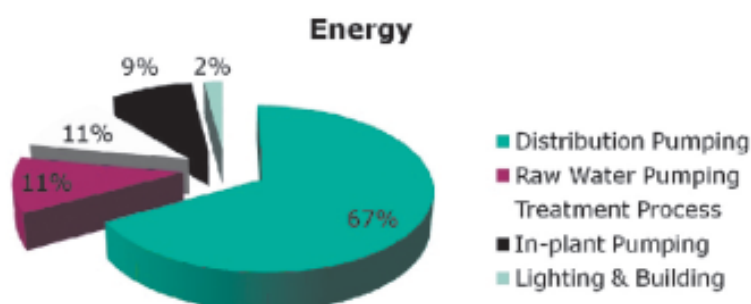


Σχήμα 1.5 : Οριακό Κόστος διατήρησης της ενέργειας σε € / kWh [Behnouch and Demichela, 2013].

1.2.9 Εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια μέσω των αντλιών/αντλητικών συστημάτων και των υποσυστημάτων τους.

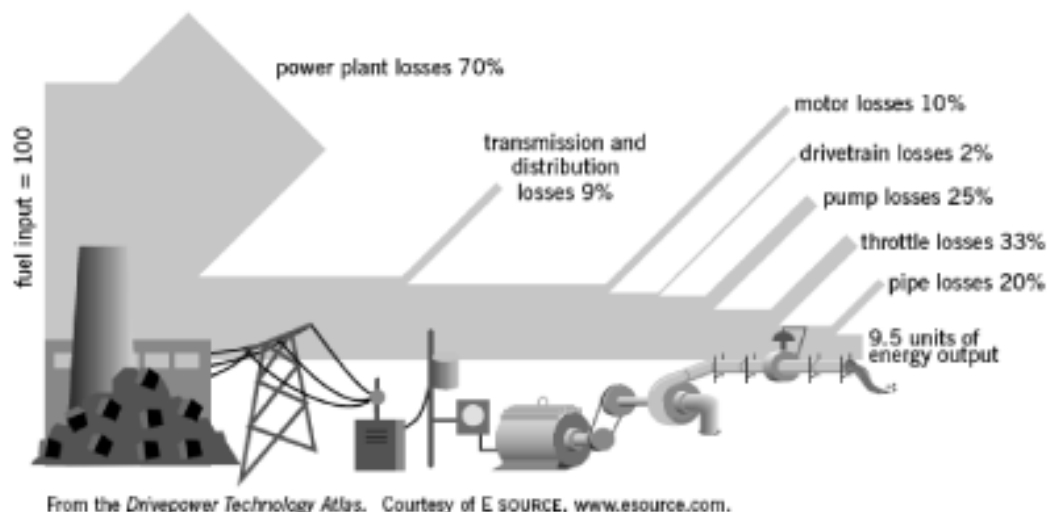
1.2.9.1 Ευέλικτα φορτία σε συστήματα της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης.

Από την εκτεταμένη έρευνα και την ανάπτυξη της βιβλιογραφίας σε παγκόσμιο επίπεδο, γνωρίζουμε ότι οι λειτουργίες επεξεργασίας νερού και λυμάτων αποτελούν το μεγαλύτερο μερίδιο στις συνολικές δημοτικές καταναλώσεις ενέργειας και συνήθως καταναλώνουν 30~50% του συνόλου της δημοτικής κατανάλωσης ενέργειας. Περίπου το 90% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού αποδίδεται στην άντληση. Τα αντλητικά συστήματα επίσης καταναλώνουν ένα μεγάλο μέρος της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μία εγκατάσταση λυμάτων. Τα αντλητικά συστήματα αντιπροσωπεύουν το 3% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η τυπική κατανομή της ισχύος σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας νερού εμφανίζεται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6 : Τυπική ενεργειακή χρήση σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας νερού [Spam and Hunsberger,2015].

Από το σχήμα 1.6, γίνεται αντιληπτό γραφικά, ότι η συντριπτική πλειοψηφία της ενέργειας χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού για αντλήσεις.



Σχήμα 1.7: Οι απώλειες ισχύος από την παραγωγή μέχρι την τελική χρήση (άντληση) σε μορφή διαγράμματος Sankey [Sparrn and Hunsberger,2015].

Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζονται με μορφή διαγράμματος Sankey, οι απώλειες ισχύος από την παραγωγή μέχρι την τελική χρήση της άντλησης.

Οι διάφορες αντλίες σε όλο το σύστημα του νερού έχουν διαφορετικούς βαθμούς απόδοσης, ανάλογα με τη διαμόρφωση του συστήματος. Σε πολλές περιπτώσεις το ακατέργαστο νερό έρχεται από απομακρυσμένες πηγές μέσα από μια σειρά δεξαμενών και δεξαμενών αποθήκευσης. Τα συστήματα αυτά έχουν ένα υψηλό επίπεδο ευελιξίας στην άντληση ακατέργαστου νερού, το οποίο μπορεί να ελεγχθεί είτε για να παρέχει ταχείας απόκρισης υπηρεσίες διανομής δικτύου ύδρευσης, όπως η ρύθμιση της παροχής, ή και μεγαλύτερης διάρκειας υπηρεσίες όπως η χωρητικότητα. Αν το ακατέργαστο νερό προέρχεται από μία κοντινή δεξαμενή, ή ποτάμι και δεν χρειάζεται να ταξιδέψει μακριά, η άντληση του μπορεί να έχει μικρότερη ευελιξία.

Η άντληση του συνολικά επεξεργασμένου νερού περιλαμβάνει την άντληση πόσιμου νερού σε δεξαμενές και για την άντληση χρειάζεται να ασκηθεί πίεση δικτύου στις γραμμές του νερού και να προωθηθεί το νερό στους τελικούς καταναλωτές. Η ενέργεια άντλησης που απαιτείται για την παροχή νερού σε δεξαμενές αποθήκευσης είναι ευέλικτη, και ήδη πολλές εταιρείες διαχείρισης υδατικών αποθεμάτων περιμένουν να αντλήσουν σε δεξαμενές αποθήκευσης το βράδυ, όταν η ζήτηση της κατανάλωσης νερού είναι μικρότερη και το φορτίο είναι δυνατόν να καλυφθεί από αντλιοστάσια με τη χρήση μίας αντλίας [Sparrn and Hunsberger,2015].

Συχνά, η αποτελεσματικότητα των αντλιοστασίων επηρεάζεται από έναν αριθμό παραγόντων που μπορεί να συνοψίζονται ως εξής:

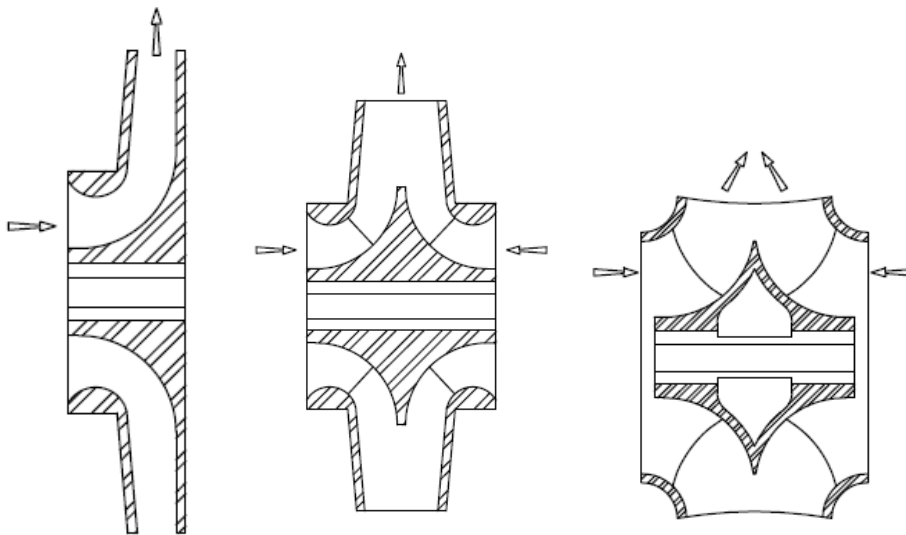
- Την επιλογή ή / και τη διαστασιολόγηση των συστατικών του βασικού συστήματος άντλησης.
- Τη σχεδίαση του συστήματος άντλησης, συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής και των δεξαμενών, τη διάταξη των σωληνώσεων και την εκκένωση .
- Τη φιλοσοφία του συστήματος ελέγχου και λειτουργίας του αντλιοστασίου.
- Τη συμπεριφορά των πτερωτών της αντλίας και των συναφών κινούμενων μερών.
- Τη συμπεριφορά των επιφανειών της αντλίας και των σωληνώσεων που βρίσκονται σε επαφή με το κινούμενο υγρό.

Κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση του αντλιοστασίου. Μπορούν επίσης να συνδυάζονται για να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα ή όχι, σε σχέση με το συνολικό άθροισμα των επιμέρους στοιχείων. Για παράδειγμα, μία κατεστραμμένη υπερμεγέθους αντλία και ένα υποδιαστασιολογημένο σύστημα σωληνώσεων συνδυαζόμενα οδηγούν σε μεγαλύτερη αναποτελεσματικότητα του συνολικού συστήματος.

Από το σύνολο των αντλιών που συναντάμε σε διάφορες εφαρμογές σήμερα, οι φυγοκεντρικές αντλίες βρίσκονται και εργάζονται ως τα συχνότερα υδροδυναμικά ηλεκτροκινούμενα συστήματα σε εφαρμογές παροχής νερού (ύδρευσης & άρδευσης) και στη διαχείριση υγρών αποβλήτων, στα αντίστοιχα δημοτικά/δημόσια συστήματα. Οι φυγόκεντρες, ή ακτινικές αντλίες χρησιμοποιούνται γενικά σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών ανύψωσης και ροής . Στα πλαίσια της λειτουργίας τους, οι παλαιότερες εγκαταστάσεις τείνουν να είναι τύπου οριζόντιας τοποθέτησης, μεγάλης διαμέτρου, και συχνά διπλής εισόδου. Αυτές οι αντλίες περιστρέφονται σε ταχύτητες, συνήθως, ανάλογες με τις απαιτήσεις ανύψωσης. Καθώς οι φτερωτές των αντλιών αναπτύσσονται πάνω από το επίπεδο εισερχόμενου νερού, συχνά απαιτείται να λειτουργεί ένα σύστημα αναρρόφησης πριν από την εισαγωγή στην αντλία (σχήματα 1.8 και 1.9).



Σχήμα 1.8: Μεγάλη ακτινική εγκατάσταση διπλής ροής σε αντλιοστάσιο όμβριων νερών (Το επάνω περίβλημα έχει αφαιρεθεί) [Environment Agency, 2012]



Σχήμα 1.9: Τυπικές διαμορφώσεις φυγοκεντρικής πτερωτής [Environment Agency, 2012]

Οι σύγχρονες φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν να διαμορφωθούν με ένα πλήθος τρόπων και μπορούν να συνδυάζονται έτσι ώστε η έξοδος από τη μία βαθμίδα της αντλίας να τροφοδοτεί την πρόσληψη ενός δεύτερου ή τρίτου σταδίου, αυξάνοντας το ύψος ανύψωσης του ρευστού. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η κατασκευή φυγοκεντρικών αντλιών, οι οποίες μπορούν ανυψώσουν το ρευστό κατά εκατοντάδες μέτρα.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες τείνουν να είναι λιγότερο ανθεκτικές ως προς τα στερεά υλικά που εισέρχονται στο ρεύμα του νερού, αν και οι αντλίες μικρότερου ύψους ανύψωσης του ρευστού υποφέρουν λιγότερο από αυτό το πρόβλημα. Είναι κοινή η διαπίστωση, ότι στα απόβλητα οι εφαρμογές μεταφοράς λυμάτων γίνονται με

φυγοκεντρικές αντλίες, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για να είναι από ανθεκτικό υλικό με σημαντική δαπάνη για την αποδοτικότητα της αντλίας.

Γενικά, οι σύγχρονες φυγοκεντρικές αντλίες λειτουργούν σε υψηλότερες ταχύτητες από ότι τα άλλα είδη αντλιών, ειδικά όταν απαιτούνται υψηλότερες πιέσεις. Οι ταχύτητες τυπικά κυμαίνονται μεταξύ 1.400 rpm και 3.000 rpm. Κατά το σχεδιασμό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ταυτιστούν οι ταχύτητες λειτουργίας της αντλίας με την εφαρμογή που επιθυμούμε, καθώς έχει ζωτική σημασία για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της αντλίας, μια και οι υψηλές ταχύτητες λειτουργίας συνήθως απαιτούν περισσότερη ισχύ και ταυτόχρονα πρέπει να ελέγχονται προκειμένου να αποφεύγονται οι απώλειες.

Επίσης, οι σύγχρονες φυγοκεντρικές αντλίες χρησιμοποιούνται συνήθως και για τη μεταφορά λυμάτων, στα οποία λύματα μπορεί να υπάρχουν μεγάλα στερεά σωματίδια. Σε αντίθεση με τις αντλίες κοχλιωτού τύπου, οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν προσφέρονται εύκολα για τη διαχείριση μεγάλων στερεών εντός των λυμάτων. Πολλές αντλίες αυτού του είδους είναι αναγκαστικά πολύ ανοιχτές, δηλαδή με μεγάλους ανοιχτούς χώρους μέσα στο κέλυφος της αντλίας και με μεγάλα ανοίγματα στο εσωτερικό του στροφείου. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα για τις μικρότερες αντλίες λυμάτων, όπου η αναλογία του ανοιχτού χώρου σε πτερωτή μέσα στο κέλυφος της αντλίας είναι υψηλότερη (όταν αναφερόμαστε σε λύματα, τα στερεά τείνουν να είναι παρόμοιου μεγέθους, ανεξάρτητα από τη ροή).



Σχήμα 1.10: Τυπική υποβρύχια εγκατάσταση αντλιών μεταφοράς (Το επάνω κάλυμμα έχει αφαιρεθεί) [Environment Agency, 2012]

Ο Πίνακας 1.2 παρουσιάζει μια σύνοψη των τύπων αντλιών που διατίθενται για εφαρμογές όπως αντιπλημμυρικά έργα ή τη μεταφορά του νερού, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ως γενική περίληψη τους. Ο πίνακας δεν

καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα αντλητικών εγκαταστάσεων, καθώς σήμερα υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι εγκατάστασης σε χρήση [Environment Agency, 2012].

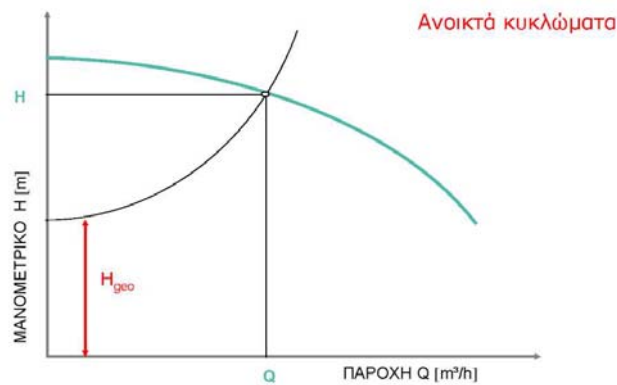
Πίνακας 1.2: Τύποι αντλιών / πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα [Environment Agency, 2012]

Τύπος Αντλίας	Τυπικά πλεονεκτήματα	Τυπικά μειονεκτήματα
Αντλία τύπου Αρχιμήδη	Ανεκτική στα στερεά ιζήματα Χαμηλή ταχύτητα λειτουργίας	Ακριβός εξοπλισμός Απαιτεί προστατευτική κάλυψη για λόγους ασφαλείας κατά τη λειτουργία της.
Αξονικής ροής & μικτής ροής	Καλή απόδοση εάν διατηρηθεί το σημείο λειτουργίας της στο βέλτιστο σημείο (BEP) Ανεκτική στα στερεά ιζήματα	Περιορισμένα μανομετρικά παράδοσης Η Αποδοτικότητα πέφτει μακριά από το BEP Η απόδοση εξαρτάται πολύ από την καλή ροή εισόδου στα ακροστόμια (intake model) Οι δοκιμές είναι σκόπιμες
Φυγοκεντρικής ροής	Ευρύ φάσμα παράδοσης παροχής Συμπαγής κατασκευή	Μικρή αντοχή στα στερεά σωματίδια Σχετικά μικρή διάρκεια ζωής Χαμηλότερη αποδοτικότητα

Γενικά, η ενεργειακή κατανάλωση των φυγοκεντρικών αντλιών μπορεί να μειωθεί μέχρι και 40%:

- > Με καλύτερο σχεδιασμό ενός συστήματος.
- > Με σωστή διαστασιολόγηση των αντλιών.
- > Με επιλογή ενεργειακά αποδοτικών αντλιών.
- > Με καλύτερο έλεγχο των συστημάτων τους.
- > Με σωστή εγκατάσταση και συντήρηση [Μποζατζίδης, 2006].

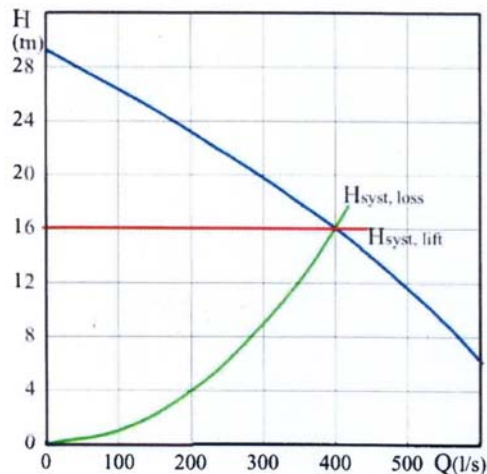
Αντικαθιστώντας τις παλιότερες και λιγότερο αποδοτικές ηλεκτρικές μηχανές (κινητήρες) με κινητήρες υψηλής απόδοσης, η κατανάλωση ενέργειας του κάθε κινητήρα μπορεί να μειωθεί μέχρι και 10%. Επιπρόσθετα της εξοικονόμησης ενέργειας, καλύτερη απόδοση σημαίνει χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας και μεγαλύτερη αξιοπιστία [ABB, 2013].



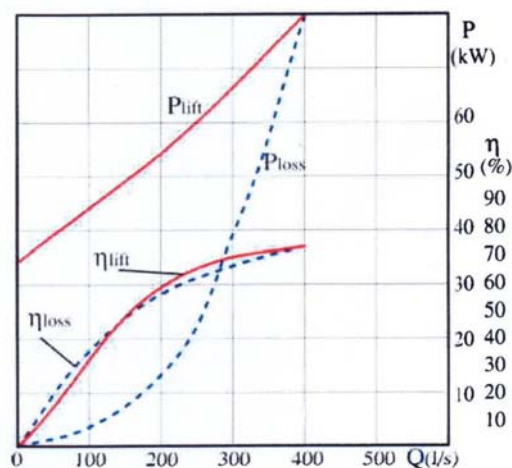
Σχήμα 1.11: Χαρακτηριστική αντλητικού συστήματος, ανοικτά κυκλώματα [Μποζατζίδης ,2006].

Σε ένα σύστημα νερού, όπως αυτό του σχήματος 1.11, η καμπύλη του συστήματος δείχνει το μανομετρικό της αντλίας που είναι απαραίτητο για να παραχθεί μια συγκεκριμένη παροχή. Το μανομετρικό, αποτελείται από δύο μέρη, το στατικό και το δυναμικό μανομετρικό. Το στατικό μανομετρικό είναι ανεξάρτητο από την παροχή, ενώ το δυναμικό μανομετρικό είναι κανονικά ανάλογο προς το τετράγωνο της παροχής. Τόσο το μανομετρικό, όσο και η παροχή της αντλίας πρέπει να ακολουθήσουν την καμπύλη του συστήματος, όταν αλλάζει η συχνότητα. Κατά τη διαδικασία αυτή, το σημείο λειτουργίας συνήθως λαμβάνει διαφορετικές θέσεις στην καμπύλη της αντλίας. Κατά συνέπεια, η απόδοση της αντλίας θα μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται η συχνότητα. Γενικά, η καμπύλη του συστήματος έχει μια κυρίαρχη επίδραση στο πώς η ενεργειακή κατανάλωση μεταβάλλεται με τη μεταβολή της συχνότητας. Μια σημαντική διαφορά μπορεί να παρατηρηθεί εάν η κατανάλωση της ενέργειας και η συνολική αποδοτικότητα υπολογίζονται κατά μήκος των καμπυλών του συστήματος των δύο διαφορετικών συστημάτων του σχήματος 1.12. Το μανομετρικό θα είναι ανάλογο με το τετράγωνο της παροχής σε ένα σύστημα χωρίς στατικό μανομετρικό και μόνο δυναμικές απώλειες. Αυτό σημαίνει ότι η υδραυλική απόδοση παραμένει ίδια, ανεξάρτητα από την παροχή. Ακόμη και αν η απόδοση του ηλεκτρικού εξοπλισμού πέφτει καθώς η συχνότητα (και η παροχή) μειώνεται, η ισχύς θα εξακολουθήσει να μειώνεται καθώς μειώνεται γρήγορα η παροχή (σχήμα 1.13). Σε ένα σύστημα μόνο με στατικό μανομετρικό η καμπύλη του συστήματος θα είναι μια οριζόντια γραμμή. Το σημείο λειτουργίας θα κινηθεί κατά μήκος της καμπύλης της αντλίας και θα προκαλέσει τη μεταβολή της υδραυλικής απόδοσης. Το πώς η ισχύς και η αποδοτικότητα μπορεί να περιγραφεί ως μια λειτουργία της παροχής, θα εξαρτηθεί στη συνέχεια από τη μορφή της καμπύλης ισχύος, ή της καμπύλης απόδοσης στην ονομαστική ταχύτητα. Η υδραυλική απόδοση θα μειωθεί καθώς η παροχή θα μειώνεται. Η μείωση ξεκινά αμέσως, αν το σημείο λειτουργίας σε πλήρη

ταχύτητα είναι προς τα αριστερά του σημείου βέλτιστης αποδοτικότητας, η υδραυλική απόδοση αρχίζει να αυξάνει ελαφρώς και στη συνέχεια μειώνεται καθώς η παροχή μειώνεται (η παροχή μειώνεται πολύ πιο γρήγορα με τη μείωση της συχνότητας). Συνεπώς, οι ηλεκτρικές απώλειες που εξαρτώνται από τη συχνότητα είναι λιγότερο σημαντικές σε αυτήν την περίπτωση. Για το λόγο αυτό, η αποδοτικότητα σε υψηλές παροχές είναι υψηλότερη σε αυτήν την περίπτωση από ότι στην περίπτωση της απώλειας.



Σχήμα 1.12 : Καμπύλες συστήματος για περίπτωση μόνο με δυναμικές απώλειες και μία περίπτωση μόνο με στατικό μανομετρικό και χωρίς απώλειες (ανύψωση) [Environment Agency, 2012].



Σχήμα 1.13 : Καμπύλες απόδοσης και ισχύος για μια αντλία που ελέγχεται η συχνότητα της στα συστήματα απωλειών και ανύψωσης του σχήματος 1.12 [Environment Agency, 2012].

Το επιθυμητό για μία αντλία, είναι να λειτουργεί στο σημείο βέλτιστης απόδοσης.

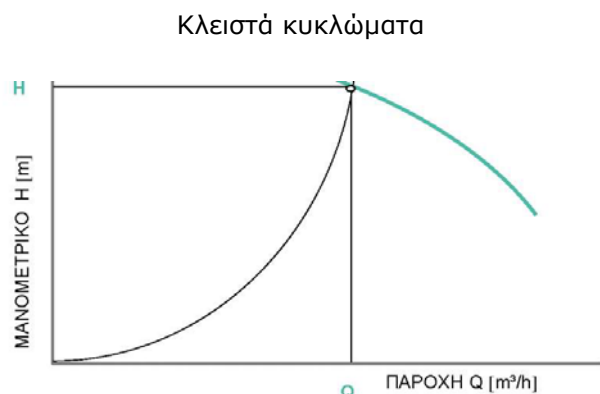
- Εάν λειτουργεί αριστερά του σημείου αυτού, δηλαδή με μικρότερη παροχή Q από αυτή που αντιστοιχεί στο μέγιστο βαθμό απόδοσης Q_0 , τότε λειτουργεί σε συνθήκες μερικής παροχής.
- Η λειτουργία αυτή εκφράζεται με το λόγο Q/Q_0 .

Στην περίπτωση του ανοιχτού κυκλώματος (και του κλειστού κυκλώματος), η χαρακτηριστική της σωληνογραμμής έχει πάντοτε θετική κλίση αφού

$$\Delta h = BQ^2 + A \Rightarrow dh/dQ = 2BQ \geq 0.$$

Για την ύπαρξη ευστάθειας σε ένα αντλητικό συγκρότημα θα πρέπει η χαρακτηριστική της αντλίας να έχει αρνητική κλίση, δηλαδή $dh/dQ < 0$. Αυτό σημαίνει ότι αύξηση της παροχής της αντλίας θα συνεπάγεται μείωση του μανομετρικού και αντίστροφα.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες έχουν αρνητική κλίση συνήθως σε όλο το εύρος λειτουργίας τους. Στις αξονικές αντλίες υπάρχει μια μικρή περιοχή λειτουργίας, σε μικρές παροχές, όπου η κλίση της χαρακτηριστικής τους είναι θετική. Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί σε ασταθή λειτουργία, διότι αν οι κλίσεις των δύο χαρακτηριστικών συμπίψουν για κάποιο εύρος παροχών, τότε η λύση (η τομή τους δηλαδή) δεν είναι μοναδική, δηλ. τέμνονται σε παραπάνω από ένα σημεία. Σε περιοχή με αρνητική κλίση της χαρακτηριστικής της αντλίας (ευσταθής περιοχή), όπως προαναφέρεται, αύξηση του μανομετρικού συνεπάγεται αυτομάτως μείωση της παροχής. Η μείωση όμως της παροχής, επιφέρει ακολούθως μείωση των απωλειών. Συνεπώς, δημιουργείται αυτομάτως ένας μηχανισμός επαναφοράς στην αρχική κατάσταση ισορροπίας του αντλητικού συγκροτήματος [Palm, 2002].



Σχήμα 1.14 : Χαρακτηριστική αντλητικού συστήματος για κλειστό κύκλωμα ($H_{st}=0$) κυκλώματα [Μποζατζίδης, 2006].

1.2.9.2 Παράμετροι βελτιστοποίησης εγκατεστημένων αντλιών

Οι ήδη εγκατεστημένες αντλίες ξεπερνούν κατά πολύ τον αριθμό των νέων αντλιών που τοποθετούνται κάθε χρόνο. Έτσι, παρουσιάζεται μεγάλο δυναμικό βελτιστοποίησης των λειτουργικών αντλητικών συστημάτων. Από την εμπειρία της Ελληνικής αγοράς υπάρχει η εκτίμηση ότι το 75% των αντλιών είναι υπερδιαστασιολογημένες. Βασικές αιτίες τις υπερδιαστασιολόγησης των αντλιών είναι:

- Επιλογή μεγάλης αντλίας για κάλυψη μελλοντικών αναγκών.
- Υπερβολική προσαύξηση συντελεστών ασφαλείας στον υπολογισμό του απαιτούμενου μανομετρικού.
- Επιλογή αντλίας για κάλυψη μέγιστου φορτίου & κακή ή ανύπαρκτη προσαρμογή σε συνθήκες μερικού φορτίου.
- Επιλογή μεγάλης αντλίας από ανάγκη επίλυσης άλλων προβλημάτων του συστήματος (υδραυλική εξισορρόπηση, διατήρηση πίεσης, περιεκτικότητα αέρα ή/και σωματιδίων στο νερό, κλπ.).

Ακολούθως, διακρίνονται οι δυνατότητες εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας στην προσπάθεια μείωσης της παροχής. Στο παράδειγμα αυτό έχουμε ένα ανοικτό σύστημα μεταφοράς νερού. Η αντλία που επιλέχθηκε μας παρέχει 420 m³/h ενώ απαιτούνται μόνο 360 m³/h. Η μείωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με :

- Στραγγαλισμό.
- By-pass.
- Μείωση διαμέτρου πτερωτής.
- Μείωση στροφών.

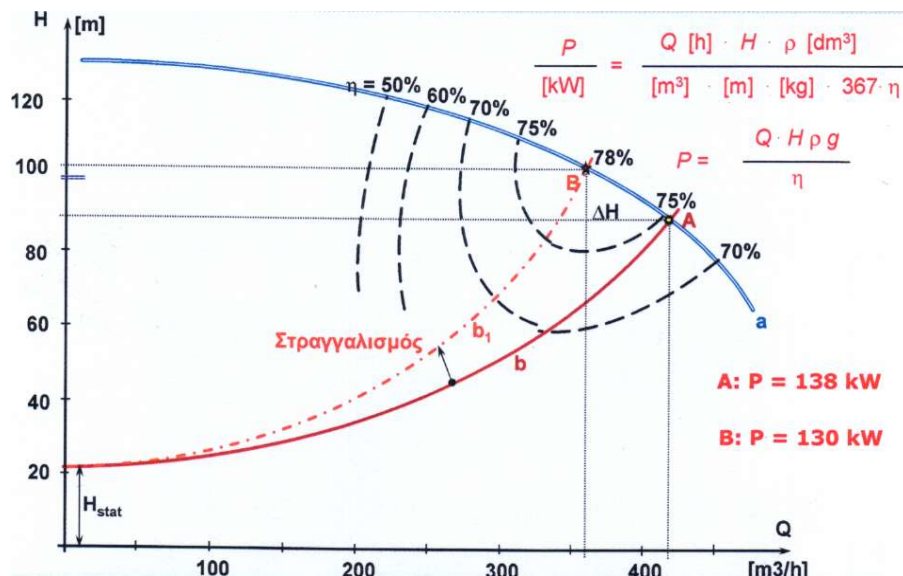
Θεωρούμε για την πυκνότητα την τιμή $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$ (νερό) και με υδραυλικό βαθμό απόδοσης $\eta = 74,5\%$ υπολογίζεται για το σημείο λειτουργίας A με παροχή $Q = 420 \text{ m}^3/\text{h}$ απαιτούμενη ισχύς κινητήρα $P = 138 \text{ kW}$ [Μποζατζίδης, 2006].

1.2.9.3 Στραγγαλισμός

Κατά τον πιο συχνά εφαρμοσμένο στραγγαλισμό τοποθετείται όργανο στραγγαλισμού στον αγωγό κατάθλιψης της αντλίας. Αυξάνει την υδραυλική αντίσταση και αλλάζει έτσι την χαρακτηριστική της εγκατάστασης (καμπύλη b1). Στο

νέο σημείο λειτουργίας B διαμορφώνεται η επιθυμητή παροχή $Q = 360 \text{ m}^3/\text{h}$ με μανομετρικό $H = 103 \text{ m}$ και $\eta = 78\%$. Η ισχύς στον κινητήρα είναι πια $P = 130 \text{ kW}$. Στην αρχική χαρακτηριστική το επιθυμητό σημείο λειτουργίας θα ήταν $Q = 360 \text{ m}^3/\text{h}$ με μανομετρικό $H = 67 \text{ m}$.

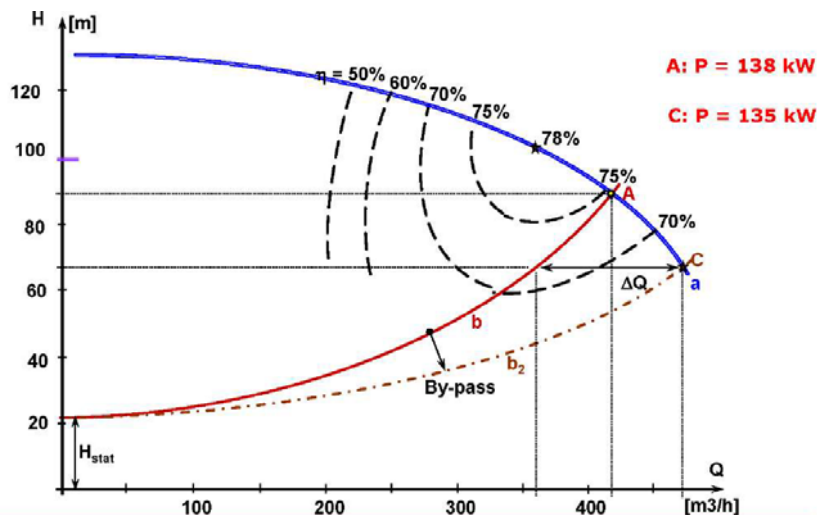
Με τον στραγγαλισμό τα επιπλέον 36 m που προκαλεί η στραγγαλιστική διάταξη αποτελούν άσκοπη σπατάλη ενέργειας.



Σχήμα 1.15 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλεί στραγγαλιστική διάταξη [Μποζατζίδης, 2006].

1.2.9.4 By-pass

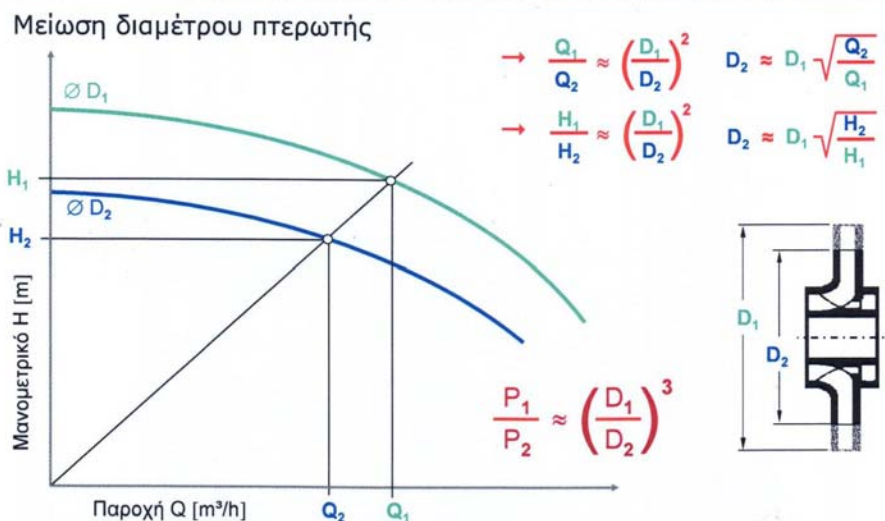
Κατά τη λειτουργία By pass ένα μέρος της παροχής οδηγείται μέσω διάταξης από την κατάθλιψη της αντλίας στην αναρρόφησή της. Η αντίσταση της εγκατάστασης μειώνεται και διαμορφώνεται η καμπύλη εγκατάστασης b_2 και το σημείο λειτουργίας C με $H = 67 \text{ m}$ και $Q = 480 \text{ m}^3/\text{h}$. Από αυτήν την παροχή μια ποσότητα $120 \text{ m}^3/\text{h}$ επιστρέφει «άχρηστη» πίσω μέσω του by-pass. Με $\eta = 65\%$ απαιτείται ισχύς κινητήρα $P = 135 \text{ kW}$.



Σχήμα 1.16 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλεί διάταξη by-pass [Μποζατζίδης, 2006].

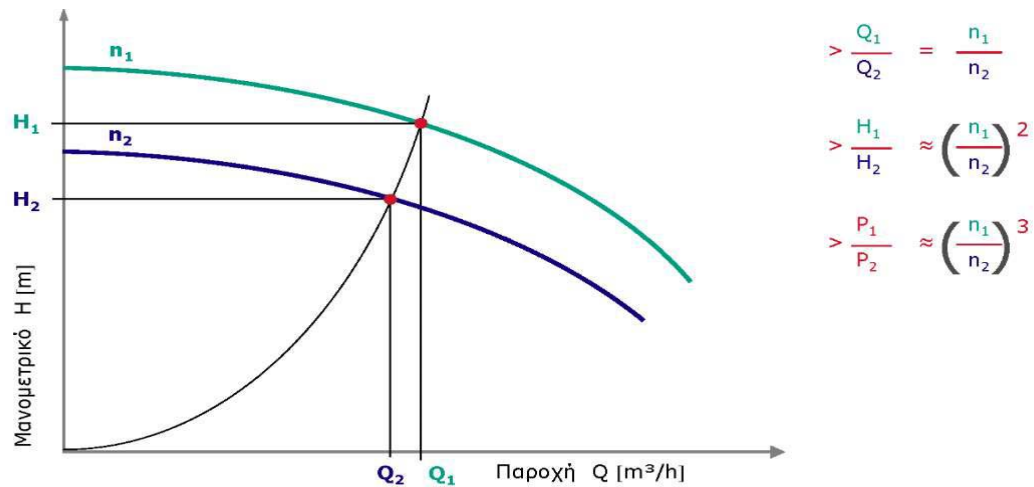
1.2.9.5 Μείωση διαμέτρου πτερωτής

Με τη μείωση της διαμέτρου της πτερωτής επηρεάζουμε τη χαρακτηριστική της αντλίας. Έτσι διαμορφώνουμε τη καμπύλη 2 και καταλήγουμε στο σημείο λειτουργίας D με $H = 67$ m και $Q = 360$ m³/h. Μειώνεται όμως ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης σε $\eta = 72\%$. Η ισχύς μειώνεται σημαντικά σε $P = 91$ kW. Ένα σημαντικό **μειονέκτημα** είναι η δυσκολία μελλοντικής αύξησης της απόδοσης της αντλίας. Επίσης, πρέπει να δοθεί προσοχή στο NPSH της αντλίας που επηρεάζεται αρνητικά.



Σχήμα 1.17 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλεί μείωση της διαμέτρου της πτερωτής [Μποζατζίδης, 2006].

1.2.9.6 Οι νόμοι αναλογίας.



Σχήμα 1.18 : Επίδραση σημείου λειτουργίας που προκαλείται από τους νόμους της αναλογίας [Μποζατζίδης, 2006].

ΠΡΟΣΟΧΗ: Ισχύουν με καλή προσέγγιση μόνο μεταξύ δύο σημείων λειτουργίας που βρίσκονται και τα δύο πάνω σε μια παραβολή στο διάγραμμα $H - Q$. Δηλαδή, σε κλειστά κυκλώματα μη μεταβαλλόμενα (με σταθερή χαρακτηριστική σωλήνωσης) [Μποζατζίδης, 2006].

1.2.10 Σημείο λειτουργίας συμπεριλαμβανομένου της μέγιστης-ελάχιστης ζήτησης

Όπως είδαμε από τα παραπάνω παραδείγματα, ανάλογα με τις παρεμβάσεις σε υφιστάμενα λειτουργούντα συστήματα, με μείωση της παροχής, επιτυγχάνουμε εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση, οι σχεδιαστές ενός αντλιοστασίου πρέπει να διασφαλίσουν ότι οι καμπύλες των αντλιών ταιριάζουν όσο είναι δυνατόν με τις απαιτήσεις των καμπυλών του συστήματος, ιδανικά σε ένα εύρος ροών, αλλά συνήθως μπορούν να λειτουργούν μέσα σε στενό εύρος των ροών πάνω από το οποίο αναμένεται να λειτουργήσει το σύστημα. Είναι επιτακτική ανάγκη οι μέγιστες και ελάχιστες ροές να είναι γνωστές, καθώς αυτό θα καθορίσει το καλύτερο και το χειρότερο σενάριο λειτουργίας για την εκάστοτε αντλία, ή το αντλητικό σύστημα. Επίσης, μεγάλη σημασία έχει η ανάγκη να είναι γνωστό το σημείο της αντλίας το οποίο είναι πιθανό να λειτουργήσει το μεγαλύτερο μέρος της ζωής της.

Μια αντλία, η οποία μπορεί να προσφέρει μια δεδομένη ροή για το 99% του χρόνου λειτουργίας της βρίσκεται στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας για τη συγκεκριμένη ροή,

ακόμη και αν αυτό σημαίνει ότι «θυσιάζει» την ικανότητα της να παροχετεύει πολύ υψηλότερες ροές κατά καιρούς.

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες υπάρχει μια μεγάλη διαφορά μεταξύ της μέσης και της μέγιστης παροχής που απαιτείται, προκύπτει ένα ισχυρό επιχείρημα για τη χρήση δύο αντλιών, καθεμίας αφιερωμένης σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας και όχι να προσπαθούμε να κάνουμε μια αντλία να λειτουργήσει και για τα δύο σημεία λειτουργίας. Μια προσέγγιση που συνηθίζεται τα τελευταία χρόνια, είναι να χρησιμοποιούμε έλεγχο μεταβλητής ταχύτητας για τη λειτουργία της αντλίας. Συνήθως, μπορούμε να επιβραδύνουμε την άντληση από την ταχύτητα υπολογισμού της μελέτης, η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτό που απαιτείται. Ενώ όμως αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση πόρων, είναι πιθανόν επίσης, ότι η λειτουργία της αντλίας σε χαμηλότερη ταχύτητα από την ταχύτητα σχεδιασμού της, θα οδηγήσει στην πτώση της αποδοτικότητας, εάν το καινούριο σημείο λειτουργίας δεν ταυτίζεται πλήρως με το αρχικό σημείο λειτουργίας της αντλίας. Γενικά αυτό δεν συνεκτιμάται από τους σχεδιαστές κατά τη φάση των υπολογισμών, με αποτέλεσμα το εξάρτημα μεταβλητής ταχύτητας να οδηγήσει στη μείωση της πραγματικής συνολικής απόδοσης της αντλίας, ή του αντλητικού συστήματος [Environment Agency, 2012].

Από τις μελέτες στον τομέα των αντλιών που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα στο πεδίο των αντλητικών συστημάτων σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας, γνωρίζουμε ότι υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ τους, η οποία αλληλεπίδραση οφείλεται τόσο σε προφανείς παράγοντες, αλλά και σε άλλους μικρότερους. Συνήθως, το σύνολο των παραγόντων υπολογισμού δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τη φάση του σχεδιασμού και υπολογισμού του βέλτιστου σημείου λειτουργίας της αντλίας ή του αντλητικού συστήματος. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, κυρίως, είναι η ελλιπής γνώση των σχεδιαστών τόσο της ίδιας της θεωρίας των υπολογισμών, αλλά επίσης και η άγνοια των περιβαλλοντικών και των λοιπών συνθηκών στις οποίες το αντλητικό συγκρότημα, ή η αντλία καλείται να λειτουργήσει.

Η τυπική προσέγγιση που συνήθως ακολουθείται κατά το σχεδιασμό των αντλητικών συστημάτων συμπεριλαμβάνει τους ακόλουθους παράγοντες:

- ❖ Ελάχιστη παροχή ροής αντλιοστασίου
- ❖ Μέση παροχή ροής αντλιοστασίου
- ❖ Μέγιστη παροχή ροής αντλιοστασίου
- ❖ Είδος υγρού που αντλείται
- ❖ Ολικό δυναμικό μανομετρικό

❖ Διαθέσιμες αντλίες

Το ολικό δυναμικό μανομετρικό καθορίζεται από έναν αριθμό παραγόντων οι οποίοι περιλαμβάνουν, απώλειες τριβής του συστήματος, διαφορές στατικού μανομετρικού, θερμοκρασία νερού, ηλικία και συνθήκες σωληνώσεων (και μελλοντικές συνθήκες) και έλεγχο ροής.

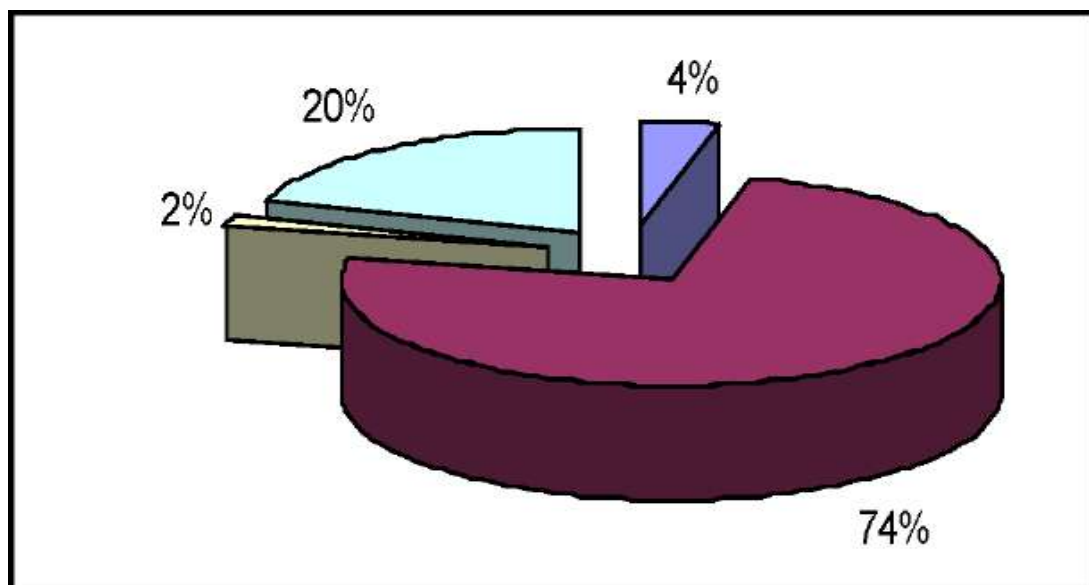
Συνήθως, τα αντλιοστάσια σχεδιάζονται βάσει των συνθηκών στη μέγιστη παροχή ροής του αντλιοστασίου. Δυστυχώς, αυτή η προσέγγιση επικεντρώνεται σε συνθήκες οι οποίες απαντώνται μόνο στο 1% των περιπτώσεων. Στο υπόλοιπο 99% των περιπτώσεων, το σύστημα λειτουργεί κάτω από διαφορετικές συνθήκες, έτσι αυτή η σχεδιαστική προσέγγιση οδηγεί σε πολύ χαμηλές αποδόσεις κατά τη μεγαλύτερη περίοδο της λειτουργίας.

Επιπλέον, η συγκεκριμένη προσέγγιση στο σχεδιασμό και στην κατασκευή αντλιοστασίων, οδηγεί επίσης σε συντηρητικό υπολογισμό αντλιών. Η μοντελοποίηση του συστήματος διανομής προσθέτει ένα επίπεδο συντηρητισμού-ασφαλείας (προσαυξάνοντας τους συντελεστές ασφαλείας κατά τους υπολογισμούς), ο σχεδιαστής προσθέτει επίσης ένα επίπεδο συντηρητισμού και τελικά, ο κατασκευαστής των αντλιών προσθέτει συνήθως ένα επιπλέον επίπεδο συντηρητισμού. Η συγκεκριμένη προσέγγιση, τυπικά, καλύπτει τη διανομή της μέγιστης ποσότητας νερού χωρίς περαιτέρω προβλήματα, ωστόσο οδηγεί σε χαμηλή αποδοτικότητα κατά τη διάρκεια της συνήθους λειτουργίας. Σε πολλές περιπτώσεις, οι συνθήκες σχεδιασμού στη μέγιστη παροχή ροής του αντλιοστασίου δεν θα εμφανιστεί για μια χρονική διάρκεια πέντε έως δέκα ετών, ή και περισσότερο.

Ένας από τους τρόπους να διευθετήσουμε αυτή τη διαφορά μεταξύ της παραδοσιακής μεθόδου σχεδιασμού και μίας ενεργειακά αποδοτικής σχεδιαστικής προσέγγισης είναι να ερευνήσουμε τις συνθήκες στο σύνολο του εύρους λειτουργίας και να δώσουμε έμφαση στη μέση ή στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Είναι κρίσιμο να κατανοήσουμε το εύρος των παροχών και των μανομετρικών που εμφανίζονται σε συνδυασμό μεταξύ τους, προκειμένου να πετύχουμε έναν ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό. Στην πάροδο του χρόνου, η χρήση των οδηγών μεταβλητής συχνότητας (VFD) μας παρείχε ένα πολύ καλό μέσο για λειτουργική μεταβλητότητα, όμως παράλληλα υπήρξε ένα εργαλείο το οποίο ουσιαστικά «μοντελοποίησε», αλλά δεν εξορθολόγησε τους σχεδιασμούς και ταυτόχρονα μείωσε την ενεργειακή αποδοτικότητα των αντλιοστασίων.

Συχνά, πιστεύεται ότι η τοποθέτηση μεγάλου μεγέθους αντλιών δεν οδηγεί σε καμία απώλεια επιδόσεων ή σε αυξημένο λειτουργικό κόστος, καθώς μία μεγάλου μεγέθους αντλία θα τείνει γενικά να λειτουργεί για λιγότερο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, αυτό

δεν ισχύει πάντα, καθώς οι υψηλότεροι ρυθμοί ροής μπορούν να αυξήσουν τις απώλειες τριβής σε αγωγούς και ως εκ τούτου συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας. Περαιτέρω, το κόστος μπορεί να σχετίζεται με αυξημένες απαιτήσεις παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και μεγαλύτερες απαιτήσεις για τα συστήματα ελέγχου. Εφαρμογές στα συστήματα της βιομηχανίας νερού (που τείνουν να λειτουργούν συνεχώς όλο το χρόνο) εμφανίζουν αυξημένα λειτουργικά κόστη. Ωστόσο, το σχήμα 1.19 με σαφήνεια αποδεικνύει ότι, αν οι πιο αποδοτικές αντλίες δεν έχουν επιλεγεί στην αρχή, χάνεται με αυτόν τον τρόπο η ευκαιρία να συνεισφέρουν στον αειφόρο σχεδιασμό [Environment Agency, 2012].



Στοιχείο κόστους	Συμβολή σε ολόκληρο το κόστος ζωής (%)
Κόστος απόκτησης	4
Βασικά ενεργειακά κόστη	74
Πρόσθετα ενεργειακά κόστη	2
Κόστος συντήρησης	20

Σχήμα 1.19: Thames Water 'Κύκλος ζωής Μοντέλων Κόστους' [Environment Agency, 2012].

Από τις μέχρι σήμερα έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, γνωρίζουμε ότι ο σχεδιασμός ενός αντλιοστασίου εξαρτάται από την ικανότητα μας να κατανοούμε τις συνθήκες λειτουργίας και να εξειδικεύουμε το σχεδιασμό ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του συστήματος. Για παράδειγμα, ένα σύστημα όπου το ολικό δυναμικό μανομετρικό αλλάζει δραστικά από το καλοκαίρι μέχρι το χειμώνα, ίσως απαιτεί αντλίες με ένα μεγαλύτερο εύρος υψηλότερων αποδόσεων και τη χρήση

μεταβλητών οδηγών συχνότητας (VFD). Εάν η καμπύλη μανομετρικού του συστήματος (η οποία μεταβάλλεται με πτώση της πίεσης καθώς αυξάνεται η παροχή) είναι ευθεία και δεν εξαρτάται από την παροχή που καταθλίβεται από το αντλιοστάσιο, ή το στατικό μανομετρικό στην αναρρόφηση και η εκκένωση δεν αλλάζει στην πάροδο του χρόνου, τότε οι αντλίες με το σημείο λειτουργίας της καλύτερης απόδοσης και οι κινητήρες σταθερής ταχύτητας θα είναι η καλύτερη εφαρμογή από τη σκοπιά της ενεργειακής απόδοσης. Ένα από τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στο σχεδιασμό του αντλιοστασίου και στην επιλογή της αντλίας είναι το μέγεθος της ειδικής ταχύτητας [Reinbold and Hart, 2010].

Η ειδική ταχύτητα είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη γεωμετρία μίας πτερωτής σε μία αντλία. Οι προμηθευτές, κατασκευαστές ή οι ειδικοί για την επιλογή μίας συγκεκριμένης αντλίας για κάποια εξειδικευμένη εφαρμογή, μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις συγκεκριμένες πληροφορίες για την ταχύτητα για να τους βοηθήσει να αποκτήσουν χρήσιμες παραμέτρους για τους ακόλουθους σκοπούς:

- ❖ Επιλογή του σχήματος της καμπύλης της αντλίας.
- ❖ Καθορισμός της αποτελεσματικότητας της αντλίας.
- ❖ Πρόβλεψη κινητικών προβλημάτων υπερφόρτωσης.
- ❖ Πρόβλεψη απαιτήσεων για καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSH)
- ❖ Επιλογή της αντλίας χαμηλότερου κόστους για την εφαρμογή .

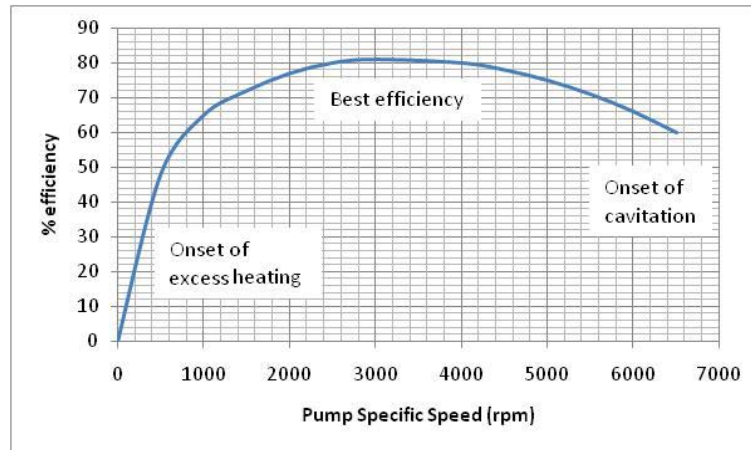
Η συγκεκριμένη ταχύτητα (N_s) ορίζεται ως "η ταχύτητα μιας ιδανικής αντλίας γεωμετρικά παρόμοια με την πραγματική αντλία, η οποία όταν λειτουργεί σε αυτή την ταχύτητα θα αυξήσει μια μονάδα όγκου, σε μία μονάδα του χρόνου μέσω μιας μονάδας ανύψωσης του ρευστού".

Συγκεκριμένα η ταχύτητα (N_s) = $N Q^{0.5} / H^{0.75}$ όπου,

N = ταχύτητα της αντλίας σε στροφές ανά λεπτό (rpm).

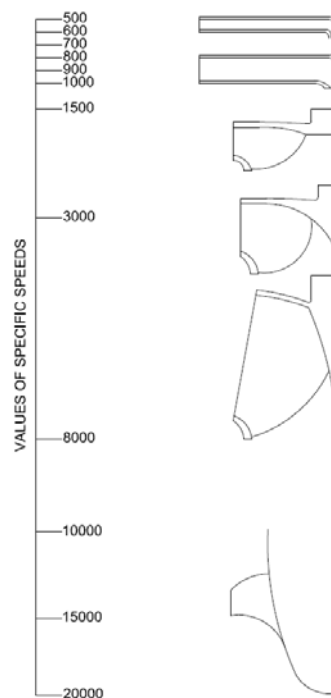
Q = παροχή σε λίτρα ανά λεπτό (για ένα ή δύο πτερωτές αναρρόφησης).

H = συνολική δυναμική ανύψωσης ρευστού (μανομετρικό) σε μέτρα.



Σχήμα 1.20: Παράδειγμα καμπύλης απόδοσης αντλίας σε σχέση με την ειδική ταχύτητα [Environment Agency, 2012].

Το σχήμα 1.20 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ των ειδικών ταχυτήτων και την αποδοτικότητα της αντλίας. Γενικά, η απόδοση αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ειδική ταχύτητα (N_s). Η Ειδική ταχύτητα σχετίζεται επίσης με το σχήμα της καμπύλης απόδοσης της αντλίας, καθώς περιγράφει το μανομετρικό, την ικανότητα, την κατανάλωση ενέργειας και την απόδοση [[Environment Agency, 2012].



Σχήμα 1.21: Διατομές τύπων πτερωτής αντλίας [Environment Agency, 2012].

Αν κάποιες μονάδες αντικαθίστανται για τα μεγέθη της ροής και του υψομέτρου (στατικό μανομετρικό), η αριθμητική τιμή της N_s θα ποικίλλει. Η ταχύτητα μετράται

πάντοτε σε στροφές ανά λεπτό (rpm). Ο υπολογισμός για την εξαγωγή συγκεκριμένων ταχυτήτων από διαφορετικές μονάδες μπορούν να συνοψιστούν ως εξής.

- Βρετανικό σύστημαQ = Imp. GPM and H = feet. Η τιμή για το $N_s = 1.5$
- Μετρικό σύστημα.....Q = m³/hour and H = meters. Η τιμή για το $N_s = 1.9$

Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του παράγοντα N_s και στα δύο συστήματα μονάδων τόσο στο μετρικό όσο και στο σύστημα US :

- Q= 110 l/s or 396 m³/ h, ή 1744 GPM
- H = 95 meters, ή 312 feet
- Ταχύτητα = 1450 rpm

Χρησιμοποιώντας l/s: $N_s = 1450 \times (110)^{0.5} / 95^{0.75} = 500$

Εναλλακτικά, χρησιμοποιώντας m³/h: $N_s = 1450 \times (396)^{0.5} / 95^{0.75} = 948$

Χρησιμοποιώντας GPM και feet: $N_s = 1450 (1744)^{0.5} / 312^{0.75} = 816$

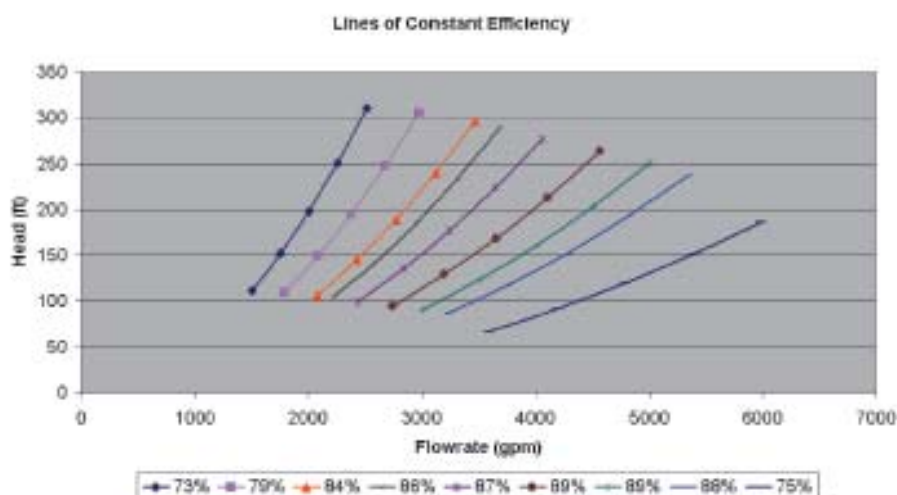
Αν τα παραπάνω αποτελέσματα περιγράφουν μία πραγματική εφαρμογή με χαμηλή συγκεκριμένη ταχύτητα, η λύση της αντλίας ακτινικής ροής, θα οδηγούσε σε μία μεγάλη αντλία με χαμηλή απόδοση. Πηγαίνοντας στις 2900 rpm ή υψηλότερα θα ανέβαζε την τιμή του συντελεστή N_s σε 1000 ή περισσότερο, που σημαίνει μια μικρότερη αντλία με πολύ υψηλότερη απόδοση. Η χρήση μιας μικρότερης αντλίας σε αυτήν τη σημαντικά υψηλότερη ταχύτητα, θα επέφερε πιθανότατα και άλλες συνέπειες (τόσο θετικές όσο και αρνητικές), οι οποίες θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τα εξής:

- Η υψηλότερη απόδοση θα επέτρεπε στο χρήστη να χρησιμοποιήσει λιγότερο ισχυρό κινητήρα, το οποίο θα μείωνε τα λειτουργικά κόστη.
- Η σχετική υλικοτεχνική υποδομή πχ καλωδίωση, θα μπορούσε να μειωθεί.
- Μία μικρότερη αντλία χρησιμοποιεί φτηνότερα ανταλλακτικά. Δηλαδή, ένας μικρότερης διαμέτρου άξονας οδηγεί σε χαμηλότερα κόστη μικροϋλικών.
- Η σπηλαίωση μπορεί να εμφανιστεί ως πρόβλημα, καθώς η αύξηση της ταχύτητας μπορεί να οδηγήσει σε μια απαίτηση αύξησης του NPSH.
- Εάν αντλούμε ένα υγρό που προκαλεί αποξέσεις, τότε θα εμφανιστούν αποξέσεις και διάβρωση, οι οποίες θα αυξάνουν με την αύξηση της ταχύτητας.
- Πολλά μηχανικά μέρη των αντλιών, έχουν προβλήματα όταν λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες.

- Η υψηλή θερμότητα είναι ένας συχνός λόγος αποτυχίας των ρουλεμάν. Οι υψηλότερες τιμές ταχύτητας των αντλιών συμβάλλουν στο πρόβλημα.

Το παραπάνω σχήμα 1.20 δείχνει με ποιο τρόπο παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ συγκεκριμένων ταχυτήτων και της αποδοτικότητας της αντλίας. Γενικά η απόδοση αυξάνει, όταν αυξάνει και η N_s . Η συγκεκριμένη ταχύτητα επίσης συσχετίζει το σχήμα της καμπύλης λειτουργίας της αντλίας, καθώς περιγράφει την ανύψωση (μανομετρικό) τη χωρητικότητα, την ισχύ και την αποδοτικότητα.

Υψηλές τιμές της ειδικής ταχύτητας (N_s) δείχνουν περισσότερο χαρακτηριστικά αξονικών παροχών (δημιουργία παροχών), ενώ χαμηλότερες τιμές της ειδικής ταχύτητας δείχνουν περισσότερο χαρακτηριστικά ακτινικών παροχών (δημιουργία πιέσεων). Γενικά, η αποδοτικότητα στο σημείο βέλτιστης λειτουργίας αυξάνεται, καθώς η ειδική ταχύτητα (N_s) αυξάνεται. Επίσης, καθώς η ειδική ταχύτητα (N_s) αυξάνεται, η κλίση της καμπύλης της αντλίας αυξάνεται. Τέλος, καθώς η ειδική ταχύτητα (N_s) μειώνεται, το εύρος της παροχής των υψηλότερων αποδόσεων, αυξάνει για την αντλία. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μπορούν να βοηθήσουν το σχεδιαστή μηχανικό για την προσαρμογή του αντλιοστασίου για ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό. Το σχήμα 1.22 δείχνει την επίδραση των αλλαγών στην ειδική ταχύτητα στους συγκεκριμένους παράγοντες. Το κόστος λειτουργίας μιας αντλίας για 20 έτη, τυπικά, αποσβένει κατά πολύ το κεφαλαιουχικό κόστος της αντλίας.



Σχήμα 1.22: Σχεδιασμός γραμμών σταθερής απόδοσης μιας αντλίας [Environment Agency, 2012].

Το ακόλουθο παράδειγμα παρουσιάζει ένα πρόβλημα στο οποίο το σημείο σχεδιασμού της παροχής είναι 5373 gpm, το ολικό δυναμικό μανομετρικό είναι 280 feet και η ισχύς λειτουργίας είναι 500 HP.

Το κεφαλαιουχικό κόστος της αντλίας ήταν \$65000, η τιμή μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας την τρέχουσα περίοδο ήταν \$0.05 /kW, και η αντλία λειτουργούσε 24 ώρες/ημέρα για 7 μέρες/εβδομάδα, με αποτέλεσμα το κόστος λειτουργίας για μια περίοδο 20 ετών να είναι \$1.89 εκατομμύρια δολάρια. Το κόστος της ισχύος συσχετιζόμενο με τη λειτουργία της αντλίας ανέρχεται σε 30 φορές περισσότερο από το κόστος κεφαλαίου αγοράς της αντλίας. Αυτό αντιστοιχεί περίπου σε \$ 24500 δολάρια, ανά σημείο υδραυλικής απόδοσης της αντλίας.

Συνήθως, κατά την έρευνα μας στην αναζήτηση κάποιας αντλίας που να καλύπτει τις επιθυμητές ανάγκες μας, βρίσκουμε τουλάχιστον τρεις διαφορετικές αντλίες στις οποίες τα μεταξύ τους σημεία λειτουργίας βρίσκονται αρκετά κοντά. Προκειμένου να προβούμε στην αγορά της αντλίας θα πρέπει να συγκρίνουμε τις αντλίες χωρίς τη θεώρηση της διαφοράς της αποδοτικότητας τους. Ως σχεδιαστές, θα πρέπει να στοχεύουμε στην αξιολόγηση της κάθε αντλίας βασιζόμενοι στην καθαρή παρούσα αξία της αντλίας στο σύνολο της διάρκειας ζωής της. Θεωρητικά, θα πρέπει να γίνει η παραδοχή ότι το κόστος της κάθε αντλίας δεν συσχετίζεται με την ενεργειακή αποδοτικότητα της αντλίας, έτσι τυπικά, ο ιδιοκτήτης δεν θα πρέπει να επιβαρυνθεί με επιπλέον ποσό αγοράς εξαιτίας της αυξημένης αποδοτικότητας της αντλίας.

1.2.11 Μεταβολή στροφών αντλίας

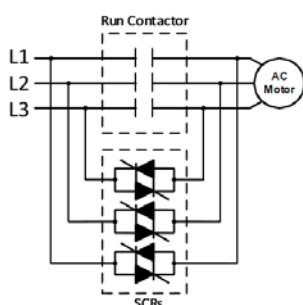
1.2.11.1 soft starter

Κατά την επιτάχυνση ενός κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος σε πλήρη ταχύτητα, χρησιμοποιώντας μια πλήρης σύνδεση της τάσης, μπορεί να απαιτηθεί ένα μεγάλο ρεύμα εκκίνησης. Επιπλέον, η ροπή του ηλεκτροκινητήρα είναι ως επί το πλείστον ανεξέλεγκτη και μπορεί να προκαλέσει κρουστικές φορτίσεις στο συνδεδεμένο εξοπλισμό, προκαλώντας ενδεχομένως ζημιά. Οι μετατροπείς συχνότητας και τα μειωμένης τάσης «soft starter» μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση του ρεύματος εκκίνησης και του ορίου ροπής, προστατεύοντας έτσι τον ακριβό εξοπλισμό και παράλληλα να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής του κινητήρα και των συσκευών ζεύξης. Η επιλογή ανάμεσα σε μία συσκευή μεταβλητής ταχύτητας (VFD) και ένα «soft starter» συχνά εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής, τις μηχανικές απαιτήσεις του συστήματος, και το κόστος (τόσο για την αρχική εγκατάσταση, όσο και για τον κύκλο ζωής του συστήματος).



Σχήμα 1.23: Παραδείγματα soft starter στερεάς κατάστασης [Behnouth and Demichela, 2013]

Ένα «soft starter» (ομαλός εκκινητής) μειωμένης τάσης, βοηθά στην προστασία του κινητήρα και το συνδεδεμένο εξοπλισμό από βλάβες ελέγχοντας την τάση στους ακροδέκτες. Το φαινόμενο αυτό, περιορίζει το ρεύμα εκκίνησης και μειώνει τη μηχανική καταπόνηση που σχετίζεται με την εκκίνηση του κινητήρα και παρέχοντας ταυτόχρονα μια πιο σταδιακή αύξηση της ταχύτητας μέχρι τη μέγιστη τιμή. Τα «soft starter» επίσης, είναι ευεργετικά για τα ηλεκτρικά συστήματα με περιορισμένη ικανότητα ρεύματος, καθώς όταν χρησιμοποιούμε ένα «soft starter» για την εκκίνηση ενός κινητήρα, περιορίζεται το ρεύμα εκκίνησης. Με σταδιακή αύξηση της τάσης στους ακροδέκτες του ηλεκτροκινητήρα, το «soft starter» παράγει μια πιο οργανωμένη επιτάχυνση στον κινητήρα μέχρι να αναπτυχθεί η πλήρης ταχύτητα. Τα «soft starter» επίσης είναι ικανά να παρέχουν μια σταδιακή μείωση της ταχύτητας μέχρι να σταματήσει ο κινητήρας, με σταδιακή ομαλότητα, αφού μια ξαφνική διακοπή μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο συνδεδεμένο εξοπλισμό.



Σχήμα 1.24: «soft starter» στερεάς κατάστασης, κύριο διάγραμμα κυκλώματος [Behnouth and Demichela, 2013].

Τα συγκεκριμένα, «soft starter», χρησιμοποιούν συσκευές ημιαγωγών για να μειώσουν προσωρινά την τάση ακροδεκτών του ηλεκτροκινητήρα. Αυτό παρέχει έλεγχο του ρεύματος του κινητήρα, καθώς μειώνεται το ρεύμα εισροής και περιορίζεται η ροπή του άξονα. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με βάση τον έλεγχο της τάσης ακροδεκτών του ηλεκτροκινητήρα για δύο, ή τρεις φάσεις. Περιορίζοντας την τάση στον κινητήρα, παρέχεται μια μειωμένη ροπή για να ξεκινήσει η φόρτιση πιο σταδιακά. Τα «soft starter» συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου:

- Ο έλεγχος της αυξομείωσης της ταχύτητας και ο έλεγχος της ροπής είναι επιθυμητά κατά την έναρξη, ή τη διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα.
- Τα υψηλά ρεύματα εκκίνησης που αναπτύσσει ένας μεγάλος κινητήρας πρέπει να περιορίζονται, για να αποφεύγονται προβλήματα στο δίκτυο παροχής ενέργειας ή επιβαρύνσεις από ποινές λόγω κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.
- Μια σταδιακά ελεγχόμενη αυξομείωση της ταχύτητας είναι απαραίτητη για να αποφευχθούν οι αιχμές ροπής και εντάσεις στο μηχανικό σύστημα που συνδέεται με τον υπόλοιπο εξοπλισμό της εκκίνησης (π.χ. μεταφορείς, σύνδεσμοι, κλπ).
- Επιθυμούμε να αποφύγουμε μεταβολές πίεσης ή κρουστικές δυνάμεις στα συστήματα σωληνώσεων, όταν οι αλλαγές του ρευστού επιταχύνουν πάρα πολύ γρήγορα.

Τα «soft starter» είναι συχνά η πιο οικονομική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν μόνο έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής κατά την εκκίνηση του κινητήρα. Επιπρόσθετα, είναι συχνά η ιδανική λύση για εφαρμογές όπου δεν υπάρχει πολύ χώρος για τοποθέτηση, μια και συνήθως καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο από τα συγκρίσιμα συστήματα μετάδοσης μεταβλητής συχνότητας (VFD) [Μποζατζίδης ,2006].

1.2.11.2 VFD - μονάδα μετάδοσης μεταβλητής συχνότητας

Μια μονάδα μετάδοσης μεταβλητής συχνότητας (VFD) είναι μία συσκευή ελέγχου που προστατεύει και ελέγχει την ταχύτητα ενός επαγωγικού ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).



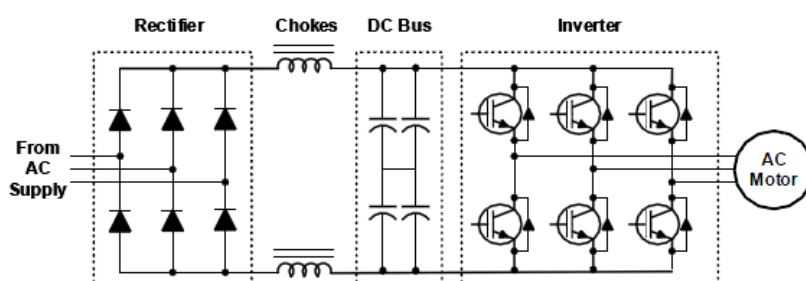
Σχήμα 1.25: Παραδείγματα τυπικών μονάδων VFD [Behnoush and Demichela, 2013].

Ένα VFD μπορεί να ελέγξει την ταχύτητα του κινητήρα κατά την διάρκεια του κύκλου εκκίνησης και τερματισμού, καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας. Οι οδηγοί μεταβλητής συχνότητας αναφέρονται επίσης ως οδηγοί ρυθμιζόμενης συχνότητας (AFD).

Τα συστήματα μετάδοσης μεταβλητής συχνότητας χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, κατά τις οποίες απαιτείται πλήρης έλεγχος της ταχύτητας, απαιτείται προσαρμοσμένος έλεγχος και η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ένας στόχος.

Τα VFD μετατρέπουν τη σταθερή συχνότητα και την ισχύ εισόδου τάσης σε ρυθμιζόμενη συχνότητα και πηγή τάσης, για τον έλεγχο της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων του εναλλασσόμενου ρεύματος. Η συχνότητα της ισχύος που εφαρμόζεται σε έναν κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος καθορίζει την ταχύτητα του κινητήρα, με βάση την ακόλουθη εξίσωση: $N=120f/p$

Όπου N = ταχύτητα (rpm) , f = συχνότητα, p = αριθμός πόλων κινητήρα



Σχήμα 1.26: VFD, κύριο διάγραμμα κυκλώματος [Behnoush and Demichela, 2013].

Για τις συσκευές ισχύουν τα στοιχεία :

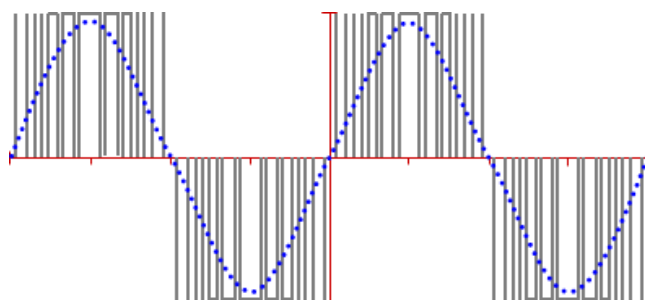
Παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC): Προέρχεται από την εγκατάσταση του δικτύου ρεύματος (συνήθως 208V, 230V, 480V, 575V, 690V / 50 Hz AC).

Ανορθωτής: Μετατρέπει (διορθώνει) το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα.

Διακόπτης και δίαυλος συνεχούς ρεύματος (DC): Συνεργάζονται για να εξομαλύνουν το ανορθωμένο συνεχές ρεύμα και να παρέχουν καθαρό, συνεχές ρεύμα στο μετατροπέα με χαμηλή περιεκτικότητα αρμονικών.

Inverter: Χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα (DC) από το δίαυλο DC και περιορίζει τα ημιτονοειδή κύματα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) χρησιμοποιώντας μία τεχνική διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM ή Pulse Width Manipulation).

Διαμόρφωση εύρους παλμού (PWM): Αλλάζει τους ημιαγωγούς μετατροπέα σε διάφορα πλάτη και φορές που, όταν λάβουμε το μέσο όρο, δημιουργείται μία ημιτονοειδής κυματομορφή.



Σχήμα 1.27: Παλμός με διαμορφωμένη κυματομορφή [Behnoush and Demichela, 2013].

1.2.11.3 Οφέλη από τη χρήση ενός VFD

Απόδοση

- Πλήρως ρυθμιζόμενη ταχύτητα (σε αντλίες, μεταφορείς, ανεμιστήρες, κλπ).
- Ελεγχόμενη εκκίνηση, διακοπή, και η επιτάχυνση.
- Δυναμικός έλεγχος ροπής.
- Παρέχει ομαλή κίνηση για εφαρμογές όπως ανελκυστήρες και κυλιόμενες σκάλες.
- Διατηρεί την ταχύτητα του εξοπλισμού, πραγματοποιώντας οδηγήσεις ιδανικές για την κατασκευή εξοπλισμού και βιομηχανικού εξοπλισμού, όπως μίξερ, μύλοι και θραυστήρες.

Πολυχρηστικότητα

- Αυτο-διάγνωση και επικοινωνία.

- Προηγμένη προστασία υπερφόρτωσης.
- Τύπου PLC- λειτουργικότητα και λογισμικό προγραμματισμού.
- Ψηφιακές είσοδοι / έξοδοι (DI / DO-Digital input/Digital Output).
- Αναλογικές είσοδοι / έξοδοι (AI / AO-Analogue input/ Analogue Output).
- Έξοδοι σε ρελέ.

Εξοικονόμηση ενέργειας

- Μειώνει την αιχμή της ζήτησης ενέργειας
- Μειώνει το ρεύμα όταν δεν απαιτείται [Behnoush and Demichela, 2013].

Οι συσκευές VFD προσφέρουν τα μέγιστα στην εξοικονόμηση ενέργειας για μηχανισμούς όπως είναι οι ανεμιστήρες και οι αντλίες. Η μέθοδος ρυθμιζόμενης ροής αλλάζει την καμπύλη ροής και μειώνει δραστικά τις απαιτήσεις ισχύος. Ο φυγοκεντρικός εξοπλισμός (π.χ. ανεμιστήρες, αντλίες και συμπιεστές) ακολουθεί ένα γενικό σύνολο νόμων ομοιότητας ταχύτητας. Οι νόμοι της αναλογίας καθορίζουν τη σχέση ανάμεσα σε ένα σύνολο μεταβλητών. Στην περίπτωση αυτή, ο συσχετισμός είναι η μεταβολή της πίεσης σε σχέση με την ταχύτητα ή τη ροή και η αλλαγή της ισχύος σε σχέση με τη ροή. Με βάση τους νόμους της αναλογίας, οι αλλαγές της ροής πραγματοποιούνται γραμμικά με την ταχύτητα, ενώ η πίεση είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας ή της παροχής. Η ισχύς που απαιτείται, είναι ανάλογη προς τον κύβο της ταχύτητας ή της παροχής. Το τελευταίο είναι το πιο σημαντικό, γιατί αν η ταχύτητα του κινητήρα μειώνεται, η ισχύς μειώνεται «κυβικά» (εκθετικά υψωμένη στην 3^η δύναμη). Οι σχέσεις αναλογίας παρουσιάζονται στην παράγραφο 1.2.9.6, ενώ παρουσιάζεται και ένα συγκεκριμένο παράδειγμα στο επόμενο κεφάλαιο, οπότε δεν θα επιμείνουμε σε περαιτέρω ανάλυση.

Το πως θα καταλήξουμε να επιλέξουμε ένα «soft starter» ή ένα «VFD», συχνά εξαρτάται από την εφαρμογή που πρόκειται να υποστηρίξουμε. Τα soft starter είναι μικρότερα και λιγότερο δαπανηρά σε σύγκριση με τα συστήματα μεταβλητής συχνότητας, ιδιαίτερα σε μεγαλύτερες εφαρμογές ιπποδύναμης. Μεγαλύτερες μονάδες VFD καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο και είναι συνήθως πιο ακριβές από το αντίστοιχο soft starter. Ωστόσο, ενώ μία συσκευή VFD μπορεί να είναι πιο ακριβή, αρχικά μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας έως και 50 τοις εκατό, παρέχοντας έτσι λειτουργική εξοικονόμηση κόστους κατά τη διάρκεια της ζωής του εξοπλισμού και συνολικά χαμηλότερο κόστος, της επιχείρησης που το χρησιμοποιεί. Ο Έλεγχος της ταχύτητας είναι ένα άλλο πλεονέκτημα των VFD, επειδή προσφέρουν σταθερό χρόνο επιτάχυνσης σε ολόκληρο το εύρος λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα, όχι μόνο κατά την εκκίνηση ή τον τερματισμό λειτουργίας –όπως συμβαίνει με τα soft

starter. Οι συσκευές VFD μπορούν επίσης να παρέχουν πιο ευέλικτες λειτουργίες από ότι προσφέρουν τα soft starter, καθώς συμπεριλαμβάνουν ψηφιακές διαγνωστικές πληροφορίες.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι συσκευές VFD μπορεί να κοστίσουν αρχικά δύο με τρεις φορές περισσότερο από ό,τι ένα soft starter. Ως εκ τούτου, εάν η σταθερή επιτάχυνση και ο έλεγχος της ροπής δεν είναι απαραίτητα, και η τρέχουσα εφαρμογή απαιτεί μόνο περιορισμό κατά την εκκίνηση, ένα soft starter μπορεί να είναι μια πιο οικονομική λύση για τις ανάγκες μας [Behnoush and Demichela, 2013].

1.2.12 Αντλητικά συγκροτήματα και VFD

Όπως είναι γνωστό, τα αντλητικά συγκροτήματα αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες εφαρμογές ηλεκτρικού κινητήρα στον κόσμο. Συχνά, πολλοί κινητήρες αντλιών εξακολουθούν να λειτουργούν σε πλήρες φορτίο ακόμα και αν υπάρχουν συνθήκες μερικού φορτίου. Με την αντικατάσταση ενός κινητήρα με κινητήρα υψηλής απόδοσης, εξοπλίζοντας ταυτόχρονα το σύστημα με μία συσκευή μεταβλητής ταχύτητας VFD (Variable Frequency Drives) και ένα σύστημα παρακολούθησης της αποδοτικότητας της αντλίας, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτές οι εξοικονομήσεις μπορεί να φτάσουν έως 50%, για εφαρμογές οι οποίες μέχρι σήμερα ελέγχονται από μια βαλβίδα στραγγαλισμού, ή υδραυλικού συνδέσμου. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες παρεμβάσεις θα πρέπει να γίνονται στοχευμένα και κατόπιν ενδελεχούς έρευνας και μελέτης, καθώς υπεισέρχονται πολλαπλές παράμετροι για τη λήψη της οριστικής απόφασης ως προς τι είδους και ποιες παρεμβάσεις πρέπει να πραγματοποιούνται σε κάθε περίπτωση [Οδηγία 2000/76/EC].

Οι συσκευές μεταβλητής ταχύτητας VFD (Variable Speed Drives) επιτρέπουν τη μείωση της ταχύτητας λειτουργίας της αντλίας και οδηγούν σε μειωμένες παροχές και συνεπώς σε μικρότερα δυναμικά μανομετρικά. Οι συσκευές VFD έχουν χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για να παρέχουν μεγαλύτερη λειτουργική μεταβλητότητα. Τις περισσότερες φορές, δεν δίνεται προσοχή στο γεγονός ότι μειώνεται η αποδοτικότητα με τη χρήση των VFD. Τα υδραυλικά κέρδη στην αποδοτικότητα πρέπει να ισορροπούν τις ηλεκτρικές απώλειες που δημιουργούνται με τη χρήση των VFD, εκτός εάν λειτουργικοί παράγοντες υπαγορεύουν τη χρήση τους – όπως πολύ αυστηρές απαιτήσεις ελέγχου της παροχής. Με βάση το φορτίο που διαχειρίζεται μια συσκευή VFD, η απώλεια της αποδοτικότητας μπορεί να κυμαίνεται από 4% έως 10 %. Στο 100% του ονομαστικού φορτίου (ιπποδύναμη), οι απώλειες ηλεκτρικής αποδοτικότητας είναι της τάξης μεγέθους του 4%. Στο 50% του

ονομαστικού φορτίου (ιπποδύναμη), οι απώλειες ηλεκτρικής αποδοτικότητας είναι της τάξης μεγέθους του 10%. Αν και η χρήση των VFD θα έπρεπε να γίνεται με προσοχή, τα υδραυλικά οφέλη μπορεί να αντισταθμίζουν τις ηλεκτρικές απώλειες [Reinbold and Hart, 2010].

Τεχνικοί παράγοντες που σχετίζονται με τις κυκλικές λειτουργίες των αντλιών, τις αντλίες μεταβλητής ταχύτητας και τα συστήματα μετάδοσης μεταβλητής ταχύτητας, πρέπει να αξιολογούνται για τον προσδιορισμό των πιθανών επιπτώσεων στη λειτουργία του συστήματος, την αξιοπιστία, τις απαιτήσεις συντήρησης, και τη διάρκεια ζωής [Sparrn and Hunsberger, 2015].

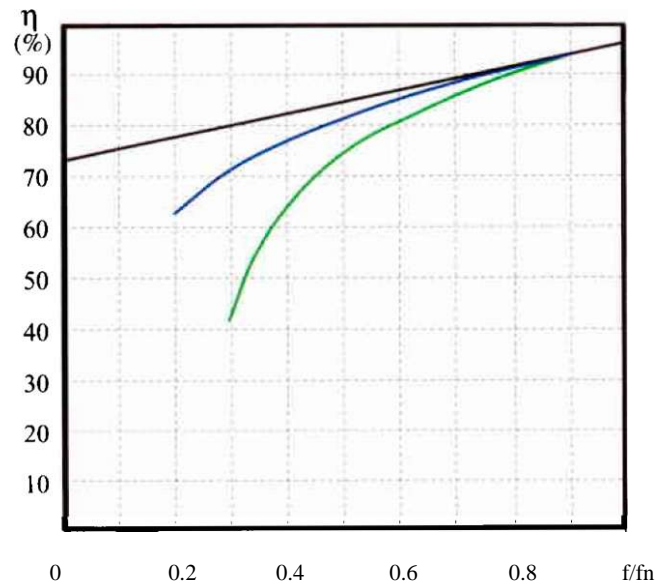
Η επίδραση της μεταβολής της συχνότητας είναι θεμελιωδώς ίδια με την επίδραση της μεταβολής της ταχύτητας. Εάν η ταχύτητα μιας αντλίας αλλάξει, η παροχή, το μανομετρικό, η ισχύς και η αποδοτικότητα θα μεταβληθούν σύμφωνα με τους νόμους της αναλογίας (για κλειστά κυκλώματα μη μεταβαλλόμενα, με σταθερή χαρακτηριστική σωλήνωσης) [Palm, 2002].

Οι νόμοι της αναλογίας είναι ένα εργαλείο που μπορεί να καθορίσει με ποιο τρόπο τα υδραυλικά οφέλη μπορούν να αντισταθμίζουν τις ηλεκτρικές αναποτελεσματικότητες, μια και καθορίζουν τις αλλαγές στην παροχή, το μανομετρικό και την ιπποδύναμη, καθώς η ταχύτητα της αντλίας μειώνεται. Όπως προαναφέρεται, το βέλτιστο σημείο αποδοτικότητας ακολουθεί τους νόμους της αναλογίας και επιτρέπει στο σχεδιαστή του συστήματος να οδηγηθεί στο βέλτιστο σχεδιασμό [Reinbold and Hart, 2010].

Οι νόμοι αυτοί δείχνουν ότι η παροχή είναι ανάλογη της ταχύτητας και το μανομετρικό ανάλογο του τετραγώνου της ταχύτητας. Η υδραυλική αποδοτικότητα δεν αλλάζει με την ταχύτητα, ενώ η ισχύς του άξονα είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας.

Έστω λοιπόν, ότι έχουμε τις καμπύλες λειτουργίας 2 αντλιών με ταχύτητες περιστροφής n_1 και n_2 . Τότε: $n_1/n_2=1$, $H_1/H_2=(n_1/n_2)^2$, $Q_1/Q_2=n_1/n_2$, $P_1/P_2=(n_1/n_2)^3$. Αν μια συγκεκριμένη αντλία έχει μανομετρικό 10 m και υδραυλικό βαθμό απόδοσης 80% σε μια παροχή 100 l/s, η υδραυλική ισχύς είναι 123 kW.

Στο σχήμα 1.28 δίνεται η αποδοτικότητα λειτουργίας αντλητικού συγκροτήματος το οποίο λειτουργεί με τη χρήση VFD, θεωρώντας ότι η τάση λειτουργίας είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της συχνότητας.



Σχήμα 1.28: Αποδοτικότητα λειτουργίας VFD (χωρίς να θεωρήσουμε ότι το σημείο λειτουργίας μετακινείται και η τάση είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της συχνότητας) [Palm, 2002].

Εάν η συχνότητα μειωθεί στο 90% της αρχικής, θα συμβούν τα ακόλουθα

$Q_2 = 90 \text{ l/s}$, $H_2 = 8.1 \text{ m}$, $P_2 = 89.66 \text{ kW}$, ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης παραμένει 80%.

Με τη μεταβολή των στροφών της αντλίας (μέσω μετατροπέα συχνότητας- VFD (Variable Frequency Drives)) επηρεάζουμε και πάλι τη χαρακτηριστική της αντλίας. Έτσι πχ με μείωση των στροφών της αντλίας καταλήγουμε στο σημείο λειτουργίας D με $H = 67 \text{ m}$ και $Q = 360 \text{ m}^3/\text{h}$ όπως και με τη μείωση της διαμέτρου της αντλίας.

Εδώ όμως, ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης της αντλίας δεν αλλάζει (όσο κινούμαστε σε παραβολές που ξεκινούν από το 0), παραμένει σχετικά ανεπηρέαστος. Με $\eta = 76 \%$ η ισχύς μειώνεται ακόμα πιο πολύ σε $P = 86.5 \text{ kW}$.

Η συνολική απόδοση του συγκεκριμένου VFD συστήματος και του κινητήρα, χωρίς να συμπεριλάβουμε την απόδοση του κινητήρα στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας, φαίνεται στο σχήμα 1.28. Έχει χαρακτηριστεί ως το σημείο λειτουργικής αποδοτικότητας του VFD συστήματος. Η χαμηλότερη καμπύλη αντιπροσωπεύει ένα VFD σύστημα με τάση ευθέως ανάλογη προς τη συχνότητα και η μεσαία καμπύλη αντιπροσωπεύει ένα VFD σύστημα με τάση ανάλογη προς το τετράγωνο της συχνότητας. Ταυτόχρονα, έχει γίνει η υπόθεση ότι η μέγιστη ροπή φορτίου είναι 80% της ονομαστικής ροπής του κινητήρα (το όριο είναι 85%, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας του κινητήρα). Η κορυφαία καμπύλη δείχνει την αποδοτικότητα, όταν

το σημείο λειτουργίας διατηρεί τη σχετική θέση του στην καμπύλη ροπής του κινητήρα .

Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, όπως η εύκολη μελλοντική προσαρμογή της απόδοσης της αντλίας, η μείωση της φθοράς των κινούμενων μερών εξαιτίας χαμηλότερης ταχύτητας περιστροφής, η μείωση του θορύβου και ότι το NPSH της αντλίας δεν επηρεάζεται αρνητικά. Το NPSH είναι το απαιτούμενο μανομετρικό στην αναρρόφηση, ώστε να μην παρουσιαστεί σπηλαιώση. Εξαρτάται από τη γεωμετρική μορφή της πτερωτής.

Το καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης αναφέρεται στην ανύψωση του ρευστού (στο μανομετρικό) που απαιτείται στο ρεύμα εισόδου για την πρόληψη του προβλήματος της σπηλαιώσης στο πλαίσιο της παράδοσης της παροχής της αντλίας. Κατά την εξέταση των καταδυόμενων περιστροφικών αντλιών, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι πάντα θα υπάρχει μια μείωση της πίεσης στην πλευρά αναρρόφησης της αντλίας, όπου η μόνη πίεση που αναγκάζει το νερό να εισέλθει μέσα στην αντλία είναι η ατμοσφαιρική πίεση. Μερικές αντλίες έχουν την τάση να δημιουργούν πολύ χαμηλές πιέσεις, ιδιαίτερα οι πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες όπου η ταχύτητα περιστροφής είναι περίπου 3000 rpm και όπου οι πιέσεις μπορούν τοπικά να πέσουν εύκολα κάτω από το σημείο ατμών του νερού. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα συμβεί σπηλαιώση, καθώς το νερό βράζει και συμπυκνώνεται ξανά, προκαλώντας το σχηματισμό μικροσκοπικών φυσαλίδων που με τον καιρό γίνεται αιτία σημαντικής βλάβης στην αντλία, καθώς και μείωσης της αποδοτικότητας. Αυτή η σπηλαιώση παρατηρείται εύκολα λόγω του χαρακτηριστικού θορύβου που παράγεται και μερικές φορές από την παρουσία του φαινομένου εμφανών φυσαλίδων στο ρεύμα του αντλούμενου νερού [Palm, 2002].

Εγκαταστάσεις με μεγάλα γεωδαιτικά ύψη μπορούν να οδηγήσουν και με μικρές μειώσεις στροφών της αντλίας σε επικίνδυνα μικρές παροχές, κάτω από το όριο ασφαλούς λειτουργίας της αντλίας [ABB, 2013].

Για να πραγματοποιήσουμε έναν ακριβή υπολογισμό της απόδοσης της αντλίας με συσκευή VFD, πρέπει να συμπεριλάβουμε την επίδραση του φορτίου της ταχύτητας της αντλίας. Για να μπορέσουμε να το κάνουμε αυτό είναι απαραίτητο κάποιο πρόγραμμα H/Y. Η γενική απόδοση τόσο της αντλίας όσο και του κινητήρα είναι ωστόσο εφικτό να υπολογιστεί χωρίς τη χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων H/Y. Συνήθως, η τυπική αποδοτικότητα ενός συστήματος VFD είναι 96-98% της ονομαστικής συχνότητας.

Εκτός από τις απώλειες που συμβαίνουν στον ίδιο τον μετατροπέα συχνότητας, στον κινητήρα συμβαίνουν επιπλέον απώλειες λόγω των ταχέων διακυμάνσεων του ρεύματος. Αυτές οι απώλειες προκαλούν τη θέρμανση του κινητήρα, έτσι δεν μπορεί

να παράγει τη μέγιστη ισχύ του. Κανονικά, ένα περιθώριο ισχύος 15% είναι απαραίτητο για να διασφαλιστεί ότι ο κινητήρας δεν υπερθερμαίνεται. Η απόδοση του κινητήρα μεταβάλλεται με το φορτίο ροπής, ένα μέγεθος που αλλάζει όταν μεταβάλλεται η συχνότητα. Δεδομένου ότι η τάση επηρεάζει τη ροπή του κινητήρα, η θέση του σημείου λειτουργίας σχετικά με την καμπύλη ροπής του κινητήρα εξαρτάται επίσης, από το πώς η τάση μεταβάλλεται με τη συχνότητα. Μία τάση που είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της συχνότητας είναι συνήθως ότι καλύτερο για τις εφαρμογές των αντλιών .

Γενικά, από τη θεωρία γνωρίζουμε ότι :

Όταν 2 ίδιες αντλίες συνδέονται σε σειρά τότε $Q_{A+B} = Q_A = Q_B$, $\Delta h_{A+B} = \Delta h_A + \Delta h_B$.

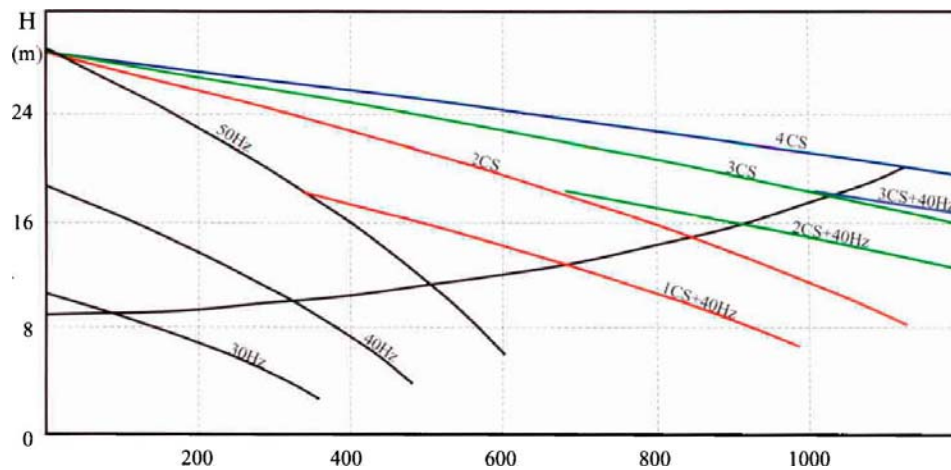
Όταν 2 ίδιες αντλίες συνδέονται παράλληλα τότε $Q_{A+B} = Q_A + Q_B$, $\Delta h_{A+B} = \Delta h_A = \Delta h_B$.

Εάν χρησιμοποιούνται πολλές αντλίες με διαφορετικό σημείο λειτουργίας, η αντλούμενη παροχή μπορεί να ρυθμιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια στην επιθυμητή τιμή (ως εισροή). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χωρίς τη χρήση VFD ή παρόμοιο εξοπλισμό. Επίσης, το κόστος μιας μονάδας σε αναμονή (stand by) θα είναι χαμηλότερο. Για συστήματα με VFD η χρήση περισσότερων μονάδων παρέχει μια πιθανότητα να μειωθεί το μέγεθος του VFD εξοπλισμού, καθώς μόνο μια αντλία πρέπει να ελέγχεται από ένα VFD κάθε φορά. Εάν το VFD χρησιμοποιείται για άλλους λόγους από τη μείωση του κόστους, τότε ένα πρόσθετο VFD είναι απαραίτητο να βρίσκεται σε αναμονή (stand by) [Palm, 2002].

Οι διαφορές μεταξύ αντλιοστασίων πολλών διαφορετικών αντλιών και αντλιοστασίων μιας αντλίας απεικονίζεται καλύτερα μέσα από ένα παράδειγμα.

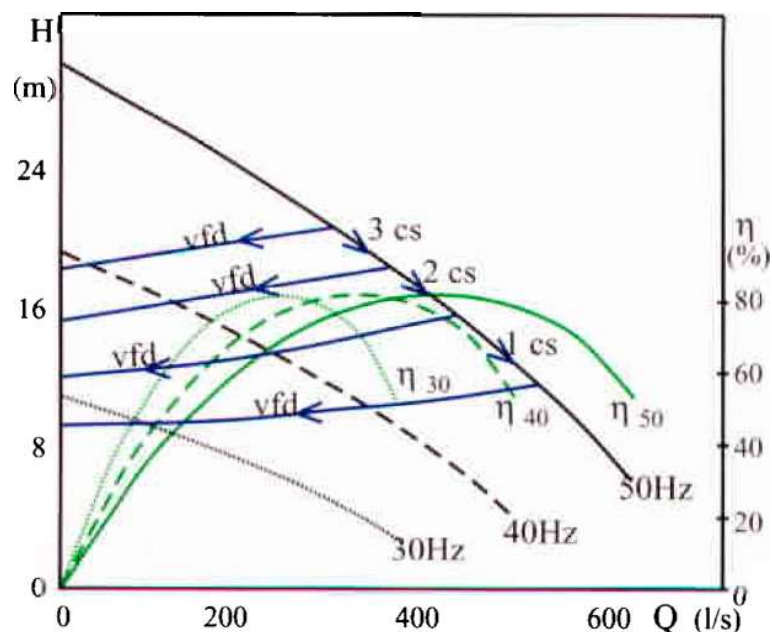
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Τέσσερις αντλίες είναι συνδεδεμένες σε έναν αγωγό (μεγάλου μήκους). Μόνο μία αντλία χρησιμοποιεί συσκευή VFD οποιαδήποτε στιγμή. Το στατικό μανομετρικό είναι 9 μέτρα και οι δυναμικές απώλειες είναι 11 μέτρα για τη μέγιστη παροχή των 1120 l/s .Μία αντλία που δουλεύει σε πλήρη ταχύτητα παραδίδει 500 l/s , 2 αντλίες σε πλήρη ταχύτητα δίνουν 840 l/s και τρεις (3) αντλίες 1030 l/s. Στο σχήμα 1.29, η καμπύλη του συστήματος και οι καμπύλες αποδόσεων των αντλιών παρουσιάζονται για διαφορετικές αποδόσεις. [Palm, 2002].



Σχήμα 1.29: Καμπύλες αποδόσεων αντλιών σε διαφορετικούς συνδυασμούς λειτουργίας [Palm, 2002].

Όπως φαίνεται σε κάθε περίπτωση, η αντλία ακολουθεί ένα σύστημα καμπύλης, η οποία μετατοπίζει το σημείο λειτουργίας προς τη χαμηλότερη παροχή και τη χαμηλότερη αποδοτικότητα, καθώς η παροχή μειώνεται.



Σχήμα 1.30: Αλλαγή του σημείου λειτουργίας για VFD-ελεγχόμενη αντλία και σταθερής ταχύτητας αντλίες καθώς η παροχή μειώνεται [Palm, 2002].

Στο σχήμα 1.30 παρατηρούμε την αλλαγή του σημείου λειτουργίας για μια VFD-ελεγχόμενη αντλία, καθώς και για άλλες σταθερής ταχύτητας αντλίες, ενώ η παροχή μειώνεται. Τα σημεία λειτουργίας για τις αντλίες που λειτουργούν με σταθερές

στροφές περιστροφής, μετατοπίζονται προς τα δεξιά. Κάτω από τα 40 Hz μία από τις αντλίες κλείνει (διαφορετικά η αντλία που λειτουργεί με συσκευή VFD κλείνει και η συχνότητα κάποια άλλης από τις αντλίες ελέγχεται, ή κάποια από τις αντλίες η οποία δουλεύει σταθερά κλείνει και η αντλία που λειτουργεί με συσκευή VFD ξεκινάει να λειτουργεί στα 50 Hz για άλλη μια φορά). Εάν η παροχή μειωθεί περαιτέρω, η συχνότητα ελαττώνεται ξανά και το επόμενο μανομετρικό απενεργοποίησης πραγματοποιείται στα 35 Hz κλπ.

Στο παράδειγμα, το σημείο λειτουργίας στη μέγιστη παροχή βρίσκεται στα αριστερά του σημείου της βέλτιστης αποδοτικότητας, όπως θα έπρεπε να είναι. Η απόδοση κατόπιν αυξάνει ελαφρώς για τις τρεις αντλίες που δουλεύουν με σταθερή ταχύτητα (και παρέχουν τη μέγιστη παροχή) καθώς τα σημεία λειτουργίας μετακινούνται προς τα δεξιά, πάνω στην καμπύλη της αντλίας. Ταυτόχρονα, η παροχή από την VFD αντλία μειώνεται.

Η συνδυασμένη απόδοση υπολογίζεται σταθμίζοντας τις διαφορετικές αποδόσεις ανάλογα με τις παροχές που παράγονται. Το αποτέλεσμα είναι ελαφρώς χαμηλότερη συνολική απόδοση .

1.2.12.1 Ειδική ενέργεια

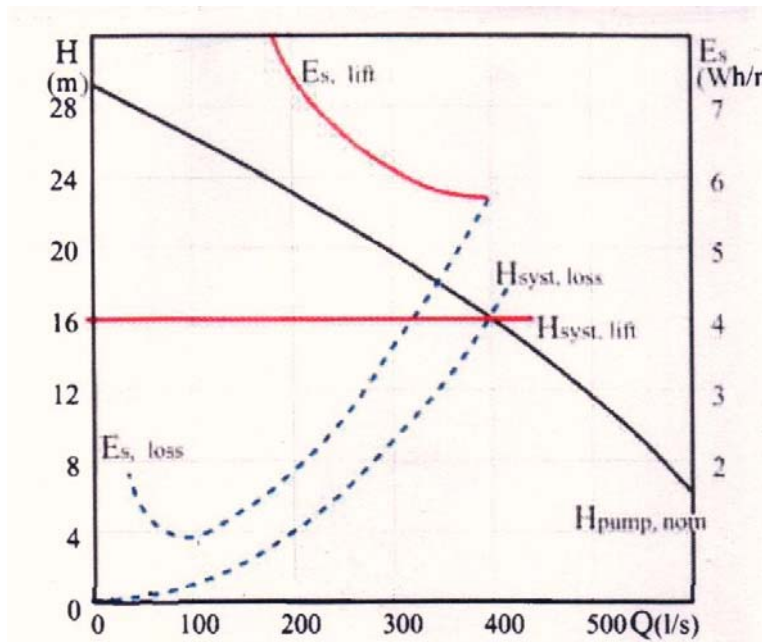
Η απόδοση και η αποτελεσματικότητα ενός αντλητικού συστήματος με συσκευή VFD μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τύπους, διαγράμματα και μεθόδους που προαναφέρονται. Από τα αποτελέσματα αυτά, μπορεί κάποιος να υπολογίσει την απαιτούμενη ενέργεια για να κινηθεί ένας ορισμένος όγκος νερού μέσα από ένα σύστημα. Η ποσότητα αυτή ονομάζεται ειδική ενέργεια και συμβολίζεται E_S .

$$E_S = \text{Ενέργεια/Παροχή} = (\text{Χρόνος} \times H \times Q \times g \times \rho / n_{\text{tot}}) / (\text{Χρόνος} \times Q) =$$

$$= (H \times g \times \rho) / n_{\text{tot}} \quad (\text{J/m}^3)$$

Για εργαζόμενο μέσο νερό με πυκνότητα 1000 kg/m³

$$E_S = (H \times g \times \rho) / n_{\text{tot}} = H \times g / (3600 \times n_{\text{tot}}) \quad (\text{kWh/m}^3)$$

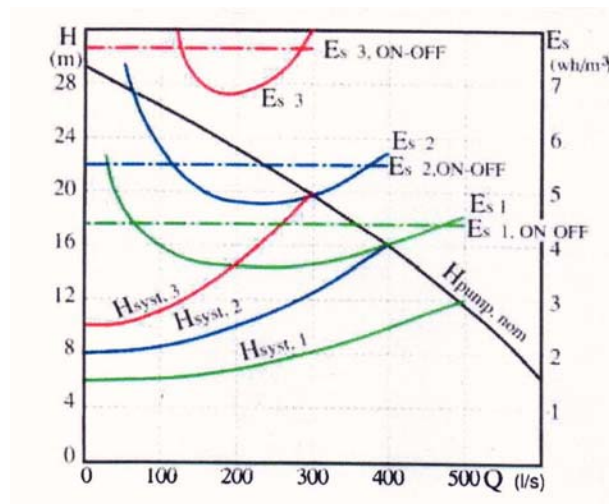


Σχήμα 1.31: Η ειδική ενέργεια ως μια λειτουργία της παροχής για μια αντλία που ελέγχεται η συχνότητα της στις απώλειες και στην ανύψωση φορτίου [Palm, 2002].

Το αποτέλεσμα της συνολικής απόδοσης της αντλίας και η αποτελεσματικότητα λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας είναι η συνολική απόδοση για την αντλία και τη συσκευή VFD, τα οποία κινούν το νερό.

Η ειδική ενέργεια για ένα σύστημα που λειτουργεί μόνο με στατικό μανομετρικό αυξάνεται καθώς μειώνεται η παροχή (σχήμα 1.31).

Ωστόσο, η συγκεκριμένη ενέργεια μπορεί να μειωθεί αρχικά, καθώς η παροχή ελαττώνεται εάν το ονομαστικό σημείο λειτουργίας βρίσκεται δεξιά στην καμπύλη σε σχέση με το σημείο βέλτιστης λειτουργίας. Η καμπύλη της ειδικής ενέργειας επίσης στρέφεται προς τα πάνω για την ολική απώλεια του συστήματος εάν η παροχή (και η ταχύτητα) γίνουν αρκετά μικρές. Δηλαδή, το αντλητικό σύστημα με VFD δεν θα λειτουργήσει οικονομικά για παροχές που είναι μικρότερες από αυτές που αντιστοιχούν στην ελάχιστη ειδική ενέργεια. Τα περισσότερα φυσιολογικά συστήματα, για παράδειγμα, αυτά για τα οποία το στατικό μανομετρικό είναι το ήμισυ του συνολικού μανομετρικού στην ονομαστική παροχή, οι καμπύλες ειδικής ενέργειας έχουν την εμφάνιση που φαίνεται στο σχήμα 1.32



Σχήμα 1.32: Η ειδική ενέργεια με και χωρίς VFD σε τρία συστήματα. Το γεωδαιτικό μανομετρικό είναι το μισό από το μανομετρικό του ονομαστικού σημείου λειτουργίας [Palm, 2002].

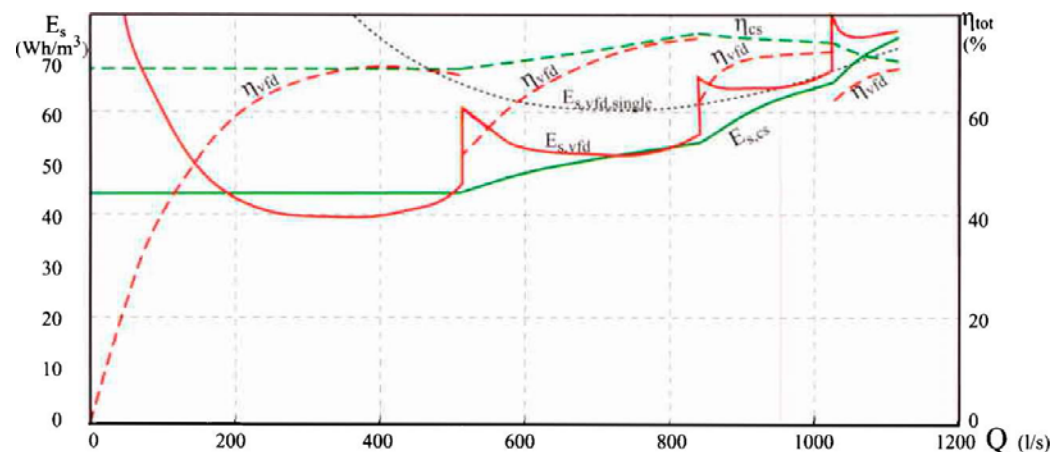
Τρεις περιπτώσεις παρουσιάζονται

- Μία με το ονομαστικό σημείο λειτουργίας βέλτιστης απόδοσης (μπλε).
- Μία με το ονομαστικό σημείο λειτουργίας προς τα αριστερά (κόκκινο).
- Μία με το ονομαστικό σημείο λειτουργίας προς τα δεξιά (πράσινο).

Το σχετικό δυναμικό εξοικονόμησης είναι μεγαλύτερο για την περίπτωση που το ονομαστικό σημείο λειτουργίας βρίσκεται δεξιά από το βέλτιστο σημείο αποδοτικότητας. Το εύρος της παροχής για το οποίο υπάρχει αυτή η δυνατότητα, είναι επίσης μεγαλύτερο σε αυτήν την περίπτωση.

Στην περίπτωση της παραγράφου «Μεταβολή στροφών αντλίας-1.2.11» στο παράδειγμα των 4 αντλιών με τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας, για να αθροίσουμε τη συνολική ειδική ενέργεια υπολογίζουμε τις ειδικές ενέργειες κάθε αντλίας με τον ίδιο τρόπο. Το μανομετρικό δεν μειώνεται αισθητά κατά το σύντομο διάστημα, καθώς το σύστημα αλλάζει από την ταυτόχρονη λειτουργία των 4 αντλιών στην ταυτόχρονη λειτουργία των 3 αντλιών, ακόμη και αν η καμπύλη του συστήματος είναι πιο απότομη σε αυτήν την περιοχή λειτουργίας. Η ειδική ενέργεια αρχικά μειώνεται κατά λίγο και ξεκινάει να αυξάνει, καθώς πλησιάζει να περάσει από την ταυτόχρονη λειτουργία των 4 αντλιών στην ταυτόχρονη λειτουργία των 3 αντλιών. Απόλυτα φυσικά, η ειδική ενέργεια αρχικά για το σύστημα με VFD αυξάνεται κοντά στα σημεία αλλαγής, γιατί μια αντλία δεν παράγει απαραίτητα παροχή καθώς εξακολουθεί να καταναλώνει ενέργεια. Στο σχήμα 1.33, η ολική αποδοτικότητα (για το νερό) έχει

σχεδιαστεί με διακεκομμένη γραμμή. Με εξαίρεση μια περιοχή λειτουργίας για μια παροχή περίπου 400 l/s, η αποδοτικότητα για το σύστημα σταθερής ταχύτητας είναι υψηλότερη. Η ειδική ενέργεια (συνεχής γραμμή) για την περίπτωση με τη σταθερή ταχύτητα είναι περίπου η ίδια ή χαμηλότερη για όλες σχεδόν τις περιοχές. Μόνο μεταξύ 200 και 500 l/s το σύστημα με το VFD είναι καλύτερο από το σύστημα της απλής αντλίας.



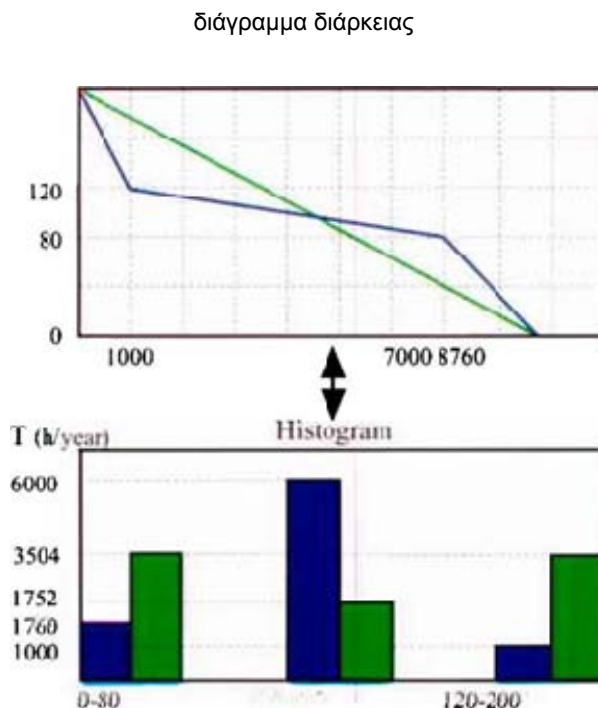
Σχήμα 1.33: Σύγκριση της συνδυασμένης συνολικής απόδοσης και της ειδικής ενέργειας για ένα VFD-ελεγχόμενο σύστημα, συγκριτικά με ένα τυπικό σύστημα (on-off) [Palm, 2002].

Χαμηλότερη ειδική ενέργεια μπορεί να ληφθεί σε ορισμένες περιπτώσεις, εξοπλίζοντας όλες τις αντλίες με συσκευές VFD. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα είναι ισοδύναμο με κάποιο αντίστοιχο με μία αντλία και ένα σημείο λειτουργίας. Η ειδική ενέργεια ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζεται με μια γραμμή κουκίδων στο σχήμα 1.33. Αυτή η καμπύλη βασίζεται στις συνθήκες για τις οποίες το σημείο βέλτιστης απόδοσης βρίσκεται σε προνομιακή θέση και ότι μια αντλία που μπορεί να χειριστεί όλες τις παροχές μόνη της, συνήθως έχει καλύτερη απόδοση από αυτή που έχουν πολλές μικρότερες αντλίες μαζί. Ακόμη και η καμπύλη ειδικής ενέργειας γενικά θα είναι υψηλότερη σε σχέση με τις άλλες 2 καμπύλες. Σε γενικές γραμμές, το όφελος από τον έλεγχο όλων των αντλιών ταυτόχρονα είναι μεγαλύτερο, εάν οι απώλειες είναι σχετικά υψηλές. Ωστόσο, καθώς όλα τα άλλα κόστη αυξάνουν, αυτό είναι δύσκολο να δικαιολογηθεί οικονομικά. Ακόμα και αν οι απώλειες κυριαρχούν, η διαφορά μεταξύ αντλίας με συσκευή VFD και αντλίας σταθερής ταχύτητας για αντλητικά συστήματα πολλαπλών αντλιών δεν είναι μεγάλη. Έτσι, ο κύκλος ζωής του κόστους του συστήματος VFD δεν θα είναι μικρότερος, αν η κατανομή της παροχής είναι πολύ συγκεντρωμένη στην περιοχή στην οποία η ειδική ενέργεια είναι χαμηλότερη [Palm, 2002].

1.2.13 Διακύμανση παροχής και ενεργειακοί υπολογισμοί

Όλες οι διαφορετικές πτυχές που εμπλέκονται στον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας σε διαφορετικές παροχές παρουσιάζονται στα προηγούμενα τμήματα. Έτσι, προκύπτει το ερώτημα πόση ενέργεια θα εξοικονομηθεί, (ή θα χαθεί) χρησιμοποιώντας ένα σύστημα VFD. Για τον υπολογισμό αυτό, κάποιος πρέπει να καθορίσει τις διακυμάνσεις της ροής που αναμένονται να συμβούν. Αυτές οι πληροφορίες συνήθως παρουσιάζονται με τη μορφή ενός ιστογράμματος, που μας δείχνει πόσο συχνά η παροχή θα βρίσκεται εντός ορισμένων ορίων. Μια εναλλακτική μορφή είναι το διάγραμμα διάρκειας που δείχνει πόσο συχνά η παροχή υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή.

Το διάγραμμα διάρκειας δημιουργείται από μια απλή αναδιοργάνωση στοιχείων μετρήσεων σχετικά με το πως μεταβάλλεται η παροχή (μπορεί επίσης να υπολογιστεί και με στατιστικούς τύπους). Το ιστόγραμμα είναι άμεσα εφαρμόσιμο σε αυτήν την εκτίμηση. Οι δύο περιπτώσεις απεικονίζονται στο σχήμα 1.34 για 2 απλοποιημένα παραδείγματα.



Σχήμα 1.34: Διάγραμμα διάρκειας και Ιστόγραμμα για τις δύο (παραπάνω) περιπτώσεις μεταβλητής παροχής [Palm, 2002].

Στο ένα παράδειγμα, όλες οι παροχές είναι εξίσου πιθανό να συμβούν (πράσινο) και στο άλλο παράδειγμα οι μικρότερες και μεγαλύτερες ροές είναι σχετικά σπάνιες (μπλε χρώμα).

Οι πληροφορίες από το ιστόγραμμα μπορούν να συνδυαστούν με το διάγραμμα ειδικής ενέργειας για να λάβουμε τη συνολική κατανάλωση ενέργειας με τη βοήθεια της μαθηματικής ολοκλήρωσης, ή της άθροισης.

$$E = \int_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} Es(Q) \times T(Q) \times dQ = \sum_i Es_i \times T_i \times Q_i$$

1.2.14 Κεφαλαιοποιώντας Ενεργειακά κόστη

Το οικονομικό όφελος από τη χρήση VFD μπορεί να υπολογιστεί. Έτσι και αλλιώς, σήμερα είναι απαραίτητος ένα τρόπος για να συγκρίνουμε το κόστος της ενέργειας με τις επενδύσεις που γίνονται. Αυτό επιτυγχάνεται με την κεφαλαιοποίηση του ενεργειακού κόστους του σχεδιαζόμενου χρόνου ζωής του εξοπλισμού.

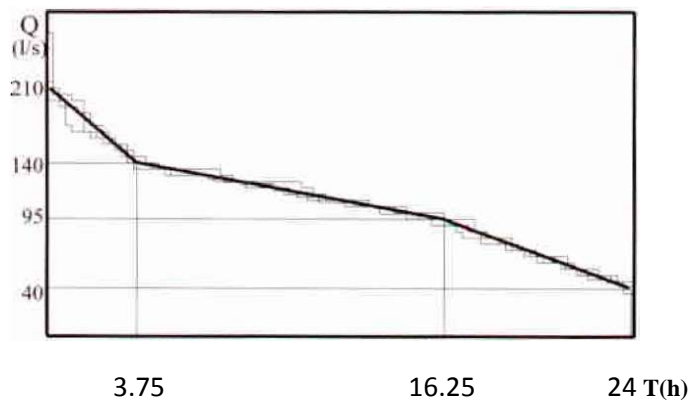
Κεφαλαιοποιημένη Παρούσα Αξία= ΚΑΠ-συντελεστής x ετήσιο ενεργειακό κόστος

$$\text{ΚΑΠ-συντελεστής} = \{1 - (1+r)^{-N}\} / r$$

r = ετήσιο επιτόκιο N= αριθμός ετών [Palm, 2002].

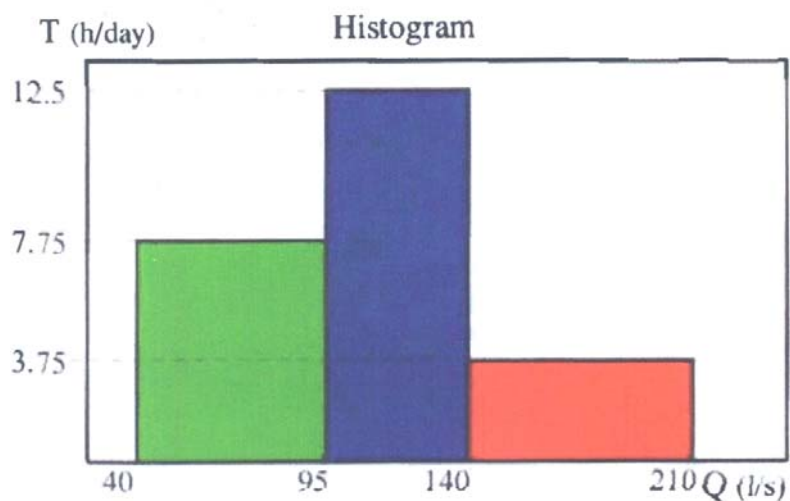
Τα οικονομικά οφέλη (ή απώλειες) προκύπτουν, από τη σύγκριση του συνολικού κόστους εγκατάστασης του συστήματος VFD και το κεφαλαιοποιούμενο ενεργειακό κόστος με το αντίστοιχο κόστος για ένα σύστημα χωρίς VFD (ή με κόστη άλλων εναλλακτικών λύσεων).

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ : Η εισροή σε ένα αντλιοστάσιο έχει καταγραφεί σε περίοδο αρκετών ημερών ώστε να προκύπτει μια 24-ωρη καταγραφή της παροχής. Οι τιμές της παροχής έχουν επίσης αναδιοργανωθεί με τη μορφή ενός διαγράμματος διάρκειας. Σε αυτήν την περίπτωση η μέγιστη παροχή κατά τη διάρκεια αυτών των 24 ωρών είναι 250 l/s και η ελάχιστη παροχή είναι 35 l/s. Το διάγραμμα στο σχήμα 1.35 ακολούθως απλοποιημένο για το παράδειγμα, αντικαθιστώντας τα



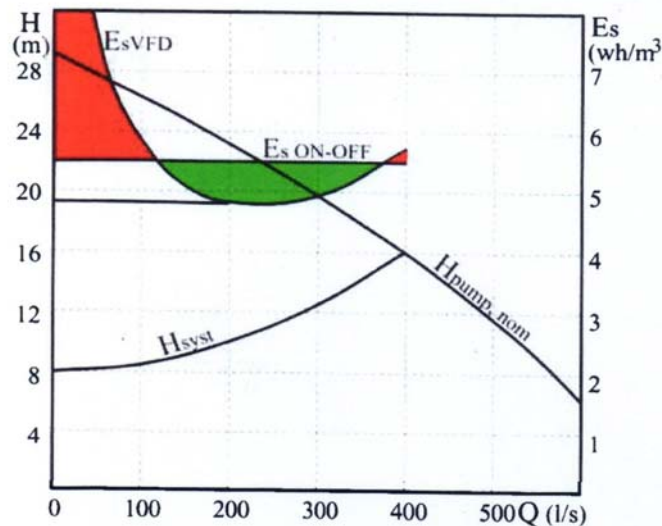
Σχήμα: 1.35 Απλοποίηση του αρχικού διαγράμματος διάρκειας, κατασκευασμένο από στοιχεία μετρήσεων [Palm, 2002].

τμήματα των 3 γραμμών για την πραγματική καμπύλη. Το διάγραμμα διάρκειας στη συνέχεια μετατράπηκε σε ένα ιστόγραμμα (σχήμα 1.36). Η καμπύλη του συστήματος βασίζεται στη μεσαία καμπύλη του σχήματος 1.32. Το ονομαστικό σημείο λειτουργίας στην περίπτωση αυτή είναι το σημείο βέλτιστης απόδοσης και το γεωδαιτικό (στατικό) μανομετρικό είναι το μισό από το μανομετρικό του ονομαστικού σημείου λειτουργίας. Το πιθανό κέρδος σε ειδική ενέργεια για την αντλία με VFD σε σύγκριση



Σχήμα 1.36: Ισοδύναμο ιστόγραμμα στο απλοποιημένο διάγραμμα διάρκειας του σχήματος 1.34 [Palm, 2002].

με μια αντλία που λειτουργεί με on-off έλεγχο απεικονίζεται στο σχήμα 1.37.



Σχήμα 1.37: Ειδική ενέργεια για δύο ιδανικά συστήματα: ένα με έλεγχο VFD και ένα με απλό έλεγχο (on-off) [Palm, 2002].

Στην πράσινη περιοχή η αντλία με συσκευή VFD χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια για να αντλήσει ένα ορισμένο όγκο νερού και στην κόκκινη περιοχή χρησιμοποιεί περισσότερο. Στη γκριζα περιοχή η αντλία με συσκευή VFD έχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα αν η αντλία λειτουργεί με on-off έλεγχο για τις περιοχές κάτω από 210 l/s (όταν είναι ενεργοποιημένο, η αντλία πρέπει να λειτουργεί στη συχνότητα που αντιστοιχεί στην ελάχιστη ειδική ενέργεια). Συνδυάζοντας το διάγραμμα ειδικής ενέργειας με το ιστόγραμμα, μπορούμε να εκφράσουμε τα αποτελέσματα σε kWh/έτος. Για το παράδειγμα οι υπολογισμοί έχουν απλοποιηθεί κάπως, χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή για κάθε περιοχή παροχής. Πρώτα η τιμή που λαμβάνεται όταν η αντλία λειτουργεί με συσκευή VFD για όλες τις παροχές είναι:

$$\begin{aligned}
 Es &= 7.75 \times 3600 \times \frac{(0.04 + 0.095)}{2} \times \frac{(0.062 + 0.082)}{2} + \\
 &+ 12.5 \times 3600 \times \frac{(0.095 + 0.140)}{2} \times \frac{(0.051 + 0.062)}{2} + \\
 &+ 3.75 \times 3600 \times \frac{(0.140 + 0.210)}{2} \times \frac{(0.047 + 0.051)}{2} =
 \end{aligned}$$

550.1 kWh/ημέρα 200787 kWh/έτος

Στη συνέχεια, με ένα σύστημα ελέγχου που λειτουργεί την αντλία με διαδικασία on-off κάτω των 210 l/s, το κόστος είναι :

$$Es = 7.75 \times 3600 \times \frac{(0.04 + 0.095)}{2} \times 0.047 +$$

$$+ 12.5 \times 3600 \times \frac{(0.095 + 0.140)}{2} \times 0.047 +$$

$$+ 3.75 \times 3600 \times \frac{(0.140 + 0.210)}{2} \times 0.047 =$$

448.1 kWh/ημέρα 163557 kWh/έτος

Τέλος, η ενεργειακή κατανάλωση για το σύστημα σταθερής ταχύτητας είναι :

$$Es = 7.75 \times 3600 \times \frac{(0.04 + 0.095)}{2} \times 0.055 +$$

$$+ 12.5 \times 3600 \times \frac{(0.095 + 0.140)}{2} \times 0.055 +$$

$$+ 3.75 \times 3600 \times \frac{(0.140 + 0.210)}{2} \times 0.055 =$$

524.3 kWh/ημέρα 191370 kWh/έτος

Η λειτουργία με τη συσκευή VFD σε συνδυασμό με την on-off επιλογή για κάτω των 200 l/s παροχή, καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια. Το σύστημα σταθερής ταχύτητας ακολουθεί και το σύστημα για το οποίο η συχνότητα είναι απολύτως ελεγχόμενη καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια. Το μέγιστο κέρδος για τη λειτουργία με συσκευή VFD είναι περίπου 27800 kWh/έτος. Όλο το κέρδος που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τη συσκευή VFD συμβαίνει εκείνες τις περιόδους όπου λειτουργεί με σύστημα on-off (μία αρκετά παρόμοια περίπτωση είναι ένα σύστημα με 2 αντλίες σταθερής ταχύτητας οι οποίες λειτουργούν στη μισή δυναμικότητα και που πιθανότατα καταναλώνουν ακόμα λιγότερη ενέργεια).

Για να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός, η διαφορά στο ενεργειακό κόστος κεφαλαιοποιείται. Για ένα επιτόκιο 10%, διάρκεια ζωής 10 έτη και ενεργειακή τιμή 0.52 EUR/ kWh, το αποτέλεσμα προκύπτει

$$ΚΑΠ-συντελεστής = \{1 - (1+r)^{-N}\} / r = \{1 - (1+0.1)^{-10}\} / 0.1 = 6.145$$

Άρα ΚΑΠ=6.145 x 27800 kWh/έτος x 0.52 EUR/ kWh =88832.12 EUR

Ως εκ τούτου, το επιπλέον κόστος της εγκατάστασης ενός συστήματος VFD δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 88832.12 EUR [Palm, 2002].

1.2.15 Άλλες θεωρήσεις

1.2.15.1 Έλεγχος συστήματος

Συνήθως, οι έλεγχοι για τα αντλιοστάσια μέσω συστημάτων VFD κρατάνε τη συχνότητα αναλογικά προς το επίπεδο του εισερχόμενου νερού. Με αυτόν τον τρόπο, η ικανότητα της εκάστοτε αντλίας μεταβάλλεται, οπότε η ταχύτητα περιστροφής, η συχνότητα λειτουργίας και η δυναμική της παροχής τους αυξάνει εάν η ροή του εισερχόμενου νερού αυξηθεί. Εάν το επιτρεπόμενο επίπεδο μεταβολής του εισερχόμενου νερού (πραγματική παροχή) είναι πολύ μικρό θα οδηγήσει σε αστάθεια. Ένας αυστηρότερος και πιο προσεχτικός έλεγχος πρέπει να καθιερωθεί μετά από ένα τέτοιο γεγονός. Ωστόσο, τα περισσότερα προβλήματα που σχετίζονται με τον έλεγχο ενός συστήματος VFD, έχουν να κάνουν με την εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών συνδυασμών αντλιών, στα αντλιοστάσια με πολλές αντλίες. Εξαιτίας της περιορισμένης ακρίβειας στον εξοπλισμό του ελέγχου, οι αντλίες ίσως δουλέψουν σε ένα απενεργοποιημένο μανομετρικό στο οποίο η τιμή της παροχής βρίσκεται κοντά σε μια μεταλλασσόμενη παροχή. Αυτό πρέπει να αποφεύγεται, καθώς δεν χρησιμεύει κάπου, αλλά και επειδή το νερό εντός της αντλίας θα θερμανθεί. Παράλληλα, ίσως υπερθερμανθεί επίσης και ο κινητήρας. Οι τιμές παροχής οι οποίες πρέπει να αποφεύγονται εξαρτώνται από :

- Πόσο απότομη είναι η καμπύλη στο απενεργοποιημένο μανομετρικό της αντλίας.
- Οι κατασκευαστικές ανοχές της αντλίας.
- Πόσο απότομη είναι η καμπύλη του συστήματος στη μεταλλασσόμενη παροχή.
- Τις ανοχές της συχνότητας της συσκευής VFD.
- Την ακρίβεια ελέγχου του επιπέδου του νερού σε συνδυασμό με τις κινήσεις της επιφάνειας της δεξαμενής.

Ο έλεγχος των αντλητικών συστημάτων τόσο σε επιφανειακές αντλίες, όσο και σε υποβρύχιες, γενικά γίνεται με τους εξής τρόπους [Environment Agency, 2012]:

- Αισθητήρες πίεσης.

- Αισθητήρες στάθμης.
- Συσσκευές υπερήχων.
- Διακόπτες ροής (φλοτέρ).

Καθένας από αυτούς τους τρόπους έχει ένα συγκεκριμένο πλεονέκτημα για διαφορετικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, η χρήση φλοτέρ ή αισθητήρων στάθμης είναι γενικά λιγότερο ευνοϊκές σε συνθήκες όπου το μέσο που αντλείται είναι πιθανό να περιέχει υψηλό ποσοστό του υλικού που μπορεί να μπερδευτεί ή να εγκλωβιστεί στο όργανο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μια μέθοδος η οποία δεν απαιτεί καμία φυσική επαφή με το μέσο είναι προτιμότερη. Σε κάθε περίπτωση, ένας αισθητήρας στάθμης ή ένα όργανο χρησιμοποιείται για να δείξει το επίπεδο εκκίνησης και το επίπεδο διακοπής λειτουργίας για μια δεδομένη επιφάνεια του νερού και είναι πλέον ευθύνη του συστήματος ελέγχου να λειτουργήσει την αντλία για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, ώστε να φέρει τη στάθμη του νερού στην απαιτούμενη τιμή.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτή η στάθμη διατηρείται συνήθως από τις απαιτήσεις των τοπικών υδάτινων πόρων. Σε κάθε περίπτωση η καθορισμένη στάθμη δε μεταβάλλεται εκτός και εάν μεταβληθούν οι συνθήκες. Ακόμα και τότε όμως, οι αλλαγές είναι συνήθως μικρές.

Για να αποφύγουμε τη συχνή εκκίνηση των αντλιών και το συχνό σταμάτημα, πρέπει να εξασφαλίσουμε μία καθυστέρηση στη μεταβολή μεταξύ της on και της off θέσης λειτουργίας. Η απαραίτητη καθυστέρηση, συνήθως, επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός αποθέματος νερού μεταξύ των επιπέδων που αντιστοιχούν στις θέσεις on και off. Το μέγεθος αυτού του όγκου νερού εξαρτάται από το μέγεθος της παροχής η οποία πρέπει να αποφεύγεται και του ελάχιστου διαστήματος μεταξύ των επιτυχημένων εκκινήσεων της αντλίας [Environment Agency, 2012].

Οι αντλίες με υψηλές ειδικές ταχύτητες (ελικοειδείς αντλίες για παράδειγμα) έχουν συχνά, μια περιοχή λειτουργίας στην οποία το μανομετρικό αυξάνει με την παροχή. Εάν συμβαίνει αυτό, γίνεται αριστερά της περιοχής του σημείου λειτουργίας της αντλίας. Εάν η συχνότητα είναι αρκετά χαμηλή, ώστε η αντλία να λειτουργεί σε αυτήν την περιοχή, το σημείο λειτουργίας μπορεί να γίνει ασταθές (το οποίο πρέπει να το αποφεύγουμε). Μία ανεπαίσθητη αλλαγή στην παροχή μερικές φορές είναι επιθυμητή. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της αλλαγής της συχνότητας, αργά, μεταξύ του μηδέν και της μεταλλασσόμενης παροχής. Κανονικά, η αλλαγή αυτή ολοκληρώνεται χρονικά από 10 έως 30 δευτερόλεπτα [Palm, 2002].

1.2.15.2 Όγκος Υδροθαλάμου Αντλιοστασίου

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο όγκος του υδροθαλάμου του αντλιοστασίου μπορεί να είναι μικρότερος εάν χρησιμοποιείται συσκευή VFD. Εάν οι αντλίες είναι υποβρύχιες και μπορούν να εκκινούν συχνά, η διαφορά στο μέγεθος του υδροθαλάμου είναι αμελητέα. Καθώς οι υδραυλικές θεωρήσεις σχετίζονται με τη μέγιστη παροχή για να καθορίσουν τις διαστάσεις του υδροθαλάμου (μήκος και πλάτος) η χρήση συσκευής VFD δεν θα επηρεάσει την περιοχή του υδροθαλάμου, ή το ελάχιστο επίπεδο νερού. Μόνο ένας μικρός όγκος απαιτείται για να διασφαλίσει ότι οι «σταθερής ταχύτητας» αντλίες δεν εκκινούν και σταματούν πολύ συχνά. Όταν χρησιμοποιούνται πολλές διαφορετικές αντλίες (με πολλά διαφορετικά σημεία λειτουργίας) χρησιμοποιούνται οι ρυθμιζόμενες αντλίες on-off, οι οποίες συνήθως απαιτούν μικρότερο ενεργό όγκο από αυτόν που χρειάζονται οι ρυθμιζόμενες με VFD αντλίες. Για ένα αντλιοστάσιο όμως με μία μόνο αντλία, ο απαιτούμενος όγκος μπορεί κάποιες φορές να είναι ελαφρώς μικρότερος εάν χρησιμοποιείται ένα VFD σύστημα, αλλά μόνο αν το σύστημα που χρησιμοποιείται είναι αρκετά περίπλοκο. Ακόμα όμως και τότε, η διαφορά είναι μικρής σημασίας [Palm, 2002].

1.2.15.3 Καθίζηση και απόφραξη

Οι μικρότερες παροχές για αντλίες ελεγχόμενες με συσκευές VFD, οδηγούν σε μικρότερες ταχύτητες εντός του υδροθαλάμου. Μία από τις συνέπειες είναι, ότι μεγάλες ποσότητες ιζημάτων μπορεί να παραμείνουν στον υδροθάλαμο. Εκτός από τα προφανή μειονεκτήματα που προκύπτουν, λόγω αυτών των ιζημάτων (προκύπτει ανάγκη καθαρισμού του υδροθαλάμου, οσμές, διάβρωση κλπ) μπορούν να σχηματιστούν μεγάλα συσσωματώματα. Όταν διασπαστούν μπορούν να παρασυρθούν από τη ροή στις αντλίες και να προκαλέσουν απόφραξη και αυξημένη φθορά των υδραυλικών μερών. Εφόσον χρησιμοποιούνται VFD, η αντλία θα είναι πιο ευαίσθητη σε φράξιμο. Η μείωση της ταχύτητας έχει τρεις ανεπιθύμητες συνέπειες.

- Τα επίπεδα της ενέργειας στο σπειροειδές μειώνονται γρήγορα, έτσι η ικανότητα της αντλίας σε σχέση με την απόφραξη μειώνεται δραστικά.
- Η απόσταση από το μπροστινό άκρο των πτερυγίων της πτερωτής, ή των πτερυγίων της πτερωτής από το σημείο που η ροή γίνεται τυρβώδης θα αυξηθεί, αυξάνοντας τον κίνδυνο τα μακριά ινώδη υλικά να εγκλωβιστούν στο οδηγούμενο άκρο.

Η ταχύτητα του ρευστού που περνά διαμέσου της αντλίας είναι μικρότερη, έτσι το σύστημα είναι λιγότερο αποτελεσματικό στο να απομακρύνει αποφρακτικό υλικό και να εμποδίσει τα μακριά ινώδη υλικά να πιαστούν στα πτερύγια της αντλίας .

Καθώς οι αντλίες με σύστημα VFD σταματούν σπάνια, δεν υπάρχουν πολλές ευκαιρίες για αυτοκαθαρισμό, όπως συμβαίνει με τις αντλίες λειτουργίας on-off οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν συχνά. Για τους παραπάνω λόγους, η απόφραξη είναι πολύ πιο πιθανό να συμβεί σε VFD ελεγχόμενες αντλίες, πράγμα το οποίο επιφέρει αύξηση του κόστους συντήρησης, μειωμένη προσβασιμότητα και μειωμένη αποτελεσματικότητα. [Palm, 2002].

1.2.15.4 Σύστημα ψύξης

Συχνά, το ενσωματωμένο σύστημα ψύξης των μεγαλύτερων αντλιών έχει πολλά οφέλη. Περιλαμβάνει επίσης τον περιορισμό, ότι η αντλία δεν πρέπει να λειτουργεί σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, εκτός εάν λειτουργεί με καθαρό νερό. Η ψύξη θα είναι επαρκής σε αυτήν την περίπτωση, αλλά μπορεί να συσσωρεύεται ίζημα και ο κίνδυνος φραξίματος του συστήματος ψύξης είναι υψηλότερος. Όταν η αντλία επιταχύνει και πάλι για να αποκτήσει την ονομαστική ταχύτητα, η ταχύτητα του συστήματος ψύξης είναι χαμηλότερη και ο κινητήρας μπορεί να υπερθερμανθεί. Η κρίσιμη ταχύτητα είναι διαφορετική για πολλές αντλίες, αλλά ένας γενικός κανόνας είναι ότι οι αρνητικές επιπτώσεις είναι πιθανόν να συμβούν για ταχύτητες που είναι άνω του 50% της ονομαστικής ταχύτητας. Ένας άλλος περιορισμός είναι ότι, η ταχύτητα της αντλίας δεν θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλή κατά την εκκίνηση της, γιατί θα μπορούσε να αποδειχθεί δύσκολο να εκκενώσει τον αέρα που πιθανόν έχει εγκλωβιστεί στο εσωτερικό του μανδύα ψύξης. Εάν ένα σύστημα πρέπει να λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες, θα πρέπει να παρέχεται εσωτερική ψύξη (εκτός και αν το σύστημα αντλεί καθαρό νερό) [Palm, 2002].

1.2.15.5 Διάρκεια ζωής

Η μέση ταχύτητα ενός κινητήρα που κινείται με τη βοήθεια μίας συσκευής VFD είναι χαμηλότερη από ότι θα ήταν διαφορετικά. Έτσι, κάποια τμήματα της αντλίας είναι πιθανό να διαρκέσουν περισσότερο από ότι θα διαρκούσαν σε διαφορετική περίπτωση. Ωστόσο, λόγω των ραγδαίων μεταβολών των ρευμάτων και εξαιτίας των αυξανόμενων ωρών λειτουργίας, κάποια τμήματα θα καταστραφούν πιο γρήγορα. Τα περισσότερα ανταλλακτικά μπορούν να βιώσουν τόσο άμεσες όσο και έμμεσες επιπτώσεις. Έτσι, η γνώση του συστήματος και της αντλίας απαιτούνται ώστε να υπολογιστούν οι επιπτώσεις. Σε γενικές γραμμές, τα ρουλεμάν θα διαρκέσουν

περισσότερο, το ίδιο και ο άξονας (εκτός και αν εν τω μεταξύ διαβρωθεί σε σχέση με την κόπωση από τη μηχανική καταπόνηση), ενώ σε αντίθεση ο κινητήρας ίσως δεν διαρκέσει όσο θα διαρκούσε διαφορετικά. Το κόστος συνεπώς για μια VFD αντλία μπορεί να μην είναι μικρότερο [Palm, 2002].

1.2.15.6 Προ-στροβιλισμοί και στροβιλισμοί στην εισαγωγή της αντλίας

Οι περισσότερες αντλίες έχουν σχεδιαστεί για την περιστροφή ρευστού το οποίο έχει ελεύθερη εισροή. Έτσι, πιθανή περιστροφική ροή θα προκαλέσει τη ροή στο εσωτερικό της αντλίας να παρεκκλίνει από το πρότυπο σχεδίασης και θα οδηγήσει την αντλία να αποκλίνει από τις παραμέτρους σχεδιασμού. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να αποφεύγεται η περιστροφή ή ο στροβιλισμός του ρευστού, ή να περιορίζεται εντός των ορίων που καθορίζονται από τον κατασκευαστή.

Η περιστροφική ροή συνήθως προκαλείται από την ασύμμετρη κατανομή της ταχύτητας κατά την είσοδο σε μια λεκάνη, που έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της περιστροφικής ορμής, η οποία στη συνέχεια ενισχύεται καθώς η ροή συγκλίνει προς την είσοδο της αντλίας.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο προ-στροβιλισμός είναι συνάρτηση της ανεξέλεγκτης περιστροφής στην εισαγωγή της αντλίας, ο στροβιλισμός είναι ένα φαινόμενο πολύ πιο έντονο από τις τοπικές περιστροφές κατά τις οποίες εφαρμόζονται φορτίσεις τύπου σοκ στα περιστρεφόμενα στοιχεία της αντλίας, προκαλώντας αρνητικές επιδόσεις και κραδασμούς. Οι στροβιλισμοί μπορεί να είναι επιφανειακοί, ή να σχηματίζονται υποβρύχια [Environment Agency, 2012].

1.2.15.7 Εισαγωγή αέρα

Η εισαγωγή αέρα στην είσοδο της αντλίας μπορεί να προκαλέσει μείωση της παραγωγικής ικανότητας της αντλίας. Είναι ευρέως αναγνωρισμένο, ότι η εισαγωγή συγκεντρώσεων του αέρα πάνω από τέσσερα τοις εκατό (4%) κατά όγκο, μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγωγικής ικανότητας της αντλίας. Σε μία τυπική περίπτωση μίας φυγοκεντρικής αντλίας, η εισαγωγή 3% ελεύθερου αέρα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης έως και 15%. Η εισαγωγή των φυσαλίδων αέρα εντός των περιοχών πίεσης της πτερωτής της αντλίας μπορεί να οδηγήσει σε μηχανικές δυνάμεις ανισορροπίας, η οποία ανισορροπία μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω δονήσεις και στην επιτάχυνση της μηχανικής φθοράς. Επιπλέον, η παρατεταμένη είσοδος του αέρα ίσως οδηγήσει σε σχηματισμό θυλάκων αέρα στο εσωτερικό του κυκλοφορούμενου ρευστού, το οποίο μπορεί να προκαλέσει αστάθεια και απόφραξη [Environment Agency, 2012].

1.2.15.8 Έλεγχος (κυρίως για τα αντλιοστάσια όμβριων νερών, ή την είσοδο σε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων ή την υδρομάστευση νερού από επιφανειακά ύδατα)

Στην πλειοψηφία των αντλιοστασίων, οι εισερχόμενες ροές πρέπει να παρακολουθούνται για να εμποδίζεται η απόφραξη και οι βλάβες στην πτερωτή της αντλίας. Αυτό γίνεται με χρήση εσχάρων εισόδου, ή χρήση φράκτη ζιζανίων και ο σχεδιασμός και οι μέθοδοι καθαρισμού εξαρτώνται από τη φύση της εισροής που εισέρχεται κάθε φορά στο αντλιοστάσιο. Οι εσχάρες εισόδου στα αντλιοστάσια όμβριων νερών βρίσκονται συνήθως μέσα σε κανάλια, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τις καταιγιστικές ροές και όπως το όνομά τους υποδηλώνει, προστατεύουν το αντλιοστάσιο από τα συντρίμια (ή σκουπίδια) που μεταφέρονται μαζί με τις καταιγιστικές ροές .

Η πρώτη απότομη εισροή νερού κατά μήκος του καναλιού θα μεταφέρει συχνά μεγάλες ποσότητες στερεών υπολειμμάτων/συντριμμιών σκουπιδιών, ιδιαίτερα εάν έχει προηγηθεί μακρά ξηρή περίοδος. Οι φράκτες ζιζανίων συνήθως δεν χρειάζονται όλο το χρόνο, αλλά τείνουν να χρησιμοποιούνται εντατικά κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων, όπως το Φθινόπωρο, ή αμέσως μετά το ξεχέρσωμα της κοίτης ώστε να διευκολύνεται η ροή . Συνήθως σε αυτές τις περιόδους, η αστοχία των ελέγχων εισόδου της ροής στο αντλιοστάσιο μπορεί ολοκληρωτικά να βλάψει το αντλιοστάσιο, εκτός και εάν οι έλεγχοι πραγματοποιούνται με χρήση αυτοματισμών.

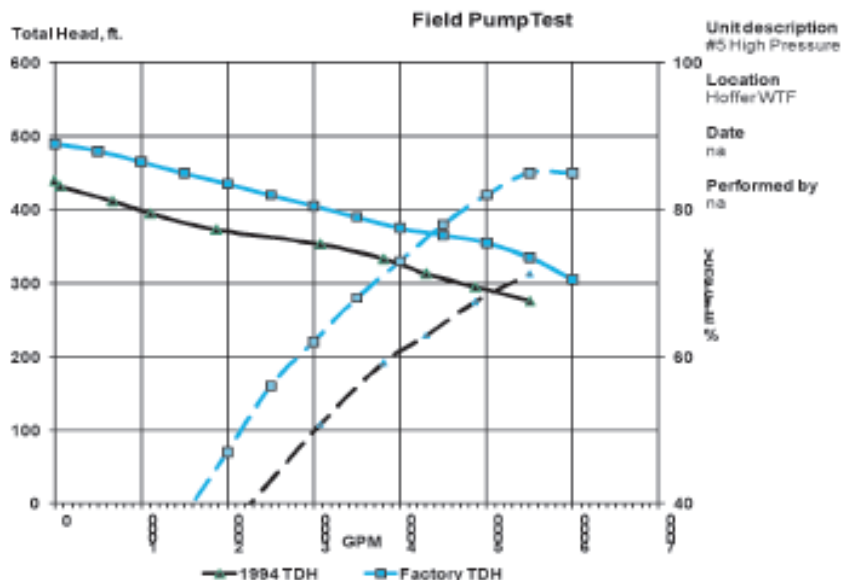
Αυτοί οι έλεγχοι συχνά παραβλέπονται ως πηγή αναποτελεσματικότητας, αλλά καθώς μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένα επίπεδα εισόδου αλλά και σε απόφραξη των αντλιών αν δεν έχουν σχεδιαστεί σωστά, θα πρέπει να μελετώνται προσεκτικά.

Μεγαλύτερες εσχάρες, που συνήθως λειτουργούν σωστά, μπορούν να επιτρέψουν να περάσει μια μικρή ποσότητα του στερεού υλικού προς τις αντλίες (ανάλογα με το μέγεθος της αντλίας) και αυτό μπορεί να μειώσει ακόμη και την ενεργειακή αποδοτικότητα εάν το υλικό που εισέρχεται παγιδεύεται εντός της πτερωτής της αντλίας.

Το μέγεθος της εσχάρας (πυκνή εσχάρωση ή όχι) καθορίζεται συχνά κατόπιν στενής συνεργασίας με τους κατασκευαστές της αντλίας. Πολύ πυκνή εσχάρωση και συχνό μπλοκάρισμα αντικειμένων στην εσχάρα θα οδηγήσει σε αυξημένες επισκέψεις του χειριστή για καθαρισμό και συντήρηση στην εσχάρα. Πολύ μεγάλα διαστήματα μεταξύ των λεπίδων της εσχάρωσης θα οδηγήσουν σε διακοπές της αντλίας ή στην καταστροφή της πτερωτής της αντλίας [Environment Agency, 2012].

1.2.16 Έλεγχος αντλιών

Με το πέρασμα του χρόνου η απόδοση των αντλιών μειώνεται. Όταν ελέγχουμε την τρέχουσα καμπύλη της αντλίας σε σχέση με την αρχική της καμπύλη λειτουργίας, μας δίνεται η ευκαιρία να βελτιώσουμε την απόδοση της υπάρχουσας αντλίας, χωρίς να περιμένουμε να συμβεί ένα σημαντικό μηχανολογικό πρόβλημα. Η συγκεκριμένη διαδικασία στηρίζεται στην καταμέτρηση της παροχής και του δυναμικού μανομετρικού σε ένα εύρος συνθηκών καθώς επίσης και στην ισχύ λειτουργίας (kW). Τυπικά, η αντλία ελέγχεται από το κλείσιμο της (χωρίς παροχή) μέχρι το 125% της παροχής συσχετιζόμενη με το βέλτιστο σημείο λειτουργίας. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, η τρέχουσα καμπύλη της αντλίας μπορεί να συγκριθεί με την αρχική καμπύλη της λειτουργίας της αντλίας, ώστε να καθοριστεί αν πρέπει να επισκευαστεί η αντλία.



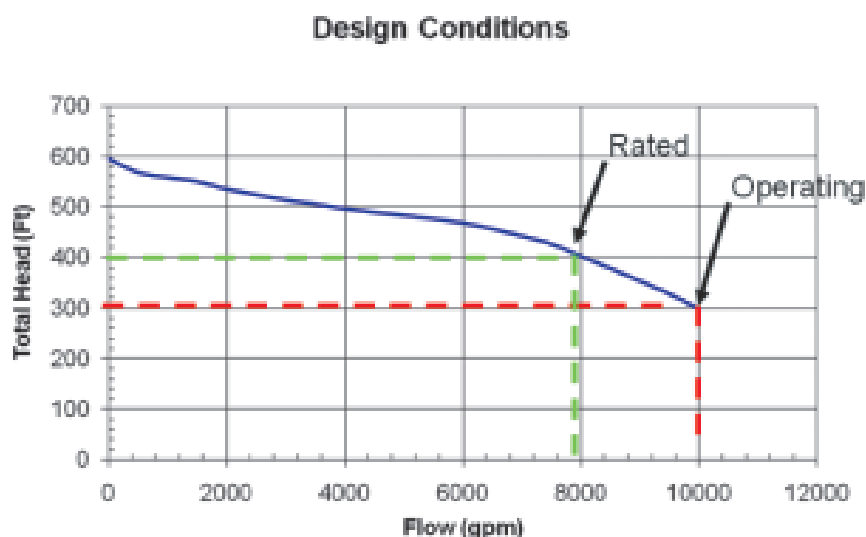
Σχήμα 1. 38 : Σύγκριση καμπυλών αρχικής και τρέχουσας λειτουργίας αντλίας (Courtesy Fayetteville Public Works Commission, Fayetteville, North Carolina) [Reinbold and Hart, 2010].

Το σχήμα 1.38 δείχνει την αρχική καμπύλη λειτουργίας μιας αντλίας και την τρέχουσα καμπύλη λειτουργίας για μια εγκατεστημένη αντλία στο Fayetteville Public Works Commission in Fayetteville, North Carolina. Από το σχήμα 1.38 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αντλία είχε χάσει περίπου 500 gpm στο σημείο βέλτιστης λειτουργίας και 13% αποδοτικότητα στην πάροδο του χρόνου. Χρησιμοποιώντας την αρχική αποδοτικότητα καθώς και την παροχή (για τυπική λειτουργία αντλίας 8 ώρες / ημέρα) έγινε εφικτό να συγκριθούν οι ενεργειακές απώλειες με το κόστος επισκευής της αντλίας, ώστε να καθοριστούν οι αποσβέσεις. Για τη συγκεκριμένη αντλία η

απόσβεση ήταν 2.8 έτη και βάσει της ανάλυσης που έγινε, ενώ στάλθηκε σε εξωτερικό συνεργείο για επισκευή.

1.2.17 Έλεγχος του πραγματικού σημείου λειτουργίας μιας αντλίας

Γενικά, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τι πραγματικά αποδίδει μια αντλία σε σχέση με τα στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής της, αλλά επίσης σημαντικό είναι να ελέγξουμε ποιο είναι πλέον το πραγματικό σημείο λειτουργίας της αντλίας σε σχέση με το σημείο που λειτουργούσε η αντλία αρχικά. Όπως έχει προαναφερθεί, η προσαύξηση των συντελεστών ασφαλείας κατά τα στάδια των υπολογισμών και της προμήθειας της αντλίας, επηρεάζουν την καμπύλη λειτουργίας της αντλίας και έτσι οδηγούμαστε στην επιλογή αντλιών, οι οποίες τελικά λειτουργούν εκτός των σημείων της καμπύλης τους και οι οποίες είναι υπερδιαστασιολογημένες για την εκάστοτε εφαρμογή.



Σχήμα 1. 39 : Σύγκριση του αρχικού σημείου λειτουργίας σε σχέση με το πραγματικό σημείο λειτουργίας [Reinbold and Hart, 2010].

Ο έλεγχος του τρέχοντος σημείου λειτουργίας και η σύγκριση του με το βέλτιστο σημείο το οποίο έχει επιλεγεί κατά τους υπολογισμούς, μας επιτρέπει τον επανέλεγχο και τη δυνατότητα να ρυθμίσουμε την αντλία, ώστε να λειτουργεί στο πραγματικό σημείο λειτουργίας. Το σχήμα 1.39 δείχνει την καμπύλη μιας αντλίας με το αρχικό σημείο λειτουργίας, καθώς και το πραγματικό σημείο λειτουργίας. Το αρχικό σημείο λειτουργίας αντιστοιχούσε σε 8000 gpm στα 400 feet δυναμικού μανομετρικού. Το αρχικά σχεδιαζόμενο σημείο λειτουργίας ήταν 10000 gpm στα 300 ft δυναμικού μανομετρικού. Κατά τη διάρκεια της προγραμματιζόμενης συντήρησης ρουτίνας,

αντικαταστάθηκε το σύστημα εισαγωγής του ρευστού στην αντλία, ώστε να μειωθεί η καμπύλη της αντλίας και έτσι το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της αντλίας (85%) να προσεγγίσει το πραγματικό σημείο λειτουργίας.

1.2.18 Επίδραση της αποδοτικότητας της αντλίας στη συντήρηση

Μία από τις συνήθεις πτυχές που αγνοούνται κατά τον υπολογισμό των αντλιών, σε σχέση με την αποδοτικότητα και το βέλτιστο σημείο λειτουργίας, είναι η επίδραση του υδραυλικού βαθμού απόδοσης στη μακροπρόθεσμη φθορά και στη συντήρηση των αντλιών. Μία αντλία με υψηλό υδραυλικό βαθμό απόδοσης μεταφέρει την ενέργεια που εφαρμόζεται στην αντλία προς το νερό. Αντλίες με χαμηλό υδραυλικό βαθμό απόδοσης μεταφέρουν την ενέργεια στην ίδια την αντλία (ρουλεμάν, στεγανοποιητικοί δακτύλιοι κλπ) πράγμα το οποίο θέλουμε να αποφεύγεται, καθώς τότε απαιτείται περισσότερη συντήρηση και πραγματοποιείται ταχύτερα η αποδόμηση της απόδοσης της αντλίας.

1.2.19 Σχεδιασμός αντλητικών συστημάτων

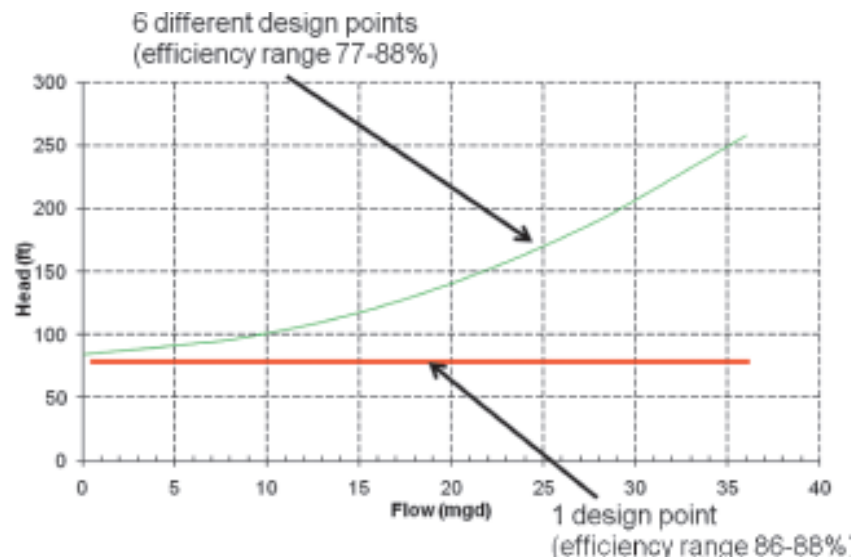
Ο σχεδιασμός ενός συστήματος, στο οποίο λειτουργεί μία αντλία, συνήθως αναλύεται συγκρίνοντας το κόστος της ενέργειας που χρησιμοποιείται για να αντληθεί το νερό σε σχέση με το σύστημα σωληνώσεων. Γενικά, αυτή είναι μια λανθασμένη προσέγγιση για το σχεδιασμό του συστήματος, καθώς δεν συνυπολογίζει τη διαστασιολόγηση και το κόστος του συνόλου του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στο σύστημα. Εάν το σύστημα σωληνώσεων έχει σχεδιαστεί ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες τριβής, τότε προκύπτει σαν αποτέλεσμα μία πιο επίπεδη καμπύλη του μανομετρικού. Το τελικό σύστημα που δημιουργείται επιδρά σε ένα χαμηλότερο δυναμικό μανομετρικό και έτσι μειώνονται τα μεγέθη της αντλίας και του σχετικού εξοπλισμού. Εφόσον μειώνονται οι απώλειες τριβής και γίνεται πιο επίπεδη η καμπύλη του μανομετρικού, τότε γίνεται εφικτή μία σειρά από παρεμβάσεις στο σύνολο του εξοπλισμού, προκειμένου να εξοικονομηθούν πόροι και ενέργεια διαμέσου υποδιαστασιολογήσεων, όπως φαίνεται και από τη λίστα που ακολουθεί. Επομένως, μπορούν να πραγματοποιηθούν παρεμβάσεις στα μεγέθη:

- Κινητήρα.
- Μέγεθος βάσης κινητήρα.
- Αποσύνδεση κινητήρα.
- Μέγεθος καλωδίου από τον κινητήρα στη συσκευή VFD.

- Μέγεθος της συσκευής VFD.
- Μέγεθος καλωδίου από τη συσκευή VFD στον διακόπτη.
- Διακόπτη.
- Μέγεθος καλωδίου από το διακόπτη προς τον μετασχηματιστή.
- Μετασχηματιστή.
- Μέγεθος καλωδίου από τον μετασχηματιστή προς τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μέγεθος δωματίου αντλιών.
- Μέγεθος δωματίου ηλεκτρικού πίνακα.
- Μέγεθος βάσης μετασχηματιστή.
- Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος/γεννήτρια.
- Δεξαμενή αποθήκευσης νερού.
- Ηλεκτρικός διακόπτης μεταφοράς.
- Σύστημα HVAC.
- Γερανογέφυρα εντός του αντλιοστασίου, κλπ.

Η πιο επίπεδη καμπύλη του μανομετρικού του συστήματος που προκύπτει, εκτός από την εξοικονόμηση στο κόστος του εξοπλισμού, οδηγεί επίσης σε ένα πολύ πιο εύκολο σχεδιασμό για την αντίστοιχη ενέργεια αποδοτικότητας. Ένα σύστημα με πιο επίπεδη καμπύλη του μανομετρικού είναι ένα σύστημα με ένα μόνο βέλτιστο σημείο σχεδιασμού και το οποίο μπορεί να παρέχει συνεχή λειτουργία στο βέλτιστο σημείο αποδοτικότητας. Επίσης, μια επίπεδη καμπύλη του μανομετρικού μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός συστήματος χωρίς τη χρήση συσκευής VFD και αυτό να συμβαίνει ταυτόχρονα με κέρδος της ηλεκτρικής απόδοσης.

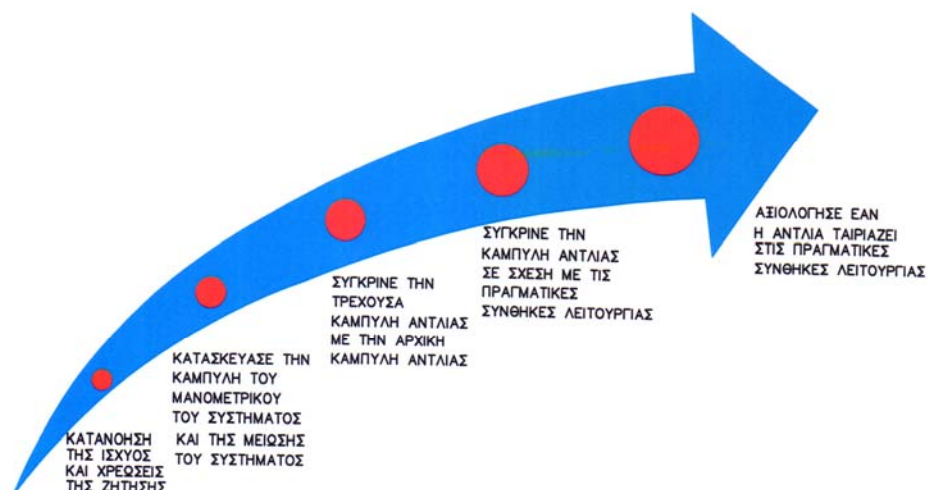
Το σχήμα 1.40 δείχνει τη διαφορά μεταξύ ενός συστήματος με υψηλή απώλεια μανομετρικού λόγω τριβών και ενός συστήματος με μια επίπεδη καμπύλη του μανομετρικού.



Σχήμα 1. 40 :Σύγκριση της καμπύλης ενός συστήματος με μεγάλες απώλειες τριβής και ενός συστήματος με ευθεία καμπύλη μανομετρικού [Reinbold and Hart, 2010].

1.2.20 Προτεινόμενη μεθοδολογία για την ενεργειακή αξιοποίηση

Μία συνολική κατανόηση του αντλητικού συγκροτήματος σε ένα αντλιοστάσιο, μπορεί να οδηγήσει σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της ενεργειακής αποδοτικότητας, η οποία επίσης μπορεί να συνδυαστεί με σημαντικές μειώσεις στη χρήση ενέργειας. Το σχήμα 1.41 αποτελεί



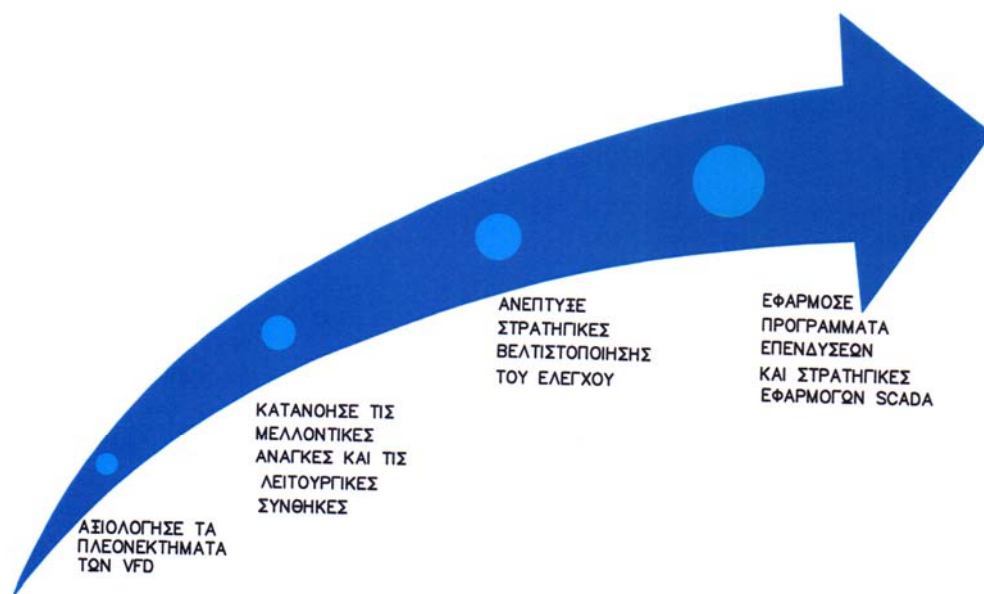
Σχήμα 1.41 : Προσέγγιση για την αξιολόγηση ενός υφιστάμενου Αντλιοστασίου [Reinbold and Hart, 2010].

μια σύνοψη της αξιολόγησης ενός υφιστάμενου αντλιοστασίου. Κατά την αντίστοιχη ενεργειακή προσέγγιση, υπάρχουν συγκεκριμένα βήματα τα οποία θα πρέπει να ακολουθηθούν, ώστε να ληφθούν οι ορθές αποφάσεις, οι οποίες θα οδηγήσουν στο σχεδιασμό της βέλτιστης ενεργειακής διαχείρισης. Καταρχάς, ο μελετητής οφείλει να προσεγγίσει το ενεργειακό ζήτημα, αντλώντας στοιχεία από τους λογαριασμούς κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και να διερευνήσει τα εναλλακτικά σενάρια ως προς τις χρεώσεις και την ενεργειακή ζήτηση.

Σε δεύτερη φάση, θα πρέπει να γίνει ένας έλεγχος των αντλητικών συστημάτων και κατά πόσο οι σχεδιαστικές επιλογές που έγιναν κάποτε, εξακολουθούν να ισχύουν στη σύγχρονη λειτουργία του αντλιοστασίου. Δηλαδή, θα πρέπει να κατασκευαστεί η πραγματική καμπύλη λειτουργίας σε σχέση με τη θεωρητικά σχεδιασμένη, να συγκριθούν οι δύο καμπύλες και να προκύψουν τα αντίστοιχα συμπεράσματα, σύμφωνα με τα δεδομένα της βιβλιογραφίας που παρουσιάζονται στη διατριβή. Σε επόμενο βήμα ή/και ταυτόχρονα, θα πρέπει να συγκριθεί η καμπύλη της αντλίας σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, ώστε να γίνει αντιληπτό πόσο έχει επηρεαστεί αρνητικά ή όχι, το αντλητικό συγκρότημα από τη μέχρι σήμερα λειτουργία του και να παρθούν αποφάσεις σχετικά με την επισκευή, την αντικατάσταση ή την παραμονή του στο αντλιοστάσιο.

Στα πλαίσια αυτά, στο σχήμα 1.42 βλέπουμε την προσέγγιση των αξιολογούμενων βελτιώσεων σε ένα υφιστάμενο αντλιοστάσιο, κατόπιν της προκαταρκτικής αξιολόγησης που οφείλεται να προηγείται. Έτσι, μετά την πρώτη αξιολόγηση του αντλιοστασίου και εφόσον ληφθούν οι αποφάσεις εάν το υφιστάμενο αντλητικό συγκρότημα ταιριάζει στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, θα πρέπει να τεθούν θέματα χρήσεως VFD ή Soft Starter για την εκκίνηση και τον έλεγχο των αντλητικών συγκροτημάτων, καθώς θα πρέπει να συνεκτιμηθεί, παράλληλα, η περίπτωση ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων του ενός αντλητικών συγκροτημάτων. Συνεπώς, θα πρέπει να υπάρξει κατανόηση σε βάθος, σχετικά με τις τρέχουσες αλλά και μελλοντικές ανάγκες του αντλιοστασίου και των πραγματικών λειτουργικών του συνθηκών. Εφόσον λοιπόν γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του αντλιοστασίου και με ποιους τρόπους μπορούν να υπάρξουν επικοδομητικές λειτουργικές παρεμβάσεις, στη συνέχεια, οφείλουμε να αναπτύξουμε στρατηγικές βελτιστοποίησης του ελέγχου του αντλιοστασίου και της ενεργειακής του κατανάλωσης και να τις εφαρμόσουμε μέσω προγραμμάτων επενδύσεων. Σε κάθε περίπτωση, για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της ενεργειακής λειτουργίας και της αξιοπιστίας του αντλιοστασίου, θα πρέπει το τελικό αυτό εγχείρημα να συνοδεύεται, πέρα από καταγραφικές συσκευές, όπως αναφέρονται

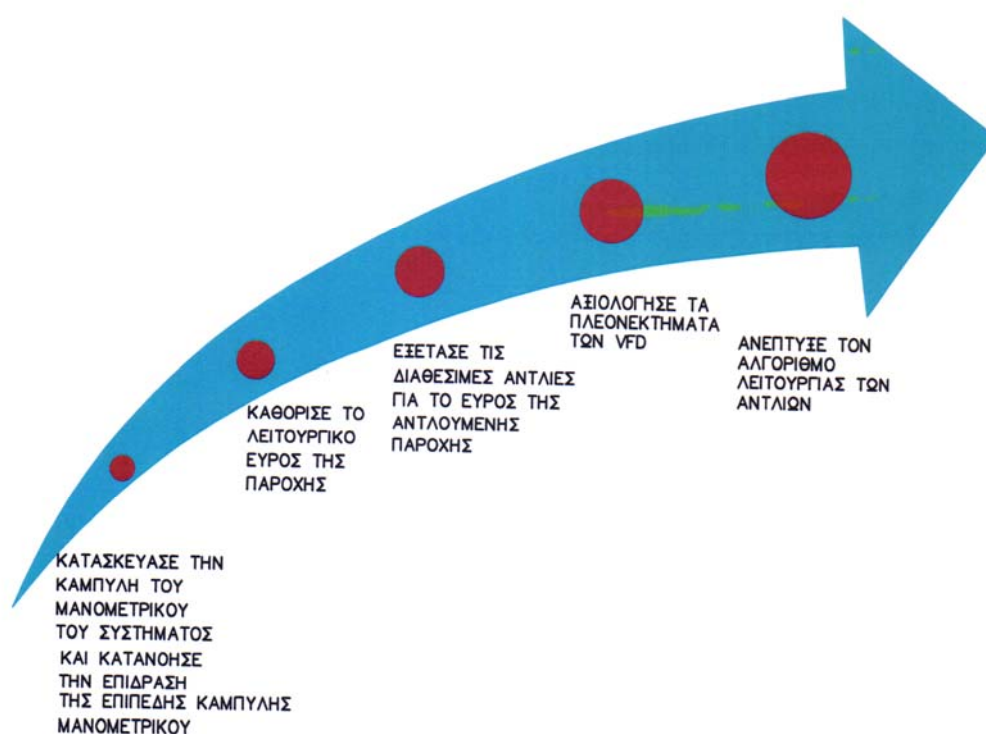
στην παράγραφο της διατριβής «1.2.2 Ο ρόλος της μέτρησης/καταγραφής στην εξοικονόμηση ενέργειας» και από στρατηγικές εφαρμογών τύπου SCADA.



Σχήμα 1.42 : Προσέγγιση βελτιστοποίησης υφιστάμενου Αντλιοστασίου [Reinbold and Hart, 2010].

Παρόμοιες προσεγγίσεις και τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό ενός νέου αντλιοστασίου. Το σχήμα 1.43 δείχνει τη συγκεκριμένη προσέγγιση. Στην αντίστοιχη περίπτωση και εφόσον έχουμε κατανοήσει τις ανάγκες του έργου, δηλαδή το μανομετρικό και την παροχή στην οποία πρέπει να λειτουργεί το αντλιοστάσιο, κατασκευάζουμε την καμπύλη μανομετρικού του αντλητικού συγκροτήματος. Παράλληλα, εξασφαλίζουμε ότι κατανοούμε τον τρόπο που θα πρέπει να λειτουργεί με βέλτιστο τρόπο το αντλητικό συγκρότημα. Καθορίζουμε λοιπόν, το λειτουργικό εύρος της παροχής και εξετάζουμε τις εμπορικά διαθέσιμες λύσεις για τα αντλητικά συγκροτήματα που μπορούμε να προμηθευτούμε. Στη συνέχεια, εφόσον δεν καταλήγουμε σε κάποιο εμπορικό αντλητικό συγκρότημα το οποίο να καλύπτει τις ανάγκες μας βάσει των σχεδιαστικών του χαρακτηριστικών, αξιολογούμε για την περίπτωση μας τα πλεονεκτήματα ή όχι, της χρήσης VFD (ή soft starter) για το αντλητικό συγκρότημα που επιλέγουμε. Ακολουθώντας, αναπτύσσουμε τον αλγόριθμο λειτουργίας των αντλητικών συγκροτημάτων. Τη λειτουργία των αντλητικών συγκροτημάτων, την παρακολουθούμε μέσω συστήματος SCADA και αναλόγως παρεμβαίνουμε τροποποιώντας τον αλγόριθμο, ή πραγματοποιώντας άλλου τύπου

παρεμβάσεις, προκειμένου να πετύχουμε τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του αντλιοστασίου. Λόγω του ότι στο 2^ο κεφάλαιο της διατριβής εξετάζεται συγκεκριμένη εφαρμογή σε αντλιοστάσιο του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης ΑΕ (θέση Βλητές), δεν θα επεκταθούμε παραπάνω στην παρούσα ανάλυση, αλλά θα παρουσιάσουμε τα υπόλοιπα στοιχεία της εξοικονόμησης ενέργειας και της λειτουργικής ασφάλειας, στην παράγραφο της διατριβής, 2.4 «Επισημάνσεις σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας και τη λειτουργική ασφάλεια στο αντλιοστάσιο του Βλητέ».



Σχήμα 1.43: Σχεδιαστική προσέγγιση για την ενεργειακή απόδοση για ένα νέο αντλιοστάσιο [Reinbold and Hart, 2010].

Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται ο πίνακας 1.3. Ο συγκεκριμένος πίνακας ελέγχου περιέχει γενικές δράσεις βέλτιστης διαχείρισης που οδηγούν στην εξοικονόμηση ενέργειας. Σε συνδυασμό με τα μέχρι στιγμής αναφερόμενα βιβλιογραφικά δεδομένα, αποτελεί την κατεύθυνση που θα μπορούσε κάποιος να εστιάσει, προκειμένου να οδηγηθεί σε εξοικονόμηση ενέργειας και αξιόπιστη λειτουργία ενός αντλιοστασίου ή/και γενικότερα των εγκαταστάσεων νερού.

Πίνακας 1.3 Πίνακας ελέγχου δράσεων βέλτιστης διαχείρισης που οδηγούν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια [Commission of Winsconsin]

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ	
1	Χρησιμοποιήστε και διαχειριστείτε τα δεδομένα παρακολούθησης και καταγραφής.
2	Διαχειριστείτε και διαπραγματευτείτε τη χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνετε στο αντλιοστάσιο.
3	Συμπεριλάβετε την ενεργειακή απόδοση ως στρατηγική επιλογή στην βελτίωση του κεφαλαίου και στα επιχειρησιακά σχέδια του οργανισμού/εταιρείας.
4	Αφήστε την ενεργειακή απόδοση να πληρώσει για τις παρεμβάσεις που την αφορούν.
5	Χρησιμοποιήστε την ανάλυση κόστους κύκλου ζωής για την επιλογή αγοράς εξοπλισμού και παρεμβάσεων ενεργειακής εξοικονόμησης.
6	Μελετήστε και σχεδιάστε με ευελιξία για το σήμερα και το αύριο.
ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ/ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ	
7	Αξιολογήστε την ενεργειακή εγκατάσταση.
8	Εκτιμήστε τα αντλητικά συγκροτήματα.
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ	
9	Παρακολουθήστε την ενέργεια σε πραγματικό χρόνο.
10	Χρησιμοποιήστε για τον έλεγχο εποπτείας και την απόκτηση δεδομένων του αντλιοστασίου συστήματα τύπου SCADA.
11	Εξομαλύνετε τις κορυφώσεις στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας.
12	Αδρανοποιείτε ή απενεργοποιείτε μη αναγκαίο ή ακατάλληλο εξοπλισμό.
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ	
Ηλεκτροκινητήρες	
13	Συντηρείστε σωστά τους κινητήρες.
14	Επιλέξτε κατάλληλου μεγέθους κινητήρες.
15	Εγκαταστήστε κινητήρες υψηλής απόδοσης.
16	Εφαρμόστε τεχνολογίες VFD (με μεταβλητές συχνότητες) όπου κριθεί απαραίτητο.
17	Αυτοματοποιήστε την παρακολούθηση και τον έλεγχο
18	Βελτιώστε το συντελεστή ισχύος.
Αντλίες	
19	Βελτιστοποιήστε την απόδοση του αντλητικού συστήματος.
20	Μειώστε τη ροή άντλησης, όπου κριθεί απαραίτητο.
21	Μειώστε το μανομετρικό αντλίας, όπου κριθεί απαραίτητο.

22	Αποφύγετε τον περιορισμό της εκκένωσης (στραγγαλισμό) της αντλίας.
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗ	
23	Εκπαιδεύστε σε θέματα ενεργειακής απόδοσης το προσωπικό της εγκατάστασης.
24	Βεβαιωθείτε ότι το προσωπικό της εγκατάστασης έχει πρόσβαση και κατανοεί τους ενεργειακούς λογαριασμούς που αντιστοιχούν στη λειτουργία της εγκατάστασης, σε μηνιαίο επίπεδο.
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ / ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	
25	Ενσωματώστε τη ζήτηση του συστήματος νερού και τη ζήτηση της ενέργειας στη σχεδίαση των συστημάτων των αντλιοστασίων.
26	Σχεδιάστε και λειτουργήστε την εγκατάσταση του αντλιοστασίου με υποβοήθηση υπολογιστών.
27	Διαχειριστείτε σωστά τη μέγιστη - ελάχιστη ζήτηση της κατανάλωσης.
28	Επικεντρωθείτε στις επαναληπτικές λειτουργίες των αντλητικών συγκροτημάτων.
ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ	
29	Πραγματοποιείτε ανίχνευση διαρροών συστήματος και επισκευές.
30	Βελτιστοποιήστε την χωρητικότητα αποθήκευσης (δεξαμενές).
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	
31	Πρωωθείστε την προστασία των αποθεμάτων του νερού.
32	Επιβάλλετε δράσεις και προγράμματα μείωσης καταναλώσεων αρδευτικού νερού.
33	Διαχειριστείτε χρήστες μεγάλων ποσοτήτων νερού.
34	Διαχειριστείτε τις εποχιακές / τουριστικές εξάρσεις της κατανάλωσης.
35	Προγραμματίστε δράσεις για τη βέλτιστη διαχείριση των όμβριων υδάτων.

1.3 Ασφάλεια συστήματος

Μέχρι στιγμής, μέσω της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, εντοπίσαμε με ποιους τρόπους επηρεάζεται η λειτουργικότητα των αντλιοστασίων, από τη σκοπιά της μηχανικής, της ορθής λειτουργίας και της εξοικονόμησης ενέργειας. Τα αντλιοστάσια είναι βιομηχανικά συστήματα των οποίων η λειτουργία σχετίζεται με την ασφάλεια αλλά και την αξιοπιστία λειτουργικότητας. Έτσι, στις επόμενες σελίδες θα αναπτυχθεί το τμήμα της διατριβής στο οποίο προτείνονται, παρουσιάζονται, επιλέγονται και αναλύονται, οι συνηθέστεροι μέθοδοι εκτίμησης των αστοχιών και κατά επέκταση των κινδύνων για τους αντίστοιχους χώρους.

Αναμφισβήτητα, ζούμε σε έναν κόσμο που αποτελείται από συστήματα και κινδύνους. Για παράδειγμα, οι κατοικίες είναι ένας τύπος συστήματος, τα αυτοκίνητα είναι ένα είδος συστήματος, και τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα άλλο είδος συστήματος. Βάσει της ίδιας λογικής, τα αντλιοστάσια, είναι συστήματα που λειτουργούν μέσα σε ένα ευρύτερο σύστημα μεταφοράς και διανομής.

Με τα συστήματα και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, έρχεται επίσης και η έκθεση σε ατυχήματα, διότι τα συστήματα μπορεί να αποτύχουν, ή να μην λειτουργήσουν σωστά, με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιάς, πιθανούς τραυματισμούς ή ακόμα και θάνατο. Η πιθανότητα ένα σύστημα να αποτυγχάνει και να οδηγήσει σε θάνατο, τραυματισμό, ή ζημία, αναφέρεται ως κίνδυνος αστοχίας. Για παράδειγμα, υπάρχει ο κίνδυνος ότι ένα φανάρι θα αποτύχει, και θα οδηγήσει στη σύγκρουση οχημάτων. Τα οχήματα, η κυκλοφορία και τα φώτα κυκλοφορίας, σχηματίζουν ένα μοναδικό σύστημα που χρησιμοποιούμε καθημερινά, και δεχόμαστε τον πιθανό κίνδυνο αστοχίας επειδή ο κίνδυνος είναι μικρός. Σε ένα άλλο παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι, υπάρχει ο κίνδυνος ένας φούρνος υγραερίου στο σπίτι μας να αστοχήσει και να εκραγεί, με αποτέλεσμα με τον τρόπο αυτό να οδηγήσει στην αστοχία της πυρκαγιάς της κατοικίας ή κάτι ακόμα χειρότερο. Αυτό είναι ένα άλλο μοναδικό σύστημα, με γνωστές δυσμενείς παρενέργειες που επιλέγουμε να ζούμε, επειδή ο κίνδυνος ατυχήματος είναι μικρός και τα οφέλη είναι μεγάλα.

Η εκτίμηση επικινδυνότητας (risk assessment) χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη και τον εντοπισμό των επικίνδυνων γεγονότων, αστοχιών, των αστοχιών του εξοπλισμού και των ανθρωπίνων λαθών που μπορούν να θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των συστημάτων. Πολλές φορές, η εκτίμηση επικινδυνότητας εφαρμόζεται σε τρία πεδία, τα οποία αλληλοεξαρτώνται και συμβάλλουν στην υιοθέτηση μιας ολιστικής προσέγγισης.

Το πρώτο πεδίο, της εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου, περιλαμβάνει την πρόβλεψη και τον εντοπισμό των δυσμενών εργασιακών συνθηκών που επιδρούν αρνητικά στην υγιεινή και ασφάλεια των εργαζόμενων. Συνήθως εφαρμόζεται στην

καθημερινότητα των εργαζομένων κατά την εκτέλεση των εργασιών. Σε αυτό το πεδίο, επικεντρωνόμαστε στις επισφάλειες που δημιουργούν οι εργασιακές συνθήκες, όπως τα υψηλά επίπεδα θορύβου, ο ανεπαρκής φωτισμός, τα ολισθηρά δάπεδα, οι υψηλές θερμοκρασίες κλπ. Οι επισφάλειες θέτουν σε κίνδυνο την ψυχική και σωματική υγεία των εργαζόμενων είτε άμεσα, είτε έμμεσα, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπινου λάθους.

Το δεύτερο πεδίο σχετίζεται με την ανάλυση ανθρώπινων λαθών σε σύνθετες εργασίες. Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπως είναι τα αντλιοστάσια, πραγματοποιούνται πολλές εργασίες νοητικής φύσης που απαιτούν την χρήση γνώσεων και ικανοτήτων, όπως η διάγνωση σφαλμάτων, η αναγνώριση επικινδυνών καταστάσεων και η ανάθεση και ο συντονισμός εργασιών. Για την ανάλυση των εργασιών αυτών, προαπαιτούνται εργονομικές αναλύσεις των θέσεων εργασίας, πρόβλεψη ανθρωπίνων λαθών, ανάλυση διαδικασιών αναγνώρισης λαθών και αξιολόγηση συνθηκών εργασίας (πχ εγκατεστημένα συστήματα τύπου SCADA, οδηγίες εργασίας κλπ). Οι προαναφερόμενες νοητικές εργασίες είναι απαραίτητες για τον ποσοτικό προσδιορισμό των ανθρώπινων λαθών, τόσο για την εκτίμηση της επικινδυνότητας, όσο και τον καθορισμό των προτεραιοτήτων για τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας.

Το τελευταίο πεδίο, της εκτίμησης επικινδυνότητας των εγκαταστάσεων αφορά στις πιθανές αστοχίες του μηχανολογικού εξοπλισμού και την εκτίμηση της έκτασης των επιπτώσεων που είναι δυνατόν να αναλυθούν με τη χρήση τεχνικών όπως είναι τα δέντρα γεγονότων (Event Tree Analysis), τα δέντρα αστοχιών (Fault Tree Analysis) και τα διαγράμματα αιτιών- επιπτώσεων (Cause Consequence Analysis). Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην ανάλυση της αξιοπιστίας του εξοπλισμού και σε βάσεις δεδομένων που περιλαμβάνουν δεδομένα για τη συχνότητα των μηχανικών βλαβών. Σε ένα μεγάλο ποσοστό πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο τρόπος χρήσης του εξοπλισμού από τους εργαζόμενους, γεγονός που απαιτεί εργονομικές μεθόδους ανάλυσης της εργασίας.

Η ποσοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας απαιτεί πολύ χρόνο και ανθρώπινο δυναμικό και το κόστος αυτό είναι συνήθως ανασταλτικός παράγοντας για την εφαρμογή της από μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Στις περιπτώσεις αυτές είναι δυνατόν να γίνει μια ποιοτική εκτίμηση με τη χρήση δεικτών επικινδυνότητας [Κοντογιάννης, 2017].

Σε μια εγκατάσταση λοιπόν, εμπλέκεται ένα δίκτυο διαφορετικών συστημάτων, καθένα από τα οποία μπορεί να επηρεάζει το επίπεδο ασφάλειας. Κάθε ένα από αυτά τα συστήματα έχει ένα μοναδικό σχεδιασμό και ένα μοναδικό σύνολο στοιχείων. Επιπλέον, κάθε ένα από αυτά τα συστήματα περιέχει εγγενείς κινδύνους που

συνήθως παρουσιάζουν μοναδική πιθανότητα αστοχίας. Οφείλουμε να είμαστε πάντα σε θέση να κάνουμε έναν υπολογισμό μεταξύ της αποδοχής των ωφελειών ενός συστήματος, σε σχέση με τον κίνδυνο αστοχίας που παρουσιάζει. Καθώς αναπτύσσουμε και χτίζουμε συστήματα, θα πρέπει να ανησυχούμε για την εξάλειψη και τη μείωση του κινδύνου αστοχίας και συνεπώς της πρόκλησης ατυχήματος. Μερικοί κίνδυνοι είναι τόσο μικροί, ώστε να μπορούν εύκολα να γίνουν αποδεκτοί, ενώ άλλοι κίνδυνοι είναι τόσο μεγάλοι, ώστε πρέπει να αντιμετωπίζονται αμέσως. Ο κίνδυνος αστοχίας είναι συνήθως μικρός και αποδεκτός, όταν ο έλεγχος του σχεδιασμού του συστήματος (δηλαδή της ασφάλειας του συστήματος) εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του. Οι κίνδυνοι εντοπίζονται στο ότι ορισμένοι είναι ξεκάθαροι, κάποιοι πολύ αμυδροί, και μερικοί είναι ασαφείς, ενώ η ασφάλεια, είναι ένα θέμα αντίληψης, κατανόησης, και επιλογής του κινδύνου που αποδεχόμαστε. Η ασφάλεια του συστήματος είναι η επίσημη διαδικασία εντοπισμού και ελέγχου των κινδύνων αστοχίας. Καθώς τα συστήματα γίνονται πιο πολύπλοκα και πιο επικίνδυνα, απαιτείται περισσότερη προσπάθεια για να κατανοήσουμε και να διαχειριστούμε τον κίνδυνο αστοχίας του συστήματος. Το κλειδί για την ασφάλεια του συστήματος και την αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων είναι ο προσδιορισμός και ο μετριασμός των κινδύνων αυτών. Για τον επιτυχή έλεγχο των κινδύνων, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τους κινδύνους και να ξέρουμε πώς να τους εντοπίσουμε. Έτσι, ο σκοπός αυτού του μέρους της εργασίας είναι να κατανοήσουμε καλύτερα τους κινδύνους που προκύπτουν κατά τη λειτουργία σε ένα σύστημα αντλιοστασίου και να χρησιμοποιήσουμε τα κατάλληλα εργαλεία και τις τεχνικές για τον εντοπισμό τους, προκειμένου να μπορέσουμε να τους ελέγξουμε αποτελεσματικά [Ericson, 2005].

Από τη μέχρι τώρα ανάλυση συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι η λειτουργική ασφάλεια ενός αντλιοστασίου επιτυγχάνεται όταν κάθε συγκεκριμένη λειτουργία ασφαλείας πραγματοποιείται και ταυτόχρονα επιτυγχάνεται το επίπεδο απόδοσης που απαιτείται από κάθε λειτουργία ασφαλείας. Αυτό κανονικά επιτυγχάνεται με μια διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τουλάχιστον τα ακόλουθα στάδια:

1. Προσδιορισμός ποιες είναι οι απαιτούμενες λειτουργίες ασφαλείας. Οι κίνδυνοι και οι λειτουργίες ασφαλείας πρέπει να είναι γνωστές. Για τον προσδιορισμό αυτών των λειτουργιών, εφαρμόζεται μια διαδικασία αξιολογήσεων της λειτουργίας, με τη βοήθεια συνήθως μεθόδων HAZIDs (Hazard identification Studies), HAZOPs (Hazard and Operability Studies), καθώς και ανασκοπήσεις ατυχημάτων.

2. Εκτίμηση του κινδύνου μείωσης που απαιτείται από τη λειτουργία ασφαλείας. Αυτό περιλαμβάνει ένα επίπεδο ακεραιότητας ασφαλείας (SIL-Safety Integrity Level) ή επίπεδο απόδοσης ή άλλες ποσοτικοποιημένες αξιολογήσεις. Ένα

(SIL) επίπεδο ακεραιότητας ασφαλείας ή PI (Program Increment), εφαρμόζεται σε μια λειτουργία ασφαλείας πέρα ως πέρα σε ένα βιομηχανικό σύστημα όπως είναι ένα αντλιοστάσιο, που αφορά στη συνολική ασφάλεια και όχι, φυσικά, μόνο σε ένα στοιχείο, ή σε ένα μέρος του συστήματος.

3. Η διασφάλιση της λειτουργίας ασφαλείας πραγματοποιείται με την πρόθεση του σωστού σχεδιασμού, δεδομένου ότι κατά την εισαγωγή των δεδομένων από τον χειριστή, υπό συνθήκες, μπορεί να συμβεί λάθος που θα οδηγήσει σε λειτουργικές αστοχίες. Αυτό συνεπάγεται ότι ο σχεδιασμός και ο κύκλος ζωής του αντλιοστασίου ή των αντίστοιχων υποσυστημάτων του, θα διαχειρίζονται από μηχανικούς με προσόντα και ικανότητες για τη διενέργεια διαδικασιών για ένα αναγνωρισμένο λειτουργικό πρότυπο ασφαλείας. Στην Ευρώπη, αυτό το πρότυπο είναι το IEC EN 61508, ή ένα από τα ειδικά πρότυπα του κλάδου που προέρχεται από το πρότυπο IEC EN 61508, ή κάποιο άλλο πρότυπο όπως το ISO 13849.

4. Επαλήθευση ότι το σύστημα πληροί το εκχωρημένο SIL ή PI καθορίζοντας το μέσο χρόνο μεταξύ των βλαβών και τον δείκτη SFF (Safe Failure Fraction), με τις κατάλληλες δοκιμές. Ο δείκτης SFF είναι η πιθανότητα ενός συστήματος να αποτύχει σε μια ασφαλή κατάσταση: η επικίνδυνη (ή κρίσιμη) κατάσταση προσδιορίζεται από την ανάλυση τρόπων αποτυχίας και επιπτώσεων (**failure mode and effects analysis**) ή τον τρόπο αποτυχίας, της επίδρασης, και την ανάλυση κρισιμότητας (**failure mode, effects, and criticality analysis**) του συστήματος (FMEA ή FMECA) .

5. Διεξαγωγή ελέγχων λειτουργικής ασφαλείας που εξετάζουν και εκτιμούν, ότι οι κατάλληλες τεχνικές διαχείρισης ασφαλείας έχουν εφαρμοστεί με συνέπεια και σε βάθος στα σχετικά στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος.

Ούτε η ασφάλεια, ούτε η λειτουργική ασφάλεια, μπορούν να καθοριστούν χωρίς να ληφθεί υπόψη το σύστημα ως σύνολο, σε συνδυασμό με το περιβάλλον με το οποίο αυτές αλληλεπιδρούν. Η λειτουργική ασφάλεια εφαρμόζεται εγγενώς από άκρη-σε-άκρη στο εκάστοτε πεδίο εφαρμογής σε ένα σύστημα όπως είναι ένα αντλιοστάσιο.

Οποιαδήποτε απαίτηση της λειτουργικής ασφαλείας για ένα στοιχείο, υποσύστημα ή το ίδιο το σύστημα του αντλιοστασίου θα πρέπει να πιστοποιούνται ανεξάρτητα σε μία από τις αναγνωρισμένες λειτουργικές προδιαγραφές ασφαλείας. Έτσι, ένα πιστοποιημένο προϊόν μπορεί στη συνέχεια να είναι λειτουργικά ασφαλές σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ακεραιότητας ασφαλείας, ή σε ένα επίπεδο επιδόσεων για ένα συγκεκριμένο φάσμα εφαρμογών [IEC, 2016].

Συχνά, ένα προϊόν ή μία διεργασία εμφανίζουν αστοχίες. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές συστηματικές μεθοδολογίες για την ποσοτικοποίηση των επιδράσεων και των επιπτώσεων των αστοχιών, καθώς η ανάλυση, μπορεί να

βοηθήσει τους σχεδιαστές να επικεντρωθούν και να κατανοήσουν τις επιπτώσεις των παραγωγικών κινδύνων και των αστοχιών. Είναι πολύ σημαντικό βήμα να εκτελούμε την ανάλυση αστοχίας (failure analysis), γιατί κατά την παραγωγική διαδικασία, όπως είναι η λειτουργία του αντλιοστασίου, εξασφαλίζουμε την ποιότητα των προϊόντων, επιτυγχάνουμε παραγωγική αξιοπιστία, διασφαλίζουμε την ικανοποίηση του καταναλωτή και αποτρέπουμε κινδύνους για την ασφάλεια ή το περιβάλλον. Για τους σκοπούς της ανάλυσης που πραγματοποιείται στη συγκεκριμένη εργασία, τρεις διαφορετικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

1. Failure Modes & Effects Analysis (FMEA).
2. Fault Tree Analysis (ανάλυση δέντρου αποφάσεων).
3. Event Tree Analysis (ETA) (Δενδρική ανάλυση γεγονότων).

Επίσης, για τις ανάγκες της διατριβής, χρησιμοποιείται ο δείκτης **FAR** (Fatal accident Rate- ποσοστό θανατηφόρων ατυχημάτων), ως ένα κριτήριο ασφάλειας που μπορεί να εφαρμοστεί κατά την εξέταση της ασφάλειας σε ένα επαγγελματικό χώρο, όπως είναι τα αντλιοστάσια.

Failure Modes & Effects Analysis (FMEA)

Η συγκεκριμένη μέθοδος συνήθως αναφέρεται ως μία «από κάτω προς τα πάνω» προσέγγιση (bottom-up) και σχετίζεται αφενός,

- με τον υπολογισμό του εξοπλισμού / εξαρτημάτων και των συναφών τους λειτουργιών για το σημείο αποτυχίας, τις συνέπειες και τις διασφαλίσεις και αφετέρου, -με την αναγνώριση / αξιολόγηση του κινδύνου που προέρχεται από την εξέταση κάθε συστατικού του συστήματος (ή μηχανημάτων σε περίπτωση πολλών βιομηχανοποιημένων μονάδων, όπως συμβαίνει με τα αντλιοστάσια).

Μια FMEA μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση ενός υλικού (hardware) ή μιας λειτουργικής προσέγγισης (functional) και συχνά λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος, να πραγματοποιείται ως συνδυασμός των δύο μεθόδων.

Hardware : απώλεια ενός στοιχείου.

Functional : απώλεια μια λειτουργίας ή μιας δυνατότητας.

Αυτό που είναι πολύ σημαντικό, είναι να καταλαβαίνουμε τις αστοχίες οι οποίες μπορεί να είναι:

- Η οποιαδήποτε απώλεια που διακόπτει τη συνέχεια της παραγωγής.
- Η απώλεια της διαθεσιμότητας των περιουσιακών στοιχείων.

- Η μη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.
- Μια απόκλιση από το status quo.
- Η αποτυχία των προσδοκούμενων στόχων.
- Οποιοδήποτε δευτερεύων ελάττωμα.

Μερικά παραδείγματα αστοχιών που θα μπορούσαμε να αναφέρουμε και σχετίζονται με τα αντλιοστάσια, είναι :

- Να μην υπάρχει ηλεκτρική ισχύς στο Αντλιοστάσιο.
- Η αντλία να μη λειτουργεί.
- Κάποια βαλβίδα να είναι μπλοκαρισμένη.
- Ένα καλώδιο να είναι κομμένο.
- Το λογισμικό να έχει χαλάσει.
- Η γερανογέφυρα να μη λειτουργεί, κλπ.

Το κλειδί για την ανάλυση και κατά επέκταση την παραγωγή σημαντικών αποτελεσμάτων, είναι να καθορίζουμε την πιθανή αποτυχία. Για παράδειγμα, αν νοιαζόμαστε για τις αστοχίες που προκαλούν τραυματισμούς ή θάνατο, τότε η ανάλυση θα είναι πολύ διαφορετική από μία άλλη ανάλυση η οποία επικεντρώνεται σε οικονομικά προβλήματα.

Κατά τη διαδικασία της FMEA :

- Επανεξετάζουμε και κατανοούμε το σχεδιασμό του προϊόντος ή της παραγωγικής διαδικασίας και αναλύουμε σε επιμέρους εξαρτήματα (αφορά στο προϊόν) ή σε φάσεις παραγωγής (αφορά στη διεργασία).
- Εξετάζουμε πιθανές αστοχίες.
- Βαθμολογούμε για κάθε αιτία της αποτυχίας (δηλαδή την πιθανότητα ανίχνευσης του προβλήματος πριν φτάσει στον καταναλωτή ή στον φορέα εκμετάλλευσης).
- Υπολογίζουμε τον Αριθμό Προτεραιότητας Κινδύνων, (**RPN**).

$$(\mathbf{RPN}) = \mathbf{Severity} \times \mathbf{Occurrence} \times \mathbf{Detection}$$

- Εφαρμόζουμε διορθωτικές ενέργειες για την ελαχιστοποίηση της εμφάνισης των πιο σημαντικών τρόπων αστοχίας (δηλαδή το υψηλότερο RPN).
- Επαναξιολογούμε το προϊόν ή τη διαδικασία με έναν άλλο κύκλο των FMEA μετά την ολοκλήρωση των ενεργειών.
- Πραγματοποιούμε τακτικές επαν-αξιολογήσεις των αστοχιών, όπως απαιτείται.

Οι τιμές της σοβαρότητας (**Severity**), της εμφάνισης (**Occurrence**) και της ανίχνευσης (**Detection**), βασίζονται σε μία κλίμακα βαθμονόμησης από το 1=χαμηλή έως το 10=υψηλή [Glancey, 2006].

Η κεντρική ιδέα αυτής της μεθόδου είναι να δημιουργήσουμε ένα **RPN** για κάθε τρόπο αστοχίας (failure mode). Όπως γίνεται αντιληπτό, όσο υψηλότερη είναι η τιμή **RPN** τόσο πιο πιθανή μπορεί να είναι η αστοχία και άρα και η παρέμβαση μας πρέπει να είναι αμεσότερη προκειμένου να αντιμετωπιστεί.

Ενδεικτικές κλίμακες βαθμολόγησης της σοβαρότητας (Severity) της επίδρασης κάθε αστοχίας, της πιθανότητα εμφάνισης (Occurrence) της και της πιθανότητας ανίχνευσης (Detection) της παρατίθενται στους πίνακες 1.3-1.5 [Mezzetti, 2014].

Πίνακας 1.4. Κλίμακα βαθμολόγησης της σοβαρότητας της συνέπειας (severity) [Mezzetti, 2014].

Βαθμολόγηση	Περιγραφή	Ορισμός
10	Εξαιρετικά επικίνδυνο	Η αστοχία μπορεί να προκαλέσει τον τραυματισμό ενός καταναλωτή ή ενός εργαζόμενου.
9	Πολύ επικίνδυνο	Η αστοχία θα δημιουργήσει μη συμμόρφωση με τη νομοθεσία και προβλήματα με τις αντίστοιχες ελέγχουσες υπηρεσίες και συνεπώς η μονάδα θα τεθεί εκτός λειτουργίας.
8	Αρκετά επικίνδυνο	Η αστοχία θα καταστήσει τη μονάδα εκτός λειτουργίας ή ακατάλληλη για χρήση.
7	Επικίνδυνο	Η αστοχία θα προκαλέσει ένα υψηλό βαθμό απογοήτευσης του καταναλωτή.
6	Μέτριας επικινδυνότητας	Η αστοχία θα επιδράσει σε ένα υποσύστημα ή θα προκαλέσει μερική δυσλειτουργία του έργου.
5	Χαμηλής επικινδυνότητας	Η αστοχία θα προκαλέσει αρκετή απώλεια απόδοσης ώστε να προκαλέσει τα παράπονα του καταναλωτή.
4	Πολύ χαμηλής επικινδυνότητας	Η αστοχία μπορεί να ξεπεραστεί με τροποποιήσεις στη διαδικασία ή στο προϊόν του καταναλωτή, αλλά ωστόσο υπάρχει μικρή απώλεια απόδοσης.
3	Ελάχιστης επικινδυνότητας	Η αστοχία θα δημιουργήσει μια ενόχληση στον καταναλωτή, αλλά ο καταναλωτής μπορεί να το ξεπεράσει στη διαδικασία στο προϊόν χωρίς ταυτόχρονη απώλεια απόδοσης.
2	Ασήμαντης επικινδυνότητας	Η αστοχία μπορεί να μην είναι εύκολα εμφανής στον πελάτη, αλλά έχει ελάχιστη επίδραση επί της διαδικασίας ή του προϊόντος του πελάτη.
1	Καθόλου επικίνδυνο	η αποτυχία δεν είναι αισθητή στον πελάτη και δεν θα επηρεάσει τη διαδικασία ή το προϊόν του πελάτη.

Πίνακας 1.5 Κλίμακα βαθμολόγησης της πιθανότητας εμφάνισης (occurrence) μιας αστοχίας [Mezzetti, 2014].

Βαθμολόγηση	Περιγραφή	Ορισμός
10	Πολύ Υψηλή- αστοχία είναι αναπόφευκτη	Περισσότερη από μία εμφάνιση την ημέρα ή μια πιθανότητα για περισσότερες από 3 εμφανίσεις σε 10 γεγονότα ($Cpk < 0,33$)
9		Μία εμφάνιση κάθε τρεις με τέσσερις μέρες ή μια πιθανότητα 3 εμφανίσεων σε 10 γεγονότα ($Cpk \sim 0,33$)
8	Υψηλή- επαναλαμβανόμενη αστοχία	Μία εμφάνιση κάθε εβδομάδα, ή πιθανότητα 5 εμφανίσεων σε 100 γεγονότα ($Cpk \sim 0,67$)
7		Μία εμφάνιση κάθε μήνα ή μία εμφάνιση σε 100 γεγονότα ($Cpk \sim 0,83$)
6	Μέτρια –Περιστασιακή αστοχία	Μία εμφάνιση κάθε τρεις μήνες ή 3 εμφανίσεις σε 1000 γεγονότα ($Cpk \sim 1,00$)
5		Μία εμφάνιση κάθε έξι μήνες με ένα χρόνο ή 1 εμφάνιση σε 10000 γεγονότα ($Cpk \sim 1,17$)
4		Μία εμφάνιση κάθε έτος ή 6 εμφανίσεις σε 10000 γεγονότα ($Cpk \sim 1,33$)
3	Χαμηλή-Σχετικά λίγες αστοχίες	Μία εμφάνιση κάθε ένα με 3 έτη ή 6 εμφανίσεις σε 1,000,000 γεγονότα ($Cpk \sim 1,67$)
2		Μία εμφάνιση κάθε τρία με 5 έτη ή 2 εμφανίσεις σε 1,000,000,000 γεγονότα ($Cpk \sim 2,00$)
1	Απειροελάχιστη -Η αστοχία είναι απίθανη	Μία εμφάνιση κάθε 5 έτη ή λιγότερο από 2 εμφανίσεις σε 1,000,000,000 γεγονότα ($Cpk \sim 2,00$)

Όπου Cpk είναι ο δείκτης ικανότητας διεργασίας (ή λόγος ικανότητας), όπου στις προσπάθειες βελτίωσης μιας διαδικασίας είναι ένα στατιστικό μέτρο ικανότητας της διεργασίας. Ουσιαστικά υπολογίζει τι μπορεί να παράγει η διαδικασία, δεδομένου ότι ο μέσος όρος της διαδικασίας δεν μπορεί να επικεντρώνεται στα όρια των προδιαγραφών. Εάν ο μέσος όρος της διαδικασίας δεν κυμαίνεται στο μέσο όρο, ο δείκτης υπερεκτιμά την ικανότητα της διεργασίας. Εάν ο δείκτης $Cpk < 0$, τότε ο μέσος όρος της διαδικασίας κυμαίνεται εκτός των ορίων των προδιαγραφών [Γαλετάκης Μ., 2017].

$$Cpk = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

LSL=Lower Specification Limit=Το χαμηλότερο επίπεδο απόδοσης της διεργασίας ή της ποιότητας του προϊόντος που είναι εντός της αποδεκτής περιοχής που καθορίζεται από τα πρότυπα των πελατών και των μετρήσεων των ελαττωμάτων στη διαδικασία ή το ίδιο το προϊόν.

USL=Upper Specification Limit= Μια τιμή που αντιπροσωπεύει το υψηλότερο εύρος μιας μεταβλητής. Το ανώτατο όριο προδιαγραφών είναι το σημείο αναφοράς κάτω από το οποίο εκτελείται ένα προϊόν ή μια υπηρεσία.

μ =Ο εκτιμώμενος μέσος όρος της διαδικασίας

σ =Η εκτιμώμενη μεταβλητότητα της μεθόδου (εκφραζόμενη ως τυπική απόκλιση)

Τέλος, παρατίθεται παρακάτω ένας ενδεικτικός πίνακας βαθμονόμησης της ανίχνευσης (detection).

Πίνακας 1.6 Κλίμακα βαθμολόγησης της πιθανότητας ανίχνευσης (detection) μιας αστοχίας [Mezzetti, 2014].

Βαθμονόμηση	Περιγραφή	Ορισμός
10	Αδύνατος ο εντοπισμός της αστοχίας	Το προϊόν δεν επιθεωρήθηκε, ή το ελάττωμα που προκλήθηκε από αστοχία δεν είναι ανιχνεύσιμο
9	Σχεδόν αδύνατος ο εντοπισμός της αστοχίας	Στο προϊόν έγινε δειγματοληψία, επιθεώρηση, και κυκλοφόρησε με βάση το αποδεκτό επίπεδο ποιότητας (AQL) και τα σχέδια δειγματοληψίας
8	Εξαιρετικά χαμηλή	Το προϊόν γίνεται αποδεκτό όταν δεν υπάρχουν ελαττωματικά δείγματα.
7	Πολύ χαμηλή	Το προϊόν είναι 100% ελεγμένο χειροκίνητα κατά την παραγωγική διαδικασία
6	Χαμηλή	Το προϊόν είναι 100% ελεγμένο από μετρητές και καταγραφικά κατά την παραγωγική διαδικασία
5	Μέτρια	Εξειδικευμένες στατιστικές μέθοδοι (statistical process control-SPC) χρησιμοποιούνται σε παραγωγικές διαδικασίες και το προϊόν ελέγχεται εκτός παραγωγής.
4	Μέτρια υψηλή	Μέθοδοι SPC χρησιμοποιούνται και έτσι υπάρχει άμεση ανταπόκριση σε συνθήκες που οδηγούν σε διακοπή της λειτουργίας.
3	Υψηλή	Εφαρμόζεται ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα SPC με ικανότητα διαδικασίας C_{pk} μεγαλύτερη από 1,33.
2	Πολύ υψηλή	Όλα τα προϊόντα ελέγχονται αυτόματα κατά 100%
1	Σχεδόν Βέβαιη	Το ελάττωμα είναι εμφανές, ή υπάρχει 100% αυτόματος έλεγχος με τακτική διακρίβωση οργάνων και εφαρμογή προληπτικής συντήρησης του επιθεωρούμενου εξοπλισμού.

Fault Tree Analysis (FTA)

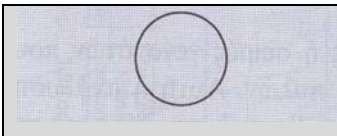
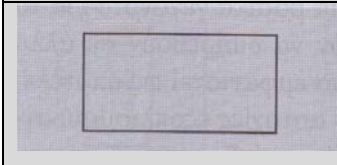
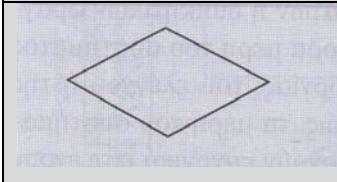
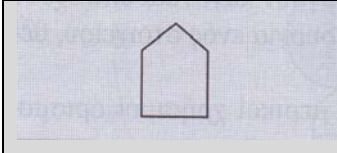
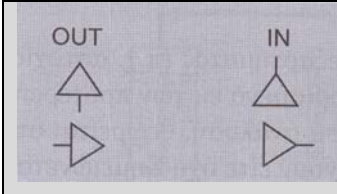
Σε αντίθεση με τη Failure Modes & Effects Analysis (**FMEA**), η FTA είναι μια μέθοδος με προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω. Πρόκειται για μια μέθοδο που χρησιμοποιεί γραφικά μοντέλα (δενδρική ανάλυση) για να παρουσιάσει τους διάφορους συνδυασμούς των αστοχιών του εξοπλισμού και των ανθρωπίνων λαθών, τα οποία μπορούν να επιδράσουν στο κυρίως σύστημα. Η αναγνώριση / αξιολόγηση του κινδύνου επιτυγχάνεται καθώς πρώτα εντοπίζουμε τα σφάλματα και τους κινδύνους. Ως σφάλμα, εννοούμε μια αφύσικη και ανεπιθύμητη κατάσταση ή ένα σύστημα που προκαλείται από την παρουσία μιας ακατάλληλης εντολής ή λόγω της απουσίας κάποιας κατάλληλης εντολής, ή από μία αστοχία. Όλες οι αστοχίες προκαλούν σφάλματα. Ωστόσο δεν προκαλούνται όλα τα σφάλματα από αστοχίες. Για παράδειγμα, ένα σύστημα το οποίο έχει σταματήσει να λειτουργεί εξαιτίας κάποιων χαρακτηριστικών / διατάξεων ασφαλείας, δεν έχει σφάλει.

Με τον όρο αστοχία, εννοούμε την απώλεια ενός συστήματος να λειτουργήσει όπως έχει σχεδιαστεί να εκτελεί τον προορισμό του, πχ οι επαφές ενός ρελέ που από τη διάβρωση δεν κλείνουν και έτσι δεν επιτρέπουν τη διέλευση του ονομαστικού ρεύματος.

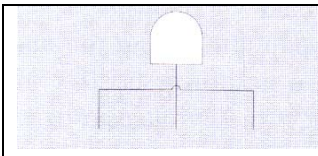
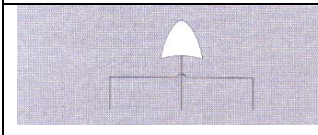
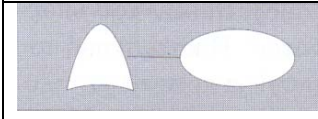
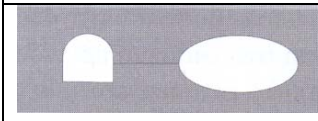
Για την κατασκευή του δέντρου βλαβών,

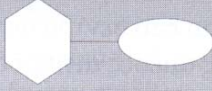

- Είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε πρώτα το σύστημα, για να οικοδομήσουμε ένα αμερόληπτο δέντρο σφαλμάτων, καθώς η ανάπτυξη του μοντέλου του δένδρου σφαλμάτων στηρίζεται κυρίως στην κατανόηση από τον αναλυτή του συστήματος που αναλύεται.
- Κάθε κόμβος στο δέντρο μπορεί να εκπροσωπείται από ένα συνδυασμό των γεγονότων που προκαλούν την έλευση του γεγονότος, με τη βοήθεια λογικών πυλών.
- Κάθε πύλη έχει εισόδους και εξόδους.
- Μια είσοδος μπορεί να είναι ένα βασικό γεγονός, ή μια έξοδος μιας άλλης πύλης.

Πίνακας 1.7: Σύμβολα περιγραφής γεγονότων στο δένδρο αστοχιών [Κοντογιάννης, 2017].

	Βασικό γεγονός: αναπαριστά ένα σφάλμα ή μια αποτυχία του εξοπλισμού που δεν απαιτεί επιπλέον περιγραφή.
	Ενδιάμεσο γεγονός: αναπαριστά ένα λανθασμένο γεγονός που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις άλλων γεγονότων.
	Μη ανεπτυγμένο γεγονός: δεν εξετάζεται περαιτέρω γιατί δεν υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία ή είναι ασήμαντης σπουδαιότητας.
	Εξωτερικό γεγονός: αναπαριστά μία συνθήκη ή ένα γεγονός που υποτίθεται ότι υπάρχει ως μια οριακή συνθήκη για το δέντρο αστοχιών.
	Σύμβολα μεταφοράς που υποδηλώνουν ότι το δέντρο αστοχιών αναπτύσσεται περαιτέρω σε άλλη σελίδα.

Πίνακας 1.8 : Πίνακας πυλών διασύνδεσης γεγονότων στο δένδρο αστοχιών [Κοντογιάννης, 2017].

	Πύλη AND : υποδηλώνει ότι η έξοδος συμβαίνει όταν συμβαίνουν όλες οι εισόδους.
	Πύλη OR : υποδηλώνει ότι η έξοδος συμβαίνει όταν συμβαίνει οποιαδήποτε από τις εισόδους.
	Αποκλειστική πύλη (XOR): υποδηλώνει πως η έξοδος συμβαίνει όταν μία αλλά όχι δύο από τις εισόδους συμβαίνει.
	Πύλη προτεραιότητας AND : υποδηλώνει ότι η έξοδος συμβαίνει όταν όλες οι εισόδους συμβαίνουν από τα αριστερά προς τα δεξιά

	<p>Πύλη απαγόρευσης: υποδηλώνει ότι η έξοδος συμβαίνει όταν η συνθήκη απαγόρευσης ικανοποιείται.</p>
	<p>Πύλη m από n : υποδηλώνει ότι η έξοδος συμβαίνει εάν m από n εισόδους συμβαίνουν.</p>

Προκειμένου να μπορούμε να αναγνωρίζουμε τα κορυφαία γεγονότα κατά την FTA είναι απαραίτητο να ερευνούμε τα ιστορικά στοιχεία, να διερευνούμε τις πηγές ενέργειας, να προσδιορίζουμε πιθανούς παράγοντες αστοχίας της αποστολής, να αναπτύσσουμε "what-if" σενάρια και να χρησιμοποιούμε αρχεία καταγραφής.

Επιπλέον, κατά την κατασκευή του δέντρου λαθών (fault tree) πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφοροι περιορισμοί και ελλείψεις, όπως :

- Θα πρέπει να προβλέπονται τα ανεπιθύμητα γεγονότα και να αναλύονται χωριστά
- Όλες οι σημαντικές συνιστώσες θα πρέπει επίσης να αναμένονται
- Κάθε εκκινήτης βλάβης / αστοχίας, θα πρέπει να περιορίζεται σε δύο υπό όρους λειτουργίες κατά τη διαμόρφωση του δέντρου.
- Εκκινήτες σε ένα δεδομένο επίπεδο ανάλυσης κάτω από μία κοινή πύλη πρέπει να είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.
- Γεγονότα / συνθήκες σε οποιοδήποτε επίπεδο ανάλυσης πρέπει να είναι αληθή και άμεσα συνεισφέροντα στο επόμενο επίπεδο γεγονότων / συνθηκών.
- Το ποσοστό αποτυχίας του κάθε εκκινήτη πρέπει να είναι προβλέψιμο

Δενδρική ανάλυση γεγονότων (Event Tree Analysis, ETA)

Η ανάλυση γεγονότων χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει την έκταση του πιθανού αποτελέσματος ενός ανεπιθύμητου γεγονότος, όπως η διακοπή ηλεκτρικής ισχύος σε ένα αντλιοστάσιο νερού. Το αποτέλεσμα εξαρτάται κυρίως από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα συμβεί το ανεπιθύμητο γεγονός και συνήθως κυμαίνεται από κανένα θάνατο μέχρι μεγάλο αριθμό θανάτων και από μηδενικές ή ελάχιστες βλάβες, μέχρι ολοκληρωτική καταστροφή του αντλιοστασίου.

Τα δέντρα γεγονότων ξεκινούν από το κορυφαίο ανεπιθύμητο γεγονός και έπειτα διακλαδώνονται για να θεωρήσουν όλα τα πιθανά αποτελέσματα. Τα κλαδιά του δέντρου αναπαριστούν τους παράγοντες εκείνους τους οι οποίοι μπορούν να

επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα. Επίσης, εκτιμάται σε κάθε περίπτωση η πιθανότητα εμφάνισης των παραγόντων αυτών. Δηλαδή, σχηματίζεται ένα δέντρο, οι άκρες των κλαδιών του οποίου αναπαριστούν τα διάφορα πιθανά αποτελέσματα, για το καθένα από τα οποία εκτιμάται η πιθανότητα εμφάνισης του, καθώς και οι συνέπειές του. Από τις εκτιμήσεις αυτές προκύπτουν τα εξής: το χειρότερο αποτέλεσμα, το αποτέλεσμα με τις πιο ανώδυνες συνέπειες, το πιο πιθανό αποτέλεσμα και η καλύτερα σταθμισμένη εκτίμηση. Για να σχεδιάζεται εύκολα στην πράξη μια δενδρική ανάλυση γεγονότων, τα κλαδιά του δέντρου ξεκινούν από τα αριστερά προς τα δεξιά. Επιπλέον, όπου υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι για μια απόφαση, αυτοί συχνά απεικονίζονται με "ΝΑΙ ή "ΟΧΙ" και το "ΝΑΙ" βρίσκεται πάντα στο πάνω κλαδί. Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση περισσότερων από μιας επιλογών καθορίζεται άλλος τρόπος αναπαράστασης και ονομασίας των κλαδιών.

Μια δενδρική ανάλυση γεγονότων μπορεί να αποβεί εξαιρετικά χρήσιμη στον καθορισμό των διαφόρων πιθανών αποτελεσμάτων που έχει ένα μεγάλης έκτασης ατύχημα, ή ένα σημαντικό συμβάν το οποίο μπορεί να οδηγήσει στη διακοπή της λειτουργίας της εγκατάστασης. Επίσης, είναι πολύ χρήσιμο να έχουν εισαχθεί οι πιθανότητες των διάφορων εναλλακτικών περιπτώσεων, ώστε να αποσαφηνίζονται οι καταστάσεις που έχουν το μεγαλύτερο αντίκτυπο στο αποτέλεσμα, καθώς και να εξετάζονται με ευκολία οι εναλλακτικές λύσεις με τις συνέπειες που προκαλούν. Οι κυριότεροι περιορισμοί και οι δυσκολίες προκύπτουν από τη δυσκολία στον καθορισμό κάποιων από τις εναλλακτικές περιπτώσεις, καθώς και τον ακριβή υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης της κάθε εναλλακτικής περίπτωσης [Τερεζόπουλος, 2012].

Ποσοστό θανατηφόρων ατυχημάτων (FAR)

Η τιμή θανατηφόρου ατυχήματος ή ποσοστό θανατηφόρου ατυχήματος (FAR) είναι μια ένδειξη του ποσοστού ατυχημάτων που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση της επικινδυνότητας μιας δραστηριότητας και θεωρείται ως δείκτης της ασφάλειας. Αυτό ορίζεται ως ο αριθμός των θανάτων μέσα σε ένα χρόνο έκθεσης 10^8 ωρών, ή εναλλακτικά, 50.000 έτη εργασίας ή 11.500 ολόκληρα χρόνια.

Αν 2 θάνατοι καταγράφηκαν σε μια εταιρεία όπου 30000 άνθρωποι εργάζονται για 35 ώρες την εβδομάδα ο καθένας (1355 ώρες ανά έτος):

$$\mathbf{FAR} = 2 \times 10^8 / (30000 \times 1355) = 4,92 \quad [\text{Laurent, 2003}]$$

Σύμφωνα με τα στοιχεία σχετικά με τα εργατικά ατυχήματα, προκύπτει ότι υπάρχει μεγάλη ανομοιογένεια μεταξύ διαφόρων χωρών.

Παρατίθεται ο πίνακας 1.9 με τις αντίστοιχες τιμές FAR ανά παρουσιαζόμενη χώρα.

Πίνακας 1.9 Τιμές δείκτη FAR σε διάφορες χώρες– έτος αναφοράς 2001 [ILO,2005].

	Χώρα (Κωδικός Χώρας)	Ολική απασχόληση	Θανατηφόρα ατυχήματα	Τιμή FAR
1	Ισλανδία (ISL)	159000	1	0.629
2	Ηνωμένο Βασίλειο (GBR)	28225400	236	0.836
3	Ολλανδία (NLD)	7865000	116	1.474
4	Σουηδία (SWE)	4239000	63	1.486
5	Νορβηγία (NOR)	2278000	42	1.844
6	Βέλγιο (BEL)	4051200	78	1.925
7	Τσεχία (CHE)	4156000	81	1.949
8	Δανία (DNK)	2725100	56	2.055
9	Ελλάδα (GRC)	3917500	90	2.297
10	Αυστραλία(AUS)	9123900	236	2.587
11	Φινλανδία(FIN)	2388000	64	2.680
12	Γερμανία (DEU)	36816000	1107	3.007
13	Γαλλία (FRA)	24113225	730	3.027
14	Ρωσία (RUS)	64710000	6276	9.698
15	Κύπρος (CYP)	309500	40	12.924
16	Ναμίμπια (NAM)	431849	123	28.482

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

**Εφαρμογή σε αντλιοστάσιο νερού του ΟΑΚ ΑΕ στην
περιοχή Βλητέ Σούδας του δήμου Χανίων**

2.1 Εισαγωγή

Για τις ερευνητικές ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκε ο Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης ΑΕ (ΟΑΚ ΑΕ, καθώς είναι ο σημαντικότερος φορέας διαχείρισης υδάτων σε επίπεδο Κρήτης με σημαντικά υδραυλικά έργα υπό την εποπτεία, διαχείριση και κυριότητα του και σίγουρα διαθέτει μερικά από τα σημαντικότερα αντλιοστάσια την ευρύτερη περιοχή. Ένα από αυτά, είναι το υδροαρδευτικό αντλιοστάσιο που βρίσκεται στο Βλητέ Σούδας, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας για την ομαλή ύδρευση και άρδευση της περιοχής του Ακρωτηρίου του δήμου Χανίων.

Ο Ο.Α.Κ. Α.Ε., είναι ΝΠΙΔ, ιδρύθηκε το 2013, με τη συγχώνευση του Ο.Α.ΔΥ.Κ., του Ο.ΑΝ.Α.Κ. και των δημόσιων αρχών ΕΥΔΕ Β.Ο.Α.Κ. και ΕΥΔΕ Αποσελέμη. Ο οργανισμός έχει έδρα τα Χανιά της Κρήτης, με αντίστοιχα τμήματα στο Ηράκλειο, το Ρέθυμνο και το Λασίθι. Εποπτεύεται από το υπουργείο ανάπτυξης, ανταγωνιστικότητας, υποδομών, μεταφορών και δικτύων και συγκεκριμένα από τον τομέα υποδομών. Είναι επιχείρηση κοινής ωφέλειας και ως ΝΠΙΔ διέπεται από τους κανόνες της ιδιωτικής οικονομίας.

Στους σκοπούς της εταιρείας περιλαμβάνεται η εκπόνηση των πάσης φύσεως προγραμμάτων ανάπτυξης της περιφέρειας Κρήτης, η μελέτη, η χρηματοδότηση, η εκτέλεση, η λειτουργία και η αξιοποίηση έργων κοινωφελούς και δημόσιου γενικά ενδιαφέροντος που ανατίθενται στον οργανισμό με αποφάσεις των υπουργών οικονομικών, ανάπτυξης, ανταγωνιστικότητας, υποδομών, μεταφορών και δικτύων, περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής, αγροτικής ανάπτυξης και τροφίμων ή του αρμόδιου υπουργού και του γενικού γραμματέα της αποκεντρωμένης διοίκησης Κρήτης, με αποφάσεις της Περιφέρειας Κρήτης, των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης, Νομικών Προσώπων Δημοσίου Δικαίου και λοιπών νομικών ή φυσικών προσώπων.

Μέρος των αρμοδιοτήτων του οργανισμού είναι η ανάληψη, συντήρηση, λειτουργία, διοίκηση, διαχείριση και εκμετάλλευση έργων εγγείων βελτιώσεων και η αξιοποίηση και εκμετάλλευση υδάτινων πόρων, καθώς και υγρών αποβλήτων.

Η επιλογή του αντλιοστασίου προς μελέτη έγινε με βάση τις υποδείξεις των τεχνικών του Ο.Α.Κ. Α.Ε. και τη σπουδαιότητα του αντλιοστασίου ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τη λειτουργία του.

2.2 Προωθητικό αντλιοστάσιο Βλητέ

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται και μελετάται το αντλιοστάσιο Βλητέ του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε., το οποίο βρίσκεται στην ομώνυμη περιοχή και επί της Επαρχιακής οδού Σούδας-Κορακιών που συνδέει το λιμάνι της Σούδας με την ευρύτερη περιοχή του Ακρωτηρίου του δήμου Χανίων.

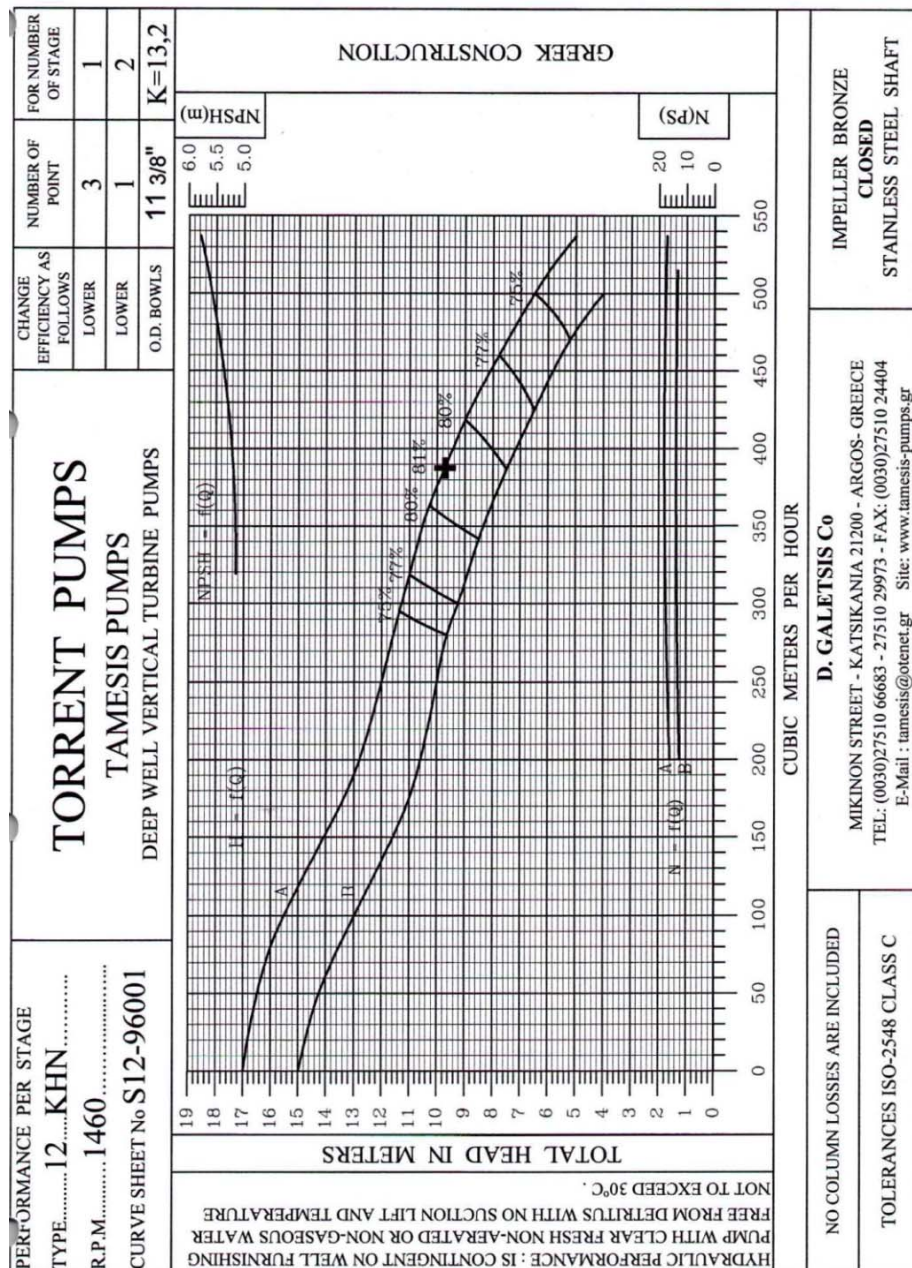


Σχήμα 2.1: Δορυφορική φωτογραφία περιοχής αντλιοστασίου Βλητέ, σε σχέση με την περιοχή του Ακρωτηρίου που τροφοδοτεί

Το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο προωθεί νερό για την ύδρευση και άρδευση που προέρχεται από τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών στην ευρύτερη περιοχή του Βαρυπέτρου και τις πηγές των Μεσκλών κατά την χειμερινή περίοδο, καθώς επίσης και τις πηγές Ζούρμπου για τις αρδευτικές ανάγκες, αποκλειστικά κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Πρόκειται για αντλιοστάσιο το οποίο λειτουργεί σε 24-ωρη βάση. Εντός του αντλιοστασίου βρίσκονται εγκατεστημένα:

Α) τέσσερα (4) προωθητικά κατακόρυφα αντλητικά συγκροτήματα της εταιρείας TORRENT TAMESIS PUMP 12KHN/15 τύπου πομόνας. Κάθε ένα από αυτά διαθέτουν παροχή $350\text{m}^3/\text{h}$ και φέρουν κινητήρα 250 kW ο οποίος περιστρέφεται με 1450 rpm. Τα προαναφερόμενα μηχανήματα βρίσκονται στεγασμένα εντός του κτιρίου του αντλιοστασίου. Τα συγκεκριμένα αντλητικά συγκροτήματα εξυπηρετούν τις υδρευτικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων, για το

σύνολο του έτους καθώς και τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής του Ακρωτηρίου κατά την χειμερινή περίοδο. Από αυτά, το πρώτο συγκρότημα εκκινεί με διακόπτη σε διάταξη αστέρα-τρίγωνο. Τα άλλα τρία εκκινούν με ομαλό εκκινητή (soft-starter). Στο σχήμα 2.2 απεικονίζεται το διάγραμμα του προαναφερόμενου αντλητικού συγκροτήματος.



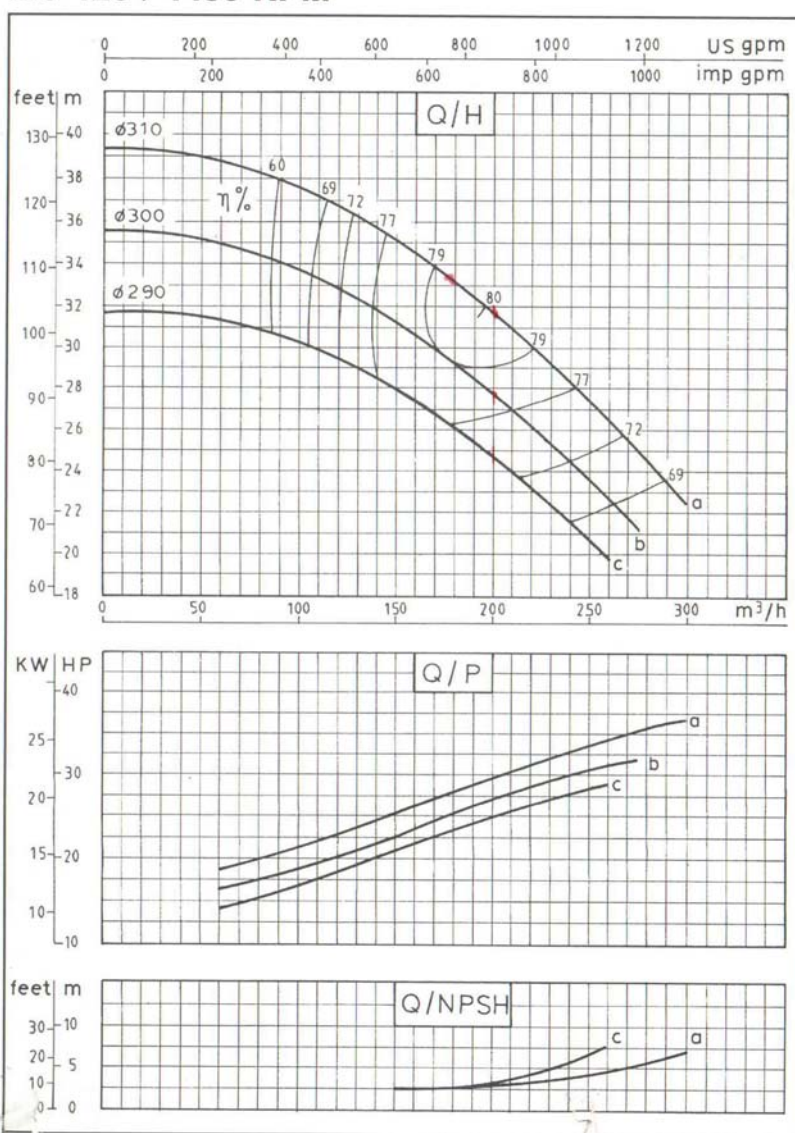
Σχήμα 2.2: Διάγραμμα προωθητικού κατακόρυφου αντλητικού συγκροτήματος της εταιρείας TORRENT TAMESIS PUMP τύπου 12KHN/15 τύπου Πομόνας, παροχής 350m³/h κινητήρα 250 kW και ταχύτητα περιστροφής κινητήρα 1450 rpm

Β) δύο (2) προωθητικά οριζόντια συγκροτήματα 180 και 100m³/h εντός του κτηρίου, τα οποία συνήθως λειτουργούν κατά τη θερινή περίοδο για να ενισχύουν τις αυξανόμενες ανάγκες της ύδρευσης της περιοχής του Ακρωτηρίου. Πρόκειται για οριζόντιες πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες, όμοιες μεταξύ τους, τύπου MS 125/3 1450 rpm της εταιρίας Δράκος-Πολέμης, με ηλεκτρικό κινητήρα 125 hp, και ο οποίος περιστρέφεται με 1450 rpm. Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα του οριζόντιου προωθητικού συγκροτήματος.

12 | **MS 125 / 1450 RPM**

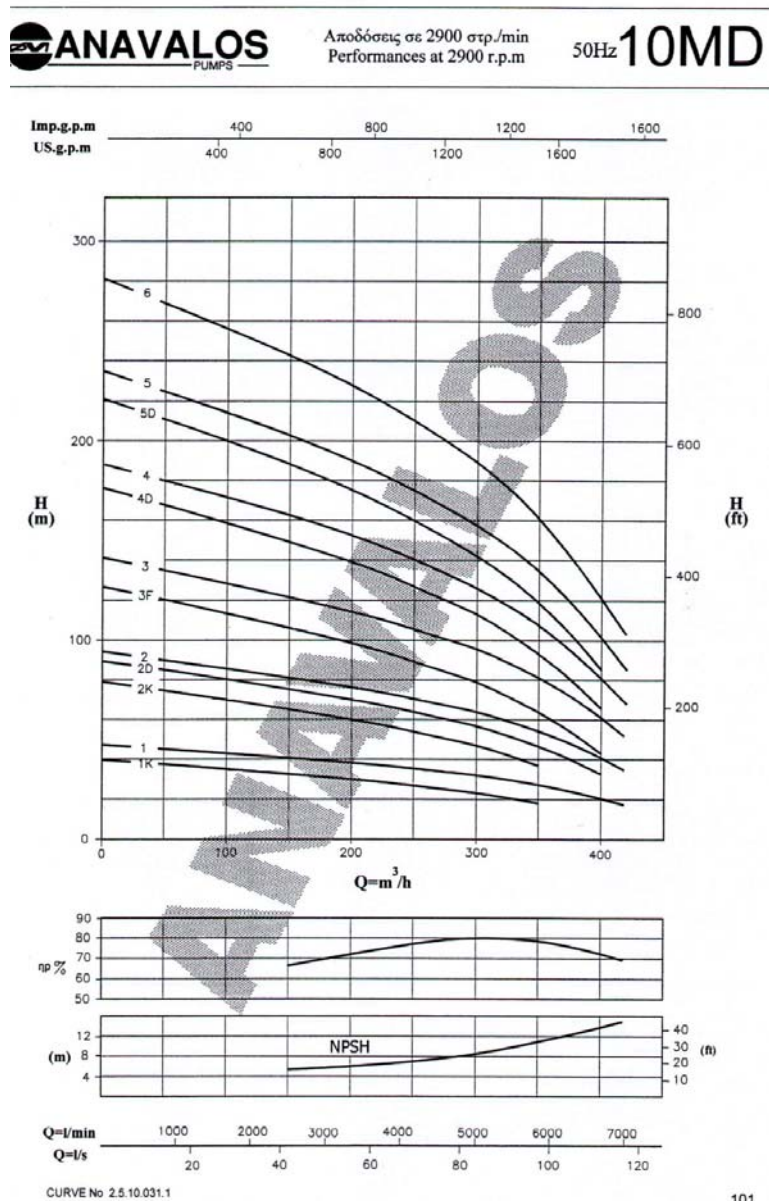
12

MS 125 / 1450 RPM

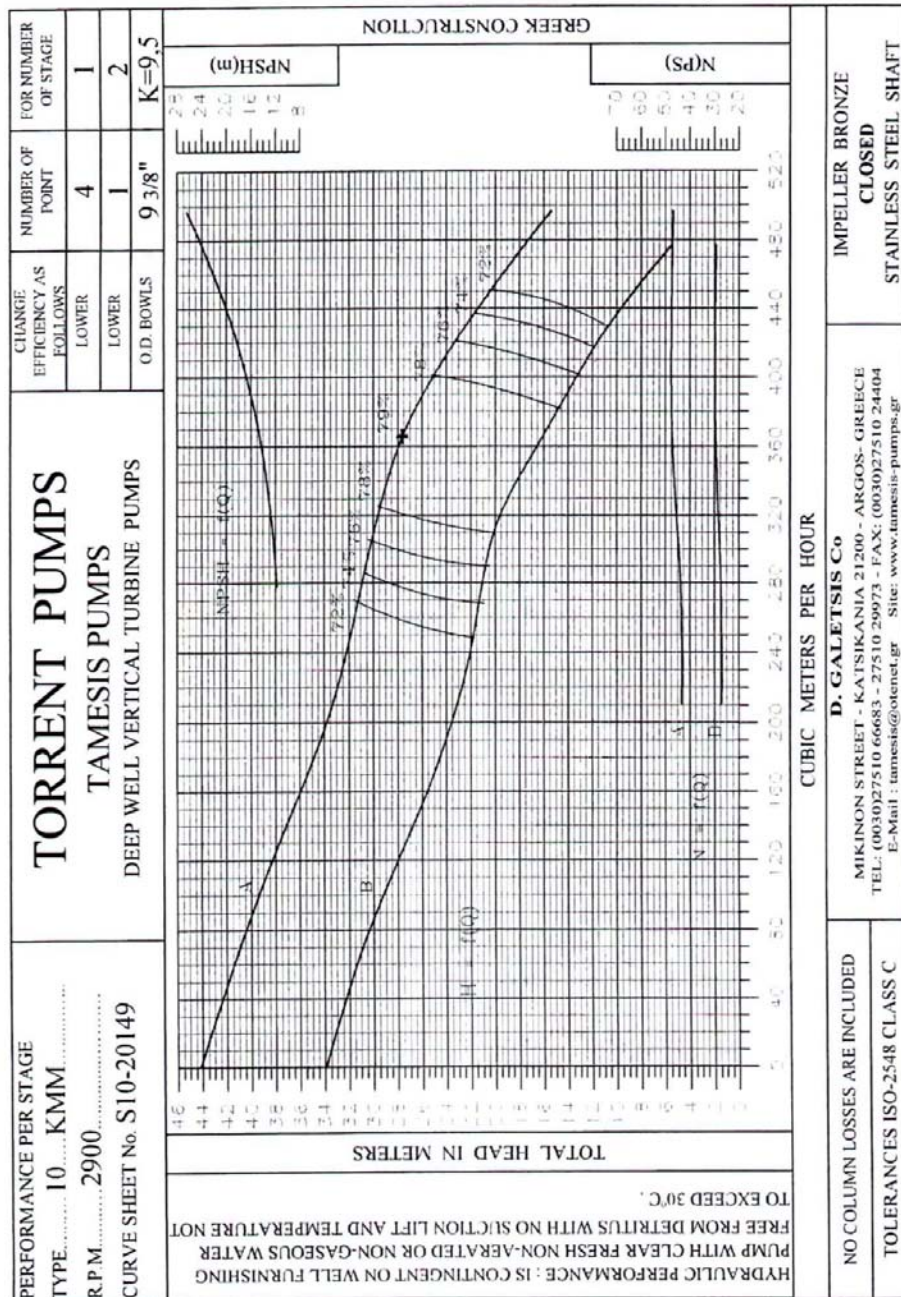


Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα προωθητικού οριζόντιου αντλητικού συγκροτήματος τύπου MS 125/3 1450 rpm της εταιρίας Δράκος-Πολέμης, με ηλεκτρικό κινητήρα 125 hp, και ο οποίος περιστρέφεται με 1450rpm.

Γ) Από 3 υποβρύχια αντλητικά συγκροτήματα τύπου «booster» παροχής 300 m³ /h τα οποία βρίσκονται εγκατεστημένα εκτός του κτιρίου του αντλιοστασίου και επί του αγωγού άρδευσης Μ. Χωράφια - Βλητέ (λειτουργούν αποκλειστικά την καλοκαιρινή περίοδο). Από αυτά τα δυο πρώτα είναι της εταιρίας ANAVALOS PUMPS τύπου 10MD/4 με κινητήρα Franklin 250 hp και ταχύτητα περιστροφής κινητήρα 2900 rpm. Το τρίτο, είναι της εταιρίας TORRENT Ε. ΚΑΖΗΣ τύπου 10KMM/4 με κινητήρα ATURIA 260 hp και ταχύτητα περιστροφής κινητήρα 2900 rpm. Στο σχήμα 2.4 παρατίθεται το Διάγραμμα του «booster» της εταιρίας ANAVALOS PUMPS, ενώ στο σχήμα 2.5 το διάγραμμα booster της εταιρίας TORRENT Ε. ΚΑΖΗΣ.



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα booster παροχής 300 m³ /h της εταιρίας ANAVALOS PUMPS τύπου 10MD/4 με ηλεκτρικό κινητήρα Franklin 250 hp, ο οποίος περιστρέφεται με 2900 rpm.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα booster της εταιρίας TORRENT E. KAZHΣ τύπου 10KMM/4 με κινητήρα ATURIA 260 hp και ταχύτητα περιστροφής κινητήρα 2900 rpm.

Το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο διαθέτει παρακολούθηση κάποιων βασικών λειτουργιών του μέσω συστήματος SCADA. Επίσης, εντός χώρου του αντλιοστασίου Βλητέ, βρίσκεται εγκατεστημένο το κέντρο παρακολούθησης SCADA των υδροαρδευτικών λειτουργιών του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης για το σύνολο της Περιφερειακής Ενότητας Χανίων. Για τις ανάγκες υποστήριξης των λειτουργιών του αντλιοστασίου, δεν υπάρχει εγκατεστημένο Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (γεννήτρια), το οποίο σε περίπτωση απώλειας ισχύος λόγω βλάβης του κεντρικού δικτύου

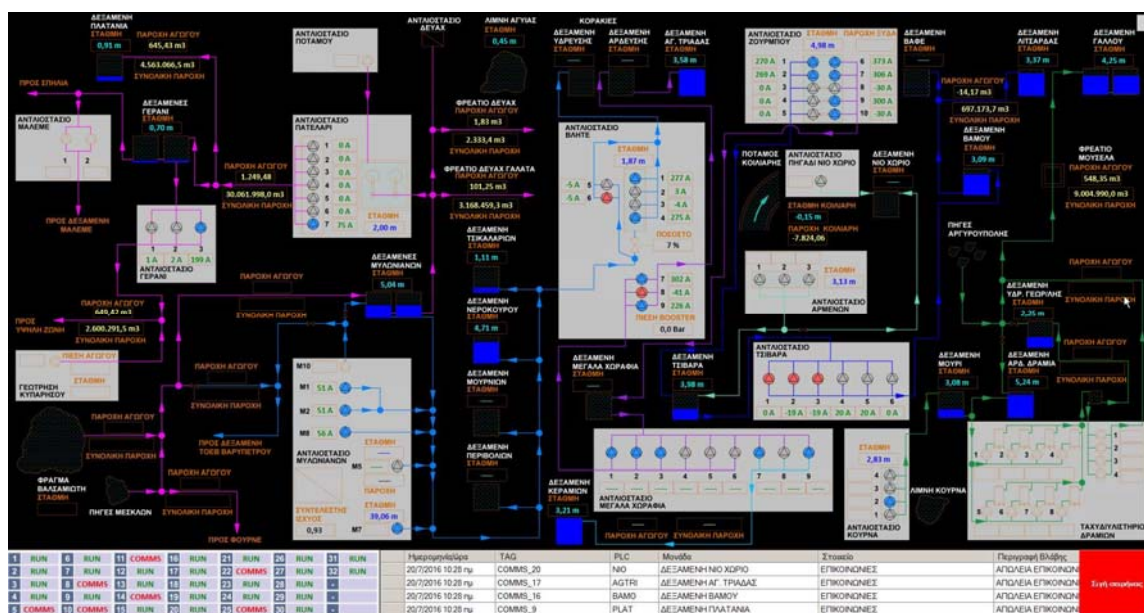
ηλεκτρικού ρεύματος, να καλύπτει προσωρινά, μέχρι την αποκατάσταση της ηλεκτρικής βλάβης, τα ηλεκτρικά φορτία λειτουργίας του αντλιοστασίου. Επίσης, για την κάλυψη των απαιτούμενων ηλεκτρικών φορτίων του αντλιοστασίου, σε εξωτερικό χώρο βρίσκεται εγκατεστημένος μετασχηματιστής μέσης τάσης.

Το αντλιοστάσιο Βλητέ έχει καταγεγραμμένο ιστορικό βλαβών και παρεμβάσεων όπως προκύπτει από τα αρχεία του οργανισμού (πρώην Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης Α.Ε.- Ο.Α.ΔΥ.Κ. Α.Ε.) και το οποίο παρατίθεται κατά χρονική σειρά εμφάνισης :

- Το 2004 προστέθηκε το ένα από τα αντλητικά συγκροτήματα (TORRENT TAMESIS PUMP 12KHN/15 τύπου Πομόνας) το οποίο για λόγους αναγνώρισης αναφέρεται ως Νο 4. Στο αντλητικό συγκρότημα Νο 4, τον Αύγουστο του 2015 καταστράφηκε ο στρόβιλος, έγινε επισκευή και νέα περιέλιξη του ηλεκτρικού κινητήρα.
- Το 2008 καταστράφηκε ο μετασχηματιστής του αντλιοστασίου, λόγω υπερτάσεων που αναπτύχθηκαν στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της Δ.Ε.Η.
- Τον Ιούλιο του 2011 καταστράφηκε («κάηκε») ο ηλεκτρικός κινητήρας αντλητικού συγκροτήματος TORRENT TAMESIS PUMP 12KHN/15 τύπου πομόνας, το οποίο για λόγους αναγνώρισης αναφέρεται ως Νο 3. Στη συνέχεια αντικαταστάθηκε από έναν νέο ηλεκτρικό κινητήρα ίδιου τύπου.
- Το 2011 καταστράφηκε το ένα από τα 3 booster της ύδρευσης (ANAVALOS PUMPS τύπου 10MD/4 με κινητήρα Franklin 250 hp και ταχύτητα περιστροφής 2900 rpm), λόγω αστοχίας χειρισμού. Αντικαταστάθηκε στη συνέχεια από ένα καινούριο τύπου TORRENT E. KAZHΣ τύπου 10KMM/4 με κινητήρα ATURIA 260 hp και ταχύτητα περιστροφής 2900 rpm.
- Τον Οκτώβριο του 2013 το booster που είχε αντικατασταθεί το 2011 καταστράφηκε ολοσχερώς και αντικαταστάθηκε από νέο ίδιου τύπου. Συγκεκριμένα, ενεργοποιήθηκε το booster χειροκίνητα, χωρίς να υπάρχει νερό εντός του αγωγού ύδρευσης, με αποτέλεσμα να αρπάξει φωτιά και να καεί κυριολεκτικά.
- Επίσης, ως γενικό στοιχείο, αναφέρθηκε από τους τεχνικούς του Ο.Α.Κ., ότι μετά από την εφαρμογή αντικεραυνικής προστασίας στο αντλιοστάσιο και βελτιώσεις στα αντίστοιχα ηλεκτρικά πεδία, εξομαλύνθηκαν τα προβλήματα των υπερτάσεων και ελαχιστοποιήθηκαν οι βλάβες του συγκεκριμένου τύπου.

Επιπλέον, για λόγους καλύτερης διαχείρισης του αντλιοστασίου, τον Ιούλιο του 2014 τοποθετήθηκε εντός του φρεατίου της ύδρευσης ηλεκτροβάνα με την οποία γίνεται

Τέλος, αναβαθμίστηκε και αναδιοργανώθηκε το εγκατεστημένο πρόγραμμα παρακολούθησης SCADA και αναδιαμορφώθηκε το προφίλ του, προκειμένου να είναι πιο φιλικό και προσιτό προς τους χειριστές του συστήματος. Η συγκεκριμένη αλλαγή δεν επηρέασε θετικά μόνο το αντλιοστάσιο του Βλητέ, αλλά και το σύνολο των αντλιοστασίων εποπτείας και ιδιοκτησίας του Οργανισμού στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Χανίων. Το πρόγραμμα παρακολούθησης SCADA τελεί υπό συνεχή αναβάθμιση και εκσυγχρονισμό και το σύνολο των αντίστοιχων διαδικασιών επιτελείται εσωτερικά, από το έμπυχο δυναμικό του Ο.Α.Κ. Παρόλο που το σύστημα SCADA, όπως έχει μελετηθεί και σχεδιαστεί, έχει πολλές και πολλαπλές δυνατότητες παρακολούθησης, εν τούτοις μέχρι σήμερα, στο τμήμα που αφορά στην παρακολούθηση και των αντλιών και των ηλεκτρικών κινητήρων, παρακολουθούνται από το σύστημα μόνο ο αριθμός και η χρονική διάρκεια των εκκινήσεων και των διακοπών λειτουργίας των αντλητικών συγκροτημάτων.



129

2.3 Αξιολόγηση της λειτουργικής ασφάλειας αντλιοστασίου Βλητέ

Η αξιολόγηση είναι μία θεμελιώδης διεργασία για την ανάπτυξη οποιουδήποτε έργου. Εντός του πεδίου εφαρμογής της συγκεκριμένης εργασίας, υπάρχουν δύο άξονες για τους οποίους απαιτείται αξιολόγηση. Πρώτα και κύρια, η αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης και των απαιτήσεων πραγματοποιείται για να αναπτύξει τις ανάγκες που ένα αντλιοστάσιο, όπως αυτό του Βλητέ, καλείται να αντιμετωπίσει. Δεύτερον, κατά την αξιολόγηση πρέπει να εξεταστούν εναλλακτικές προτάσεις ώστε τελικά να προσδιοριστεί η πλέον κατάλληλη λύση.

Η επιλογή της προτιμώμενης λύσης, όταν βρισκόμαστε αντιμέτωποι με μια σειρά κριτηρίων, με συχνά εντελώς διαφορετικό χαρακτήρα, αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα. Συχνά, προκύπτουν ερωτήματα σχετικά με το πώς μπορεί κάποιος να συγκρίνει ιδέες και λύσεις, όπως το δίλλημα της αγοράς ενός νέου αντλητικού συγκροτήματος ή ηλεκτρικού κινητήρα, ή την επισκευή του παλιού με την αβεβαιότητα της ορθής λειτουργίας που εμπεριέχεται στη συγκεκριμένη επιλογή, ή τέλος απλά να μην προβεί σε κάποια παρέμβαση. Σε αντίστοιχα προβλήματα είναι απαραίτητη η εφαρμογή κάποιων κριτηρίων αξιολόγησης, τα οποία ορίζονται και χρησιμοποιούνται ως βάση σύγκρισης. Έτσι, αποκτούμε τη δυνατότητα να προσεγγίζουμε και να αξιολογούμε ένα θέμα από διαφορετικές οπτικές γωνίες και στη συνέχεια να καταλήγουμε σε αποτελέσματα τα οποία καθοδηγούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια αξιολόγησης. Ένα από τα πλέον σημαντικά κριτήρια είναι η εκτίμηση της επικινδυνότητας (risk assessment), γιατί η βασική φιλοσοφία η οποία εμπεριέχεται στη μέθοδο διεισδύει σε όλες τις πτυχές της αξιολόγησης. Για λόγους πληρότητας και κατανόησης θα αναφέρουμε ότι :

Ως **επικινδυνότητα** μπορεί να οριστεί το γινόμενο της πιθανότητας ενός γεγονότος με τη συνέπεια αυτού του γεγονότος. Με τη σειρά τους, πρέπει να καθοριστούν οι όροι αυτοί.

Η **πιθανότητα** ενός συμβάντος, για παράδειγμα η αποτυχία μιας αντλίας, μπορεί να εκφραστεί ως μια πιθανότητα ή μία συχνότητα. Στην περίπτωση πιο αφηρημένων φαινομένων που μπορεί να εξαρτώνται από πιο πολύπλοκες καταστάσεις, μπορεί να είναι αναγκαίο να αποδοθεί μια αυθαίρετη κλίμακα ως προς αυτούς τους όρους.

Η **συνέπεια** είναι πιο δύσκολο να οριστεί. Συχνά αποτελεί ένα ζήτημα προοπτικής και μπορεί να προαπαιτούνται προσεκτικά μελετημένες εταιρικές πολιτικές και προτεραιότητες. Η συνέπεια, μπορεί για παράδειγμα, να ορίζεται ως ο κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή.

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά. Στη συγκεκριμένη ανάλυση γίνεται προσπάθεια για να αποδειχτεί η

εφαρμογή της εκτίμησης της επικινδυνότητας στην αξιολόγηση της λειτουργικής ασφάλειας των αντλιοστασίων νερού, όταν πραγματοποιούνται δράσεις για την εξοικονόμηση ενέργειας. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας στη συνέχεια θα διεξαχθεί από αυτήν την προοπτική.

Ο λόγος που επιλέγεται αυτή η λύση, είναι επειδή δεν υπάρχει ικανός αριθμός ποσοτικών στοιχείων τα οποία να παρέχονται από το σύστημα SCADA του αντλιοστασίου Βλητέ. Συγκεκριμένα, κατά τη χρονική περίοδο που υπήρχαν αρχειοθετημένες καταγραφές στο σύστημα SCADA είχε συμβεί μία βλάβη, η οποία όμως οφειλόταν ξεκάθαρα σε αστοχία χειρισμού του αντίστοιχου υποσυστήματος από τους χειριστές του αντλιοστασίου (βλάβη Οκτωβρίου 2013). Γενικά, το σύστημα SCADA το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο στο αντλιοστάσιο Βλητέ αρχειοθετεί, μέχρι σήμερα, σε ότι αφορά στη λειτουργία των αντλητικών συγκροτημάτων μόνο εγγραφές εκκίνησης-τερματισμού των αντλιών. Επίσης, δεν υπάρχουν άλλου τύπου καταγραφικοί μηχανισμοί εντός του αντλιοστασίου, από τους οποίους να είναι εφικτό να γίνονται εγγραφές αρχειοθέτησης στο σύστημα SCADA. Συνεπώς, υπήρχαν ιστορικά στοιχεία, τα οποία όμως δεν παρείχαν αναγκαία και ικανή πληροφόρηση προκειμένου να επιτρέπεται η αξιόπιστη στατιστική επεξεργασία και κατά επέκταση η εφαρμογή μεθόδων όπως η FMEA ή η FTA που έχουν παρουσιαστεί στην παράγραφο 1.3 της διατριβής. Επιλέχθηκε λοιπόν, η δενδρική ανάλυση γεγονότων (ETA) ως η πλέον κατάλληλη για το αντλιοστάσιο Βλητέ, καθώς είναι μια μέθοδος στην οποία τα αποτελέσματα εξαρτώνται κυρίως κάτω από τις συνθήκες τις οποίες θα συμβούν τα ανεπιθύμητα γεγονότα. Στη μελέτη του αντλιοστασίου Βλητέ αυτό ήταν εφικτό, καθώς μπορούσαν να αντληθούν πληροφορίες για το σύστημα της ηλεκτρικής ενέργειας του αντλιοστασίου, και να σχεδιαστεί σενάριο διακοπής λειτουργίας λόγω αστοχίας της τροφοδοσίας του αντλιοστασίου με ηλεκτρική ενέργεια. Κατά το σενάριο, μπορούν να εξεταστούν εναλλακτικές λύσεις με τις συνέπειες που προκαλούν. Έτσι, προκειμένου να αποφευχθούν οι απλουστευτικές παραδοχές οι οποίες θα οδηγούσαν πιθανώς σε λανθασμένα ή ελλιπώς τεκμηριωμένα συμπεράσματα, επιλέγεται η συγκεκριμένη μέθοδος για την παρούσα ανάλυση. Επίσης, πριν την εφαρμογή της μεθόδου της δενδρικής ανάλυσης γεγονότων, διερευνάται η πιθανότητα του θανατηφόρου ατυχήματος εντός του αντλιοστασίου, κατά τη φάση της λειτουργίας του.

Γενικά, η βιομηχανία νερού έχει μια μακρά ιστορία ενασχόλησης με τον κίνδυνο, με τη μορφή του έλεγχου της ποιότητας, την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος. Η επικινδυνότητα έχει αντιμετωπιστεί παραδοσιακά με ένα συνδυασμό της διαίσθησης, της εμπειρίας και φυσικά της μηχανικής. Με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των περιβαλλοντικών προβλημάτων, είναι αναγκαίο να

υιοθετηθεί μια πιο δομημένη προσέγγιση για την εκτίμηση και τη διαχείριση της επικινδυνότητας

Κατά την εξέταση κάθε συστήματος και άρα και του συστήματος του αντλιοστασίου Βλητέ, πρέπει να γίνει δεκτό ότι υπάρχει η πιθανότητα το συγκεκριμένο σύστημα να αδυνατεί να εκπληρώσει τη λειτουργία του σχεδιασμού του. Η αποδοχή και ο έλεγχος της πιθανότητας της αποτυχίας, βρίσκεται στο επίκεντρο της εκτίμησης και διαχείρισης της επικινδυνότητας. Η διαδικασία της εκτίμησης της επικινδυνότητας έχει τρία βασικά συστατικά, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Την πηγή του κινδύνου και την πιθανότητα να συμβεί.
- Τον υποδοχέα (για τον οποίο ο κίνδυνος θα έχει αποτέλεσμα) και τη συνέπεια του κινδύνου.
- Τη διαδρομή (route) που συνδέει τον κίνδυνο με τον υποδοχέα (receptor).

Η διαχείριση της επικινδυνότητας επιτυγχάνεται με τον έλεγχο του επιπέδου της επικινδυνότητας και τον έλεγχο της διαδρομής που συνδέει τον κίνδυνο με τον υποδοχέα. Για παράδειγμα, εάν ο κίνδυνος είναι το μεγάλο βάθος της δεξαμενής αποθήκευσης νερού που εξυπηρετεί το αντλιοστάσιο του Βλητέ και υπάρχει ο κίνδυνος ένα μέλος του κοινού ή του εργατικού δυναμικού (ο υποδοχέας) να γλιστρήσει εντός της δεξαμενής και να υποστεί πνιγμό, η διαδρομή διασύνδεσης θα είναι η πρόσβαση στη δεξαμενή. Ως εκ τούτου, μπορεί να αντιμετωπιστεί αυτή η επικινδυνότητα, ελέγχοντας τη διαδρομή - περίφραξη ασφαλείας.

Η αξιολόγηση της επικινδυνότητας είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ανάπτυξη και τη διαχείριση των έργων μηχανικής και περιβάλλοντος. Μπορεί ως εργαλείο να χρησιμοποιηθεί σε τρία βασικά επίπεδα - ποιοτικά, ημι-ποσοτικά και ποσοτικά.

Το ποιοτικό επίπεδο της αξιολόγησης της επικινδυνότητας χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των κινδύνων, των διαδρομών (routes) και των υποδοχέων (receptors) στη διαδικασία της επικινδυνότητας.

Το επόμενο στάδιο στην αξιολόγηση, είναι να πραγματοποιήσουμε μια ημι-ποσοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση του βαθμού επικινδυνότητας και κατά συνέπεια μπορεί συχνά να επιτευχθεί ως υπολογισμός μιας κυμαινόμενης επικινδυνότητας, ή να οδηγήσει στη δημιουργία μιας μεθόδου μήτρας επικινδυνότητας. Το υψηλότερο επίπεδο της αξιολόγησης απαιτεί μια βαθύτερη γνώση της λειτουργίας των συστημάτων ενός αντλιοστασίου και ποσοτικοποίηση όλων των παραμέτρων του διερευνώμενου προβλήματος. Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της εκτίμησης επικινδυνότητας στο πλαίσιο της λειτουργίας

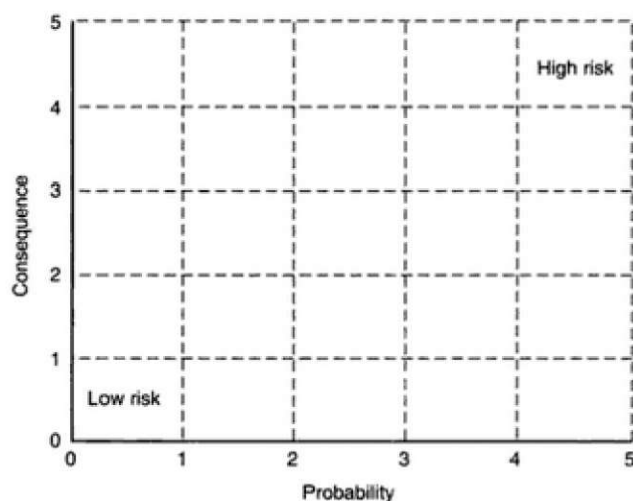
ενός αντλιοστασίου, είναι ότι παρέχει ένα λογικό πλαίσιο για να εξετάσει μια κατάσταση και έτσι προσδιορίζει προβληματικές περιοχές και προτεραιότητες.

Η διαδικασία της αξιολόγησης της επικινδυνότητας μπορεί να συνοψιστεί ως

- Τον εντοπισμό του προβλήματος.
- Τον καθορισμό του τύπου της ανάλυσης - ποσοτικά ή ποιοτικά.
- Τον προσδιορισμό των κινδύνων, των οδών και των υποδοχέων.
- Την εκτίμηση των πιθανοτήτων και τις συνέπειες των γεγονότων.
- Την αξιολόγηση των επικινδυνοτήτων.
- Την επανεξέταση του προβλήματος προσδιορισμού των ευαίσθητων παραγόντων.
- Επαναπροσδιορισμό του προβλήματος, εάν είναι απαραίτητο, λαμβάνοντας υπόψη άλλους παράγοντες που δεν περιλαμβάνονται στο πλαίσιο της ανάλυσης.
- Την οριστικοποίηση της αξιολόγησης.

Η εφαρμογή της ποιοτικής αξιολόγησης της επικινδυνότητας χρησιμοποιείται συνήθως στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης ενός έργου, συχνά για να καθορίσει τις προτεραιότητες. Μία από τις μεγαλύτερες αξίες της αξιολόγησης της επικινδυνότητας είναι ότι παρέχει μια διατεταγμένη δομή από την οποία μπορούμε να σκεφτούμε για τη λύση ενός προβλήματος. Η ακριβής ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων και των συνεπειών στην ανάπτυξη των έργων δεν είναι πάντα εύκολο να ορισθεί, ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούμε έναν πιο υποκειμενικό τύπο της προσέγγισης. Η πιθανότητα και η συνέπεια μπορεί να εκφράζεται σε σχετική κλίμακα, προσεκτικά καθορισμένη και σε κλιμακωτή δομή.

Η Προκαταρκτική Ανάλυση Κινδύνου (PHA-Preliminary Hazard Analysis) είναι μια ισχυρή τεχνική, η οποία εύκολα εφαρμόζεται σε πολλές περιπτώσεις. Πιθανότητα και συνέπεια εκφράζονται σε ζώνες, και έτσι δημιουργείται ένας συνδυασμένος πίνακας πιθανοτήτων και συνεπειών ενός γεγονότος (βλ. Σχήμα 2.7). Ο Πίνακας 2.1 δίνει κάποια παραδείγματα επιπέδων επικινδυνότητας.



Σχήμα 2.7: Ημιοσοτική ανάλυση της επικινδυνότητας-πιθανότητας σε σχέση με τη συνέπεια [Rendell,1999]

Πίνακας 2.1 : Παραδείγματα επιπέδων επικινδυνότητας [Rendell,1999]

Fatal accident rates		Annual levels of risk: probability/year	
Staying at home	1	Being struck by lightning	1×10^{-7}
Industry (average)	4	Accident at work	3×10^{-4}
Coal mining	40	Accident at home	1×10^{-4}
Construction industry	70	Road traffic accident	1×10^{-4}
Car travel	60	Construction worker	5×10^{-4}

Κατά την εκτίμηση της επικινδυνότητας ενός συμβάντος θα χρειαστεί να εξετάσουμε το συνδυασμό κάποιων γεγονότων. Ως εκ τούτου, οι βασικές σχέσεις που αφορούν στον συνδυασμό των πιθανοτήτων και των συχνοτήτων πρέπει να έχουν οριστεί.

Εξετάζουμε δύο πιθανά γεγονότα A και B Ένα αποτέλεσμα αυτών των γεγονότων μπορεί να συμβεί με έναν από δύο τρόπους.

Τα A και B να συμβούν ταυτόχρονα, προκαλώντας C, ή ένα από τα δύο A ή B να συμβούν, προκαλώντας έτσι C.

Γνωρίζουμε από τη θεωρία των πιθανοτήτων, ότι :

$P_{A \text{ ή } B} = P_A + P_B - P_A \times P_B$ ενώ εάν P_A, P_B είναι πολύ μικρές, τότε

$$P_{A \text{ ή } B} = P_A + P_B \quad (1)$$

$$\text{Επίσης, } P_{A \text{ και } B} = P_A \times P_B \quad (2)$$

Αντίστοιχα οι συχνότητες

$$F_{A \text{ ή } B} = F_A + F_B \quad (3)$$

$$F_{A \text{ και } B} = F_A \times F_B \times (T_A + T_B) \quad (4)$$

Όπου T_A και T_B οι διάρκειες των γεγονότων A και B.

Οι μονάδες της συχνότητας εκφράζονται συνήθως ως περιστατικό /έτος (occ/yr).

Οι συχνότητες μπορούν να πολλαπλασιαστούν με τις πιθανότητες. Ένα από τα κριτήρια που μπορούν να εφαρμοστούν κατά την εξέταση της ασφάλειας στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, είναι το ποσοστό θανατηφόρων ατυχημάτων (FAR-Fatal Accident Rate). Αυτό ορίζεται ως ο αριθμός των θανάτων μέσα σε ένα χρόνο έκθεσης 10^8 ωρών, ή εναλλακτικά, το ετήσιο επίπεδο επικινδυνότητας.

Εάν ένα σύστημα, όπως αυτό του αντλιοστασίου του Βλητέ, διαθέτει αυτοματισμούς και η 24-ωρη παρουσία των χειριστών δεν κρίνεται απαραίτητη, τότε ο χρόνος έκθεσης σε κίνδυνο των χειριστών του Αντλιοστασίου μειώνεται. Υποθέτοντας την παρουσία χειριστών σε τρεις βάρδιες, η έκθεση σε κίνδυνο κάθε χειριστή ελαττώνεται σε 1 ώρα ανά ημέρα (1h/d) [Rendell, 1999].

Έτσι, γνωρίζουμε ότι η συχνότητα ατυχήματος προκύπτει ως εξής :

Για 52.1 εβδομάδες / έτος

37.2 εργάσιμες ώρες / εβδομάδα

Y αριθμός ατυχημάτων για τον κλάδο της ύδρευσης, τότε

$$F_R = (Y \times 10) / (37.2 \times 52.1) = 5.1596 \times 10^{-3} \times Y \text{ [HSE, 2010]}.$$

Για $Y = 26$ (ατυχήματα στον τομέα της ύδρευσης για το έτος 2014), $F_R = 0.134$ [ΕΣΥ, 2014].

Κάθε χειριστής εργάζεται για περίπου 340 ημέρες το χρόνο, δηλαδή για περίπου 2720 ώρες/έτος.

Η χρονική διάρκεια της έκθεσης ανά χειριστή την ημέρα είναι 1 h / 8 ώρες βάρδια, που αντιστοιχεί σε 1 h/8-ωρο X 340 8-ωρα/έτος = 340 h/ έτος.

Η πιθανότητα ένας χειριστής να βρίσκεται εντός του χώρου λειτουργίας των αντλητικών συγκροτημάτων είναι 340 h / 2720 h = 0.125.

Αριθμός χειριστών εντός του χώρου ανά πάσα στιγμή, 2 άτομα.

Πιθανότητα θανατηφόρου ατυχήματος στην ύδρευση για τα έτη 1987-1994.

Σύνολο ατυχημάτων στην ύδρευση : 2744.

Σύνολο θανατηφόρων ατυχημάτων στην ύδρευση : 1 [ΕΣΥ, 2014].

Άρα η πιθανότητα για τη συγκεκριμένη περίοδο το ατύχημα να είναι θανατηφόρο είναι $1/2744 = 3.6443 \times 10^{-4}$.

Η πιθανότητα για θάνατο στο ενδεχόμενο ατυχήματος με την προϋπόθεση της παρουσίας στο αντλιοστάσιο 2 χειριστών ανά 8-ωρο είναι :

$$2 \times 3.6443 \times 10^{-4} = 7.2886 \times 10^{-4}$$

Η συχνότητα της θνησιμότητας ανά έτος προκύπτει :

$$0.125 \times 0.134 \times 2 \times 3.6443 \times 10^{-4} = 0.122 \times 10^{-4} .$$

Και άρα ο δείκτης **FAR** = $(0.125 \times 0.134 \times 2 \times 3.6443 \times 10^{-4} \times 10^8) / 2720 = \mathbf{0.448}$

(**FAR** : Αριθμός θανατηφόρων περιστατικών σε 10^8 ώρες εργασίας).

Από την αξιολόγηση του δείκτη FAR, διαφαίνεται ότι η πρακτική της 24-ωρης παρακολούθησης της χρήσης του αντλιοστασίου Βλητέ από ανθρώπινο δυναμικό πρέπει να εγκαταλείπεται. Αντιθέτως, συνίσταται η εγκατάσταση συστημάτων συναγερμού και παρακολούθησης των εγκατεστημένων μηχανημάτων που βρίσκονται στο αντλιοστάσιο. Ο χειροκίνητος έλεγχος των συστημάτων θα πρέπει να μειωθεί σε κατά το μέγιστο μία τακτική επιθεώρηση ανά βάρδια.

Η ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου χρησιμοποιείται συχνά για να προσδιοριστεί ποσοτικά το αποτέλεσμα μιας αλυσίδας γεγονότων. Υπάρχουν δύο τεχνικές δικτύου που μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε αυτό το είδος της κατάστασης: η ανάλυση

δέντρου σφαλμάτων (FTA) και η ανάλυση δένδρου γεγονότων (ETA). Για λόγους που προαναφέρονται, για την ανάλυση επιλέγεται η μέθοδος ETA.

Η μέθοδος ETA (Event Tree Analysis) είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική για την αξιολόγηση της αποτυχίας των συστημάτων για σύνθετες διαδικασίες, όπως είναι τα συστήματα ελέγχου. Στη συγκεκριμένη μέθοδο κατασκευάζεται ένα δίκτυο με αρχή το κορυφαίο γεγονός και κατεβαίνει προς τις αιτίες τις πιθανότητες και τις συχνότητες των γεγονότων, μέχρι τα γεγονότα να μην αναλύονται περαιτέρω. Λογικές διασυνδέσεις δημιουργούνται εντός του δέντρου σφαλμάτων με στόχο η ανάλυση να πραγματοποιήσει την αξιολόγηση, η οποία τελικώς θα καθορίσει την πιθανότητα του φαινομένου. Οι πιθανότητες ή/και οι συχνότητες αποδίδονται σε κάθε κλάδο του δέντρου και στη συνέχεια πραγματοποιούνται υπολογισμοί των πιθανοτήτων και των συχνοτήτων, σύμφωνα με τις προαναφερόμενες μαθηματικές σχέσεις ((1), (2), (3), (4)). Αφότου το δέντρο έχει δημιουργηθεί, είναι εύκολο να εξεταστεί η ευαισθησία του συστήματος στις αλλαγές του σχεδιαζόμενου συστήματος. Έτσι, μπορούμε να βγάλουμε γρήγορα και ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τη συχνότητα της αποτυχίας, όταν εφαρμόζεται συμπληρωματικά ένας δεύτερος συναγερμός στο σύστημα.

Στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, δεν υπάρχει σήμερα εναλλακτική λύση σε περίπτωση που διακοπεί το ρεύμα από τον ηλεκτρικό πάροχο. Δηλαδή η λειτουργία του αντλιοστασίου σταματάει όταν διακοπεί η τροφοδοσία από τη ΔΕΗ και η περιοχή Ακρωτηρίου δεν τροφοδοτείται με νερό ύδρευσης, ή άρδευσης μέχρι να αποκατασταθεί η αστοχία. Η ταχύτητα αποκατάστασης της βλάβης εξαρτάται κυρίως από τη ΔΕΗ και σχετίζεται με πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες, όπως :

- είδος της βλάβης
- διαθεσιμότητα συνεργείων
- διαθεσιμότητα υλικών
- καιρικές συνθήκες
- επιχειρησιακή σκοπιμότητα
- επιχειρησιακή ετοιμότητα
- αστάθμητους παράγοντες κ.α.

Οι δεξαμενές που τροφοδοτούνται από το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο, σύμφωνα με τις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν με τα στελέχη του Οργανισμού μπορούν να εξακολουθήσουν να τροφοδοτούν το δίκτυο του Ακρωτηρίου για περίπου 8 ώρες, μέχρι να αποκατασταθεί η βλάβη στο αντλιοστάσιο. Κατόπιν αυτού του χρονικού περιθωρίου τα αποθέματα εξαντλούνται και η τροφοδοσία των καταναλωτών ύδρευσης-άρδευσης του Ακρωτηρίου σταματάει. Συνεπώς βάσει των παραδοχών :

Παραδοχές

(Τα στοιχεία των παραδοχών προέκυψαν κατόπιν συνέντευξης με στελέχη κατασκευαστικής εταιρείας ηλεκτροπαραγωγών ζευγών).

Διακοπές ρεύματος στην περιοχή του Βλητέ : 10 occ/yr, τότε:

Η πιθανότητα να συμβεί διακοπή ρεύματος σε ένα έτος (365 ημέρες), εφόσον κάθε συμβάν αντιστοιχεί σε μία διακριτή μέρα λειτουργίας,

$$10 \text{ occ/yr} / 365 = 0.0274,$$

δηλαδή η πιθανότητα να σταματήσει η λειτουργία του αντλιοστασίου στην περίοδο του έτους είναι 2.74%. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη, κατά το επόμενο χρονικό διάστημα η αγορά και τοποθέτηση ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους στο αντλιοστάσιο Βλητέ, ώστε να εξομαλυνθεί το πρόβλημα της διακοπής τροφοδοσίας του αντλιοστασίου με ηλεκτρικό ρεύμα και κατά συνέπεια, να μειωθεί η πιθανότητα αστοχίας του αντλιοστασίου λόγω απώλειας ηλεκτρικής ισχύος τροφοδοσίας. Η πιθανότητα απώλειας ηλεκτρικής αστοχίας του αντλιοστασίου κατόπιν της τοποθέτησης Ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους μετασχηματίζεται ως εξής :

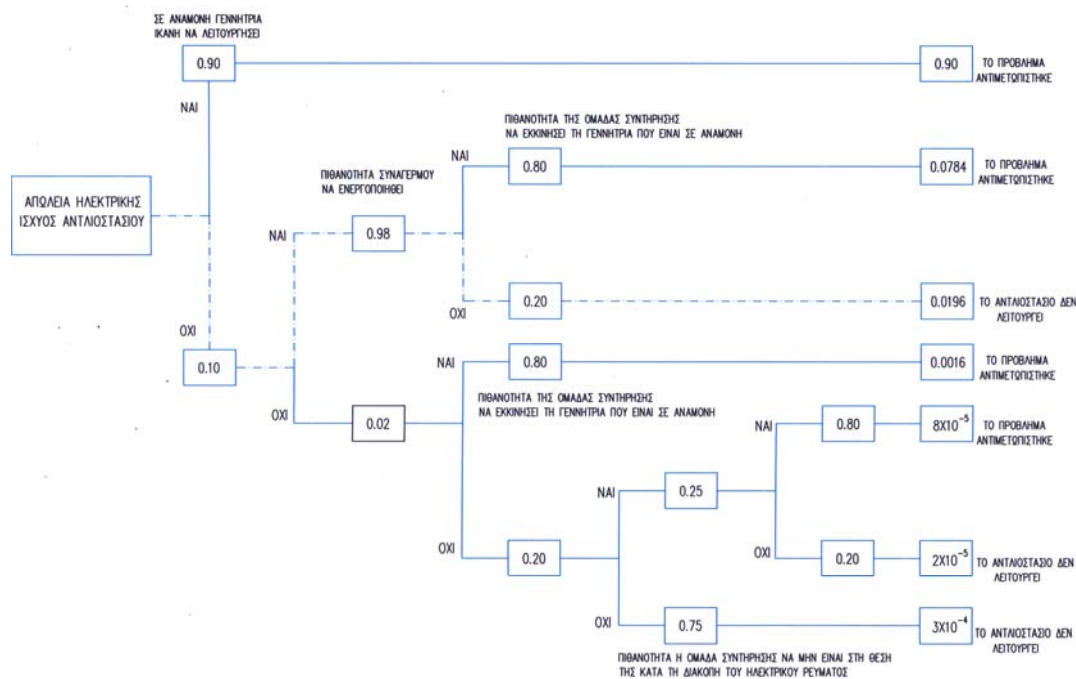
Κατά την τοποθέτηση του Ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (γεννήτριας),

Η πιθανότητα της γεννήτριας που βρίσκεται σε αναμονή να ξεκινήσει : 0.90.

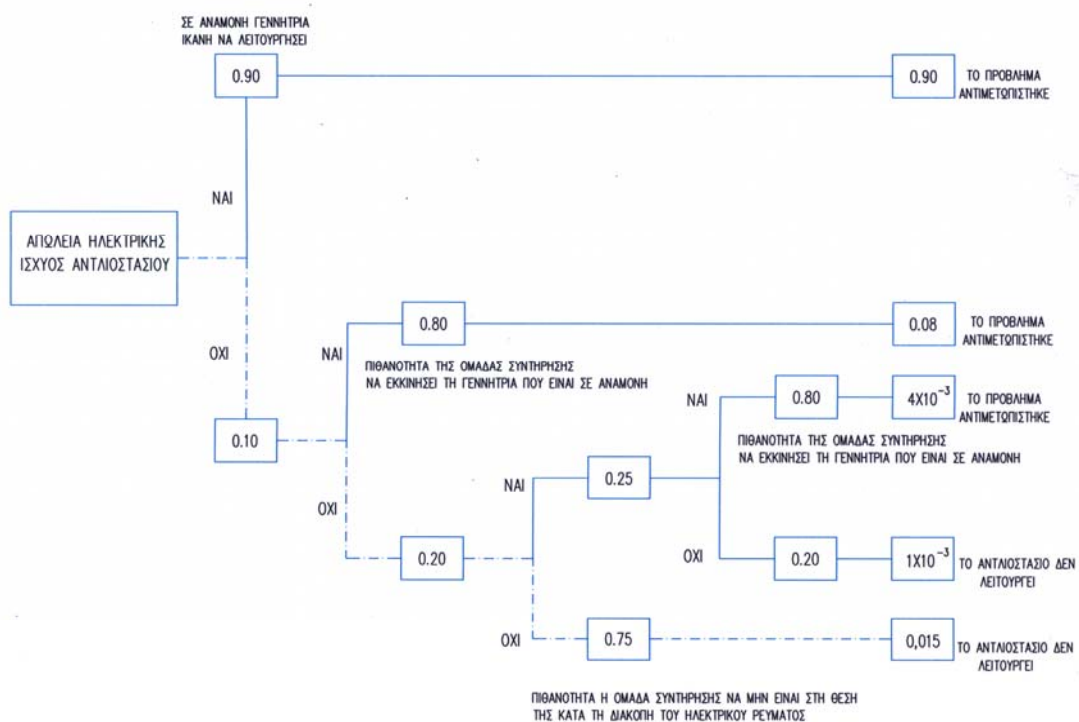
Η πιθανότητα συναγερμού να ενεργοποιηθεί : 0.98.

Η πιθανότητα της ομάδας συντήρησης να είναι ικανή να εκκινήσει τη γεννήτρια που βρίσκεται σε αναμονή : 0.80.

Η πιθανότητα το προσωπικό να είναι στο χώρο του αντλιοστασίου ή να βρίσκεται εκεί αμέσως μετά από διακοπή ρεύματος: 6 hr σε 24 hr.



Σχήμα 2.8: Δέντρο γεγονότων για την απώλεια ηλεκτρικής ισχύος του αντλιοστασίου στο Βλητέ.



Σχήμα 2.9: Δέντρο γεγονότων για την απώλεια ηλεκτρικής ισχύος του αντλιοστασίου στο Βλητέ, χωρίς συναγεμρό.

Οι πιθανότητες των τελικών γεγονότων υπολογίζονται από το προϊόν των γεγονότων κατά μήκος των κλαδιών του δέντρου γεγονότων. Μπορεί να γίνει αντιληπτό, ότι η

υψηλότερη πιθανότητα αποτυχίας τροφοδοσίας του ηλεκτρικού συστήματος είναι 0.0196 (ο κρίσιμος κλάδος απεικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή).

$$p = 0.1 \times 0.98 \times 0.20 = 0.0196.$$

Η επίδραση του συστήματος συναγερμού μπορεί να μελετηθεί, εάν αποκόψουμε τον κλάδο του συναγερμού. Η ανακατασκευή του δέντρου γεγονότων με την πιθανότητα το αντλιοστάσιο να μην λειτουργήσει από την απώλεια ηλεκτρικής ισχύος, μετασχηματίζεται σε $p = 0.015$ (ο κρίσιμος κλάδος απεικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή).

Επειδή $0.0196 > 0.015$, τεκμηριώνεται ότι ορθώς προτείνεται η εφαρμογή του συστήματος συναγερμού στο συγκεκριμένο αντλιοστάσιο. Για το γεγονός της απώλειας ηλεκτρικής ισχύος του αντλιοστασίου, υπολογίζεται ότι υπάρχει μια πιθανότητα $p = 0.0196$ ότι θα συμβεί το συγκεκριμένο γεγονός και έτσι το αντλιοστάσιο δεν θα λειτουργήσει. Σε κάθε περίπτωση, το γεγονός αυτό επηρεάζεται από τη εγκατάσταση του συστήματος συναγερμού. Όμως, στη συγκεκριμένη μέθοδο θεωρούμε ότι όλα τα γεγονότα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα, οι συνέπειες των γεγονότων συχνά συνδέονται μεταξύ τους. Έτσι, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα κατά το σχηματισμό του δέντρου γεγονότων, ώστε να μην προκύπτουν τέτοιου τύπου προβλήματα.

Το κόστος της επικινδυνότητας μπορεί να περιγραφεί ως το συνολικό κόστος της αποτροπής των αποτυχιών, το οποίο προκύπτει όταν υπάρχουν αστοχίες στη λειτουργία του αντλιοστασίου του Βλητέ. Για να γίνει πιο ακριβής ανάλυση του κόστους είναι απαραίτητο να καθοριστούν τα κόστη της διασφάλισης ποιότητας τα κόστη των συμβάντων και τέλος, τα κόστη των ατυχημάτων. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά κρυφά κόστη, όπως εκείνα της αναστάτωσης και της αντισταθμιστικής εργασίας.

Σε ένα αντλιοστάσιο, όπως είναι και αυτό του Βλητέ, τα μηχανολογικά στοιχεία όπως είναι οι αντλίες ή οι βάνες, αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την ορθή λειτουργία. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι κρίσιμο και απαραίτητο να επενδύονται κεφάλαια σε εξοπλισμό υποστήριξης, καθώς και σε εξοπλισμό ο οποίος βρίσκεται σε αναμονή για να λειτουργήσει σε περίπτωση αστοχίας του εγκατεστημένου εξοπλισμού. Το επιπρόσθετο κόστος για τον επιπλέον εξοπλισμό συνήθως αντιστοιχεί περίπου στο 20% του συνολικού μηχανολογικού κόστους. Ομοίως, για τα ηλεκτρικά συστήματα, η αξιοπιστία είναι θεμελιώδης για τη σωστή λειτουργία του αντλιοστασίου κι απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός υποστήριξης σε περίπτωση αστοχίας των εγκατεστημένων. Το λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβανομένου της ελαχιστοποίησης της

επικινδυνότητας, περιλαμβάνει προγράμματα ελέγχων και συντήρησης του εξοπλισμού, παροχή ανταλλακτικών, και εργασίες καθαρισμών κατά τη φάση της αστοχίας. Ως γενική εικόνα λοιπόν, συνήθως το κόστος επικινδυνότητας αντιστοιχεί σε 10%~50% του συνολικού κόστους [Rendell,1999].

Προκειμένου να μελετηθεί σε βάθος το αντλιοστάσιο Βλητέ, το οποίο ξεφεύγει από τα όρια της συγκεκριμένης εργασίας, απαιτείται περαιτέρω μελέτη και εμβάθυνση, καθώς θα πρέπει να γίνει έλεγχος και ανάπτυξη της θεωρίας που παρουσιάζεται στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας, στο σύνολο των υποσυστημάτων του αντλιοστασίου. Επίσης, όπως έχουμε προαναφέρει, όταν τα συστήματα γίνονται πιο πολύπλοκα, κατά επέκταση αυξάνονται οι πιθανότητες επικινδυνότητας, άρα απαιτείται περισσότερη προσπάθεια για την κατανόηση και τη διαχείριση του κινδύνου αστοχίας. Κατά αυτόν τον τρόπο όμως, γίνεται εφικτό να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα και να προχωρήσουν οι προτεινόμενες βελτιώσεις και μεταρρυθμίσεις.

Στη συνέχεια, στην παράγραφο 2.4, αναπτύσσονται οι βασικές προτάσεις και τα συμπεράσματα, τα οποία αφορούν στο αντλιοστάσιο του Βλητέ. Πολλά από αυτά είναι ποιοτικά και στηρίζονται τόσο στην ανάλυση του 1^{ου} κεφαλαίου, όσο και στο παράδειγμα που αναπτύσσεται στο 2^ο κεφάλαιο. Τέλος, στο σχήμα 2.10 παρουσιάζονται τα μηχανολογικά σχέδια λειτουργίας του αντλιοστασίου του Βλητέ.

2.4 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης για το αντλιοστάσιο Βλητέ.

Καταρχάς, είναι γεγονός ότι, η εξοικονόμηση ενέργειας συνδέεται άρρηκτα με την ενεργειακή αποδοτικότητα των υποσυστημάτων μιας εγκατάστασης, καθώς και με το συνολικό σύστημα της εγκατάστασης που μελετάμε κάθε φορά, στην προκειμένη περίπτωση του αντλιοστασίου του Βλητέ.

Η εξοικονόμηση της ενέργειας σχετίζεται με τη συνεχή προσπάθεια και τον αγώνα του Ο.Α.Κ. Α.Ε., αλλά και της κάθε επιχείρησης η οποία στοχεύει στη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος της. Καθώς λοιπόν απαιτείται συνεχής και αδιάλειπτη προσπάθεια για τη διαρκή βελτίωση των ενεργειακών μεγεθών, επιβάλλεται η ενεργειακή δέσμευση του οργανισμού, προκειμένου να γίνονται εφικτοί και πραγματοποιήσιμοι οι στόχοι που τίθενται ως προς αυτήν την κατεύθυνση.

Η ενεργειακή δέσμευση, είναι ένας κυρίαρχος άξονας για τον Οργανισμό Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε., όπως και για κάθε οργανισμό διαχείρισης νερού ή/και λυμάτων. Το συγκεκριμένο βήμα είναι το πιο κρίσιμο στην επιτυχία του ενεργειακού σχεδίου διαχείρισης. Συνεπικουρούμενος από τη δημιουργία, την έγκριση και την υποστήριξη μιας δυναμικής ενεργειακής ομάδας, ο άξονας αυτός, θέτει τις βάσεις για την εξασφάλιση ότι τα αντίστοιχα έργα θα είναι εφικτό να εκτελεστούν και να οδηγήσουν στους στόχους της εξοικονόμησης και της αύξησης της αποδοτικότητας του συστήματος. Παράλληλα και σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και τα θέματα της λειτουργικής ασφάλειας.

2.4.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης στο αντλιοστάσιο Βλητέ σε σχέση με την λειτουργική ασφάλεια

Όπως προαναφέρεται και στην παράγραφο 1.3, εφόσον υπάρχουν αξιοποιήσιμα δεδομένα από τις καταγραφές των συστημάτων, μέθοδοι όπως οι ETA ή FMEA, μπορούν να εφαρμοστούν για την εύρεση της αξιοπιστίας με επίκεντρο τη συντήρηση (RCM- Reliability Centered Maintenance). Σε αυτήν την περίπτωση οι εκτιμήσεις της αξιοπιστίας του συστήματος χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ένα οικονομικά αποδοτικό και ικανοποιητικό πρόγραμμα συντήρησης. Μέσα πχ από τη μέθοδο FMEA, οι διαδραστικές επιπτώσεις από τις αιτίες αποτυχίας τόσο των υδραυλικών όσο και των μηχανικών παραμέτρων λειτουργίας των φυγοκεντρικών αντλιών (π.χ. ρυθμός, πίεση κατάθλιψης, δόνηση παροχής) χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές. Με βάση την πληροφορία της αστοχίας που λαμβάνεται, μπορούν να εξαχθούν οι κανόνες για τη διάγνωση της αστοχίας και επιπλέον, με βάση την ανάλυση της αστοχίας είναι δυνατόν να καθορίζονται τα διαστήματα συντήρησης. Η ικανότητα της προτεινόμενης προσέγγισης για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση λαθών και

αστοχιών, που έχουν ως αποτέλεσμα τη σωστή και έγκαιρη διάγνωση, αυξάνουν την αξιοπιστία του συστήματος με τη μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού και κατά συνέπεια η ενεργειακή απόδοση του συστήματος βελτιώνεται [Azadeh et al., 2009].

Σήμερα, ολοένα και πιο πολύ, αναπτύσσονται τεχνικές για να πραγματοποιούνται πρώιμες ανιχνεύσεις υποβαθμίσεων ή βλαβών των αντλητικών συστημάτων στα αντλιοστάσια, στηριζόμενες στη λογική ότι μια σημαντική αλλαγή είναι ένδειξη μιας αναπτυσσόμενης και εξελισσόμενης αποτυχίας. Οι συγκεκριμένες τεχνικές επιβεβαιώνονται, συχνά και από απλές οπτικές παρατηρήσεις ή απλές καταγραφές θερμοκρασιών στα αντίστοιχα αντλιοστάσια. Ωστόσο, για το υπό εξέταση αντλιοστάσιο του Βλητέ, προκειμένου να γίνει εφικτό να λαμβάνονται αξιόπιστα και πλήρη δεδομένα, θα πρέπει σε κάθε αντλητικό συγκρότημα του αντλιοστασίου να τοποθετηθούν τα απαιτούμενα όργανα και να είναι διαθέσιμες ενδεικτικές μετρήσεις για:

- Το ηλεκτρικό ρεύμα κινητήρα (και οι τρεις φάσεις μαζί).
- Τις θερμοκρασίες περιέλιξης του κινητήρα (μία για κάθε φάση).
- Τη θερμοκρασία των εδράνων του κινητήρα.
- Τη θερμοκρασία των εδράνων της αντλίας.
- Τη μέτρηση της παροχής (στην κορυφή του σωλήνα).
- Τη μέτρηση των κραδασμών των αντλιών.

Επιπλέον, συστήνεται η χρήση οργάνων μετρήσεων ως προς το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος, των υπερτάσεων και των βυθίσεων τάσης του δικτύου.

Στο συγκεκριμένο αντλιοστάσιο υπάρχουν επίπεδα μετρήσεων της στάθμης του νερού στον υδροθάλαμο του αντλιοστασίου (φλοτέρ) που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτοματισμών (τύπου PLC) για την εκκίνηση και τον τερματισμό των αντλιών.

Το σύνολο των δεδομένων θα πρέπει να φιλτράρονται και αποθηκεύονται ανά κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα πχ 60 δευτερόλεπτα [Bergea, et al., 2013].

Επιπλέον, θα είναι ωφέλιμο ταυτόχρονα να πραγματοποιείται εκτίμηση επικινδυνότητας (risk assessment) για την πρόβλεψη και τον εντοπισμό των επικινδυνών γεγονότων, αστοχιών, των αστοχιών του εξοπλισμού και των ανθρωπίνων λαθών που μπορούν να θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του συστήματος και των εργαζομένων. Έτσι, θα τίθενται προτεραιότητες για τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας, ενώ θα λαμβάνεται υπόψη και ο τρόπος χρήσης του εξοπλισμού από τους εργαζόμενους. Όταν δεν γίνεται διαφορετικά, επιβάλλεται να καταφεύγουμε σε ποιοτικές εκτιμήσεις με τη χρήση δεικτών επικινδυνότητας [Κοντογιάννης, 2017].

2.4.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης στο αντλιοστάσιο Βλητέ σε σχέση με την ενεργειακή εξοικονόμηση

2.4.2.1 Ο ρόλος της ενεργειακής ομάδας

Η επιτυχής διαχείριση της ενέργειας απαιτεί μια εστιασμένη, συντονισμένη, και απαιτητική προσπάθεια. Η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας ξεκινά από την κορυφή, δηλαδή τη διοίκηση του οργανισμού και απαιτεί την ηγετική νοοτροπία, η οποία μπορεί να συσπειρώσει την οργάνωση για την υποστήριξη των αποφάσεων της ομάδας που θα ασχοληθεί με την ενέργεια. Όλη η ισχύς των αποφάσεων θα πρέπει να πηγάζει από τη διεύθυνση του οργανισμού προς την ενεργειακή ομάδα, η οποία θα είναι επιφορτισμένη με την επίτευξη της ενεργειακής εξοικονόμησης. Επειδή η χρήση της ενέργειας σχετίζεται με πολλά οργανωτικά επίπεδα, η ενεργειακή ομάδα θα πρέπει να διαθέτει ποικιλομορφία, ώστε να μπορεί να διαχειριστεί το ευρύ φάσμα των θεμάτων που αφορούν στην εξοικονόμηση της ενέργειας. Οι εκπρόσωποι της ενεργειακής ομάδας θα πρέπει να δεσμευτούν για τη μακροπρόθεσμη υποστήριξη της εξοικονόμησης της ενέργειας. Ενώ, το συγκεκριμένο επίπεδο της προσπάθειας που απαιτείται από τα διάφορα μέλη της ομάδας, μπορεί να μεταβάλλεται στην πάροδο του χρόνου. Έτσι, είναι σημαντικό να διατηρηθεί η συμμετοχή, η δέσμευση και η υποστήριξη προς τους σκοπούς της ομάδας, από κάθε μέλος της. Κατά συνέπεια, ο Ο.Α.Κ. Α.Ε. ως οργανισμός ο οποίος συμπεριλαμβάνει στις δραστηριότητες του υπηρεσίες νερού και λυμάτων, θα πρέπει να σχηματίσει μία ενεργειακή ομάδα, η οποία να εμπεριέχει όσο το δυνατόν περισσότερα ενδιαφερόμενα μέλη, συμπεριλαμβάνοντας μέλη από τα διευθυντικά στελέχη, το οικονομικό τμήμα, το τεχνικό τμήμα λειτουργίας και συντήρησης και την ομάδα υγιεινής και ασφάλειας του οργανισμού. Η ενσωμάτωση όλων των κλάδων στην ομάδα επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων από όλες τις επιχειρηματικές και επιχειρησιακές προοπτικές, και διανέμει την ευθύνη για την επίτευξη των στόχων. Η ενεργειακή ομάδα, θα πρέπει επίσης να επιδιώκει και να διατηρεί την υποστήριξη της Διεύθυνσης, έτσι ώστε να μπορεί να συνεχίσει να έχει την αρμοδιότητα να λαμβάνει αποφάσεις για ενέργειες που είναι απαραίτητες, για να πετύχει στην αντίστοιχη εγκατάσταση την εφαρμογή του σχεδίου εξοικονόμησης ενέργειας. Μια ενδυναμωμένη ομάδα ενέργειας, η οποία υποστηρίζεται από τη διοίκηση, θα βοηθήσει στην επίλυση πολλών οργανωτικών εμποδίων για τη βελτίωση της χρήσης της ενέργειας.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις, όπως συμβαίνει και στον Ο.Α.Κ. Α.Ε., το προσωπικό των επιχειρήσεων δεν εμπλέκεται ποτέ στην αξιολόγηση των αποφάσεων για την ενεργειακή προμήθεια και δεν έχει πρόσβαση στους λογαριασμούς ενέργειας. Αυτή η έλλειψη της συνειδητοποίησης των επιπτώσεων της χρήσης της ενέργειας είναι

αντιπαραγωγική, όχι μόνο στην επίτευξη των στόχων της ενεργειακής απόδοσης, αλλά και για τη δημοσιονομική ευθύνη. Σε ένα αποτελεσματικό μοντέλο διαχείρισης της ενέργειας μια ισχυρά λειτουργική ενεργειακή ομάδα συμβάλλει στη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ του φορέα διαχείρισης και του προσωπικού της επιχείρησης, ενισχύοντας τη σχέση μεταξύ της χρήσης ενέργειας και της ενεργειακής προμήθειας. Για να πραγματοποιήσει αυτό το πρώτο βήμα, η ομάδα ενέργειας του οργανισμού θα μπορούσε να προσκαλέσει έναν εκλεγμένο αξιωματούχο, όπως έναν δήμαρχο που συμμετέχει στο συμβούλιο, τον διευθυντή του οργανισμού, ή ένα μέλος του τμήματος οικονομικών να ενταχθεί στην ομάδα. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να συμμετέχει στην ενεργειακή ομάδα και ο επικεφαλής του οργανισμού. Ο επικεφαλής του οργανισμού θα πρέπει να γνωρίζει ποιες χρήσεις στην επιχείρηση, όπως η άντληση, ή άλλου τύπου ειδικές διεργασίες, καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια. Επίσης, θα πρέπει να είναι ανεπτυγμένο ένα πλήρες προφίλ της κατανάλωσης της ενέργειας, σε σχέση με τις διεργασίες τελικής χρήσης. Σε περιπτώσεις όπου οι αλλαγές στις πρακτικές διαχείρισης της ενέργειας θα οδηγήσουν σε τροποποιήσεις του σχεδιασμού των εγκαταστάσεων, θα μπορούσε επίσης να προσκληθεί, ο εκπρόσωπος του αντίστοιχου ηλεκτρικού παρόχου (ΔΕΗ). Παράλληλα, η συγκεκριμένη ενεργειακή ομάδα οφείλει να συνεργάζεται στενά με την αντίστοιχη ομάδα υγιεινής και ασφάλειας του οργανισμού, ώστε οι δράσεις που προωθούνται να λαμβάνουν υπόψη τους την ασφάλεια των εργαζόμενων και τις θετικές επιπτώσεις στη λειτουργική αξιοπιστία των αντλιοστασίων, καθώς και των υπολοίπων εγκαταστάσεων που συμμετέχουν στην ομαλή και αξιόπιστη λειτουργία του συνόλου της επιχείρησης.

Η ανώτερη ενεργειακή ομάδα του οργανισμού θα πρέπει να:

- Βασίζεται και αποτελείται από εκπροσώπους από κάθε κρίσιμο μέρος της εκάστοτε επιχείρησης.
- Αναπτύσσει ένα Σχέδιο Διαχείρισης Ενέργειας (EMP-Energy Management Plant). Το σχέδιο αυτό θα πρέπει να καθορίζει τη συνολική αποστολή και να τεκμηριώνει τη δέσμευση του οργανισμού, για την επίτευξη του συστήματος σε επίπεδο στόχων ενεργειακής απόδοσης. Λεπτομέρειες του σχεδίου, συμπεριλαμβανομένου του προγραμματισμού και των εργασιών, θα πρέπει να προστίθενται, καθώς η ομάδα κερδίζει σταδιακά την καλύτερη κατανόηση των αναγκών, των πόρων και των ευκαιριών μέσω των αρχικών ερευνών.
- Καθιερώνει τους στόχους απόδοσης, τις μετρήσεις, και τα κίνητρα. Το έργο της ομάδας ενέργειας περιλαμβάνει τον καθορισμό των σημείων αναφοράς των στόχων, και την εξεύρεση τρόπων για τη μέτρηση των μεταβολών στους δείκτες απόδοσης. Επιπλέον, καθορίζει τρόπους για να ενθαρρυνθεί η στήριξη αυτών των

προσπαθειών. Περιλαμβάνει επίσης, τον καθορισμό σχεδίων επικοινωνίας για να οριστεί πώς θα μοιραστούν οι πληροφορίες, την ανάθεση καθηκόντων, καθώς και το σχεδιασμό ενός χρονοδιαγράμματος των ορόσημων και των προθεσμιών.

- Καθορίζει τις ανάγκες σε πόρους. Η διοίκηση του οργανισμού θα πρέπει να επιδείξει δέσμευση στην ομάδα και την κατανομή των πόρων για την επίτευξη των δεδηλωμένων στόχων. Η ομάδα θα πρέπει να είναι υπεύθυνη για τον εντοπισμό αναγκών σε πόρους, όπως τον χρόνο του προσωπικού, τον εξοπλισμό, την εξωτερική συμβουλευτική υποστήριξη, και τον προϋπολογισμό. Τα αιτήματα για πόρους θα πρέπει να αντισταθμίζονται από τα προβαλλόμενα ενεργειακά οφέλη σε σχέση με τα λειτουργικά συστήματα.

- Συνεργάζεται στενά με την επιτροπή υγιεινής και ασφάλειας του οργανισμού προκειμένου να καταστρώνουν δράσεις από κοινού. Η εξοικονόμηση της ενέργειας είναι στενά συνδεδεμένη με την υγιεινή και την ασφάλεια στην εργασία και δεν νοείται η προσπάθεια εξοικονόμησης να πραγματοποιείται ανεξάρτητα από τις παραμέτρους της ασφάλειας και της αξιοπιστίας.

- Αναθέτει αρμοδιότητες και καθήκοντα στα μέλη της ομάδας και να υποστηρίζει το προσωπικό της επιχείρησης σύμφωνα με τις προσδιοριζόμενες ανάγκες.

- Διαδραματίζει ισχυρό ρόλο ως φορέας ανταλλαγής ενεργειακής πληροφορίας για τις ανάγκες του οργανισμού. Η ενεργειακή ομάδα ουσιαστικά είναι ένας πόρος μεγάλης χρησιμότητας, που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη χρήση της ενέργειας. Επίσης, συντονίζει τις επικοινωνίες σχετικά με όλα τα έργα που επηρεάζουν τη χρήση της ενέργειας. Για παράδειγμα, οι συστάσεις της ομάδας ενέργειας θα πρέπει να συντονίζονται και να συμφωνούν με το ετήσιο πρόγραμμα συντήρησης και τη διαδικασία βελτίωσης σχεδιασμού του προϋπολογισμού και των διαθέσιμων κεφαλαίων.

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να αναπτύσσεται μία βασική ελάχιστη κατεύθυνση για τη χρήση της ενέργειας σε κάθε εγκατάσταση και κατά συνέπεια στα αντλιοστάσια. Συνεπώς λοιπόν και στο υπό μελέτη αντλιοστάσιο του Βλητέ. Το βήμα αυτό επικεντρώνεται στην συλλογή των άμεσα διαθέσιμων πληροφοριών ενεργειακής χρήσης και στην οργάνωση των πληροφοριών σε ένα βασικό μοντέλο που μπορεί να βοηθήσει τον οργανισμό να κατανοήσει τα πρότυπα χρήσης της ενέργειας και να αξιοποιήσει τα ευρήματα. Το μοντέλο μπορεί να είναι τόσο απλό όσο η εκτύπωση των λογαριασμών ενέργειας στην πάροδο του χρόνου (π.χ. για το σύνολο των kWh ανά ημέρα ή μήνα) ή τόσο σύνθετο, όσο να δημιουργηθούν λίστες με όλες τις σημαντικές διεργασίες που καταναλώνουν ενέργεια και τη δημιουργία ενός σχεδίου για κάθε συγκεκριμένη διαδικασία, με βάση τις ώρες λειτουργίας, τη διαδικασία εκτίμησης ως προς το σύστημα αιχμής και εκτός αιχμής στην χρήση της ενέργειας.

Στη συγκεκριμένη φάση, το προσωπικό της εγκατάστασης του Βλητέ, θα πρέπει να συλλέγει τα στοιχεία που απαιτούνται για την παροχή της ενέργειας βάσης, ή το επίπεδο αναφοράς, με το οποίο θα συγκριθεί για τη μελλοντική χρήση της ενέργειας. Αυτή η διαδικασία θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αξιολόγηση της επίδρασης της ενέργειας των νέων έργων, συμπεριλαμβανομένων και των μη ενεργειακών. Τα δεδομένα θα πρέπει να είναι σχετικά εύκολο να συλλεχθούν, όπως αυτά που αποκτούνται από τις υπάρχουσες μετρήσεις, ενώ θα πρέπει να είναι χρονικά αποτυπωμένα. Τα βασικά δεδομένα θα πρέπει να περιλαμβάνουν δεδομένα παραγωγής, όπως αριθμός κυβικών μέτρων ανά ημέρα, ή κόστος σε χρήματα ανά ημέρα, μαζί με την αντίστοιχη ζήτηση και χρήση της ενέργειας.

2.4.2.2 Ο ρόλος των δεικτών ενεργειακής απόδοσης

Με βάση τους στόχους της διευκόλυνσης της ανάλυσης, θα πρέπει να προσδιοριστεί ένας τρόπος για να μετρηθεί η επιτυχία από την άποψη της χρήσης της ενέργειας. Το μέτρο της επιτυχίας, ή οι βασικοί δείκτες απόδοσης (**KPI- Key Performance Indicator**), συνηθίζεται να εκφράζονται σε μονάδες παραγωγής, όπως κιλοβατώρες ανά μονάδα ροής. Με την παρακολούθηση του δείκτη ή των δεικτών **KPI** στην πάροδο του χρόνου, το προσωπικό της εγκατάστασης (αντλιοστάσιο Βλητέ) θα είναι σε θέση να ανιχνεύει τις αλλαγές στη χρήση ενέργειας ανά μονάδα προϊόντος, που οφείλονται σε μεταβολές στις δραστηριότητες ή στον εξοπλισμό.

Κάθε φορά που γίνεται μια παρέμβαση, όπως η εγκατάσταση νέου εξοπλισμού, η χρονική στιγμή της παρέμβασης θα πρέπει να καταγράφεται στο πεδίο του χρόνου στο πρόγραμμα που παρακολουθούνται τα δεδομένα, έτσι ώστε η επίδραση της ενεργειακής βελτίωσης να μπορεί να αποτυπωθεί, να παρακολουθηθεί και να ποσοτικοποιηθεί. Για πιο ακριβή αποτελέσματα των δεδομένων της χρήσης της ενέργειας σε επιμέρους κομμάτια του εξοπλισμού, θα πρέπει τα αντίστοιχα δεδομένα να συλλέγονται και παρακολουθούνται χωριστά. Τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να εισαχθούν σε υποσυστήματα για την ανάλυση του πλήρους συστήματος κατά τη διαδικασία της λειτουργίας. Οι δείκτες παρακολούθησης **KPI** μπορούν να δείξουν επίσης τις αλλαγές στα επιχειρησιακά χαρακτηριστικά, εισροής ή εκροής της παροχής, και στις καιρικές συνθήκες. Μπορούν να δείξουν ακόμα πώς μεταβάλλεται η χρήση της ενέργειας με αλλαγές σε νέο εξοπλισμό, ή με προσθήκες εξοπλισμού στην εγκατάσταση.

Κατά τη φάση του ενεργειακού σχεδιασμού θα πρέπει ο οργανισμός να επικεντρωθεί στη βελτίωση της κατανόησης του πού, πότε, και γιατί η ενέργεια χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα ύδρευσης / άρδευσης και να συμπεριληφθεί στο Σχέδιο Διαχείρισης Ενέργειας τους (EMP-Energy Management Plant). Μελέτες έχουν δείξει, ότι ακόμη

και η διαδικασία διερεύνησης της χρήσης της ενέργειας και η βελτίωση της ευαισθητοποίησης του προσωπικού, μπορεί να παρέχει εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται από τρία έως πέντε τοις εκατό (3~5%).

Σίγουρα, προκειμένου να γίνει εφικτός ο σχεδιασμός ενός αποδοτικού συστήματος διαχείρισης της ενέργειας στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, προϋποθέτει μια συνεχή διαδικασία καταγραφής ανάλυσης και υποστήριξης, ενεργειακά σχετιζόμενων αποφάσεων. Οι περισσότερες επιλογές για τη μείωση της χρήσης της ενέργειας συνεπάγονται δέσμευση πόρων, συνήθως επενδυτικών κεφαλαίων ή τροποποίηση των τυποποιημένων διαδικασιών λειτουργίας. Ο συμβιβασμός μεταξύ των διαφόρων επιλογών για τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων είναι συνήθως δύσκολος. Συχνά, απαιτούνται συμβιβασμοί και θέαση του προβλήματος από διαφορετικές οπτικές γωνίες, ώστε να εξασφαλιστεί ότι κανένας από τους πρωταρχικούς στόχους του προγράμματος λειτουργίας του αντλιοστασίου και της επιχείρησης, δεν είναι σε κίνδυνο από τις προτεινόμενες αλλαγές. Οι πληροφορίες υψηλής ποιότητας για την χρήση της ενέργειας επιτρέπουν στους υπεύθυνους να αξιολογούν τα οφέλη και τις δαπάνες, υλικές και άυλες, και να προσδιορίζουν πλήρως τις προτεραιότητες της αντίστοιχης εγκατάστασης στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, θα πρέπει κατά το σχεδιασμό των παρεμβάσεων, να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες υγιεινής και ασφάλειας και πως επηρεάζονται αυτές, κατά την εφαρμογή και λειτουργία της εγκατάστασης. Μία ακόμα σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να ελέγχεται, είναι η αξιοπιστία του νέου εξοπλισμού και πως μεταβάλλεται κατόπιν των παρεμβάσεων, η λειτουργική αξιοπιστία του συνόλου της εγκατάστασης.

Μια χρήσιμη τακτική για την καλύτερη κατανόηση της χρήσης της ενέργειας αλλά και των παραμέτρων της λειτουργικής ασφάλειας και της αξιοπιστίας, είναι η συνέντευξη από τους επικεφαλές της εγκατάστασης του αντλιοστασίου και το προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης. Οι συνεντεύξεις μπορούν να βοηθήσουν στην επαλήθευση και την κατανόηση της χρήσης της ενέργειας, στον εντοπισμό των περιορισμών των μελλοντικών δράσεων, και να παρέχουν χρήσιμες προτάσεις για ενεργειακές παρεμβάσεις και έργα. Οι συνεντεύξεις επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση των πρακτικών λειτουργίας, των πρακτικών συντήρησης που πραγματοποιούνται και του ιστορικού του αντλιοστασίου, τους περιορισμούς της κανονιστικής και μηχανικής λειτουργίας, τους περιορισμούς που τίθενται λόγω ασφάλειας, καθώς και των λειτουργικών επιχειρησιακών προτεραιοτήτων. Επιπλέον, μέσω των συνεντεύξεων συλλέγονται προτάσεις για ευκαιρίες που παρουσιάζονται ως προς τα έργα ενεργειακής αναβάθμισης, της λειτουργικής αξιοπιστίας, αλλά και σχετικά με τις συνθήκες ασφάλειας και υγιεινής.

Σε μια αντίστοιχη περίπτωση, θα πρέπει να ελεγχθούν οι λίστες, τα μεγέθη και η δυναμικότητα του εξοπλισμού, η λειτουργική του κατάσταση και τα μεγέθη των κινητήρων, τουλάχιστον για τα μεγάλα και με πολλές ώρες λειτουργίας αντλητικά συγκροτήματα. Επιπρόσθετα, μπορούν να συγκεντρώνονται και να αξιολογούνται στοιχεία και δεδομένα ενεργειακής απόδοσης. Να συμπληρώνονται τα κενά του εκάστοτε ενεργειακού μοντέλου με πραγματικά δεδομένα πεδίου. Αυτά, μπορεί να περιλαμβάνουν άμεσες μετρήσεις χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, ένα μετρητή ισχύος, την παρακολούθηση κατά μέσο όρο των εκκινήσεων των κινητήρων κατά τη διάρκεια της ημέρας, ή χρησιμοποιώντας ένα πιο εξελιγμένο σύστημα μετρήσεων για τη συλλογή δεδομένων για την πραγματική χρήση της ενέργειας και του χρόνου χρήσης των εγκατεστημένων μηχανημάτων. Έτσι, μέσω του εξοπλισμού, ιχνηλατείται η ενεργειακή απόδοση. Τα δεδομένα από τα πολλά διαφορετικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να υπολογιστεί ο δείκτης **KPI** για το σύνολο της εγκατάστασης. Επιπλέον, εάν κάποιος εξοπλισμός συμβάλλει σημαντικά στη συνολική χρήση ενέργειας, μπορεί να αξίζει τον κόπο να αναπτυχθεί ένας ατομικός δείκτης απόδοσης (process performance index (**ppi**)) για τη συγκεκριμένη διαδικασία. Ένα παράδειγμα, είναι η κατανάλωση kWh ανά Αντλίες πχ στο Αντλιοστάσιο Βλητέ των 1, 2, 3 και 4, ή των τριών αντλιών τύπου booster (ημερήσια, μηνιαία, ετήσια). Ο ατομικός δείκτης απόδοσης **ppi** θα μπορούσε να συνοδεύεται από ένα σχήμα που δείχνει το φορτίο αιχμής και τη μέση ζήτηση (kW). Από τη στιγμή που οι προαναφερόμενες λειτουργίες είναι πρόσθετα συστατικά του συνολικού συστήματος, συμπεριλαμβάνοντας ολοένα και περισσότερες διαδικασίες που βρίσκονται σε εξέλιξη, βελτιώνεται σταδιακά η κατανόηση σχετικά με το τι συνεισφέρει στην απόδοση του συστήματος. Καθώς τα επίπεδα αναφοράς, οι δείκτες **KPI** και τα χαρακτηριστικά απόδοσης του εξοπλισμού, λαμβάνονται για το σύστημα και τις βασικές λειτουργίες, η απόδοση των ενεργειακών έργων μπορεί να μετρηθεί και να καταγραφεί. Οι μετρήσεις των αποδόσεων μπορούν να συγκριθούν με ιστορικά στοιχεία ή κριτήρια μηχανολογικού σχεδιασμού, ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμολόγηση των επιδόσεων σε σχέση με συγκριτικές αποδόσεις αντίστοιχων εγκαταστάσεων.

2.4.2.3 Ο ρόλος του μοντέλου ενεργειακής απόδοσης και διαχείρισης

Παράλληλα με τη χρήση των δεικτών ενεργειακής απόδοσης, επιβάλλεται να ενημερώνεται το μοντέλο ενεργειακής χρήσης και να συμπληρώνεται με λεπτομέρειες από εξειδικευμένα δεδομένα που αφορούν στον εξοπλισμό. Από τα πρόσφατα συλλεγμένα δεδομένα και τις παρατηρήσεις, μπορούν στη συνέχεια να πραγματοποιούνται βελτιώσεις ή/και διορθώσεις στη χρήση του ενεργειακού

μοντέλου. Αυτό πιθανόν να περιλαμβάνει στοιχεία όπως τα φορτία ή την χρήση διαφόρων ηλεκτρικών κινητήρων και άλλου εξοπλισμού.

Γίνεται σαφές λοιπόν, ότι η επιδίωξη του στόχου της ενεργειακής απόδοσης επιβάλλει επιτακτικά τη συνεχή παρακολούθηση και εκτίμηση, ώστε να εντοπίζονται σημεία όπου μπορεί να επιτευχθεί επιπλέον ενεργειακή απόδοση. Η διαχείριση της ενέργειας είναι μια συνεχής προσπάθεια, που απαιτεί μακροπρόθεσμη υποστήριξη. Επιπλέον, οι αλλαγές των απαιτήσεων του ρυθμού της παροχής του εργαζόμενου μέσου (νερού), οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι οι διαχειριστές του αντλιοστασίου του Βλητέ οφείλουν να επαγρυπνούν, ώστε με βεβαιότητα να εξασφαλίζεται ότι χρησιμοποιείται το ελάχιστο ποσό της ενέργειας για την κάλυψη των επιτρεπόμενων ορίων εκροής από το αντλιοστάσιο. Προφανώς, οι προσαυξημένες απώλειες τριβής εντός των αγωγών, σε περίπτωση αυξημένης ταχύτητας ροής πέραν του κανονικού, αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα στη διαδικασία της άντλησης.

Με αυτήν τη λογική, είναι θετικό να καταγράφονται, να συγκεντρώνονται και να οργανώνονται τα δεδομένα, η ενεργειακή κατανάλωση, τα ενεργειακά κόστη και τα υδραυλικά φορτία. Η αξιολόγηση των σχέσεων μεταξύ υδραυλικής φόρτισης, και τη χρήση της ενέργειας είναι θεμελιώδης. Τα υδραυλικά δεδομένα (δηλαδή η παροχή) θα πρέπει να συγκεντρωθούν και να αναλυθούν οι συσχετισμοί ανάμεσα στην παροχή και στη χρήση της ενέργειας. Επιβάλλεται η ανάλυση των δεδομένων σε διάφορα χρονικά διαστήματα για τον εντοπισμό ημερήσιων μοτίβων, εποχιακών προτύπων, τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε υγρές και ξηρές καιρικές συνθήκες, τις μέσες ημερήσιες ροές, και τη ζήτηση της ενέργειας. Επιπλέον, είναι θεμελιώδες να καταγράφονται στοιχεία σχετικά με τις βλάβες που συμβαίνουν και να διερευνάται σε κάθε περίπτωση για ποιους λόγους υπάρχουν αστοχίες [Commission of Wisconsin, 2016].

Το επόμενο βήμα θα είναι να κατασκευαστεί ένα ενεργειακό μοντέλο, το οποίο θα βασίζεται σε μια εννοιολογική κατανόηση της επιχειρησιακής λειτουργικότητας και στην οργάνωση των δεδομένων ώστε να γίνονται αυτά αντιληπτά και να οργανώνονται και να κατανοούνται από τους εμπλεκόμενους τα πρότυπα χρήσης της ενέργειας. Στα πρώτα στάδια της διαχείρισης ενέργειας, τα τυπικά μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν με τη χρήση ενός γενικού υπολογιστικού φύλλου. Ο Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης θα πρέπει να εξετάσει το ενδεχόμενο αγοράς ειδικού λογισμικού για την οργάνωση των ενεργειακών δεδομένων. Το επίπεδο πολυπλοκότητας της μοντελοποίησης μπορεί να κυμαίνεται από ένα βασικό κατάλογο του κινητήρα, παρέχοντας την ιπποδύναμη και τη ζήτηση ενέργειας (kW), έως σε ένα (δυναμικό) χρονικά μεταβαλλόμενο μοντέλο, το οποίο προβλέπει το ωριαίο κόστος της ζήτησης και της ενέργειας. Η διαδικασία της μοντελοποίησης μπορεί να βοηθήσει να

εντοπιστούν τα πιο χρήσιμα είδη πληροφοριών, οι περιορισμοί σχετικά με τις διαθέσιμες πληροφορίες, και ποια είναι τα στοιχεία που πρέπει να συγκεντρωθούν. Επιπλέον, ένα μοντέλο χρήσης της ενέργειας μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για τις θεωρίες των δοκιμών, την επικύρωση της κατανόησης της χρήσης της ενέργειας, τον υπολογισμό των αποδόσεων των μετρήσεων και την απεικόνιση και επικοινωνία των προτύπων χρήσης της ενέργειας.

Κατά ελάχιστο, τα δεδομένα κάθε περιόδου θα πρέπει να αναλύονται ώστε να αναγνωρίζονται και να προσδιορίζονται οι εποχιακές τάσεις στην κατανάλωση. Δεδομένα τριών ή περισσότερων ετών θεωρούνται ικανά για την ανακάλυψη τάσεων ή άλλου τύπου ανωμαλιών, εφόσον τα αντίστοιχα δεδομένα εμπεριέχουν επαρκείς πληροφορίες. Τα δεδομένα που καταγράφονται, θα πρέπει να εμπεριέχουν καταγραφές καταναλώσεων ηλεκτρικού ρεύματος της επιχείρησης, δεδομένα τα οποία προέρχονται από το εγκατεστημένο σύστημα SCADA, καταγραφές που προέρχονται από τη λειτουργία και συντήρηση του αντλιοστασίου (O&M) και αναλυτικές λίστες με στοιχεία του εξοπλισμού και των αντλητικών συγκροτημάτων. Επίσης, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται οι ισχύεις και τα φορτία που αναπτύσσονται σε κάθε περίπτωση. Αρχεία αναφοράς σχετικά με τα χαρακτηριστικά της ποιότητας του νερού, μπορούν επίσης να φανούν χρήσιμα.

Η ανάπτυξη της κατανόησης για το πού, πότε και γιατί χρησιμοποιείται η ενέργεια καθώς και η οργάνωση της επεξεργασίας στο λειτουργικό πεδίο, θα διευκολύνει τον ενεργειακό σχεδιασμό και τη διαχείριση του επιπέδου λειτουργίας και θα κάνει επίσης ευκολότερη τη μέτρηση των δεδομένων και των αποδόσεων, καθώς και την ανάπτυξη βάσης δεδομένων για το σύνολο των στοιχείων.

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, θα πρέπει να δημιουργούνται βασικά γραφήματα και εκθέσεις για την καταγραφή και μετάδοση των αρχικών διαπιστώσεων. Παρά το γεγονός ότι αυτό το βήμα συνήθως εμφανίζεται στην αρχή της διαδικασίας καταγραφής και ανάλυσης των δεδομένων, μπορεί να παράγει κάποιες πολύτιμες πληροφορίες που θα πρέπει να μοιραστούν με ένα ευρύτερο ακροατήριο ενός της επιχείρησης (αρχικά), συμπεριλαμβανομένων των τμημάτων διοίκησης, διαχείρισης, λειτουργίας καθώς και του προσωπικού συντήρησης.

2.4.2.4 Εναλλακτικές στρατηγικές ενεργειακής διαχείρισης

Πολλές στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας συνδέονται άμεσα με την τιμολόγηση της ενέργειας. Είναι κρίσιμο να γίνεται αντιληπτό με ποιο τρόπο επηρεάζεται το κόστος της ενέργειας από τον ηλεκτρικό πάροχο. Μπορεί επίσης να είναι δυνατή η επιλογή διασύνδεσης από εναλλακτικούς παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας. Η επανεξέταση των χρεώσεων από τον ηλεκτρικό πάροχο και η διερεύνηση συνεργασίας με

εναλλακτικούς παρόχους ενέργειας είναι κρίσιμη, καθώς συχνά οδηγεί σε μείωση του κόστους για τον χρήστη.

Μία εναλλακτική στρατηγική επίσης, είναι η εκτίμηση και αξιολόγηση ευκαιριών στα έργα υποδομής. Η επίτευξη του ενεργειακού συστήματος απόδοσης προϋποθέτει την εξέταση τόσο της ενεργειακής απόδοσης όσο και των ευκαιριών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ενώ η αύξηση της αποδοτικότητας μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιτρέπουν στο σύστημα να αξιοποιήσει τη διαθέσιμη "δωρεάν" ενέργεια, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Κάθε άξονας από αυτούς τους δύο, πρέπει να πετύχει στη βάση τις δικής του κοστολογικής αποτελεσματικότητας με σεβασμό στις ειδικές ανάγκες κάθε συστήματος. Οι δύο αυτοί τύποι δράσεων, θα πρέπει να θεωρούνται ως παράλληλα αναπτυσσόμενοι κλάδοι, κατά τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με ενεργειακές επενδυτικές αποφάσεις σε ένα καθορισμένο έργο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι καλύτερα να ξεκινάμε με τη χρήση του προφίλ των δεδομένων για να εντοπίσουμε τις ευκαιρίες που προκύπτουν για την ενεργειακή παρέμβαση και να γίνει εφικτό έτσι να δοθεί προτεραιότητα στο πλαίσιο των συνολικών επιχειρηματικών και ρυθμιστικών προτεραιοτήτων της χρησιμότητας. Εάν η εμπειρία για να αναλυθούν οι ευκαιρίες δεν υπάρχει εντός του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης, τότε θα πρέπει να εξεταστεί η πρόσληψη εξωτερικού εμπειρογνώμονα που θα μπορεί να αναπτύξει έναν κατάλογο με προτεραιότητες και κατά συνέπεια ένα σχέδιο εφαρμογής.

Μια ευκαιρία για τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση μπορεί να είναι οποιαδήποτε αλλαγή του συστήματος (εξοπλισμός ή εργασίες) που μειώνει την κατανάλωση ενέργειας ή τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Μια ευκαιρία ενεργειακής παρέμβασης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να είναι οποιαδήποτε χρήση της διαθέσιμης ενέργειας από τον άνεμο ή τον ήλιο, που μπορεί να περιορίσει την αγοραζόμενη ενέργεια. Σε αυτό το στάδιο, η ομάδα ενέργειας του οργανισμού, θα πρέπει να καταρτίσει έναν κατάλογο των δυνατοτήτων ενεργειακής απόδοσης με την πρόθεση της αξιολόγησης και την ιεράρχηση τους, σύμφωνα με σκοπιμότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Οι ιδέες για την ενεργειακή απόδοση μπορεί να προέρχονται από μια ποικιλία πηγών, συμπεριλαμβανομένων των υλικών αναφοράς, ανάλογες πετυχημένες δράσεις από παρόμοια συστήματα ύδρευσης / αποχέτευσης, συνεντεύξεις με το προσωπικό, τις συστάσεις των εξωτερικών ή εσωτερικών συμβούλων, ή συζητήσεις με τους παρόχους ενέργειας ή με τους συμβούλους του προγράμματος ενεργειακής απόδοσης. Η σειρά προτεραιότητας για τα επικείμενα έργα θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί βάσει μιας κατάταξης σύμφωνα με τα αποτελέσματα των επιχειρησιακών αναλύσεων (αποπληρωμής, κόστους κύκλου ζωής, κ.λπ.) Η κατηγοριοποίηση των ευκαιριών ενεργειακής

απόδοσης, θα μπορούσε επίσης να επιτευχθεί, για παράδειγμα, μέσω του πεδίου διαδικασίας ή με τη χρηματοδοτική προσέγγιση. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορεί να οργανωθεί μια μεγάλη ποσότητα πληροφοριών σε μία διαχειρίσιμη μορφή. Τα παραδείγματα κατηγοριοποίησης ως προς τις ενεργειακές δράσεις που θα μπορούσε να λάβει μια επιχείρηση όπως ο Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης, μπορούν να περιλαμβάνουν, πρόγραμμα κεφαλαίων έναντι αντικατάστασης εξοπλισμού, διαδικασίες (άντληση) έναντι βοηθητικής τεχνολογίας (φωτισμός, HVAC, κλπ), επιχειρησιακές αλλαγές (αλλαγές στην αλληλουχία ή τον τρόπο λειτουργίας που γίνεται από το προσωπικό της εγκατάστασης), αυτοματισμούς ή ελέγχους, βελτιώσεις συντήρησης και αποτελέσματα αναλύσεων αντίστοιχων επιχειρήσεων.

Συχνά, προκύπτει το δίλημμα εάν είναι καλύτερα να εξοικονομείται ενέργεια ή να παράγεται. Ο στόχος της επίτευξης ενεργειακής ουδετερότητας μπορεί να ενσωματωθεί στο σχέδιο διαχείρισης ενέργειας οποιουδήποτε συστήματος. Πολλές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας νερού και λυμάτων έχουν ήδη κινηθεί προς την κατεύθυνση αυτού του στόχου ενσωματώνοντας τόσο την ενεργειακή αποδοτικότητα όσο και την επιλογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι, είναι θετικό ότι, ο οργανισμός έχει ξεκινήσει να εγκαθιστά φωτοβολταϊκά συστήματα σε αντλιοστάσια ιδιοκτησίας του .

Οι συμβιβασμοί μεταξύ ενεργειακής απόδοσης και την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι συχνά πολύπλοκοι. Σε γενικές γραμμές, μια επιχείρηση ύδρευσης / άρδευσης / αποχέτευσης όπως είναι ο Ο.Α.Κ. Α.Ε., θα πρέπει να επικεντρώσει τις προσπάθειές της, ώστε να γίνει όσο πιο ενεργειακά αποδοτική γίνεται και να διασφαλίσει ότι όλες οι λειτουργίες και οι τελικές χρήσεις είναι, όσο το δυνατόν πιο λειτουργικές. Σε γενικές γραμμές, το να δίνεται έμφαση στην ενεργειακή απόδοση πριν υλοποιηθούν τα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει νόημα, γιατί όταν ελαχιστοποιείται το αποτύπωμα της χρήσης ενέργειας ενός συστήματος, γίνεται ευκολότερο να καλύψει τις υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, πολλές φορές, τεχνικά ζητήματα, όπως για παράδειγμα η ευκαιρία να επωφεληθεί η επιχείρηση από ένα νέο έργο, είναι ικανή από μόνη της να δικαιολογήσει την εξέταση της χρησιμότητας μιας τεχνολογίας αξιοποίησης, πριν από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης αποτελεί και το πρόγραμμα που βρίσκεται σε εξέλιξη από τον Ο.Α.Κ. Α.Ε., σχετικά με την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε επιλεγμένα αντλιοστάσια.

Στην κανονική ακολουθία της ανάπτυξης ενός έργου, ή μιας εγκατάστασης, αφού έχει επιτευχθεί η ενεργειακή απόδοση σε μια εγκατάσταση, το επόμενο βήμα είναι να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα των επιλογών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Συνήθως μια ποικιλία από ανανεώσιμες πηγές είναι διαθέσιμες: ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική ενέργεια, και το βιοαέριο (στην περίπτωση των λυμάτων), μεταξύ άλλων. Κάθε πηγή θα πρέπει να αξιολογηθεί, ανάλογα με το έργο που απευθύνεται, ως προς την σκοπιμότητα και τον κύκλο ζωής του κόστους. Συχνά, ένας συνδυασμός ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να είναι κατάλληλος για ένα συγκεκριμένο έργο. Για παράδειγμα, ένας συνδυασμός της ηλιακής ενέργειας σε συνδυασμό με τη χρήση βιοαερίου μπορεί να είναι ο κατάλληλος, καθώς ένα ηλιακό σύστημα μπορεί να αντισταθμίσει ορισμένες απαιτήσεις ενέργειας κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας, ένα σύστημα βιοαερίου μπορεί να αντισταθμίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις κατά τις βραδινές ώρες ή σε συνεφιασμένες ημέρες.

Κάθε ανανεώσιμος πόρος μπορεί να αξιολογηθεί για το τι μπορεί να ταιριάζει καλύτερα στις απαιτήσεις ενός συστήματος από την άποψη της τεχνικής σκοπιμότητας και της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας.

Στην περίπτωση των δημοτικών ή δημόσιων συστημάτων ακόμα και όταν πρόκειται για Ν.Π.Ι.Δ. όπως είναι ο Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης, υπάρχει μικρός κίνδυνος διακοπής λειτουργίας λόγω χρεών, ακόμη και σε μια φθίνουσα οικονομία. Έτσι, το πρόγραμμα παρεμβάσεων έχει την πολυτέλεια να είναι σε θέση να δικαιολογήσει πιο μακροπρόθεσμες αποσβέσεις του έργου. Ωστόσο, την ίδια στιγμή, θα πρέπει να γίνεται συνετή διαχείριση των πόρων, μια και τα δημόσια συστήματα είναι υποχρεωμένα να εξυπηρετούν φορολογούμενους που υπόκεινται την αστάθεια και στις διακυμάνσεις της οικονομίας.

Ακόμα όμως και σε αυτήν την περίπτωση, είναι θεμελιώδες να τίθενται προτεραιότητες ως προς την επιλογή και την εκτέλεση των ενεργειακών έργων. Τα συγκεκριμένα έργα θα πρέπει να έχουν αξιολογηθεί προσεχτικά ως προς τις ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας που δημιουργούν. Σε κάθε περίπτωση η λίστα με τα προτεινόμενα έργα θα πρέπει να βασίζεται εξίσου στις επιχειρησιακές προτεραιότητες και στην ικανότητα του έργου να πληροί τους ενεργειακούς στόχους που έχει θέσει ο οργανισμός. Επιπλέον, τα αντίστοιχα έργα πρέπει να είναι οικονομικά βιώσιμα και να μπορούν να εφαρμοστούν με τον ελάχιστο κίνδυνο, χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργική ασφάλεια της εγκατάστασης, όχι μόνο του αντλιοστασίου του Βλητέ, αλλά και του συνόλου των δραστηριοτήτων του οργανισμού.

Η ιεράρχηση των ενεργειακών έργων στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, αλλά και σε κάθε αντλιοστάσιο του οργανισμού, μπορεί να είναι δύσκολη κατά τη σύγκριση των στόχων και των κινδύνων των διαφόρων, ανταγωνιστικών σχεδίων. Σε αυτό το βήμα, θα πρέπει να συγκριθούν οι διάφορες εναλλακτικές λύσεις κόστους - οφέλους. Δηλαδή, εφόσον είναι δυνατόν, μια δοκιμή κόστους-οφέλους θα πρέπει να

εφαρμοστεί σε κάθε ένα από τα ιεραρχημένα έργα. Ο Οργανισμός επίσης, θα πρέπει να εφαρμόσει τις δικές του μεθόδους οικονομικής αξιολόγησης, όπως αποπληρωμής, απόδοσης των επενδύσεων, ή το κόστος κύκλου ζωής, προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για την προτεραιότητα στα ενεργειακά έργα. Επίσης, θα πρέπει να συνεκτιμηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την επικινδυνότητα εφαρμογής των έργων, βάσει και των στοιχείων που υπάρχουν από προηγούμενα έργα, ώστε να μην επηρεάζεται αρνητικά η λειτουργική ασφάλεια.

Κατά την επιλογή της αξιολόγησης, θα πρέπει να αξιολογηθούν τα χρηματικά χαρακτηριστικά των προτεινόμενων ενεργειακών έργων. Θα επιλεγούν οι κατάλληλες μέθοδοι αξιολόγησης και θα ποσοτικοποιηθούν τα οφέλη και τα κόστη, ενώ όλα τα έξοδα θα μετατραπούν σε ισοδύναμους όρους και θα αντιστοιχιστούν στα αποτελέσματα. Επίσης, θα πρέπει να προσδιοριστούν τα κατάλληλα κριτήρια αξιολόγησης για την σύγκριση της ωφέλειας και του κόστους και των μη χρηματικών αξιών. Στη συνέχεια, οι μη χρηματικές με τις χρηματικές αξίες, θα ιεραρχηθούν με σημεία αναφοράς τα οφέλη και το κόστος του κάθε προτεινόμενου έργου και θα οργανωθεί η περίληψη της αξιολόγησης σε μια ευπαρουσίαστη μορφή. Τέλος, οφείλεται να γίνεται έλεγχος ότι τα τελικά αποτελέσματα είναι λογικά, αποδεκτά και σε συνάφεια με τις συνολικές δυνατότητες και τους στόχους του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης. Η υλοποίηση των ενεργειακών έργων, οφείλει να μην υπονομεύει την ικανότητα του οργανισμού να εφαρμόσει τις απαραίτητες αλλαγές σε σχέση με την παραγωγή ή την προσαρμοστικότητα του.

Κάθε ολοκληρωμένη αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών πρέπει επίσης να εξετάζει και άυλες επιπτώσεις, όπως ο κίνδυνος για τη συμμόρφωση, ή τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων. Η αντιστοίχιση χρηματικής αξίας σε παροχές, όπως η μείωση του κινδύνου αποτυχίας της διαδικασίας, ή η βελτίωση της ασφάλειας των χειριστών στο συγκεκριμένο αντλιοστάσιο, μπορεί να επιφέρει επιπλέον διερευνητικούς παραμέτρους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ίσως να είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν πιο εξειδικευμένα κριτήρια αξιολόγησης της λειτουργικής ασφάλειας, όπως είναι η ανάλυση που πραγματοποιείται για το αντλιοστάσιο του παραδείγματος (Βλητέ) στο τρέχον κεφάλαιο της εργασίας.

Στη συνέχεια, το έργο θα αναπτυχθεί και θα εκτελεστεί. Καθώς το σχέδιο διαχείρισης της ενέργειας θα αντανakλά τις προτεραιότητες του οργανισμού, θα εκτελεστεί αποτελεσματικά για την υλοποίηση των ενεργειακών ωφελειών.

Το σχέδιο υλοποίησης θα πρέπει να περιλαμβάνει προδιαγραφές για τα έργα, ένα χρονοδιάγραμμα για την ολοκλήρωση, προϋπολογισμό, την ανάθεση εργασιών και τα αναμενόμενα αποτελέσματα με βάση τις προηγούμενες αναλύσεις. Το σχέδιο θα

δείξει τυχόν σχέσεις των ενεργειακών έργων με κάθε άλλο έργο, καθώς και τις υφιστάμενες διαδικασίες, πιθανές διακοπές λειτουργίας ή άλλες αλλαγές στα χρονοδιαγράμματα των ήδη επαναλαμβανόμενων διαδικασιών και τυχόν κινδύνους για την εκτέλεση των βασικών δραστηριοτήτων. Οι μηχανισμοί παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων θα πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή για να αναφέρουν τα αποτελέσματα από τη στιγμή που τα έργα έχουν υλοποιηθεί και τεθεί σε λειτουργία.

Τελικά, κάθε υλοποιημένο έργο οφείλει να αποδεικνύει την επίδραση στη συνολική ενεργειακή απόδοση του βοηθητικού προγράμματος, σε σχέση με τον καθορισμένο της δείκτη, **KPI**. Το σχέδιο διαχείρισης ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη της αλλαγής του δείκτη **KPI** με βάση τις αξιολογήσεις που διεξάγονται, πριν από την εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού.

Ένα, επίσης, χρήσιμο εργαλείο με το οποίο ο οργανισμός μπορεί να χρησιμοποιήσει για να μετρήσει τις επιδόσεις των ενεργειακών έργων του, είναι η συγκριτική αξιολόγηση.

Η συγκριτική αξιολόγηση είναι μια διαδικασία που είναι παρόμοια με τον ορισμό κριτηρίων για μια διακριτή επιχείρηση, με τη διαφορά ότι αθροίζει κατά μέσο όρο την ενεργειακή απόδοση σε ένα δείγμα εγκαταστάσεων από παρόμοιες εγκαταστάσεις. Η συγκριτική αξιολόγηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για τη μέτρηση της απόδοσης μιας διακριτής εγκατάστασης, όπως είναι το αντλιοστάσιο Βλητέ, σε σχέση με άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις με τους ίδιους τύπους διαδικασιών και λειτουργιών. Αρχίζοντας με τη ενέργεια της εγκατάστασης που είναι υπό εξέταση, η ομάδα ενέργειας του οργανισμού, καθώς θέτει τους στόχους της, θα μπορεί να συμπεριλάβει στη συγκριτική αξιολόγηση την ενέργεια αναφοράς για το αντλιοστάσιο του Βλητέ, ή κάθε άλλο αντλιοστάσιο του οργανισμού το οποίο βρίσκεται υπό εξέταση.

Στα πλαίσια αυτά, θα πρέπει να:

- Καταγράφονται και να ιεραρχούνται τα ενεργειακά έργα που έχουν επιλεγεί και να περιγράφονται με σαφήνεια οι στόχοι τους.
- Αναφέρονται οι πόροι που απαιτούνται, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου, του προσωπικού, του προϋπολογισμού και του σχεδίου χρηματοδότησης.
- Συζητούνται τυχόν σχετιζόμενοι παράγοντες της παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών κινδύνων που πιθανά θα προκύψουν.
- Αναπτύσσονται και τίθενται οι προδιαγραφές που απαιτούνται, ενεργειακές, ποιότητας εξοπλισμού, υγιεινής και ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων των κριτηρίων σχεδιασμού και των εγγράφων που σχετίζονται με τις δημόσιες συμβάσεις.

- Εντοπίζονται οι αναμενόμενες αλλαγές στις τυποποιημένες διαδικασίες λειτουργίας και / ή στρατηγικές για τον έλεγχο της διαδικασίας.
- Σχεδιάζεται ένα χρονοδιάγραμμα για την εφαρμογή του σχεδίου, συμπεριλαμβανομένων των χρονικών οροσήμων και περιορισμών για την προμήθεια των απαραίτητων κανονιστικών εγκρίσεων (κατά περίπτωση).
- Ρυθμίζονται ρεαλιστικές προσδοκίες για το(α) έργο (α), όσον αφορά στην προμήθεια των πόρων, τον προγραμματισμό, των αναμενόμενων επιπτώσεων της παραγωγής, των επιπτώσεων της ενέργειας, καθώς και των προβλέψεων οφέλους-κόστους.
- Προβλέπονται οι επιπτώσεις στο δείκτη KPI (Key Performance Index).

Η επιτυχία ενός επιλεγμένου έργου θα πρέπει να αρχίσει να μετράται από την υλοποίηση του. Είναι σημαντικό να επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στις μετρήσεις απόδοσης, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης του προγράμματος εγκατάστασης καθώς και των συνακόλουθων επιπτώσεων σχετικά με τη χρήση ενέργειας, τη λειτουργία, τη συντήρηση, την απόδοση της διαδικασίας, τη στάση του προσωπικού, την παραγωγικότητα και την ασφάλεια. Η παρακολούθηση θα πρέπει να παρέχει την ιστορική τεκμηρίωση των προτύπων, των τάσεων και των επιπτώσεων των παρεμβάσεων του επιλεγμένου έργου. Εφόσον απεικονίζονται τα αποτελέσματα γραφικά, μπορούν να παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις προσπάθειες της ενεργειακής ομάδας και φυσικά του οργανισμού [Commission of Wisconsin, 2016].

Τα αποτελέσματα της παρακολούθησης των επιδόσεων οφείλονται να κοινοποιούνται στους ενδιαφερόμενους, συμπεριλαμβανομένου οποιουδήποτε εμπλέκεται στη διαδικασία σχεδιασμού, το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για τη Λειτουργία και Συντήρηση (O & M) των εφαρμογών, καθώς και τα διευθυντικά στελέχη.

Αν και συχνά παραβλέπεται, αυτό το στάδιο είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση ενός προγράμματος βέλτιστης διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας. Παρέχει την εικόνα για να γίνουν οι απαραίτητες προσαρμογές ώστε να βελτιωθούν οι επιδόσεις, δίνει καθοδήγηση για τη μελλοντική λήψη αποφάσεων, καθώς και κίνητρα για το προσωπικό της επιχείρησης, ώστε το προσωπικό να συνεχίσει τη διαδικασία για την επίτευξη των στόχων. Έτσι, εφόσον αποφασιστούν και καθιερωθούν οι κατάλληλες μετρήσεις απόδοσης, μπορεί στη συνέχεια να δημιουργηθεί ένα λογικό σημείο αναφοράς το οποίο να χρησιμεύσει ως στόχος απόδοσης σε σχέση με τον προσδιοριζόμενο δείκτη **KPI**. Σε αυτήν τη λογική, κατόπιν θα ακολουθήσει η ανάθεση

της ευθύνης και η κατανομή των πόρων για την παρακολούθηση και την υποβολή εκθέσεων για την πρόοδο του επιλεγόμενου έργου. Τέλος, για την επιτυχημένη διαχείριση του έργου, θα δημιουργηθεί ένα σχέδιο επικοινωνίας που θα καθορίζει τι πρέπει να αναφερθεί, σε ποιους θα παραδίδονται εκθέσεις προόδου (όπως εκλεγμένα-αιρετά ή μόνιμα μέλη του διοικητικού συμβουλίου, το προσωπικό, τα μέσα ενημέρωσης, ή το κοινό), πότε θα πρέπει να παραδοθούν οι αναφορές, και στη συνέχεια, οποιεσδήποτε ενέργειες που μπορεί να απαιτούνται.

Η συγκεκριμένη διαδικασία, είναι μια διαρκώς εξελισσόμενη πραγματικότητα, καθώς συνεχώς προκύπτουν διδάγματα και συντελείται πρόοδος ως προς την επίτευξη των στόχων του σχεδίου διαχείρισης ενέργειας. Υπάρχει διαρκώς η αναγκαιότητα της αλλαγής της σειράς των προτεραιοτήτων, των ρυθμίσεων του προγράμματος, των διαδικασιών και των αναθέσεων για να εξασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη επιτυχία του σχεδίου. Δημιουργείται λοιπόν, συχνά, κατά αυτόν τον τρόπο μια διαδικασία συνεχούς βελτίωσης με τον εντοπισμό και τη διύλιση νέων ευκαιριών έργου και την προσαρμογή του σχεδίου εφαρμογής, σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες.

Σε τακτικές χρονικές στιγμές, είναι αναγκαίο να υπενθυμίζεται ότι η διαχείριση της ενέργειας αλλά και η λειτουργική ασφάλεια δεν είναι δράσεις εφάπαξ, αλλά θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως συνεχείς και διαρκώς μεταβαλλόμενες διαδικασίες, έτσι ώστε τελικά να γίνουν ένα ομοιογενές μέρος της επαγγελματικής πρακτικής του οργανισμού. Η βιομηχανία ύδρευσης / αποχέτευσης, σε γενικές γραμμές, θα πρέπει να συνεχίσει να εφαρμόζει δράσεις για την ενεργειακή απόδοση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τόσο σε τροποποιήσεις- μετασκευές όσο και στα νέα έργα. Ενώ την ίδια στιγμή, η λειτουργική ασφάλεια θα πρέπει να συνοδεύει τις πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας και ενεργειακής αποδοτικότητας. Μέσα σε αυτό το πνεύμα οφείλει να κινηθεί και να δράσει την επόμενη περίοδο ο Ο.Α.Κ. Α.Ε.

Στην πάροδο του χρόνου, οι ανάγκες και οι προτεραιότητες για τις επιχειρήσεις νερού και λυμάτων κοινής ωφέλειας θα αλλάξουν. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον αντίκτυπο που είχαν μέχρι σήμερα τα ενεργειακά έργα σε αντίστοιχα συστήματα, καθώς και σε μια ποικιλία από εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι κανονισμοί, η νομοθεσία, ή η οικονομία. Επιπλέον, οι διαχειριστές συστημάτων νερού και λυμάτων, για λόγους επιβίωσης θα πρέπει να διδαχθούν πολύτιμα μαθήματα όσον αφορά στη δυναμική της ομάδας, στην ανάπτυξη των έργων, και των μεταξύ τους διοικητικών αλληλεπιδράσεων και επικοινωνιών. Συνεπώς και για επιχειρήσεις όπως είναι ο Ο.Α.Κ. Α.Ε, θα πρέπει να παρακολουθούνται οι επιπτώσεις των ενεργειακών παρεμβάσεων και έργων στο σύστημα και να προσδιορίζονται τα αποτελέσματα. Παράλληλα, μέσω της γνώσης σχετικά με τις επιτυχίες ή τις αποτυχίες των παρεμβάσεων, θα μπορούν να γίνουν βελτιωμένες μελλοντικές προσαρμογές. Σε

αυτό θα συντελέσει και η στενή παρακολούθηση των δεικτών KPI και των δεικτών απόδοσης των διεργασιών ώστε να λαμβάνονται επιπρόσθετες βελτιώσεις. Καταληκτικά, θα πρέπει να επανασχεδιάζονται, αναδιοργανώνονται και να ανακινούνται οι στόχοι και οι δραστηριότητες ως προς την ενεργειακή αποδοτικότητα, την εξοικονόμηση και τη λειτουργική ασφάλεια, σε κάθε περίπτωση που απαιτείται.

Οι περισσότερες αποφάσεις στο επίπεδο του σχεδιασμού πρέπει να παρθούν στο πλαίσιο ενός ευρύτερου επιχειρησιακού σχεδίου του οργανισμού. Το επιχειρησιακό σχέδιο, απαιτεί τον προσδιορισμό όλων των επιπτώσεων των προτεινόμενων έργων που δείχνει μια ανάλυση κόστους-οφέλους, καθώς και τον εντοπισμό εκείνων των έργων με τα πλέον υποσχόμενα κέρδη, με σεβασμό σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες υπηρεσίες που παρέχει ο οργανισμός. Η περιεκτική ευαισθητοποίηση και κατανόηση όλων των προβλημάτων και θεμάτων, είναι προαπαιτούμενα για τη λήψη αποφάσεων ως προς το σωστό ενεργειακό σχεδιασμό, τη διαχείριση και την εξοικονόμηση της ενέργειας, αλλά και τη λειτουργική ασφάλεια των αντλιοστασίων, κατά επέκταση και του υπό μελέτη Αντλιοστασίου του Βλητέ.

Τυπικά, οι περιορισμοί σχετικά με ένα πρόγραμμα διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας το οποίο αναπτύσσεται με όρους λειτουργικής ασφάλειας και εργονομικού σχεδιασμού, αναλύονται σε:

- Οργανωτικούς περιορισμούς.
- Κόστη κεφαλαίου.
- Αξιοπιστία της διαδικασίας.
- Αποδοχή των τροποποιήσεων από το προσωπικό της εγκατάστασης.
- Κανονιστικές απαιτήσεις, εγκρίσεις, και περιορισμούς.
- Ικανότητες λειτουργίας και συντήρησης (O & M).
- Μη ενεργειακά κόστη λειτουργίας και συντήρησης O & M.
- Σκοπιμότητας σχεδιασμού.
- Διαθεσιμότητας και εργονομικότητας χώρου.

Καταληκτικά, θα λέγαμε ότι, η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας παραμένει ένας πολύ σημαντικός στόχος. Ωστόσο, τα σχεδιαζόμενα ή μελετώμενα έργα δεν θα πρέπει να υπονομεύουν τους περιορισμούς στη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της λειτουργικής ασφάλειας. Έτσι συχνά, συμβαίνει το παράδοξο, ενώ κρίνονται αναγκαίες οι ενεργειακές παρεμβάσεις, τα χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης (όπως είναι και το αντλιοστάσιο του Βλητέ) και οι λοιπές μεταβλητές που επηρεάζουν την επιλογή των έργων (πχ εργασία, έξοδα διάθεσης πόρων, κόστος κεφαλαίου, ασφάλεια, αξιοπιστία συστήματος κ.λπ.) να καθιστούν ακόμη και την πιο ενεργειακά αποδοτική λύση, ανέφικτη [Commission of Wisconsin, 2016].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο σύνολο της παρούσας διατριβής μέχρι και την ολοκλήρωση του 2^{ου} κεφαλαίου, αναλύθηκαν τα πεδία της εργασίας που αφορούν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στις μεθόδους για την εκτίμηση της λειτουργικής ασφάλειας στα αντλιοστάσια νερού. Συγκεκριμένα, στο 1^ο κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν περιπτώσεις λειτουργίας σε πραγματικά λειτουργούντα αντλιοστάσια και αποσαφηνίστηκαν λεπτομέρειες που σχετίζονταν με τις παραμέτρους που οφείλουμε να λαμβάνουμε υπόψη μας, στο σχεδιασμό και στη λειτουργία ενός αντλιοστασίου. Κατά την ανάλυση, έγινε προσπάθεια για την ολιστική προσέγγιση του θέματος. Έτσι, επιχειρήθηκε η κατά το δυνατόν σφαιρική αποτύπωση των ενεργειών στις οποίες κάποιος οφείλει να προβαίνει, ώστε να επιτυγχάνει τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και την εξοικονόμηση της ενέργειας στους αντίστοιχους χώρους. Η εκτεταμένη και σε βάθος βιβλιογραφική έρευνα, οδήγησε στη δημιουργία του πίνακα 1.3, ο οποίος ονομάστηκε *πίνακας ελέγχου δράσεων βέλτιστης διαχείρισης που οδηγούν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα αντλιοστάσια*. Έτσι, δημιουργήθηκε ουσιαστικά ένας πίνακας- εργαλείο στον οποίο ένας σχεδιαστής/μελετητής ενός αντλιοστασίου, αλλά και κάποιος ο οποίος επιθυμεί να προβεί σε άμεσες παρεμβάσεις σε ένα υφιστάμενο αντλιοστάσιο, να καθοδηγείται με εύκολο και σαφή τρόπο. Οι προαναφερόμενες δράσεις σε κάθε περίπτωση πρέπει να συμπληρώνονται από την παρουσίαση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που αναπτύσσεται στο 1^ο κεφάλαιο. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, αποσαφηνίζονται λεπτομέρειες και διευκρινίζονται θέματα σχετικά με τις σύγχρονες λειτουργίες των αντλιοστασίων. Κατά αυτόν τον τρόπο, προκύπτει πλέον ένα είδος οδηγού σχεδιασμού και παρεμβάσεων για τις εγκαταστάσεις των αντλιοστασίων, αλλά και του νερού γενικότερα.

Πέρα όμως από την εξοικονόμηση της ενέργειας, αναπτύσσεται παράλληλα και το θέμα της λειτουργικής ασφάλειας των αντλιοστασίων. Από την παρουσίαση των μεθόδων που πραγματοποιείται στη διατριβή, γίνεται αντιληπτό, ότι εφόσον υπάρχουν κατάλληλα και επαρκή πληροφοριακά στοιχεία, δημιουργούνται σοβαρές προϋποθέσεις για ασφαλή εκτίμηση των αστοχιών και κατά επέκταση των κινδύνων για τους χώρους των αντλιοστασίων. Από την ανάλυση της διατριβής, τεκμηριώνεται ότι η εκτίμηση επικινδυνότητας (risk assessment), μπορεί να χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη και τον εντοπισμό των επικίνδυνων γεγονότων, αστοχιών του εξοπλισμού και των ανθρωπίνων λαθών. Άρα, γίνεται εφικτό να εντοπίζονται όλες εκείνες οι παράμετροι που μπορούν να θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των συστημάτων και των ανθρώπινων ζώων εντός των αντλιοστασίων. Ειδικά η δένδρική ανάλυση γεγονότων (Event Tree Analysis, ETA), ως μέθοδος επιλέγεται και δοκιμάζεται στο αντλιοστάσιο (Βλητέ) το οποίο μελετάται στη διατριβή, καθώς το αποτέλεσμα το οποίο διερευνάται στην αντίστοιχη εγκατάσταση, εξαρτάται κυρίως από τις συνθήκες

κάτω από τις οποίες θα συμβεί το ανεπιθύμητο γεγονός. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως προαναφέρεται και στη διατριβή, συνήθως η διακύμανση κυμαίνεται από κανένα θάνατο μέχρι μεγάλο αριθμό θανάτων και από μηδενικές ή ελάχιστες βλάβες, μέχρι την ολοκληρωτική καταστροφή του αντλιοστασίου.

Στο συγκεκριμένο υφιστάμενο αντλιοστάσιο του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε. στην περιοχή του Βλητέ Σούδας Χανίων, μπορούν να πραγματοποιηθούν μια σειρά από παρεμβάσεις, ώστε να αναβαθμιστεί η ενεργειακή του αποδοτικότητα και να βελτιωθεί η λειτουργική ασφάλεια του. Όπως παρουσιάζεται και στο 2^ο κεφάλαιο, στο παράδειγμα που αναλύεται, η εφαρμογή της εκτίμησης επικινδυνότητας, οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα. Από την αξιολόγηση του δείκτη FAR, διαφαίνεται ότι η πρακτική της 24-ωρης παρακολούθησης της χρήσης του αντλιοστασίου Βλητέ από ανθρώπινο δυναμικό πρέπει να εγκαταλείπεται. Αντιθέτως, συνίσταται η εγκατάσταση συστημάτων συναγερμού και παρακολούθησης των εγκατεστημένων μηχανημάτων που βρίσκονται στο αντλιοστάσιο. Ο χειροκίνητος έλεγχος των συστημάτων θα πρέπει να μειωθεί κατά το μέγιστο σε μία τακτική επιθεώρηση ανά βάρδια. Επίσης, αυτό που θα πρέπει να γίνει άμεσα, είναι να εγκατασταθεί ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος υποστήριξης των φορτίων των αντλητικών συγκροτημάτων, ώστε να παρέχεται διαρκώς και απρόσκοπτα η τροφοδοσία της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων με νερό, καθώς η ταχύτητα αποκατάστασης της ηλεκτρικής βλάβης του δικτύου εξαρτάται κυρίως από τη ΔΕΗ και σχετίζεται με πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Προκειμένου να μελετηθεί σε βάθος το αντλιοστάσιο Βλητέ, το οποίο ξεφεύγει από τα όρια της συγκεκριμένης εργασίας, απαιτείται περαιτέρω μελέτη και εμβάθυνση, καθώς θα πρέπει να γίνει έλεγχος και ανάπτυξη της θεωρίας που παρουσιάζεται στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας, στο σύνολο των υποσυστημάτων του αντλιοστασίου. Συνίσταται σε αυτήν την περίπτωση, σε ότι αφορά στις δράσεις υπέρ της εξοικονόμησης ενέργειας να εφαρμοστεί η διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο της διατριβής «1.2.20 Προτεινόμενη μεθοδολογία για την ενεργειακή αξιοποίηση», όπως παρουσιάζεται για τα υφιστάμενα και λειτουργικά αντλιοστάσια. Επίσης, ταυτόχρονα, θα πρέπει να αξιοποιηθούν οι παρατηρήσεις που περιγράφονται στο κεφάλαιο της διατριβής «2.4 Επισημάνσεις σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας και τη λειτουργική ασφάλεια στο αντλιοστάσιο Βλητέ».

Στο θέμα της εξοικονόμησης της ενέργειας θα πρέπει να υπάρξει μια σε βάθος ανάλυση, σύμφωνα με τα όσα προαναφέρονται στην παράγραφο της εξοικονόμησης ενέργειας του παρόντος κεφαλαίου. Το εν λόγω εγχείρημα, εκτός από την προσεκτική και επιμελή ανάλυση, προϋποθέτει ότι θα προηγηθεί μια σειρά παρεμβάσεων στο αντλιοστάσιο Βλητέ (πχ τοποθέτηση καταγραφικών, επέκταση

των καταγραφών του συστήματος SCADA κλπ) σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στο 1^ο κεφάλαιο. Δηλαδή, απαιτείται μια σειρά από επενδύσεις στις οποίες θα πρέπει να προβεί ο ΟΑΚ ΑΕ. Η καταγραφή αποτελεί το πρώτο βήμα για τις επερχόμενες αλλαγές. Εφόσον πραγματοποιηθούν οι καταγραφές και τοποθετηθούν τα απαιτούμενα όργανα ώστε να είναι διαθέσιμες ενδεικτικές μετρήσεις (πχ ηλεκτρικό ρεύμα κινητήρα, θερμοκρασία των εδράνων του κινητήρα, μέτρηση της παροχής, μέτρηση των κραδασμών αντλίας κλπ) και τα δεδομένα φιλτράρονται και αποθηκεύονται μέσω ενός συστήματος παρακολούθησης, γίνεται εφικτό να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Έτσι, ακολούθως θα μπορούν να μεθοδευτούν βελτιώσεις και μεταρρυθμίσεις που θα προκύψουν από την ανάλυση των καταγεγραμμένων δεδομένων.

Το αντλιοστάσιο του Βλητέ είναι από τα στρατηγικότερα αντλιοστάσια του οργανισμού, σε ότι αφορά στις παροχές ύδρευσης και άρδευσης, καθώς όπως προαναφέρεται υποστηρίζει τις λειτουργίες ύδρευσης και άρδευσης της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων. Ταυτόχρονα, είναι από τα πιο ενδιαφέροντα αντλιοστάσια του οργανισμού για ενεργειακή προσέγγιση, καθώς ο ετήσιος λογαριασμός ηλεκτρικού ρεύματος του, προσεγγίζει το ποσό των 500.000 ευρώ. Επομένως, για όλους τους παραπάνω λόγους, σύντομα θα πρέπει να αναπτυχθεί η μεθοδική παρακολούθηση του ως προς τα ενεργειακά μεγέθη και τη λειτουργική του ασφάλεια και να δρομολογηθούν δράσεις από τον οργανισμό ώστε να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία του.

Γίνεται εύκολα κατανοητό, ότι σε κάθε περίπτωση, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις, θα μπορούσαν να γενικευτούν για το σύνολο των αντλιοστασίων του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης ΑΕ. Επίσης, εννοείται ότι όλες οι προαναφερόμενες ενεργειακές δράσεις στο σύνολο των αντλιοστασίων του οργανισμού, θα μπορούσαν να συνδυαστούν παράλληλα με την εφαρμογή του προαιρετικού διεθνούς προτύπου διαχείρισης ενέργειας ISO 50001:2011. Το αντίστοιχο πρότυπο έχει ως σκοπό να επιτρέπει στους οργανισμούς να καθιερώσουν τα απαραίτητα συστήματα και διαδικασίες για τη βελτίωση της ενεργειακής τους επίδοσης, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής απόδοσης, χρήσης και κατανάλωσης [ISO, 2011].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

1.Γαλετάκης Μ., Έλεγχος ποιότητας και αξιοπιστία εξοπλισμού, 2017, πανεπιστημιακές σημειώσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, σελ.155.

2.Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, 2014, ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Εργατικά ατυχήματα κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας της τοπικής μονάδας του εργοδότη και ΥΠΑ που συνέβη το ατύχημα.

3.Έκθεση Διοικητή Τράπεζας της Ελλάδας, 2008, Ειδικό θέμα: Η Ευρωπαϊκή Πολιτική για την κλιματική αλλαγή και την ενέργεια, η προστασία του περιβάλλοντος και ο τομέας της Ενέργειας στην Ελλάδα, σελ. 185-209.

4.Κοκόγιας Σ., 2012, «Αυτοματισμοί, συλλογή δεδομένων και εποπτικός έλεγχος διαδικασίας επεξεργασίας γάλακτος στη Βιομηχανία Ροδόπη Α.Ε.», σελ. 129.

5.Κοντογιάννης Θωμάς, 2017, Εργονομικές προσεγγίσεις στη διοίκηση και διαχείριση της ασφάλειας, σελ.610.

6.Κουτσογιάννης Δ.2007, Ενέργεια και διαχείριση υδατικών πόρων, σελ 1-9.

7.Μακρής Α., 2003, «Ασφάλεια και υγιεινή στους Βιομηχανικούς χώρους», σελ. 161.

8.Μποζατζίδης Χρήστος, εξοικονόμηση ενέργειας σε αντλίες νερού, ελληνικό παράρτημα ASHRAE και, Φεβρουάριος 2006, ημερίδα ενεργειακά αποδοτικά ηλεκτροκινούμενα συστήματα, σελ. 45.

9.Τερεζόπουλος Ν., 2012, Σημειώσεις για θέματα διαχείρισης και ανάλυσης του εργασιακού κινδύνου, σελ. 198.

10.Οδηγία 2000/76/EC

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- 11.** ABB Ltd Business Unit Power Generation, 2013, power plants energy efficient comprehensive solutions for power generation, power and productivity for a better world, p. 1-7.
- 12.** A.Azadeh, V. Ebrahimipour, P. Bavar, 2009, A Pump FMEA Approach to Improve Reliability Centered Maintenance Procedure: The Case of Centrifugal Pumps in Onshore Industry, p. 1-8.
- 13.** Bergea S. P., Lundb B. F., Ugarellic R. , 2013, Condition monitoring for early failure detection. Frognerparken pumping station as case study, p. 1-10.
- 14.** Bishop H. Thomas, P.E., EASA, 2008, Unbalanced Voltages and Electric Motors: Causes and Consequences, p. 1-4.
- 15.** Carazas F.G.Souza G.F.M.,2010, Risk-based decision making method for maintenance policy selection of thermal power plant equipment, Energy, 3, p. 964-975.
- 16.** Commission of Wisconsin, Public Service, 2016, Water & Wastewater Industry Energy Best Practices Guidebook, p.182.
- 17.** Darabnia Behnoush, Demichela Micaela, 2013, Maintenance an Opportunity for Energy Saving, p. 1-6.
- 18.** DOE, 1996, "Buying an Energy-Efficient Electric Motor." In Motor Challenge Fact Sheet, p.1-8.
- 19.** DOE, 2005, "When to Purchase NEMA Premium Efficiency Motors, Motor Systems Tip Sheet #1." In Energy Tips, DOE/GO-102005-2019, Industrial Technologies Program, U.S. Department of Energy, Washington, D.C, p. 1-2.
- 20.** Environment Agency, Horizon House, Deanery Road Bristol, BS1 5AH, 2012, Delivering benefits through evidence, pumping station efficiency: guidance document, project SC090025/R1, flood and coastal erosion risk research and development program, p.1-65.

- 21.** Ericson A. Clifton, 2005, Hazard Analysis Techniques for System Safety, p.499.
- 22.** Glancey Jim, 2006, Failure Analysis Methods What, Why and How, p. 1-26.
- 23.** Health and Safety Executive of UK, 2010, Injury Frequency Rates, p. 1-13.
- 24.** IAC, 1996, Useful Rules of Thumb for Energy Conservation and Waste Minimization. Industrial Assessment Center, Rutgers, The State University of New Jersey, Office of Industrial Productivity and Energy Assessment.
- 25.** IEC, 2016, Essential to overall safety Functional safety, p. 1-12..
- 26.** International Labour Office, 2005, ILO, Introductory Report: Decent Work - Safe Work, Geneva:, p. 33-39
- 27.** International Energy Agency (IEA), 2006, World energy outlook, p. 601.
- 28.** International Organization for Standardization (ISO), 2011, ISO 50001 - Energy management.
- 29.** Laurent André, Sécurité des procédés chimiques : connaissances de base et méthodes d'analyse de risques, Lavoisier, 2003
- 30.** McKane A., Hasanbeigi A., 2011, Motor systems energy efficiency supply curves: A methodology for assesing the energy efficiency potential of industrial motor systems, Energy Policy, 39, 6595-6607, p. 1-13.
- 31.** Mezzetti Nicola, 2014, Failure Mode and Effect Analysis, Department of Engineering and Computer Science University of Trento, p. 1-45.
- 32.** Milczarek Malgorzata, Kosk-Bienko Joanna, European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), 2010, Maintenance and Occupational Safety and Health: A statistical picture, p. 1-62.
- 33.** Moores Darren, 2001, Everyone's guide to energy efficiency through effective maintenance, p. 1-150.

34. Palm, 2002, Economical aspects of variable frequency drives in pumping stations, FLYGT, p. 1-11.

35. Pauna Adrian, Moulinos Konstantinos, 2013, ENISA-Window of exposure a real problem for SCADA systems, Recommendations for Europe on SCADA patching, p. 1-19.

36. Reinbold Chris and Hart Vincent, 2010, « The Search for Energy Savings: Optimization of Existing & New Pumping Stations», technical paper at the FSAWWA, p. 1-7.

37. Rendell Frank, 1999, water and wastewater project development, p. 326.

38. Schroenberger Peter, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2013, Έκθεση σχετικά με τον έλεγχο της διαχείρισης του αποτυπώματος άνθρακα της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας συνοδευόμενη από τις απαντήσεις της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας, p. 1-12.

39. Sparn Bethany and Hunsberger Randolph, 2015, Opportunities and Challenges for Water and Wastewater Industries to Provide Exchangeable Services, National Renewable Energy Laboratory (NREL), p. 1-26.

40. Sullivan GP, Dean J.D. and Dixon Top D.R., May 2007, Operations and Maintenance (O&M) Efficiency Opportunities at DoD/Army Sites - A Guide for O&M/Energy Managers and Practitioners, p. 1-150.

41. University of Warwick, Warwick Manufacturing Group School of Engineering, 2001, Failure Modes, Effects & Criticality Analysis, p. 1-32.

42. Vincoli W. Jeffrey, 2006, Basic Guide to System Safety, Second Edition, p. 224.

Πηγές internet

http://www.aceee.org/oqeece/ch4_installing.htm#Motor_Speed

43. ACEEE, 2006, Installing a Motor System. American Council for an Energy-Efficient Economy, Online Guide to Energy-Efficient Commercial Equipment (Πρόσβαση στο site 9-8-2016).

http://www.copper.org/applications/electrical/energy/motor_text.html

44. CDA, 2006, Introduction to Premium Efficiency Motors. Copper Development Association (Πρόσβαση στο site 8-08-2016).