



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ.
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ ΩΣ ΕΥΕΛΙΚΤΑ
ΦΟΡΤΙΑ.**

Αθανάσιος Σακκάς

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης (Επιβλέπων)

Επίκουρος Καθηγητής Ευτύχιος Κουτρούλης

Διδάσκων Π.Δ. 407/80 Αντώνιος Τσικαλάκης

Χανιά, Οκτώβριος 2012

Στην οικογένειά μου για την στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Αντώνιο Τσικαλάκη για την πολύτιμη καθοδήγηση και τις υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, τον καθηγητή Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη και τον επίκουρο καθηγητή Ευτύχιο Κουτρούλη για την ανάγνωση και αξιολόγηση της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να δώσω τις ευχαριστίες μου στον κύριο Παναγιώτη Πιπερίδη, Ηλεκτρονικό Μηχανικό Τ.Ε. και στην κυρία Ελένη Κοτσυφάκη, υπάλληλο του Ο.Α.ΔΥ.Κ., για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφεραν για την εκπόνηση της εργασίας, καθώς και στον κ. Κουκουτσάκη, υπεύθυνο συντήρησης του αιολικού πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.

Περίληψη

Η εξοικονόμηση ενέργειας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα του ανθρώπου, ενώ τα επόμενα χρόνια αναμένεται να αποτελέσει έναν από τους καθοριστικούς παράγοντες διαβίωσης, τόσο από πλευράς προστασίας του περιβάλλοντος όσο και από πλευράς εξοικονόμησης χρημάτων. Δεδομένου ότι το 20% περίπου της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται στη χρήση διαφόρων αντλητικών συστημάτων, καθίσταται σαφές ότι υπάρχει πεδίο για σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, λειτουργώντας τις αντλίες αποτελεσματικότερα και πιο αποδοτικά.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο την παρουσίαση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας και τεχνικών παρακολούθησης λειτουργίας σε αντλιοστάσια, δηλαδή εγκαταστάσεις που περιέχουν αντλίες και εξοπλισμό για την άντληση υγρών από ένα μέρος σε ένα άλλο. Παρουσιάζονται μέθοδοι εξοικονόμησης που αφορούν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντλιών, τον έλεγχο των κινητήρων και την παρακολούθηση του δικτύου νερού με χρήση συστημάτων SCADA, διαφόρων ειδών αισθητήρων και έξυπνων μετρητών.

Επιπλέον, στην παρούσα εργασία εξετάζονται σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας σε συγκεκριμένο αντλιοστάσιο του Νομού Χανίων και οι οικονομικές τους επιπτώσεις τόσο για τον τελικό χρήστη όσο και για το Διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς. Τέλος, εξετάζονται οι δυνατότητες ευέλικτης λειτουργίας του συγκεκριμένου αντλιοστασίου ανάλογα με την τιμολόγηση και παρουσιάζονται τα οικονομικά οφέλη για τους εμπλεκόμενους φορείς.

ABSTRACT

Energy savings is an important aspect of everyday life and is expected to gain more importance as natural resources are depleted. It is estimated that 20% of the global electricity consumption is due to the various pumping systems. Therefore, efficient use of the pumps or other saving techniques can lead to substantial energy savings as some bibliographical review have shown.

This thesis aims to present energy saving methods in pumping stations, i.e. installations containing pumps and equipment for pumping fluids from one place to another. These methods include construction characteristics of pumps, more efficient pumps control, more efficient electrical machines and reducing leaks in the networks. The aid of monitoring systems may be significant in water and thus energy savings, either to detect leaks, water thefts or overflows in tanks and is emphasized in this thesis with the presentation of various sensors, metering and monitoring devices, or even SCADA systems.

The effect of moderate (15%) energy savings and power factor correction in a large pumping station near Chania is studied not only for the owner of the station but also for the power system of Crete during various periods of the year. The analysis has shown substantial cost reduction for both these entities. Due to the ability of storing water, operation of pumps as flexible loads can be easier than other loads. Both the requirements and the benefits for such an operation are finally examined for both the end-users and the Cretan Power System.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Γενικά στοιχεία για εξοικονόμηση ενέργειας στον πλανήτη.....	8
1.2 Γενική προσέγγιση εξοικονόμησης ενέργειας	8
1.3 Συσχέτιση κατανάλωσης νερού με κατανάλωση ενέργειας	10
1.3.1 Αφαλάτωση	11
1.4 Η κατάσταση στην Ελλάδα – Εταιρείες ύδρευσης/άρδευσης.....	12
1.5 Σκοπός και δομή της εργασίας	13
2. ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΛΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	14
2.1 Γενική περιγραφή αντλιών, τύποι και δομή τους.....	14
2.2 Αντιπροσωπευτικές χρήσεις αντλιών.....	15
2.3 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας σε αντλίες	15
3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΛΟΓΩ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	19
3.1 Ηλεκτρικοί κινητήρες γενικά και απώλειες ενέργειας	19
3.2 Επιδράσεις κατασκευαστικών χαρακτηριστικών.....	22
3.3 Κατηγορίες ηλεκτρικών μηχανών ανάλογα με την απόδοσή τους	24
3.4 Επίδραση διαστάσεων κινητήρα.....	26
3.5 Ρύθμιση και έλεγχος κινητήρων.....	27
3.5.1 Τεχνολογίες ελέγχου κινητήρων	28
3.5.2 Σύγκριση της αυξομείωσης στροφών με άλλες μεθόδους ελέγχου της παροχής....	29
3.6 Αντικατάσταση κινητήρων.....	30
3.7 Σημασία του συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$) στην εξοικονόμηση ενέργειας.....	31
3.7.1 Γενικά οφέλη διόρθωσης συντελεστή ισχύος	32
3.7.2 Συσχέτιση φόρτισης κινητήρα με $\cos\phi$	34
3.7.3 Τρόποι αντιστάθμισης σε κινητήρες	35
3.7.4 Ο κίνδυνος της υπεραντιστάθμισης και αυτοδιέγερσης επαγωγικού κινητήρα.....	37
4. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΕ ΦΟΡΕΙΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ/ΑΡΔΕΥΣΗΣ	38
4.1 Συστήματα SCADA	38
4.1.1 Γενική περιγραφή και αρχιτεκτονική	38
4.1.2 Το SCADA του Ο.Α.ΔΥ.Κ.	40
4.2 Χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες	42
4.2.1 Αισθητήρες μέτρησης στάθμης.....	42
4.2.2 Αισθητήρες μέτρησης ροής (παροχής).....	44
4.2.3 Αισθητήρες που χρησιμοποιεί ο Ο.Α.ΔΥ.Κ.....	50
4.2.4 Μέθοδοι εντοπισμού διαρροών	53
4.3 Έξυπνοι μετρητές νερού (όγκου).....	56
4.3.1 Καταγραφικά ηλεκτρικής ενέργειας και έξυπνοι μετρητές	57
5. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	60
5.1 Γενική περιγραφή του νησιού	60
5.2 Γενικά για αυτόνομα Σ.Η.Ε.....	60
5.3 Γενικά χαρακτηριστικά για το Σ.Η.Ε. Κρήτης	61
5.3.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία θερμικών μονάδων παραγωγής.....	62
5.4 Στοιχεία για τις μονάδες Α.Π.Ε. στην Κρήτη.....	66
6. ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΤΟΥ Ο.Α.ΔΥ.Κ. ΣΤΟΝ ΒΛΗΤΕ ΣΟΥΔΑΣ	73
6.1 Ο Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης.....	73
6.2 Εξοικονόμηση ενέργειας 15% στο αντλιοστάσιο	75
6.3 Οικονομικά οφέλη από τη βελτίωση του $\cos\phi$ του αντλιοστασίου	82
6.4 Ενδεχόμενο όφελος της ΔΕΗ από τις ενέργειες εξοικονόμησης.....	86

7. ΟΙ ΑΝΤΛΙΕΣ ΩΣ ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	88
7.1 Γενικά για την ευελιξία των αντλιών	88
7.2 Καταγραφή κατανάλωσης ενέργειας του αντλιοστασίου του Ο.Α.ΔΥ.Κ. στον Βλητέ Σούδας με βάση τις καταγραφές του SCADA.....	88
7.3 Εξέταση σεναρίου ευελιξίας του αντλιοστασίου και οι επιπτώσεις της	92
7.3.1 Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε για την ευελιξία	92
7.3.2 Οι οικονομικές επιπτώσεις για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ.	96
7.3.3 Οι οικονομικές επιπτώσεις για την ΔΕΗ	98
7.3.4 Επίπτωση στη λειτουργία του αιολικού πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ	98
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	104
Αναφορές - Βιβλιογραφία	108

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά στοιχεία για εξοικονόμηση ενέργειας στον πλανήτη

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί ένα δυναμικό πεδίο στη σύγχρονη εποχή, διαδραματίζει ήδη σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα του ανθρώπου, ενώ τα επόμενα χρόνια αναμένεται να αποτελέσει έναν από τους καθοριστικούς παράγοντες διαβίωσης σύμφωνα με τις τάσεις της κοινωνίας, τόσο από πλευράς προστασίας του περιβάλλοντος όσο και από πλευράς εξοικονόμησης χρημάτων.

Η εξοικονόμηση ενέργειας γενικότερα ορίζεται ως το αποτέλεσμα της διαδικασίας μείωσης κατανάλωσης της ενέργειας που απαιτείται για να παραχθούν προϊόντα και υπηρεσίες και να υλοποιηθούν διάφορες λειτουργίες, χωρίς όμως να συνδυάζεται με μείωση της άνεσης ή της ποιότητας.

Τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα αποτελούν σημαντικό παράγοντα του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και είναι υπεύθυνα για σημαντικότερα ποσοστά κατανάλωσης ανά τον κόσμο και ανά τομείς εφαρμογής. Σύμφωνα με έρευνες πάνω από το 40% της παγκόσμιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται σε βιομηχανικές εφαρμογές και τα 2/3 αυτής χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικούς κινητήρες. Σε έρευνα που είχε διεξαχθεί ειδικά για τις ευρωπαϊκές χώρες, τα κινητήρια συστήματα είναι υπεύθυνα για το 69% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στη βιομηχανία και για το 38% στις οικιακές εφαρμογές, το οποίο σε απόλυτες τιμές αντιστοιχεί σε 575 και 186 TWh αντιστοίχως ανά έτος. Μάλιστα, μεταξύ των διαφόρων ειδών κινητήριων συστημάτων, το μεγαλύτερο μερίδιο κατανάλωσης κατέχουν τα αντλητικά συστήματα, τα οποία είναι και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Τα αντλητικά συστήματα είναι υπεύθυνα για το 20% περίπου της παγκόσμιας ηλεκτρικής ζήτησης και χρησιμοποιούν περίπου 20% με 25% της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται σε βιομηχανικές διαδικασίες. [1]

Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι τα αντλητικά συστήματα προσφέρονται για μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, με διάφορες μεθόδους, οι οποίες αναπτύσσονται στη συνέχεια.

1.2 Γενική προσέγγιση εξοικονόμησης ενέργειας

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να οριστούν οι έννοιες της παθητικής και ενεργητικής εξοικονόμησης ενέργειας.

Παθητική εξοικονόμηση ενέργειας θεωρείται η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των θερμικών απωλειών, η χρησιμοποίηση εξοπλισμού χαμηλής κατανάλωσης και ούτω καθεξής.

Ενεργητική εξοικονόμηση ενέργειας είναι η πραγματοποίηση μόνιμων αλλαγών μέσω της μέτρησης, της παρακολούθησης και του ελέγχου της χρήσης της ενέργειας.

Μία γενική μεθοδολογία εξοικονόμησης ενέργειας είναι αυτή που ακολουθεί:

- Στο πρώτο στάδιο της εξοικονόμησης ενέργειας, αυτό που πρέπει να γίνει πρώτα είναι να μετρήσουμε έτσι ώστε να καταλάβουμε που συμβαίνουν οι κύριες καταναλώσεις, ποιο είναι το πρότυπο της κατανάλωσης κλπ. Αυτή η αρχική μέτρηση, σε συνδυασμό με κάποιες πληροφορίες συγκριτικής αξιολόγησης, μας επιτρέπει να καθορίσουμε τον κύριο άξονα βελτίωσης και μια εκτίμηση των αναμενόμενων κερδών. Δεν μπορούμε να βελτιώσουμε κάτι χωρίς να το μετρήσουμε πρώτα. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, το στάδιο αυτό αφορά την μέτρηση των καταναλώσεων των συστημάτων που εξετάζονται και την ανάλυση των ωρών λειτουργίας.
- Το δεύτερο στάδιο έχει να κάνει με την διόρθωση των βασικών σημείων. Η επιλογή συσκευών χαμηλής κατανάλωσης, πιθανά επιπρόσθετα υλικά, η διόρθωση του συντελεστή ισχύος που αναλύεται σε άλλη ενότητα και η εξασφάλιση της αξιοπιστίας της ποιότητας ενέργειας

συμβάλλουν στη δημιουργία ενός σταθερού περιβάλλοντος όπου τα κέρδη θα διατηρούνται με την πάροδο του χρόνου.

Τα δύο αυτά στάδια ανήκουν στον τομέα της **παθητικής** εξοικονόμησης ενέργειας, δηλαδή με επεμβάσεις και διορθώσεις στα ήδη υπάρχοντα στοιχεία.

- Το τρίτο στάδιο αφορά την αυτοματοποίηση και κατάλληλη ρύθμιση. Την προσθήκη δηλαδή κατάλληλων συσκευών αυτοματισμού έτσι ώστε να ελέγχονται και να ρυθμίζονται οι καταναλώσεις και να αποφεύγεται η αχρείαστη λειτουργία.
- Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο είναι η παρακολούθηση, η συντήρηση, η επίβλεψη των αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν στα προηγούμενα στάδια, ακόμα και η βελτίωση.

Τα στάδια τρία και τέσσερα ανήκουν στον τομέα της **ενεργητικής** εξοικονόμησης ενέργειας, την προσπάθεια εξοικονόμησης δηλαδή, με πιο δραστικές λύσεις και με αλλαγές στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Μετά και το τελευταίο στάδιο, ο κύκλος που περιγράφηκε επαναλαμβάνεται. [2]



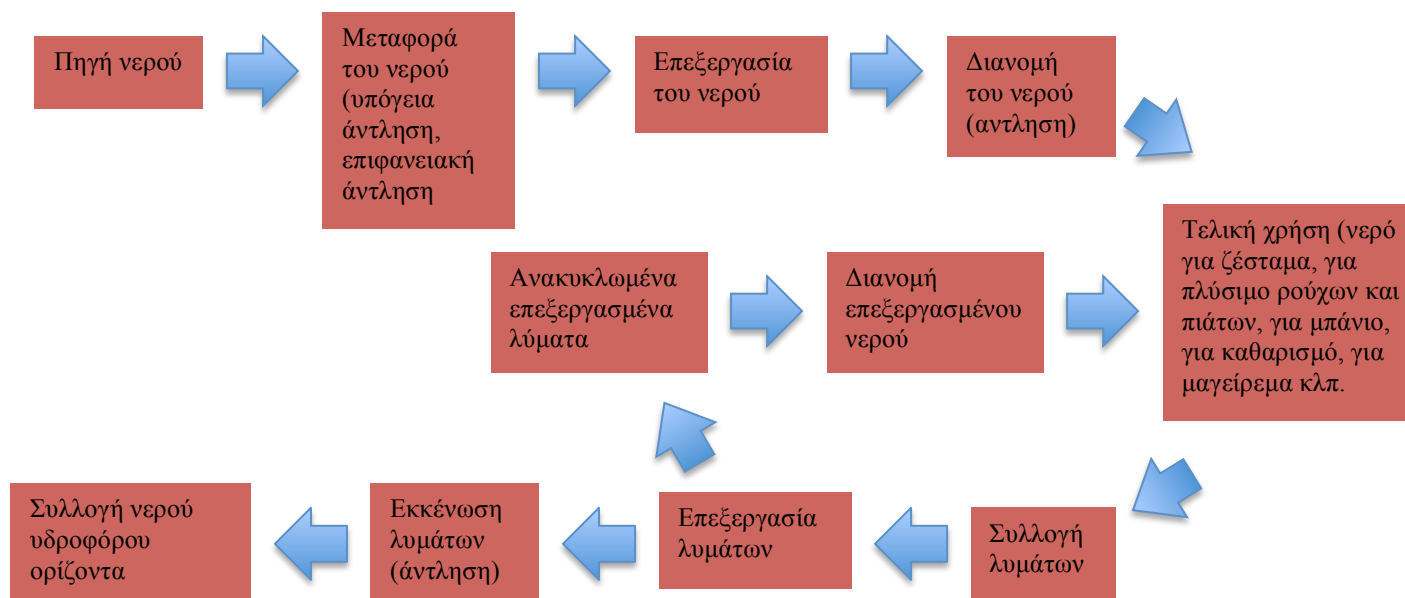
Σχήμα 1.1 Γενική μεθοδολογία εξοικονόμησης ενέργειας.

1.3 Συσχέτιση κατανάλωσης νερού με κατανάλωση ενέργειας

Η κίνηση του να ανοίγει μια βρύση και να τρέχει το νερό φαίνεται στα μάτια των περισσότερων ανθρώπων μια ενέργεια απλή και ασήμαντη. Φυσικά η σκέψη του απλού κόσμου δεν πάει καν στην ισοδυναμία της κατανάλωσης ενέργειας ταυτόχρονα με αυτής του νερού.

Η διαδικασία του να φτάσει το νερό στον τελικό καταναλωτή είναι πολύ πιο περίπλοκη από ό,τι μπορεί να φανταστεί κάποιος. Σε κάθε στάδιο του κύκλου επεξεργασίας του νερού, όπως η άντληση, η μεταφορά, η διύλιση, η διανομή, η χρήση καθώς επίσης και η μεταφορά αποβλήτων και ο καθαρισμός τους, καταναλώνεται ενέργεια.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημαντικότερα στάδια του κύκλου επεξεργασίας του νερού στον αστικό τομέα:



Σχήμα 1.2 Τα στάδια του κύκλου επεξεργασίας του νερού στον αστικό τομέα

Αυτός ο μικρός κύκλος του νερού έχει ένα ενεργειακό κόστος το οποίο είναι πολλές φορές ιδιαίτερα σημαντικό. Αναφέρεται ότι σε παγκόσμιο επίπεδο το κόστος αυτό καλύπτει το 7% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης.

Οι αμερικανικές υπηρεσίες ύδρευσης - αποχέτευσης υπολογίζεται ότι καταναλώνουν περίπου 56 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες (kWh) ανά έτος (το 3% της εθνικής κατανάλωσης ενέργειας). Η ενέργεια αυτή είναι ικανή να τροφοδοτήσει με ηλεκτρικό ρεύμα πάνω από 5 εκατομμύρια σπίτια για ένα ολόκληρο έτος, ισοδυναμεί δε με την προσθήκη περίπου 45 εκατομμυρίων τόνων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Υπολογίζεται χαρακτηριστικά ότι, αφήνοντας μια βρύση να τρέξει για πέντε λεπτά χρησιμοποιείται περίπου τόση ενέργεια όση αν αφήσουμε έναν λαμπτήρα 60-watt αναμμένο για 14 ώρες.

Η ενέργεια είναι συνήθως μία από τις πρώτες δαπάνες σε δήμους που έχουν υπηρεσίες ύδρευσης - αποχέτευσης, συχνά δε ισοδυναμεί με το 1/3 του προϋπολογισμού τους, και αυτό εξαιτίας της λειτουργίας των προαναφερόμενων εγκαταστάσεων. Φαίνεται μάλιστα ότι είναι η δεύτερη δαπάνη μετά τη μισθοδοσία. Το μεγαλύτερο βάρος της ενεργειακής δαπάνης ανήκει βέβαια στον εξοπλισμό, του οποίου η Ενεργειακή Απόδοση είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας υπολογίζει ότι αποδοτικότερες αντλίες θα μπορούσαν να επιφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 20%.

Ειδικότερα για τις αντλίες υπολογίζεται ότι στη διάρκεια ζωής τους τα συνολικά έξοδα κατανέμονται ως εξής: 3% για την αγορά τους και 74% για την ενέργεια που καταναλώνουν.

Αναφέρεται στο διαδίκτυο [3] ότι η κατανάλωση ενέργειας στα περισσότερα υδατικά συστήματα σε όλο τον κόσμο θα μπορούσε να μειωθεί τουλάχιστον κατά 25% μέσω οικονομικά αποδοτικών δράσεων. Το ποσοστό αυτό όσο υψηλό και αν θεωρηθεί καταδεικνύει τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας που υπάρχουν.

Από τα παραπάνω φαίνεται πόσο σημαντικό είναι να περάσει στο κόσμο η έννοια της οικονομίας στο νερό, ανεξάρτητα από το αν υπάρχουν περίοδοι λειψυδρίας. Όμως εξίσου σημαντικό είναι το μεγάλο πρόβλημα των διαρροών στα δίκτυα, το οποίο είναι αρμοδιότητα των υπηρεσιών ύδρευσης. Το ποσοστό των διαρροών σε αναπτυσσόμενες περιοχές μπορεί να φτάσει το 50% ενώ πολλές πόλεις στον ανεπτυγμένο κόσμο έχουν διαρροές της τάξης του 20%.

Να σημειωθεί ότι μόνο περίπου το μισό των κατοίκων των αστικών κέντρων, στις χώρες αυτές, διαθέτουν σήμερα συνδέσεις νερού στα σπίτια τους, και περισσότερο από το ένα τέταρτο δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό. Ακόμα όμως και στις ανεπτυγμένες χώρες που διαθέτουν πολύ καλό δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το νερό και την επεξεργασία λυμάτων αυξάνεται, λόγω των όλο και πιο αυστηρών κανονισμών σχετικά με την ποιότητα των υδάτων.

Από τα προαναφερόμενα είναι σαφές ότι οι πόλεις, τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες, χάνουν ενέργεια, νερό και οικονομικούς πόρους, λόγω αναποτελεσματικότητας των αντίστοιχων υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Ακόμα και οι πιο αποτελεσματικές έχουν τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της απόδοσης των συστημάτων τους, αν έχουν υπόψη τους ότι κάθε λίτρο νερού που διακινούν έχει ένα σημαντικό ενεργειακό κόστος.

1.3.1 Αφαλάτωση

Σημαντικό μερίδιο στην ενεργειακή κατανάλωση καταλαμβάνουν οι τεχνολογίες αφαλάτωσης. Αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι, κατ' επέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό, με πρόσβαση όμως σε θαλασσινό νερό. Η αφαλάτωση άρχισε να αναπτύσσεται κατά τον 20ο αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Γης. Όπως είναι γνωστό το 97,3% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα αναμειγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ακόμα και για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη. Η αξία της αφαλάτωσης για την κοινωνία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάγκη για τη μεταφορά νερού. Όσο υψηλότερη παρουσιάζεται η ζήτηση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη και τα οφέλη των μονάδων αφαλάτωσης. Επειδή η αφαλάτωση είναι βιομηχανικό προϊόν, το κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι πάντοτε κατά πολύ μεγαλύτερο από το κόστος του φυσικού νερού το οποίο μεταφέρεται από μια πηγή σε σχετικά μέτρια χιλιομετρική απόσταση. Αν το νερό είναι θαλασσινό η κατανάλωση ενέργειας είναι 3-15 KWh/m³ ενώ στο υφάλμυρο η κατανάλωση ενέργειας είναι 0,5-3 KWh/m³. Στον ελλαδικό χώρο, έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης κυρίως στα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων όπου οι ανάγκες για νερό δεν μπορούν να καλυφθούν από τις βροχοπτώσεις και από τα υπόγεια νερά των νησιών. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα μεγαλύτερο ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες. [4] , [5]

1.4 Η κατάσταση στην Ελλάδα – Εταιρείες ύδρευσης/άρδευσης

Τα προβλήματα της λειψυδρίας και της υποβάθμισης της ποιότητας των υδατικών πόρων στην Ελλάδα, όπως και στις περισσότερες χώρες, οφείλονται στην αναποτελεσματική χρήση του νερού. Στη γεωργία, όπου παρουσιάζεται η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού, η επιφανειακή άρδευση και η άρδευση με τεχνητή βροχή ευθύνονται για απώλειες που φθάνουν το 50-60%. Η βιομηχανία, με ελάχιστες εξαιρέσεις, δεν χρησιμοποιεί συστήματα και διεργασίες εξοικονόμησης και ανακύκλωσης νερού. Στις πόλεις, οι απώλειες των αρδευτικών δικτύων κυμαίνονται από 10% έως 30%. Αν και η ύδρευση αποτελεί μικρό μόνο μέρος της συνολικής κατανάλωσης νερού, οι μεγαλύτερες ανάγκες ύδρευσης παρουσιάζονται στις πόλεις, όπου συχνά δεν υπάρχουν επαρκή αποθέματα κατάλληλου νερού σε κοντινή απόσταση. Στην Ελλάδα, η αστική κατανάλωση κυμαίνεται από 150 έως 250 λίτρα/άτομο/ημέρα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά πως με κατάλληλα μέτρα εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης, η μέση κατανάλωση νερού στον κτιριακό τομέα μπορεί να πέσει από 150 λίτρα/άτομο/ημέρα (μέσος ευρωπαϊκός όρος) σε 80 λίτρα/άτομο ημερησίως (μείωση άνω του 45%).

Το μεγαλύτερο ποσοστό του οικιακού τομέα αλλά και των βιομηχανικών και τουριστικών μονάδων προμηθεύονται νερό από Κεντρικές Υπηρεσίες, όπως είναι η ΕΥΔΑΠ, η ΕΥΑΘ, οι ΔΕΥΑ, οι ΟΤΑ, Σύνδεσμοι ΟΤΑ και Σύνδεσμοι Ύδρευσης, ενώ βιομηχανικές μονάδες εγκαταστημένες σε Βιοτεχνικές Περιοχές (ΒΠΠΕ) προμηθεύονται σε σημαντικό ποσοστό νερό από τον φορέα διαχείρισης της ΒΠΠΕ. Άλλες πηγές (τρόποι προμήθειας) είναι οι γεωτρήσεις, τα βυτία καθώς και η αφαλάτωση. Αντίστοιχη εικόνα αν και με μικρότερη ανάπτυξη, υπάρχει και για τις υπηρεσίες αποχέτευσης. Παρακάτω, παρουσιάζονται ορισμένες επιχειρήσεις ύδρευσης που λειτουργούν σε ορισμένες μεγάλες πόλεις της Ελλάδας:

- Η Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.), ιδρύθηκε το 1980 και είναι η μεγαλύτερη εταιρεία στην Ελλάδα που δραστηριοποιείται στην αγορά του νερού. Το πελατολόγιο της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. στον τομέα της ύδρευσης περιλαμβάνει περίπου 4.300.000 πελάτες (2.020.000 συνδέσεις), ενώ το μήκος των αγωγών ανέρχεται σε 9.500 χλμ. Ο τομέας της αποχέτευσης εξυπηρετεί 3.500.000 κατοίκους ενώ το συνολικό μήκος αγωγών ανέρχεται σε 6.000 χλμ.
- Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης Αγρινίου ιδρύθηκε το 1981 και λειτουργεί σε πλήρη μορφή από το 1983. Η Δ.Ε.Υ.Α. Αγρινίου εξυπηρετεί πληθυσμό ο οποίος ανέρχεται σε 120.000 άτομα με σύνολο υδρομέτρων πάνω από 33.000. Η ΔΕΥΑΑ λειτουργεί τον Βιολογικό Καθαρισμό Μείζονος Περιοχής ο οποίος έχει σήμερα δυναμικότητα ισοδύναμου πληθυσμού 60.000 ατόμων ενώ ο σχεδιασμός του μετά την αναβάθμισή του προβλέπεται να φτάσει το μέγεθος των 120.000 ισοδύναμων ατόμων.
- Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης Χανίων υδροδοτεί τον Δήμο Χανίων, ορισμένους καταναλωτές στα όριά του που διαμένουν σε άλλους Δήμους και μεγάλες στρατιωτικές μονάδες του Νομού Χανίων. Η λειτουργία της έχει σαν στόχο τη μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, εκμετάλλευση, διοίκηση και λειτουργία των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης, ακαθάρτων και ομβρίων, καθώς και μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της περιοχής Χανίων.

Όσον αφορά την άρδευση, σχεδόν σε κάθε κοινότητα και μεγάλο δήμο της χώρας, αρμόδιοι για τον σκοπό αυτό είναι οι κατά τόπους Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ).

Στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων, αρμόδιος οργανισμός για την άρδευση είναι ο Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (Ο.Α.Δ.Υ.Κ.). Σήμερα ο Ο.Α.Δ.Υ.Κ., διακινεί 26.000.000 κ.μ. νερού τον χρόνο από τα οποία εξυπηρετούνται περίπου 12.000 μικροί καταναλωτές, οι μεγάλοι δήμοι του Βόρειου Άξονα της Δυτικής Κρήτης και οι Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον Ο.Α.Δ.Υ.Κ. αναπτύσσονται στο Κεφάλαιο 6 αλλά και στα υποκεφάλαια 4.1.2 και 4.2.3.

1.5 Σκοπός και δομή της εργασίας

Υπολογίζεται ότι το 20% περίπου της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται στη χρήση διαφόρων αντλητικών συστημάτων. Το 20% με 25% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται από τις μηχανές στις διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αποδίδεται στις ανάγκες των αντλητικών συστημάτων. Μεγάλη ευθύνη σε αυτή την κατανάλωση φέρει και η άσκοπη χρήση του νερού. Καθίσταται επομένως σαφές ότι υπάρχει πεδίο για σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, λειτουργώντας τις αντλίες αποτελεσματικότερα και πιο αποδοτικά.

Με βάση λοιπόν το παραπάνω συμπέρασμα, η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την παρουσίαση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας και τεχνικών παρακολούθησης λειτουργίας σε **αντλιοστάσια**, δηλαδή εγκαταστάσεις που περιέχουν αντλίες και εξοπλισμό για την άντληση υγρών από ένα μέρος σε ένα άλλο. Επίσης, η εργασία έχει σαν στόχο την ανάδειξη της δυνατότητας των αντλιοστασίων να λειτουργούν σαν ευέλικτα φορτία και το πότε είναι αυτό δυνατόν.

Όσον αφορά την δομή της εργασίας, στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για τις αντλίες, όπως οι διάφοροι τύποι που υπάρχουν, η δομή τους καθώς και σε ποιους τομείς της καθημερινής ζωής μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επίσης, περιγράφονται και κάποιοι γενικοί τρόποι που θα μπορούσαν να προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας σε αντλίες.

Στο **Κεφάλαιο 3**, αναδεικνύονται ορισμένες μέθοδοι εξοικονόμησης σε κινητήρια συστήματα, βασισμένες στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και στον έλεγχο τους, καθώς η πλειονότητα των αντλιών είναι ηλεκτροκίνητες. Ακόμη, τονίζεται η σημασία του συντελεστή ισχύος στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κινητήρες και περιγράφονται ορισμένες μέθοδοι που παρέχουν βελτίωσή του.

Στο **Κεφάλαιο 4**, γίνεται παρουσίαση συστημάτων μέτρησης και παρακολούθησης σε φορείς ύδρευσης και άρδευσης. Αναγκαίος εξοπλισμός για τις λειτουργίες αυτές είναι τα συστήματα SCADA, διάφοροι αισθητήρες μέτρησης στάθμης και παροχής νερού, συστήματα διαρροών, έξυπνοι μετρητές νερού καθώς και καταγραφικά και έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο **Κεφάλαιο 5**, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης. Γίνεται η περιγραφή του νησιού και των χαρακτηριστικών του συστήματος και παραθέτονται στοιχεία για τις θερμικές μονάδες παραγωγής που διαθέτει αλλά και τις μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με έμφαση στα αιολικά.

Στο **Κεφάλαιο 6**, εξετάζεται ένα σενάριο για εξοικονόμηση ενέργειας στο αντλιοστάσιο του Οργανισμού Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης στον Βλητέ Σούδας. Αρχικά γίνεται η παρουσίαση του οργανισμού και στη συνέχεια μελετάται το σενάριο το οποίο είναι διττής φύσεως: 1) εξοικονόμηση ενέργειας 15% στο αντλιοστάσιο και 2) οικονομικά οφέλη από τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος του αντλιοστασίου. Στο τέλος, παρουσιάζονται ενδεχόμενα οφέλη της ΔΕΗ από την εξοικονόμηση αυτή.

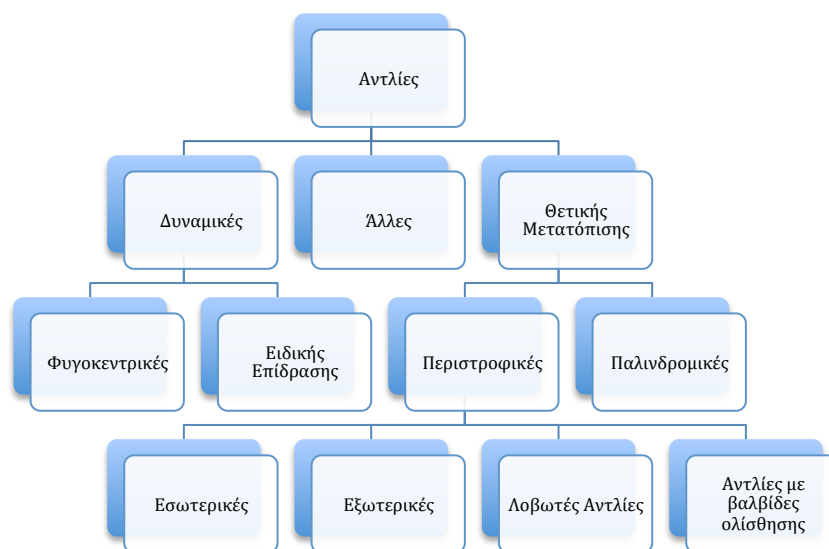
Στο **Κεφάλαιο 7**, αρχικά περιγράφεται η δυνατότητα των αντλιοστασίων να λειτουργήσουν ως ευέλικτα φορτία και στη συνέχεια παρουσιάζεται η θεωρητική υλοποίηση του σεναρίου ευελιξίας του αντλιοστασίου στον Βλητέ καθώς και οι οικονομικές της επιπτώσεις για τον οργανισμό και την ΔΕΗ. Έπειτα, αναδεικνύεται το φαινόμενο της αποκοπής αιολικής ενέργειας και εξετάζεται το κατά πόσο είναι δυνατή η εκμετάλλευση της αποκοπτόμενης ενέργειας του αιολικού πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ από το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 8** ακολουθούν τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας μαζί με παρατηρήσεις αλλά και προτάσεις για τους ενδιαφερόμενους οργανισμούς ή εταιρείες.

2. ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΛΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Γενική περιγραφή αντλιών, τύποι και δομή τους

Η αντλία είναι μία διάταξη η οποία γενικά χρησιμοποιείται για τη μεταφορά υγρών. Οι αντλίες γενικά επιτυγχάνουν κίνηση του υγρού μέσω μηχανικής δράσης. Χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της βιομηχανίας, σε εμπορικές, οικιακές και αγροτικές υπηρεσίες καθώς και σε υπηρεσίες ύδρευσης, άρδευσης και αποχέτευσης. Υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα τύπων αντλιών αρκετά διαφορετικών μεταξύ τους ως προς την αρχή λειτουργίας, τη δομή και τις εφαρμογές, τις οποίες καλύπτουν. Οι αντλίες ταξινομούνται ανάλογα με τη βασική λειτουργία τους σε δυναμικές και θετικής μετατόπισης. Οι δυναμικές αντλίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε φυγοκεντρικές και ειδικής επίδρασης αντλίες, ενώ οι θετικής μετατόπισης αντλίες κατηγοριοποιούνται σε περιστροφικές και παλινδρομικές, με τις περιστροφικές να χωρίζονται και αυτές με τη σειρά τους σε τέσσερις κατηγορίες. Ακολουθεί σχήμα με τα διαφορετικά είδη αντλιών που υπάρχουν.



Σχήμα 2.1 Τύποι αντλιών

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μία αντλία είναι:

- ο κινητήρας
- η φτερωτή
- ο άξονας της αντλίας
- οι βαλβίδες για τον έλεγχο ροής
- τα στόμια εισόδου και εξόδου από όπου εισέρχεται και βγαίνει το υγρό

2.2 Αντιπροσωπευτικές χρήσεις αντλιών

Όπως προαναφέρθηκε, οι αντλίες χρησιμοποιούνται ευρέως στον οικιακό τομέα, σε επαγγελματικά κτήρια, σε βιομηχανίες και σε εταιρείες υδάτων και ύδρευσης.

Σε μία οικία οι αντλίες βρίσκουν πολλές εφαρμογές, μερικές από τις οποίες είναι οι εξής : άρδευση, γεώτρηση, λύματα, τεχνητή βροχή κήπου, εκμετάλλευση βρόχινου νερού, πόσιμο νερό, κυκλοφορητές, λέβητες, διαχωρισμός συστημάτων ενδοδαπέδιας θέρμανσης και αποστράγγιση υπογείων.

Στα επαγγελματικά κτήρια υπάρχουν αντλίες : ακαθάρτων υδάτων, πόσιμου νερού, νερού θέρμανσης, νερού ψύξης και νερού πυρόσβεσης, λυμάτων, εκμετάλλευσης βρόχινου νερού όπως και κυκλοφορητές. Ενδεικτικά αναφέρονται διάφορα είδη επαγγελματικών κτηρίων όπου αυτές βρίσκουν χρήση, με φθίνουσα σειρά ενεργειακής κατανάλωσης : κολυμβητήρια, νοσοκομεία, κλινικές, ξενοδοχεία, γραφεία, εμπορικά καταστήματα, σχολεία, γυμναστήρια.

Στον τομέα της βιομηχανίας οι αντλίες χρησιμοποιούνται για: παροχή νερού από γεωτρήσεις και δεξαμενές, λύματα, πυρόσβεση, θέρμανση, ψύξη, νερό θέρμανσης και νερό ψύξης, όμβρια ύδατα, παροχή νερού, πλύση και ως κυκλοφορητές.

Τέλος, στις εταιρείες υδάτων και ύδρευσης υπάρχουν αντλίες: νερού χωρίς μακρόινα και διαβρωτικά συστατικά στοιχεία, παροχής ζεστού και κρύου νερού, άρδευσης, ύδρευσης, λυμάτων με σύστημα διαχωρισμού στερεών ουσιών, φρεατίων, βιολογικού καθαρισμού, γεωργικού τομέα, δημιουργίας ροής σε κανάλια νερού, άντλησης λάσπης και υδροηλεκτρικών έργων. Οι αντλίες αυτής της κατηγορίας κατέχουν ξεχωριστή θέση, γιατί ανήκουν στις κατηγορίες αντλιών με τη μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο στην Ελλάδα οι μεγαλύτερες εταιρείες ύδρευσης καταναλώνουν περίπου 700 GWh ενέργειας ετησίως.

2.3 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας σε αντλίες

Η ισχύς μιας αντλίας δίνεται από τη σχέση: $N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{270 \cdot \eta}$ σε Hp (2.1).

Όπου:

γ : το ειδικό βάρος του υγρού σε $\frac{kg}{m^3}$ (για το νερό είναι περίπου $1 \frac{kg}{m^3}$)

Q : η παροχή νερού σε $\frac{m^3}{h}$

H : το συνολικό μανομετρικό ύψος σε m

η : ο βαθμός απόδοσης της αντλίας λαμβανόμενος περίπου με 0.8.

Κατά τη λειτουργία των αντλιών έχουμε ένα γεωμετρικό ύψος ανυψώσεως h_γ το οποίο είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του προς άντληση νερού και του σημείου εκροής του αντλούμενου νερού. Το γεωμετρικό αυτό ύψος χωρίζεται σε ύψος αναρρόφησης και ύψος απορροής όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Η υψομετρική αυτή διαφορά θα προκαλέσει μέσα στο σωλήνα μια πίεση στο κατώτερο σημείο αυτού ίση προς την πίεση στήλης νερού h_γ μέτρων. Για να κυκλοφορήσει το νερό μέσα στο σωλήνα πρέπει να υπάρχει μια πρόσθετη πίεση που να μπορεί να υπερνικήσει αφενός μεν την αντίσταση ροής του νερού μέσα στο σωλήνα, αφετέρου δε την αντίσταση από τα εξαρτήματα των σωληνώσεων π.χ. βαλβίδες αναρρόφησης, βάνες, βαλβίδες αντεπιστροφής, γωνίες, καμπύλες κ.λ.π.

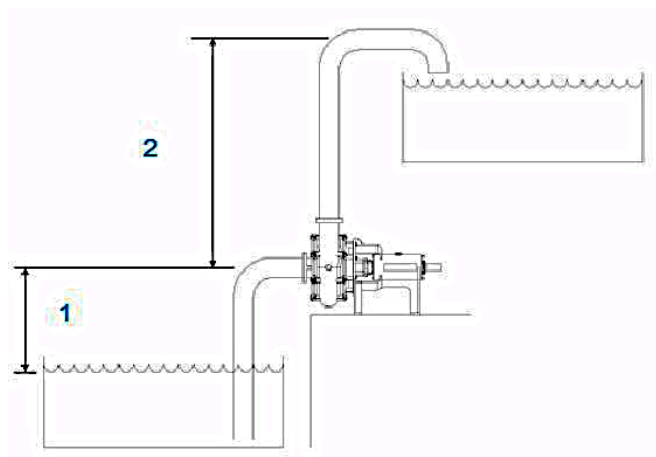
Αν παραστήσουμε με h_r την πίεση που χρειαζόμαστε για να υπερνικήσουμε τις αντιστάσεις ροής του νερού μέσα στο σύστημα, εκφρασμένη σε μέτρα στήλης νερού και με h_e την απαιτούμενη πίεση για να υπερνικήσουμε τις αντιστάσεις ροής νερού στα εξαρτήματα, εκφρασμένη και αυτή σε μέτρα στήλης νερού, η ολική πίεση κατά την λειτουργία της αντλίας θα είναι: $h = h_\gamma + h_r + h_e$ (2.2), όπου:

h = Μανομετρικό ύψος

h_g = Γεωμετρικό ύψος = Ύψος αναρρόφησης + Ύψος απορροής

h_r = Πτώση πίεσης λόγω αντιστάσεων

h_e = Πτώση πίεσης λόγω εξαρτημάτων.



Εικόνα 1. Μανομετρικό ύψος αντλίας

1: Ύψος αναρρόφησης

2: Ύψος απορροής

Λαμβάνοντας κανείς υπόψιν την παραπάνω σχέση, καταλαβαίνει εύκολα ότι όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή νερού, και όσο μεγαλύτερο είναι το μανομετρικό ύψος, τόσο μεγαλύτερο σε ισχύ αντλητικό συγκρότημα χρειάζεται. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι η ισχύς του κινητήρα θα πρέπει να ληφθεί 15-20% μεγαλύτερη της υπολογιζόμενης, για να καλύψει τις απαιτήσεις, όταν λόγω φθοράς της αντλίας ελαττωθεί ο βαθμός απόδοσής της.

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε αντλίες μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Με καλύτερο σχεδιασμό ενός συστήματος
- Με σωστή διαστασιολόγηση των αντλιών
- Με επιλογή ενεργειακά αποδοτικών αντλιών
- Με καλύτερο έλεγχο ενός συστήματος
- Με σωστή εγκατάσταση και συντήρηση

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες λύσεις που μπορούν να βοηθήσουν στην εξοικονόμηση ενέργειας σε αντλίες:

1. Επιλογή κατάλληλης αντλίας
2. Έλεγχος ρυθμού ροής μέσω της ταχύτητας
3. Έλεγχος με P-Constant
4. Παράλληλη διασύνδεση αντλιών με σκοπό την κάλυψη όποιας ζήτησης
5. Εξάλειψη της βαλβίδας ροής ελέγχου
6. Εξάλειψη γραμμής παράκαμψης ελέγχου
7. Ενσωμάτωση ελέγχου start/stop
8. Μείωση της λειτουργίας της φτερωτής
9. Βελτιστοποίηση της κινητήριας μηχανής
10. Έλεγχος των διαρροών

1. Επιλογή κατάλληλης αντλίας

Ένα μεγάλο πρόβλημα αποτελεί η υπερδιαστασιολόγηση των αντλιών. Την επιλογή δηλαδή μεγαλύτερου μεγέθους αντλίας από αυτής που πραγματικά χρειάζεται. Η υπερμεγέθης αντλία απαιτεί στραγγαλιστική βαλβίδα για τον έλεγχο ροής ή γραμμή παράκαμψης, ενώ μετακινεί την καμπύλη ζήτησης προς τα αριστερά. Με αυτούς τους δύο τρόπους μειώνεται η απόδοση της αντλίας.

Κύριες αιτίες υπερδιαστασιολόγησης αντλιών:

- Επιλογή μεγάλης αντλίας για κάλυψη μελλοντικών αναγκών.
- Υπερβολική προσαύξηση συντελεστών ασφαλείας στον υπολογισμό του απαιτούμενου μανομετρικού ύψους.
- Επιλογή αντλίας για κάλυψη μέγιστου φορτίου και 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.).
- Επιλογή αντλίας βάση προδιαγραφών ακατάλληλων για συγκεκριμένες εφαρμογές.

2. Έλεγχος ρυθμού ροής μέσω της ταχύτητας

Οι ρυθμιστές ταχύτητας μπορούν να προσφέρουν έλεγχο της ταχύτητας συνεχώς και σε ευρύ φάσμα, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και η κατανάλωση ενέργειας. Οι ρυθμιστές ταχύτητας διακρίνονται σε 2 κατηγορίες τους μηχανικούς και τους ηλεκτρικούς.

Στους μηχανικούς ανήκουν οι υδραυλικοί συμπλέκτες, οι υγρής σύζευξης, και οι ρυθμιζόμενοι ιμάντες και τροχαλίες.

Στους ηλεκτρικούς ανήκουν οι συμπλέκτες δινορευμάτων, οι ρυθμιστές ρότορα, και ρυθμιστές συχνότητας.

Τα πλεονεκτήματα των ρυθμιστών ταχύτητας είναι τα εξής:

- Δεν ελέγχουν απλώς την ροή αλλά μειώνουν και την κατανάλωση.
- Βελτιώνουν τον έλεγχο ολόκληρης της διαδικασίας στην λειτουργία της αντλίας.
- Βελτιώνουν την αξιοπιστία του συστήματος.
- Μειώνουν το κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης.
- Προσφέρουν την δυνατότητα ομαλής εκκίνησης.

3. Έλεγχος με P-Constant

Ένα αισθητήριο πίεσης στέλνει σε ένα μικροελεγκτή την τιμή της πραγματικής πίεσης και αυτός με τη σειρά του μέσω έλεγχου PID συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή και κρατάει σταθερή την πίεση οδηγώντας την αντλία. Τα πιεστικά αυτά συστήματα inverter καταργούν τη χρήση πιεζοστατών και μεγάλων δοχείων διαστολής, αυξάνοντας την άνεση και τις συνθήκες υγιεινής, ενώ παράλληλα μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και τον απαιτούμενο χώρο τοποθέτησης.

4. Παράλληλη διασύνδεση αντλιών με σκοπό την κάλυψη όποιας ζήτησης

Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτής της λύσης έχει να κάνει με την ιδιότητα που μπορούν να προσφέρουν οι πολλαπλές αντλίες. Κάποιες μπορούν να παραμένουν εκτός λειτουργίας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Χρησιμοποιούνται μόνο όταν το στατικό ύψος φθάνει στο 50% του συνολικού μανομετρικού ύψους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αντλίες με διαφορετικά μεγέθη ροής. Η καμπύλη λειτουργίας

του συστήματος δεν αλλάζει και η ταχύτητα ροής είναι μικρότερη από το άθροισμα των επιμέρους ποσοστών ροής.

5. Εξάλειψη της βαλβίδας ροής ελέγχου

Η βαλβίδα εκροής ή βαλβίδα ροής ελέγχου ανοιγοκλείνει για την μείωση της ροής των υγρών. Παρόλο που η βαλβίδα μπορεί να μειώσει την ροή, δεν μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, αντιθέτως προσφέρει μια επιπλέον κατανάλωση στο σύστημα. Ένα ακόμη αρνητικό στοιχείο που προκαλεί η βαλβίδα είναι οι ταλαντώσεις και η διάβρωση που προκαλούν στις αντλίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ανεβάζουν το κόστος συντήρησης και μειώνουν την διάρκεια ζωής της αντλίας.

6. Εξάλειψη γραμμής παράκαμψης ελέγχου

Η γραμμή παράκαμψης αποτελεί έναν ακόμα συμβατικό τρόπο ελέγχου της αντλίας. Το σύστημα αποτελείται από δυο αγωγούς. Ένας αγωγός διοχετεύει το υγρό στην έξοδο, ενώ ένας άλλος μεταφέρει το υγρό ξανά πίσω στην πηγή αναλόγως του πόσο μεγάλη χρειάζεται να είναι η ροή. Η συγκεκριμένη διαδικασία απαιτεί πολύ ενέργεια για να γυρίσει πίσω το υγρό, χωρίς να υπάρχει ουσιαστικός λόγος καθώς υπάρχουν διάφοροι απλούστεροι τρόποι. Χρησιμοποιείται αρκετά το συγκεκριμένο σύστημα, καθώς αποτελεί μια εύκολη στην κατασκευή λύση.

7. Ενσωμάτωση ελέγχου start/stop

Ο έλεγχος start/stop ελέγχει την αντλία και την απενεργοποιεί όταν δεν χρειάζεται. Φυσικά και αποτελεί την πιο απλή και πολύτιμη λύση. Απενεργοποιεί την αντλία σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Το μόνο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου απαιτείται συχνή χρήση της αντλίας.

8. Μείωση της λειτουργίας της φτερωτής

Η φτερωτή αποτελεί έναν ακόμη ενεργοβόρο παράγοντα της αντλίας. Μειώνοντας την λειτουργία της μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση χωρίς παράλληλα να επηρεαστεί η λειτουργία της αντλίας. Η αλλαγή της ταχύτητας της φτερωτής σημαίνει και αλλαγή στην κατανάλωση. Η ταχύτητα μπορεί να μειωθεί με την αλλαγή της διαμέτρου της.

Για να επιτευχθεί η παραπάνω μέθοδος πρέπει να επιλυθούν κάποια ζητήματα όπως:

- Η φτερωτή να χρησιμοποιείται για μια συγκεκριμένη ροή.
- Η μείωση των διαστάσεων να είναι μεγαλύτερη από το 25% του αρχικού μεγέθους.
- Η μείωση να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη.
- Η μείωση της λειτουργίας της φτερωτής αποτελεί πολύ καλή λύση αλλά πολύ ακριβή και δεν μπορεί πάντοτε να πραγματοποιηθεί.

9. Βελτιστοποίηση της κινητήριας μηχανής

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται μέθοδοι με τις οποίες επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της κινητήριας μηχανής της αντλίας.

10. Έλεγχος των διαρροών

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται μέθοδοι με τις οποίες επιτυγχάνεται η ανίχνευση διαρροών σε αντλίες.

3. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΛΟΓΩ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι περισσότερες αντλίες είναι ηλεκτροκίνητες, δηλαδή ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτρικών κινητήρων. Επομένως, ένα μέρος της εξοικονόμησης ενέργειας των αντλιών προέρχεται από τον έλεγχο και την βελτιστοποίηση των κινητήρων από τους οποίους αποτελούνται.

Ένα σημαντικό μέρος στις ενεργειακές απώλειες του κινητήρα καταλαμβάνουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του, καθώς επηρεάζουν σημαντικά την μείωση της απόδοσής του.

Μερικά από τα στοιχεία που θα μπορούσαν να μειώσουν την απόδοση ενός κινητήρα είναι τα παρακάτω:

- Η ηλικία του κινητήρα
- Η ισχύς του
- Η ταχύτητα περιστροφής
- Ο τύπος κινητήρα
- Η θερμοκρασία λειτουργίας του
- Η επαναπεριέλιξή του
- Το φορτίο που εξυπηρετεί
- Κακή αντιστάθμιση

3.1 Ηλεκτρικοί κινητήρες γενικά και απώλειες ενέργειας

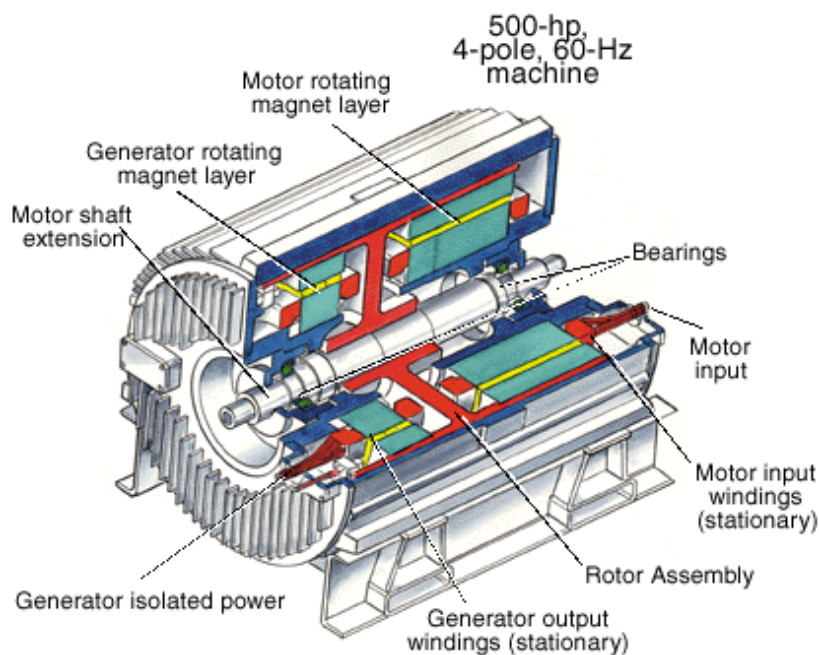
Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι μια μηχανή που δημιουργεί κίνηση καταναλώνοντας ηλεκτρισμό. Σε έναν απλό ηλεκτρικό κινητήρα, το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μια συρμάτινη περιέλιξη (θηλειά), η οποία βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη. Όμως κάθε ρευματοφόρος αγωγός, που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δέχεται κάποια δύναμη. Στην περίπτωση αυτή, οι δυνάμεις που ασκούνται στην περιέλιξη, σπρώχνουν τη μια πλευρά της προς τα πάνω και την άλλη προς τα κάτω, με αποτέλεσμα αυτή να περιστρέφεται. Γι' αυτό και το σύρμα λέγεται "ρότορας", ενώ ο ηλεκτρομαγνήτης "στάτορας". Αυτός αντιστρέφει τη φορά του ρεύματος δύο φορές σε κάθε περιστροφή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή φορά περιστροφής του ρότορα.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούν μια κατηγορία στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών. Το βασικό στοιχείο μιας στρεφόμενης ηλεκτρικής μηχανής είναι η μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Σύμφωνα με το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, όταν ένας αγωγός (δηλαδή ένα αγώγιμο ηλεκτρικά υλικό) που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε στον αγωγό αυτό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο μια δύναμη που τείνει να τον κινήσει, η οποία ονομάζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την ένταση του μαγνητικού πεδίου, αλλά και το μήκος του αγωγού. Σημειώνεται πως η φορά της ασκούμενης στον αγωγό δύναμης αντιστρέφεται είτε αν αλλάξει η φορά του ρεύματος, είτε αν αντιστραφεί η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου [6]. Πληροφοριακά, οι κινητήρες στην βιομηχανία καταναλώνουν περίπου το 70% του συνολικού φορτίου.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες : στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC motors) και στους κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (AC motors), οι οποίοι καλύπτουν την πλειοψηφία των εφαρμογών.

Οι ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος ιστορικά προηγούνται των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος. Η δυνατότητα που παρέχουν για εύκολο έλεγχο ταχύτητας και ροπής τις είχε καταστήσει για δεκαετίες τη μοναδική επιλογή για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης που απαιτούσαν μεταβλητή ταχύτητα λειτουργίας. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν χρησιμοποιηθεί για πάρα πολλά χρόνια σε συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και θεωρούνταν αναντικατάστατοι σε εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής, όπως για παράδειγμα στα τρένα. Μόνο τα τελευταία είκοσι χρόνια δόθηκε η δυνατότητα αντικατάστασής τους από τους ασύγχρονους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (κινητήρες επαγωγής) που οδηγούνται με προηγμένες τεχνικές ελέγχου.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται επιμέρους στους σύγχρονους και στους ασύγχρονους ή επαγωγικούς. Στους σύγχρονους κινητήρες η μέση ταχύτητα περιστροφής είναι ευθέως ανάλογη της συχνότητας της εφαρμοζόμενης εναλλασσόμενης τάσης και σε αντίθεση με τις επαγωγικούς χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες.



Εικόνα 3.1 Τα μέρη ενός σύγχρονου κινητήρα.

Οι επαγωγικοί κινητήρες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την κατασκευαστική δομή του δρομέα τους, σε κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού και σε κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα. Διακατέχονται από σημαντικά πλεονεκτήματα όπως υψηλή αξιοπιστία και απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής χωρίς ιδιαίτερες ανάγκες συντήρησης, με μικρό βάρος και όγκο.



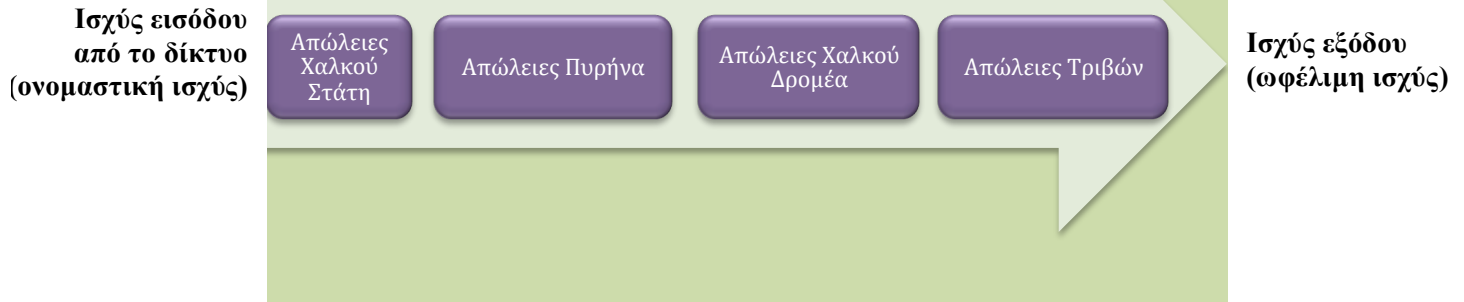
Εικόνα 3.2 Ένας επαγωγικός κινητήρας.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τους μοντέρνους αντιστροφείς και τις προηγμένες τεχνικές ελέγχου, τους καθιστούν την ιδανική επιλογή για τα περισσότερα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης. Ήδη υπάρχει η τάση αντικατάστασης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος σε βιομηχανικό επίπεδο από τους πιο οικονομικούς και αξιόπιστους κινητήρες επαγωγής ενώ το ενδιαφέρον για νέες εφαρμογές τους είναι αυξημένο.

Η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας προφανώς επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη λειτουργία διαφόρων τεχνικών διατάξεων, εκ των οποίων τον πρώτο ρόλο διαδραματίζει η ηλεκτρική μηχανή. Η διαδικασία αυτή συνοδεύεται πάντοτε από απώλειες, οι οποίες πρέπει να ελαχιστοποιούνται με σκοπό αφενός την κατά τον δυνατόν μειωμένη χρήση των φυσικών ενεργειακών πόρων και αφετέρου την βελτίωση της διαδικασίας μετατροπής με κριτήρια οικονομικά, περιβαλλοντολογικά και λιγότερων φθορών του συστήματος μετατροπής.

Η ηλεκτρική ισχύς, που είναι απαραίτητη να αναγράφεται στις πινακίδες των κινητήρων, αναφέρεται στην τιμή της ισχύος που απορροφάει ο κινητήρας από το ηλεκτρικό δίκτυο και ονομάζεται επίσης ονομαστική ισχύς (P_{in}). Η ωφέλιμη ισχύς (P_{out}) όμως είναι αυτή που καταλήγει στο φορτίο και συνήθως εκφράζεται σε Hp. Επίσης υπάρχουν οι απώλειες μαγνήτισης, κορεσμού και τριβών, όπως επίσης και οι απώλειες του στάτη και του δρομέα. Όλες αυτές οι απώλειες αφαιρούνται από την ηλεκτρική ισχύ του εκάστοτε κινητήρα και στο τέλος παραμένει η ωφέλιμη ισχύς που μπορεί να καταναλωθεί από το φορτίο.

Σε όλους τους ηλεκτρικούς κινητήρες χάνεται ένα ποσό ενέργειας από απώλειες λόγω: τριβής, κορεσμού, μαγνήτισης, δρομέα και στάτη. Οι απώλειες εξαρτώνται από τα χρησιμοποιούμενα υλικά, το σχεδιασμό των συνιστούντων στοιχείων του συστήματος, τις γεωμετρικές διαστάσεις, τον τρόπο λειτουργίας και τη συντήρηση. Η χαμένη ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία πρέπει να απομακρύνεται από το σύστημα μέσω ενός συστήματος ψύξης, διότι διαφορετικά προκαλεί καταπόνηση και φθορές με αποτέλεσμα να επέρχεται μείωση της διάρκειας ζωής και ενδεχομένως καταστροφή κάποιων συνιστούντων στοιχείων. Εκτός από τις αρνητικές επιπτώσεις στο ίδιο το σύστημα, οι απώλειες ενέργειας προκαλούν οικονομικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα, μειώνουν τους φυσικούς πόρους, επιδρούν αρνητικά στον άνθρωπο και στην ζωή γενικώς.



Σχήμα 3.1 Τυπικό διάγραμμα ροής ισχύος από το δίκτυο προς την έξοδο της μηχανής.

3.2 Επιδράσεις κατασκευαστικών χαρακτηριστικών

Ο βαθμός απόδοσης των ηλεκτρικών κινητήρων προσδιορίζεται από τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά καθώς και από τις συνθήκες λειτουργίας τους. Οι απώλειες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Οι απώλειες των ηλεκτρικών μηχανών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Εκείνες που εξαρτώνται από το φορτίο και εκείνες που είναι ανεξάρτητες του φορτίου. Οι πρώτες εμφανίζονται στα αγωγικά υλικά του στάτη και του δρομέα και είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος που εξαρτάται από το φορτίο. Η άλλη κατηγορία είναι ανεξάρτητη του φορτίου αλλά εξαρτάται από το μαγνητικό πεδίο, το οποίο με την σειρά του εξαρτάται από την ηλεκτρική τάση. Πρόκειται για τις απώλειες στα σιδηρομαγνητικά υλικά όταν διαρρέονται από εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο (απώλειες υστέρησης και δινορευμάτων), τις απώλειες τριβών στα έδρανα και τις απώλειες λόγω αντίστασης του ανέμου με την περιστροφή του δρομέα.

Επιστημονικές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η επέμβαση στα τεχνικά χαρακτηριστικά των κινητήρων μπορεί να επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα στην μείωση των απωλειών. Ειδικότερα η χρήση περισσότερου χαλκού και μεγαλύτερης διατομής οδηγεί σε μείωση της αντίστασης των τυλιγμάτων ή των μπαρών του στάτη και του δρομέα. Αυτό είναι εφικτό τροποποιώντας το σχεδιασμό των αυλακώσεων ή μειώνοντας το πάχος της μόνωσης μέχρι φυσικά τα επιτρεπόμενα όρια. Επίσης χρησιμοποιώντας υλικά με αυξημένη μαγνητική διαπερατότητα οι απώλειες υστέρησης μειώνονται. Τέλος, οι απώλειες που οφείλονται στα δινορεύματα ελαττώνονται με μείωση του πάχους των ελασμάτων του πυρήνα.

Με τη χρήση του χαλκού αντί του αλουμινίου ως υλικό αγωγού για τους κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού, οι απώλειες του ρότορα περιορίζονται σημαντικά. Το αποτέλεσμα είναι οι ακόλουθες διαφορές σε σχέση με το αλουμίνιο:

- Η ολίσθηση υπό φορτίο η οποία είναι ανάλογη με τις απώλειες του ρότορα, είναι σημαντικά μικρότερη.
- Η καμπύλη ροπής στην περιοχή λειτουργίας είναι πολύ πιο απότομη.
- Η κατανομή της ροπής επιτυγχάνεται με ένα χαμηλότερο επίπεδο ολίσθησης.
- Η ροπή εκκίνησης, η οποία είναι ανάλογη με τις απώλειες ρότορα, είναι επίσης χαμηλότερη.

Σε σχέση με τον κινητήρα αλουμινίου στον ενεργειακά αποδοτικό κινητήρα με ρότορα χαλκού μια αύξηση της ποσότητας σιδήρου θα χρειαστεί σε ελάχιστες περιπτώσεις, ή και καθόλου. Ο χαλκός αν και σημαντικό στοιχείο στη κατασκευή δεν αρκεί από μόνος του να επιφέρει αποτελέσματα.

Ελασματοποιήσεις με μικρότερες προδιαγραφές απωλειών σιδήρου, και μεγαλύτερες διατομές περιελίξεων, είναι μερικά ακόμα από τα στοιχεία που χρειάζονται.

Οι κινητήρες που έχουν «καταγράψει» πολλές ώρες χρήσης είναι υποψήφιοι για αντικατάσταση από υψηλότερης αποδοτικότητας κινητήρες, ιδιαιτέρως εάν είναι και ξεπερασμένης τεχνολογίας.

Αναλόγως την ισχύ που παράγουν οι κινητήρες κατηγορίας EFF1 μπορούν να αυξήσουν την λειτουργική τους απόδοση μέχρι και 10%, σε σύγκριση με τους κοινούς κινητήρες, πράγμα που σημαίνει 10% μείωση των απωλειών με ό,τι αυτό συνεπάγεται.

Στους κινητήρες που έχουν υποστεί επαναπεριέλιξη του τυλίγματος διέγερσης η απόδοση μειώνεται 3 με 4% σε σχέση με τον αρχικό κινητήρα.

Είδος απωλειών	Επιλογές εξοικονόμησης
Σταθερές απώλειες (σιδήρου)	Χρήση λεπτότερων ελασμάτων, λιγότερες απώλειες πυρήνα χάλυβα μειώνουν τις απώλειες από ρεύματα eddy* . Σχεδιασμός μεγαλύτερου πυρήνα προσθέτει περισσότερο χάλυβα στην κατασκευή, το οποίο μειώνει τις απώλειες.
Απώλειες στάτη	Χρήση περισσότερου χαλκού και μεγαλύτερων αγωγών αυξάνει διατομή των τυλιγμάτων στάτη. Το αποτέλεσμα αυτού είναι να μειωθεί η αντίσταση των περιελίξεων και έτσι να αυξηθεί η ροή ρεύματος, πράγμα το οποίο μειώνει τις απώλειες.
Απώλειες ρότορα	Χρήση μεγαλύτερων διατομών αγωγών, μειώνει την αντίσταση και αυξάνει την ροή ρεύματος, μειώνοντας έτσι και εδώ τις απώλειες.
Απώλειες τριβών και περιελίξεων	Χρήση φτερωτών που είναι ειδικά σχεδιασμένες μπορούν να μειώσουν και τις απώλειες λόγω της κυκλοφορίας του αέρα.
Απώλειες φορτίου (μεταβαλλόμενες)	Χρήση αυστηρών ελέγχων των προδιαγραφών και της ποιότητας του φορτίου μπορεί να μειώσει της σκεδαζόμενες απώλειες του.

Πίνακας 3.1 Απώλειες στα διάφορα μέρη του κινητήρα και τεχνικές μείωσής τους. [7]

*Απώλειες από ρεύματα eddy: Απώλειες ισχύος σε συσκευές που χρησιμοποιούν αγωγίμους πυρήνες με περιέλιξη, όπως Μ/Σ και επαγωγικά πηνία, που οφείλεται στην μετατροπή των δημιουργούμενων ρευμάτων eddy μέσα στους πυρήνες με θερμότητα Joule.

Είδος απωλειών	Τιμές απωλειών %	Παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις απώλειες
Απώλειες στάτη	30-50	Υλικό και μέγεθος του αγωγού του στάτη
Απώλειες ρότορα	20-25	Υλικό και μέγεθος του αγωγού του ρότορα
Απώλειες πυρήνα	20-25	Τύπος και ποιότητα μαγνητικού υλικού
Απώλειες φορτίου	5-15	Κακή επιλογή κινητήρα για την εξυπηρέτηση φορτίου
Απώλειες περιστροφής και περιελίξεων	5-10	Σχεδίαση και κατάλληλη επιλογή της φτερωτής και τριβέων

Πίνακας 3.2 Τυπικές απώλειες σε έναν επαγωγικό κινητήρα ε.ρ. [8]

3.3 Κατηγορίες ηλεκτρικών μηχανών ανάλογα με την απόδοσή τους

Πριν λίγα χρόνια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σε συνεργασία με τους κατασκευαστές κινητήρων, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% της ευρωπαϊκής παραγωγής τυποποιημένων κινητήρων, συμφώνησαν στην καθιέρωση τριών κατηγοριών για τους κινητήρες, ανάλογα με τον βαθμό απόδοσής τους. Οι κατηγορίες αυτές αφορούν διπολικούς και τετραπολικούς επαγωγικούς κινητήρες ονομαστικής ισχύος από 1.1 έως 90 kW. Τα ονόματα των κατηγοριών είναι EFF1, EFF2 και EFF3, με την EFF1 να αποτελεί την υψηλότερη.

Ο εκάστοτε κατασκευαστής ήταν υποχρεωμένος να αναγράφει στην πινακίδα της μηχανής την κατηγορία που ανήκει ο κινητήρας, όπως επίσης και να την αναγράφει σε όλους τους καταλόγους. Κύριο μέλημα των κατασκευαστών αποτελούσε η ένταξη των κινητήρων τους στην υψηλότερη κατηγορία EFF1 που αποτελεί και την πιο αποδοτική, και αυτό συνεπάγεται την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας για το ίδιο μηχανικό έργο. Επίσης το όλο εγχείρημα είχε σαν σκοπό την πλήρη κατάργηση των κινητήρων που ανήκαν στην κατηγορία EFF3 που αποτελούσε την πιο ενεργοβόρα. Τέλος, σημαντικό κριτήριο που λαμβανόταν υπόψη ήταν και η χρήση τους, σπάνια, συχνή, συνεχόμενη. Έτσι, μια κατάταξη των κινητήρων αναλόγως την χρήση τους θα ήταν η ακόλουθη:

Κατηγορία	Χρήση	Απόδοση
EFF1	Συνεχόμενη	Πολύ υψηλή
EFF2	Συχνή	Υψηλή
EFF3	Περιστασιακή – Σπάνια	Χαμηλή

Πίνακας 3.3 Κατηγοριοποίηση κινητήρων ανάλογα με τη χρήση τους

Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, έχοντας στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητας των ηλεκτρικών μηχανών, έχει οργανώσει πλήθος προγραμμάτων και ενεργειών.

Οι κυριότερες από τις ενέργειες που έχει ξεκινήσει περιλαμβάνουν τα παρακάτω :

- Κατηγοριοποίηση κινητήρων και σήμανσης ενεργειακής τους κατανάλωσης.
- Καθορισμός και εφαρμογή των προτύπων ενεργειακής απόδοσης.
- Έρευνα, ανάπτυξη και επίδειξη προς όλους τους άμεσα εμπλεκόμενους με την ενέργεια.
- Εθελοντικές συμφωνίες με κατασκευαστές γνήσιου εξοπλισμού, Original Equipment Manufacturers (OEM).
- Προγράμματα πληροφόρησης (συνέδρια, μαθήματα, έντυπα).
- Τεχνικά Εργαλεία (Αλγόριθμοι υπολογισμών, βάσεις δεδομένων κτλ).

Στο πλαίσιο αυτό, το Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Joint Research Centre (JRC), έχει αναπτύξει για λογαριασμό της εταιρίας DG TREN μια ευρωπαϊκή βάση δεδομένων κινητήριων συστημάτων, γνωστή ως «EuroDEEM». Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ξεκίνησε το 1995 με την δημιουργία ενός συστήματος για την προώθηση και επιλογή Ενεργειακά Αποδοτικών Κινητήρων (E.A.K). Το πεδίο εφαρμογής της βάσης δεδομένων που περιέχει διάφορα στοιχεία για έναν ηλεκτρικό κινητήρα, είναι να διαθέσει ένα σημαντικό μέσο πληροφόρησης που επιτρέπει στους χρήστες να προβούν εύκολα σε αξιολόγηση των κινητήρων, για την εγκατάσταση νέων ή για αντικατάσταση παλαιών. Ουσιαστικά δηλαδή αποτελεί ένα ακόμη μέσο που βοηθάει στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και το πακέτο λογισμικού EuroDEEM επιτρέπει στους χρήστες να επιλέξουν τον καταλληλότερο ηλεκτρικό κινητήρα για οποιαδήποτε χρήση, υπολογίζοντας την ηλεκτρική και οικονομική κατανάλωση. Το κυριότερο πλεονέκτημά του όμως είναι ότι απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών, καθώς μπορεί να το χρησιμοποιήσει ο οποιοσδήποτε και ας μην έχει ηλεκτρολογικές ή μηχανικές γνώσεις. Μια κοινή βάση δεδομένων δηλαδή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κατασκευαστές, εμπόρους, τεχνίτες και καταναλωτές.

Με την πάροδο των χρόνων οι απαιτήσεις και τα δεδομένα άλλαξαν, άρα οι αλλαγές στις κατηγορίες απόδοσης των κινητήρων ήταν επιβεβλημένες. Το επόμενο στάδιο λοιπόν ήταν η δημιουργία νέων κατηγοριών, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες συνθήκες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση σε συνεργασία με την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission- I.E.C.) βαθμονόμησαν εκ νέου τους ασύγχρονους κινητήρες 50-60Hz με ισχύ από 0,75 kW μέχρι 375kW. Οι νέες κατηγορίες ονομάστηκαν IE από τα αρχικά International Efficiency και αντικατέστησαν από το 2010 της κατηγορίες EFF και τις προδιαγραφές τους.

Τα νέα στοιχεία που προστέθηκαν είναι:

- Πλήρης κατάργηση της κατηγορίας EFF3.
- Αντιστοιχία της κατηγορίας IE1 με την EFF2, και της IE2 με την EFF1.
- Δημιουργία νέας κατηγορίας υψηλότερης απόδοσης της EFF1.
- Οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χώρα χρήσης του κινητήρα.

Η Βόρεια Αμερική τέλος, έχει δημιουργήσει αντίστοιχες κατηγορίες γνωστές και ως NEMA για κινητήρες που δουλεύουν στα 60 Hz.

Η εφαρμογή Ενεργειακά Αποδοτικών Κινητήρων θα μπορούσε να εξοικονομήσει για την Ευρώπη ένα σημαντικό ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, μπορεί να μειώσει την εκπομπή ρύπων CO_2 στην ατμόσφαιρα, προστατεύοντας το περιβάλλον και να σπρώξει προς τα κάτω το συνολικό περιβαλλοντικό κόστος της ηλεκτρικής παραγωγής. Τέλος, οι Ενεργειακά Αποδοτικοί Κινητήρες (Ε.Α.Κ.) μπορούν να μειώσουν το κόστος συντήρησης στις βιομηχανίες, όπως επίσης και να βελτιώσουν τις λειτουργίες τους.

3.4 Επίδραση διαστάσεων κινητήρα

Οι κινητήρες μεγάλου μεγέθους αν και είναι λιγότερο αποδοτικοί, συνηθίζεται να έχουν ακριβότερη τιμή από τους κοινούς κινητήρες. Οι κινητήρες γενικά λειτουργούν στην υψηλότερη απόδοσή με φορτίο από 60 μέχρι 100% (πλήρες φορτίο). Η απόδοση μειώνεται γρήγορα όσο μειώνεται το φορτίο κάτω από 50 %. Στα προηγούμενα χρόνια οι σχεδιαστές κινητήρων συνήθιζαν να κατασκευάζουν μεγάλους σε όγκο κινητήρες για λόγους ασφαλείας, και να ελαχιστοποιήσουν το ρίσκο της αποτυχίας, ακόμα και σε περιπτώσεις που αυτό δεν ήταν απαραίτητο. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι τουλάχιστον το 1/3 των κινητήρων μεγάλου μεγέθους λειτουργούν με λιγότερο από 50% απόδοση με πλήρες φορτίο. Την στιγμή που με ένα μέσο φορτίο για ένα κινητήρα τον αναγκάζει να λειτουργεί με 60% της απόδοσης του κατά μέσο όρο. Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι οι μεγάλων διαστάσεων κινητήρες συνεισφέρουν και στην αύξηση του συντελεστή ισχύος.

Υπερβολική προσαύξηση των συντελεστών ασφαλείας, κακή προσαρμογή του όποιου συστήματος σε σχέση με το φορτίο που αναμένεται να τροφοδοτήσει, τήρηση παλαιότερων προδιαγραφών ξεπερασμένης τεχνολογίας είτε ακόμα και λανθασμένη εκλογή κινητήρα για την χρήση που απαιτείται, είναι οι συνηθέστεροι λόγοι υπερδιαστασιολόγησης ενός κινητήρα. Δηλαδή εκλογή κινητήρα με επιπλέον χαρακτηριστικά από αυτά που επαρκούν ώστε να πραγματοποιήσει σωστά το έργο που πρόκειται να του ανατεθεί.

Είναι σημαντικό οι κινητήρες να επιλέγονται ελαφρώς χαμηλότεροι σε ισχύ από το μέγιστο φορτίο που πρόκειται να εξυπηρετήσουν. Είναι γνωστό άλλωστε ότι όλοι οι κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν έως και 15% παραπάνω της ονομαστικής ισχύος τους. Είναι επιτακτική η αλλαγή κινητήρων με μικρότερη χωρητικότητα εάν ο κινητήρας λειτουργεί κάτω από 50% με πλήρες φορτίο.

Στον επόμενο πίνακα ακολουθεί παράδειγμα με υπερδιαστασιολόγηση κινητήρων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάζεται αλλαγή συμβατικού κινητήρα 10hp που λειτουργεί στο 40% της ονομαστικής του ισχύος με αποδοτικό κινητήρα 5hp. Όλα τα αποτελέσματα αφορούν ετήσια λειτουργία 2500 ωρών, επίσης αφορούν το ενεργειακό σύστημα των ΗΠΑ (60Hz).

Πλήρες φορτίο υπερδιαστασιολογημένου κινητήρα (rpm)	Απόδοση κινητήρα 5hp 1780rpm % της ονομαστικής ισχύος του	Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)
1715	80.26	823
1720	80	849
1730	79.49	902
1740	78.98	955
Χωρίς προσαρμογή φορτίου		849

Πίνακας 3.4 Παράδειγμα αλλαγής κινητήρα με μικρότερο.

3.5 Ρύθμιση και έλεγχος κινητήρων

Για ένα δεδομένο φορτίο ο κινητήρας μετατρέπει ένα αντίστοιχο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια. Ένας σημαντικός αριθμός κινητήριων συστημάτων έχει την απλή μορφή, όπου δεν απαιτείται συστηματικός αυτόματος έλεγχος, όπως είναι κάποια συστήματα αντλιών, ανεμιστήρων, ανυψωτικών μηχανημάτων, κλπ. Υπάρχει όμως και ένας πολύ μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών κινητήριων συστημάτων στα οποία είναι απαραίτητος ο έλεγχος της λειτουργίας τους, με σκοπό να επιτυγχάνεται η διατήρηση ορισμένων μεγεθών σε επιθυμητές τιμές, σταθερές ή χρονικά μεταβαλλόμενες σύμφωνα με προβλεπόμενο χρονοδιάγραμμα.

Κύριο χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι η τροφοδοσία του ηλεκτρικού κινητήρα με μεταβλητά ηλεκτρικά μεγέθη, όπως μεταβλητή συχνότητα, κατά τέτοιο τρόπο ώστε η παραγόμενη ροπή στον άξονά του ή η ταχύτητα του να μεταβάλλονται κατάλληλα σύμφωνα με τια απαιτήσεις του φορτίου και γενικά σύμφωνα με προδιαγραφόμενη επιθυμητή λειτουργία.

Οι φτερωτές και οι αντλίες αποτελούν σε αυτή την κατηγορία ένα δυναμικό κομμάτι, καθώς προσφέρονται απλόχερα για ρύθμιση στροφών και κατά συνέπεια για ευκολότερο έλεγχο. Ο έλεγχος των ρευστών (κύρια λειτουργία αντλιών) συχνά χρησιμοποιεί βαλβίδες, κινητά διαφράγματα, συστήματα ρύθμισης ροής, κλπ. Όλα αυτά απαιτούν ισχύ απωλειών ενώ οι κινητήρες πρέπει να λειτουργούν με μέγιστη ταχύτητα.

Οι ανεμιστήρες και οι αντλίες συνήθως χρησιμοποιούνται χωρίς έλεγχο των στροφών. Αντί για αυτό η παροχή ρυθμίζεται συμβατικά με στραγγαλιστικές διατάξεις, βαλβίδες ή κλαπέτα. Ωστόσο όταν η παροχή δεν ρυθμίζεται καθόλου ο κινητήρας λειτουργεί αδιάλειπτα με πλήρη ταχύτητα ανεξαρτήτως της ροής. Επειδή όμως τα συστήματα που χρησιμοποιούν αντλίες ή φτερωτές σπανίως χρειάζονται μέγιστη παροχή, ένα σύστημα χωρίς αυξομειώση σπαταλά άσκοπες ποσότητες ενέργειας. Ένας αυξομειωτής στροφών με μετατροπέα συχνότητας παρέχει τη δυνατότητα εξοικονόμησης σε ποσοστό έως και 70%.

Σε μια συμβατική εγκατάσταση άντλησης και εξαερισμού, ο ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτείται απευθείας από τη γραμμή παροχής και λειτουργεί στις ονομαστικές στρόφες του. Με έναν ρυθμιστή τοποθετημένο μεταξύ του αυτόματου διακόπτη και του κινητήρα, η εξοικονόμηση του κόστους ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να φτάσει από 15% έως 50% ανάλογα με την εγκατάσταση. Η απόσβεση της επένδυσης είναι συνήθως αρκετά σύντομη, μεταξύ 9 και 24 μηνών. [9]

Πολλοί είναι αυτοί όμως που θα αναρωτηθούν με ποιες τεχνολογίες θα υπάρξουν τόσο σημαντικές μειώσεις στις απώλειες, και αν ασφαλώς συμφέρουν. Παρακάτω, αναλύονται ορισμένες από αυτές.

3.5.1 Τεχνολογίες ελέγχου κινητήρων

Έλεγχος με μικροελεγκτές

Σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη των συστημάτων με ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος παίζει η εξέλιξη των ηλεκτρονικών χαμηλής ισχύος και υψηλής συχνότητας λειτουργίας, με κυρίαρχα στοιχεία τους μικροϋπολογιστές, οι οποίοι κατάλληλα προγραμματιζόμενοι μπορούν να οδηγήσουν τους ηλεκτρικούς κινητήρες κατά τρόπο, ώστε να διεκπεραιώνουν τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανικό έργο ανταποκρινόμενοι σε ποικίλες απαιτήσεις. Επισημαίνεται ότι, στα ελεγχόμενα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό η τεχνολογία των σύγχρονων εξελιγμένων ηλεκτρονικών διατάξεων χαμηλής ισχύος.

Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι, η εξοικονόμηση ενέργειας δεν επιτυγχάνεται μόνο από τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του ηλεκτρικού υποσυστήματος, που αποτελείται από ηλεκτρονικό μετατροπέα και ηλεκτρικό κινητήρα, αλλά και από τις βελτιώσεις του μηχανικού υποσυστήματος καθώς και της διαδικασίας λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος που περιλαμβάνει τις μονάδες ελέγχου βασιζόμενες σε μικροϋπολογιστικά συστήματα.

Αυξομείωση στροφών του συστήματος κίνησης με μετατροπέα ισχύος

Με τη χρήση ημιαγωγίων στοιχείων ισχύος (θυρίστορ, τρανζίστορ ισχύος, MOSFET ισχύος, IGBT) είναι δυνατός ο ακριβής έλεγχος της κινητικής κατάστασης των ηλεκτρικών κινητήρων σε μια ευρεία περιοχή λειτουργίας με γρήγορο και αξιόπιστο τρόπο. Τα προηγμένα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνικές αυτομάτου ελέγχου αλλά και ηλεκτρονικά ισχύος επιτυγχάνουν έλεγχο ροπής και ταχύτητας σχεδόν σε όλο το εύρος λειτουργίας τους, δηλαδή έχουν τη δυνατότητα ελέγχου της μετατρεπόμενης ποσότητας ισχύος. Κατά αυτό τον τρόπο προσφέρουν δυνατότητες για σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Η χρήση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος σε παγκόσμιο επίπεδο ειδικά για τον έλεγχο των ηλεκτρονικών κινητήρων, παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη μείωση των απωλειών και επομένως στην εξοικονόμηση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας.

Αυξομείωση στροφών του συστήματος κίνησης με μετατροπέα συχνότητας.

Οι περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (ΘΕΚ) και συστήματα μεταφοράς νερού, είναι ασύγχρονοι κινητήρες τύπου κλωβού. Η ευρεία χρήση τους οφείλεται στη σχετικά χαμηλή τιμή αγοράς, το χαμηλό κόστος συντήρησης και την υψηλή αξιοπιστία τους. Ωστόσο, η μοναδική δυνατότητα ελέγχου του αριθμού στροφών τέτοιου κινητήρα συνίσταται στην τροποποίηση της συχνότητας του ρεύματος εισόδου (εναλλασσόμενο ρεύμα). Εδώ λοιπόν εφαρμόζεται η αρχή του Μετατροπέα Συχνότητας (ΜΣ). Οι μετατροπείς συχνότητας είναι γνωστοί με πολλές ονομασίες, όπως αναστροφείς, συστήματα κίνησης μεταβλητής ταχύτητας (VSD), συστήματα κίνησης μεταβλητής συχνότητας (VFD), αυξομειωτές στροφών ή μετατροπείς συχνότητας. Όλοι αυτοί οι χαρακτηρισμοί βασίζονται στην ίδια αρχή: μία ηλεκτρονική διάταξη για τον αδιαβάθητο έλεγχο του αριθμού στροφών των ηλεκτροκινητήρων. Τα σύγχρονα συστήματα VFD έχουν ωστόσο και άλλα χρήσιμα χαρακτηριστικά, όπως π.χ. λειτουργίες ελέγχου και προστασίας για άλλα στοιχεία του συστήματος.

Η σχέση μεταξύ μεταβλητών, όπως η πίεση, η παροχή, ο αριθμός στροφών άξονα και η κατανάλωση ρεύματος μπορεί να εκφραστεί με τους νόμους της αλληλοεπίδρασης. Αυτοί ισχύουν τόσο για φυγοκεντρικούς όσο και για αξονικούς ανεμιστήρες και αντλίες. Από αυτούς τους κανόνες προκύπτει ότι η αύξηση της ογκομετρικής παροχής είναι ανάλογη του αριθμού στροφών, ενώ η πίεση είναι ανάλογη του τετραγώνου του αριθμού στροφών. Το σημαντικότερο από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας είναι ότι η κατανάλωση ρεύματος είναι ανάλογη του αριθμού στροφών στην τρίτη δύναμη. Αυτό συνεπάγεται ότι μία μικρή μείωση του αριθμού στροφών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο περιορισμό της κατανάλωσης ρεύματος.

3.5.2 Σύγκριση της αυξομείωσης στροφών με άλλες μεθόδους ελέγχου της παροχής

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που παρέχουν την δυνατότητα ελέγχου της παροχής, οι πιο συνηθισμένοι είναι οι εξής :

- Στραγγαλισμός με την βοήθεια κλαπέτων ή βαλβίδων. Δηλαδή πρόσθεση επιπλέον αντιστάσεων στην διαδρομή του υγρού ώστε η ροή στην έξοδο να είναι πιο ισχυρή και έτσι η κατανάλωση να είναι η λιγότερη δυνατή.
- Χρήση βαλβίδων εισαγωγής σε φυγοκεντρικούς για περιορισμό του ρεύματος αέρα στον ανεμιστήρα.
- Χρήση συνεκτικών συμπλεκτών και δινορευμάτων για έλεγχο της ροπής στρέψης μεταξύ του ανεμιστήρα και κινητήρα.
- Έλεγχος με χρήση on/off.
- Ρύθμιση της κλίσης των πτερυγίων σε αξονικούς ανεμιστήρες η γωνία των πτερυγίων του ανεμιστήρα μεταβάλλεται για τον έλεγχο της ογκομετρικής παροχής.
- Στις αντλίες πρόσθεση επιπλέον γραμμής στην διαδρομή του υγρού προς τα πίσω έτσι ώστε να υπάρχει επιπλέον διαδρομή και να ξαναγυρίζει το υγρό στην δεξαμενή.

Το κοινό όλων των παραπάνω μεθόδων ελέγχου της παροχής συνίσταται στο γεγονός ότι καμία από αυτές δεν επηρεάζει άμεσα την κατανάλωση ρεύματος. Υπάρχουν ασφαλώς δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης ρεύματος σε μερικά από αυτά τα στοιχεία, αλλά καμία από αυτές δεν είναι αποδοτική όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας όσο η χρήση συστημάτων ελέγχου του αριθμού των στρόφων με ΜΣ επειδή ο κινητήρας εξακολουθεί να λειτουργεί με πλήρη ισχύ. Τέλος ένας συνδυασμός και των δύο, δηλαδή του ελέγχου παροχής και του ελέγχου στροφών θα απέφερε ακόμη μεγαλύτερη εξοικονόμηση.

Αρχή λειτουργίας του μετατροπέα συχνότητας, εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων στην πράξη

Τα συστήματα ΜΣ λειτουργούν συνήθως με βάση μία ευθέως ανάλογη σχέση συχνότητας- τάσης. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση αύξησης της συχνότητας του αριθμού στροφών του κινητήρα κατά 10% αυξάνει επίσης κατά 10% η τάση. Ορισμένοι ΜΣ έχουν επίσης μια επιπρόσθετη λειτουργία την λεγόμενη «Βελτιστοποίηση ροής», με την οποία βελτιστοποιείται το επίπεδο τάσης μέσω της προσαρμογής αυτής της σχέσης. Αυτή η λειτουργία μπορεί να αποδώσει μία πρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 5%. Εκτός αυτού παρέχεται η δυνατότητα απενεργοποίησης του ανεμιστήρα ψύξης όταν αυτός δεν είναι απαραίτητο να λειτουργεί. Αυτό μια ακόμα επιπλέον τη εξοικονόμηση ενέργειας και παρατείνει τη διάρκεια ζωής του μοναδικού κινούμενου μέρους του ΜΣ.

Αφού επισημάνθηκαν οι διαφορές όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τις συμβατικές διατάξεις καλό είναι να γνωρίζει και ο καταναλωτής με ένα απλό παράδειγμα και το κέρδος σε χρήματα.

Η χρήση μετατροπέων συχνότητας για τον έλεγχο του αριθμού στροφών μηχανών συνεχούς ροής, όπως αντλιών, ανεμιστήρων και συμπιεστών δεν είναι καινούργια ιδέα. Ωστόσο οι νέες τεχνολογίες στον τομέα αυτό κάνουν αυτή την λύση ακόμα ελκυστικότερη λόγω του περιορισμένου κόστους. Η χρήση ηλεκτροκινητήρων με αυξομείωση στροφών σε συστήματα ΘΕΚ παρέχει σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία συμβάλλει σημαντικά στην τήρηση τοπικών και διεθνών συμφωνιών και προτύπων στον τομέα της πολιτικής εξοικονόμησης ενέργειας και στην μείωση των εκπομπών ρύπων διοξειδίου του άνθρακα.

3.6 Αντικατάσταση κινητήρων

Η αντικατάσταση των κινητήρων σαφώς και αποτελεί την ευκολότερη λύση όσον αφορά την μείωση των ενεργειακών απωλειών. Πόσο μάλλον όταν πρόκειται για αντικατάσταση πεπαλαιωμένων κινητήρων που δεν πληρούν σε κανένα σημείο τις σύγχρονες προδιαγραφές. Αν και είναι για προφανείς λόγους να αντικαταστήσει κάποιος ένα κινητήρα αποτελεί την πιο δαπανηρή λύση. Το πραγματικό κέρδος όμως επιτυγχάνεται σε βάθος χρόνου.

Ο πελάτης όπως είναι φυσικό το πρώτο πράγμα που θα κοιτάξει όταν θα επιθυμήσει να αγοράσει ένα κινητήρα είναι η τιμή αγοράς. Όμως το πραγματικό κόστος δεν είναι ούτε της αγοράς ούτε της συντήρησης. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κάποιος στον παρακάτω πίνακα το κόστος λειτουργίας φτάνει στους περισσότερους κινητήρες σε τιμές πάνω από 90% επί του συνολικού κόστους ανεξαρτήτως ισχύος.

	1.5 kW	15 kW	110 kW
Κόστος συντήρησης	0.9 %	0.2 %	0.1 %
Κόστος αγοράς	2.3 %	1.1 %	0.9 %
Κόστος λειτουργίας	96.8 %	98.7 %	99 %

Πίνακας 3.5 Σύγκριση κόστους στα διάφορα στάδια ζωής του κινητήρα. [10]

Στο σημείο αυτό αξίζει να κάνουμε μια αναφορά στα συμπεράσματα της εργασίας [11]. Στην εργασία αυτή, η αντικατάσταση αντλιών με μεγαλύτερη απόδοση στις περιοχές των υποσταθμών Ιεράπετρας και Μοιρών, θα μπορούσε να επιφέρει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Η Ιεράπετρα, στο διάστημα της προσομοίωσης, πέτυχε εξοικονόμηση μεγαλύτερη σε σχέση με των Μοιρών και ξεπέρασε τις 200 kWh ημερήσιας κατανάλωσης.
- Οι Μοίρες στο ίδιο χρονικό διάστημα πέτυχαν εξοικονόμηση ενέργειας περίπου ίση με 152 kWh ημερησίας κατανάλωσης.
- Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα δείχνουν για αλλαγές με κινητήρες προνομιακής απόδοσης μια μεταβολή στην ζήτηση που φτάνει έως και 30 kW ανά ώρα για τις ώρες αιχμής για τους Υ/Σ των περιοχών αυτών. Με απλή αντικατάσταση του 5% των αντλιών σε δύο από τις περιοχές της Κρήτης είναι εφικτή εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης των 30 kW/h. Εύκολα μπορεί να φανταστεί κάποιος που θα μπορούσε να φτάσει αυτό το νούμερο αν η αντικατάσταση περιελάμβανε το 5% όλης της Κρήτης ή ακόμα και μεγαλύτερο ποσοστό αντλιών.
- Τα οικονομικά αποτελέσματα είναι εξίσου ενθαρρυντικά καθώς σε περιόδους αιχμής για την Κρήτη (θερινή περίοδος) το εξοικονομούμενο κόστος για καύσιμα ανέρχεται σε 175 €/MWh στην χαμηλή ζήτηση και 250 €/MWh στην υψηλή. Όλα αυτά σε καθημερινή βάση στην περίοδο που φτάνει το νησί στην μέγιστη ζήτηση.
- Αξίζει επίσης να αναφερθούν οι αλλαγές που προκαλούνται στην λειτουργία των 2 εργοστασίων των Χανίων και των Λινοπεραμάτων. Στην χαμηλή ζήτηση ο σταθμός Χανίων μειώνει την παραγωγή του έως και 91%. Ενώ των Λινοπεραμάτων κατά 9 %. Αντίστροφα, στην υψηλή ζήτηση τα Λινοπεράματα μειώνουν την παραγωγή τους 87%, και τα Χανιά 13%.

Επομένως, τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας εργασίας επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η αντικατάσταση των κινητήρων, στην προκειμένη περίπτωση αντλιών, δημιουργεί μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και άρα και χρημάτων.

3.7 Σημασία του συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$) στην εξοικονόμηση ενέργειας

Ως γνωστόν τα ωμικά ηλεκτρικά φορτία, δηλαδή όλες οι συσκευές που έχουν αντιστάσεις (κουζίνα, θερμοσίφωνα, λαμπτήρες πυρακτώσεως) απορροφούν από το δίκτυο μόνο ενεργό ισχύ (P) για την παραγωγή έργου. Σε αυτά τα φορτία η ένταση του ρεύματος (I) που απορροφούν από το δίκτυο δεν έχει διαφορά φάσης από την τάση (V) του δικτύου. Αντιθέτως, η πλειοψηφία των γραμμικών ηλεκτρικών φορτίων μιας εγκατάστασης, χρειάζεται, εκτός από ενεργό ισχύ για να παράγουν έργο, να καταναλώνουν και άεργο ισχύ (Q) για την δημιουργία και διατήρηση του μαγνητικού πεδίου που απαιτείται για την λειτουργία τους. Τα φορτία αυτά καλούνται επαγωγικά (φορτία που ενσωματώνουν πηνία).

Στα επαγωγικά φορτία η τάση προηγείται του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά μια γωνία ϕ , η οποία καλείται διαφορά φάσεως. Παράδειγμα τέτοιων φορτίων είναι οι ασύγχρονοι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στις παραγωγικές διαδικασίες βιομηχανιών και βιοτεχνιών, οι ανελκυστήρες και κυλιόμενες κλίμακες, τα ηλεκτρικά αντλητικά συστήματα, οι μετασχηματιστές, ανεμογεννήτριες ορισμένων τεχνολογιών, κάποια από τα ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς, τα κλιματιστικά μηχανήματα, και οι οικιακές συσκευές (ψυγεία, πλυντήρια κτλ). Το 80% της ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται σε επαγωγικά φορτία.

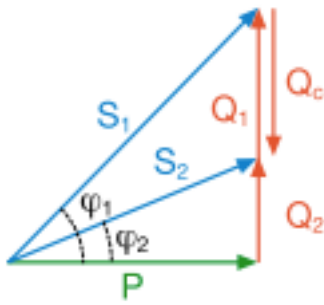
Η άεργος ισχύς, η οποία καταναλώνεται από επαγωγικά φορτία, ονομάζεται έτσι, διότι σε αντίθεση με την ενεργό ισχύ δεν μετατρέπεται σε έργο, αλλά αντανakλάται από τη συσκευή και επιστρέφει στο ηλεκτρικό δίκτυο με διαφορετική μορφή. Η άεργος ισχύς (reactive power) είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες, ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, η άεργος ισχύς, παρ' όλο που δεν παράγει έργο, υπάρχει στους ηλεκτρικούς αγωγούς ως ένταση (ρεύμα).

Επειδή το ρεύμα είναι υπεύθυνο για τις θερμικές απώλειες των αγωγών, η άεργος ισχύς αντισταθμίζεται στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και από τη ΔΕΗ με αυτοματοποιημένες συστοιχίες – ζεύξεις πυκνωτών. Η άεργος αυτή ισχύς χρεώνεται από τη ΔΕΗ στον καταναλωτή (εξαιρουμένων των οικιακών καταναλωτών). Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι πληρώνουμε ηλεκτρική ενέργεια που δε χρησιμοποιείται πουθενά. Μεγάλη άεργος ισχύς επίσης σημαίνει: μεγαλύτερες βυθίσεις τάσεως, μεγαλύτερες απώλειες σε μετασχηματιστές, μικρότερη διάρκεια ζωής για τους κινητήρες.

Ο βαθμός κατανάλωσης άεργου ισχύος από τα φορτία αυτά εκφράζεται με το μέγεθος Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$), το οποίο αντιστοιχεί στο λόγο της κατανάλωσης ενεργού ισχύος προς τη φαινόμενη ισχύ του φορτίου.

Αντίθετα από τα επαγωγικά, τα χωρητικά φορτία (σύγχρονοι κινητήρες, πυκνωτές), στα οποία το ρεύμα προηγείται της τάσης, παράγουν άεργο ισχύ. Έτσι όταν αυτά βρίσκονται σε κυκλώματα μαζί με επαγωγικά φορτία προσφέρουν ένα μέρος της άεργου ισχύος (αντισταθμίζουν) που αυτά θα απορροφούσαν από το δίκτυο. Έτσι μειώνεται η απορρόφηση άεργου ισχύος από το δίκτυο και κατ' επέκταση προκαλείται και μείωση της συνολικής απορροφημένης ισχύος. Παρόλα αυτά χρειάζεται προσοχή και στην αντισταθμισμό καθώς η υπερβολική αντισταθμισμό μπορεί να βλάψει εξίσου ή και περισσότερο το σύστημα.

Στο σημείο αυτό παραθέτουμε την παρακάτω εικόνα όπου φαίνεται η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στις τρεις μορφές της ισχύος:



Εικόνα 3.3 Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύς.

όπου:

- P : ενεργός ισχύς
- S_1 : φαινόμενη ισχύς πριν την αντιστάθμιση
- S_2 : φαινόμενη ισχύς μετά την αντιστάθμιση
- Q_1, φ_1 : άεργος ισχύς και γωνία μεταξύ P και S_1 πριν την αντιστάθμιση
- Q_2, φ_2 : άεργος ισχύς και γωνία μεταξύ P και S_2 πριν την αντιστάθμιση
- Q_c : άεργος ισχύς που απαιτείται για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος
- $Q_c = Q_1 - Q_2 = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$ (3.1)

Η σχέση 3.1 δίνει την άεργο ισχύ που πρέπει παρέχει η συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης, για βελτίωση του συντελεστή ισχύος από $\cos\varphi_1$ σε $\cos\varphi_2$.

Ένα σωστά αντισταθμισμένο φορτίο παρουσιάζει $\cos\varphi$ κοντά στη μονάδα (π.χ. 0,95 - 0,99) ενώ ένα φορτίο χωρίς αντιστάθμιση παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές (για τυπικούς επαγωγικούς κινητήρες 0.8-0.85). Πρέπει να αναφερθεί ότι μιλώντας για ονομαστικό συντελεστή ισχύος ενός κινητήρα αυτός ορίζεται για την τάση και ένταση της θεμελιώδους συχνότητας των 50Hz και σε 100% φόρτισή του.

3.7.1 Γενικά οφέλη διόρθωσης συντελεστή ισχύος

Τα οφέλη της διόρθωσης του συντελεστή ισχύος είναι αρκετά και μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε ως εξής: [22]

Οικονομικά

- Μείωση των απωλειών ενέργειας. Σε ένα τριφασικό σύστημα οι απώλειες εκφράζονται με την εξής σχέση:

$$p = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad (3.2)$$

Όμως ισχύει:

$$I = S / (\sqrt{3} \cdot U_n) \Rightarrow I = \sqrt{P^2 + Q^2} / (\sqrt{3} \cdot U_n) \Rightarrow 3 \cdot I^2 = (P^2 + Q^2) / U_n^2 \quad (3.3)$$

Έτσι, η (3.2) γίνεται:

$$p = R \cdot (P^2 + Q^2) / U_n^2 \quad (3.4)$$

με:

I : το ρεύμα του αγωγού
 R : η αντίσταση του αγωγού
 S : η φαινόμενη ισχύς του φορτίου
 P : η ενεργός ισχύς του φορτίου
 Q : η άεργος ισχύς του φορτίου
 U_n : η ονομαστική τάση τροφοδοσίας (πολική)

Παρατηρούμε ότι οι απώλειες ενέργειας στα καλώδια είναι ανάλογες με το τετράγωνο της έντασης του ρεύματος.

Έτσι, σύμφωνα με την 3.4 ισχύουν οι σχέσεις:

$$p_1 = R \cdot (P^2 + Q_1^2) / U_n^2 = (R / U_n^2) \cdot S_1^2 = (R / U_n^2) \cdot (P^2 / \cos^2 \varphi_1^2) \quad (3.5)$$

$$p_2 = (R / U_n^2) \cdot (P^2 / \cos^2 \varphi_2^2) \quad (3.6)$$

όπου:

p_1 : οι απώλειες πριν την διόρθωση του συντελεστή ισχύος

$\cos \varphi_1$: ο συντελεστής ισχύος πριν την αντιστάθμιση

$\cos \varphi_2$: ο συντελεστής ισχύος μετά την αντιστάθμιση

Επομένως, η μείωση των απωλειών μετά τη διόρθωση του $\cos \varphi$ εκφράζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_1 - p_2 = (R / U_n^2) \cdot (P^2 / \cos^2 \varphi_1^2) - (R / U_n^2) \cdot (P^2 / \cos^2 \varphi_2^2) = \\ &= (R / U_n^2) \cdot P^2 \cdot [(1 / \cos^2 \varphi_1^2) - (1 / \cos^2 \varphi_2^2)] \end{aligned} \quad (3.7)$$

ή βγάζοντας κοινό παράγοντα τις απώλειες p_1 πριν τη διόρθωση του $\cos \varphi$, από τη σχέση:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (R / U_n^2) \cdot (P^2 / \cos^2 \varphi_1^2) - (R / U_n^2) \cdot (P^2 / \cos^2 \varphi_2^2) = p_1 \cdot [1 - (\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2)^2] \quad (3.8)$$

Άρα, για έναν δεδομένο ΣΙ $\cos \varphi_1$, όσο πιο βελτιωμένος (μεγαλύτερος) είναι ο επιθυμητός ΣΙ $\cos \varphi_2$, τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση των απωλειών ενέργειας στο καλώδιο παροχής, το οποίο συνεπάγεται εξοικονόμηση χρημάτων. Αν λοιπόν για παράδειγμα, ο αρχικός συντελεστής ισχύος είναι ίσος με $\cos \varphi_1 = 0.85$, τότε η διόρθωσή του κατά $+0.01$ ($\cos \varphi_2 = 0.86$), θα επιφέρει μείωση απωλειών ενέργειας 2.3%, ενώ η διόρθωσή του κατά $+0.05$ ($\cos \varphi_2 = 0.9$), θα επιφέρει μείωση απωλειών ενέργειας 10.8%.

- Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρημάτων. Ο παροχέας ηλεκτρισμού χρεώνει πρόστιμο σε κάποιες κατηγορίες καταναλωτών με “κακό” συντελεστή ισχύος και άρα υπερβολική κατανάλωση αέργου ισχύος. “Κακοί” συντελεστές ισχύος θεωρούνται συνήθως αυτοί που είναι μικρότεροι του 0.95 ή του 0.90, ανάλογα τη χώρα. Η ΔΕΗ για παράδειγμα, επιβάλλει πρόστιμο σε κάποιες κατηγορίες καταναλωτών, το οποίο εκφράζεται μέσα από την Ενεργειακή Χρέωση του Δικτύου Διανομής, η οποία προσαυξάνεται σε συνάρτηση με το $\cos \varphi$. Δηλαδή, μικρότερο $\cos \varphi$ σημαίνει μεγαλύτερη χρέωση. Άρα, με τη βελτίωση του $\cos \varphi$ τα έξοδα προς τον πάροχο παρουσιάζουν μια ικανοποιητική μείωση. Πληροφοριακά, αυτού του είδους η επιβάρυνση που σχετίζεται με το “κακό” $\cos \varphi$ αφορά τις παρακάτω κατηγορίες καταναλωτών, σύμφωνα με τα νέα τιμολόγια της ΔΕΗ του 2012:

Μέση Τάση: ΓΕΝΙΚΟ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ

- Εμπορικό 2012 (Τιμολόγιο B1 & B2. Πολυκαταστήματα, κτίρια γραφείων, νοσοκομεία κλπ.)
- Βιομηχανικό 2012 (Τιμολόγιο B1B & B2B. Βιομηχανίες, βιοτεχνίες)

Χαμηλή Τάση: ΓΕΝΙΚΟ ΜΕ ΙΣΧΥ ΚΑΙ ΜΙΑ ΖΩΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Εμπορικό 2012 (Τιμολόγιο Γ22. Κτίρια γραφείων, μεγάλα καταστήματα, κλπ)

- Μείωση της φθοράς του εξοπλισμού της ηλεκτρικής εγκατάστασης και αύξηση της διάρκειας ζωής του, με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος συντήρησης του εξοπλισμού.

Ηλεκτρικά συστήματα και ποιότητα ενέργειας

- Μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής – διανομής των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας (μείωση ζήτησης) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία.
- Μείωση απωλειών ενέργειας σε καλώδια και μετασχηματιστές.
- Μείωση πτώσης τάσης.
- Αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας στα καλώδια.
- Αύξηση της διαθέσιμης ισχύος των μετασχηματιστών.

Κινητήρες και ηλεκτρικές συσκευές

- Μείωση της φθοράς τους.
- Παροχή ενός βαθμού προστασίας από υπερτάσεις.

Μείωση εκπομπών

- Μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθώς οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρειάζεται να παράγουν λιγότερη ενέργεια από ορυκτά καύσιμα. Δηλαδή, εφόσον υπάρχει μείωση των απωλειών ενέργειας όπως είδαμε πιο πάνω, οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρειάζεται να καλύψουν λιγότερες απώλειες μεταφοράς και διανομής, επομένως παράγουν λιγότερη ενέργεια προερχόμενη από ορυκτά καύσιμα, το οποίο είναι θετικό για το περιβάλλον.

3.7.2 Συσχέτιση φόρτισης κινητήρα με $\cos\phi$

Εάν ο κινητήρας κινεί φορτίο μικρότερο από το ονομαστικό του, τότε ο συντελεστής ισχύος του μειώνεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο Πίνακας 3.6. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους πρέπει να αποφεύγεται η, για λόγους σιγουριάς, υπερδιαστασιολόγηση ενός κινητήρα. Ένας υποδιαστασιολογημένος κινητήρας δεν θα μπορεί να κινήσει το φορτίο σε περιπτώσεις χαμηλής τάσεως τροφοδοσίας ή σε περίπτωση απαίτησης πρόσθετης ροπής. Επιπλέον θα υπερφορτίζεται και θα έχει αυξημένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Αντίθετα ένας υπερδιαστασιολογημένος κινητήρας δεν θα έχει δυσκολία να κινήσει το φορτίο του σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά θα έχει μειωμένο συντελεστή ισχύος.

Κινητήρας	cosφ
Φορτίο επαγωγικού κινητήρα 0 %	0.17
Φορτίο επαγωγικού κινητήρα 25 %	0.55
Φορτίο επαγωγικού κινητήρα 50 %	0.73
Φορτίο επαγωγικού κινητήρα 75 %	0.8
Φορτίο επαγωγικού κινητήρα 100 %	0.85

Πίνακας 3.6 Συντελεστής ισχύος αναλόγως το φορτίο του κινητήρα. [12]

Όσον αφορά στην διαστασιολόγηση των χωρητικών μονάδων, σε καμία περίπτωση, το άεργο ρεύμα που παρέχει ο πυκνωτής στο φορτίο δεν πρέπει να ξεπεράσει το 90% του ρεύματος εν κενώ του κινητήρα. Σε αντίθετη περίπτωση ο κινητήρας θα υποστεί υπεραντιστάθμιση.

Το φαινόμενο της υπεραντιστάθμισης είναι ανεπιθύμητο διότι σε περίπτωση διακοπής της παροχής ο κινητήρας θα εμφανίσει αρνητική ολίσθηση και κατ' επέκταση θα λειτουργήσει σαν γεννήτρια (υπερδιέγερση) αυψώνοντας την τάση της εγκατάστασης προκαλώντας βλάβες στον εξοπλισμό.

Επίσης η επιστροφή της αέργου ενέργειας στο δίκτυο, που θα προκληθεί από την υπεραντιστάθμιση, απαγορεύεται από την ΔΕΗ γιατί προκαλεί ανύψωση της τάσεως στο δίκτυο διανομής και μεταφοράς.

Κλείνοντας είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι μείωση επίσης των απωλειών μπορεί να επιτευχθεί και στο ηλεκτρικό σύστημα τροφοδοσίας μειώνοντας τα ηλεκτρικά ρεύματα μέσω της μείωσης των ανώτερων αρμονικών και της αέργου ισχύος.

3.7.3 Τρόποι αντιστάθμισης σε κινητήρες

Αντιστάθμιση με σύνδεση πυκνωτή

Ο πυκνωτής συνδέεται απευθείας στους ακροδέκτες του κινητήρα. Μετά την εφαρμογή αντιστάθμισης στον κινητήρα, το ρεύμα του συνδυασμού κινητήρα-πυκνωτή θα μειωθεί με την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν έχει μεταβληθεί το φορτίο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα σημαντικό μέρος της αέργου συνιστώσας του κινητήρα τροφοδοτείται από τον πυκνωτή.

Υπάρχουν τρεις τρόποι αντιστάθμισης οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω. [13]

- **Μεμονωμένη αντιστάθμιση**

Συνίσταται σε περιπτώσεις μεγάλων φορτίων με σταθερούς συντελεστές ισχύος και απαίτηση μεγάλου χρόνου εκκίνησης. Οι πυκνωτές συνδέονται απευθείας στους ακροδέκτες του φορτίου.

Πλεονεκτήματα

- Η μεμονωμένη αντιστάθμιση έχει το πλεονέκτημα της αποφόρτισης των αγωγών προς τα φορτία. Συχνά υπάρχει δυνατότητα άμεσης σύνδεσης των πυκνωτών με τις κλέμμες σύνδεσης των φορτίων και συνεπώς ενεργοποίησης απενεργοποίησης με έναν κοινό διακόπτη – μεταγωγέα.
- Μειώνεται η ζήτηση της φαινόμενης ισχύος (kVA).
- Μειώνεται το μέγεθος όλων των καλωδίων καθώς και οι απώλειές τους.

Μειονεκτήματα

- Απαιτείται προσοχή κατά την μεμονωμένη αντιστάθμιση κινητήρων. Σε περιπτώσεις κινητήρων όπου υπάρχει δυνατότητα αλλαγής πόλων ή σε περιπτώσεις κινητήρων που συνδέονται μέσω εκκινητή αστέρα – τριγώνου δεν επιτρέπεται στιγμιαία αποσύνδεση του πυκνωτή αντιστάθμισης από το δίκτυο. Αυτό ισχύει και για κινητήρες που λειτουργούν περιοδικά. Στην περίπτωση αυτή, ο πυκνωτής θα πρέπει πάντα να εκφορτίζεται αρκετά πριν από την εκκίνησή του κινητήρα (<10% της ονομαστικής τάσης του).

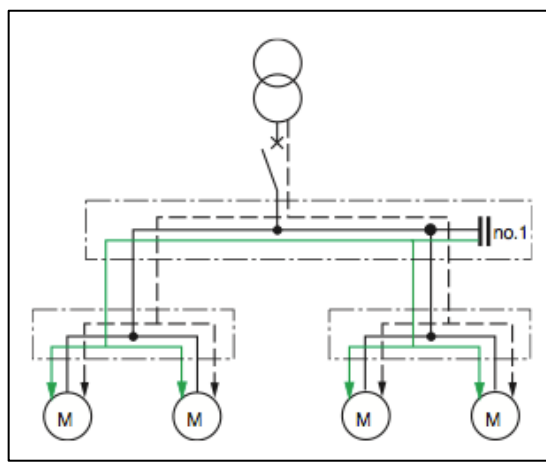
Για προστασία από τυχόν επικίνδυνη αυτοδιέγερση πρέπει η ισχύς του πυκνωτή που είναι άμεσα συνδεδεμένος με τις κλέμμες του κινητήρα να είναι <90% της άεργης ισχύος του κινητήρα σε κατάσταση λειτουργίας χωρίς φορτίο. Αυτό επιτυγχάνεται με την σύνδεση του πυκνωτή μέσω ενός χωριστού ρελέ, ενσωματωμένου στον ελεγκτή του κινητήρα.

• Ομαδική αντιστάθμιση

Σε αυτήν την περίπτωση, μία ομάδα φορτίων με κοινή παροχή αντισταθμίζεται από μία σταθερή μονάδα αντιστάθμισης. Χρησιμοποιείται όταν τα συνδεδεμένα φορτία έχουν κοινό κύκλο λειτουργίας (κινητήρες του ίδιου μηχανήματος).

Πλεονεκτήματα

- Μειώνεται η ζήτηση της φαινόμενης ισχύος (kVA).
- “Ξεκουράζει” τον μετασχηματιστή τροφοδοσίας, ο οποίος στη συνέχεια είναι δυνατόν να δεχτεί μεγαλύτερο φορτίο εάν είναι αναγκαίο.



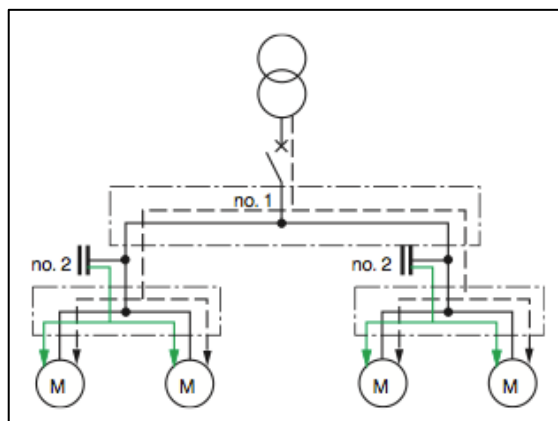
Εικόνα 3.4 Ομαδική αντιστάθμιση.

• Κεντρική αντιστάθμιση

Στην κεντρική αντιστάθμιση ομάδες πυκνωτών συνδέονται σε τοπικές ομάδες διαφορετικών φορτίων σε μια εγκατάσταση, δηλαδή ομάδες φορτίων που παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Εφαρμόζεται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν διάφορα σενάρια λειτουργίας και ως εκ τούτου και μεταβλητή απαίτηση αέργου ισχύος. Σε αυτήν την περίπτωση εγκαθίστανται αυτόματες συστοιχίες πυκνωτών στην είσοδο της εγκατάστασης. Μέσω ηλεκτρονικού ελεγκτή παρακολουθείται το cosφ στην είσοδο της εγκατάστασης και γίνεται αντίστοιχη σύνδεση ή αποσύνδεση πυκνωτών στην εγκατάσταση.

Πλεονεκτήματα

- Μειώνεται η ζήτηση της φαινόμενης ισχύος (kVA).
- “Ξεκουράζει” τον μετασχηματιστή τροφοδοσίας, ο οποίος στη συνέχεια είναι δυνατόν να δεχτεί μεγαλύτερο φορτίο εάν είναι αναγκαίο.
- Το μέγεθος των καλωδίων που τροφοδοτούν την κάθε τοπική ομάδα διαφορετικών φορτίων μπορεί να μειωθεί, ή να έχει επιπρόσθετη χωρητικότητα για μια πιθανή μεγιστοποίηση του φορτίου.
- Μειώνονται οι απώλειες των καλωδίων.



Εικόνα 3.5 Κεντρική αντιστάθμιση.

3.7.4 Ο κίνδυνος της υπεραντιστάθμισης και αυτοδιέγερσης επαγωγικού κινητήρα

Όταν ένας κινητήρας οδηγεί ένα φορτίο υψηλής αδράνειας, ο κινητήρας συνεχίζει να περιστρέφεται και μετά την διακοπή της τροφοδοσίας του. Η μαγνητική αδράνεια του κυκλώματος του ρότορα θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στις περιελίξεις του στάτη για ένα μικρό χρονικό διάστημα μετά την διακοπή τροφοδοσίας. Και θα οδηγήσει σε πλήρη απενεργοποίηση του κινητήρα μετά από ένα δύο κύκλους λειτουργίας, στην περίπτωση που δεν υπάρχει αντιστάθμιση.

Οι πυκνωτές αντιστάθμισης δημιουργούν ένα τριφασικό ασθενές φορτίο για το αλλοιωμένο πλέον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο αναγκάζει το ρεύμα του πυκνωτή να ρέει μέσω των τυλιγμάτων του στάτη. Τα ρεύματα του στάτη παράγουν με την σειρά τους ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στον ρότορα το οποίο ενεργεί υπό τον ίδιο άξονα και με την ίδια κατεύθυνση ακριβώς όπως και πριν με το μαγνητικό πεδίο που αλλοιώθηκε.

Η ροή του ρότορα αυξάνεται και κατά συνέπεια αυξάνεται το ρεύμα του στάτη, επομένως αυξάνεται και η τάση στα άκρα του κινητήρα, μερικές φορές και σε επικίνδυνο σημείο. Αυτό ακριβώς είναι το φαινόμενο της αυτοδιέγερσης και είναι ένας από τους λόγους που οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, αντί να βελτιωθεί η λειτουργία τους με την αντιστάθμιση, χειροτερεύει.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι κατασκευαστές εξοπλισμού δίνουν εγχειρίδια στους αγοραστές για το πως πρέπει να κατανεμηθεί η αντιστάθμιση στους κινητήρες.

Συνοψίζοντας, η απορρόφηση αέργου ισχύος από ένα κινητήριο σύστημα, οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, σε αυξημένες θερμικές απώλειες, σε μείωση του συντελεστή λειτουργίας του συστήματος και τέλος σε υπερθέρμανση και καταπόνηση του εξοπλισμού. [13]

4. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΕ ΦΟΡΕΙΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ/ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Για να επιτευχθεί η παρακολούθηση και ο έλεγχος της ροής και κατανάλωσης του νερού, απαιτούνται συστήματα αυτοματισμού τα οποία εγκαθίστανται στα αντλιοστάσια και στις δεξαμενές ύδρευσης/άρδευσης. Με αυτόν τον τρόπο η λειτουργία των αντλιοστασίων γίνεται αποδοτικότερη και επιπλέον δεν απαιτείται η ανθρώπινη παρουσία για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων σε τόσο μεγάλο βαθμό. Τα συστήματα αυτοματισμού αντλιοστασίων σε γενικές γραμμές περιλαμβάνουν:

- Συστήματα SCADA
- Αισθητήρες (στάθμης, ροής, διαρροών)
- PLCs (Programmable Logic Controllers)
- Έξυπνους μετρητές νερού
- Καταγραφικά και έξυπνους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Με τα συστήματα αυτά πραγματοποιείται η μέτρηση, η καταγραφή, η παρακολούθηση και ο απομακρυσμένος έλεγχος της ροής και κατανάλωσης του νερού αλλά και της ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι απαραίτητα για τη λειτουργία των αντλιοστασίων γιατί έτσι επιτυγχάνεται:

- Μείωση απωλειών νερού μέσω της ανίχνευσης διαρροών
- Πρόληψη, εντοπισμός και απομόνωση βλαβών σε αντλίες, δηλαδή ταχύτερη απόκριση σε βλάβες
- Μείωση των δαπανών για συντήρηση και επιδιόρθωση των υποδομών
- Επέκταση της “διάρκειας ζωής” των αντλιών και αγωγών νερού
- Καλύτερη λειτουργία και έλεγχος του δικτύου ηλεκτρισμού
- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας
- Ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας των μηχανών
- Απομακρυσμένος έλεγχος της λειτουργίας
- Ελάττωση του απασχολούμενου προσωπικού επομένως μείωση δαπανών που απαιτείται για αυτό
- Ικανότητα εύρεσης στατιστικών στοιχείων που συμβάλλουν στην προληπτική συντήρηση

Όπως γίνεται φανερό τα οφέλη της χρησιμοποίησης συστημάτων αυτοματισμού σε αντλιοστάσια είναι πολλά και σημαντικά. Παρακάτω παρουσιάζονται τέτοιου είδους συστήματα.

4.1 Συστήματα SCADA

4.1.1 Γενική περιγραφή και αρχιτεκτονική

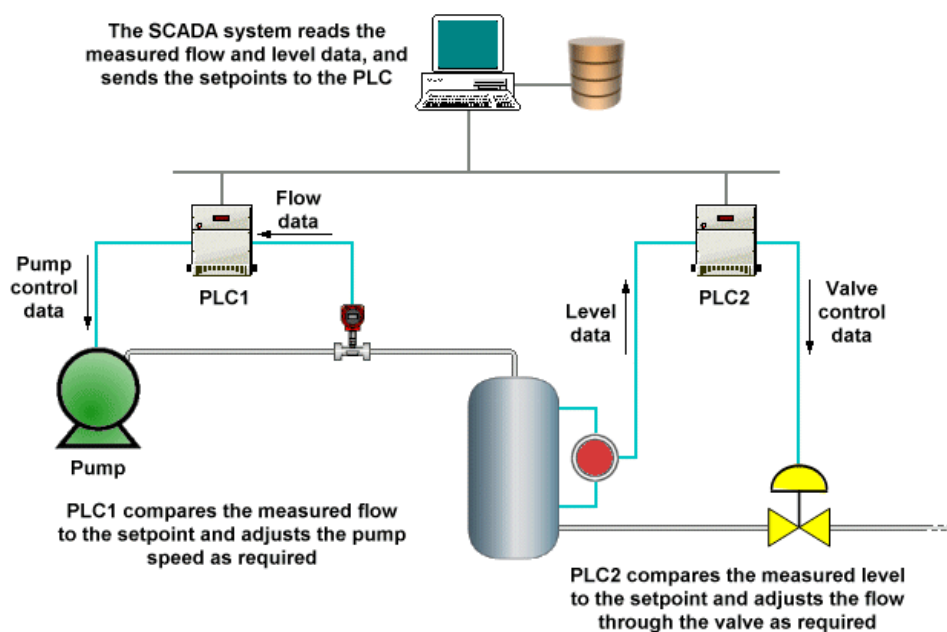
Ο όρος SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ο οποίος στα ελληνικά σημαίνει Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων, περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας. Το χαρακτηριστικό των συστημάτων SCADA είναι ότι αποτελούνται από τοπικούς ελεγκτές, που ελέγχουν επί μέρους στοιχεία και μονάδες μιας εγκατάστασης, συνδεδεμένους σε ένα κεντρικό Master Station (Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου). Ο κεντρικός σταθμός εργασίας μπορεί κατόπιν να επικοινωνεί τα δεδομένα που συλλέγει από την εγκατάσταση σε ένα πλήθος από σταθμούς εργασίας σε τοπικό LAN ή και να μεταδίδει τα δεδομένα της εγκατάστασης σε μακρινά σημεία μέσω κάποιου συστήματος τηλεπικοινωνίας, π.χ. μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου ή μέσω κάποιου ασύρματου δικτύου.

Επίσης είναι δυνατό ο κάθε ένας τοπικός ελεγκτής να βρίσκεται σε απομακρυσμένη τοποθεσία και να μεταδίδει τα δεδομένα προς τον ΚΣΕ μέσω απλού καλωδίου ή μέσω ασύρματου πομποδέκτη, πάντα με σύνολο από τοπικούς ελεγκτές συνδεδεμένους σε τοπολογία αστέρα προς ένα ΚΣΕ.

Έτσι, το σύστημα SCADA αλληλεπιδρά με τις μονάδες τηλεμετρίας και ελέγχει τη διαδικασία απεικονίζοντάς την οπτικά στην οθόνη ενός υπολογιστή, ενώ παράλληλα καταγράφει μια σειρά από συμβάντα και ειδοποιεί κατάλληλα τον χειριστή.

Ένα σύστημα SCADA αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Έναν Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου (ΚΣΕ), όπου συνήθως βρίσκεται ένας κεντρικός Η/Υ (server) ή περισσότεροι, οι οποίοι επικοινωνούν με τα RTUs και τα PLCs
- Γραμμές επικοινωνίας (radio, καλωδιακή, τηλεφωνική)
- RTUs (Remote Terminal Units), δηλαδή ηλεκτρονικές συσκευές, εγκατεστημένες σε απομακρυσμένα σημεία, συνδεδεμένες με αισθητήρες, οι οποίες μετατρέπουν τα σήματα των αισθητήρων σε ψηφιακά δεδομένα και τα στέλνουν στον ΚΣΕ
- PLCs (Programmable Logic Controllers), δηλαδή “Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές”, οι οποίοι είναι μια άλλη κατηγορία ηλεκτρονικών συσκευών, συνήθως πιο αποδοτικοί από τις RTU’s σε βιομηχανικές διαδικασίες, όπου χρησιμοποιώντας μια προγραμματιζόμενη μνήμη επεξεργάζονται σήματα που λαμβάνουν μέσω αισθητήρων και τα στέλνουν στη συνέχεια στον ΚΣΕ
- Human-Machine Interface (HMI), δηλαδή την διεπαφή μεταξύ του hardware της διαδικασίας ελέγχου και του χειριστή, μέσω της οποίας ο χειριστής παρακολουθεί και ελέγχει τα δεδομένα



Εικόνα 4.1 Ένα τυπικό σύστημα SCADA.

Για παράδειγμα, το σύστημα SCADA που περιγράφεται στην Εικόνα 4.1 λειτουργεί ως εξής:

Ο αισθητήρας μέτρησης ροής της αντλίας στέλνει στο PLC1 ένα σήμα που περιέχει την πληροφορία για την μετρούμενη ροή της αντλίας. Το PLC1 στη συνέχεια, συγκρίνει την μετρούμενη ροή με την τιμή της ροής που έχει προγραμματιστεί μέσω του κεντρικού PC να κάνει την σύγκριση (setpoint) και ρυθμίζει ανάλογα την ροή της αντλίας έτσι ώστε να συμπίπτει με την τιμή του setpoint. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα που έχουν καθοριστεί από τον χειριστή του PC. Στο ενδιάμεσο, το κεντρικό PC “διαβάζει” τα δεδομένα της μετρούμενης ροής τα οποία στέλνονται από τον αισθητήρα μέτρησης ροής μέσω του PLC1 και στέλνει (καινούρια) setpoints στο PLC1 για επόμενες συγκρίσεις και ελέγχους.

Με παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και το σύστημα ελέγχου της στάθμης της δεξαμενής. Ο αισθητήρας μέτρησης στάθμης στέλνει στο PLC2 ένα σήμα που περιέχει την πληροφορία για την μετρούμενη στάθμη της δεξαμενής. Το PLC2 στη συνέχεια, συγκρίνει την μετρούμενη στάθμη με την τιμή της στάθμης που έχει προγραμματιστεί μέσω του κεντρικού PC να κάνει την σύγκριση (setpoint) και ρυθμίζει ανάλογα την στάθμη της δεξαμενής έτσι ώστε να συμπίπτει με την τιμή του setpoint. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα που έχουν καθοριστεί από τον χειριστή του PC. Στο ενδιάμεσο, το κεντρικό PC “διαβάζει” τα δεδομένα της μετρούμενης στάθμης τα οποία στέλνονται από τον αισθητήρα μέτρησης στάθμης μέσω του PLC2 και στέλνει (καινούρια) setpoints στο PLC2 για επόμενες συγκρίσεις και ελέγχους.

4.1.2 Το SCADA του Ο.Α.ΔΥ.Κ.

Ο Ο.Α.ΔΥ.Κ., ο οποίος είναι αρμόδιος κυρίως για λειτουργίες άρδευσης αλλά και ύδρευσης στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων, έχει στην κατοχή του και διαχειρίζεται έναν μεγάλο αριθμό αντλιοστασίων. Αναλυτικότερη παρουσίαση του οργανισμού γίνεται στην ενότητα 8.3.

Το SCADA του Ο.Α.ΔΥ.Κ., το οποίο εγκαταστάθηκε το 2004 και κόστισε 800000 €, έχει γενικά σαν σκοπό την βελτίωση της εκμετάλλευσης, της ποιότητας εξυπηρέτησης και την ελάττωση του κόστους εκμετάλλευσης του υφιστάμενου αρδευτικού δικτύου που λειτουργεί ο ΟΑΔΥΚ στο Νομό Χανίων.

Το έργο περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την συγκέντρωση πληροφοριών, τον εποπτικό έλεγχο, τον τηλεχειρισμό και την ολική εποπτεία 29 σταθμών.

Ειδικότερα, το εν λόγω έργο αποτελείται από:

- Ένα (1) Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου (ΚΣΕ) διασυνδεδεμένο, μέσω ενσύρματων και ασυρμάτων επικοινωνιακών διατάξεων με
- Οκτώ (8) Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου Αντλιοστασίων (ΤΣΕ)
- Είκοσι ένα (21) Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου (ΤΣ) Δικτύου Άρδευσης (δεξαμενές)
- Δύο (2) ποταμούς και τέσσερις (4) αγωγούς (μέτρηση παροχής)
- Δύο (2) λίμνες και τρία (3) φρεάτια (μέτρηση στάθμης)
- Πέντε (5) γεωτρήσεις
- Έναν (1) Περιφερειακό Σταθμό Ελέγχου (ΠΣΕ)
- Έναν (1) Κινούμενο Σταθμό Ελέγχου

Στο χώρο του Κεντρικού Ηλεκτροστασίου στη θέση “Βλητέ” υπάρχει ο Κεντρικός Σταθμός Ελέγχου (ΚΣΕ) με ηλεκτρονικό υπολογιστή (SERVER), όπου απεικονίζεται όλο το έργο και από όπου είναι δυνατόν να εποπτεύεται η λειτουργία των 8 κεντρικών αντλιοστασίων και να γίνεται τηλεχειρισμός των αντλιών, καθώς και ο έλεγχος της στάθμης των 21 δεξαμενών διανομής νερού δια μέσου των οποίων υδροδοτείται όλο το δίκτυο άρδευσης του νομού Χανίων. Ο σκοπός του Κεντρικού Σταθμού Ελέγχου είναι να συλλέγει πληροφορίες από τους Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου Αντλιοστασίων (ΤΣΕ) και τους Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου Δικτύου Άρδευσης (Δεξαμενών) (ΤΣ), να αποθηκεύει αυτές τις πληροφορίες και να δίνει πίσω στους ΤΣΕ και ΤΣ, εντολές.

Ο χειριστής του ΚΣΕ έχει τη δυνατότητα ελέγχου μέσω του λογισμικού SCADA που είναι εγκατεστημένο στον Η/Υ (server), ασύρματα και ενσύρματα, να συλλέγει πληροφορίες:

- κατάστασης ηλεκτρικών πινάκων των αντλιοστασίων (ύπαρξης τάσης, θέσης γενικού διακόπτη κ.λ.π.)
- κατάστασης Υποσταθμού (θερμοκρασία λαδιού, στάθμη λαδιού, θέσης Bucholts)
- συστήματος ασφάλειας εγκατάστασης (παρουσία προσωπικού, παραβίασης ζώνης, νερό στο δάπεδο, υψηλή θερμοκρασία χώρου αντλιών κ.λ.π.)
- κατάστασης λειτουργίας αντλιών (αυτόματη / χειροκίνητη λειτουργία, start-stop, ξηρά λειτουργία ή χαμηλή παροχή, θερμικό κινητήρα, πίεση στην κατάθλιψη, υψηλή θερμοκρασία

- κατάστασης λειτουργίας δεξαμενών

Τα αντλιοστάσια και οι δεξαμενές επικοινωνούν με το σύστημα SCADA μέσω προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) που συνδέονται στο internet μέσω γραμμών κινητής τηλεφωνίας, τα οποία ελέγχουν και τα αντλιοστάσια.

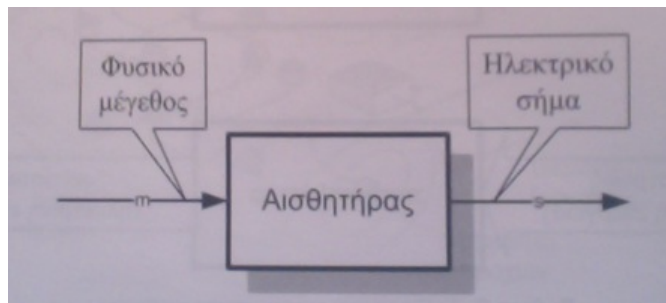
Τέλος, η παρακολούθηση του SCADA μπορεί να γίνει από οποιονδήποτε Η/Υ διαθέτει γραμμή internet με κατάλληλο λογισμικό εγκατεστημένο αλλά και από κινητό τηλέφωνο. [14]



4.2 Χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες

Το σύστημα SCADA για να συλλέξει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται για την στάθμη και την ροή των υγρών, αξιοποιεί τη λειτουργία των αισθητήρων.

Ο **αισθητήρας** είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους. Μετατρέπει το φυσικό μέγεθος που μετράται σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο μπορεί να είναι είτε τάση είτε ρεύμα.



Εικόνα 4.3 Σχηματική διάταξη ενός αισθητήρα.

Για την παρακολούθηση και την επίβλεψη της λειτουργίας των αντλιοστασίων, είναι απαραίτητη η μέτρηση της στάθμης και της ροής των υγρών (συνήθως νερού) με τη βοήθεια των αισθητήρων και στη συνέχεια η αποστολή των μετρήσεων στον Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου του SCADA για επεξεργασία. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο σημαντικοί από αυτούς τους αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτόν τον σκοπό.

4.2.1 Αισθητήρες μέτρησης στάθμης

Για την μέτρηση της στάθμης του υγρού στις δεξαμενές των αντλιοστασίων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποικίλοι αισθητήρες στάθμης, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και το κόστος.

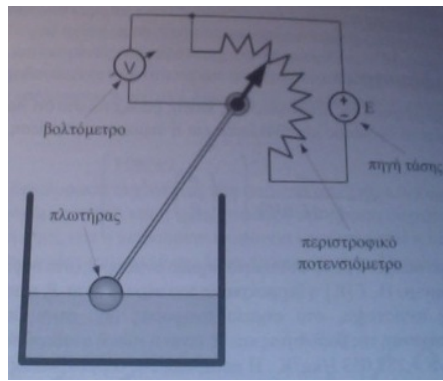
Ορισμένες κατηγορίες τέτοιων αισθητήρων είναι οι εξής:

- Διάταξη με πλωτήρα
- Διάταξη με βελόνη αγωγιμότητας
- Διάταξη με επίπεδο πυκνωτή και αγωγίμο υγρό
- Διάταξη με μέτρηση πίεσης
- Διάταξη με υπερήχους

Παρακάτω αναλύεται κάθε κατηγορία ξεχωριστά. [15]

• Διάταξη με πλωτήρα

Ο μετρητής στάθμης με πλωτήρα είναι μια διάταξη που αποτελείται από κυκλικό ποτενσιόμετρο, του οποίου ο δρομέας είναι στερεωμένος σε ράβδο με πλωτήρα. Ο πλωτήρας επιπλέει στην επιφάνεια του υγρού και καθώς η στάθμη ανεβαίνει ή κατεβαίνει μετακινεί το δρομέα του ποτενσιόμετρου. Στα άκρα του ποτενσιόμετρου εφαρμόζεται σταθερή τάση, οπότε η τάση μεταξύ του ενός άκρου του και του δρομέα είναι ανάλογη της στάθμης του υγρού. Οι μετρητές στάθμης με πλωτήρα έχουν χαμηλό κόστος, αλλά διαθέτουν χαμηλή ακρίβεια. Το σήμα εξόδου τους είναι τάση, η οποία μπορεί να μετρηθεί απευθείας με βολτόμετρο χωρίς να απαιτούνται ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα.



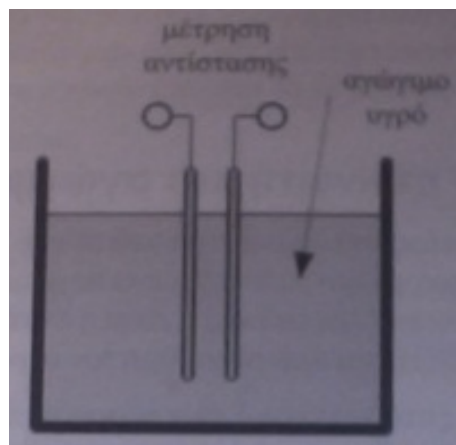
Εικόνα 4.4 Αρχή λειτουργίας μετρητή στάθμης με πλωτήριο.

- **Διάταξη με βελόνη αγωγιμότητας**

Η μέτρηση στάθμης με βελόνη αγωγιμότητας βασίζεται στη μεταβολή της αντίστασης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων βυθισμένων στο μετρούμενο υγρό, καθώς μεταβάλλεται η στάθμη του υγρού.

Για την τροφοδοσία των αισθητήρων με βελόνη αγωγιμότητας που χρησιμοποιούνται σε υγρά, χρησιμοποιείται AC ρεύμα ή τάση ώστε να μειώνεται ο ρυθμός ηλεκτρολυτικής διάβρωσης των ηλεκτροδίων του αισθητήρα, σε σχέση με τη χρήση DC ρεύματος ή τάσης.

Η λειτουργία των διατάξεων μέτρησης στάθμης με βελόνη αγωγιμότητας επηρεάζεται από παράγοντες όπως η διάβρωση των ηλεκτροδίων και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την αγωγιμότητα του υγρού. Οι διατάξεις μέτρησης στάθμης αυτού του τύπου είναι κατάλληλες μόνο για αγωγή υγρά και δεν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της στάθμης εύφλεκτων υγρών, καθώς στην περίπτωση αυτή η τάση μπορεί να προκαλέσει σπινθήρα αν τα άκρα των ηλεκτροδίων παραμείνουν ακάλυπτα.



Εικόνα 4.5 Αρχή λειτουργίας μέτρησης στάθμης με βελόνη αγωγιμότητας.

- **Διάταξη με επίπεδο πυκνωτή και αγώγιμο υγρό**

Η διάταξη αυτή αποτελείται από έναν επίπεδο πυκνωτή με κινητό οπλισμό. Αν ο ένας οπλισμός του πυκνωτή είναι ένα μεταλλικό φύλλο τοποθετημένο σε μικρή απόσταση πάνω από τη στάθμη ενός αγώγιμου υγρού, ενώ ο άλλος οπλισμός είναι η στάθμη του αγώγιμου υγρού, τότε η χωρητικότητα του πυκνωτή που σχηματίζεται εξαρτάται από τη στάθμη του υγρού, καθώς αυτή ανεβαίνει ή κατεβαίνει.

Στο είδος αυτό της διάταξης μέτρησης στάθμης, η μετρούμενη στάθμη υπολογίζεται με μέτρηση της χωρητικότητας του αισθητήρα. Η διάταξη αυτή έχει σχετικά υψηλό κόστος εξαιτίας του κυκλώματος που απαιτείται για τη μέτρηση της χωρητικότητας, αλλά χαρακτηρίζεται από καλή ακρίβεια.

- **Διάταξη με μέτρηση πίεσης**

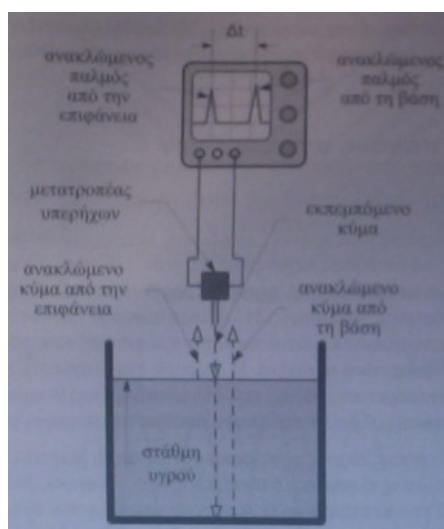
Η μέτρηση της στάθμης, h , ενός υγρού σε δεξαμενή μπορεί να πραγματοποιηθεί με μέτρηση της πίεσης, P , στον πυθμένα της δεξαμενής, σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση, P_{atm} : $P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$ (4.1), όπου ρ είναι η πυκνότητα του υγρού και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Οι μετρητές αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση στάθμης ή βάθους με μέγιστη τιμή της τάξης των 20 m και με ακρίβεια $\pm 0.1\%$ της πλήρους κλίμακας. Αποτελούνται από αισθητήρα σχετικής πίεσης ως προς την ατμοσφαιρική με ημιαγωγικούς πιεζοαντιστάτες, οπότε μετριέται η διαφορά $P - P_{atm}$ από την οποία υπολογίζεται στη συνέχεια η στάθμη του υγρού, h , σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση. Η ατμοσφαιρική πίεση που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του υγρού, και αποτελεί την πίεση αναφοράς του αισθητήρα πίεσης, διοχετεύεται στον αισθητήρα μέσω σωλήνα ο οποίος καταλήγει στην επιφάνεια του υγρού.

- **Διάταξη με υπερήχους**

Στις διατάξεις μέτρησης στάθμης με υπερήχους χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας υπερήχων ο οποίος λειτουργεί διαδοχικά, ως πομπός και ως δέκτης. Ο μετατροπέας υπερήχων εκπέμπει μια παλμοσειρά υπερήχων προς τη δεξαμενή του υγρού και στη συνέχεια μεταπίπτει σε κατάσταση δέκτη. Έτσι, συλλαμβάνει πρώτα την ανάκλαση των υπερήχων που προέρχεται από την επιφάνεια του υγρού και στη συνέχεια, την ανάκλαση που προέρχεται από τον πυθμένα της δεξαμενής. Η διαφορά, Δt , στο χρόνο άφιξης των 2 παλμοσειρών (από τον πυθμένα και την επιφάνεια) είναι ανάλογη της στάθμης του υγρού.

Οι μετρητές στάθμης με υπερήχους χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος τιμών βάθους. Παρέχουν υψηλή ακρίβεια, αλλά έχουν υψηλό κόστος.



Εικόνα 4.6 Αρχή λειτουργίας διάταξης μέτρησης στάθμης με υπερήχους

4.2.2 Αισθητήρες μέτρησης ροής (παροχής)

Στα αντλιοστάσια μας ενδιαφέρει επίσης η μέτρηση παραμέτρων που αφορούν τη ροή του υγρού στις αντλίες, όπως είναι η ταχύτητα ροής του υγρού και η παροχή του. Η παροχή, Q , ενός υγρού ορίζεται ως ο όγκος του υγρού που διέρχεται από μία τομή ενός αγωγού ανά μονάδα χρόνου και υπολογίζεται με τη σχέση: $Q = A \cdot v$ (4.2), όπου A είναι η διατομή του αγωγού και v η ταχύτητα ροής του υγρού. Συνήθως, η διατομή του αγωγού ροής του ρευστού έχει γνωστή τιμή, οπότε μετρώντας την ταχύτητα v της ροής,

μπορεί να υπολογιστεί με την παραπάνω σχέση η αντίστοιχη παροχή του υγρού. Η παροχή μετράται σε m^3/s , m^3/min , m^3/h , L/s , L/min , κλπ.

Ορισμένες κατηγορίες αισθητήρων μέτρησης παροχής είναι οι εξής:

- Ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες μέτρησης παροχής
- Αισθητήρες μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους
- Αισθητήρες μέτρησης παροχής Doppler με υπερήχους και laser
- Αισθητήρες μέτρησης παροχής στροβίλου
- Μέτρηση ροής με σωλήνα Pitot
- Μέτρηση ροής με σωλήνα Venturi
- Μέτρηση ροής με δονούμενο σωλήνα

Παρακάτω αναλύεται κάθε κατηγορία ξεχωριστά. [15]

• Ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες μέτρησης παροχής

Όταν ένα υγρό με ελεύθερα φορτία (δηλαδή αγώγιμο) κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, τότε αναπτύσσεται σε αυτό τάση ανάλογη της μαγνητικής επαγωγής του μαγνητικού πεδίου και της παροχής του υγρού. Αυτό ονομάζεται μαγνητοϋδροδυναμικό φαινόμενο. Η τάση που αναπτύσσεται μεταξύ των ακροδεκτών A και B δίνεται από τη σχέση: $V_{AB} = k \cdot B \cdot Q$ (4.3), όπου Q είναι η παροχή του υγρού, B η μαγνητική επαγωγή του μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο κινείται το υγρό και k σταθερά αναλογίας. Επομένως, η τάση εξόδου είναι ανάλογη της παροχής του υγρού. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μη αγώγιμα υγρά.

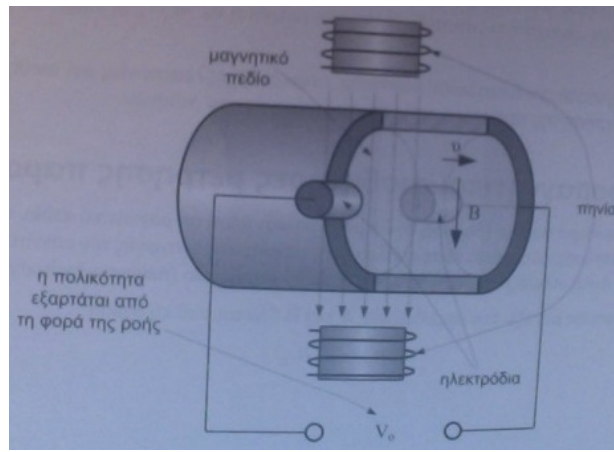
Η λειτουργία των ηλεκτρομαγνητικών αισθητήρων μέτρησης παροχής βασίζεται στο μαγνητοϋδροδυναμικό φαινόμενο. Το υγρό διέρχεται από σωλήνα κατασκευασμένο από μη-σιδηρομαγνητικό υλικό, ο οποίος ευρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο (κάθετο ως προς τον άξονά του) που αναπτύσσεται από τα εξωτερικά πηνία (ηλεκτρομαγνήτες). Δύο ηλεκτρόδια, κάθετα στον άξονα του σωλήνα και κάθετα στο μαγνητικό πεδίο, εισέρχονται στο σωλήνα και βρίσκονται σε επαφή με το υγρό, το οποίο πρέπει να είναι αγώγιμο για να εμφανιστεί το μαγνητοϋδροδυναμικό φαινόμενο. Η τάση που αναπτύσσεται μεταξύ των ηλεκτροδίων δίνεται από τη σχέση: $V_o = \int_0^d \left(\vec{v} \times \vec{B} \right) \cdot d\vec{l}$ (4.4), οπότε: $V_o = B \cdot$

$d \cdot v$ (4.5), όπου B είναι η μαγνητική επαγωγή του μαγνητικού πεδίου, d η διάμετρος του σωλήνα και v η ταχύτητα του υγρού. Εφόσον η διάμετρος του σωλήνα και το μαγνητικό πεδίο διατηρούνται σταθερά, η τάση V_o είναι ανάλογη της ταχύτητας και κατά συνέπεια ανάλογη της παροχής του υγρού. Η διέγερση των πηνίων με συνεχές (DC) ρεύμα χρησιμοποιείται για λόγους απλότητας.

Αν η τροφοδοσία των πηνίων προέρχεται από εναλλασσόμενη (AC) πηγή της μορφής $E \cdot \sin(\omega t)$, τότε η τάση που αναπτύσσεται μεταξύ των ηλεκτροδίων του ηλεκτρομαγνητικού αισθητήρα μέτρησης παροχής δίνεται από τη σχέση:

$V_o = B \cdot d \cdot v \cdot \sin(\omega t) + c \cdot \omega \cdot B \cdot \cos(\omega t)$ (4.6), όπου c είναι σταθερά. Το πλάτος της τάσης V_o , και σε αυτή την περίπτωση, είναι ανάλογο της παροχής του υγρού. Ο όρος $c \cdot \omega \cdot B \cdot \cos(\omega t)$ στην παραπάνω εξίσωση οφείλεται στο γεγονός ότι τα ηλεκτρόδια και το αγώγιμο υγρό σχηματίζουν έναν κλειστό βρόχο ο οποίος βρίσκεται μέσα σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και επομένως, σύμφωνα με το νόμο της επαγωγής του Faraday, αναπτύσσεται σε αυτόν τάση από επαγωγή. Ανάλογα με την κατασκευή του ηλεκτρομαγνητικού αισθητήρα μέτρησης παροχής και τις συνθήκες λειτουργίας, ο όρος αυτός μπορεί να έχει αρκετά μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τον όρο $B \cdot d \cdot v \cdot \sin(\omega t)$. Επομένως, με AC διέγερση του ηλεκτρομαγνήτη, η διάταξη μέτρησης είναι περισσότερο πολύπλοκη, καθώς απαιτείται διαχωρισμός των δύο ημιτονοειδών συνιστωσών της τάσης εξόδου του μετατροπέα.

Οι ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες μέτρησης παροχής παρέχουν αρκετά καλή ακρίβεια μέτρησης και έχουν μεγάλη γραμμική περιοχή. Κατά τη λειτουργία τους δεν προκαλούν απώλεια πίεσης στο υγρό διότι δεν παρεμβάλλουν εμπόδια στη ροή του, ενώ η μέτρηση που παρέχουν δεν επηρεάζεται από την πυκνότητα του υγρού. Επιτρέπουν τη μέτρηση και προς τις δύο κατευθύνσεις της ροής του υγρού. Έχουν το μειονέκτημα ότι είναι κατάλληλοι για μέτρηση της παροχής μόνο σε αγώγιμα υγρά.



Εικόνα 4.7 Δομή του ηλεκτρομαγνητικού αισθητήρα μέτρησης παροχής.

- **Αισθητήρες μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους**

Στη διάταξη αυτή, δύο μετατροπείς υπερήχων είναι τοποθετημένοι στην επιφάνεια του σωλήνα όπου ρεεί το μετρούμενο υγρό, σε απέναντι θέσεις υπό γωνία. Η λειτουργία τους εναλλάσσεται διαδοχικά, δηλαδή όταν ο μετατροπέας υπερήχων 1 εκπέμπει υπερηχητικούς παλμούς, ο μετατροπέας υπερήχων 2 λειτουργεί ως δέκτης, και αντίστροφα. Οι δύο μετατροπείς είναι συγχρονισμένοι έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται από την εκπομπή ενός υπερηχητικού παλμού από τον πομπό μέχρι τη λήψη του από το δέκτη. Οι χρόνοι που απαιτούνται για τη διάδοση του υπερηχητικού κύματος μέσω του υγρού, από το μετατροπέα 1 στο μετατροπέα 2, t_{12} και αντίστροφα, t_{21} , δίνονται από τις σχέσεις:

$$t_{12} = d / \sin\theta \cdot [v_s + v \cdot \cos(\theta)] \quad (4.7)$$

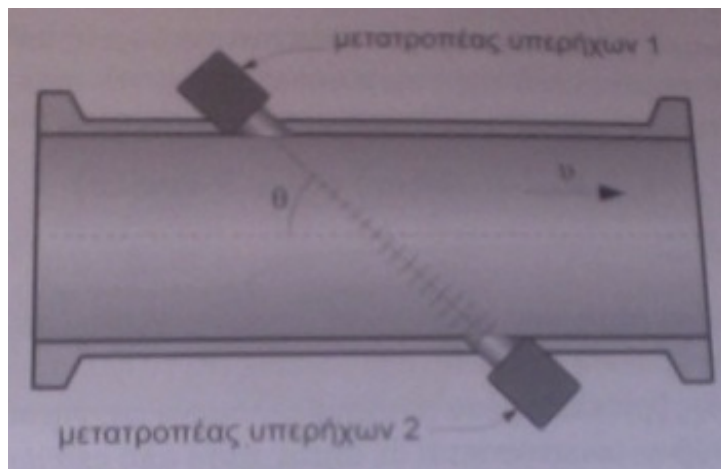
$t_{21} = d / \sin\theta \cdot [v_s - v \cdot \cos(\theta)] \quad (4.8)$, όπου θ είναι η γωνία που σχηματίζουν οι δύο μετατροπείς υπερήχων με τον άξονα του σωλήνα, v είναι η ταχύτητα του υγρού, v_s είναι η ταχύτητα του ήχου στο συγκεκριμένο υγρό και d είναι η διάμετρος του σωλήνα μέσα στον οποίο ρεεί το μετρούμενο υγρό. Όπως φαίνεται στις παραπάνω σχέσεις, οι χρόνοι t_{12} και t_{21} διαφέρουν μεταξύ τους, λόγω της ταχύτητας της ροής του υγρού. Η διαφορά των δύο χρόνων δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta t = t_{21} - t_{12} = 2d \cdot v \cdot \cos(\theta) / \sin\theta \cdot [v_s^2 - v^2 \cdot \cos^2(\theta)] \approx 2d \cdot v \cdot \cos(\theta) / \sin\theta \cdot v_s^2 = 2d \cdot \cot(\theta) \cdot Q / A \cdot v_s^2 \quad (4.9).$$

Επομένως, η διαφορά των χρόνων, Δt , είναι ανάλογη της παροχής, Q , του υγρού. Μετρώντας το χρονικό διάστημα Δt , υπολογίζεται η παροχή του υγρού, Q . Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$\Delta t / t_{21} \cdot t_{12} = \sin(2\theta) \cdot v / d = \sin(2\theta) \cdot Q / d \cdot A \quad (4.10), \text{ η οποία δίνει αποτέλεσμα ανεξάρτητο της}$$

ταχύτητας του ήχου στο υγρό, v_s . Όταν ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από υλικά όπως σίδηρος, αλουμίνιο, γυαλί, PVC κλπ. Τα οποία επιτρέπουν τη διάδοση των υπερηχητικών κυμάτων, τότε οι μετατροπείς υπερήχων τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά του σωλήνα. Στην περίπτωση αυτή, κάθε φορά που το υπερηχητικό κύμα συναντά κατά τη διάδοσή του διαφορετικό υλικό, ένα μέρος του ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο συνεχίζει τη διαδοσή του στο νέο μέσο. Επομένως, οι αντίστοιχοι υπερηχητικοί μετατροπείς του αισθητήρα μέτρησης παροχής θα λαμβάνουν και τις ανακλάσεις των υπερηχητικών κυμάτων στις διαχωριστικές επιφάνειες του αισθητήρα και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον ακριβή υπολογισμό των χρόνων Δt , t_{12} και t_{21} . Οι αισθητήρες μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους έχουν το μειονέκτημα ότι η ακρίβεια των μετρήσεων μειώνεται αν η ροή του υγρού είναι στροβιλώδης.



Εικόνα 4.8 Δομή του αισθητήρα μέτρησης παροχής χρόνου μετάβασης με υπερήχους.

- **Αισθητήρες μέτρησης παροχής Doppler με υπερήχους και laser**

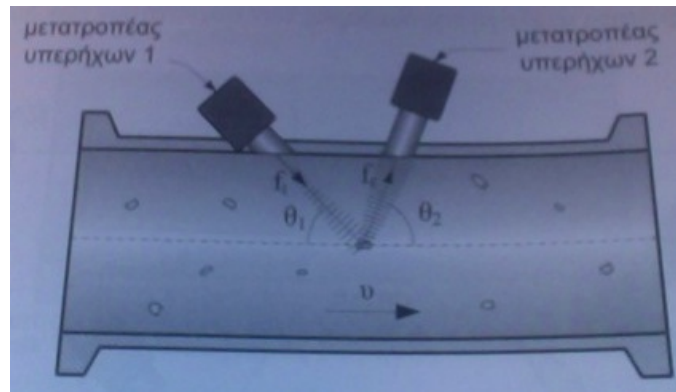
Όταν μια πηγή ηχητικών κυμάτων (πομπός) με συχνότητα f_t κινείται με ταχύτητα v_t συγγραμικά με ένα δέκτη ηχητικών κυμάτων ο οποίος κινείται με ταχύτητα v_r (σε σχέση με ακίνητο παρατηρητή), τότε η συχνότητα f_r των λαμβανόμενων κυμάτων από το δέκτη είναι: $f_r = f_t \cdot (v_s \pm v_r) / v_s \pm v_t$ (4.11), όπου v_s είναι η ταχύτητα του ήχου στο μέσο μετάδοσης. Αυτό ονομάζεται φαινόμενο Doppler στα ηχητικά κύματα. Τα πρόσημα «+» στον αριθμητή και «-» στον παρονομαστή ισχύουν όταν η πηγή και ο δέκτης πλησιάζουν, ενώ τα πρόσημα «-» στον αριθμητή και «+» στον παρονομαστή ισχύουν όταν η πηγή και ο δέκτης απομακρύνονται μεταξύ τους. Αν η πηγή ή ο δέκτης δεν κινούνται, τότε η παραπάνω εξίσωση ισχύει με $v_t = 0$ ή $v_r = 0$, αντίστοιχα. Εάν η πηγή ή/και ο δέκτης κινούνται υπό γωνία σε σχέση με την ευθεία που ενώνει την πηγή και το δέκτη, τότε τα v_t και v_r στην παραπάνω εξίσωση συχνότητας Doppler είναι οι συνιστώσες των διανυσμάτων των ταχυτήτων της πηγής και του δέκτη επάνω στην ευθεία που ενώνει την πηγή και το δέκτη. Στη διάταξη αυτού του αισθητήρα, δύο μετατροπείς υπερήχων είναι τοποθετημένοι στην επιφάνεια του σωλήνα στην ίδια πλευρά υπό γωνία. Μέσα στο σωλήνα ρέει το μετρούμενο υγρό με ταχύτητα v . Σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler, όταν ένας δέκτης μετακινείται σε σχέση με τον πομπό ηχητικού κύματος, τότε μεταβάλλεται η συχνότητα του κύματος που λαμβάνει ο δέκτης σύμφωνα με τη σχέση:

$\Delta f = f_r - f_t = f_t \cdot v \cdot [\cos(\theta_2) - \cos(\theta_1)] / v \cdot \cos(\theta_1) + v_s$ (4.12), όπου f_t είναι η συχνότητα του ηχητικού κύματος που εκπέμπεται από τον πομπό, f_r είναι η συχνότητα που λαμβάνει ο δέκτης, v είναι η ταχύτητα του υγρού, θ_1 και θ_2 είναι οι γωνίες που σχηματίζουν οι δέσμες εκπομπής και λήψης, αντίστοιχα, με το διάνυσμα της ταχύτητας της ροής και v_s είναι η ταχύτητα του ήχου στο συγκεκριμένο υγρό. Επειδή σε πρακτικές εφαρμογές ισχύει ότι $v_s \gg v \cdot \cos(\theta_1)$ προκύπτει ότι:

$\Delta f = f_r - f_t = f_t \cdot v \cdot [\cos(\theta_2) - \cos(\theta_1)] / v_s$ (4.13). Οι γωνίες θ_1 και θ_2 πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να ισχύει $\theta_1 \neq \theta_2$. Στην περίπτωση του αισθητήρα μέτρησης παροχής Doppler, ο μετατροπέας υπερήχων 1 λειτουργεί ως πομπός υπερηχητικών κυμάτων και ο μετατροπέας υπερήχων 2 λειτουργεί ως δέκτης. Η υπερηχητική δέσμη ανακλάται στα σωματίδια ή τις φυσαλίδες που υπάρχουν μέσα στο υγρό και λαμβάνεται από το δέκτη. Επειδή όμως τα σωματίδια αυτά κινούνται με την ταχύτητα του υγρού, η συχνότητα των υπερήχων που λαμβάνει ο δέκτης είναι διαφορετική από αυτή την οποία εκπέμπει ο πομπός. Η διαφορά είναι ανάλογη της ταχύτητας του υγρού και κατά συνέπεια ανάλογη της παροχής του. Οι αισθητήρες μέτρησης παροχής Doppler με υπερήχους έχουν το πλεονέκτημα ότι για την εγκατάστασή τους δεν απαιτείται επέμβαση στο σωλήνα ροής του υγρού. Έτσι, η μέτρηση της παροχής μπορεί να πραγματοποιηθεί με φορητό όργανο σε οποιοδήποτε σημείο. Για τη λειτουργία τους θα πρέπει να υπάρχουν μέσα στη ροή σωματίδια επάνω στα οποία θα ανακλαστούν οι υπέρηχοι ή τουλάχιστον ανομοιογένεια (πχ. φυσαλίδες) του υγρού για να μπορεί να υπάρξει ανάκλαση.

Η αρχή λειτουργίας μέτρησης της ταχύτητας ροής και επομένως της παροχής ενός υγρού με το φαινόμενο Doppler μπορεί να υλοποιηθεί και με δέσμη laser. Η δέσμη laser που εκπέμπεται από μία

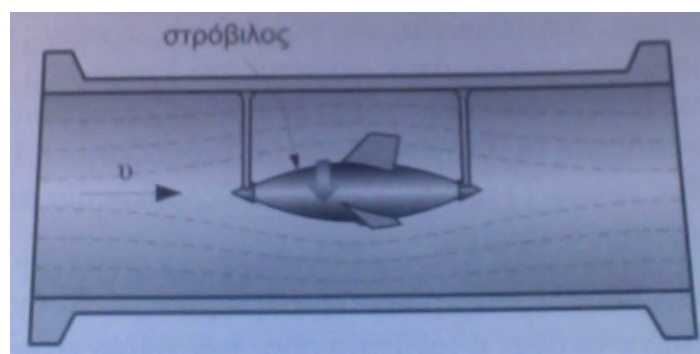
πηγή laser διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους δέσμες laser ίδιας έντασης. Οι δύο δέσμες εστιάζονται έτσι ώστε να διασταυρώνονται στο σημείο της ροής του υγρού όπου είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί η μέτρηση της ταχύτητας ροής. Στο σημείο αυτό παράγεται η συμβολή των κυμάτων των οπτικών ακτινοβολιών των δύο δεσμών laser. Τα κινούμενα σωματίδια που υπάρχουν μέσα στο υγρό προκαλούν τη σκέδαση των δύο δεσμών laser και τη μεταβολή της συχνότητάς τους σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler. Η οπτική ακτινοβολία που λαμβάνεται από το δέκτη (αισθητήρας οπτικής ακτινοβολίας) είναι το αποτέλεσμα της συμβολής των δύο επιμέρους δεσμών laser που έχουν υποστεί σκέδαση και η έντασή της μεταβάλλεται ημιτονοειδώς, με συχνότητα ανάλογη της διαφοράς των συχνοτήτων των δύο δεσμών μετά τη σκέδασή τους. Επομένως είναι ανάλογη της ταχύτητας του υγρού. Η ταχύτητα του υγρού υπολογίζεται στη συνέχεια με κατάλληλη επεξεργασία του σήματος που παράγει ο αισθητήρας οπτικής ακτινοβολίας. Με αυτή τη μέθοδο δεν απαιτείται επαφή του μετρητή ταχύτητας με το μετρούμενο υγρό.



Εικόνα 4.9 Δομή ενός αισθητήρα μέτρησης παροχής Doppler με υπερήχους.

- **Αισθητήρες μέτρησης παροχής στροβίλου**

Στη διάταξη αυτή, ένας στρόβιλος με άξονα παράλληλο στον άξονα του σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει το μετρούμενο υγρό, είναι τοποθετημένος στο κέντρο του σωλήνα και παρεμβάλλεται στη ροή του υγρού. Το υγρό εξαναγκάζεται στον στρόβιλο να περιστρέφεται με ταχύτητα περιστροφής ανάλογη της ταχύτητας ροής του υγρού. Η ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου μετριέται με ανιχνευτή θέσης αντικειμένου, οπότε κάθε φορά που ένα πτερύγιο περνάει μπροστά από τον ανιχνευτή θέσης παράγεται ένας ηλεκτρικός παλμός. Η συχνότητα της παλμοσειράς που παράγεται είναι ανάλογη της ταχύτητας και επομένως της παροχής του υγρού. Οι αισθητήρες μέτρησης παροχής στροβίλου παρέχουν αρκετά καλή ακρίβεια μέτρησης, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι παρεμβάλλονται στη ροή του υγρού.

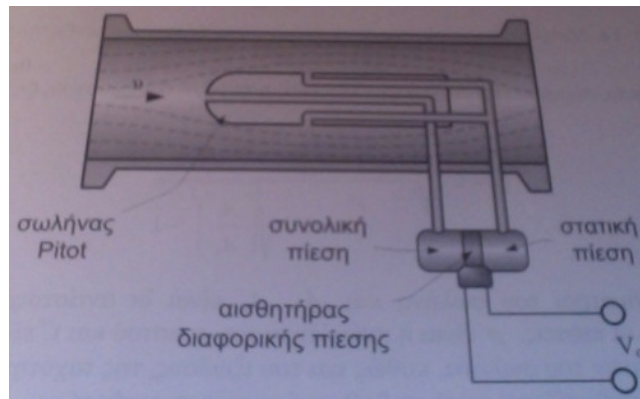


Εικόνα 4.10 Ο αισθητήρας μέτρησης παροχής στροβίλου.

- **Μέτρηση ροής με σωλήνα Pitot**

Η ταχύτητα ροής και η παροχή ενός ρευστού μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας έναν σωλήνα Pitot (Pitot tube), μετρώντας τη διαφορική πίεση μεταξύ δύο σημείων στην κατεύθυνση της ροής του

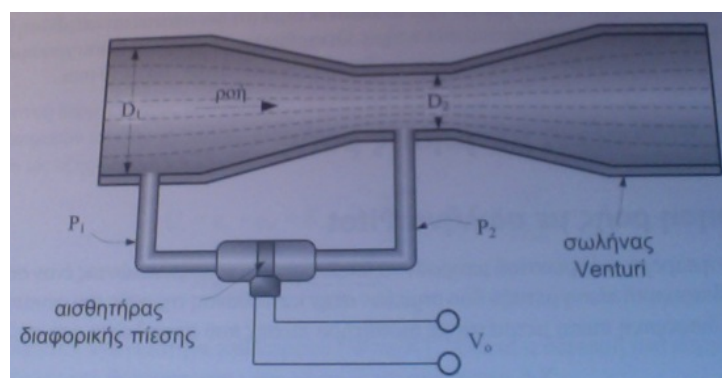
υγρού. Η διαφορική πίεση μετριέται με αισθητήρα πίεσης που αποτελείται από πιεζοαντιστάτες. Σύμφωνα με την εξίσωση του Bernoulli, για τη διάταξη μέτρησης ροής με σωλήνα Pitot ισχύει η σχέση: $P_t = P_s + P_d$ (4.14), όπου P_t είναι η συνολική πίεση, P_s η στατική πίεση και P_d η δυναμική πίεση. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει: $P_t = P_s + \rho \cdot v^2 / 2$ (4.15), όπου v είναι η ταχύτητα του υγρού και ρ είναι η πυκνότητά του. Επιλύοντας την παραπάνω σχέση ως προς την ταχύτητα του υγρού, προκύπτει: $v = \sqrt{2 \frac{(P_t - P_s)}{\rho}}$ (4.16). Η παροχή υπολογίζεται από την μετρούμενη ταχύτητα ροής του υγρού σύμφωνα με τη σχέση $Q = A \cdot v$ (4.17).



Εικόνα 4.11 Μέτρηση ροής με σωλήνα Pitot και αισθητήρα πίεσης.

- **Μέτρηση ροής με σωλήνα Venturi**

Η ροή ενός υγρού μπορεί να υπολογιστεί μετρώντας τη διαφορική πίεση σύμφωνα με το σωλήνα Venturi. Η διαφορική πίεση μετριέται με αισθητήρα πίεσης που αποτελείται από πιεζοαντιστάτες. Στη διάταξη μέτρησης ροής σύμφωνα με το σωλήνα Venturi, η παροχή του ρευστού, Q , υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση: $Q = C \cdot \sqrt{2 \frac{(P_1 - P_2)}{\rho}} \cdot A_1 / \sqrt{(A_1/A_2)^2 - 1}$ (4.18), όπου D_1, D_2 είναι οι διάμετροι του σωλήνα και A_1, A_2 είναι οι αντίστοιχες διατομές του σωλήνα ($A = \pi \cdot D^2 / 4$), P_1, P_2 είναι οι πιέσεις, ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού και C είναι σταθερά που εξαρτάται από τις τιμές των δύο διαμέτρων του σωλήνα, καθώς και του ιξώδους, της ταχύτητας και της πυκνότητας του μετρούμενου ρευστού. Το C καθορίζεται κατά τη βαθμονόμηση του αισθητήρα.



Εικόνα 4.12 Μέτρηση ροής σύμφωνα με τον σωλήνα Venturi και αισθητήρα πίεσης.

- **Μέτρηση ροής με δονούμενο σωλήνα**

Σε αυτή την περίπτωση, ο μετρητής ροής αποτελείται από έναν σωλήνα που δονείται (πχ. υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικής διάταξης), στο εσωτερικό του οποίου διοχετεύεται το μετρούμενο υγρό. Η συχνότητα των δονήσεων του σωλήνα μεταβάλλεται ανάλογα με την ποσότητα μάζας του υγρού που ρέει μέσα από το σωλήνα στην μονάδα του χρόνου. Από τη μέτρηση της συχνότητας των δονήσεων του σωλήνα, σε συνδυασμό με την τιμή της πυκνότητας του υγρού, υπολογίζεται η αντίστοιχη παροχή. Οι μετρητές ροής αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια, έχουν την ικανότητα μετρήσεων σε μεγάλο εύρος τιμών παροχής και κατά τη λειτουργία τους δεν εμποδίζουν τη ροή του υγρού. Όμως, έχουν υψηλό κόστος.

4.2.3 Αισθητήρες που χρησιμοποιεί ο Ο.Α.ΔΥ.Κ

Ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. όσον αφορά στους αισθητήρες μέτρησης στάθμης, χρησιμοποιεί αισθητήρες με υπερήχους και πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες. Τους παρουσιάζουμε παρακάτω:

- **Αισθητήριο μέτρησης στάθμης με υπερήχους – Pulsar blackbox**

Το Pulsar blackbox είναι ένα σύστημα ελέγχου στάθμης το οποίο δεν έρχεται σε επαφή με το υγρό. Έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει πρωτοποριακές υπηρεσίες σε μετρήσεις στάθμης και είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπου απαιτείται παρακολούθηση, αναφορά, έλεγχος ή καταγραφή στάθμης, με ή χωρίς την ανάγκη για τοπική προβολή.

Το blackbox είναι πολύ εύκολο στη χρήση και μπορεί να βαθμονομηθεί γρήγορα και εύκολα μέσω laptop, χρησιμοποιώντας το λογισμικό που παρέχεται με το προϊόν, ή εναλλακτικά χρησιμοποιώντας τον βαθμονομητή χειρός, που συνδέεται στο προϊόν μέσω της διεπαφής RS232 και παρέχει επιτόπου προβολή τύπου LCD. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιονδήποτε από τους Pulsar μετατροπείς dB για αποστάσεις έως 40 m, είναι σχεδιασμένο για να παρέχει υψηλή αξιοπιστία μέτρησης ενώ παράλληλα είναι εύκολο στη χρήση και οικονομικό.

Το σύστημα αυτό στέλνει έναν παλμό μεταβίβασης στον μετατροπέα, ο οποίος εκπέμπει έναν υπερηχητικό παλμό κάθετο στην πρόσοψη του μετατροπέα, και η επιστρεφόμενη ηχώ στέλνεται πίσω στο σύστημα. Ο χρόνος που απαιτείται για να ληφθεί η ηχώ μετράται και η απόσταση από την πρόσοψη του μετατροπέα ως την επιφάνεια που παρακολουθείται, υπολογίζεται. Το blackbox χρησιμοποιεί το software DATEM (Digital Adaptive Tracking of Echo Movement). Αυτό αποτελεί μια μοναδική ψηφιακή τεχνική χαρτογράφησης υλοποιημένη ειδικά για το Pulsar. Μπορεί να μετρήσει από 0.125 m έως 40 m από τον μετατροπέα μέχρι την επιφάνεια που παρακολουθείται, ανάλογα με την εφαρμογή και τον μετατροπέα που χρησιμοποιείται.

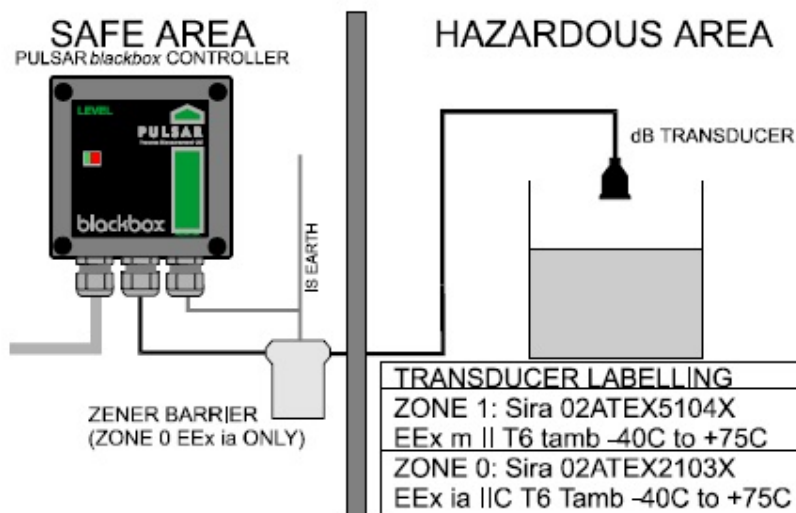
Υπάρχουν δύο ηλεκτρονόμοι* (ρελέδες) “σεταρισμένοι” από το χρήστη, με ατομικά “setpoints”, που μπορούν να προγραμματιστούν για να ενεργοποιήσουν συναγερμούς ή ελεγκτικές λειτουργίες, μια έξοδος mA που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό απομακρυσμένες υποδείξεις και μια θύρα RS232, έτσι ώστε το blackbox να μπορεί να προγραμματιστεί και να παρακολουθηθεί από απόσταση από ένα PC ή άλλο εξοπλισμό. Το blackbox μπορεί να προγραμματιστεί είτε από PC, μέσω της διεπαφής RS232 χρησιμοποιώντας το παρεχόμενο software ή εναλλακτικά από έναν βαθμονομητή χειρός που είναι συνδεδεμένος στο blackbox μέσω της διεπαφής RS232. Όλες οι μετρούμενες παράμετροι αποθηκεύονται σε μη πτητική μνήμη, οπότε διατηρούνται σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

*ηλεκτρονόμος (relay): Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρονόμου είναι απλή. Ένας ηλεκτρομαγνήτης, δηλαδή ένας σιδηρούς πυρήνας με ένα ηλεκτρικό πηνίο τυλιγμένο γύρω του, έλκει τον οπλισμό του, δηλαδή ένα κινητό σιδερένιο μοχλό, όταν περνάει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από το πηνίο. Μόλις διακοπεί το ηλεκτρικό ρεύμα, ο μαγνήτης παύει να έλκει τον οπλισμό του, και ένα ελατήριο επαναφέρει τον τελευταίο στην αρχική του θέση, μακριά από τον σιδερένιο πυρήνα. Συνδέουμε στον οπλισμό έναν ή

περισσότερους διακόπτες, και καθώς ο οπλισμός κινείται υπό την επίδραση του ηλεκτρομαγνήτη αυτός κάνει τους διακόπτες να ανοιγοκλείνουν.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ακρίβεια μέτρησης: 0.25% του μετρούμενου εύρους
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -20 °C έως +50 °C
- Τάση τροφοδοσίας: 115 Volt AC +5% / -10% 50/60 Hz, 230 VAC +5% / -10% 50/60 Hz, 10 – 2 Volt DC, 10W μέγιστη ισχύς (κανονικά 5W)
- Σήμα εξόδου: 4 – 20 mA
- Βάρος: 65 γραμμάρια



Εικόνα 4.13 Το αισθητήριο μέτρησης στάθμης Pulsar blackbox.

- **Πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο μέτρησης στάθμης - Analog Depth/Level Transmitter ATM/N series 24**

Το συγκεκριμένο αισθητήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως:

- Μέτρηση στάθμης δεξαμενών
- Απόβλητα και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων
- Επιφανειακά ύδατα, αρδευτικά κανάλια και ποτάμια
- Λίμνες, φράγματα, βαθιά πηγάδια, ταμιευτήρες

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί κάτω από το νερό ή το μετρούμενο υγρό
- Ακρίβεια μέτρησης: $\leq \pm 0.1\% \text{ FS } (\geq 7 \text{ psi FS})$, $\leq \pm 0.25\% \text{ FS } (< 7 \text{ psi FS})$
- Εύρος πίεσης: Οποιοδήποτε εύρος από 20 ίντσες στήλης νερού ως 360 psi
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -3.88°C έως +51.66°C
- Τάση τροφοδοσίας: 9 – 33 Volt DC
- Σήμα εξόδου: 4 – 20 mA
- Κατασκευή: ανοξείδωτο ατσάλι
- Βάρος: 170 γραμμάρια περίπου



Εικόνα 4.14 Το πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο μέτρησης στάθμης ATM/N series 24.

Τέλος, όσον αφορά στους αισθητήρες μέτρησης ροής (παροχής), ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. χρησιμοποιεί τον παρακάτω αισθητήρα με υπερήχους:

- **Αισθητήρες μέτρησης παροχής με υπερήχους – NivuSonic CO 100 series**

Οι NivuSonic CO 100 series μετρητές, μετρούν τον ρυθμό ροής υπολογίζοντας τον χρόνο διάδοσης ενός υπερηχητικού κύματος σε ένα υγρό, πηγαίνοντας αντίθετα ή μαζί με το ρεύμα σε έναν σωλήνα. Κυρίως χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ροής ομοιογενών υγρών. Η διάταξη αυτή αποτελείται από ένα ζευγάρι υπερηχητικών αισθητήρων, ακουστικά συζευγμένων με το τείχος του σωλήνα και έναν πομπό αξιολόγησης των σημάτων των αισθητήρων. Ο πομπός περιέχει έναν DSP μικροεπεξεργαστή ο οποίος παρέχει τα σήματα που πρόκειται να σταλούν για επεξεργασία.

Χρησιμοποιούνται κυρίως για/σε:

- Επεξεργασία λυμάτων και εφαρμογές άντλησης νερού
- Εξισορρόπηση της ροής
- Υδροηλεκτρικούς, ψυκτικούς, αντιπυρικούς σταθμούς
- Πετρελαϊκή και χημική βιομηχανία
- Βιομηχανία εξόρυξης
- Αυτοκινητοβιομηχανία

Τεχνικά χαρακτηριστικά (NivuSonic CO 100S):

- Θερμοκρασία λειτουργίας: έως +80°C
- Ακρίβεια μέτρησης: μεγαλύτερη από $\pm 0.5\%$ (για ταχύτητα > 0.5 m/sec)
- Τάση τροφοδοσίας: 24 Volt DC και/ή 85 – 264 Volt AC
- Σήμα εξόδου: 4 – 20 mA

NivuSonic CO 100S
wall mount enclosure



Εικόνα 4.15 Ο αισθητήρας μέτρησης παροχής με υπερήχους NivuSonic CO 100S.

4.2.4 Μέθοδοι εντοπισμού διαρροών

Σε ένα αντλιοστάσιο και γενικότερα σε ένα δίκτυο ύδρευσης/άρδευσης πολλές φορές υπάρχουν απώλειες νερού που δημιουργούνται από διαρροές ύδατος στις αντλίες και στους αγωγούς. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε σημαντικές απώλειες στους τόσο πολύτιμους σήμερα υδάτινους και οικονομικούς πόρους. Οι διαρροές στις αντλίες ενός αντλιοστασίου, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθούν εύκολα, κοστίζουν πολλά χρήματα στο αντλιοστάσιο. Επιπλέον, οι διαρροές αυτές δημιουργούν και σημαντικές δευτερεύουσες οικονομικές απώλειες με τη μορφή των ζημιών στο δίκτυο, λόγω της τοπικής καταστροφής των αντλιών και των αγωγών. Εξαιτίας αυτού του φαινομένου έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη για την σχεδίαση και κατασκευή συστημάτων που να ανιχνεύουν την ύπαρξη και τη θέση διαρροών στο δίκτυο ύδρευσης/άρδευσης.

Ορισμένες μέθοδοι εντοπισμού διαρροών σε αντλητικά συστήματα είναι οι εξής:

- Χρήση απλών ακουστικών συσκευών
- Καταγραφείς ήχου
- Χρήση ενδεικτικού αερίου
- Θερμογραφία
- Γεωδιδεισδυτικό ραντάρ
- Μέθοδος συσχετισμού του ήχου διαρροής

Παρακάτω αναλύεται κάθε μέθοδος ξεχωριστά [16]. Να σημειωθεί ότι το δίκτυο του Ο.Α.ΔΥ.Κ. δεν χρησιμοποιεί κανενός είδους σύστημα ανίχνευσης διαρροών.

• Χρήση απλών ακουστικών συσκευών

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την μέθοδο περιλαμβάνουν ακουστικές ράβδους και μικρόφωνα εδάφους (ground microphones) και μπορεί να είναι είτε μηχανικές είτε ηλεκτρονικές. Χρησιμοποιούν ευαίσθητους μηχανισμούς ή υλικά, όπως πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, για την ανίχνευση ήχου ή δονήσεων παραγόμενου από την διαρροή. Οι σύγχρονες ακουστικές συσκευές ενσωματώνουν ενισχυτές σήματος και φίλτρα θορύβου, ώστε να κάνουν το σήμα της διαρροής να ξεχωρίζει.

Ο χειριστής που πραγματοποιεί την έρευνα για διαρροές εξετάζει συστηματικά το δίκτυο αγωγών, χρησιμοποιώντας ακουστικές ράβδους σε κατάλληλα σημεία των αγωγών, ώστε να αναγνωρίσει τον χαρακτηριστικό συριστικό ήχο που δημιουργείται από το διαρρέον ύδωρ. Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου εξαρτάται από το μέγεθος των διαρροών, τον θόρυβο του περιβάλλοντος, από την κίνηση στους δρόμους και την κατανάλωση, και από τον βαθμό της λεπτομέρειας της έρευνας. Γενικές έρευνες, που πραγματοποιούνται ακούγοντας μόνο σε ευκόλως προσβάσιμα σημεία, όπως πυροσβεστικοί κρουνοί και / ή βαλβίδες, επιτρέπουν την ανίχνευση κυρίως μεγάλων διαρροών. Απ'την άλλη, διεξοδικές έρευνες που γίνονται ακούγοντας σε όλα τα προσβάσιμα σημεία, μπορούν να ανιχνεύσουν και μικρές διαρροές. Τα μικρόφωνα εδάφους χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό διαρροών ακούγοντας για ήχο διαρροής στην επιφάνεια του εδάφους ακριβώς πάνω από τον αγωγό σε μικρά διαστήματα. Αυτή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και η επιτυχία της στηρίζεται στην εμπειρία του χειριστή.

• Καταγραφείς ήχου

Οι καταγραφείς ήχου είναι συμπαγείς μονάδες που αποτελούνται από ένα αισθητήριο δονήσεων (ή ένα υδρόφωνο) και έναν προγραμματιζόμενο καταγραφέα δεδομένων. Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ύπαρξης διαρροών σε μεγάλες περιοχές, αλλά δεν είναι κατάλληλες για την εύρεση της τοποθεσίας τους. Οι καταγραφείς τοποθετούνται σε ομάδες των 6 ή παραπάνω σε παρακείμενες κατάλληλες θέσεις του δικτύου, π.χ. πυροσβεστικούς κρουνοί ή βαλβίδες 200 με 500 μέτρα μακριά, και αφήνονται για την διάρκεια της νύχτας. Οι μονάδες είναι συνήθως προγραμματισμένες να συλλέγουν τον ήχο των

αγωγών από τις 2 μέχρι τις 4 πμ. Την επόμενη μέρα συλλέγονται και τα αποθηκευμένα δεδομένα μεταφέρονται σε έναν προσωπικό υπολογιστή πριν οι καταγραφείς μεταφερθούν στην επόμενη τοποθεσία. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα αναλύονται στατιστικά, π.χ. συχνοτική ανάλυση του επιπέδου ήχου, για να ανιχνευτεί η ύπαρξη διαρροών. Πρόσφατα μοντέλα καταγραφών ήχου μπορούν να τοποθετηθούν μόνιμα στο δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση η ανάλυση γίνεται με τα ηλεκτρονικά συστήματα, που περιλαμβάνει η μονάδα, και το αποτέλεσμα μεταδίδεται ασύρματα σε κάποιον περιφερόμενο αποδέκτη.

Το πλεονέκτημα των καταγραφών έναντι της χρήσης απλών ακουστικών μέσων εμφανίζεται σε περιπτώσεις που οι τελευταίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά την διάρκεια της ημέρας λόγω υψηλού περιβαλλοντικού θορύβου.

- **Χρήση ενδεικτικού αερίου**

Σε αυτήν την μέθοδο, ένα μη τοξικό, αδιάλυτο στο νερό και ελαφρύτερο του αέρα αέριο, όπως το ήλιο ή το υδρογόνο, εγχέεται σε ένα απομονωμένο τμήμα του αγωγού. Το αέριο τότε διαφεύγει από το άνοιγμα (αν υπάρχει) στον αγωγό και, όντας ελαφρύτερο από τον αέρα, διαφεύγει προς την ατμόσφαιρα περνώντας από το έδαφος και το οδόστρωμα. Η διαρροή εντοπίζεται σαρώνοντας την επιφάνεια του εδάφους με έναν υψηλής ευαισθησίας ανιχνευτή αερίου.

- **Θερμογραφία**

Η αρχή στην οποία βασίζεται η χρήση της θερμογραφίας για την ανίχνευση διαρροών σε αγωγούς ύδρευσης είναι, ότι το νερό που διαρρέει από έναν υπόγειο αγωγό αλλάζει τα θερμικά χαρακτηριστικά του παρακείμενου εδάφους, κάνοντας το, για παράδειγμα, έναν πιο αποτελεσματικό απορροφητή θερμότητας από το περιβάλλον ξηρό έδαφος. Οι θερμικές ανωμαλίες πάνω από τους αγωγούς ανιχνεύονται με μία κάμερα υπερύθρων τοποθετημένη στο έδαφος ή στον αέρα.

- **Γεωδιδεισδυτικό ραντάρ**

Ένα ραντάρ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσει διαρροές σε υπόγειους αγωγούς είτε ανιχνεύοντας κενά στο έδαφος, που δημιουργούνται από το διαρρέον νερό καθώς κυκλοφορεί κοντά στον αγωγό είτε ανιχνεύοντας κομμάτια του αγωγού τα οποία εμφανίζονται βαθύτερα, από ότι είναι στην πραγματικότητα, λόγω της αύξησης της διηλεκτρικής σταθεράς του παρακείμενου κορεσμένου σε νερό εδάφους. Τα κύματα του γεωδιδεισδυτικού ραντάρ αντανακλώνονται εν μέρει πίσω στην επιφάνεια του εδάφους όταν συναντούν μια ανωμαλία στις διηλεκτρικές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα ένα κενό ή έναν αγωγό. Μια εικόνα του μεγέθους και του σχήματος του αντικειμένου δημιουργείται από τα χρονικά ίχνη του ραντάρ, τα οποία λαμβάνονται σαρώνοντας την επιφάνεια του εδάφους. Η χρονική καθυστέρηση ανάμεσα στα εκπεμπόμενα και ανακλώμενα κύματα καθορίζει το βάθος του ανακλώντος αντικειμένου.

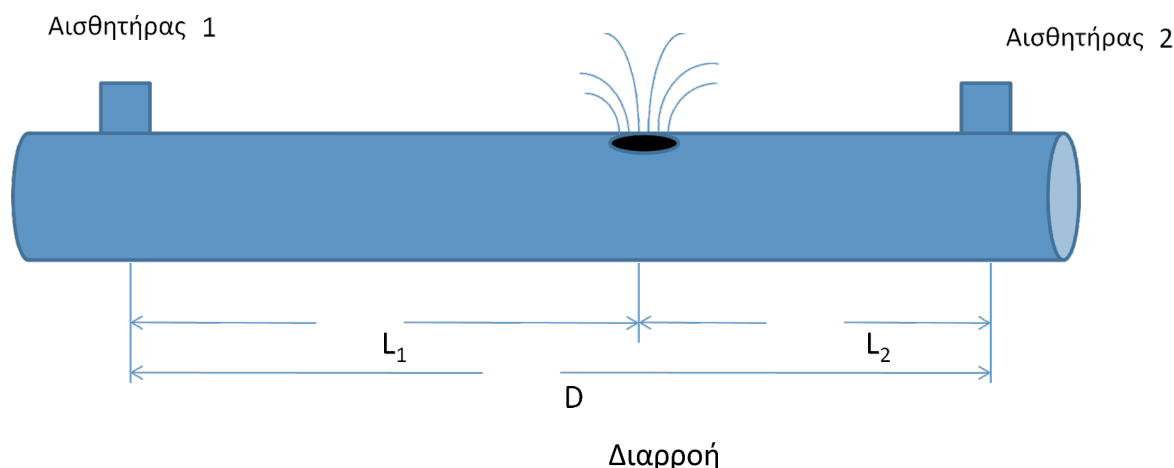
- **Μέθοδος συσχετισμού του ήχου διαρροής**

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε αυτήν τη μέθοδο περιλαμβάνει:

- υδρόφωνα, τα οποία καταγράφουν τον ήχο στην «καρδιά» του αγωγού. Στην ουσία, δηλαδή, είναι μικρόφωνα κατασκευασμένα για υποβρύχια χρήση
- επιταχυνσιόμετρα, τα οποία καταγράφουν τις δονήσεις στην επιφάνεια του αγωγού. Είναι δηλαδή αισθητήρες δονήσεων και καταγράφουν τον ήχο, όπως αυτός εμφανίζεται στην επιφάνεια του αγωγού, δηλαδή με την μορφή δονήσεων.

Για την εφαρμογή της μεθόδου που εξετάζουμε πρέπει πρώτα να ληφθεί το ηχητικό σήμα από τους

αισθητήρες. Η βασική αρχή της διάταξης των αισθητήρων ως προς την διαρροή είναι η διαρροή να βρίσκεται ανάμεσα σε δύο αισθητήρες. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζονται ακριβώς δύο αισθητήρες για την ανίχνευση μιας διαρροής και αυτοί να είναι τοποθετημένοι εκατέρωθεν αυτής, χωρίς να χρειάζεται να βρίσκονται σε ίση απόσταση από αυτήν. Μια απλή σχηματική αναπαράσταση της διάταξης δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4.16 Η διάταξη των αισθητήρων για την εφαρμογή της μεθόδου συσχετισμού του ήχου διαρροής.

Οι αισθητήρες μπορούν να είναι στην επιφάνεια του αγωγού, μέσα σε αυτόν, στην βαλβίδα ενός κρουνοῦ ή σε κάποια άλλη κατάλληλη θέση. Η θέση τους εξαρτάται από το είδος των αισθητήρων, αλλά και τις διαθέσιμες θέσεις που υπάρχουν. Κάποιες διαρροές μπορούν να εντοπισθούν και με ανόμοιο ζεύγος αισθητήρων (π.χ. υδρόφωνο στην μία πλευρά και επιταχυνσιόμετρο στην άλλη).

Η μέθοδος που εξετάζουμε βασίζεται στην στατιστική διαδικασία της ετεροσυσχέτισης μεταξύ δύο σημάτων. Μια αλγοριθμική περιγραφή, σε φυσική γλώσσα, της όλης διαδικασίας εφαρμογής της μεθόδου είναι η εξής:

- Καταγράφουμε με την διάταξη του σχήματος τον ήχο ή τις δονήσεις (ανάλογα με τα τοποθετημένα αισθητήρια) στον εξεταζόμενο σωλήνα για ένα χρονικό διάστημα (συνήθως κάποια λεπτά, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση).
- Ετεροσυσχετίζουμε τα δύο σήματα, που πήραμε από το προηγούμενο βήμα.
- Βρίσκουμε για ποιο χρόνο (t_{max}) το αποτέλεσμα της ετεροσυσχέτισης εμφανίζει μέγιστο.
- Με βάση τους συμβολισμούς του σχήματος θα ισχύει:
- $t_{max} = L_2 - L_1 / c$, όπου c η ταχύτητα διάδοσης του ήχου της διαρροής.
- Όμως επειδή $D = L_2 - L_1$, η παραπάνω σχέση γίνεται:
- $L_1 = D - c \cdot t_{max} / 2$, όπου L_1 η απόσταση της διαρροής από τον πρώτο αισθητήρα, δηλαδή το ζητούμενο.

Τέλος, μια άλλη διάταξη η οποία μεταξύ πολλών άλλων δυνατοτήτων, είναι ικανή να εντοπίζει και διαρροές σε δίκτυα νερού είναι ο έξυπνος μετρητής νερού, ο οποίος παρουσιάζεται παρακάτω.

4.3 Έξυπνοι μετρητές νερού (όγκου)

Οι έξυπνοι μετρητές νερού είναι ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες μετρούν και καταγράφουν την κατανάλωση νερού για διάφορα χρονικά διαστήματα, τα οποία κυμαίνονται από λίγα λεπτά έως ώρες ή και μέρες. Έχουν ενσωματωμένους καταγραφείς δεδομένων, τα οποία δεδομένα αφού καταγράφονται, γίνονται upload σε real time σε server και μπορούν να παρατηρηθούν μέσω κάποιας ιστοσελίδας. Οι έξυπνοι μετρητές νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα κτίρια, όπως εταιρείες ύδρευσης, βιομηχανίες, δίκτυα ύδρευσης και άρδευσης, σχολεία ή ακόμη και κατοικίες και σιγά σιγά αντικαθιστούν τους παλαιού τύπου μετρητές, οι οποίοι μπορούν να μετρήσουν μόνο την κατανάλωση ενέργειας αλλά δεν μπορούν να παρέχουν περισσότερες πληροφορίες και εφαρμογές.

Τα οφέλη από τη χρησιμοποίηση έξυπνων μετρητών νερού σε δίκτυα ύδρευσης και άρδευσης είναι: [17],[11]

- Δυνατότητα παροχής απομακρυσμένου ελέγχου και χειρισμών σε επίπεδο μετρητή πλέον. Έτσι θα μπορεί να διακόπτεται ευκολότερα η παροχή νερού ή να εντοπίζεται αν η έλλειψη νερού οφείλεται στην εταιρεία ύδρευσης ή σε βλάβη του ίδιου του καταναλωτή.
- Βοήθεια στον εντοπισμό διαρροών ή βλαβών στα υδραυλικά του δικτύου, καθώς ο έξυπνος μετρητής δείχνει την κατανάλωση νερού στην οθόνη του καταναλωτή σε πραγματικό χρόνο. Π.χ. σε μια κατοικία, εάν η ωριαία κατανάλωση νερού δεν φτάσει ποτέ το μηδέν, τότε είναι πιθανόν να υπάρχει διαρροή ή υδραυλική βλάβη. Οι εταιρείες ύδρευσης συνήθως χρησιμοποιούν πιο πολύπλοκους αλγορίθμους για την ανίχνευση διαρροών σε εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.
- Προσδιορισμός του σημείου και της έκτασης της βλάβης σε ένα κεντρικό αγωγό νερού. Οι έξυπνοι μετρητές, μπορούν να ενεργοποιήσουν το σύνδεσμο επικοινωνίας με την εταιρεία ύδρευσης και να στείλουν κατάλληλα μηνύματα όταν ανιχνεύσουν μια σημαντική πτώση στη πίεση.
- Ο ταχύτερος εντοπισμός βλαβών συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης νερού και κατά συνέπεια στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος των εταιρειών ύδρευσης.
- Πιο έγκαιρος εντοπισμός των απαραίτητων έργων επέκτασης δικτύων καθώς είναι περισσότερο εφικτή η πρόβλεψη των μελλοντικών αναγκών σε επίπεδο αιχμής ζήτησης - κατανάλωσης νερού.
- Έλεγχος της συμμόρφωσης με τους τοπικούς περιορισμούς νερού.
- Απομακρυσμένη διακοπή ή περιορισμός της παροχής νερού σε περιοχές όπου αυτό επιτρέπεται. Έτσι μειώνεται το κόστος που προκύπτει από την αποστολή “ομάδας τεχνικών” σε οικίες που έχουν ζητήσει διακοπή νερού ή δεν έχουν πληρώσει τον λογαριασμό νερού.
- Ο έλεγχος της ένδειξης του έξυπνου μετρητή από τον ίδιο τον καταναλωτή, καμιά φορά μπορεί να αποτρέψει άσκοπη επίσκεψη της “ομάδας τεχνικών” της εταιρείας ύδρευσης, στην περίπτωση που η βλάβη δεν οφείλεται στην ίδια την εταιρεία.
- Απομακρυσμένος έλεγχος κλοπής νερού.
- Με τη χρησιμοποίηση έξυπνων μετρητών, οι λογαριασμοί νερού πλέον βασίζονται στις πραγματικές ενδείξεις του μετρητή και όχι σε εκτιμήσεις της εταιρείας ύδρευσης. Έτσι, μειώνονται οι κλήσεις προς το κέντρο επικοινωνίας και βελτιώνεται η ικανοποίηση του πελάτη.

- Παροχή αναφοράς στο προσωπικό της εταιρείας ύδρευσης για την αποτελεσματικότητα των διαφόρων προγραμμάτων εξοικονόμησης νερού και δυνατότητα πραγματοποίησης αλλαγών από την εταιρεία.
- Η οθόνη που είναι συνδεδεμένη με τον έξυπνο μετρητή, τοποθετημένη σε περίοπτη θέση, μπορεί να λειτουργήσει σαν έναν συνεχή υπενθυμιτή της ανάγκης για εξοικονόμηση νερού. Επίσης μπορούν να βοηθήσουν τους γονείς να δημιουργήσουν παιχνίδια για τα παιδιά, γύρω από τις ενδείξεις της οθόνης, τα οποία αποσκοπούν στην δημιουργία συνείδησης για εξοικονόμηση νερού και ενέργειας.
- Έρευνες έχουν δείξει ότι οι καταναλωτές που χρησιμοποιούν έξυπνους μετρητές νερού, είναι πιο πιθανό να καταναλώσουν λιγότερο νερό. Μάλιστα, οι οθόνες έξυπνων μετρητών που είναι προσαρμοσμένες στις ανάγκες του καταναλωτή, όπως π.χ. εκείνες που συγκρίνουν την παρούσα κατανάλωση νερού με τον μέσο όρο της γειτονιάς ή με την κατανάλωση προηγούμενων μηνών, μπορούν να βοηθήσουν στην περαιτέρω εξοικονόμηση νερού.



Εικόνα 4.17 Συσκευές έξυπνων μετρητών νερού.

4.3.1 Καταγραφικά ηλεκτρικής ενέργειας και έξυπνοι μετρητές

Η αναγκαιότητα για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε στην κατασκευή και στην δημιουργία συσκευών, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να μετρούν τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη (ηλεκτρικές τάσεις και ρεύματα) με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια, και επιπλέον χρησιμοποιούν αυτές τις μετρήσεις για να υπολογίσουν όλα τα υπόλοιπα ηλεκτρικά στοιχεία της εγκατάστασης (π.χ. ενεργό και άεργο ισχύ), στην προκειμένη περίπτωση των αντλιοστασίων. Οι συσκευές αυτές ονομάζονται καταγραφικά ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπάρχουν αρκετοί τύποι τέτοιων μετρητών. Ορισμένοι είναι οι εξής:

- FLUKE 1750 και FLUKE 1760
- Gran-Electro SS-101 και Gran-Electro SS-301
- AMPROBE DM-III
- G4500 BLACKBOX Portable Power Quality Analyzer

Ο μετρητής AMPROBE DM-III, για παράδειγμα, προσφέρει τις εξής δυνατότητες:

- Καταγραφή πραγματικού RMS (με τις αρμονικές)
- Μέτρα και καταγράφει το φάσμα της ποιότητας ισχύος

Παράμετροι

- AC ρεύμα
 - AC τάση μέχρι 600 V
 - Τάσεις και υπερτάσεις
 - Αρμονικές
 - Ενεργός, άεργος και φαινόμενη ισχύς
 - Ισχύς
 - Μέγιστη ζήτηση
 - Συντελεστής ισχύος
 - Συχνότητα
 - Ακολουθία φάσης
- Συμβατό με ευρύ φάσμα μετατροπέων ρεύματος
 - Δουλεύει με μία και με τρεις φάσεις
 - Εντοπίζει και καταγράφει τάσεις και υπερτάσεις
 - Μετατόπιση του συντελεστή ισχύος για τον καθορισμό της διόρθωσης του συντελεστή ισχύος
 - Εμφανίζει κυματομορφές
 - Ένδειξη ακολουθίας φάσης
 - Καταγράφει έως και 64 παραμέτρους
 - Επιλογή θεμελιώδους συχνότητα
 - Ειδικό σύστημα συμπίεσης δεδομένων
 - Δυνατότητα λήψης (download) των δεδομένων (συμβατό με Windows)



Εικόνα 4.18 Το καταγραφικό ηλεκτρικής ενέργειας AMPROBE DM-III.

Ακόμη μεγαλύτερες δυνατότητες εμφανίζουν οι έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας (Smart Meters). Η γενική λειτουργία των έξυπνων μετρητών είναι ότι πραγματοποιούν μετρήσεις σε ψηφιακή μορφή δειγματοληπτώντας τις τιμές ρεύματος και τάσης. Το τελικό αποτέλεσμα είναι πραγματικού χρόνου δεδομένα για την κατανάλωση τα οποία είναι ψηφιακά, άρα και εύκολα προς επεξεργασία, αποθήκευση και μεταφορά.

Οι έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας αφορούν κυρίως τον πάροχο ενέργειας και εμφανίζουν πάρα πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους παλιούς ήδη υπάρχοντες ηλεκτρομηχανικούς μετρητές ενέργειας. Ο οποιοσδήποτε μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη δυνατότητα καταγραφής καταναλισκόμενης ενέργειας, ο έξυπνος μετρητής όμως, εκτός του ότι μετράει με απόλυτη ακρίβεια την τάση και το ρεύμα μπορεί ύστερα από επεξεργασία να υπολογίζει και να εμφανίζει την καταναλισκόμενη μέση ισχύ, το συντελεστή ισχύος, τις αρμονικές τάσης και ρεύματος και άλλα μεγέθη ενέργειας τα οποία μπορεί να ενδιαφέρουν τον εκάστοτε καταναλωτή.

Οι έξυπνες αυτές συσκευές μέτρησης εφόσον αποθηκεύουν κάθε χρονική στιγμή την κατανάλωση της εκάστοτε εγκατάστασης, μπορούν να χρησιμεύσουν σε αλγόριθμους που έχουν ως στόχο ύστερα από επεξεργασία των αντίστοιχων μετρήσεων να αντιλαμβάνονται ποιος ηλεκτρικός κινητήρας (π.χ. αντλία) χρησιμοποιείται και πόσο επακριβώς ρεύμα καταναλώνει. Το γεγονός αυτό εξυπηρετεί την καλύτερη διαχείριση άρα και την βελτιστοποίηση του δικτύου διανομής ενέργειας αφού οι παραπάνω

πληροφορίες έχουν την δυνατότητα να στέλνονται στον διαχειριστή. Η βελτιστοποίηση αυτή προκύπτει από τη συλλογή όλων των καταγεγραμμένων δεδομένων μέτρησης και τη δημιουργία μιας ενιαίας βάσης δεδομένων, η οποία θα έχει ως στόχο την κατανόηση των καταναλωτικών συνηθειών.

Επιπρόσθετα, με την εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας, ο κάθε καταναλωτής (αντλιοστάσιο) θα μπορεί να ενημερώνεται απευθείας για την εκάστοτε ποσότητα κατανάλωσής του. Η ενημέρωση του καταναλωτή μπορεί να γίνεται με ευκολία στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή του, εφόσον υπάρχει ασύρματη σύνδεση μεταξύ υπολογιστή και μετρητή. Η συνεχής ενημέρωση του καταναλωτή αποσκοπεί στη μείωση χρήσης ηλεκτρικών κινητήρων (π.χ. αντλιών), οι οποίες καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. [18]

Ορισμένα πλεονεκτήματα από τη χρήση έξυπνων μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας σε αντλιοστάσια είναι τα εξής: [19]

- Μείωση του λειτουργικού κόστους του αντλιοστασίου.
- Συλλογή δεδομένων από τον καταναλωτή (αντλιοστάσιο) για αποτίμηση δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας.
- Δυνατότητα σεναρίων τιμολόγησης.
- Καταγραφή χρονοσειράς ζήτησης.
- Απομακρυσμένος έλεγχος και χειρισμός φορτίου (σύνδεση-αποσύνδεση-περιορισμός). Δυνατότητα ευελιξίας του.
- Ανάλυση βλαβών και προληπτική συντήρηση.
- Βελτιωμένη ασφάλεια προσωπικού και εξοπλισμού μέσω διαχείρισης βλαβών και βελτίωσης της ποιότητας ισχύος.
- Η αποτελεσματική μέτρηση οδηγεί σε βελτίωση αποδοτικότητας ενέργειας και κόστους.

5. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

5.1 Γενική περιγραφή του νησιού

Με συνολική έκταση 8.336 τετραγωνικά χιλιόμετρα και ποσοστό που καλύπτει το 6.3% της συνολικής έκτασης της χώρας, η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί στην Ελλάδα και δεύτερο μεγαλύτερο (μετά την Κύπρο) της Ανατολικής Μεσογείου. Έχει μήκος 260 χιλιόμετρα και ποικίλλει στο πλάτος με ένα μέγιστο 60 χιλιομέτρων σε ένα ελάχιστο 12 χιλιομέτρων στον ισθμό Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη. Ο πληθυσμός της Κρήτης, βάση της τελευταίας απογραφής που πραγματοποιήθηκε το 2011, ανέρχεται στους 621.340 κατοίκους. Οι περισσότεροι από αυτούς ζουν στις πέντε μεγαλύτερες πόλεις (Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Ιεράπετρα, Άγιος Νικόλαος). Τη διοικητική διάρθρωση του νησιού απάρτιζαν 4 νομαρχιακά διαμερίσματα, ενώ πλέον αποτελεί από μόνη της μια διοικητική περιφέρεια, την Περιφέρεια Κρήτης.

Ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού είναι από τους μεγαλύτερους πανελλαδικά ενώ υπερδιπλασιάζεται κατά τη θερινή περίοδο, λόγω τουριστών και παραθεριστών. Σύμφωνα με την επεξεργασία αποτελεσμάτων της τελευταίας απογραφής, όλες οι περιφέρειες της Ελληνικής επικράτειας παρουσίασαν μείωση ή σταθερότητα, με εξαίρεση την Κρήτη και το Νότιο Αιγαίο, όπου καταγράφηκε αξιοσημείωτη αύξηση. Η Κρήτη επίσης, είναι ένα νησί που εμφανίζει ιδιαίτερη τουριστική κίνηση. Το 15% των συνολικών αφίξεων, λιμένα και αερολιμένα, στη χώρα γίνονται μέσω της πόλης του Ηρακλείου. Είναι χαρακτηριστικό, πως το έτος του 2006 οι ναυλωμένες πτήσεις στο Ηράκλειο αριθμούσαν το 20% του συνόλου των πτήσεων ναύλωσης στη χώρα και συνολικά, περισσότεροι από δύο εκατομμύρια τουρίστες επισκέφθηκαν την Κρήτη.

Έτσι, στο νησί της Κρήτης εξελίσσονται δύο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή ζήτηση μίας περιοχής. Ο πρώτος παράγοντας είναι η πληθυσμιακή εξέλιξη, ο οποίος λειτουργεί ως πολλαπλασιαστικός παράγοντας της ζήτησης. Άυξηση του πληθυσμού συνεπάγεται αύξηση της κατανάλωσης του νερού, επομένως και αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η οικονομική κατάσταση μίας περιοχής, καθώς είναι γεγονός ότι η ενεργειακή ζήτηση ακολουθεί την εκάστοτε οικονομική εξέλιξη. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι ένα από τα σημαντικότερα φορτία του νησιού αποτελούν τα αντλητικά συστήματα τα οποία βρίσκουν εφαρμογές στην ύδρευση, άρδευση, αποχέτευση, γεωτρήσεις κλπ.

5.2 Γενικά για αυτόνομα Σ.Η.Ε.

Στα αυτόνομα συστήματα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να καλύπτει κάθε στιγμή την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση. Παρόλα αυτά όμως, παρουσιάζονται μια σειρά από ενεργειακά προβλήματα στο αυτόνομο Σ.Η.Ε. της Κρήτης αλλά και σε πολλά άλλα μικρότερα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα της χώρας. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Η μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από το πετρέλαιο (ντίζελ, μαζούτ), σε σχέση με την ηπειρωτική Ελλάδα (υψηλό κόστος μεταφοράς).
- Οι υψηλοί ρυθμοί αύξησης ενεργειακής ζήτησης που οφείλονται στην αλματώδη ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου και του τουρισμού (ο ετήσιος ρυθμός αύξησης ενεργειακής ζήτησης, μέχρι πριν λίγα χρόνια ανερχόταν σε ποσοστό έως και 8%).
- Το υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της υπερλειτουργίας ορισμένων συμβατικών μονάδων παραγωγής με υψηλό κόστος λειτουργίας.

Σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων καλούνται να παίξουν οι μονάδες παραγωγής Α.Π.Ε. οι οποίες γι' αυτό το λόγο μάλιστα αποτελούν υψηλή προτεραιότητα για το νησί. Η Κρήτη λόγω της γεωγραφικής της θέσης, διαθέτει εξαιρετικά ευνοϊκές συνθήκες για εκμετάλλευση παραγωγής μονάδων Α.Π.Ε. καθώς διαθέτει πλούσιο αιολικό και ηλιακό δυναμικό.

Οι μονάδες παραγωγής από Φ/Β και Αιολικούς σταθμούς, μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά με τις αντίστοιχες διαθέσιμες μονάδες συμβατικής παραγωγής, συμβάλλοντας έτσι:

- Στην αυξανόμενη κατεύθυνση του δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής του νησιού
- Στην εξοικονόμηση μεγάλου μέρους της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων
- Και τελικά, στη μείωση του υψηλού κόστους λειτουργίας παραγωγής των υφιστάμενων συμβατικών μονάδων παραγωγής.

5.3 Γενικά χαρακτηριστικά για το Σ.Η.Ε. Κρήτης

Το Σ.Η.Ε. της Κρήτης είναι το μεγαλύτερο αυτόνομο σύστημα στην Ελλάδα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει το καθιστούν μοναδικό στην Χώρα ενώ ταυτόχρονα έχει όλα τα τεχνικά γνωρίσματα ενός αυτόνομου νησιωτικού συστήματος με όλα τα μειονεκτήματα που αυτά συνεπάγονται (αναφέρονται παρακάτω).

Το Σ.Η.Ε. της Κρήτης παρουσιάζει συνοπτικά τα εξής ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά:

- Περιλαμβάνει τρεις Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (Α.Η.Σ.) Παραγωγής.
- Διαθέτει συνολικά 27 εγκατεστημένες συμβατικές μονάδες.
- Δίκτυα γραμμών μεταφοράς Υ.Τ. (150 kV και 66 kV) και Μ.Τ. (20 kV).
- 17 Υποσταθμούς Υ.Τ.
- Κέντρο κατανομής Φορτίου (στον Υποσταθμό Ηράκλειο II) που χρησιμοποιεί σύστημα τηλεμέτρήσεων S.C.A.D.A. Η λειτουργία του, παρέχει, συνεχή επιτήρηση πραγματικού χρόνου του ηλεκτρικού δικτύου και της παραγόμενης ενέργειας των Αιολικών Πάρκων καθώς και τους απαιτούμενους τηλεχειρισμούς.
- Δύο μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (Μ.ΥΗ.Σ.).
- Αιολικά Πάρκα με σημαντικό βαθμό διείσδυσης στο σύστημα.
- Μεγάλο αριθμό Φ/Β Σταθμών (καθώς αρκετοί έχουν αδειοδοτηθεί και οι μισοί περίπου έχουν εγκατασταθεί).

Όσον αφορά το φορτίο που σχετίζεται με τις αντλίες παρακάτω παραθέτονται στοιχεία για δύο ενδιαφέρουσες περιπτώσεις του νησιού: [11]

Ιεράπετρα

Ο συνολικός αριθμός αντλιών στην περιοχή της Ιεράπετρας ανέρχεται σε 727 με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 6942 kW. Το 95% των αντλιών αυτών έχει ισχύ μικρότερη από 30 kW ενώ 95% των αντλιών δουλεύει λιγότερο από 6.4 ώρες κατά μέσο όρο ημερησίως. Η μέση ημερήσια ζήτηση ενέργειας από το σύνολο των αντλιών είναι 8849 kWh, οδηγώντας σε μέσο συντελεστή φορτίου ίσο με μόλις 5.3%.

Ο συνολικός αριθμός αντλιών στην περιοχή των Μοιρών ανέρχεται σε 422 με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 7103 kW. Το 95% των αντλιών αυτών έχει ισχύ μικρότερη από 45 kW ενώ το 95% των αντλιών δουλεύει λιγότερο από 10.6 ώρες κατά μέσο όρο ημερησίως. Η μέση ημερήσια ζήτηση ενέργειας από το σύνολο των αντλιών είναι 26717 kWh, οδηγώντας σε μέσο συντελεστή φορτίου ίσο με 15.67%.

5.3.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία θερμικών μονάδων παραγωγής

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των θερμικών μονάδων του νησιού, καθώς χρίζονται απαραίτητα στοιχεία για τις ανάγκες της προσομοίωσης που εκτελέστηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Αρχικά, παρατίθενται οι Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής (Α.Η.Σ.) του νησιού, έπειτα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά, τα στοιχεία που αφορούν την ικανότητα παραγωγής και τους τεχνικούς περιορισμούς λειτουργίας των θερμικών μονάδων του συστήματος, ενώ στη συνέχεια δείχνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων κόστους λειτουργίας τους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το Σ.Η.Ε. της Κρήτης διαθέτει τρεις Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς Παραγωγής που διαχειρίζεται αποκλειστικά η Δ.Ε.Η. και βρίσκονται:

- Στα Λινοπεράματα του Νομού Ηρακλείου, 6 χιλιόμετρα Δυτικά της πόλης του Ηρακλείου.
- Στη Ξυλοκαμάρα του Νομού Χανίων, 6 χιλιόμετρα Ανατολικά της πόλης των Χανίων.
- Στον Αθερινόλακκο του Νομού Λασιθίου, περίπου 25 χιλιόμετρα Νότια από την πόλη της Σητείας.

Οι τρεις Σταθμοί Παραγωγής του νησιού διαθέτουν σχεδόν όλα τα είδη συμβατικών μονάδων που υπάρχουν. Η βασική διαφορά ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους, είναι ο τύπος της καύσιμης ύλης που χρησιμοποιούν. Επομένως, υπάρχει μια ποικιλομορφία των συμβατικών μονάδων παραγωγής στο Σ.Η.Ε. της Κρήτης καθώς περιλαμβάνονται συνολικά τα εξής είδη:

- Ατμοστροβιλικές Μονάδες (Μονάδες βάσης)
- Μηχανές Εσωτερικής Καύσης ή Μ.Ε.Κ. (Μονάδες βάσης, μεσαίου φορτίου)
- Μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου (Μονάδες βάσης, μεσαίου φορτίου)
- Αεριοστροβιλικές Μονάδες (Μονάδες φορτίου αιχμής)

Τεχνικοί περιορισμοί και ικανότητα παραγωγής

Οι μονάδες αυτές αν συγκριθούν μεταξύ τους, εκτός από τον τύπο της καύσιμης ύλης, διαφέρουν και σε άλλα χαρακτηριστικά. Οι διαφοροποιήσεις των μονάδων παραγωγής σημειώνονται καταρχήν σε τεχνικά χαρακτηριστικά της παραγόμενης ισχύος και έχουν να κάνουν με:

- την ονομαστική τους ισχύ (ικανότητα παραγωγής)
- την καθαρή τους ισχύ
- την ισχύ σε υψηλές θερμοκρασίες (ισχύς θέρους)
- και την ελάχιστη δυνατή ισχύ (τεχνικό ελάχιστο)

Επίσης υπάρχουν και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν να κάνουν με τη λειτουργία των θερμικών μονάδων όπως, οι χρόνοι έναρξης και τερματισμού της λειτουργίας τους, η θερμοκρασία και η ταχύτητα λειτουργίας τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε μονάδα έχει τη δική της χρήση και το δικό

της χρόνο λειτουργίας ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου. Έτσι, ένα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι το συνολικό κόστος των μονάδων αυτών, όπως είναι το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησής τους.

Επίσης, κάθε μονάδα μπορεί να λειτουργήσει είτε αυτόνομα (ανοιχτού κύκλου) είτε σε συνδυασμό με κάποια άλλη (συνδυασμένου κύκλου). Για παράδειγμα στον Α.Η.Σ. Χανίων χρησιμοποιείται μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου αποτελούμενη από δύο αεριοστροβίλους και έναν ατμοστρόβιλο (ΑΕΡ 6 Σ.Κ., ΑΕΡ 7 Σ.Κ. και ΑΤΜ 1 ΧΑΝ). Τέλος, αναφέρεται ότι οι αεριοστροβλικές μονάδες ΑΕΡ 1 ΛΙΝ, ΑΕΡ 2 ΛΙΝ του Α.Η.Σ. Λινοπεραμάτων διατηρούνται σε λειτουργία ψυχρής εφεδρείας.

Στον Πίνακα 5.1 παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των θερμικών μονάδων παραγωγής του Σ.Η.Ε. της Κρήτης κατά το έτος 2008.

	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΟΥΣ (MW)	ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟ (MW)	ΚΑΥΣΙΜΟ
Α.Η.Σ. ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ					
ATM 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	6	6	6	4	Μαζούτ
ATM 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	8	Μαζούτ
ATM 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	8	Μαζούτ
ATM 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18	Μαζούτ
ATM 5 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18	Μαζούτ
ATM 6 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	24	24	23	18	Μαζούτ
DIESEL 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3	Μαζούτ
DIESEL 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3	Μαζούτ
DIESEL 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	6	Μαζούτ
DIESEL 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	11	11	11	3	Μαζούτ
ΑΕΡ 1 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	15	15	13	3	Ντίζελ
ΑΕΡ 2 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	15	15	13	3	Ντίζελ
ΑΕΡ 3 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	43	43	41	5	Ντίζελ
ΑΕΡ 4 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	14	14	13	3	Ντίζελ
ΑΕΡ 5 ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΩΝ	28	28	25	5	Ντίζελ
Α.Η.Σ. ΧΑΝΙΩΝ					
ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	132	126	112	35	Ντίζελ
ΑΕΡ 1 ΧΑΝΙΩΝ	16	14	11	3	Ντίζελ
ΑΕΡ 4 ΧΑΝΙΩΝ	24	20	19	3	Ντίζελ
ΑΕΡ 5 ΧΑΝΙΩΝ	30	28	27	5	Ντίζελ
ΑΕΡ 11 ΧΑΝΙΩΝ	59	58	54	10	Ντίζελ
ΑΕΡ 12 ΧΑΝΙΩΝ	59	58	54	10	Ντίζελ
ΑΕΡ 13 ΧΑΝΙΩΝ	28	28	25	5	Ντίζελ
Α.Η.Σ. ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ					
DIESEL 1 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	51	50	50	35	Μαζούτ
DIESEL 2 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	51	50	50	25	Μαζούτ
ATM 1 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	44	43	44	22	Μαζούτ
ATM 2 ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ	44	43	44	22	Μαζούτ
ΣΥΝΟΛΟ	803	783	740		

Πίνακας 5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμικών μονάδων παραγωγής του Σ.Η.Ε. της Κρήτης.

Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά παραμέτρων κόστους

Τα στοιχεία που αφορούν τα χαρακτηριστικά των παραμέτρων κόστους των θερμικών μονάδων παραγωγής του συστήματος, είναι απαραίτητα στοιχεία της κύριας υπορουτίνας του εφαρμοζόμενου αλγορίθμου. Η γενική μορφή της συνάρτησης κατανάλωσης καυσίμου, δίνεται από τη σχέση (6.1):

$$f(x) = cubcoeff_i \cdot x^3 + sqcoeff_i \cdot x^2 + lincoeff_i \cdot (x + constcoeff_i + start_{up_i}) \cdot fuel_cost \quad (6.1)$$

Τα περιεχόμενα του Πίνακα 5.2, χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση των αρχείων εισόδου το εφαρμοζόμενου αλγορίθμου και αποτελούν τα χαρακτηριστικά στοιχεία των παραμέτρων κόστους των θερμικών μονάδων του συστήματος.

Συμβολισμός μονάδων	Cubcoeffi (Kg/MWh ³)	sqcoeffi (Kg/MWh ²)	lincoeffi (Kg/MWh)	constcoeffi (Kg-lt)	Τιμή καυσίμου fuel_costi (€/kg-lt)	Κόστος εκκίνησης startup_costi (€)
ATM 1 ΔΙΝ	17,377	-167,2	727,6	0,001	0,4149	1.489
ATM 2 ΔΙΝ	0,476	-11,824	378,937	0,001	0,4149	1.489
ATM 3 ΔΙΝ	0,476	-11,824	378,937	0,001	0,4149	1.489
ATM 4 ΔΙΝ	0,18	-8,053	355,088	0	0,4149	2.600
ATM 5 ΔΙΝ	0,092	-4,166	300,58	0	0,4149	1.547
ATM 6 ΔΙΝ	0,092	-4,166	300,58	0	0,4149	1.547
DIESEL 1 ΔΙΝ	0,421	-8,378	230,368	0	0,4149	192
DIESEL 2 ΔΙΝ	0,421	-8,378	230,369	0	0,4148	192
DIESEL 3 ΔΙΝ	0,421	-8,378	230,368	0	0,4149	139,27
DIESEL 4 ΔΙΝ	0,421	-8,378	230,369	0,01	0,4148	139,27
AEP 1 ΔΙΝ	2,48	-5,87	881,5	1,2	0,6982	179,1
AEP 2 ΔΙΝ	2,48	-5,87	881,5	1,2	0,6982	179,1
AEP 3 ΔΙΝ	0,0001	0,001	319	0	0,6982	15
AEP 4 ΔΙΝ	0,0001	0,001	403	0	0,6982	11
AEP 5 ΔΙΝ	0,0001	0,001	308	0	0,6982	14
AEP 6 Σ.Κ	0,001	0,01	145,54	5120	0,6962	192,01
AEP 7 Σ.Κ	0,001	0,01	145,64	5120	0,6962	230,41
AEP 1 ΧΑΝ	0	0,01	267	2170	0,6962	38,4
AEP 4 ΧΑΝ	0	0,01	219	2865	0,6962	460,83
AEP 5 ΧΑΝ	0	0,01	275	3757	0,6962	307,22
AEP 11 ΧΑΝ	0,001	0,01	227	5000	0,6962	0,1
AEP 12 ΧΑΝ	0,001	0,01	227	5000	0,6962	0,1
AEP 13 ΧΑΝ	0,0001	0,001	387	0	0,6962	15
DIESEL 1 ΑΘΕΡ	0,017	-1,3	222,6	0,27	0,3919	270
DIESEL 2 ΑΘΕΡ	0,017	-1,3	222,6	0,27	0,3919	270
ATM 1 ΑΘΕΡ	-0,003	-0,958	282,91	0,8	0,3919	350
ATM 2 ΑΘΕΡ	-0,003	-0,958	282,91	0,8	0,3919	350

Πίνακας 5.2 Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων κόστους των θερμικών μονάδων του συστήματος.

5.4 Στοιχεία για τις μονάδες Α.Π.Ε. στην Κρήτη

Σημαντικά είναι τα ποσοστά της εγκατεστημένης παραγωγής από μονάδες Α.Π.Ε. στη Κρήτη. Το πλούσιο ηλιακό και αιολικό δυναμικό που διαθέτει το νησί, δίνει σημαντικά κίνητρα στους παραγωγούς που θέλουν να επενδύσουν σε εγκαταστάσεις Φ/Β και Αιολικών πάρκων. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι μονάδες Α.Π.Ε. που είναι διασυνδεδεμένες με το Σ.Η.Ε. της Κρήτης σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο του ΔΕΔΔΗΕ για το έτος 2012.

Αιολικά (MW)	Μικρά Υδροηλεκτρικά (MW)	Βιοαέριο – Βιομάζα (MW)	Φ/Β (MW)	Σύνολο (MW)
173,94	0,3	0,4	70,37	245.01

Πίνακας 5.3 Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων Α.Π.Ε. για το νησί της Κρήτης το 2012.

- **Αιολικά**

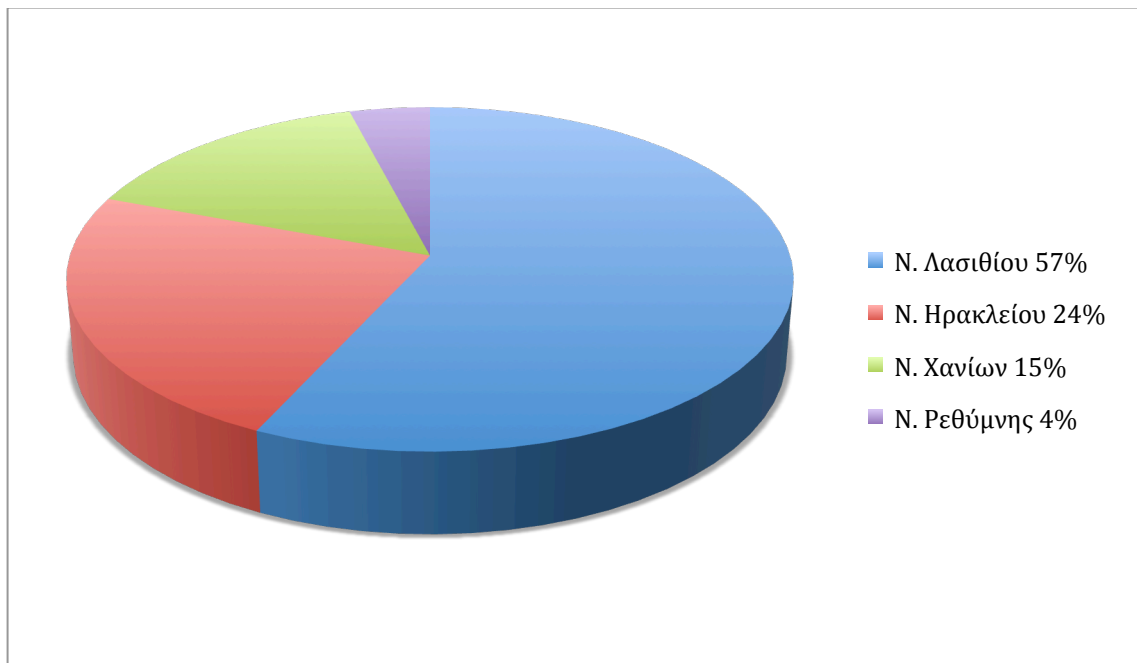
Το νησί της Κρήτης αντιπροσωπεύει “ελκυστική” τοποθεσία για εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Αυτό, εξαιτίας του εξαιρετικού αιολικού δυναμικού και της αυξημένης ενεργειακής ζήτησης του νησιού. [21] Ο αριθμός των εγκαταστάσεων από Αιολικά Πάρκα (Α/Π) στο νησί είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικός, ενώ επίσης υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τη δημιουργία ακόμη περισσότερων μονάδων αιολικής ενέργειας.

Μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό εμφανίζεται σε περιοχές του Νομού Λασιθίου. Στην συντριπτική τους πλειονότητα οι εγκαταστάσεις Α/Π του νησιού βρίσκονται στην περιοχή της Σητείας καθώς οι ανεμολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, όπως η υψηλή μέση ταχύτητα ανέμου σε συνδυασμό με μικρές διακυμάνσεις ταχύτητας και της κατεύθυνσής του, αποτελούν εξαιρετικά ευνοϊκό παράγοντα επένδυσης σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις.

Παρακάτω παρουσιάζεται αρχικά η κατανομή των Αιολικών Πάρκων της Κρήτης ανά Νομό για το έτος 2012 και στη συνέχεια η ποσοστιαία κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος Αιολικών Πάρκων στους νομούς της Κρήτης το 2011.

Νομός	Αριθμός Αιολικών Πάρκων	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Χανίων	4	26.45
Ρεθύμνης	1	7.09
Ηρακλείου	6	41.4
Λασιθίου	20	99

Πίνακας 5.4 Αιολικά Πάρκα της Κρήτης ανά Νομό για το 2010



Σχήμα 5.1 Ποσοστιαία κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος Αιολικών Πάρκων στους νομούς της Κρήτης το 2010.

Ο Πίνακας 5.5 παρακάτω, παρουσιάζει το σύνολο των εγκατεστημένων Αιολικών Πάρκων της Κρήτης ανά Νομό μαζί με τις αναλυτικές πληροφορίες τους, όπως ενεργειακή παραγωγή, εγκατεστημένη ισχύς και Συντελεστής Χρησιμοποίησης ή Συντελεστής Εκμετάλλευσης (Capacity Factor*), για το έτος 2010, και είναι τρανή απόδειξη των παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι αριθμοί του παρακάτω πίνακα που αναφέρονται στην παραγόμενη ενέργεια (MWh) και στο Capacity Factor του κάθε αιολικού πάρκου έχουν υποστεί τις συνέπειες του περιορισμού της παραγωγής που περιγράφεται σε επόμενη ενότητα, με αποτέλεσμα να είναι σημαντικά μικρότεροι σε σχέση με τους αριθμούς που θα είχαμε αν δεν παρατηρούνταν αυτό το φαινόμενο.

*Capacity Factor: Με δεδομένη την ετήσια ενεργειακή απόδοση μιας ανεμογεννήτριας ή αιολικού πάρκου, ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης ή Συντελεστής Εκμετάλλευσης (Capacity Factor) ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που παράγεται προς αυτή που θα μπορούσε να παράγει η μηχανή ή το πάρκο αν λειτουργούσε συνεχώς υπό ονομαστική ισχύ:
$$C.F. = \frac{E}{8760 * P} \quad (8.1),$$
 όπου: E είναι η ετήσια ενέργεια που παράγει η γεννήτρια ή το πάρκο και P είναι η εγκατεστημένη ισχύς του πάρκου.

Πάρκο	Τοποθεσία	Ενέργεια Εγκατεστημένη Capacit		
		(MWh)	Ισχύς (MW)	Factor
ΥΔΡΟΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	Ν. Χανίων (Ρόβας Καστελίου)	29661.42	9.35	36.2
ENVITEC Α.Ε. (Βάρδια)	Ν. Χανίων (Βάρδια)	11574.71	5.4	24.4
ENVITEC Α.Ε. (Βατάλι)	Ν. Χανίων (Βιτάλι)	12052.16	5.4	25.4
ΑΝΕΜΟΣ ΑΛΚΥΟΝΗΣ Α.Ε.Ε.	Ν. Χανίων (Προφήτης Ηλίας)	17053.95	6.3	30.9
IWECO Α.Ε.	Ν. Ηρακλείου (Μεγάλη Βρύση)	11738.54	4.95	27.0
ΔΟΜΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	Ν. Ηρακλείου (Βοσκερό, Δ. Κρουσώνα)	15019.62	5.95	28.8
ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.	Ν. Ηρακλείου (Αγ. Βαρβάρα)	36175.85	14.45	28.5
ΜΟΙΡΩΝ Α.Ε.	Ν. Ηρακλείου (Αντισκάρι, Δ. Μοιρών)	9899.26	5.25	21.5
ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	Ν. Ηρακλείου (Αγ. Κύριλλος, Δ. Γόρτυνας)	10365.21	7.2	16.4
ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Β.Ε.Ε.	Ν. Ηρακλείου (Καλόγηρος, Δ. Γαζίου)	4955.69	3.6	15.7
Δ.Ε.Η. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Ι.Μ. Τοπλού Σητείας)	11094.28	6.6	19.1
Δ.Ε.Η. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Ξηρολίμνη, Δ.Σητείας)	43788.85	13.2	37.8
ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗ ΑΒΕΕ	Ν. Λασιθίου (Ξηρολίμνη (Αγριλίδια Μητάτου))	54674.53	18	34.6
ΑΕΟΛΟΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Χανδράς Λεύκης)	25768.19	9.9	29.7
3 ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΜΑΡΩΝΙΑΣ	Ν. Λασιθίου (Μαρωνιά Σητείας)	72156.79	25	32.9
Ο.Α. ΣΗΤΕΙΑΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Καμινάκια – Χορδάκι)	7999.12	1.7	53.7
ENERCON ΕΛΛΑΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Πλατύβολα Αχλαδίων, Δ.Σητείας)	4667.6	2.5	21.3
ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Βρουχάς)	40808.5	11.9	39.1
WRE ΕΛΛΑΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Πλατύβολα Κρυών, Δ.Σητείας)	6561.72	3	24.9
ΕΝΤΕΚΑ Α.Ε.	Ν.Λασιθίου (Ξηρολίμνη Ι, Δ.Σητείας)	9126.79	2.7	38.5
IWECO ΧΩΝΟΣ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	Ν. Λασιθίου (Χώνος Σητείας)	15728.08	4.5	39.9
		Σύνολο = 450870.86	Σύνολο = 166.85	

Πίνακας 5.5 Πίνακας με τα εγκατεστημένα Αιολικά Πάρκα της Κρήτης το 2010, όπου παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας, η εγκατεστημένη ισχύς και το Capacity Factor του κάθε πάρκου.

*Σημείωση: Στον Πίνακα 5.5 δεν περιλαμβάνονται τα αιολικά πάρκα του Νομού Ρεθύμνης, καθώς αυτά εγκαταστάθηκαν το 2011.

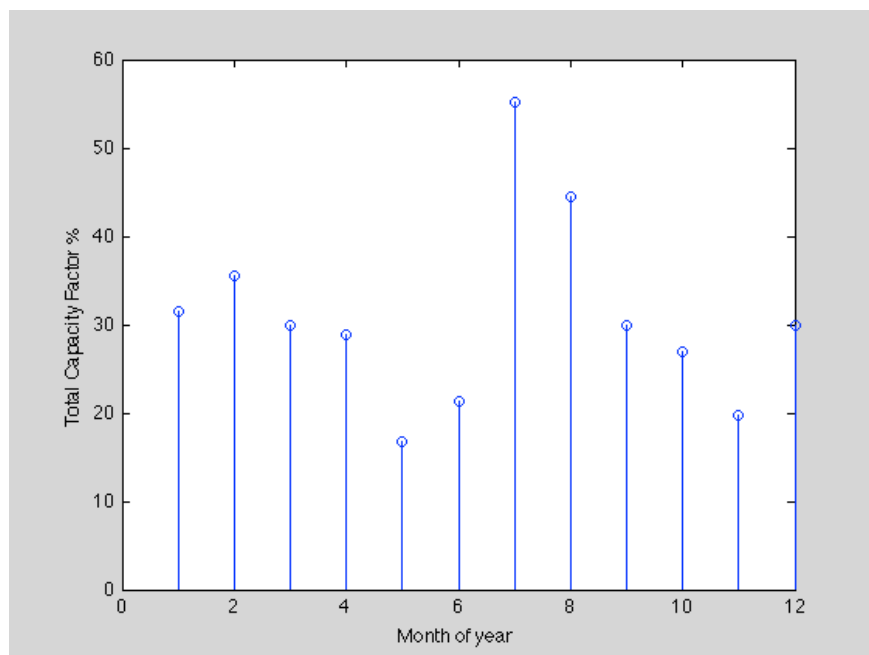
Το **Συνολικό Capacity Factor** των εγκατεστημένων πάρκων ισούται με **CF_{ολικό} % = 30.8**.

Στον Πίνακα 5.6, παρουσιάζεται το Συνολικό Capacity Factor των Αιολικών Πάρκων της Κρήτης για κάθε μήνα, του έτους 2010.

Μήνας	Ενέργεια (MWh)	Capacity Factor %
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	39175.11	31.5
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	39984.85	35.6
ΜΑΡΤΙΟΣ	35946.32	29.9
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	34786.58	28.9
ΜΑΪΟΣ	20883.73	16.8
ΙΟΥΝΙΟΣ	25647.51	21.3
ΙΟΥΛΙΟΣ	68548.03	55.2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	55316.74	44.5
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	36054.11	30.0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	33556.63	27.0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	23740.78	19.7
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	37230.47	29.9

Πίνακας 5.6 Κατανάλωση ενέργειας και Συνολικό Capacity Factor ανά μήνα των Αιολικών Πάρκων Κρήτης για το έτος 2010.

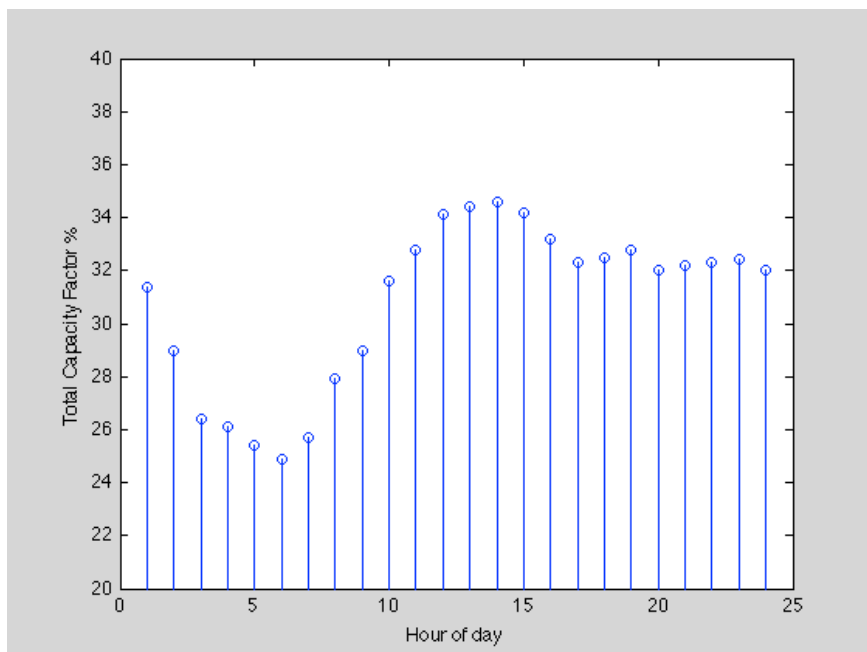
Παρακάτω παρατίθεται και το διακριτό γράφημα όπου φαίνεται η διακύμανση του Συνολικού Capacity Factor των πάρκων για κάθε έναν από τους 12 μήνες του έτους 2010, όπως προκύπτουν από τον Πίνακα 5.6.



Σχήμα 5.2 Γραφική αναπαράσταση του Συνολικού Capacity Factor ανά μήνα των Αιολικών Πάρκων Κρήτης για το 2010.

Όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα 5.2, το χαμηλότερο CF εμφανίζεται το μήνα Μάιο (16.8%) ενώ το υψηλότερο εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο (55.2%). Χαμηλά CF εμφανίζουν επίσης οι μήνες Ιούνιος και Νοέμβριος. Επίσης, αρκετά υψηλό CF εμφανίζουν οι μήνες Αύγουστος και Φεβρουάριος.

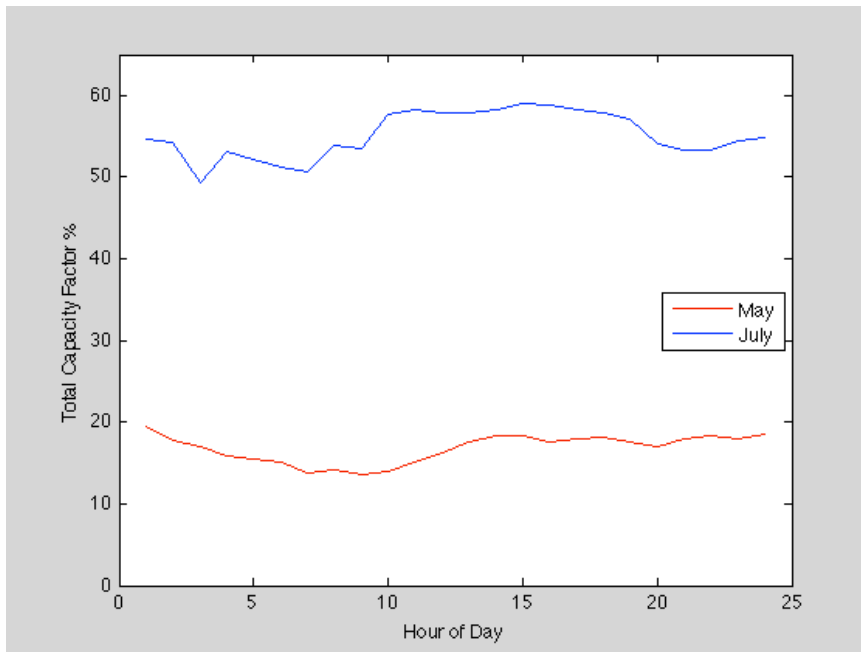
Παρακάτω παρατίθεται το διακριτό γράφημα όπου φαίνεται η διακύμανση του Συνολικού Capacity Factor των πάρκων για κάθε μία από τις 24 ώρες για το έτος 2010.



Σχήμα 5.3 Γραφική αναπαράσταση του Συνολικού Capacity Factor ανά ώρα των Αιολικών Πάρκων Κρήτης για το 2010.

Όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα 5.3, το χαμηλότερο CF εμφανίζεται την 6^η ώρα (24.9%) ενώ το υψηλότερο εμφανίζεται την 14^η ώρα (34.6%). Χαμηλά CF εμφανίζουν επίσης η 3^η, 4^η, 5^η και 7^η ώρα. Επίσης, υψηλά CF εμφανίζουν η 12^η, 13^η και 15^η ώρα.

Είναι σημαντικό επίσης να παραθέσουμε το συνεχές γράφημα με τη διακύμανση του Συνολικού Capacity Factor των πάρκων για κάθε μία από τις 24 ώρες του Μαΐου και του Ιουλίου, οι οποίοι είναι οι μήνες που παρουσιάζουν το χαμηλότερο και αντίστοιχα το υψηλότερο (Συνολικό) Capacity Factor για το έτος 2010.



Σχήμα 5.4 Από κοινού γραφική αναπαράσταση του Συνολικού Capacity Factor ανά ώρα για τους μήνες Μάιο και Ιούλιο των Αιολικών Πάρκων Κρήτης για το 2010.

Όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα 5.4, η διακύμανση του Συνολικού Capacity Factor ανά ώρα για τον μήνα Μάιο (min=13.6% , max=19.4%) κυμαίνεται σε αρκετά μικρότερα επίπεδα από την αντίστοιχη διακύμανση του Ιουλίου (min=49.3 , max=59.0).

- **Μικρά Υδροηλεκτρικά**

Όσον αφορά στις εγκαταστάσεις Μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών (Μ.ΥΗ.Σ), στην Κρήτη, αυτοί βρίσκονται στο Νομό Χανίων και συγκεκριμένα στην περιοχή της Αγυιάς και του Αλμυρού.

Ο πρώτος Μ.ΥΗ.Σ. είναι ένας από τους παλαιότερους υδροηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας καθώς ξεκίνησε να λειτουργεί από το 1929 (δεν λειτουργεί σήμερα). Ο Μ.ΥΗ.Σ. Αγυιάς, κατά την έναρξη λειτουργίας του, διέθετε τρεις μονάδες των 0,30 MW, των οποίων η συνολική ισχύς μπορούσε να φτάσει τα 0,90 MW έκαστος.

Επομένως αυτή τη στιγμή ο μοναδικός Μ.ΥΗ.Σ. που βρίσκεται σε λειτουργία είναι στην περιοχή του Αλμυρού, στο δήμο Γεωργιούπολης. Ο Μ.ΥΗ.Σ Αλμυρού ξεκίνησε να λειτουργεί από το 1954 και αξιοποιεί μέρος από τις απορροές των Λευκών Ορέων, οι οποίες συγκεντρώνονται στη λίμνη του Αλμυρού. Διαθέτει μία μονάδα των 0,30 MW της οποίας η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας μπορεί να φτάσει και τις 1,25 GWh.

- **Βιοαέριο – Βιομάζα**

Οι δύο μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο βρίσκονται στους Βιολογικούς καθαρισμούς της Δημόσιας Επιχείρησης Ύδρευσης - Αποχέτευσης (Δ.Ε.Υ.Α) των Χανίων και του Ηρακλείου αντίστοιχα, συνεισφέροντας σημαντικά στην ικανοποίηση των εσωτερικών καταναλώσεων των μονάδων αυτών. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των συγκεκριμένων μονάδων παραγωγής από βιοαέριο είναι ίση με 0,40 MW.

- **Φωτοβολταϊκά**

Ο μεγάλος αριθμός Φ/Β εγκαταστάσεων που έχει αδειοδοτηθεί με το παρόν θεσμικό πλαίσιο (κυρίως του Ν.3468/2006) από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) πρόκειται να αλλάξει σημαντικά το ενεργειακό κατεστημένο του νησιού. Η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β σταθμών στην Κρήτη το 2011 ανέρχεται σε 57.84 MW. Το σύνολο των αδειοδοτημένων έργων παρατίθενται ανά Νομό στον παρακάτω πίνακα.

Νομός	Αριθμός Φ/Β Σταθμών	Αδειοδοτημένη ισχύς Φ/Β (MW)
Χανίων	200	19,9
Ρεθύμνης	241	35,91
Ηρακλείου	501	18,26
Λασιθίου	262	14,75
Σύνολο	1204	88,82

Πίνακας 5.7 Σύνολο αδειοδοτημένων Φ/Β σταθμών Κρήτης ανά Νομό.

6. ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΤΟΥ Ο.Α.ΔΥ.Κ. ΣΤΟΝ ΒΛΗΤΕ ΣΟΥΔΑΣ

Πριν γίνει η εξέταση αυτού του σεναρίου, το οποίο είναι διττής φύσεως, είναι σημαντική η παράθεση ορισμένων τεχνικών χαρακτηριστικών και πληροφοριών για τον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης, ο οποίος έχει υπό την εκμετάλλευση και λειτουργία του το αντλιοστάσιο για το οποίο εξετάζεται το σενάριο.

6.1 Ο Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης

Ο Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης είναι ένας οργανισμός με έδρα τα Χανιά, που λειτουργεί με στόχο την εκπόνηση πάσης φύσεως προγραμμάτων ανάπτυξης στη Δυτική Κρήτη, τη μελέτη, τη χρηματοδότηση, την εκτέλεση, τη λειτουργία και την αξιοποίηση έργων κοινωφελών και δημοσίου εν γένει ενδιαφέροντος, που του ανατίθενται με αποφάσεις των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων ή του αρμοδίου Υπουργού και του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης, των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης, των Νομικών Προσώπων Δημοσίου Δικαίου και λοιπών νομικών ή φυσικών προσώπων.

Ο Οργανισμός είναι αρμόδιος για τη συντήρηση, λειτουργία, διοίκηση, διαχείριση και εκμετάλλευση όλων των έργων εγγείων βελτιώσεων, αξιοποίησης και εκμετάλλευσης υδατικών πόρων που του έχουν ανατεθεί.

Ως εκ τούτου, ο Ο.Α.ΔΥ.Κ., διαθέτει έναν μεγάλο αριθμό αντλιοστασίων στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων, με τα οποία φέρει εις πέρας λειτουργίες και έργα που σχετίζονται με υδάτινους πόρους, όπως: [20]

- Παροχή νερού στις δεξαμενές των θεσμοθετημένων οργάνων της Τοπικής Αυτοδιοίκησης και στις Δημοτικές Επιχειρήσεις, που έχουν τις αρμοδιότητες διανομής και είσπραξης, από τους χρήστες του πόσιμου νερού. Σήμερα ο Ο.Α.ΔΥ.Κ., διακινεί 30.000.000 κ.μ. νερού τον χρόνο από τα οποία εξυπηρετούνται περίπου 12.000 μικροί καταναλωτές, οι μεγάλοι δήμοι του Βόρειου Άξονα της Δυτικής Κρήτης και οι Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων.
- Προστασία επιφανειακών και υπογείων υδάτων, περιορισμό και παρακολούθηση των αντλήσεων.
- Εκτέλεση έργων τα οποία ανέτρεψαν την οργανωτική δομή που προϋπήρχε όσον αφορά τα εγγειοβελτιωτικά και υδροαρδευτικά έργα, τα οποία χρησιμοποιώντας τοπικά τρεχούμενα νερά ή αντλήσεις μικρού μεγέθους και διά μέσου ανοικτών αγωγών και ιδίων μέσων των παραγωγών, άρδευαν ένα μικρό μέρος της γεωργικής γης στο βόρειο άξονα της Κρήτης (περίπου 40.000 στρεμ.).
- Διαχείριση του νερού ικανοποιώντας διαφορετικού χαρακτήρα ανάγκες: άρδευση, ύδρευση, βιομηχανία, τουρισμός.
- Μελέτη κατασκευής φραγμάτων και εγκατάσταση αγωγών σύνδεσής τους με κεντρικούς αγωγούς και δεξαμενές νερού.
- Κατασκευή αποχετεύσεων και βιολογικών καθαρισμών.

- Κατασκευή και λειτουργία του Φράγματος των Ποταμών Ρεθύμνου, το οποίο εκτός των άλλων περιλαμβάνει την κατασκευή του κεντρικού αγωγού μεταφοράς του νερού από το φράγμα έως την είσοδο της σήραγγας Πρασσών, την κατασκευή της σήραγγας Πρασσών για την διέλευση του κεντρικού αγωγού μεταφοράς, τα δίκτυα διανομής στην περιοχή του Κάμπου Ρεθύμνης και τον περιμετρικό δρόμο του ταμιευτήρα του φράγματος.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται όλα τα αντλιοστάσια που κατέχει και λειτουργεί ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. καθώς και κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά τους. Εμφανίζονται ανά ομάδες. Για την πρώτη ομάδα είναι διαθέσιμα όλα τα χαρακτηριστικά, δηλαδή αριθμός αντλιών, εγκατεστημένη ισχύς και παροχή αντλιών, για την δεύτερη ομάδα είναι διαθέσιμα μόνο ο αριθμός αντλιών και η εγκατεστημένη ισχύς, για την τρίτη ομάδα είναι διαθέσιμα μόνο ο αριθμός αντλιών και η παροχή τους, ενώ για την τέταρτη ομάδα είναι διαθέσιμος μόνο ο αριθμός αντλιών καθώς είναι υπό κατάσταση ανακατασκευής.

ID	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ	# ΑΝΤΛΙΩΝ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΠΑΡΟΧΗ ΑΝΤΛΙΩΝ (m ³ /h)
1	ΚΑΛΟΥΔΙΑΝΑ	2	2 x 150 = 300	210
2	ΠΑΤΕΛΑΡΙ	7	7 x 710 = 4970	7 x 1250 = 8750
3	ΒΛΗΤΕΣ Β'	8	3 x 250 + 3 x 190 + 85 + 50 = 1455	8 x 350 = 2800
4	ΤΣΙΒΑΡΑΣ	3	3 x 200 = 600	3 x 250 = 750
5	ΜΟΥΖΕΛΑ	2	2 x 90 = 180	2 x 150 = 300
6	ΣΤΕΡΝΕΣ	3	3 x 32 = 96	3 x 120 = 360
7	ΜΟΥΖΟΥΡΑΣ	3	3 x 15 = 45	3 x 40 = 120
8	ΚΟΛΕΝΙ	4	4 x 147 = 588	
9	ΒΟΥΚΟΛΙΕΣ	2	55	
10	ΓΕΡΑΝΙ	3	3 x 160 = 480	
11	ΑΡΜΕΝΟΙ	4	4 x 200 = 800	
12	ΚΟΥΡΝΑΣ	4	4 x 315 = 1260	
13	ΔΡΑΠΑΝΙΑΣ	3		3 x 200 = 600
14	ΚΡΥΑ ΒΡΥΣΗ	1		150
15	ΚΑΛΕΡΓΙΑΝΝΑ	1		200
16	ΜΥΛΩΝΙΑΝΑ	3		3 x 1000 = 3000
17	ΚΑΤΣΙΦΑΡΙΑΝΑ	1		150
18	ΝΕΡΟΚΟΥΡΟΥ	1		100
19	ΜΕΓΑΛΑ ΧΩΡΑΦΙΑ	6		1155
20	ΖΟΥΡΜΠΟΣ	12		12 x 250 = 3000
21	ΝΕΡΙΑΝΑ	1		
22	ΚΑΛΟΡΟΥΜΑ	2		

Πίνακας 6.1 Τα αντλιοστάσια του Ο.Α.ΔΥ.Κ. και μερικά χαρακτηριστικά τους.

Από τον Πίνακα 6.1 προκύπτει ότι ο συνολικός αριθμός των αντλιών των αντλιοστασίων του Ο.Α.ΔΥ.Κ. ανέρχεται περίπου 76 και η εγκατεστημένη ισχύς μόνο των αντλιοστασίων για τα οποία υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία (12/22) είναι ίση με 10829 kW = 10.829 MW.

Να σημειωθεί ότι τα παραπάνω στοιχεία για τα αντλιοστάσια του Ο.Α.ΔΥ.Κ. έγιναν διαθέσιμα μετά από σχετική αίτηση σε αρμοδίους του Ο.Α.ΔΥ.Κ.

6.2 Εξοικονόμηση ενέργειας 15% στο αντλιοστάσιο

Το πρώτο από τα δύο σενάρια προς εξέταση αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ Σούδας και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από αυτήν.

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαία η παράθεση ορισμένων στοιχείων και τεχνικών χαρακτηριστικών που αφορούν το αντλιοστάσιο του Ο.Α.ΔΥ.Κ. στον Βλητέ Σούδας. Το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο εξυπηρετεί ανάγκες ύδρευσης αλλά και άρδευσης.

Υδρευση:

Από το αντλιοστάσιο των Μυλωνιανών, το νερό οδηγείται στο αντλιοστάσιο του Βλητέ με φυσική ροή και εκεί συγκεντρώνεται σε ένα φρεάτιο. Στη συνέχεια, αντλείται από το φρεάτιο και στέλνεται στη δεξαμενή των Κορακιών από όπου στη συνέχεια αυτό υδροδοτεί όλη την περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων. Η άντληση του νερού από το φρεάτιο του Βλητέ προς τη δεξαμενή των Κορακιών επιτυγχάνεται με 3 αντλίες. Το maximum των αντλιών που τίθενται σε λειτουργία κάθε χρονική στιγμή είναι δύο. Η τρίτη αντλία λειτουργεί σαν εφεδρική για να “ξεκουράζει” τις άλλες. Κάθε μία από τις τρεις αυτές αντλίες έχει εγκατεστημένη ισχύ 250 kW (ή 340 Hp). Κάθε αντλία ύδρευσης στέλνει 350 κυβικά μέτρα νερό σε μία ώρα (m^3/h). Η δεξαμενή ύδρευσης στις Κορακιές έχει χωρητικότητα 4000 m^3 νερό. Άρα απαιτούνται $4000/350 = 11.43$ ώρες για να γεμίσει με μόνο μία αντλία σε λειτουργία. Αν λειτουργούν δύο αντλίες ταυτόχρονα, τότε απαιτούνται 5.71 ώρες για το γέμισμα.

Άρδευση:

Το αντλιοστάσιο στις πηγές Ζούρμπου στην περιοχή Καλύβες του Νομού Χανίων στέλνει νερό στη δεξαμενή που είναι στην περιοχή Μεγάλα Χωράφια. Από εκεί, μέσω 3 υποβρύχιων αντλιών τύπου booster (190 KW ή 260 hp καθεμία), δηλαδή αντλιών που αυξάνουν την πίεση του νερού, στέλνεται νερό στο αντλιοστάσιο του Βλητέ και από εκεί 2 αντλίες άρδευσης επιφανείας (μία 85 kW ή 115 hp και μία 50 kW ή 70 hp) διοχετεύουν το νερό στη δεξαμενή άρδευσης στις Κορακιές, απ’ όπου τροφοδοτείται στη συνέχεια το δίκτυο.

Συνοψίζοντας, η συνολική ονομαστική ισχύς των αντλιών ύδρευσης ισούται με $3 * 250 = 750$ kW και αυτή των αντλιών άρδευσης ισούται με $3 * 190 + 1 * 85 + 1 * 50 = 705$ kW.

Να σημειωθεί ότι οι αντλίες ύδρευσης χρησιμοποιούνται περιστασιακά και σε λειτουργίες άρδευσης. Αντίθετα, οι αντλίες άρδευσης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για σκοπούς άρδευσης και μόνο.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάθε Τοπικό Σταθμό αντλιοστασίων υπάρχει μια απεικόνιση του τοπικού συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης, η οποία δεν απεικονίζεται όμως στο SCADA (εκτός από την περίπτωση του Τοπικού Σταθμού Αντλιοστασίου Μυλωνιανών όπου απεικονίζεται). Ακόμη, στο αντλιοστάσιο του Βλητέ συγκεκριμένα, είναι εγκατεστημένοι 14 πυκνωτές αντιστάθμισης της αέργου ισχύος, οι οποίοι παρέχουν αυτόματη διόρθωση, δηλαδή διόρθωση προγραμματισμένη να διατηρεί σε ένα επιθυμητό επίπεδο το cosφ. Από αυτούς, οι 12 πυκνωτές είναι ισχύος 20 kVAr έκαστος και οι 2 είναι ισχύος 30 kVAr έκαστος.

Στη συνέχεια εξετάζεται το πρώτο από τα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας για το αντλιοστάσιο του Ο.Α.ΔΥ.Κ στον Βλητέ Σούδας.



Εικόνα 6.1 Οι τέσσερις αντλίες ύδρευσης του αντλιοστασίου του Ο.Α.ΔΥ.Κ. στον Βλητέ Σούδας (μία από τις τέσσερις είναι εκτός λειτουργίας).

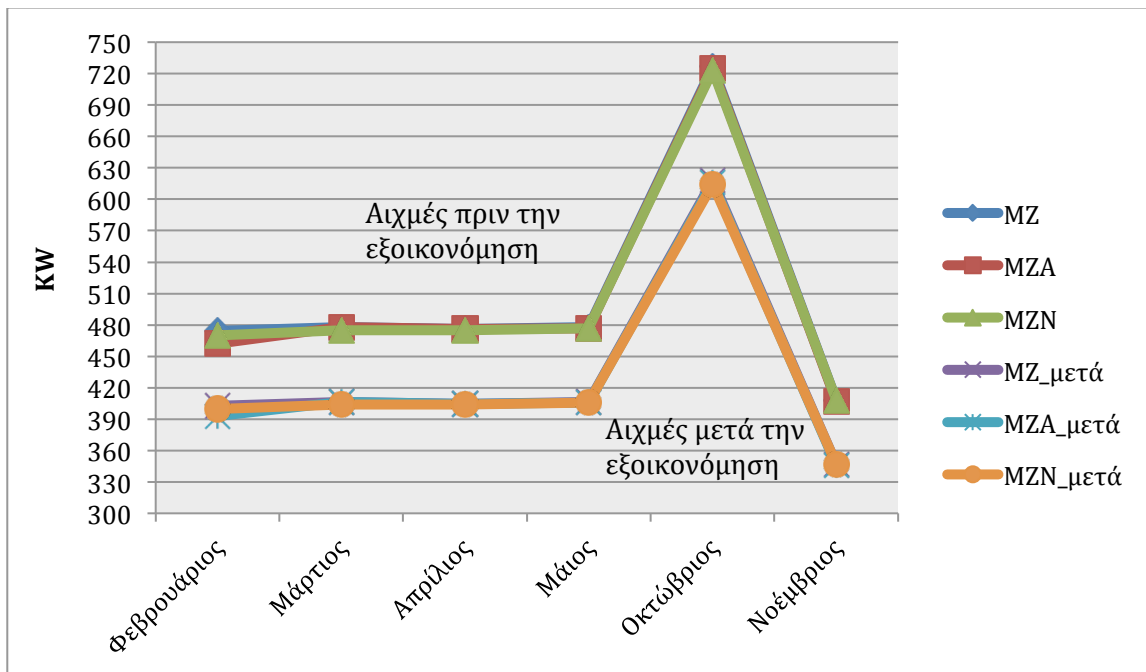
Σε αυτό το σενάριο, όπως περιγράφηκε και προηγουμένως, προσομοιώνεται υποθετική εξοικονόμηση ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Ο.Α.ΔΥ.Κ. στον Βλητέ Σούδας. Η εξοικονόμηση αφορά το έτος 2011 (εκτός Ιανουαρίου – Δεκεμβρίου). Στο σενάριο αυτό, θεωρείται ότι λαμβάνονται μέτρα εξοικονόμησης που επιτυγχάνουν ποσοστό 15% μείωσης της κατανάλωσης και κατά συνέπεια επιτυγχάνεται 15% μείωση των τριών τύπων αιχμών που καταγράφονται κάθε μήνα, των κιλοβατώραν υψηλής και χαμηλής ζήτησης, του συντελεστή χρησιμοποίησης, του συντελεστή προσαρμογής και της χρεωστέας ζήτησης βάσει της οποίας γίνεται η χρέωση της ισχύος. Ο συντελεστής ισχύος κάθε μήνα παραμένει σταθερός.

Σε πρώτο στάδιο, λοιπόν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όσον αφορά τις αιχμές κάθε μήνα, πριν και μετά την εξοικονόμηση ενέργειας.

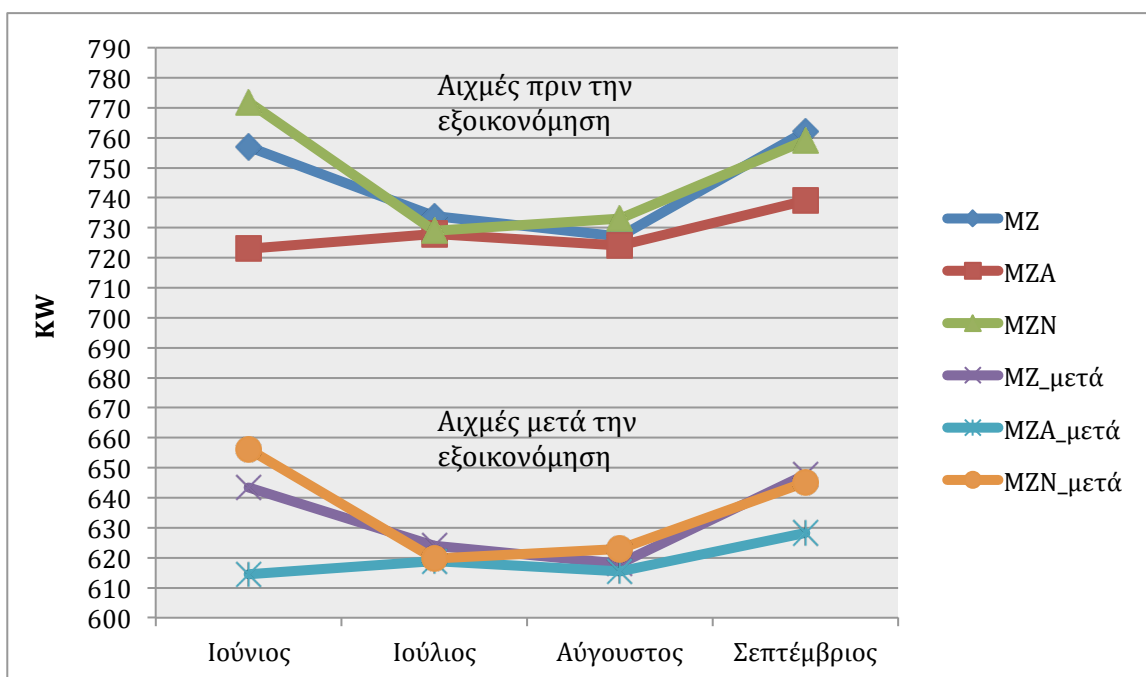
Να σημειώσουμε ότι, σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ, τα οποία μας έγιναν διαθέσιμα για το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο, καταγράφονται μηνιαίως τρεις αιχμές, οι οποίες επεξηγούνται παρακάτω:

- MZ (kW) : Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση στις εργάσιμες μέρες μεταξύ 7:00 - 23:00
- MZA (kW) : Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση μεταξύ 11:00 – 14:00 (Αιχμή)
- MZN (kW) : Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση στις εργάσιμες μέρες μεταξύ 23:00 – 7:00

Σύμφωνα λοιπόν, με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για εξοικονόμηση 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ Σούδας, παρατίθενται τα δύο σχήματα που ακολουθούν που αναπαριστούν διαγραμματικά τη διακύμανση των τριών αυτών αιχμών για κάθε μήνα, πριν και μετά την εξοικονόμηση ενέργειας. Το Σχήμα 6.1 αναφέρεται στους χειμερινούς μήνες ενώ το Σχήμα 6.2 στους καλοκαιρινούς (η διάκριση σε χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες γίνεται σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ).



Σχήμα 6.1 Τα διαγράμματα των τριών αιχμών για τους χειμερινούς μήνες πριν και μετά την εξοικονόμηση ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ Σούδας.



Σχήμα 6.2 Τα διαγράμματα των τριών αιχμών για τους καλοκαιρινούς μήνες πριν και μετά την εξοικονόμηση ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ Σούδας.

Από τα Σχήματα 6.1 και 6.2 παρατηρούμε τα εξής:

- Στους καλοκαιρινούς μήνες (Διάγραμμα 6.2), οι αιμές είναι γενικά σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες αιμές στους χειμερινούς μήνες (Διάγραμμα 7.1).
- Την υψηλότερη αιχή εμφανίζει ο Ιούνιος (MZN = 772 kW πριν την εξοικονόμηση και MZN = 656.2 kW μετά, ενώ την χαμηλότερη αιχή παρουσιάζει ο Νοέμβριος (MZ = 408 kW πριν την εξοικονόμηση και MZ = 346.8 kW μετά).
- Σε κάθε ομάδα μηνών υπάρχουν “τοπικές” διακυμάνσεις στις αιχές. Στους χειμερινούς μήνες παρατηρείται μία ομαλότητα και ισορροπία στις αιχές των μηνών Φεβρουαρίου, Μαρτίου,

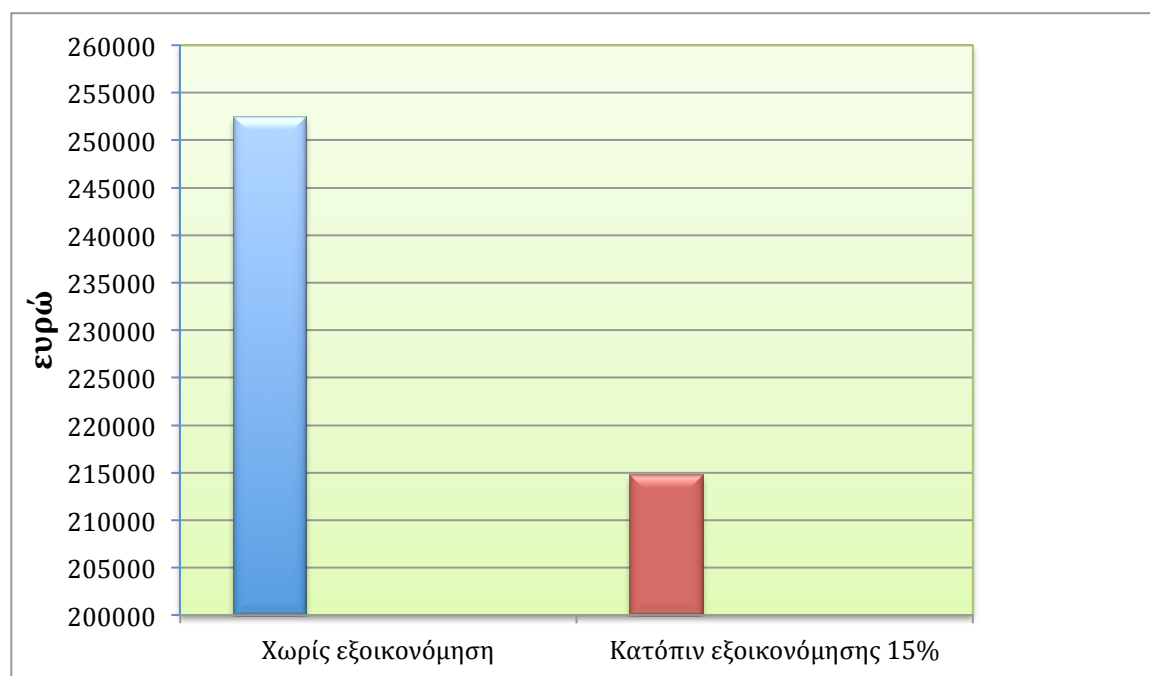
Απριλίου και Μαΐου. Ο Οκτώβριος “σπάει” αυτή την ισορροπία καθώς έχει σημαντικά μεγαλύτερη αιχμή από τους υπόλοιπους χειμερινούς μήνες. Τέλος, ακολουθεί ο Νοέμβριος ο οποίος “ξαναβυθίζει” την αιχμή σε χαμηλά επίπεδα, τα χαμηλότερα όλων των μηνών. Στους καλοκαιρινούς μήνες, τον μήνα Ιούνιο εμφανίζεται η μεγαλύτερη αιχμή, ακολουθεί επίσης μια σχετική σταθερότητα ανάμεσα στις αιχμές του Ιουλίου και του Αυγούστου και τέλος ακολουθεί ο Σεπτέμβριος ο οποίος εμφανίζει μια ελαφρώς αυξημένη αιχμή σε σχέση με τους δύο προηγούμενους μήνες.

- Στους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο, η αιχμή της νύχτας (MZN) είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από τις δύο άλλες αιχμές. Αυτό δεν συμβαίνει στους άλλους μήνες.

Σε δεύτερο στάδιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όσον αφορά τις δαπάνες του αντλιοστασίου σε ρεύμα προς τη ΔΕΗ συνολικά για το 2011 αλλά και για κάθε μήνα ξεχωριστά, πριν και μετά την εξοικονόμηση ενέργειας.

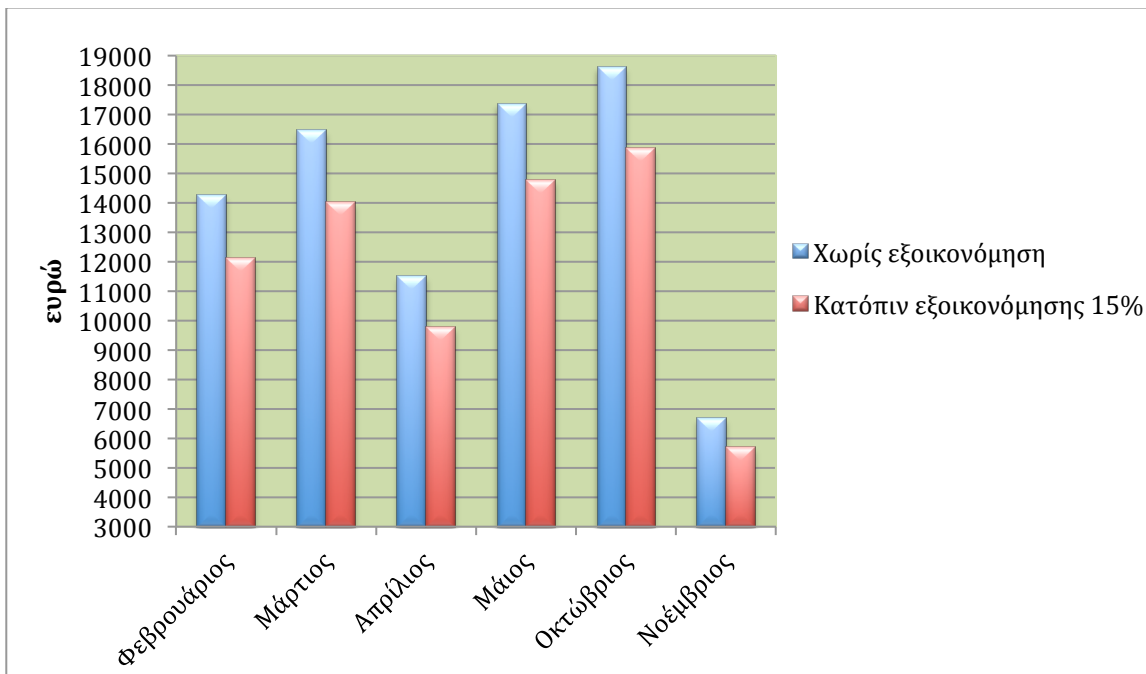
Αν αθροίσουμε τα χρηματικά οφέλη κάθε μήνα που προκύπτουν από την εξοικονόμηση ενέργειας, τότε το αποτέλεσμα είναι εντυπωσιακό και ανέρχεται σε **Συνολικό Όφελος ύψους 37696.4 €**, για τους 10 μήνες του 2011. Με άλλα λόγια η συνολική αξία του ηλεκτρικού ρεύματος (μαζί με τον ΦΠΑ) πριν την εξοικονόμηση ανερχόταν σε 252400 € ενώ μετά την εξοικονόμηση μειώθηκε στα 214703.6 €.

Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζεται το συνολικό όφελος της εξοικονόμησης σε ευρώ.

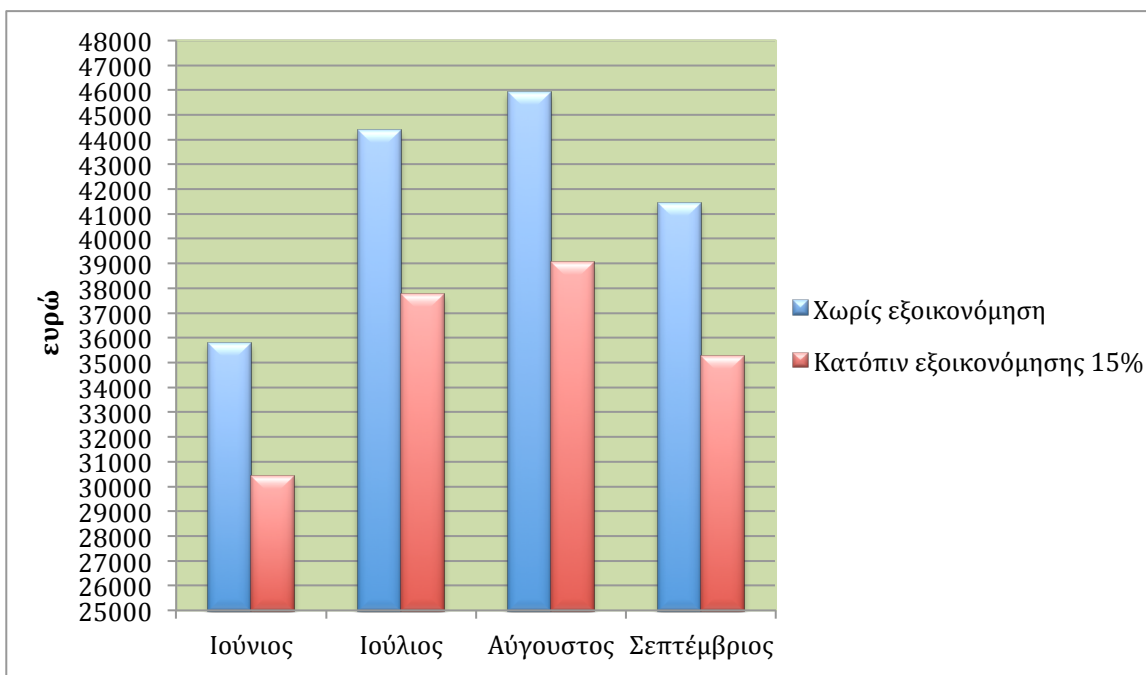


Σχήμα 6.3 Σχηματική απεικόνιση του οφέλους της εξοικονόμησης ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ Σούδας.

Στα δύο σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα χρηματικά οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας για κάθε μήνα ξεχωριστά. Το Σχήμα 6.4 απεικονίζει τα οφέλη για τους χειμερινούς μήνες ενώ το Σχήμα 6.5 απεικονίζει τα οφέλη για τους καλοκαιρινούς μήνες.



Σχήμα 6.4 Σχηματική απεικόνιση του οφέλους της εξοικονόμησης ενέργειας κατά 15% για τους χειμερινούς μήνες στο αντλιοστάσιο του Βλητέ Σούδας.



Σχήμα 6.5 Σχηματική απεικόνιση του οφέλους της εξοικονόμησης ενέργειας κατά 15% για τους καλοκαιρινούς μήνες στο αντλιοστάσιο του Βλητέ Σούδας.

Όπως γίνεται φανερό από τα Σχήματα 6.4 και 6.5:

- Τους καλοκαιρινούς μήνες (Σχήμα 6.5) οι δαπάνες του αντλιοστασίου σε κατανάλωση ρεύματος προς την ΔΕΗ είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τις δαπάνες των χειμερινών μηνών (Σχήμα 6.4) και αυτό είναι λογικό εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης για νερό που επικρατεί τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της άρδευσης αλλά και της προσωρινής αύξησης του πληθυσμού.
- Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο πιο δαπανηρός μήνας είναι ο Αύγουστος (45902 € πριν την εξοικονόμηση) ενώ ο πιο οικονομικός μήνας είναι ο Νοέμβριος (6685.9 € πριν την εξοικονόμηση).

- Επίσης, τον μήνα Αύγουστο παρατηρείται και η μεγαλύτερη εξοικονόμηση σε χρήματα κατά απόλυτη τιμή, αφού το χρηματικό όφελος κατόπιν της εξοικονόμησης σε ενέργεια ανέρχεται σε 6856 €. Στον, αντίποδα έρχεται ο μήνας Νοέμβριος με το όφελος κατόπιν εξοικονόμησης να ανέρχεται σε 998.5 €.

Σε τρίτο στάδιο είναι αναγκαίο να εξεταστεί ποιο θα πρέπει να είναι το μέγεθος του κεφαλαίου που θα πρέπει να επενδύσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. έτσι ώστε η διαδικασία της εξοικονόμησης που προσομοιώθηκε να είναι βιώσιμη σε ένα υποθετικό χρονικό διάστημα.

Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ο οικονομικός δείκτης Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (Net Present Value, NPV).

Οι δείκτης αυτός είναι ένα από τους δείκτες που χρησιμοποιούνται και στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας του Υπουργείου Ανάπτυξης ως κριτήριο αξιολόγησης και βαθμολόγησης της οικονομικής αποδοτικότητας των επενδύσεων για την επιδότησή τους.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (Net Present Value, NPV)

Καθαρή παρούσα αξία είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένη συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος. Η καθαρή παρούσα αξία προσδιορίζεται με τη σχέση:

$$NPV = K + \sum_{yr=1}^N [KTP_{yr} / (1 + i)^{yr} + SV_N / (1 + i)^N] \quad (7.1)$$

όπου:

K: το ίδιο κεφάλαιο για την επένδυση, πάντα με πρόσημο (-)

KTP_{yr} : η καθαρή ταμειακή ροή του έτους yr με πρόσημο όπως προκύπτει

N: ο οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης

i: επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου)

SV_N: η αξία εκποίησης (απομένουσα αξία) της επένδυσης στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής N.

Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- NPV > 0: Η επένδυση είναι βιώσιμη κάτω από τις δεδομένες συνθήκες (οικονομικό κύκλο ζωής N, και επιθυμητό βαθμό απόδοσης της επένδυσης, i).
- NPV = 0: Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με i.
- NPV < 0: Η επένδυση είναι αντισυμβατική.

Συχνά η αξία εκποίησης SV_N της επένδυσης στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής της είναι μηδέν, αφού θεώρηση κάποιου τέτοιου ποσού θα οδηγούσε σε ευνοϊκότερα αποτελέσματα στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης. Ενδεικτικά ως μια τέτοια αξία είναι η αξία ανακύκλωσης των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Στην ειδική περίπτωση κατά την οποία οι ετήσιες χρηματοροές είναι ίσες και SV=0, η σχέση (7.1) απλοποιείται σημαντικά στην παρακάτω σχέση (7.2) λόγω της γεωμετρικής προόδου με λόγο μικρότερο της μονάδας που δημιουργείται:

$$NPV = -K + \frac{KTP}{CRF} = -K + KTP \cdot \frac{1}{i} \cdot [1 - (1 / (1 + i)^n)] \quad (7.2)$$

Στο στάδιο αυτό λοιπόν εξετάζονται δύο σενάρια. Σε κάθε σενάριο, κάνοντας χρήση της σχέσης (7.2) θέτουμε:

- την Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) ίση με 0
- την καθαρή ταμειακή ροή ίση με 37696.4 €
- τον οικονομικό κύκλο ζωής της επένδυσης N ίσο με 10 έτη (υποθετικά)
- και το επιτόκιο i ίσο με 8% για το 1^ο σενάριο και 15% για το 2^ο σενάριο, αντίστοιχα

και λύνουμε την σχέση ως προς το κεφάλαιο K για να αποφανθούμε πόσα χρήματα μπορεί να διαθέσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. το πολύ, για να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, με δεδομένα τα χαρακτηριστικά του κάθε σεναρίου.

Σενάριο 1 (επιτόκιο = 8%):

- Καθαρή Ταμειακή Ροή (KTP) = 37696.4 € του έτους προσομοίωσης 2011 (οι ετήσιες χρηματοροές είναι ίσες και SV = 0)
- Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία ή επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου (i) = 0.08 (8%)
- Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (N) = 10 έτη
- Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (ΚΠΑ) = 0

Απαιτούμενο κεφάλαιο = 252946 €.

Σενάριο 2 (επιτόκιο = 15%):

- Καθαρή Ταμειακή Ροή (KTP) = 37696.4 € του έτους προσομοίωσης 2011 (οι ετήσιες χρηματοροές είναι ίσες και SV = 0)
- Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (i) = 0.15 (15%)
- Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (N) = 10 έτη
- Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (NPV) = 0

Απαιτούμενο κεφάλαιο = 189190 €.

Στο συγκεκριμένο σενάριο, η επιλογή του επιτοκίου αναγωγής σε 15% δεν ήταν τυχαία. Επιλέχτηκε το συγκεκριμένο ποσοστό για να συμπίπτει με το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που προσομοιώθηκε για το αντλιοστάσιο του Βλητέ, αφού το επιτόκιο αναγωγής εκφράζει επιπλέον και την επιθυμητή απόδοση του κεφαλαίου.

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 6.2 στον οποίο συνοψίζονται τα οικονομικά αποτελέσματα ανά σενάριο.

Σενάριο	KTP (€)	i (%)	N (έτη)	Απαιτούμενο Κεφάλαιο (€)
1	37696.4	8	10	252946
2	37696.4	15	10	189190

Πίνακας 6.2 Οικονομικά αποτελέσματα ανά σενάριο.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.2,

Σενάριο 1: Για καθαρή ταμειακή ροή κάθε έτους ίση με 37696.4 €, επιτόκιο αναγωγής ίσο με 8% και οικονομικό κύκλο ζωής της επένδυσης ίσο με 10 έτη, το απαιτούμενο κεφάλαιο, το οποίο θα πρέπει να διαθέσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. για να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, πρέπει να είναι ίσο με 252946 € το πολύ.

Σενάριο 2: Για καθαρή ταμειακή ροή κάθε έτους ίση με 37696.4 €, επιτόκιο αναγωγής ίσο με 15% και οικονομικό κύκλο ζωής της επένδυσης ίσο με 10 έτη, το απαιτούμενο κεφάλαιο, το οποίο θα πρέπει να διαθέσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. για να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, πρέπει να είναι ίσο με 189190 € το πολύ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το παρόν σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ μπορεί να εφαρμοστεί με τις μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας σε αντλίες, όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, με εγκατάσταση έξυπνων μετρητών νερού ή συστημάτων ανίχνευσης διαρροών καθώς και με έξυπνους μετρητές ενέργειας για τον εντοπισμό των απωλειών ενέργειας.

6.3 Οικονομικά οφέλη από τη βελτίωση του $\cos\phi$ του αντλιοστασίου

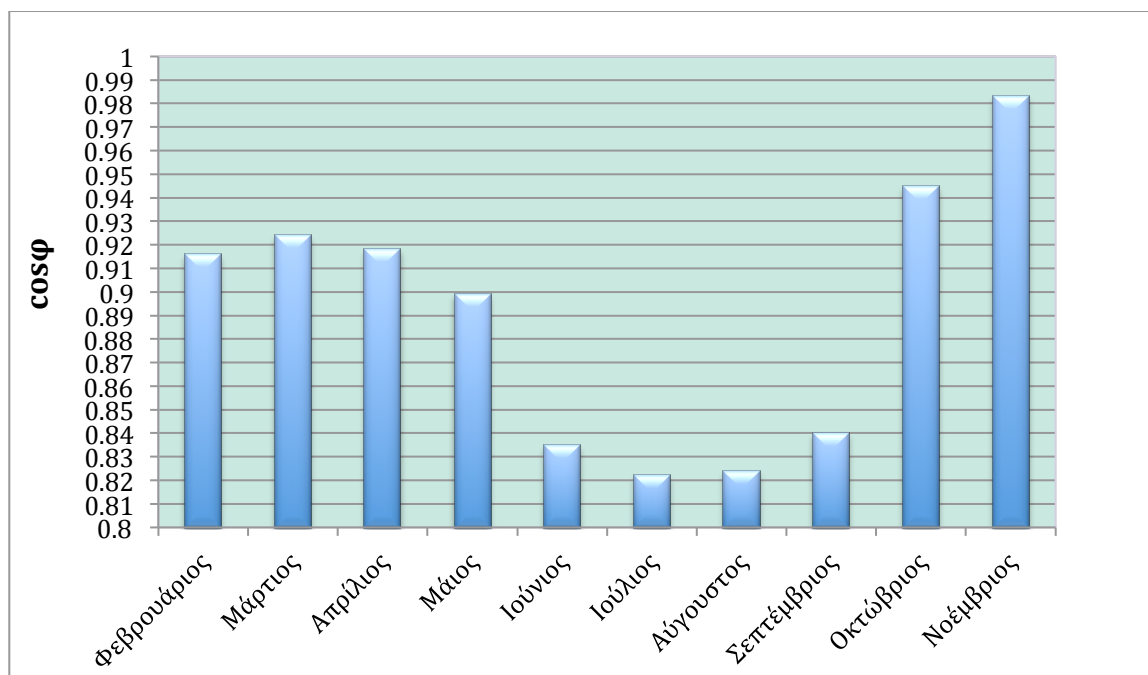
Στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας στο αντλιοστάσιο του Ο.Α.ΔΥ.Κ. στον Βλητέ Σούδας, στην ενότητα αυτή εξετάζεται ποια θα είναι τα οικονομικά οφέλη μιας ενδεχόμενης βελτίωσης του συντελεστή ισχύος του αντλιοστασίου.

Αρχικά, παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.3 με τους συντελεστές ισχύος του αντλιοστασίου κάθε μήνα του έτους 2011, εκτός του Ιανουαρίου και Δεκεμβρίου. (Τα δεδομένα προέρχονται από τα σχετικά τιμολόγια της ΔΕΗ).

Μήνας	$\cos\phi$
Φεβρουάριος	0.916
Μάρτιος	0.924
Απρίλιος	0.918
Μάιος	0.899
Ιούνιος	0.835
Ιούλιος	0.822
Αύγουστος	0.824
Σεπτέμβριος	0.840
Οκτώβριος	0.945
Νοέμβριος	0.983

Πίνακας 6.3 Τα $\cos\phi$ του αντλιοστασίου του Βλητέ Σούδας για κάθε μήνα του έτους 2011.

Εδώ παρατίθεται και το αντίστοιχο σχήμα με τη διακύμανση του $\cos\phi$ δια μέσου των μηνών.



Σχήμα 6.6 Διακύμανση του $\cos\phi$ του αντλιοστασίου του Βλητέ Σούδας κατά τη διάρκεια του 2011.

Όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα 6.6, το $\cos\phi$ των μηνών Φεβρουαρίου, Μαρτίου και Απριλίου είναι ικανοποιητικό, με τιμές άνω του 0.9. Στη συνέχεια, από τον μήνα Μάιο παρατηρείται το ξεκίνημα μιας “ελαφριάς” πτώσης ($\cos\phi = 0.899$), η οποία γίνεται αρκετά πιο έντονη με την έλευση των καλοκαιρινών μηνών, με τις τιμές του $\cos\phi$ να κυμαίνονται μεταξύ 0.822 τον Ιούλιο (χαμηλότερη τιμή) και 0.84 τον Σεπτέμβριο. Τέλος, το $\cos\phi$ βελτιώνεται κατά πολύ με τον ερχομό του Οκτωβρίου και λαμβάνει την μέγιστή του τιμή τον μήνα Νοέμβριο (0.983).

Στο σημείο αυτό λοιπόν επιχειρούμε να ανακαλύψουμε ποια θα είναι τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την ενδεχόμενη βελτίωση του συντελεστή ισχύος κατά +0.05 των μηνών εκείνων που έχουν $\cos\phi < 0.9$.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.3, οι συντελεστές ισχύος που χρειάζονται βελτίωση, με βάση το κριτήριο που θέσαμε, είναι αυτοί των μηνών:

1. Μαΐου => $\cos\phi = 0.899$
2. Ιουνίου => $\cos\phi = 0.835$
3. Ιουλίου => $\cos\phi = 0.822$
4. Αυγούστου => $\cos\phi = 0.824$
5. Σεπτεμβρίου => $\cos\phi = 0.840$

Όπως περιγράψαμε και στην ενότητα 3.7.1, η ΔΕΗ επιβάλλει χρηματικό πρόστιμο σε καταναλωτές με “κακό” συντελεστή ισχύος. Το πρόστιμο αυτό εκφράζεται μέσα από την Ενεργειακή Χρέωση του Δικτύου Διανομής, η οποία προσαυξάνεται σε συνάρτηση με το $\cos\phi$. Ο μαθηματικός τύπος που δίνει την Ενεργειακή Χρέωση του Δικτύου Διανομής, σύμφωνα με το τιμολόγιο της ΔΕΗ, είναι ο εξής:

$$\text{ΧΧΔ} = [\text{ΜΖΑ}(\text{kW}) \times \text{ΜΠΧ}(\text{€/kW}) \times (\text{Ημέρες}/30)] + [(\text{kWh}) \times \text{ΜΜΧ}(\text{€/kWh}) / \text{συν}\phi] \quad (7.5)$$

όπου:

- MZA : Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση στη ζώνη αιχμής (11:00-14:00) της περιόδου των ημερών κατανάλωσης
- ΜΠΧ = 1.21 €/kW : η Μοναδιαία Πάγια Χρέωση Ισχύος
- Ημέρες : ο αριθμός ημερών της περιόδου κατανάλωσης
- kWh : η καταμετρηθείσα απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο, από τον πελάτη, κατά την περίοδο των ημερών κατανάλωσης
- ΜΜΧ = 0.0033 €/kWh : η Μοναδιαία Μεταβλητή Χρέωση Ενέργειας
- συνφ = η μέση τιμή του συντελεστή ισχύος του πελάτη κατά την περίοδο των ημερών κατανάλωσης

Ας δούμε λοιπόν ποια θα είναι τα οικονομικά οφέλη κάθε μήνα που θα προκύψουν από την βελτίωση του cosφ κατά +0.05 η οποία συνεπάγεται την μείωση του ΧΧΔ.

1. Βελτίωση cosφ Μαΐου

- συντελεστής ισχύος πριν την αντιστάθμιση: $\cos\varphi_1 = 0.899$
- επιθυμητός συντελεστής ισχύος: $\cos\varphi_2 = 0.949$
- ΧΧΔ πριν την αντιστάθμιση = 1164.6 €
- ΧΧΔ μετά την αντιστάθμιση = 1134.7 €
- Όφελος = 29.9 €

2. Βελτίωση cosφ Ιουνίου

- συντελεστής ισχύος πριν την αντιστάθμιση: $\cos\varphi_1 = 0.835$
- επιθυμητός συντελεστής ισχύος: $\cos\varphi_2 = 0.885$
- ΧΧΔ πριν την αντιστάθμιση = 2126.9 €
- ΧΧΔ μετά την αντιστάθμιση = 2056.1 €
- Όφελος = 70.8 €

3. Βελτίωση cosφ Ιουλίου

- συντελεστής ισχύος πριν την αντιστάθμιση: $\cos\varphi_1 = 0.822$
- επιθυμητός συντελεστής ισχύος: $\cos\varphi_2 = 0.872$
- ΧΧΔ πριν την αντιστάθμιση = 2673.5 €
- ΧΧΔ μετά την αντιστάθμιση = 2572.4 €
- Όφελος = 101.1 €

4. Βελτίωση cosφ Αυγούστου

- συντελεστής ισχύος πριν την αντιστάθμιση: $\cos\varphi_1 = 0.824$
- επιθυμητός συντελεστής ισχύος: $\cos\varphi_2 = 0.874$
- ΧΧΔ πριν την αντιστάθμιση = 2741.1 €
- ΧΧΔ μετά την αντιστάθμιση = 2636.0 €
- Όφελος = 105.1 €

5. Βελτίωση cosφ Σεπτεμβρίου

- συντελεστής ισχύος πριν την αντιστάθμιση: $\cos\varphi_1 = 0.840$
- επιθυμητός συντελεστής ισχύος: $\cos\varphi_2 = 0.890$
- ΧΧΔ πριν την αντιστάθμιση = 2449.9 €
- ΧΧΔ μετά την αντιστάθμιση = 2362.5 €
- Όφελος = 87.4 €

Το **Συνολικό Όφελος** που προκύπτει από τη βελτίωση του cosφ κατά 0.05 μονάδες των πέντε αυτών μηνών ανέρχεται στα **394.3 €**.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.4, στον οποίο φαίνονται συγκεντρωτικά τα οικονομικά οφέλη της βελτίωσης του cosφ για κάθε μήνα.

Μήνας	cosφ πριν την αντιστάθμιση	cosφ μετά την αντιστάθμιση	Όφελος (€)
Μάιος	0.899	0.949	29.9
Ιούνιος	0.835	0.885	70.8
Ιούλιος	0.822	0.872	101.1
Αύγουστος	0.824	0.874	105.1
Σεπτέμβριος	0.840	0.890	87.4
			Σύνολο = 394.3

Πίνακας 6.4 Τα οικονομικά οφέλη της βελτίωσης του cosφ για κάθε μήνα.

Αντίθετα, υπολογίστηκε ότι αν αντί για 0.05 μονάδες, βελτιώναμε τους συντελεστές ισχύος κατά 0.01 μονάδες, τότε το Συνολικό Όφελος που θα προέκυπτε θα ανερχόταν στα 82.6 €, δηλαδή περίπου το 1/5 του οφέλους της βελτίωσης κατά 0.05 μονάδες. Επομένως, μεγαλύτερη διόρθωση του συντελεστή ισχύος, σημαίνει και μεγαλύτερη εξοικονόμηση χρημάτων.

Αξίζει επίσης να σημειώσουμε ότι, δεδομένου ότι η Καταμετρηθείσα Μέγιστη Ζήτηση στη ζώνη αιχμής, οι ημέρες κατανάλωσης και οι κιλοβατώρες κατανάλωσης παραμένουν σταθερές σαν ποσότητες, τότε η βελτίωση του cosφ κατά μία συγκεκριμένη ποσότητα σε δύο διαφορετικά cosφ, θα επιφέρει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη για το μικρότερο cosφ. Για παράδειγμα, αν θέλαμε να βελτιώσουμε κατά +0.05 μονάδες έναν ΣΙ $\cos\phi_1 = 0.8$ και έναν ΣΙ $\cos\phi_2 = 0.85$, το όφελος στην πρώτη περίπτωση θα ισούταν με $0.0735 \cdot a$ ενώ στη δεύτερη περίπτωση θα ισούταν με $0.0654 \cdot a$, όπου $a = [(kWh) \times MMX(€/kWh)]$ ίσο και στις δύο περιπτώσεις. Δηλαδή τα οφέλη θα ήταν μεγαλύτερα στην περίπτωση της διόρθωσης του $\cos\phi_1$.

Στο σημείο αυτό, εφόσον έχει υπολογιστεί η ετήσια Καθαρή Ταμειακή Ροή από την διόρθωση του συντελεστή ισχύος του αντλιοστασίου του Βλητέ, προσομοιώνονται δύο οικονομικά σενάρια επένδυσης για την αγορά εξοπλισμού πυκνωτών με σκοπό την επίτευξη αυτής της εξοικονόμησης χρημάτων.

Σενάριο 1 (επιτόκιο = 8%):

- Καθαρή Ταμειακή Ροή (KTP) = 394.3 € του έτους προσομοίωσης 2011 (οι ετήσιες χρηματοροές είναι ίσες και $SV = 0$)
- Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία ή επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου (i) = 0.08 (8%)
- Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (N) = 10 έτη
- Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (ΚΠΑ) = 0

Απαιτούμενο κεφάλαιο = 2645.8 €.

Σενάριο 2 (επιτόκιο = 8%):

- Καθαρή Ταμειακή Ροή (KTP) = 394.3 € του έτους προσομοίωσης 2011 (οι ετήσιες χρηματοροές είναι ίσες και $SV = 0$)
- Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία ή επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου (i) = 0.15 (15%)
- Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (N) = 10 έτη
- Καθαρή Παρούσα Αξία επένδυσης (ΚΠΑ) = 0

Απαιτούμενο κεφάλαιο = 1978.9 €.

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 6.5 στον οποίο συνοψίζονται τα οικονομικά αποτελέσματα ανά σενάριο.

Σενάριο	KTP (€)	i (%)	N (έτη)	Απαιτούμενο Κεφάλαιο (€)
1	394.3	8	10	2645.8
2	394.3	15	10	1978.9

Πίνακας 6.5 Οικονομικά αποτελέσματα ανά σενάριο.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.5,

Σενάριο 1: Για καθαρή ταμειακή ροή κάθε έτους ίση με 394.3 €, επιτόκιο αναγωγής ίσο με 8% και οικονομικό κύκλο ζωής της επένδυσης ίσο με 10 έτη, το απαιτούμενο κεφάλαιο, το οποίο θα πρέπει να διαθέσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. για να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας βελτιώνοντας το cosφ στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, πρέπει να είναι ίσο με 2645.8 € το πολύ.

Σενάριο 2: Για καθαρή ταμειακή ροή κάθε έτους ίση με 394.3 €, επιτόκιο αναγωγής ίσο με 15% και οικονομικό κύκλο ζωής της επένδυσης ίσο με 10 έτη, το απαιτούμενο κεφάλαιο, το οποίο θα πρέπει να διαθέσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. για να επιτύχει εξοικονόμηση ενέργειας βελτιώνοντας το cosφ στο αντλιοστάσιο του Βλητέ, πρέπει να είναι ίσο με 1978.9 € το πολύ.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι το παρόν σενάριο βελτίωσης του cosφ του αντλιοστασίου του Βλητέ, μπορεί να υλοποιηθεί με την διαρκή παρακολούθηση του cosφ του αντλιοστασίου και την διόρθωση των “κακών” τιμών με εφαρμογές αντιστάθμισης της αέργου ισχύος, όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

6.4 Ενδεχόμενο όφελος της ΔΕΗ από τις ενέργειες εξοικονόμησης

Τα οφέλη της ΔΕΗ από τις ενέργειες εξοικονόμησης στο αντλιοστάσιο του Βλητέ χωρίζονται σε δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος αφορά την μείωση των απωλειών ενέργειας στα καλώδια της ΔΕΗ και την καλύτερη παροχή ποιότητας ενέργειας και το δεύτερο σκέλος αφορά την εξοικονόμηση χρημάτων λόγω κατανάλωσης λιγότερης ποσότητας καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας.

- Όσον αφορά το πρώτο σκέλος, η βελτίωση του cosφ του αντλιοστασίου του Βλητέ που εφαρμόστηκε υποθετικά παραπάνω, συμβάλλει στην μείωση των απωλειών ενέργειας στα καλώδια παροχής της ΔΕΗ και στους μετασχηματιστές, το οποίο συνεπάγεται και εξοικονόμηση χρημάτων. Επίσης, η βελτίωση του cosφ έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής – διανομής της ΔΕΗ, με συνέπεια να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία. Τέλος, επιτυγχάνεται μείωση της πτώσης τάσης, αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας στα καλώδια καθώς και αύξηση της διαθέσιμης ισχύος των μετασχηματιστών.
- Όσον αφορά το δεύτερο σκέλος, για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος της εξοικονόμησης χρημάτων της ΔΕΗ εξαιτίας της κατανάλωσης λιγότερης ποσότητας καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, εφαρμόστηκε αλγόριθμος που υπολογίζει το οικονομικό όφελος της ΔΕΗ, ο οποίος χρησιμοποιεί σαν είσοδο τις χρονοσειρές κατανάλωσης μιας περιόδου, τις χρονοσειρές κατόπιν εξοικονόμησης της ίδιας περιόδου, τις αιχμές της περιόδου καθώς και τα δεδομένα του Πίνακα 6.5 με τις παραμέτρους κόστους των θερμικών μονάδων του ΣΗΕ Κρήτης. Η προσομοίωση έγινε για τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο και αφορά μόνο τις δύο αντλίες ύδρευσης του αντλιοστασίου του Βλητέ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.4 και 7.5:

Στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζεται η μείωση στις καταναλώσεις καυσίμου της ΔΕΗ για τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο, κατόπιν εξοικονόμησης 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ.

	Μείωση Μαζούτ (kg)	Μείωση Ντίζελ (lt)
Απρίλιος	2253	1419.4
Ιούλιος	8768	11137
Αύγουστος	6589	15134
Σύνολο	17610	27690.4

Πίνακας 6.6 Η μείωση στις καταναλώσεις καυσίμου της ΔΕΗ.

Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζονται οι μειώσεις σε MWh στην παραγωγή ενέργειας στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ στην Κρήτη, λόγω της υποθετικής εξοικονόμησης ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ για τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Να σημειωθεί ότι δεν παρατηρείται καθόλου μείωση στην παραγωγή ενέργειας από τον σταθμό του Αθερινόλακκου.

	Μείωση Λινοπεραμάτων (MWh)	Μείωση Χανίων (MWh)	Συνολική Μείωση (MWh)	Όφελος ΔΕΗ (€)	€/MWh (μείωσης)
Απρίλιος	10.85	1.94	12.8	1925	150.40
Ιούλιος	48.14	17.66	65.8	11404	173.31
Αύγουστος	46.49	22.29	68.8	13286	193.11
Σύνολο				26615	

Πίνακας 6.7 Οικονομικά οφέλη της ΔΕΗ από την εξοικονόμηση ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

Από τον Πίνακα 6.7 παρατηρούμε ότι τα οικονομικά οφέλη της ΔΕΗ είναι σημαντικά για τους τρεις αυτούς μήνες. Πόσο μάλλον για όλους τους μήνες στους οποίους εφαρμόστηκε η υποθετική εξοικονόμηση ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ. Γίνεται αντιληπτό επομένως, πόσο μεγάλο κέρδος θα προέκυπτε για την ΔΕΗ αν αυτή η εξοικονόμηση εφαρμοζόταν παράλληλα και σε περισσότερα αντλιοστάσια του Ο.Α.ΔΥ.Κ.

Εξαιτίας όμως της εξοικονόμησης ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ για τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο, όπως παρουσιάστηκε και στην ενότητα 7.2, ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. εξοικονομεί ποσό χρημάτων ίσο με: 1717.3 € (Απρίλιος) + 6629 € (Ιούλιος) + 6856 € (Αύγουστος) = 15202.3 €, τα οποία όμως χάνει η ΔΕΗ. Επομένως, συνολικά η ΔΕΗ από τη μία χάνει χρήματα αλλά από την άλλη κερδίζει, και επειδή το όφελος είναι μεγαλύτερο της ζημίας, προκύπτει τελικά ότι η ΔΕΗ βγαίνει κερδισμένη (και αυτή) κατά 26615 € - 15202.3 € = 11412.7 €. Συνοψίζοντας, η υποθετική εξοικονόμηση ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ για τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο δημιουργεί κέρδη στη ΔΕΗ ύψους 11412.7 €.

7. ΟΙ ΑΝΤΑΙΕΣ ΩΣ ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

Η κατανάλωση ορισμένων ειδών φορτίων μπορεί να είναι ελεγχόμενη χωρίς να δημιουργούνται ιδιαίτερα προβλήματα στους τελικούς χρήστες, από τη μετάθεση της ώρας εξυπηρέτησής τους. Συνήθως τέτοιου είδους φορτία εμπεριέχουν και κάποιας μορφής αποθήκευση, ώστε ο τελικός χρήστης να έχει διαθέσιμο κάποιο αγαθό τη στιγμή που το χρειάζεται. Τα φορτία αυτά, χωρίς παρεμπόδιση της ανάγκης που καλύπτουν, έχουν τη δυνατότητα να ελέγχονται ως προς το χρόνο ένταξης - αποσύνδεσής τους αλλά και ως προς την ισχύ που απορροφούν.

Με τον όρο λοιπόν ευέλικτο φορτίο, εννοείται το φορτίο (καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας) το οποίο θα μπορούσε κατά κάποιον τρόπο να μετατοπισθεί σε χρονικό διάστημα, πέρα από περιόδους υψηλής ζήτησης ενέργειας, είτε για λόγους τιμολογίου είτε για λόγους αξιοποίησης των ΑΠΕ.

7.1 Γενικά για την ευελιξία των αντλιών

Επειδή το νερό μπορεί με χαμηλό κόστος να αποθηκευτεί, η χρήση αντλιών έχει κάποια ευελιξία. Οι αντλίες έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να ενεργοποιηθούν και να δουλέψουν σε χρονικές στιγμές που είναι περισσότερο ωφέλιμες για το σύστημα, χωρίς κάποια επίδραση στη λειτουργία τους ή στον σκοπό που επιτελούν. Όπως είναι γνωστό, τις ώρες αιχμής (11:00 – 14:00) είναι σε λειτουργία μεγαλύτερος αριθμός φορτίων από ότι σε άλλες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η λειτουργία αυτή των φορτίων σε ώρες αιχμής, πολλές φορές είναι ικανή να δημιουργήσει προβλήματα στο σύστημα και στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα αυτός να μην μπορεί να εξυπηρετήσει τη ζήτηση όλων των φορτίων. Επομένως, η ευελιξία στην λειτουργία των αντλιών, με την μετάθεση της λειτουργίας τους σε ώρες όπου το σύστημα είναι λιγότερο βεβαρυμένο, όπως είναι οι πρωινές ώρες, ενδέχεται να έχει οφέλη τόσο για τον κάτοχο των αντλιών (χαμηλότερη χρέωση πρωινών ωρών) όσο και για τον πάροχο (αποσυμφόρηση της αιχμής). Η ευελιξία αυτή δεν έχει κάποια επίπτωση στο σκοπό που επιτελείται, αφού έτσι το νερό μπορεί να αντληθεί και να αποθηκευτεί σε κατάλληλη δεξαμενή που θα πρέπει να κατασκευαστεί, σε ώρες όπου αυτό δεν έχει τόση ζήτηση. Το νερό τελικά, αφού αποθηκευτεί γίνεται διαθέσιμο στον τελικό χρήστη, όποτε αυτός το επιθυμεί.

Στις ενότητες που ακολουθούν, εξετάζεται ποιο θα ήταν το όφελος να θεωρηθούν οι αντλίες ύδρευσης του αντλιοστασίου του Ο.Α.ΔΥ.Κ. στον Βλητέ Σούδας ως ευέλικτα φορτία.

7.2 Καταγραφή κατανάλωσης ενέργειας του αντλιοστασίου του Ο.Α.ΔΥ.Κ. στον Βλητέ Σούδας με βάση τις καταγραφές του SCADA

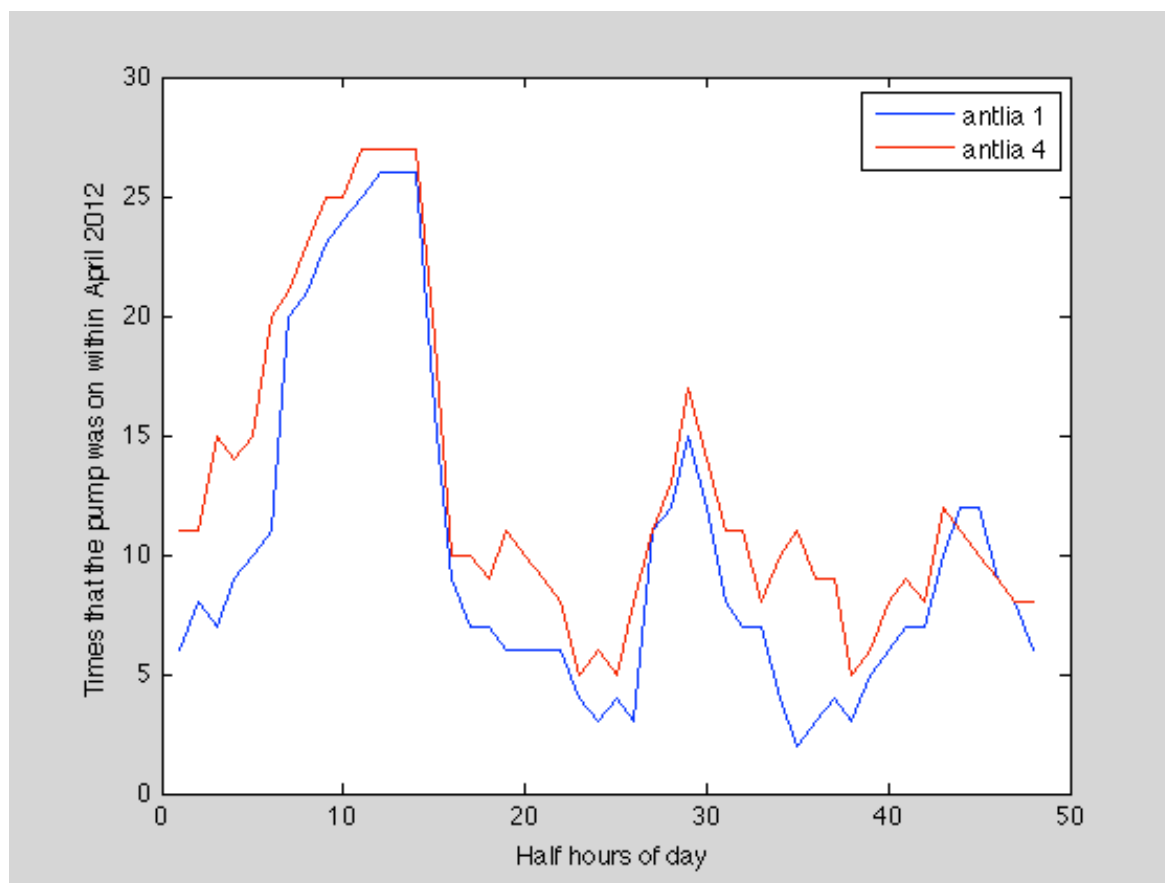
Από τη βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα του SCADA του Ο.Α.ΔΥ.Κ., κατόπιν σχετικής άδειας, πάρθηκαν δεδομένα που αφορούν την λειτουργία των δύο αντλιών ύδρευσης του αντλιοστασίου του Βλητέ για τον Απρίλιο του 2012.

Από την επεξεργασία αυτών των δεδομένων προκύπτει ο Πίνακας 7.1, ο οποίος δείχνει πόσες φορές κατά τη διάρκεια του Απριλίου οι δύο αντλίες ύδρευσης (αντλία 1 και αντλία 4) ήταν ενεργοποιημένες, ανά χρονικά διαστήματα μισής ώρας. Σε κάθε μισάωρο ο μέγιστος αριθμός που μια αντλία μπορεί να είναι ενεργοποιημένη είναι ίσος με 30 (για τον μήνα Απρίλιο).

Διάστημα ημέρας	# που η Αντλία 1 ήταν on κατά τη διάρκεια του μήνα	# που η Αντλία 4 ήταν on κατά τη διάρκεια του μήνα
0:00 – 0:30	6	11
0:30 – 1:00	8	11
1:00 – 1:30	7	15
1:30 – 2:00	9	14
2:00 – 2:30	10	15
2:30 – 3:00	11	20
3:00 – 3:30	20	21
3:30 – 4:00	21	23
4:00 – 4:30	23	25
4:30 – 5:00	24	25
5:00 – 5:30	25	27
5:30 – 6:00	26	27
6:00 – 6:30	26	27
6:30 – 7:00	26	27
7:00 – 7:30	16	19
7:30 – 8:00	9	10
8:00 – 8:30	7	10
8:30 – 9:00	7	9
9:00 – 9:30	6	11
9:30 – 10:00	6	10
10:00 – 10:30	6	9
10:30 – 11:00	6	8
11:00 – 11:30	4	5
11:30 – 12:00	3	6
12:00 – 12:30	4	5
12:30 – 13:00	3	8
13:00 – 13:30	11	11
13:30 – 14:00	12	13
14:00 – 14:30	15	17
14:30 – 15:00	12	14
15:00 – 15:30	8	11
15:30 – 16:00	7	11
16:00 – 16:30	7	8
16:30 – 17:00	4	10
17:00 – 17:30	2	11
17:30 – 18:00	3	9
18:00 – 18:30	4	9
18:30 – 19:00	3	5
19:00 – 19:30	5	6
19:30 – 20:00	6	8
20:00 – 20:30	7	9
20:30 – 21:00	7	8
21:00 – 21:30	10	12
21:30 – 22:00	12	11
22:00 – 22:30	12	10
22:30 – 23:00	9	9
23:00 – 23:30	8	8
23:30 – 0:00	6	8
	Σύνολο = 489	Σύνολο = 616

Πίνακας 7.1 Πίνακας που δείχνει πόσες φορές κάθε μία από τις αντλίες ύδρευσης ήταν ενεργοποιημένη τον Απρίλιο του 2012, ανά διάστημα μισής ώρας.

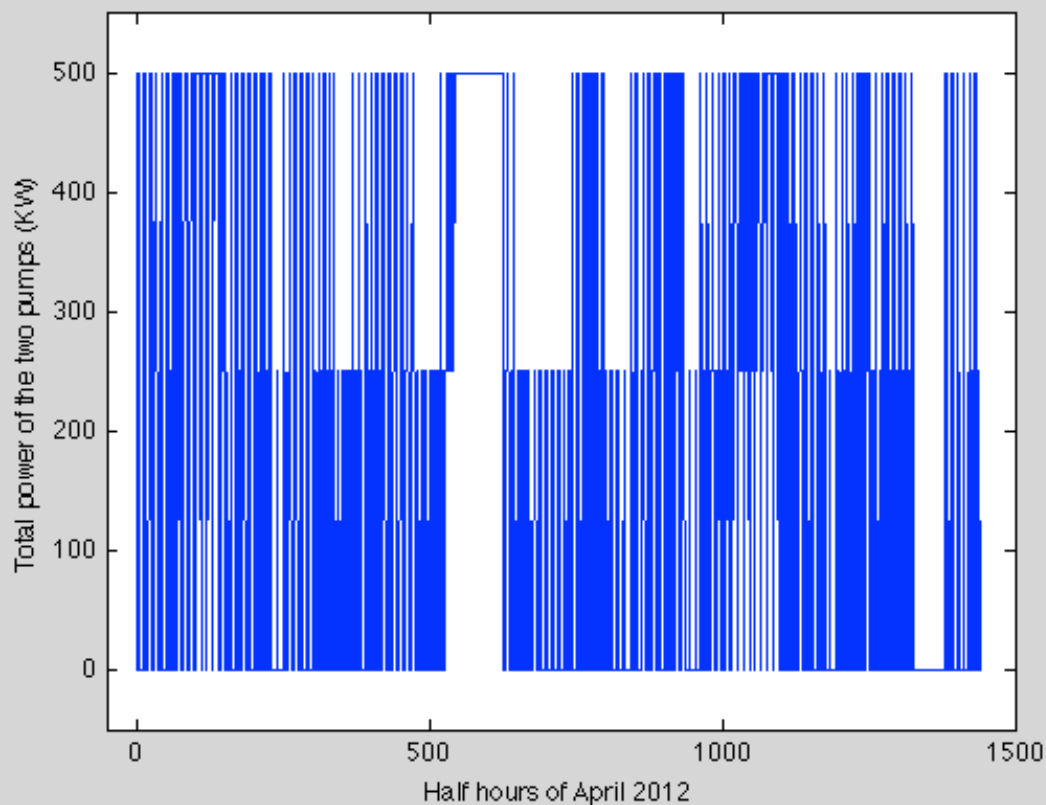
Παρακάτω παρουσιάζεται και σχηματικά η συμπεριφορά των δύο αντλιών, κατά τη διάρκεια του Απριλίου 2012.



Σχήμα 7.1 Η συμπεριφορά των δύο αντλιών ύδρευσης τον Απρίλιο του 2012.

Από τον Πίνακα 7.1 αλλά και από το Σχήμα 7.1 παρατηρούμε ότι οι δύο αντλίες ύδρευσης του αντλιοστασίου του Βλητέ ναι μεν λειτουργούν τις πρωινές ώρες (23:00 – 7:00), δηλαδή στην χαμηλή ζήτηση, αλλά δεν τις εκμεταλλεύονται στο έπακρο. Παρατηρούνται δηλαδή χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια αυτού του οκταώρου, στα οποία οι δύο αντλίες είναι απενεργοποιημένες και ενεργοποιούνται ξανά σε χρονική στιγμή εκτός αυτού του “οικονομικού” οκταώρου. Αντί να συμβαίνει αυτό το φαινόμενο, θα μπορούσαν κάλλιστα οι δύο αντλίες να εκμεταλλευτούν την χαμηλότερη χρέωση ενέργειας μεταξύ 23:00 – 7:00 και να δουλεύουν περισσότερο σε αυτό το διάστημα, αντικαθιστώντας τη λειτουργία στην υψηλή ζήτηση όποτε χρειάζεται, γεμίζοντας έτσι την δεξαμενή ύδρευσης των Κορακιών και ίσως και μία επιπλέον δεξαμενή, αποθηκεύοντας με αυτόν τον τρόπο το νερό για μετέπειτα χρήση. Το φαινόμενο που περιγράφηκε μπορεί να οφείλεται στη χωρητικότητα της δεξαμενής η οποία μπορεί να μην είναι αρκετή. Επομένως, αν Ο.Α.ΔΥ.Κ. είχε στη διάθεσή του μία επιπλέον δεξαμενή, θα μπορούσε να υπάρξει μεγαλύτερη ευελιξία. Περισσότερα στοιχεία για την ευελιξία των δύο αυτών αντλιών παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

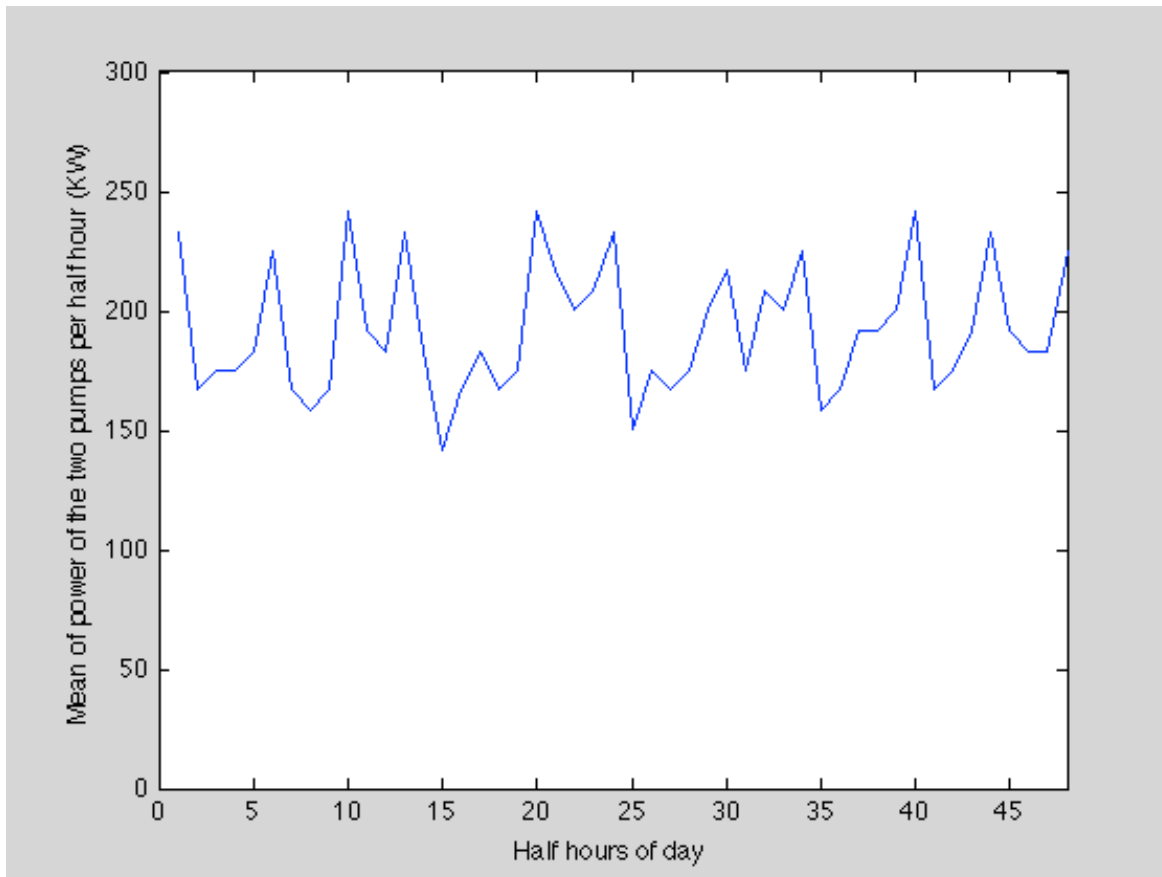
Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η χρονοσειρά της συνολικής ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012, όπως αυτή κυμαίνεται ανά μισάωρο.



Σχήμα 7.2 Η χρονοσειρά συνολικής ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012.

Από το Σχήμα 7.2 παρατηρούμε ότι η χρονοσειρά ισχύος των δύο αντλιών είναι περίπου ομοιόμορφα κατανομημένη κατά τη διάρκεια του μήνα. Στα μισάωρα με τιμή ισχύος 250 kW δουλεύει μόνο μία αντλία (η αντλία 1 ή η αντλία 4), στα μισάωρα με τιμή ισχύος 500 kW δουλεύουν και οι δύο αντλίες, ενώ στα μισάωρα με μηδενική τιμή δεν δουλεύει καμία αντλία.

Στο Σχήμα 7.3 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η τυπική ημερήσια καμπύλη ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012.



Σχήμα 7.3 Η τυπική ημερήσια καμπύλη ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012.

Από το Σχήμα 7.3 παρατηρούμε ότι η τυπική καμπύλη ισχύος των δύο αντλιών είναι σχετικά ομοιόμορφη κατά τη διάρκεια της ημέρας και κυμαίνεται από 150 kW έως 250 kW περίπου.

7.3 Εξέταση σεναρίου ευελιξίας του αντλιοστασίου και οι επιπτώσεις της

7.3.1 Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε για την ευελιξία

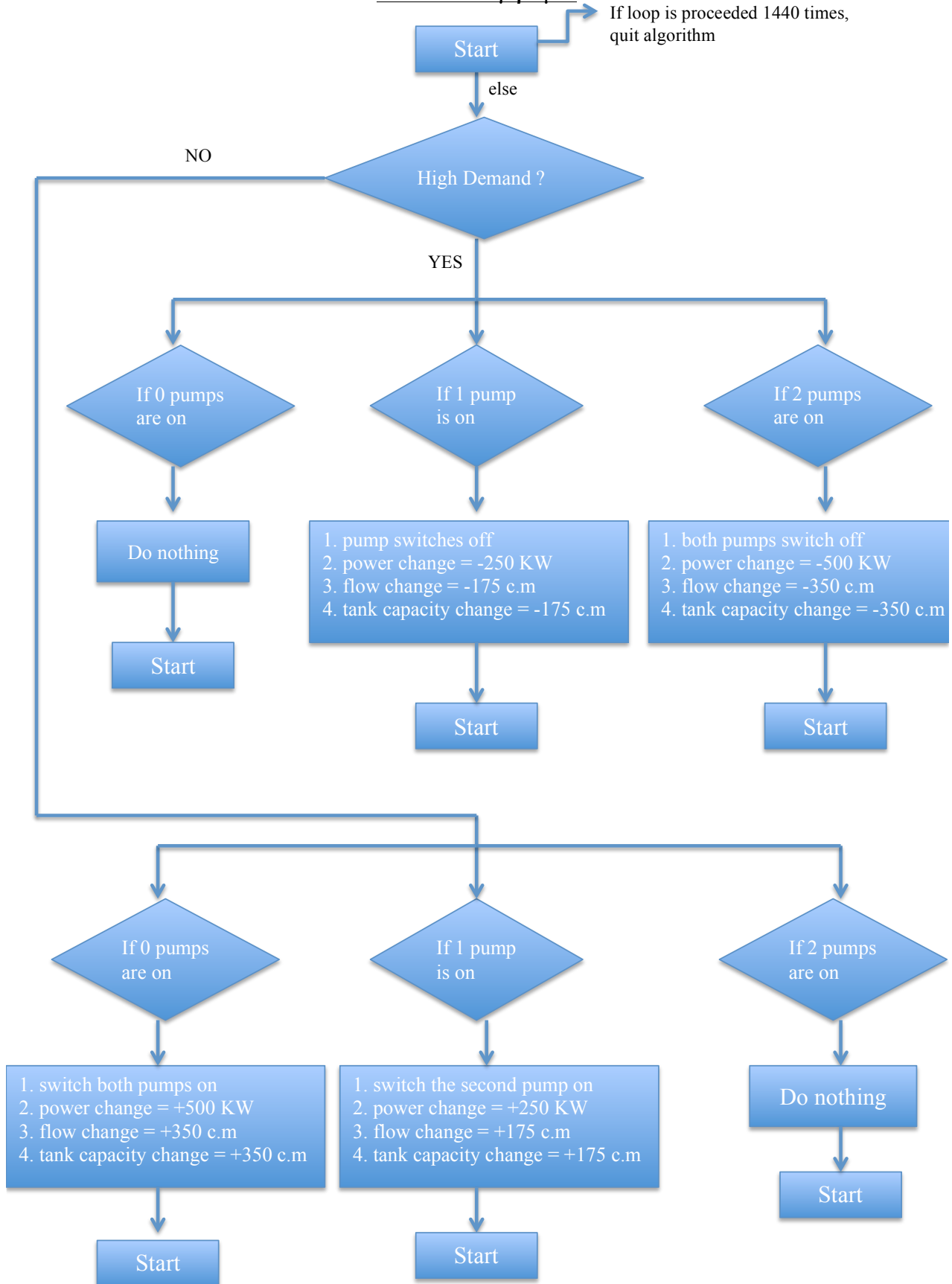
Όπως είδαμε και στην προηγούμενη ενότητα, υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω εκμετάλλευσης της χαμηλής ζήτησης για τις δύο αντλίες τον μήνα Απρίλιο του 2012. Αυτή η εκμετάλλευση μπορεί να υλοποιηθεί με μετακίνηση της λειτουργίας των αντλιών από ώρες υψηλής ζήτησης σε ώρες χαμηλής, όποτε αυτό είναι δυνατόν και αναγκαίο.

Για την υλοποίηση αυτού του σεναρίου, υλοποιήθηκε αλγόριθμος, ο οποίος δοθείσης της χρονοσειράς ενεργειακής ζήτησης (ανά μισάωρο) του Απριλίου 2012 - χαμηλή ζήτηση (23:00 – 7:00), υψηλή ζήτηση (7:00 – 23:00) - και της χρονοσειράς λειτουργίας των αντλιών του Απριλίου ανά μισάωρο (0, 1 ή 2 αντλίες ενεργοποιημένες σε κάθε μισάωρο), υπολογίζει τα μισάωρα υψηλής ζήτησης με 1 αντλία ενεργοποιημένη (on) και τα μισάωρα υψηλής ζήτησης με 2 αντλίες on, και μεταθέτει τη λειτουργία τους σε μισάωρα χαμηλής ζήτησης που είτε δούλευε 1 αντλία ή καμία, αντίστοιχα.

Να σημειωθεί ότι στον αλγόριθμο αυτό, θεωρήθηκε ότι η συνολική κατανάλωση ενέργειας των αντλιών παραμένει ίδια με αυτήν πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου, το οποίο σημαίνει ότι η ζήτηση του νερού παραμένει η ίδια, πριν και μετά.

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής (flow chart) του αλγορίθμου που μεταθέτει τη λειτουργία των αντλιών. Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε σε γλώσσα Matlab.

Flow chart αλγορίθμου

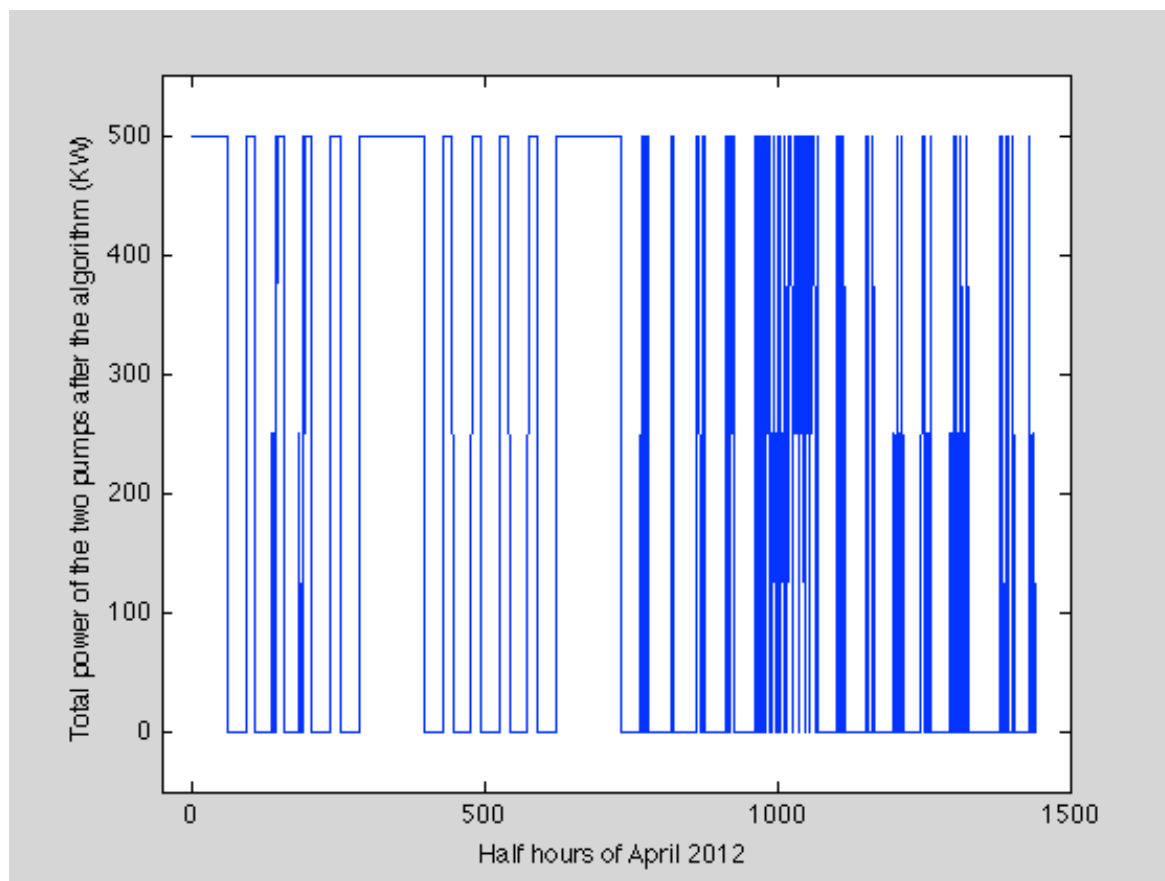


Σχήμα 7.4 Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου.

Να σημειωθεί ότι κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου θεωρήθηκε άπειρη χωρητικότητα της δεξαμενής.

Κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου, όπως είναι φυσικό η χωρητικότητα της δεξαμενής αυτής αυξομειώνεται, ανάλογα με τα 'σβησίματα' και τα 'ανοίγματα' των αντλιών. Στα τελικά αποτελέσματα του αλγορίθμου, παρουσιάστηκαν αρνητικές τιμές στην χωρητικότητα της σε κάποια μισάωρα της υψηλής ζήτησης, που προέκυψαν από την απενεργοποίηση αντλιών και την μείωση της παροχής. Αυτές οι τιμές απαλείφθηκαν κατόπιν, αφήνοντας κάποιες αντλίες ενεργοποιημένες σε ώρες υψηλής ζήτησης, αποφεύγοντας παράλληλα την ενεργοποίηση ισάριθμων αντλιών σε ώρες χαμηλής ζήτησης.

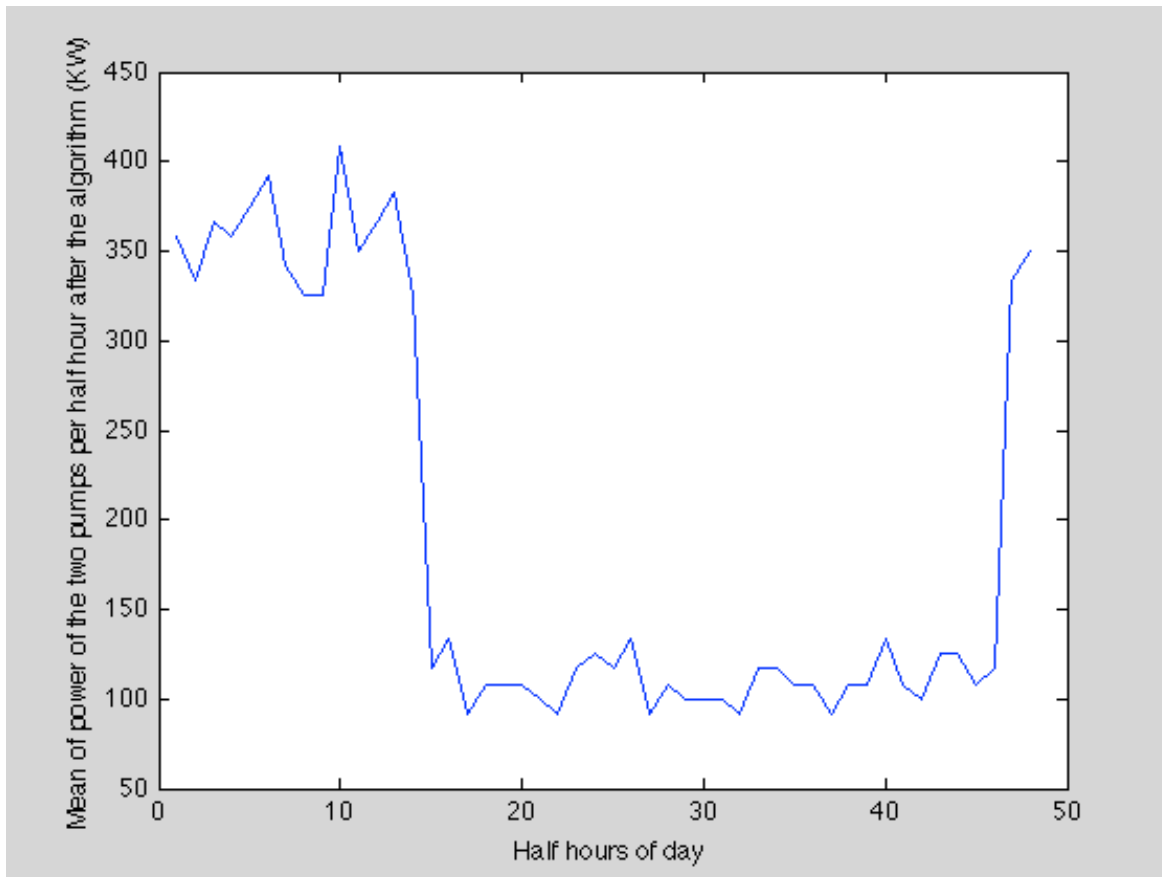
Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η χρονοσειρά της συνολική ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου, όπως αυτή κυμαίνεται ανά μισάωρο.



Σχήμα 7.5 Η χρονοσειρά συνολικής ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.

Από το Σχήμα 7.5 παρατηρούμε ότι η χρονοσειρά συνολικής ισχύος των δύο αντλιών μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με αυτήν πριν τον αλγόριθμο. Δηλαδή, παρατηρούμε ξεκάθαρα αυτό που υλοποιεί ο αλγόριθμος: την περισσότερη κατανάλωση ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης (peak = 500 kW) που προκαλείται από την ενεργοποίηση των αντλιών με ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης σε περιόδους υψηλής ζήτησης (valley = 0 kW) που προκαλείται από την απενεργοποίηση των αντλιών.

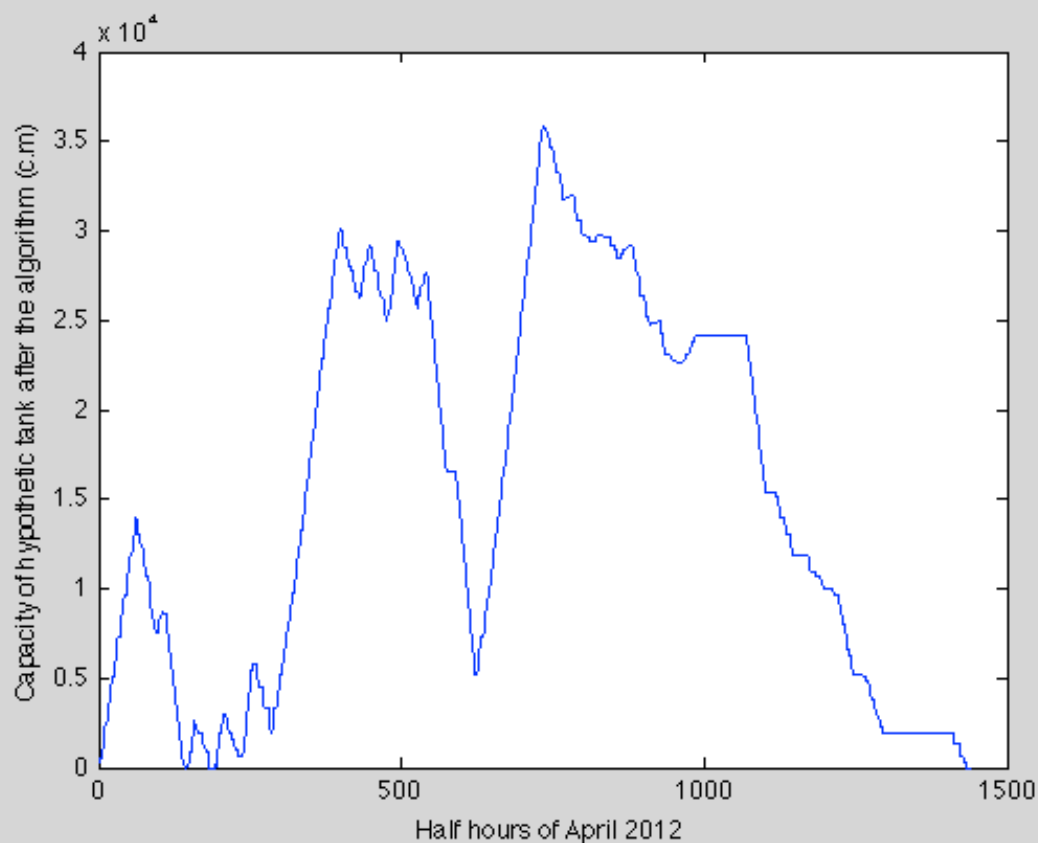
Στο Σχήμα 7.6 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η τυπική ημερήσια καμπύλη ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.



Σχήμα 7.6 Η τυπική ημερήσια καμπύλη ισχύος των δύο αντλιών για τον Απρίλιο του 2012, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.

Από το Σχήμα 7.6 παρατηρούμε ότι η τυπική καμπύλη ισχύος των δύο αντλιών μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου είναι διαφοροποιημένη σε σχέση με την αρχική. Παρατηρούμε ότι τα πρώτα 14 μισάωρα (ώρες 0:00 – 7:00) η τιμή της ισχύος κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα και αυτό οφείλεται στην ενεργοποίηση των αντλιών που πριν ήταν απενεργοποιημένες σε αυτό το διάστημα. Από την άλλη, παρατηρείται ότι τα επόμενα 32 μισάωρα (ώρες 7:00 – 23:00) η τιμή της ισχύος αποκτά πολύ χαμηλά επίπεδα και αυτό γιατί οι αντλίες που ήταν ενεργοποιημένες αυτό το διάστημα έχουν πλέον απενεργοποιηθεί (σχεδόν όλες), μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου. Τέλος, τα δύο τελευταία μισάωρα (ώρες 23:00 – 0:00) η ισχύς αποκτά ξανά υψηλή τιμή καθώς η ώρα αυτή είναι ώρα χαμηλής ζήτησης και οι αντλίες ενεργοποιούνται όπως γίνεται και στο διάστημα (0:00 – 7:00).

Στο Σχήμα 7.7 στη συνέχεια, παρουσιάζεται το γράφημα της διακύμανσης της τιμής της χωρητικότητας της υποθετικής δεξαμενής κατά τη διάρκεια του Απριλίου, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.



Σχήμα 7.7 Η διακύμανση της χωρητικότητας της υποθετικής δεξαμενής κατά τη διάρκεια του Απριλίου του 2012, μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.

Από τα αποτελέσματα του αλγορίθμου, αλλά και από την παρατήρηση του Σχήματος 7.7, γίνεται φανερό ότι η μέγιστη τιμή χωρητικότητας που λαμβάνει η δεξαμενή κατά τη διάρκεια του αλγορίθμου είναι ίση με 35900 m^3 νερού. Αυτή η τιμή θεωρείται και η μέγιστη απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής.

7.3.2 Οι οικονομικές επιπτώσεις για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ.

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται οι οικονομικές επιπτώσεις της ευελιξίας των δύο αντλιών ύδρευσης για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι μεταβολές στην κατανάλωση kWh, στις αιχμές, στις χρεώσεις kWh, ισχύος και ρυθμιζόμενων χρεώσεων για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. πριν και μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.

Για τον υπολογισμό των χρεώσεων αυτών θεωρήθηκε ως cosφ το cosφ του Απριλίου 2011 (0.918). Οι τιμές της κιλοβατώρας με βάση τις χρεώσεις του 2012 για εμπορικό τιμολόγιο B1 είναι: 0.05015 €/kWh για χαμηλή ζήτηση και 0.06388 €/kWh για υψηλή ζήτηση.

	Πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου	Μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου
kWh που καταναλώθηκαν στην χαμηλή ζήτηση	68000	137500
kWh που καταναλώθηκαν στην υψηλή ζήτηση	70125	625
Άθροισμα kWh που καταναλώθηκαν συνολικά	138125	138125
Αιχμή MZ (kW)	500	250
Αιχμή MZA (kW)	500	0
Αιχμή MZN (kW)	500	500

Πίνακας 7.2 Η ενέργεια και η αιχμή πριν και μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.

	Πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου	Μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου	Χρηματικό όφελος (€)
Χρέωση ενέργειας χαμηλής ζήτησης (€)	3410.2	6895.6	
Χρέωση ενέργειας υψηλής ζήτησης (€)	4479.6	39.9	
Συνολική χρέωση ενέργειας (€)	7889.8	6935.5	954.3
Χρέωση ισχύος (€)	1325	662.5	662.5
Χρέωση Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Η/Ε (€)	1012.5	0	1012.5
Χρέωση Εθνικού Δικτύου Διανομής Η/Ε (€)	1101.5	496.5	605
Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (€)	2472.4	2472.4	0
Ειδικό Τέλος για τη μείωση εκπομπών αέριων ρύπων (€)	738.9	738.9	0
Λοιπές Χρεώσεις (€)	60.8	60.8	0
ΕΦΚ (€)	690.6	690.6	0
Ειδικό Τέλος 5‰ (€)	72.8	56.6	16.2
Σύνολο + ΦΠΑ (€)	17352.2	13681.3	Συνολικό όφελος (+ΦΠΑ) = 3670.9

Πίνακας 7.3 Συγκεντρωτικός πίνακας με τις διάφορες χρεώσεις για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. πριν και μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου.

Από τον Πίνακα 7.3 παρατηρούμε ότι τα οικονομικά οφέλη που θα προέκυπταν για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ από την υλοποίηση του σεναρίου ευελιξίας των αντλιών ύδρευσης του αντλιοστασίου του Βλητέ για τον μήνα Απρίλιο του 2012 είναι σημαντικά και ανέρχονται σε 3670.9 €.

7.3.3 Οι οικονομικές επιπτώσεις για την ΔΕΗ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι οικονομικές επιπτώσεις της ευελιξίας των δύο αντλιών ύδρευσης για την ΔΕΗ. Όπως σημειώθηκε και παραπάνω, η κατανάλωση ενέργειας των δύο αντλιών δεν έχει μεταβληθεί μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου. Επειδή όμως το αποτέλεσμα της εκτέλεσης του αλγορίθμου ευελιξίας είναι η αύξηση των κιλοβατώραν χαμηλής ζήτησης και η ταυτόχρονη μείωση των κιλοβατώραν υψηλής ζήτησης, παρατηρείται μείωση στην παραγωγή ενέργειας στους σταθμούς των Λινοπεραμάτων και Χανίων, ενώ στον σταθμό του Αθερινόλακκου παρατηρείται αύξηση και μάλιστα ισάριθμη της μείωσης. Επειδή όμως ο σταθμός του Αθερινόλακκου αποτελείται συνολικά από 4 μονάδες, παρουσιάζει μικρότερη ειδική κατανάλωση σε σχέση με τους άλλους σταθμούς. Επιπλέον, οι μονάδες του Αθερινόλακκου χρησιμοποιούν σαν καύσιμο το μαζούτ το οποίο είναι φθηνότερο σε σχέση με το diesel που χρησιμοποιούν οι άλλες μονάδες. Έτσι, το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου εύρεσης οφέλους της ΔΕΗ, εμφανίζει κέρδος για την ΔΕΗ ίσο με 4666.7 €. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 7.4 και 7.5.

Αύξηση Μαζούτ (kg)	Μείωση Ντίζελ (lt)
3574.70	8333.90

Πίνακας 7.4 Οι αλλαγές στις καταναλώσεις καυσίμου της ΔΕΗ.

	Μείωση Λινοπεραμάτων (MWh)	Μείωση Χανίων (MWh)	Αύξηση Αθερινόλακκου (MWh)	Συνολική Μείωση (MWh)	Όφελος ΔΕΗ (€)
Απρίλιος	52.25	17.25	69.50	0	4666.7

Πίνακας 7.5 Οι αλλαγές στην παραγωγή ενέργειας της ΔΕΗ και το οικονομικό όφελος.

Από την άλλη πλευρά, όπως σημειώθηκε παραπάνω, ο Ο.Α.ΔΥ.Κ παρουσιάζει κέρδη από το σενάριο της ευελιξίας ύψους 3670.9 €, το οποίο σημαίνει ζημία για την ΔΕΗ, αφού θα εισπράττει 3670.9 € λιγότερα από τους λογαριασμούς. Τελικά όμως, παρόλη τη ζημία αυτή, η ΔΕΗ αναμένεται να έχει κέρδος ίσο με: $4666.7 \text{ €} - 3670.9 \text{ €} = 995.8 \text{ €}$ για τον μήνα Απρίλιο.

7.3.4 Επίπτωση στη λειτουργία του αιολικού πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ

Μολονότι η Κρήτη παρουσιάζει εξαιρετικές δυνατότητες όσον αφορά το αιολικό δυναμικό, συχνά αυτή η παραγόμενη αιολική ενέργεια δεν μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα για λόγους που εξετάζονται παρακάτω. Η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια ορίζεται ως η ηλεκτρική ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί από τις ανεμογεννήτριες αλλά δεν διοχετεύεται στο δίκτυο, κυρίως για λόγους ευστάθειας του συστήματος παραγωγής ενέργειας - η οποία επιτυγχάνεται κυρίως με την αποφυγή παραβίασης τεχνικών ελαχίστων - αλλά και για λόγους δυναμικής ασφάλειας. Τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, έχουν περιορισμένη δυνατότητα εγκατάστασης αιολικής ενέργειας, προκειμένου να επιτύχουν και να διατηρήσουν ένα ικανοποιητικό επίπεδο ευστάθειας του συστήματος.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ο τρόπος με τον οποίο η Δ.Ε.Η. δίνει εντολές αποκοπής ενέργειας στα Αιολικά Πάρκα, προκειμένου να εξασφαλίσει την ευστάθεια του συστήματος. Η Δ.Ε.Η. παρακολουθεί τη διακύμανση του φορτίου της Κρήτης, τη διείσδυση που αποφασίζουν οι χειριστές, τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων, και ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες της, μοιράζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη αιολική ισχύ ίσα σε όλα τα Αιολικά Πάρκα, ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ τους. Έτσι, κάθε λίγα λεπτά στέλνει ένα ‘**set-point**’ στα Αιολικά Πάρκα, το οποίο είναι το μέγιστο επιτρεπτό όριο παραγωγής ενέργειας κάθε Αιολικού Πάρκου. Τα πάρκα στη συνέχεια είναι αναγκασμένα να παράγουν ενέργεια η οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το λειτουργικό σημείο (set-point) που τους έχει ανατεθεί από τη Δ.Ε.Η. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι πάντα “κόβεται” η παραγωγή, απλά δίνεται αυτό το όριο από την Δ.Ε.Η. Δηλαδή, αν το Αιολικό Πάρκο δεν ξεπερνάει το όριο που του ορίζει η Δ.Ε.Η., δεν τίθεται θέμα αποκοπής. Με τον τρόπο αυτό, η Δ.Ε.Η. λειτουργεί σαν καταναμετής, όπου ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος και για λόγους ευστάθειάς του, κατανέμει την απαιτούμενη αιολική ισχύ κάθε αιολικού πάρκου ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέσα σε κάθε μέρα και ώρα, με βάση τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν.

Στην εργασία [21], ένα από τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει αναφέρει ότι: Για να επιτευχθεί ποσοστό διείσδυσης αιολικής ενέργειας ίσο με 30% της ενεργειακής ζήτησης, με σκοπό να εξασφαλισθεί ένα ετήσιο ποσοστό απόρριψης αιολικής ενέργειας μικρότερο του 10%, η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 40% της μέσης ετήσιας ενεργειακής ζήτησης. Στην παρούσα εργασία, τα στοιχεία που έχουμε αφορούν το έτος 2010. Για το έτος αυτό, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 8.1, η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στο νησί της Κρήτης είναι ίση με 166.85 MW. Επίσης, η συνολική ετήσια ζήτηση ενέργειας για το νησί της Κρήτης το ίδιο έτος, ανέρχεται στις 2.7 TWh, επομένως η μέση ετήσια ζήτηση ενέργειας είναι ίση με $2.7 \text{ TWh} / 8760 \text{ h} = 308.22 \text{ MW}$. Το 40 % αυτής της μέσης ετήσιας ζήτησης είναι ίσο με 123.29 MW, επομένως η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς του νησιού είναι μεγαλύτερη του 40% της μέσης ετήσιας ενεργειακής ζήτησης. Άρα, ήδη διαφαίνεται ότι θα υπάρξουν προβλήματα με την απορρόφηση της ενεργού ισχύος από το δίκτυο.

Στην Κρήτη η απορρόφηση της αιολικής ενέργειας περιορίζεται σημαντικά, κυρίως εξαιτίας της έλλειψης ταυτοχρονισμού μεταξύ της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και της αιολικής παραγωγής.

Παρόλη την βελτιωμένη συμπεριφορά των ανεμογεννητριών όσον αφορά την ποιότητα της παραγόμενης ενέργειας και τη συμβατότητα με το δίκτυο, η στοχαστική φύση του ανέμου δεν αφήνει πολλά περιθώρια για μεγάλη απορρόφηση της αιολικής ενέργειας. Επιπλέον, η απόρριψη της αιολικής ενέργειας σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας εξαρτάται από εποχικές διακυμάνσεις, διακυμάνσεις εντός της ημέρας και γενικά έλλειψη ταυτοχρονισμού και είναι σημαντική καθώς:

- Η ενεργειακή ζήτηση παρουσιάζει έντονες εποχικές διακυμάνσεις. Στην Κρήτη, όπως και σε άλλα νησιά, η ζήτηση του τουριστικού τομέα οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ενεργειακής ζήτησης την περίοδο του καλοκαιριού. Η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς σε ένα ελληνικό αυτόνομο σύστημα κατά τη διάρκεια ενός έτους, δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 30% της ετήσιας αιχμής του προηγούμενου έτους. Σε ένα αυτόνομο σύστημα με έντονη εποχική διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης, η ενεργειακή ζήτηση κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης θα είναι σημαντικά χαμηλότερη από τη μέγιστη ενεργειακή ζήτηση. Ως εκ τούτου, τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα θα αναγκαστούν να υπολειτουργούν κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ενεργειακής ζήτησης, παρουσιάζοντας υψηλή απόρριψη αιολικής ενέργειας.
- Κάθε θερμική μονάδα παραγωγής ενέργειας που είναι ενταγμένη στο σύστημα χαρακτηρίζεται από κάποιο τεχνικό ελάχιστο, δηλαδή την ελάχιστη τιμή ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να παράγει η μονάδα. Σε καμία περίπτωση αυτό το τεχνικό ελάχιστο δεν πρέπει να παραβιάζεται. Η ανεξέλεγκτη απορρόφηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην ενταγμένη μονάδα παραγωγής, καθώς αυτή θα είναι αναγκασμένη να περιορίσει την παραγωγή της με κίνδυνο παραβίασης του τεχνικού της ελαχίστου. Για αυτόν τον λόγο επομένως, υπάρχουν εντολές αποκοπής της παραγόμενης αιολικής ενέργειας.
- Η ανάγκη για ασφάλεια και ευστάθεια του συστήματος παραγωγής ενέργειας επιβάλλει ένα άνω όριο στην διείσδυση της αιολικής ενέργειας. Η ευστάθεια ενός αυτόνομου συστήματος παραγωγής ενέργειας επηρεάζεται αρνητικά από αυξανόμενες αναλογίες απορρόφησης αιολικής

ενέργειας – συνολικής ενεργειακής ζήτησης (ειδικά όταν υπερβαίνει ένα άνω όριο). Σε αυτές τις περιπτώσεις, μια απρόοπτη απώλεια ισχύος, που πιθανώς προκλήθηκε από μια απότομη ριπή του ανέμου ή από βλάβη της τουρμπίνας ή από σφάλμα άσχετο με τη λειτουργία του αιολικού πάρκου (π.χ. από βραχυκύκλωμα σε ζυγό μακριά από το πάρκο), μπορεί να προκαλέσει μερικό ή ολικό blackout, εάν το σύστημα δεν είναι ικανό να αντιμετωπίσει την απώλεια ισχύος σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Επομένως, για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια του συστήματος, ορίζεται ένα άνω όριο στην απορρόφηση της αιολικής ενέργειας σχετικό με την ενεργειακή ζήτηση.

Αυτοί οι περιορισμοί μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική απόρριψη αιολικής ενέργειας σε αυτόνομα συστήματα. Η απόρριψη αιολικής ενέργειας εξαρτάται επίσης, από την συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύ στο αυτόνομο σύστημα και το πόσο ταυτοχρονισμένη είναι η αιολική παραγωγή με τη ζήτηση. Ο μη ταυτοχρονισμός δηλαδή οδηγεί σε αυξημένη πιθανότητα απόρριψης της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Δηλαδή, όταν η ενεργειακή ζήτηση μπορεί να εξυπηρετηθεί χωρίς την απορρόφηση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, τότε το αιολικό πάρκο αναγκάζεται να περιορίσει την παραγωγή του με αποτέλεσμα να εμφανίζεται το φαινόμενο της απόρριψης αιολικής ενέργειας.

Στο σημείο αυτό, παρουσιάζονται στοιχεία για το φαινόμενο της αποκοπής αιολικής ενέργειας στο πάρκο Διεθνής Αιολική Κρήτης. Ο Υ/Σ Μοιρών εξυπηρετεί τρία αιολικά πάρκα της περιοχής, το πάρκο IWECO, το πάρκο Μοιρών και το πάρκο Διεθνής Αιολική Κρήτης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.1. Το πάρκο Διεθνής Αιολική Κρήτης, που είναι και το μεγαλύτερο από τα τρία, βρίσκεται στον Νομό Ηρακλείου, στον Δήμο Γόρτυνας και συγκεκριμένα στην τοποθεσία Άγιος Κύριλλος. Διαθέτει άδεια από τις 30/06/2004 και έχει 8 Α/Γ των 900 kW, φτάνοντας τα 7.2 MW εγκατεστημένης ισχύος, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.5.



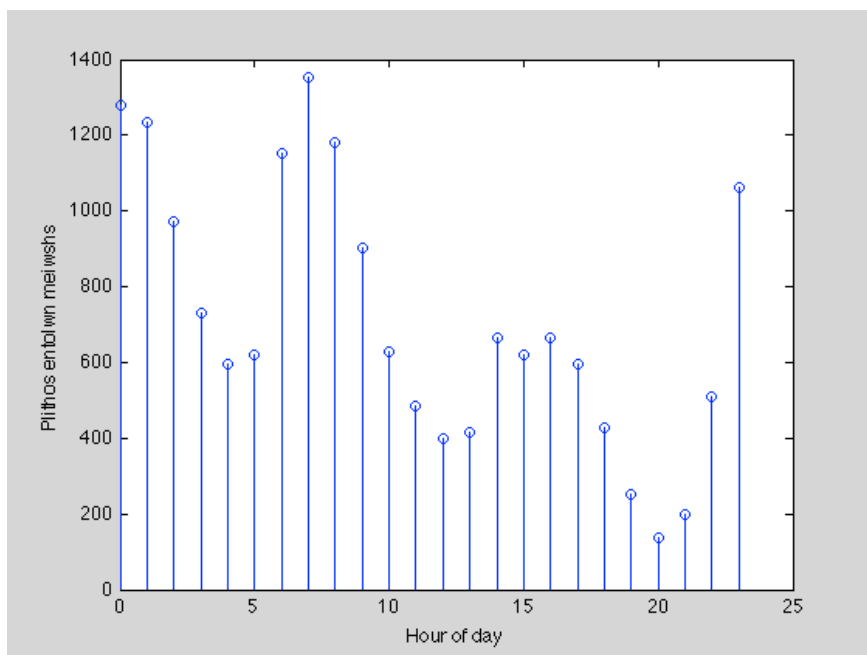
Εικόνα 7.1 Τοποθεσία και διασύνδεση των τριών αιολικών πάρκων με τον Υ/Σ Μοιρών.

Στον Πίνακα 7.6 παρουσιάζονται οι εντολές μείωσης παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ προς το Αιολικό Πάρκο ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε. Οι εντολές μείωσης αφορούν το έτος 2011, παρουσιάζονται ανά μήνα και ώρα και είναι χωρισμένες σε εντολές που αφορούν καθημερινές ημέρες και σε εντολές που αφορούν Σαββατοκύριακα. Η πρώτη γραμμή κάθε ώρας (0 – 23) αφορά καθημερινές ημέρες ενώ η δεύτερη γραμμή αφορά Σαββατοκύριακα.

	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Σύν ολο	Γενικό Σύνολο
0	108 49	79 33	105 45	111 36	110 25	77 24	9 5	85 27	66 8	86 23	72 31	50 14	958 320	1278
1	92 46	59 29	94 39	91 30	101 31	85 35	38 23	67 21	91 20	69 21	64 24	50 14	901 333	1234
2	75 30	47 25	64 26	60 23	80 26	66 27	42 24	55 17	59 23	55 19	43 22	52 13	698 275	973
3	49 21	34 15	54 20	47 17	64 17	52 27	43 28	36 13	43 16	40 12	33 10	29 12	524 208	732
4	42 15	28 15	48 17	36 13	45 18	42 20	29 24	30 13	29 13	37 11	22 12	28 9	416 180	596
5	47 12	28 14	52 9	39 10	61 6	43 20	30 21	30 12	36 12	34 13	40 12	30 8	470 149	619
6	110 26	61 18	100 28	87 16	81 8	59 21	48 21	58 21	81 15	78 18	86 23	68 19	917 234	1151
7	110 30	83 23	110 35	100 19	112 22	85 34	60 39	82 24	87 18	86 30	75 25	44 20	103 4	1353
8	110 36	71 24	96 35	100 27	96 22	37 33	34 29	73 22	50 21	88 31	63 28	32 21	850 329	1179
9	69 48	43 28	78 33	74 30	68 23	12 11	9 13	48 23	22 21	73 33	61 32	32 20	589 315	904
10	35 44	32 16	54 36	56 30	31 10	4 8	2 4	29 19	6 9	54 31	36 27	37 18	376 252	628
11	18 29	28 10	53 29	46 28	9 12	3 1	4 0	23 15	11 11	42 21	36 17	25 14	298 187	485
12	12 21	36 7	36 21	29 17	11 10	1 3	0 0	33 10	4 5	44 14	34 12	30 9	270 129	399
13	8 25	24 8	37 30	44 24	16 9	1 0	1 0	21 11	2 6	33 21	39 12	30 13	256 159	415
14	37 43	30 17	62 38	70 29	42 17	1 10	6 3	29 18	7 12	56 31	58 10	23 15	421 243	664
15	49 33	27 12	51 24	69 20	55 12	11 11	2 3	28 11	5 12	57 28	48 19	27 8	429 193	622
16	52 41	29 12	61 29	66 19	33 14	2 11	0 5	27 14	6 12	64 26	68 28	32 13	440 224	664
17	9 32	36 14	52 46	64 24	49 18	7 10	3 3	32 18	2 9	72 32	27 13	14 9	367 228	595
18	3 2	2 1	52 36	81 28	60 20	6 7	0 1	2 1	3 11	56 35	5 10	4 3	274 155	429
19	0 0	0 3	24 10	73 33	28 18	5 0	0 0	0 3	1 3	12 15	8 8	5 1	156 94	250
20	0 0	1 0	0 2	13 20	2 6	1 0	0 0	1 0	0 0	11 11	38 19	6 5	73 63	136
21	2 2	0 0	7 13	4 15	2 0	3 0	0 0	0 0	3 0	10 22	70 24	10 12	111 88	199
22	9 31	18 8	53 33	59 31	12 9	3 0	0 0	18 8	4 0	62 29	70 22	18 14	326 185	511
23	100 49	84 28	103 41	108 38	73 25	7 3	0 0	75 37	22 9	81 29	74 27	32 18	759 304	1063
Σύνολο	1146 665	880 360	1446 675	1527 577	1241 378	613 316	360 246	882 358	640 266	1300 556	1170 467	708 302		
Γενικό Σύνολο	1811	1240	2121	2104	1619	929	606	1240	906	1856	1637	1010		

Πίνακας 7.6 Πίνακας με τις εντολές μείωσης παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ προς το Αιολικό Πάρκο ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε. ανά μήνα και ώρα για το έτος 2011.

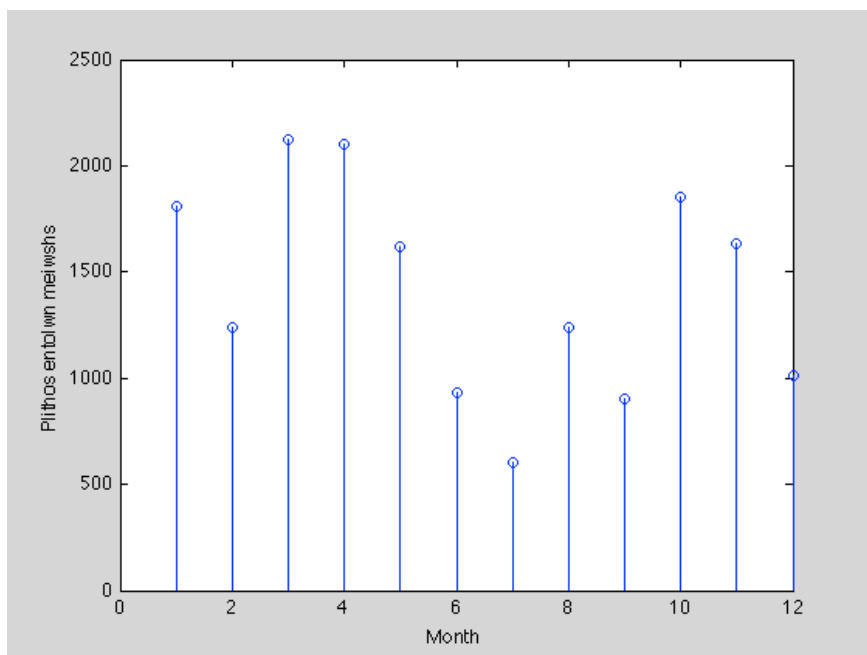
Στο παρακάτω γράφημα, παρουσιάζεται και σχηματικά το πλήθος των μεταβολών των setpoints ανά ώρα του Αιολικού Πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.



Σχήμα 7.8 Γραφική αναπαράσταση του πλήθους των μεταβολών των setpoints ανά ώρα του Αιολικού Πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7.8, ο αριθμός των εντολών της Δ.Ε.Η. για μείωση της παραγωγής του αιολικού πάρκου είναι αρκετά μεγάλος για τις ώρες 0:00, 1:00, 6:00, 7:00, 8:00 και 23:00, με μέγιστο την ώρα 7:00 (1353). Αντίθετα, ο μικρότερος αριθμός εντολών μείωσης παρουσιάζεται τις ώρες 19:00, 20:00 και 21:00, με την ώρα 20:00 να έχει τον μικρότερο από αυτούς (136).

Στο παρακάτω γράφημα, παρουσιάζεται και σχηματικά το πλήθος των μεταβολών των setpoints ανά μήνα του Αιολικού Πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.



Σχήμα 7.9 Γραφική αναπαράσταση του πλήθους των μεταβολών των setpoints ανά μήνα του Αιολικού Πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7.9, ο αριθμός των εντολών της Δ.Ε.Η. για μείωση της παραγωγής του αιολικού πάρκου είναι σημαντικά μικρότερος τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και τον μήνα Σεπτέμβριο. Πληροφοριακά, ο μήνας με τις λιγότερες εντολές μείωσης ενέργειας του πάρκου είναι ο Ιούλιος (606) και αμέσως πιο πάνω ο Σεπτέμβριος (906). Αυτό συμβαίνει διότι την περίοδο Ιουνίου - Σεπτεμβρίου η ζήτηση σε ενέργεια στο νησί αυξάνεται σημαντικά, κυρίως λόγω του τουρισμού, επομένως η Δ.Ε.Η. έχει ανάγκη για επιπλέον ενέργεια από τα Αιολικά Πάρκα.

Ο Νόμος Ν.3851/2010 για την τιμολόγηση της ενέργειας η οποία παράγεται με τη χρήση ανεμογεννητριών ορίζει ότι: Για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χειρσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50 kW, η τιμή της kWh για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα είναι 0,08785 €/kWh, ενώ για τα **Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά** είναι **0,09945 €/kWh**.

Όπως γίνεται κατανοητό, το πρόβλημα του περιορισμού της παραγωγής του αιολικού πάρκου ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε. είναι αξιοσημείωτο. Το πρόβλημα αυτό σε συνδυασμό με την ευελιξία των αντλιών ύδρευσης του αντλιοστασίου του Βλητέ, καθιστά ενδιαφέρουσα την εξέταση ενός σεναρίου ενδεχόμενης συνεργασίας μεταξύ Ο.Α.ΔΥ.Κ. και ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.

Το σενάριο αυτό εξετάζει το κατά πόσο είναι δυνατή η αξιοποίηση της αποκοπτόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. τις ώρες χαμηλής ζήτησης όπου μετά την εφαρμογή της ευελιξίας, οι αντλίες είναι ενεργοποιημένες. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να επιτευχθεί περιορισμός της “αδράνειας” του πάρκου, λόγω της “εξυπηρέτησης” που παρέχει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. σ’ αυτό.

Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ότι στις ώρες μεταξύ 23:00 – 7:00 του Απριλίου 2012, οι αντλίες που ενεργοποιήθηκαν μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου ευελιξίας, καταναλώνουν 39125 kWh (39,125 MWh) ενέργειας στο διάστημα αυτό. Επίσης, υπολογίστηκε ότι η κατανάλωση αυτή αντιστοιχεί σε 94.5 ώρες λειτουργίας των αντλιών. Άρα, η μέση ισχύς κάθε μιας από αυτές τις ώρες είναι ίση με: $39125 \text{ kWh} / 94.5 \text{ h} = 414 \text{ kW}$ περίπου.

Παράλληλα, κατόπιν υπολογισμών και μετρήσεων βρέθηκε ότι το αιολικό πάρκο Διεθνής Αιολική Κρήτης λειτουργήσε κάτω από το 50% της ονομαστικής του ισχύος στις ώρες 23:00 – 7:00 του Απριλίου, περίπου 44.73 ώρες. Αν λοιπόν το αντλιοστάσιο του Βλητέ αυτές τις ώρες, έβαζε σε εφαρμογή το πλάνο ευελιξίας των αντλιών του, όπως περιγράφηκε παραπάνω, η συνολική ζήτηση του ΣΗΕ Κρήτης στις ώρες χαμηλής ζήτησης θα αυξανόταν, η αποκοπή της παραγωγής του αιολικού πάρκου θα μπορούσε να περιοριστεί και εν τέλει το πάρκο θα μπορούσε να συνεισφέρει στη ζήτηση του αντλιοστασίου κατά $414 \text{ kW} * 44.73 \text{ h} = 18518.22 \text{ kWh}$, δηλαδή περίπου 18,52 MWh. Το ποσό αυτό παρατηρούμε ότι είναι περίπου ίσο με $18518.22 / 39125 = 0.473 = 47.3\%$ της ενέργειας ζήτησης των δύο αντλιών το διάστημα αυτό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια όλου του Απριλίου το πλήθος των μεταβολών των setpoints του πάρκου, σύμφωνα με τον Πίνακα 7.6, είναι 2104. Για το διάστημα ωρών που εξετάζει το σενάριο και παράλληλη αποκοπή κάτω του 50% της μέγιστης παραγωγής, οι μεταβολές των setpoints είναι 101. Επίσης οι ημέρες του Απριλίου που παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής ενέργειας του πάρκου κάτω από το 50% της ονομαστικής του ισχύος και σε ώρες μεταξύ 23:00 – 7:00 ανέρχονται σε 18. Πληροφοριακά, παρατίθενται οι ημερομηνίες: 1/4, 3/4, 4/4, 5/4, 6/4, 7/4, 8/4, 10/4, 14/4, 17/4, 18/4, 19/4, 21/4, 22/4, 23/4, 24/4, 25/4 και 26/4.

Με τον τρόπο αυτό το πάρκο Διεθνής Αιολική Κρήτης αυξάνει τις πωλήσεις του. Μέρος των πωλήσεων αυτών μπορεί να διατεθεί υπέρ του Ο.Α.ΔΥ.Κ., λόγω της “εξυπηρέτησης” που θα παρείχε στο πάρκο καθώς έτσι το πάρκο δεν μένει αδρανές. Σε περίπτωση μη εφαρμογής του εν λόγω σεναρίου, τα χρήματα που δεν θα κέρδιζε το πάρκο θα ανερχόταν σε $18518.22 \text{ kWh} * 0,09945 \text{ €/kWh} = 1841.6 \text{ €}$.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και προτάσεις προς τους εμπλεκόμενους φορείς.

Γενικά συμπεράσματα:

- Οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, επομένως και χρημάτων, σε αντλιοστάσια είναι μεγάλες. Αυτό ενισχύεται και από το γεγονός ότι το 20% περίπου της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται στη χρήση διαφόρων αντλητικών συστημάτων. Επομένως, γίνεται αντιληπτό το μέγεθος των κερδών που μπορούν να αποφέρουν οι διάφορες μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στις ελληνικές εταιρείες ύδρευσης/άρδευσης, αφού η ετήσια κατανάλωση ενέργειας των μεγαλύτερων ελληνικών εταιρειών ύδρευσης ανέρχεται περίπου σε 700 GWh ετησίως.
- Η εξοικονόμηση ενέργειας σε αντλιοστάσια μπορεί να επιτευχθεί με:
 - Ρυθμίσεις στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντλιών.
 - Πιο αποτελεσματικό έλεγχο των αντλιών.
 - Αποτελεσματικότερη χρήση των ηλεκτρικών κινητήρων.
 - Καλύτερη παρακολούθηση του δικτύου νερού και έλεγχο διαρροών. Στην πιο αξιόπιστη παρακολούθηση του δικτύου νερού μπορούν να συμβάλλουν τα συστήματα SCADA, τα οποία προσφέρουν συλλογή δεδομένων και εποπτικό τους έλεγχο καθώς οι αισθητήρες μέτρησης στάθμης και παροχής νερού. Στον πιο αποτελεσματικό έλεγχο των διαρροών είναι χρήσιμοι οι αισθητήρες και οι διατάξεις εντοπισμού διαρροών καθώς και οι έξυπνοι μετρητές νερού.
 - Συστηματική καταγραφή της ενέργειας που καταναλώνεται, συλλογή και ανάλυση δεδομένων από την καταγραφή και αποτελεσματικότερη παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων.
- Σημαντική συμβολή στην ευελιξία των αντλιοστασίων μπορούν να προσφέρουν τα καταγραφικά και οι έξυπνοι μετρητές ενέργειας, τα οποία είναι χρήσιμα όργανα για τις ανάγκες της ακριβούς καταγραφής ενέργειας και ισχύος. Οι έξυπνοι μετρητές ειδικά, προσφέρουν δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου και χειρισμού του φορτίου με τη σύνδεση, αποσύνδεση και τον περιορισμό της λειτουργίας του.

Για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ.:

Σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας 15% του αντλιοστασίου στον Βλητέ Σούδας

- Το σενάριο αυτό εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να εφαρμοστεί με τις μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας σε αντλίες, όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, με αποτελεσματικότερη χρήση των κινητήρων, με εγκατάσταση έξυπνων μετρητών νερού ή συστημάτων ανίχνευσης διαρροών καθώς και με έξυπνους μετρητές ενέργειας για τον εντοπισμό των απωλειών ενέργειας.
- Όπως διαπιστώθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η εξοικονόμηση 15% στην κατανάλωση ενέργειας του αντλιοστασίου του Βλητέ Σούδας για το έτος 2011 (εκτός των μηνών Ιανουαρίου και Δεκεμβρίου) θα απέφερε κέρδη στον Ο.Α.ΔΥ.Κ. ύψους 37696.4 €, δηλαδή μείωση κόστους κατά 15%.
- Για να επιτευχθεί αυτό το ποσό εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων, ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. θα πρέπει να επενδύσει κάποιο κεφάλαιο για την αγορά κατάλληλου εξοπλισμού. Εάν ο κύκλος ζωής της επένδυσης είναι 10 έτη, αποδείχθηκε ότι: με επιτόκιο αναγωγής 8%, το απαιτούμενο κεφάλαιο που θα πρέπει να διαθέσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. πρέπει να είναι ίσο με 252946 € το πολύ, ενώ με επιτόκιο αναγωγής 15%, το απαιτούμενο κεφάλαιο πρέπει να είναι ίσο με 189190 € το πολύ. Παρόλα αυτά, το ποσοστό αυτό της εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί και με μέτρα όχι τόσο ακριβά.

- Το ποσό αυτό εξοικονόμησης χρημάτων αφορά το έτος 2011 και το αντλιοστάσιο στην τοποθεσία Βλητές Σούδας. Επομένως, γίνεται αντιληπτό το πόσο υψηλό αναμένεται να είναι το ετήσιο οικονομικό όφελος για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. αν η εξοικονόμηση ενέργειας πραγματοποιηθεί σε περισσότερα αντλιοστάσια, δεδομένου του γεγονότος ότι ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. έχει στην κατοχή του μεγάλο αριθμό, όπως παρουσιάστηκε. Συγκεκριμένα, ο συνολικός αριθμός των αντλιών των αντλιοστασίων του Ο.Α.ΔΥ.Κ. ανέρχεται περίπου σε 76 και η εγκατεστημένη ισχύς μόνο των αντλιοστασίων για τα οποία υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία (12/22) είναι ίση με $10829 \text{ kW} = 10.829 \text{ MW}$, όση περίπου η ισχύς μίας diesel γεννήτριας του ΑΗΣ Λινοπεραμάτων!

Σενάριο βελτίωσης του cosφ του αντλιοστασίου στον Βλητέ Σούδας

- Παρατηρήθηκε ότι η βελτίωση του συντελεστή ισχύος του αντλιοστασίου κατά 0.05 μονάδες για τους μήνες με cosφ μικρότερο του 0.9, θα απέφερε συνολικά κέρδη στον Ο.Α.ΔΥ.Κ. ύψους 394.4 €, για το έτος 2011, δηλαδή μείωση εξόδων της τάξης του 3.53% περίπου.
- Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, θα πρέπει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. να επενδύσει κάποιο κεφάλαιο για την αγορά κατάλληλου εξοπλισμού. Εάν ο κύκλος ζωής της επένδυσης είναι 10 έτη, αποδείχθηκε ότι: με επιτόκιο αναγωγής 8%, το απαιτούμενο κεφάλαιο που θα πρέπει να διαθέσει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. πρέπει να είναι ίσο με 2645.8 € το πολύ, ενώ με επιτόκιο αναγωγής 15%, το απαιτούμενο κεφάλαιο πρέπει να είναι ίσο με 1978.9 € το πολύ.
- Γίνεται αντιληπτό το πόσο υψηλό αναμένεται να είναι το ετήσιο οικονομικό όφελος για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. αν η βελτίωση του cosφ επιτευχθεί σε περισσότερα αντλιοστάσια. Αυτό σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνει με προσοχή για την αποφυγή υπεραντιστάθμισης, όπως περιγράφηκε στην αντίστοιχη ενότητα.
- Το παρόν σενάριο βελτίωσης του cosφ του αντλιοστασίου του Βλητέ, μπορεί να υλοποιηθεί με την διαρκή παρακολούθηση του cosφ του αντλιοστασίου και την διόρθωση των “κακών” τιμών με εφαρμογές αντιστάθμισης της αέργου ισχύος, δηλαδή με την κατάλληλη τοποθέτηση πυκνωτών.

Σενάριο ευελιξίας του αντλιοστασίου στον Βλητέ Σούδας

- Για την υλοποίηση του σεναρίου ευελιξίας είναι απαραίτητη η κατασκευή κατάλληλης δεξαμενής για την αποθήκευση του νερού που θα παραχθεί σε ώρες χαμηλής ζήτησης και θα είναι διαθέσιμο στη συνέχεια στον τελικό χρήστη. Για την κατασκευή της δεξαμενής απαιτείται κεφάλαιο που θα χρειαστεί να καταβάλλει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ., πιθανώς αξίας μεγαλύτερης της αξίας του κέρδους. Παρόλα αυτά, ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. αναμένεται να βγει κερδισμένος μακροπρόθεσμα, καθώς η ευελιξία των αντλιών είναι δυνατόν να προσφέρει πολύ περισσότερα οικονομικά κέρδη αν επιτυγχάνεται συστηματικά όλους τους μήνες του έτους, και σε βάθος χρόνων.
- Το κίνητρο που κρύβεται για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. πίσω από την ευελιξία των αντλιών είναι η εκμετάλλευση του κόστους ενέργειας των ωρών χαμηλής ζήτησης με ενεργοποίηση των αντλιών σε αυτές τις ώρες και ταυτόχρονα η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αποφυγή της λειτουργίας τους σε ώρες υψηλής ζήτησης, οι οποίες είναι περισσότερο δαπανηρές.
- Τα οικονομικά οφέλη που θα προέκυπταν για τον Ο.Α.ΔΥ.Κ από την υλοποίηση του σεναρίου ευελιξίας των αντλιών ύδρευσης του αντλιοστασίου του Βλητέ για τον μήνα Απρίλιο του 2012 ανέρχονται σε 3670.9 €, δηλαδή παρουσιάζεται μείωση εξόδων κατά 21.2% περίπου. Να σημειωθεί ότι το ποσό της μείωσης αυτής είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσό που προέρχεται από την εξοικονόμηση 15% στην κατανάλωση ενέργειας για τον μήνα Απρίλιο 2011 (1717.3 €), γεγονός που ίσως καθιστά την μέθοδο ευελιξίας των αντλιών πιο ισχυρό όπλο στην επίτευξη εξοικονόμησης χρημάτων.

Σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας 15% του αντλιοστασίου στον Βλητέ Σούδας

- Με βάση τον αλγόριθμο που υπολογίζει τις μειώσεις παραγωγής ενέργειας στις θερμικές μονάδες της ΔΕΗ στην Κρήτη, το οικονομικό όφελος της ΔΕΗ από την εξοικονόμηση ενέργειας 15% του αντλιοστασίου στον Βλητέ Σούδας ανέρχεται σε 26615 € και αφορά μόνο τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Αύγουστο του 2011. Από την άλλη πλευρά όμως, η ΔΕΗ χάνει χρήματα από εισπράξεις λογαριασμών λόγω του οφέλους του Ο.Α.ΔΥ.Κ., όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Στους τρεις αυτούς μήνες ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. εξοικονομεί ποσό χρημάτων ίσο με 15202.3 €. Επομένως, η ΔΕΗ εν τέλει βγαίνει κερδισμένη (και αυτή) σε αυτούς τους τρεις μήνες κατά 11412.7 €.
- Τα οικονομικά οφέλη της ΔΕΗ είναι σημαντικά για τους τρεις αυτούς μήνες. Πόσο μάλλον για όλους τους μήνες στους οποίους εφαρμόστηκε η υποθετική εξοικονόμηση ενέργειας κατά 15% στο αντλιοστάσιο του Βλητέ. Γίνεται αντιληπτό επομένως, πόσο μεγάλο κέρδος θα προέκυπτε για την ΔΕΗ αν αυτή η εξοικονόμηση εφαρμοζόταν παράλληλα και σε περισσότερα αντλιοστάσια του Ο.Α.ΔΥ.Κ.

Σενάριο βελτίωσης του cosφ του αντλιοστασίου στον Βλητέ Σούδας

- Η βελτίωση του cosφ του αντλιοστασίου του Βλητέ που εφαρμόστηκε στο σενάριο αυτό, συμβάλλει στην μείωση των απωλειών ενέργειας στα καλώδια παροχής της ΔΕΗ και στους μετασχηματιστές, το οποίο συνεπάγεται και εξοικονόμηση χρημάτων. Επίσης, η βελτίωση του cosφ έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής – διανομής της ΔΕΗ, με συνέπεια να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία. Τέλος, επιτυγχάνεται μείωση της πτώσης τάσης, αύξηση της ικανότητας μεταφοράς ενέργειας στα καλώδια καθώς και αύξηση της διαθέσιμης ισχύος των μετασχηματιστών.
- Σημειώνεται ότι η ποσοτικοποίηση του οικονομικού οφέλους που έχει η ΔΕΗ θα μπορούσε να είναι εφικτή αν ήταν διαθέσιμες οι λεπτομέρειες του τοπικού δικτύου της ΔΕΗ.

Σενάριο ευελιξίας του αντλιοστασίου στον Βλητέ Σούδας

- Τα οικονομικά οφέλη που θα προέκυπταν για την ΔΕΗ από την υλοποίηση του σεναρίου ευελιξίας των αντλιών ύδρευσης του αντλιοστασίου του Βλητέ για τον μήνα Απρίλιο του 2012 ανέρχονται σε 4666.7 €. Ταυτόχρονα, όπως σημειώθηκε παραπάνω, ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. έχει κέρδη ύψους 3670.9 €, το οποίο σημαίνει ζημία για την ΔΕΗ, αφού θα εισπράττει 3670.9 € λιγότερα. Παρόλα αυτά, η ΔΕΗ αναμένεται να έχει κέρδος ίσο με 995.8 € για τον μήνα Απρίλιο.
- Τα κέρδη της ΔΕΗ αναμένεται να είναι κατά πολύ υψηλότερα αν η ευελιξία των αντλιών εφαρμοστεί ταυτόχρονα σε περισσότερες από δύο αντλίες, σε περισσότερα αντλιοστάσια και σε βάθος χρόνων.
- Με βάση το γεγονός ότι η ΔΕΗ βγαίνει κερδισμένη από το σενάριο ευελιξίας των αντλιών και έχοντας υπόψιν ότι η υλοποίηση του σεναρίου αυτού απαιτεί την κατασκευή κατάλληλων δεξαμενών από τους εμπλεκόμενους φορείς που κατέχουν τα αντλιοστάσια, θα μπορούσε κάλλιστα η ΔΕΗ να χρηματοδοτήσει φορείς που επιθυμούν να εφαρμόσουν ευελιξία στην χρήση των αντλιών τους για την κατασκευή των δεξαμενών. Με αυτόν τον τρόπο οι φορείς θα επιτύχουν ευελιξία στις αντλίες τους με μηδενικό ή χαμηλό κόστος και θα επωφελούνται οικονομικά τόσο αυτοί όσο και η ΔΕΗ.

- Μία επίπτωση της ευελιξίας των αντλιών για την ΔΕΗ είναι η μείωση απωλειών ενέργειας στα καλώδια της ΔΕΗ, διότι σε ώρες υψηλής ζήτησης οι αντλίες αναμένεται να καταναλώνουν λιγότερα ποσά ενέργειας, με αποτέλεσμα να διαρρέει τα καλώδια λιγότερο ρεύμα.
- Η μείωση στην παραγόμενη ενέργεια της ΔΕΗ έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τις μονάδες παραγωγής, ειδικά στην περιοχή των Χανίων (ακριβές μονάδες παραγωγής).
- Η ευελιξία είναι δυνατόν να επιφέρει μικρή επίπτωση στην αποσυμφόρηση της αιχμής ανά αντλιοστάσιο. Μια ευρύτερη μελέτη όμως θα μπορούσε να φέρει στο φως πιο συγκεκριμένα αποτελέσματα ειδικά αν περιλαμβάνει συνδυασμό περισσότερων αντλιοστασίων.

Για τα Αιολικά:

- Το πρόβλημα της αποκοπής της παραγωγής αιολικής ενέργειας είναι εμφανές για το πάρκο Διεθνής Αιολική Κρήτης, όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω. Το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο τους χειμερινούς μήνες καθώς τους καλοκαιρινούς η ζήτηση ενέργειας του νησιού είναι αυξημένη και οι εντολές αποκοπής μειωμένες.
- Η λειτουργία του αντλιοστασίου του Βλητέ σαν ευέλικτο φορτίο και κατ' επέκταση η λειτουργία αντλιοστασίων και αντλητικών συστημάτων με πρόγραμμα ευελιξίας συμβάλλει στην αξιοποίηση των αιολικών πάρκων και στην μεγαλύτερη διείσδυση και άλλων ΑΠΕ στο σύστημα.
- Το πάρκο Διεθνής Αιολική Κρήτης το μήνα Απρίλιο λειτούργησε κάτω από το 50% της ονομαστικής του ισχύος στις ώρες 23:00 – 7:00 περίπου 44.73 ώρες. Αν το αντλιοστάσιο αυτές τις ώρες, έβαζε σε εφαρμογή το πλάνο ευελιξίας των αντλιών του, δεδομένης της μέσης τους ισχύος ανά ώρα (414 kW) στο διάστημα όπου αυτές ενεργοποιήθηκαν, το πάρκο θα μπορούσε να συνεισφέρει στη ζήτηση του αντλιοστασίου κατά 18518.22 kWh, δηλαδή περίπου 18,52 MWh, το οποίο ισοδυναμεί με το 47.3% της ενέργειας ζήτησης των δύο αντλιών το διάστημα αυτό.
- Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της αποκοπής παραγωγής του αιολικού πάρκου καθώς την αύξηση της συνολικής ζήτησης του ΣΗΕ Κρήτης στις ώρες χαμηλής ζήτησης.
- Σε περίπτωση μη εφαρμογής του εν λόγω σεναρίου, τα χρήματα που δεν θα κέρδιζε το πάρκο θα ανερχόταν σε 1841.6 €. Επομένως, η ευελιξία του αντλιοστασίου τον μήνα Απρίλιο συμβάλλει στην αύξηση των πωλήσεων του πάρκου. Μέρος των πωλήσεων αυτών μπορεί να διατεθεί υπέρ του Ο.Α.ΔΥ.Κ., λόγω της “εξυπηρέτησης” που θα παρείχε στο πάρκο καθώς έτσι το πάρκο δεν μένει αδρανές.

Αναφορές - Βιβλιογραφία

- [1] Pumps and Pumping Systems : Energy Efficiency Guide for Industry in Asia-
www.energyefficiencyasia.org
- [2] “Chapter K - Energy Efficiency in electrical distribution” - Schneider Electric
- [3] <http://www.eletaen.gr/drupal/sites/default/files/ANEMOLOGIA%20TEYXOS%2065.pdf>
- [4] “Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης: Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης”, Ε. Δελιγιάννη, Β. Μπελεσιώτης
- [5] Παναγιώτης Α. Κουκουτσάκης, “Επίδραση Φορτίου Αφαλάτωσης σε Νησιωτικό Σύστημα Ενέργειας”, Διπλωματική Εργασία, Σεπτέμβριος 2007, ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ
- [6] http://imarinakis.webs.com/electric_engines.htm
- [7] “Electrical motors”- Presentation from the “Energy Efficiency Guide for Industry in Asia”
www.energyefficiencyasia.org
- [8] “Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems” - International energy agency - Paul Waide and Conrad U. Brunner
- [9] “Ενεργειακή αποδοτικότητα χάρη στην αυξομείωση στροφών συστήματος κίνησης με μετατροπέα συχνότητας” - www.centraline.com
- [10] Παρουσίαση Siemens “Ενεργειακά αποδοτικοί κινητήρες”
- [11] Μπουντάκης Εμμανουήλ, “Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας σε κινητήρια συστήματα και πιθανή συνεισφορά τους ως ευέλικτα φορτία.”, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Ηράκλειο 2012
- [12] “Chapter L-Power factor correction and harmonic filtering” - Schneider electric - Electrical installation guide 2007
- [13] “Chapter L – Power factor correction and harmonic filtering” - Schneider Electric
- [14] Παναγιώτης Πιπερίδης, Ο.Α.ΔΥ.Κ., Ηλεκτρονικός Μηχανικός Τ.Ε. – Προσωπική επικοινωνία
- [15] Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες, Κώστας Καλαϊτζάκης – Ευτύχης Κουτρούλης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [16] Λαμπρίδης Πασχάλης, “Σύστημα ανίχνευσης διαρροών σε αγωγούς ύδρευσης με την χρήση μικροφώνων.”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
- [17] Smart Metering for Water Utilities September 2009 – Oracle
- [18] “Σχεδίαση Έξυπνου Μετρητή Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Μανώλας Νικόλαος
- [19] “Εξοπλισμός Καταγραφής Ενεργειακής Ζήτησης & Έξυπνοι Μετρητές”, Τσικαλάκης Αντώνιος
- [20] www.oadyk.gr
- [21] “On the Wind Power Rejection in the Islands of Crete and Rhodes” - Dimitris Al. Katsaprakakis, Nikos Papadakis and Dimitris G. Christakis

[22] “Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants” , Technical Application Papers
No. 8, ABB Ltd