



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΛΙΩΝ INVERTER
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ – ΑΝΑΛΥΣΗ
ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ»***

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Τσαμαδιά Δημήτριου

Μηχανολόγου Μηχανικού Τ.Ε

Επιβλέπων

Νάζος Αντώνιος

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Αθήνα, Ιούλιος 2019

Πίνακας περιεχομένων	σελ
Σύνοψη	1
Περίληψη	2
Summary	3
Abstract	4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Ορισμός εξοικονόμησης ενέργειας	5
1.2 Περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις της χρήσης της ενέργειας	5
1.3 Βασικές μέθοδοι και εργαλεία εξοικονόμησης ενέργειας	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΤΑ ΡΕΥΣΤΑ

2.1 Τα ρευστά	15
2.2 Μορφές Ροών	15
2.3 Είδη ροών	16
2.4 Γραμμή και Φλέβες ροής	17
2.5 Η σχέση Bernoulli	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ

3.1 Δυναμικές αντλίες	20
3.1.1 Φυγοκεντρικές αντλίες	20
3.1.2 Αντλίες αξονική ροής	21
3.1.3 Αντλίες μεικτής ροής	22
3.1.4 Αντλίες αναγεννητικές ή στροβιλαντλίες ή περιφερικές ή δινοαντλίες	23
3.1.5 Αντλίες σύνθετες και ειδικές	24
3.2 Αντλίες Θετικής Μετατόπισης	25
3.2.1 Παλινδρομικές αντλίες	26
3.2.2 Περιστροφικές αντλίες μετατόπισης	27

3.3 Πνευματικές αντλίες	29
3.3.1 Αντλίες πιεστικού θαλάμου	29
3.3.2 Αντλίες ανύψωσης με αέρα	30
3.3.3 Εγχυτήρες (τζιφάρια)	32
3.4 Αντλία Ram	33
3.4.1 Αρχή λειτουργίας των υδραυλικών αντλιών ram	39
3.4.2 Λειτουργική ακολουθία της αντλίας τύπου Ram	40
3.4.3 Τεχνική λειτουργίας μιας Ram	44
3.4.4 Εφαρμογές και περιορισμοί	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

4.1 Εισαγωγή στους Ηλεκτρικούς Κινητήρες	47
4.1.1 Αρχή Λειτουργίας Ηλεκτροκινητήρων.	49
4.1.2 Προδιαγραφές Ηλεκτροκινητήρων.	51
4.2 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος.	53
4.2.1 Εισαγωγή Στους Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος	53
4.2.2 Κινητήρες Με Ανεξάρτητη Διέγερση	53
4.2.3 Έλεγχος της Ταχύτητας με Ρύθμιση της Τάσης Οπλισμού	56
4.2.4 Έλεγχος της Ταχύτητας με Ρύθμιση της Μαγνητική Ροής	57
4.2.5 Έλεγχος της Ταχύτητας με Ρυθμιζόμενη Αντίσταση στο Δρομέα	59
4.2.6 Κινητήρες Παράλληλης Διέγερσης	59
4.2.7 Κινητήρες Με Διέγερση Σειράς	60
4.2.8 Εκκίνηση Των Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος	61
4.2.9 Πέδηση Των Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος.	62
4.3 Ασύγχρονοι-Επαγωγικού Κινητήρες Εναλασσόμενου Ρεύματος.	63
4.3.1 Αρχή Λειτουργίας των Κινητήρων Εναλασσόμενου Ρεύματος	63

4.3.2 Δομή Των Κινητήρων Εναλλασσόμενου Ρεύματος.	63
4.3.3 Το Στρεφόμενο Μαγνητικό Πεδίο	65
4.3.4 Είδη Επαγωγικών Κινητήρων.	69
4.4 Σύγχρονοι Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος	72
4.4.1 Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές	72
4.4.2 Κατηγορίες Σύγχρονων Μηχανών	74
4.4.3 Κύματα χώρου μαγνητεγερτικών δυνάμεων τυλιγμάτων στάτη	75
4.4.4 Ανάπτυξη τάσης και ροπής.	76
4.4.5 Σύγχρονος Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη.	77
4.4.6 Τύπου Σύγχρονης Μηχανής Μόνιμου Μαγνήτη.	81
4.4.7 Αισθητήρες Hall-Φαινόμενο Hall.	83
4.4.8 Σύγκριση Κινητήρα Μόνιμου Μαγνήτη Με Κινητήρα Βραχυκυκλωμένου Δρομέα Που Ελέγχεται Από Inverter	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ INVERTER

5.1 Αρχή Λειτουργίας Inverter	86
5.1.1 Λειτουργία Inverter Σε Ηλεκτρικό Κινητήρα.	86
5.1.2 Ανορθωτής Και Φίλτρο.	88
5.1.3 Αντιστροφέας	90
5.1.4 Μονάδα Ελέγχου.	92
5.2 Έλεγχος Φυγοκεντρικών Αντλιών Μέσω Inverter.	93
5.2.1 Έλεγχος Αντλίας με Αισθητήριο Διαφορικής και απόλυτης πίεσης.	93
5.2.2 Έλεγχος Αντλίας με Αισθητήριο Διαφορικής και απόλυτης θερμοκρασία	95

5.2.3 Τρόποι λειτουργίας αντλιών.	96
-----------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 Φυγοκεντρική αντλία με ενσωματωμένο inverter ασύγχρονου κινητήρα	99
6.1.1 Τεχνική προδιαγραφή αντλίας.	99
6.1.2 Τεχνικά στοιχεία αντλίας	102
6.1.3 Είδη Ρύθμισης αντλίας	103
6.1.4 Απομακρυσμένος έλεγχος αντλίας μέσω BMS	106
6.1.5 Σχέδιο Αντλία	108
6.2 Φυγοκεντρική αντλία με ενσωματωμένο inverter σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη.	
6.2.1 Τεχνική προδιαγραφή αντλίας.	109
6.2.2 Τεχνικά στοιχεία αντλίας	112
6.2.3 Είδη Ρύθμισης αντλίας	113
6.2.4 Απομακρυσμένος έλεγχος αντλίας μέσω BMS	116
6.2.5 Σχέδιο Αντλία	118

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

7.1 Παρουσίαση αίθουσα πρακτικής.	120
7.1.1 Τμήμα Πιεστικών συγκροτημάτων.	121
7.1.2 Τμήμα Λεβητοστασίου.	122
7.1.3 Τμήμα Πυροσβεστικού Συγκροτήματος.	124
7.1.4 Τμήμα Προκατασκευασμένου φρεατίου λυμάτων και αντλίας γεωτρήσεως	125
7.2 Όργανα μετρήσεων και Πειραματικές διατάξεις	126
7.2.1 Όργανα μετρήσεων	126
7.2.2 Πειραματικές διατάξεις	135

7.3 Περιγραφή πειράματος και πειραματικές μετρήσεις των χαρακτηριστικών αντλιών. 137

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

8.1 Εισαγωγή στο Life Cycle Cost 142

8.2 Παράγοντες ανάλυσης κύκλου ζωής LCC σε αντλίες. 149

8.3 Ανάλυση Life Cycle Cost με προφίλ Blue Angel 155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο:

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 160

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 161

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ:**

«Συγκριτική ενεργειακή αξιολόγηση αντλιών inverter σύγχρονων και ασύγχρονων κινητήρων – ανάλυση κύκλου ζωής»

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

Τσαμαδιάς Δημήτριος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Νάζος Αντώνιος, Καθηγητής, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2018-2019

Σύνοψη

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ενεργειακή σύγκριση δύο μοντέλων αντλιών. Μίας αντλίας Inverter ασύγχρονου κινητήρα και μιας αντλίας inverter σύγχρονου κινητήρα με μόνιμο μαγνήτη στο ρότορα. Επίσης έγινε μια ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής των αντλιών (Life Cycle Cost – στο εξής LCC) σε ένα εύλογο βάθος χρόνου λειτουργίας των 10 ετών. Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται εν τάχει διάφοροι τρόπου εξοικονόμησης ενέργειας στις βιομηχανίες. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία μικρή περιγραφή γύρω από τα ρευστά και στο τρίτο κεφάλαιο μια παρουσίαση στους διάφορους τύπους αντλιών που υπάρχουν. Στο 4^ο και 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ηλεκτροκινητήρες, οι διαφορές μεταξύ σύγχρονου και ασύγχρονου κινητήρα καθώς και ο έλεγχος των αντλιών μέσω inverter και η συμπεριφορά τους. Στο 6^ο και στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μοντέλα προς μελέτη και γίνεται περιγραφή του πειράματος καθώς και παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πήραμε συγκρίνοντας τις διαφορές μεταξύ τους και το πώς επηρεάζονται αυτές βάση των πειραματικών διατάξεων που χρησιμοποιούμε. Στο τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείτε μία ανάλυση κύκλου ζωής σε χρόνο 10 ετών για τις αντλίες, παρατηρώντας την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και το χρόνο απόσβεσης σε περίπτωση αντικατάστασης μια αντλίας ασύγχρονου κινητήρα με μία σύγχρονου καθώς και η μείωση ρύπων CO₂. Βλέποντας σημαντικά πλεονεκτήματα σε περίπτωση που θα πραγματοποιηθεί μια τέτοια αντικατάσταση.

Περίληψη

Οι εγκατεστημένες αντλίες ξεπερνούν κατά 20 φορές τον αριθμό των νέων αντλιών που τοποθετούνται κάθε χρόνο. Παρουσιάζεται μεγάλο δυναμικό βελτιστοποίησης των εν λειτουργία αντλητικών συστημάτων. Τουλάχιστον το 75% των αντλιών είναι υπερδιαστασιολογημένες κατά 20%. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη άνοδος των αντλιών σύγχρονου κινητήρα inverter μόνιμου μαγνήτη ως μια επιλογή κερδοφόρα ενεργειακά και κοστολογικά σε σχέση με τους κοινούς ασύγχρονους κινητήρες. Σε αυτή την διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία ενεργειακή σύγκριση δύο αντλιών (ασύγχρονου κινητήρα με ενσωματωμένο Inverter και σύγχρονου κινητήρα με ενσωματωμένο Inverter), καθώς και μία ανάλυση κόστους κύκλου ζωής LCC σε διάρκεια 10 ετών. Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασία γίνεται μία εισαγωγή στους ορισμούς εξοικονόμησης ενέργειας και σε εργαλεία που βοηθούν σε αυτήν, στο δεύτερο και στο τρίτο κεφάλαιο εξηγούνται κάποιο βασικοί όροι των ρευστών καθώς και αναλύονται διαφορετικοί τύποι αντλιών. Στο τέταρτο και στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται αντλίες ελεγχόμενες από Inverter όπως τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και ο τρόπος λειτουργίας τους και ελέγχου από Inverter καθώς και τα τεχνικά στοιχεία των μελετώμενων αντλιών. Στα τελευταία δύο κεφάλαια έγιναν οι πειραματικές μετρήσεις όπου και αποδείχτηκε ότι τα μεγέθη που πήραμε συμβαδίζουν με τις καμπύλες που μας δίνει ο κατασκευαστής, εν συνεχεία έγινε μία ανάλυση κύκλου κόστους ζωής LCC. Το προφίλ πάνω στο οποίο έγινε η μελέτη ήταν το γνωστό Blue Angel με τις σχετικές παραδοχές του. Οι παραδοχές που πάρθηκαν ήταν το ετήσιο κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας, το κόστος συντήρησης, το κόστος εγκατάστασης των αντλιών και το ενδεχόμενο κόστος επισκευής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αποδείχτηκε η εξοικονόμηση ενέργειας – κόστος που πετυχαίνουμε τοποθετώντας μία αντλία σύγχρονου κινητήρα Inverter καθώς και μείωση των εκπομπών CO₂ σε βάθος χρόνου 10 ετών.

POST-GRADUATE THESIS: « Συγκριτική ενεργειακή αξιολόγηση αντλιών inverter σύγχρονων και ασύγχρονων κινητήρων – ανάλυση κύκλου ζωής»

STUDENT: Τσαμαδιάς Δημήτριος

SUPERVISOR: Νάζος Αντώνιος, Καθηγητής, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

ACADEMIC YEAR: 2018-2019

Summary

In this thesis made energy comparison of two models of pumps . A inverter speed AC motor and an electronic energy efficient EC motor . Also performed an analysis of the life cycle cost of circulators (Life Cycle Cost - hereinafter LCC) to a reasonable depth uptime.

The first chapter presents briefly the types of centrifugal pumps depending on the type of flow . Also the rest of the chapter analyzes the main pump components.

In the second and third chapter analyzes the characteristics of pumps with speed control and energy consumption thereof. There are also several modes and ways of functioning. Finally out the scope for savings and basic ways of reducing the supply leading to it.

Then the structure of work has three sections. In the first section , measurements and simulated results with the characteristic curves gives us the manufacturer. Proved the correctness of the theoretical sizes with sizes measured in our establishment as a given operating point (flow and head) the power , the hydraulic efficiency and operating speed.

In the second section, measurements of energy consumption of each model pump. For completeness of the study were presented separately the two cases most frequently encountered in practice : central heating (one-pipe system) and classic system (two-pipe system). It is necessary to separate the study due to the different requirements of these systems to provide over time .The third section was a life cycle analysis (LCC) of the two studied models in time horizon of 10 years . Based on assumptions from the Greek reality the main factors taken into account in life cycle analysis is the cost of installing pumps, the annual cost of energy consumption, maintenance costs and the potential cost of repair. Based on the results of the simulations, the estimated payback time and our taking into account the increased value of a pump controlled by a speed converter (inverter) compared with a conventional pump.

Abstract

In this thesis made energy comparison of two models of pumps. A ac motor controlled by inverter and a ec motor variable speed. Also performed an analysis of the life cycle cost of circulators (Life Cycle Cost - hereinafter LCC) to a reasonable depth uptime. The first chapter presents briefly the types of centrifugal pumps depending on the type of flow . Also the rest of the chapter analyzes the main pump components. In the second and third chapter analyzes the characteristics of pumps with speed control and energy consumption thereof. There are also several modes and ways of functioning. Finally out the scope for savings and basic ways of reducing the supply leading to it. Then the structure of work has three sections. In the first section , measurements and simulated results with the characteristic curves gives us the manufacturer. Proved the correctness of the theoretical sizes with sizes measured in our establishment as a given operating point (flow and head) the power , the hydraulic efficiency and operating speed. In the second section , measurements of energy consumption of each model pump. It is necessary to separate the study due to the different requirements of these systems to provide over time. The third section was a life cycle analysis (LCC) of the two studied models in time horizon of 10 years . Based on assumptions from the Greek reality the main factors taken into account in life cycle analysis is the cost of installing pumps , the annual cost of energy consumption , maintenance costs and the potential cost of repair. Based on the results of the simulations , the estimated payback time and our taking into account the increased value of an ec pump controlled by a speed converter (inverter) compared with an ac pump

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Ορισμός εξοικονόμησης ενέργειας

Εξοικονόμηση ενέργειας ονομάζεται οποιαδήποτε προσπάθεια με την οποία επιτυγχάνεται περιορισμός της σπατάλης των ενεργειακών αποθεμάτων.

Γενικά σήμερα ιδιαίτερα στις μεγαλουπόλεις απαιτείται πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας για θέρμανση, φωτισμό, κλιματισμό κ.λπ. πέρα από εκείνη της τροφοδοσίας των διαφόρων μηχανών των Βιομηχανιών. Για την απρόσκοπτη όμως εξασφάλιση αυτής της ενέργειας γίνεται εξαιρετικά μεγάλη κατανάλωση κυρίως σε καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, γαιάνθρακες και φυσικό αέριο. Όμως τα αποθέματα αυτών των καυσίμων είναι περιορισμένα. Έτσι καθίσταται αναγκαία η λήψη διαφόρων μέτρων περιορισμού τουλάχιστον της σπατάλης ώστε να διαρκέσουν αυτά περισσότερο ή ακόμα και να βρεθούν νέες τεχνολογίες απεξάρτησης από αυτά.

Αυτό μπορεί να συμβεί με επιλογή οικονομικότερων μηχανών σε καύσιμη ύλη, αποδοτικότερων οικιακών εγκαταστάσεων (μονώσεις κ.λπ.) αλλά και οικονομικότερη (λιγότερη) κατανάλωση ενέργειας. Αναμφίβολα τέτοια μέτρα είναι γεγονός ότι ανεξάρτητα των οικονομικών κερδών, επιφέρουν και πολύ μικρότερη ατμοσφαιρική ρύπανση.

1.2 Περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις της χρήσης της ενέργειας

Η βιομηχανία ανήκει στον δευτερογενή τομέα της παραγωγής και μαζί με τον πρωτογενή τομέα αποτελούν βασικούς πυλώνες της εθνικής οικονομίας. Η βιομηχανική δραστηριότητα όμως συχνά συνοδεύεται και από περιβαλλοντικά προβλήματα, που οφείλονται είτε σε απορρίψεις ρυπαντικών ενώσεων στο περιβάλλον, είτε σε αστοχία χωροθέτησης, είτε σε συνδυασμό των δυο αυτών παραγόντων.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω των ρυπαντικών απορρίψεων στο περιβάλλον εκδηλώνονται υπό τη μορφή : α) εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, β) υγρών αποβλήτων που απαιτούν συνήθως κατάλληλη επεξεργασία και διάθεση, γ) στερεών ή και επικίνδυνων αποβλήτων, που απαιτούν κατάλληλη διαχείριση, δ) εκπομπών θορύβου, που απαιτούν κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης.

Η αστοχία χωροθέτησης από την άλλη πλευρά οφείλεται :

- Είτε σε κακή επιλογή της θέσης εγκατάστασης της βιομηχανικής δραστηριότητας π.χ. λόγω : α) απουσίας κατάλληλου αποδέκτη διάθεσης των αποβλήτων, β) έλλειψης επαρκών υποδομών διαχείρισης των αποβλήτων, γ) δέσμευσης έκτασης που θα μπορούσε να αποδοθεί σε άλλες χρήσεις, όπως γεωργικές, κτηνοτροφικές, τουριστικές κ.ά., δ) γειτνίασης με αρχαιολογικούς ή πολιτιστικούς χώρους ή ευαίσθητους αποδέκτες ή αστικά ή οικιστικά κέντρα, κ.λπ.
- Είτε σε υπερσυγκέντρωση βιομηχανικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή, οι συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των οποίων υπερβαίνουν τη φέρουσα αφομοιωτική ικανότητα του περιβάλλοντος της περιοχής αυτής.

Όλα τα στάδια που μεσολαβούν ανάμεσα στη παραγωγή και στη κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζουν επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν την εξόρυξη, τη μεταφορά στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας καθώς και την ίδια την παραγωγή της ενέργειας. Η εξόρυξη των διάφορων μορφών άνθρακα, αργού πετρελαίου καθώς του φυσικού αερίου απαιτεί τη δέσμευση μεγάλων εκτάσεων γης. Η δεσμευμένη έκταση υπόκειται σε εντατική και συστηματική εκμετάλλευση με άμεσο αποτέλεσμα την υποβάθμιση της περιοχής. Εκτός από τα αισθητικά αποτελέσματα και την καταστροφή του οικοσυστήματος της δεσμευμένης περιοχής, προβλήματα δημιουργούνται και από την ίδια τη φύση του προς εξόρυξη καυσίμου. (π.χ. μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρά από στερεά καύσιμα, αναθυμιάσεις από τη διαφυγή των ατμών υγρών ή αερίων υδρογονανθράκων, αναπόφευκτές διαρροές κ.α.).

Μετά την εξόρυξη το καύσιμο πρέπει να μεταφερθεί στους τόπους επεξεργασίας ή κατανάλωσης. Συνήθως ο τόπος αυτός είναι κοντά στον τόπο εξόρυξης, αλλά αρκετές φορές είναι απαραίτητη η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις. Η μεταφορά μπορεί να γίνει οδικώς με φορτηγά, από τη θάλασσα με δεξαμενόπλοια, με τη χρήση αγωγών καυσίμου, με μεταφορικές ταινίες κ.α.

Στις περιπτώσεις αυτές οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον αναφέρονται κυρίως στη διαρροή των καυσίμων (αστοχία από μακρόχρονη χρήση του εξοπλισμού, αναθυμιάσεις από εξάτμιση πτητικών ουσιών στην ατμόσφαιρά, ατυχήματα με καταστροφικές συνέπειες, όπως πετρελαιοκηλίδες, πυρκαγιές, εκρήξεις). Οι σημαντικότερες όμως επιπτώσεις παρατηρούνται στο στάδιο παραγωγής της ενέργειας. Στο πρώτο στάδιο της παραγωγής επιτελείται η μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμική. Αυτό γίνεται με την καύση. Τα προϊόντα της καύσης, όταν αυτή είναι τέλεια, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το νερό με τη μορφή υδρατμού. Όταν η καύση δεν είναι τέλεια, τότε παράγεται και μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Επειδή απαιτείται η παρουσία του οξυγόνου αυτό παρέχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα (περιεκτικότητας 79% άζωτο και 21% οξυγόνο κατά όγκο), συνεπώς μπορούν να δημιουργηθούν και οξειδία του αζώτου (NO_x), κυρίως σε περιπτώσεις ατελούς καύσης. Τέλος σε περιπτώσεις που το καύσιμο περιέχει ποσά θείου, τότε δημιουργείται και διοξείδιο του θείου (SO₂). Η διοχέτευση των αερίων προϊόντων της καύσης στην ατμόσφαιρα δημιουργεί πρόσθετα προβλήματα ρύπανσης (ατμοσφαιρική ρύπανση, νέφος , φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος κλπ.) [1].

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η παρουσία των χημικών στην ατμόσφαιρα σε μεγάλες ποσότητες και χρονική διάρκεια, επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, ονομάζεται ατμοσφαιρική ρύπανση [2]. Η ρύπανση του αέρα δεν είναι ένα νέο φαινόμενο αλλά άρχισε να αναπτύσσεται από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης. Στις αναπτυγμένες χώρες οι περισσότεροι ρύποι εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από την καύση των ορυκτών καυσίμων στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας στα εργοστάσια (στατικές πηγές) και στα οχήματα (κινητές πηγές). Η ατμοσφαιρική ρύπανση προέρχεται κυρίως από 5 ομάδες βασικών ρύπων: οξείδιο του άνθρακα (CO και CO₂) , οξείδιο του αζώτου (NO και NO₂ ή NO_x) , οξείδιο του θείου (SO₂ και SO₃), πτητικά οργανικά συστατικά (VOCs), κυρίως υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια ύλης [2].

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει πολλές επιπτώσεις στο περιβάλλον και ειδικότερα στη βλάστηση, στα ζώα, στα εδάφη, στην ποιότητα των υδάτων, στην αισθητική των φυσικών τοπίων, στις διάφορες κατασκευές και στην ανθρώπινη υγεία.

Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ο ήλιος εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε τρία μήκη κύματος, τη υπεριώδη, την ορατή και την υπέρυθη. Από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μόνο ένα ποσοστό 50% φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Το υπόλοιπο ανακλάται στο διάστημα και ένα μικρό ποσοστό απορροφάται από τα σύννεφα [1].

Ο όρος φαινόμενο του θερμοκηπίου αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία συγκεκριμένα αέρια στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα) παγιδεύουν την υπέρυθη ακτινοβολία (θερμότητα) με αποτέλεσμα η θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης να διατηρείται κατά μέσο όρο στους +15°C. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι υπεύθυνο για την ύπαρξη ζωής πάνω στον πλανήτη.

Σήμερα ως φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει επικρατήσει να ονομάζεται η πιθανή αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος από την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Την αλλαγή αυτή αναμένεται να προκαλέσει η αύξηση των ποσοτήτων των αερίων του θερμοκηπίου, που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες [3]. Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το όζον, το οξείδιο του αζώτου οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) και οι υδρατμοί .

Αξίζει να σημειωθεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνο για το 60% της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας από τα αέρια του θερμοκηπίου που παράγονται λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων [2]. Όπως έχει ήδη αναφερθεί από τις διεργασίες μετατροπής της χημικής ενέργειας ενός ορυκτού καυσίμου σε θερμική απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα διάφοροι αέριοι ρυπαντές με κύριο το διοξείδιο του άνθρακα.

Η τρύπα του όζοντος

Η Γη διαθέτει ένα στρατοσφαιρικό αντηλιακό φίλτρο, το στρώμα του όζοντος. Η παρουσία του επέτρεψε την ανάπτυξη της ζωής και την επέκτασή της. Το όζον από το οποίο αποτελείται αυτό το προστατευτικό «κέλυφος» της γης λειτουργεί σαν φίλτρο γιατί απορροφάει συγκεκριμένα βλαβερά μήκη κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία διαφορετικά θα διείσδυε μέχρι την επιφάνεια της γης.

Το όζον είναι ένα αέριο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο στην εισπνοή. Για το λόγο αυτό αποτελεί στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα), όπου παράγεται δευτερογενώς από αέριους ρύπους και την ηλιακή ακτινοβολία, επικίνδυνο φωτοχημικό ρύπο.

Επομένως, το όζον της στρατόσφαιρας ευνοεί τη ζωή καθώς απορροφά την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία αντίθετα το όζον της τροπόσφαιρας καταστρέφει τη ζωή. Οι πρώτες χημικές ουσίες που θεωρήθηκαν υπαίτιες για την καταστροφή της ισορροπίας του όζοντος στην στρατόσφαιρα ήταν οι χλωροφθοράνθρακες, οι οποίοι είναι γνωστοί διεθνώς ως CFC's. Οι ουσίες αυτές χρησιμοποιούνται στα ψυγεία και στα κλιματιστικά, στα αφρώδη πλαστικά, στα προωθητικά αέρια (σπρέι) ορισμένων ουσιών, στα διαλυτικά της βιομηχανίας και στο χημικό καθαρισμό

1.3 Βασικές μέθοδοι και εργαλεία εξοικονόμησης ενέργειας

Η εξοικονόμηση ενέργειας στη βιομηχανία επιτυγχάνεται σε τρία επίπεδα πρακτικών μέτρων. Τα μέτρα αυτά αφορούν τόσο την τεχνολογική επένδυση όσο και τον ανθρώπινο παράγοντα. Κατά κοινή ομολογία ο ανθρώπινος παράγοντας είναι ο κρισιμότερος παράγοντας για την επιτυχία κάθε μέτρου και κάθε προγράμματος ορθολογικής χρήσης ενέργειας.

Τα μέτρα αυτά φαίνονται στον Πίνακα 1.1

Μέτρα	Παραδείγματα	Παράμετρος	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας
Μηδενικού κόστους	<ul style="list-style-type: none"> •Επαναρύθμιση συστημάτων ελέγχου •Επισκευή διαρροών •Κλείσιμο διακοπών σε τμήματα που δεν λειτουργούν 	•Ανθρώπινη συμπεριφορά	Έως 10%
Χαμηλού κόστους	<ul style="list-style-type: none"> •Σωστή συντήρηση εγκαταστάσεων •Απλά συστήματα ελέγχου •Μόνωση •Εκπαίδευση προσωπικού 	•Συνδυασμός επενδύσεων ανθρώπινης συμπεριφοράς και	Έως 15%
Υψηλού κόστους	<ul style="list-style-type: none"> •Συστήματα ανάκτησης θερμότητας •Συμπαγωγή θερμότητας ηλεκτρισμού και •Μετατροπή καύσεων 	•Επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες με υψηλό κόστος	Έως 20%

Πίνακας 1.1 : Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας

Η μεθοδολογία για την εξοικονόμηση ενέργειας στη βιομηχανία περιλαμβάνει τις παρακάτω φάσεις, οι οποίες υλοποιούνται από εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό.

Προκαταρκτικές συζητήσεις

Αυτές περιλαμβάνουν επαφή με τα αρμόδια στελέχη της βιομηχανίας, αποστολή ειδικού ερωτηματολογίου και συγκέντρωση τιμολογίων καταναλώσεων από όλες τις ενεργειακές πηγές

που χρησιμοποιεί η βιομηχανία.

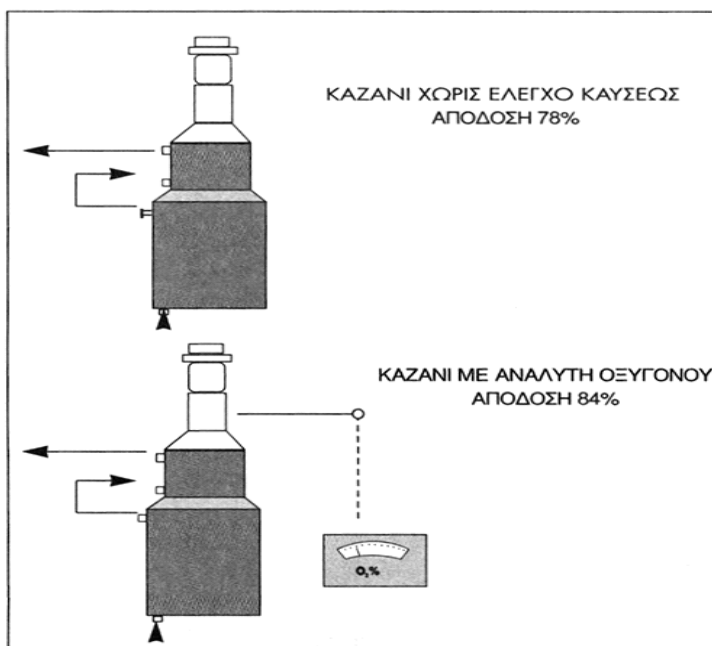
Τεχνική επίσκεψη

Η φάση αυτή είναι η πιο σημαντική από όλες και ανάλογα με το μέγεθος της βιομηχανίας μπορεί να διαρκέσει από μερικές ημέρες έως μερικές εβδομάδες. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης γίνεται συζήτηση με τα αρμόδια στελέχη της βιομηχανίας, επίσκεψη των εγκαταστάσεων της βιομηχανίας και συλλογή πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν εκτός από τα διάφορα ενεργειακά μεγέθη, το είδος και την κατάσταση του εξοπλισμού, τις κτιριακές εγκαταστάσεις (αν είναι απαραίτητο) κ.λπ. Στη συνέχεια αρχίζει η διαδικασία των ενεργειακών καταγραφών. Σκοπός των ενεργειακών καταγραφών είναι να προσδιοριστεί εάν η βιομηχανία ή οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία σπαταλά ενέργεια και να εντοπιστούν τα πιθανά σημεία στα οποία γίνεται αυτή η σπατάλη. Οι ενεργειακές καταγραφές προσδιορίζουν επίσης την αποδοτικότητα του εξοπλισμού βιομηχανικής μονάδας. Αυτές οι καταγραφές πρέπει να είναι πολύ ακριβείς και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμός οργάνων.

Τα κυριότερα σημεία μιας βιομηχανίας, τα οποία εξετάζονται κατά την εφαρμογή προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας είναι τα παρακάτω:

-Λεβητοστάσιο

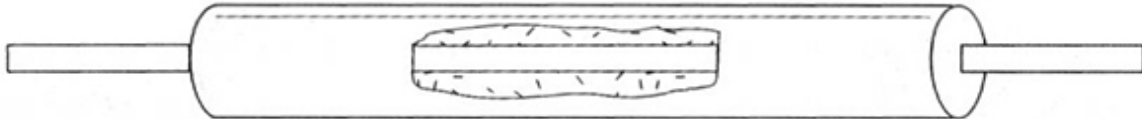
Εξετάζεται ιδιαίτερα η κατάσταση των λεβήτων, η ποιότητα καύσεως των καυστήρων, ο τρόπος συντήρησής τους και πιθανές μετατροπές τους. Ακόμη παρακολουθείται η ποιότητα της καύσεως.



Εικόνα 1.1: Λειτουργία Λεβητοστασίου (Πηγή: Πτυχιακή εργασία Τσαμαδιά Δημήτρη-Δουλάμη Ιωάννη “Εξοικονόμηση ενέργειας στις Ελληνικές Βιομηχανίες”)

- Δίκτυα ατμού

Εξετάζεται ιδιαίτερα η κατάσταση της μόνωσης του δικτύου, η ύπαρξη διαρροών, χαλασμένων εξαρτημάτων κ.λπ. Χαρακτηριστικά φαίνεται η μόνωση του αγωγού και η διαφορά μεταξύ ενός μονωμένου και ενός χωρίς μόνωση τμήματος αγωγού στην Εικόνα 11.



-

Εικόνα 1.2: Αγωγός δικτύου ατμού(Πηγή: Πτυχιακή εργασία Τσαμαδιά Δημήτρη-Δουλάμη Ιωάννη ‘Εξοικονόμηση ενέργειας στις Ελληνικές Βιομηχανίες’)

-Ανάκτηση θερμότητας

Εξετάζονται όλα τα σημεία στα οποία υπάρχει ελεύθερη απόρριψη καυσαερίων στο περιβάλλον με σκοπό την τοποθέτηση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας.

-Βιομηχανική ψύξη

Εξετάζεται ιδιαίτερα η κατάσταση της μόνωσης των ψυκτικών θαλάμων και του μηχανοστασίου.

-Ηλεκτρικό σύστημα

Εξετάζονται κυρίως η κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων, ο περιορισμός της αέργου ισχύος, η αντικατάσταση εξοπλισμού συνεχούς ρεύματος με εξοπλισμό εναλλασσόμενου ρεύματος, η αύξηση της διαμέτρου των αγωγών για μείωση των απωλειών μεταφοράς. Επιπλέον γίνεται έλεγχος στη λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων.

-Δίκτυα πεπιεσμένου αέρα

Εξετάζονται η ύπαρξη διαρροών, ο αποκλεισμός τμημάτων του δικτύου που δεν χρησιμοποιούνται.

-Συντήρηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Γίνεται αναμόρφωση της συντήρησης του υπάρχοντος εξοπλισμού με σωστή λίπανση, ρυθμίσεις, καθαρισμούς φίλτρων κ.λπ. με σκοπό την ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας.

-Συντήρηση κτιριακών εγκαταστάσεων

Εξετάζεται η στάθμη του φωτισμού, τα συστήματα θέρμανσης - κλιματισμού, ο αερισμός των κτιρίων, η κατάσταση των παραθύρων κ.λ.π. Παρακάτω αναφέρονται τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα τομέων της βιομηχανίας στα οποία μπορεί να επιτευχθεί υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου σε λέβητα για την παραγωγή θερμότητας. Η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Συμπαραγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

Διευκρινίζεται ότι η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη ή κλιματισμό. Κατά τη λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής ενέργειας μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωτών ατμού, πύργων ψύξης κ.λ.π.) είτε μέσω των καυσαερίων. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Η Εικόνα 12 αφορά την περίπτωση ενός βιομηχανικού συγκροτήματος και μπορεί να μας δείξει άμεσα τα πλεονεκτήματα της συμπαραγωγής.

Τεχνικές συμπαραγωγής

Οι κυριότερες κλασσικές τεχνικές συμπαραγωγής που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- **Συστήματα αμμοστρόβιλου**

Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής κατάλληλα για ισχύ 500KW - 100MW ή μεγαλύτερη. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο, ακόμα και στερεά απόβλητα. Ο βαθμός απόδοσης φθάνει στο 60- 85% έναντι ενός κλασσικού αμμοηλεκτρικού σταθμού που φτάνει στο 35%.

Τα συστήματα αμμοστρόβιλου έχουν υψηλή αξιοπιστία (ως 95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25 - 35 έτη). Ο χρόνος εγκατάστασής τους είναι σχετικά μεγάλος και φθάνει μέχρι 3 έτη για μεγάλες μονάδες.

Δύο τυπικές κατηγορίες συμπαραγωγής με αμμοστρόβιλο παρουσιάζονται παρακάτω:

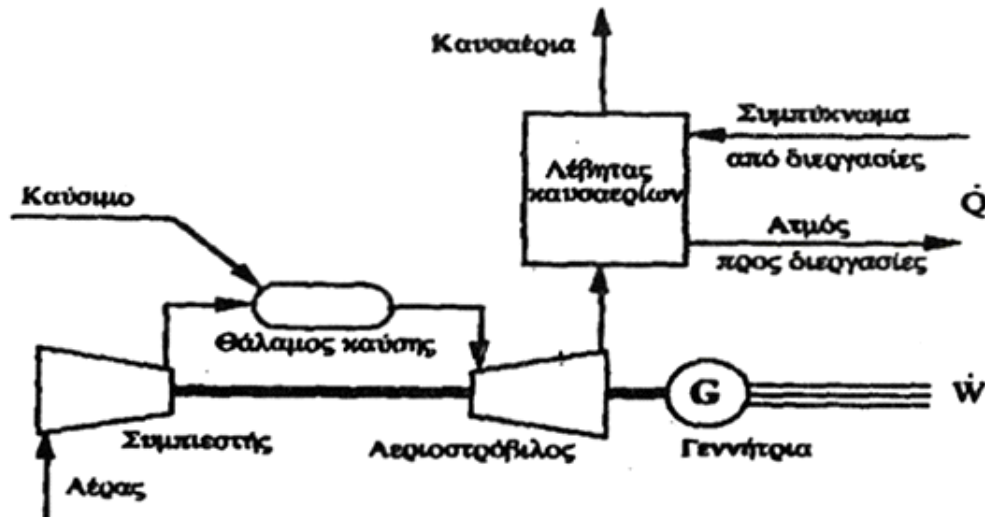
α) Συστήματα συμπαραγωγής με αμμοστρόβιλο αντίθλιψης.

Στο σύστημα αυτό παράγεται αρχικά ατμός υψηλής πίεσης (20 - 100 bar) και θερμοκρασίας (480°-540°C) στο λέβητα. Ο ατμός κινεί τον αμμοστρόβιλο, που είναι συνδεδεμένος με την ηλεκτρογεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ο ατμός βγαίνει από το στρόβιλο σε πίεση 3 - 2 0 bar (αντίθλιψη) και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες του εργοστασίου.

Στις θερμικές διεργασίες αποδίδει το σύνολο της ενέργειάς του και επιστρέφει με μορφή συμπυκνώματος.

β) Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού .Το σύστημα αυτό είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο

σε βιομηχανίες που έχουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας (π.χ. χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια τσιμέντου κ.λπ.) Μετά την κύρια θερμική διεργασία (π.χ. τήξη χάλυβα, ψήσιμο τούβλων ή κεραμικών κ.λπ.) τα αέρια απόβλητα περνούν μέσα από ένα λέβητα ανακομιδής θερμότητας στον οποίο παράγεται ατμός για την κίνηση μιας ατμοστροβιλογεννήτριας.



Εικόνα 1.3: Συστήματα αεριοστρόβιλου (Πηγή: Πτυχιακή εργασία Τσαμαδιά Δημήτρη-Δουλάμη Ιωάννη “Εξοικονόμηση ενέργειας στις Ελληνικές Βιομηχανίες”)

Η λειτουργία των περισσοτέρων αεριοστρόβιλων βασίζεται στην παραπάνω διάταξη. Σε αυτές ο αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται στον συμπιεστή και οδηγείται στον θάλαμο καύσης. Στον θάλαμο καύσης αναμιγνύεται με το καύσιμο, γίνεται η καύση και τα καυσαέρια εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο, που κινεί το συμπιεστή και τη γεννήτρια, από τον οποίο βγαίνουν με θερμοκρασία 300 - 600°C. Η σημαντική ισχύς για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25 - 35% και 40% σε μονάδες προηγμένης τεχνολογίας). Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν είτε για άμεση χρήση στις θερμικές διεργασίες είτε για την παραγωγή ατμού για διεργασίες μέσω λέβητα καυσαερίων.

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των καυσαερίων σε οξυγόνο (ως 17%) μπορεί να γίνει, αν απαιτείται, συμπληρωματική καύση καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων. Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100KW - 100MW.

Τα κυριότερα καύσιμα των αεριοστρόβιλων ανοικτού κύκλου είναι το φυσικό αέριο, το υγραέριο, η κηροζίνη, το πετρέλαιο Diesel κ.λπ. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην καθαρότητα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου (ιδίως για τα υγρά καύσιμα), διότι πιθανές προσμείξεις σε νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, θείο, βανάδιο κ.λπ. προκαλούν μεγάλες φθορές και διαβρώσεις στα πτερύγια των αεριοστρόβιλων. Η διάρκεια ζωής των μονάδων αυτών είναι 15 - 20 έτη.

- **Συστήματα συνδυασμένου κύκλου**

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από έναν αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου τα καυσαέρια του οποίου οδηγούνται σε ένα λέβητα για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Ο παραγόμενος ατμός οδηγείται σε έναν ατμοστρόβιλο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και από την έξοδό του (αν απαιτείται) προς θερμικές διεργασίες. Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται στην περιοχή 20 - 400MW. Ο χρόνος εγκατάστασης των μεγάλων μονάδων είναι 2 - 3 έτη και ο οικονομικός χρόνος ζωής τους 15 - 25 έτη. Ένα από τα βασικότερα τεχνικά μεγέθη που χρησιμοποιείται στην επιλογή του κατάλληλου ανά περίπτωση συστήματος είναι ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

- Βελτίωση του συντελεστή ισχύος της ηλεκτρικής εγκατάστασης
- Βελτιστοποίηση απόδοσης διεργασιών μέσω αυτοματισμών
- Βελτιστοποίηση λειτουργίας μονάδων κλιματισμού και θέρμανσης
- Εξοικονόμηση σε αεροσυμπιεστές και ψυγεία
- Εξοικονόμηση/εκμετάλλευση θερμότητας από παραγωγικές διεργασίες
- Οι εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υποχρεούνται να παρέχουν τάση η οποία είναι 230V +10% ή -6% (δηλαδή μεταξύ 216V και 253V).
- Οι εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνουν την τάση του παρεχόμενου ρεύματος για να μειώσουν τις I²R απώλειες στο δίκτυο διανομής τους.
- Στην Αγγλία, κατά μέσον όρο, η τάση του παρεχόμενου ρεύματος είναι 242V ή 12V (5.2%) πάνω από την επιθυμητή τάση των 230V.
- Η πλειοψηφία των ηλεκτρικών συσκευών στην Ευρώπη είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί με τάση 220V.

Η μείωση του κόστους συντήρησης προέρχεται από την μείωση της φόρτισης του εξοπλισμού που μεσοπρόθεσμα συνεισφέρει σε μείωση βλαβών και επιβράδυνση της γήρανσης των μονώσεων του.

Έχει αποδειχθεί ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις η απόσβεση της επένδυσης επιτυγχάνεται μετά από περίοδο 2-3 ετών, υπολογίζοντας μόνο το οικονομικό όφελος από την μείωση της απορροφούμενης ενέργειας.

Προκειμένου να εφαρμοστεί, ένα ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό πρόγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας σε μία επιχείρηση, πρέπει είναι να γίνουν τα εξής: Καταγραφή του υπάρχοντος ενεργειακού προφίλ των εγκαταστάσεων της επιχείρησης και ιδιαίτερα των:

- Κινητήριων συστημάτων
- Ηλεκτροφωτισμού
- Μονάδων κλιματισμού/θέρμανσης
- Παραγωγής/χρήσης ατμού/πεπιεσμένου αέρα

Συστήματα κίνησης μεταβλητών στροφών

Στις εφαρμογές εναλλασσομένου ρεύματος όπου απαιτείται ρύθμιση στροφών χρησιμοποιούνται επαγωγικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα οδηγούμενοι από μετατροπείς συχνότητας (frequency converters, κοινώς inverters). Όπως όλα τα ηλεκτρονικά ισχύος, οι F.C. εκτός από την τάση της βασικής συχνότητας 50Hz του δικτύου εγχύουν στο δίκτυο ημιτονοειδείς τάσεις με συχνότητα πολλαπλάσια της θεμελιώδους οι οποίες καλούνται αρμονικές. Στην περίπτωση αυτή καταργείται η έννοια του τριγώνου ισχύος και εισάγεται η έννοια του τετράεδρου ισχύος διότι τώρα εκτός της ενεργού (P), φαινομένης (S) και αέργου (Q) ισχύος προστίθεται και η ισχύς των αρμονικών (D) όπως φαίνετε παρακάτω:

Κατά την διαστασιολόγηση των πυκνωτών πρέπει να εξεταστεί: Εάν προσεγγίζεται η συχνότητα συντονισμού της εγκατάστασης: Όπου SK'' είναι η ισχύς βραχυκυκλώσεως στο σημείο εγκατάστασης και QC η ισχύς των, προς εγκατάσταση, πυκνωτών. Εάν υπάρχουν αρμονικές τάσης και έντασης στο τοπικό δίκτυο με πλάτος >2% του πλάτους της 1ης αρμονικής (όπως ορίζεται στο πρότυπο EN61000-2-2) Εάν ισχύουν τα παραπάνω επιβάλλεται η τοποθέτηση φίλτρων (πηνίων) καταστολής αρμονικών στους πυκνωτές διότι λόγω του φαινομένου του συντονισμού θα ενισχυθεί το πλάτος των αρμονικών τάσεως. Συνέπεια αυτού είναι η καταπόνηση του εξοπλισμού και η δυσλειτουργία των ηλεκτρονόμων προστασίας του εξοπλισμού από αρμονικές υπερεντάσεις.

Στα περισσότερα βιομηχανικά συστήματα η διόρθωση του συντελεστή ισχύος με πυκνωτές στα επίπεδα του 0.9-0.95 οδηγεί την συχνότητα παράλληλου συντονισμού του συστήματος στην περιοχή μεταξύ 5ης και 7ης αρμονικής (250-350Hz) όπου εγχύονται αυτές οι αρμονικές από τις εξαπαλμικές γέφυρες των frequency converters.

- Σημαντική μείωση στη κατανάλωση ενέργειας (έως και 26,1%).
- Σημαντική μείωση των Αρμονικών τάσης και έντασης (έως και 90%).
- Βελτίωση του Συντελεστή Ισχύος (PF).

Αύξηση της φυσιολογικής ζωής και μείωση του κόστους συντήρησης και αντικατάστασης των ηλεκτρονικών συσκευών, συστημάτων κλιματισμού και κινητήρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΤΑ ΡΕΥΣΤΑ

2.1 Τα Ρευστά

Το πλέον σημαντικό στοιχείο που ξεχωρίζει ένα ρευστό από οποιαδήποτε άλλη φυσική μορφή της ύλης είναι η συμπεριφορά του κάτω από συνθήκες διατμήσεως. Βάσει λοιπόν, της συμπεριφοράς αυτής ρευστό ορίζεται κάθε σώμα, το οποίο υπό διατμητική τάση, οσοδήποτε μικρή δεν μπορεί να παραμείνει σε κατάσταση στατικής ισορροπίας. Με βάση τις μεταβολές φυσικών ιδιοτήτων τα ρευστά μπορούν να ταξινομηθούν σε ασυμπίεστα και σε συμπιεστά. Έτσι κάτω από συνθήκες στατικής ισορροπίας μερικά ρευστά παρουσιάζουν ελάχιστη μεταβολή πυκνότητας ακόμη και όταν υποβληθούν σε πολύ υψηλές πιέσεις, Ρευστά που συμπεριφέρονται κατ' αυτό τον τρόπο ονομάζονται ασυμπίεστα. Ασυμπίεστο, λοιπόν, ονομάζονται τα ρευστά των οποίων η πυκνότητα παραμένει σταθερή, ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη πίεση.

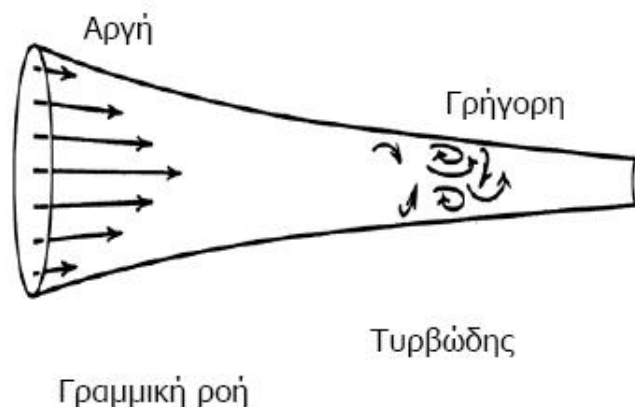
2.2 Μορφές Ροών

- **Σταθερή ή μόνιμη ροή** ονομάζεται η ροή στην οποία η ταχύτητα σε κάποιο σημείο της δεν είναι συνάρτηση του χρόνου, δηλαδή δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο. Εξ αυτού προκύπτει ότι όλοι οι μερικοί παράγωγοι ως προς τον χρόνο είναι μηδέν. Ασταθής ή μη μόνιμη καλείται η ροή της οποίας η ταχύτητα μεταβάλλεται με τον χρόνο.
- **Ομοιόμορφη** καλείται η ροή κατά την οποία η ταχύτητα σε χρόνο t δεν μεταβάλλεται κατά μήκος του πεδίου. Δύναται όμως να παρουσιάζει μεταβολές σε μια κάθετη διατομή, λόγω ιξώδους. Συνήθως ομοιόμορφη ροή παρατηρείται σε αγωγούς σταθεράς διατομής.

Μια ροή λέγεται **ανομοιόμορφη** όταν η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά μήκος της ροής. Συνήθως ανομοιόμορφη ροή υπάρχει όταν η διατομή του αγωγού δεν είναι αυτή καθόλο το μήκος του.
- **Μονοδιάστατη** καλείται η ροή στην οποία η ταχύτητα παραμένει παράλληλη προς ένα άξονα και έχει το αυτό μέγεθος σε κάθε διατομή. Μονοδιάστατη ροή εντός αγωγού είναι μονάδα θεωρητικώς υπαρκτή αφού μπορεί να υπάρχει μόνον όταν $\mu = 0$, δηλαδή μονοδιάστατη ροή έχουν μόνο τα ιδεώδη ρευστά. Παρόλα αυτά, πολλές φορές μια διδιάστατη ροή μπορεί να αντικατασταθεί από μια μονοδιάστατη στην οποία σαν ταχύτητα λαμβάνεται η μέση ταχύτητα ροής. **Διδιάστατη** ροή έχουμε λόγω ιξώδους και προσφύσεως των στοιχείων του υγρού επί των τοιχωμάτων. Έτσι παρουσιάζεται σε περιπτώσεις ροής πάνω από επίπεδες επιφάνειες. Τρισδιάστατη ροή έχουμε γενικά όταν το ρευστό διέρχεται πάνω από μια καμπύλη επιφάνεια.

2.3 Είδη ροών

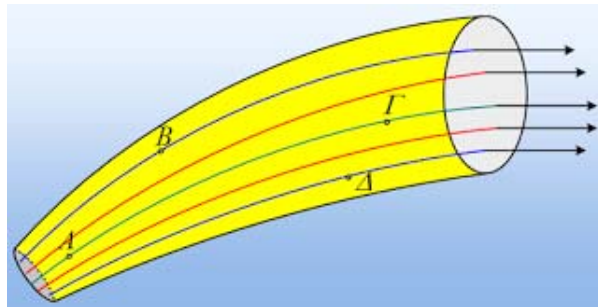
- **Στρωτή ροή:** Στη στρωτή ροή όλα τα στοιχεία του ρευστού κινούνται σε παράλληλες γραμμές και ως εκ τούτου δεν διασχίζουν τις γραμμές άλλων στοιχείων. Οποιαδήποτε δε αλλαξοδρόμηση από τη γραμμική αυτή κίνηση απορροφάται από ιξώδες, που στην περίπτωση αυτή λειτουργεί σαν αμορτισέρ. Γενικά η στρωτή ροή ακολουθεί τον Νόμο του Newton για το ιξώδες, δηλαδή ότι η διατμητική τάση είναι ίση με $\tau = \mu Dv/dy$.
- **Τυρβώδης ροή:** Η τυρβώδης ροή, η ροή που συναντάται τις πιο πολλές φορές στη φύση, είναι το είδος της ροής που ο καπνός του τσιγάρου έχει μετά το ευθύγραμμο τμήμα του. Κατά την τυρβώδη ροή τα στοιχεία του ρευστού κινούνται ακανόνιστα προς όλες τις διευθύνσεις. Γενικά η τυρβώδης κίνηση ενός στοιχείου μπορεί να αναλυθεί σε δυο συνιστώσες, μια μέση ταχύτητα και μια υπό μορφή ταλαντώσεων διαφόρων συχνοτήτων. Επειδή η ακανόνιστη αυτή κίνηση των στοιχείων μοιάζει με την μοριακή κίνηση μορίων ρευστού, κίνηση που ευθύνεται για την ανάμιξη σε μοριακή κλίμακα και που δίνει τ ιξώδες, σε πολλές πρακτικές εφαρμογές η διατμητική τάση για τυρβώδη ροή έχει υπολογιστεί από μια σχέση ανάλογη προς αυτή της στρωτής, δηλαδή $\tau = (\mu + \epsilon) DV/DY$ όπου ϵ είναι το ιξώδες της τύρβης.



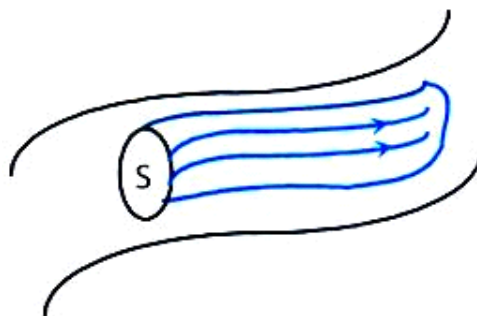
Εικόνα 2.1: Γραμμική και τυρβώδης ροή: Πηγή(Περικλής Κορωνάκης, 'Μηχανική Ρευστών', Εκδόσεις Ιων)

2.4 Γραμμή και Φλέβες ροής

- Η γραμμή ροής είναι μια συνεχής γραμμή που σε κάθε σημείο της δίνει την διεύθυνση της ροής. Εφόσον λοιπόν, εξ ορισμού, σε κάθε σημείο της ροής η γραμμή ροής είναι εφαπτόμενη της ταχύτητας, τότε κανένα στοιχείο ρευστού δεν διασχίζει την γραμμή.
- Φλέβα ροής καλούμε τον χώρο που περικλείει όλες τις γραμμές ροής, που περνούν από μια κλειστή γραμμή κάπου στο πεδίο.



Εικόνα 2.2: Γραμμές Ροής Γραμμική και τυρβώδης ροή: Πηγή (Περικλής Κορωνάκης, "Μηχανική Ρευστών", Εκδόσεις Ιων)



Εικόνα 2.3: Φλέβα Ροής Γραμμική και τυρβώδης ροή: Πηγή (Περικλής Κορωνάκης, "Μηχανική Ρευστών", Εκδόσεις Ιων)

2.5 Η σχέση Bernoulli

Το **θεώρημα του Μπερνούλι**, καλούμενο και Θεμελιώδες θεώρημα της Υδροδυναμικής, ταυτίζεται με την αρχή διατήρησης της ενέργειας και αφορά την περίπτωση των υγρών. Το όνομά δόθηκε προς τιμήν του Ελβετού φυσικού Ντάνιελ (Daniel Bernoulli) (1700-1782), που πρώτος και το διατύπωσε. Στην απλή του μορφή ο νόμος αυτός καθορίζει την πίεση που επικρατεί μέσα στα υγρά, όταν αυτά κινούνται.

Στη πραγματικότητα πρόκειται για ένα άθροισμα τριών ενεργειών: της "ενέργειας θέσεως", της "δυναμικής πίεσης", που αποτελεί το μέτρο της "κινητικής ενέργειας" του υγρού, και της "υδροστατικής πίεσης", που είναι και το μέτρο της "δυναμικής ενέργειας" λόγω ύψους ή λόγω του πεδίου βαρύτητας.

Αν για παράδειγμα ονομασθεί ρ_e η πίεση ενός υγρού, γ το ειδικό βάρος του, v η ταχύτητα αυτού και h το στατικό ύψος ενός θεωρουμένου σημείου, τότε ο Νόμος του Μπερνούλι παρίσταται με την ακόλουθη μαθηματική διατύπωση:

$$\rho_e + \gamma v^2/2g + \gamma h = C \text{ σταθερό}$$

Στον μαθηματικό αυτό τύπο, το ρ_e παριστάνει την υπό των εξωτερικών δυνάμεων δημιουργούμενη πίεση που αποτελεί ακριβώς το μέτρο της ενέργειας θέσεως. Η δε παράσταση $(\gamma v^2) / 2g$ εκφράζει την δυναμική πίεση και αποτελεί το μέτρο της κινητικής ενέργειας του υγρού. Τέλος η παράσταση (γh) είναι αυτή που εκφράζει την υδροστατική πίεση που είναι και το μέτρο της δυναμικής ενέργειας όπως προαναφέρθηκε. Το δε άθροισμα αυτών C είναι σταθερό.

Κατόπιν όλων των παραπάνω, ως κατάληξη, ο Νόμος του Μπερνούλι καθορίζει ότι:

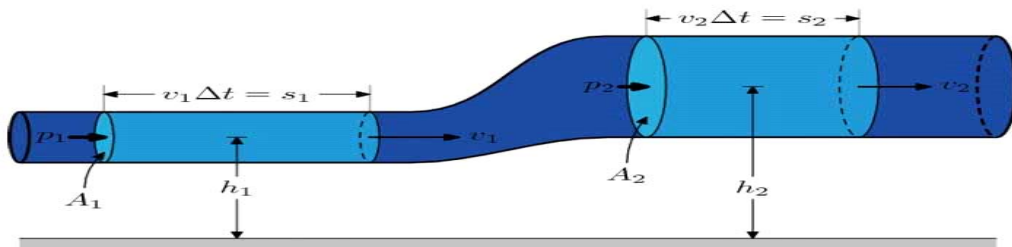
"Κατά μήκος μιας φλέβας ή ενός αγωγού που διέρχεται υγρό το άθροισμα της εξωτερικής πίεσης, της δυναμικής πίεσης και της υδροστατικής πίεσης είναι σταθερό".

- Στη περίπτωση οριζόντιου αγωγού οπότε το ύψος h παραμένει σταθερό εξυπακούεται ότι ο παραπάνω μαθηματικός τύπος περιορίζεται στις δύο πρώτες παραστάσεις:

$$\rho_e + \gamma v^2/2g = C \text{ σταθερό.}$$

Εξ αυτού του τελευταίου συνάγεται ότι: κατά τη ροή του υγρού, η πίεση είναι μικρή στα σημεία όπου η ταχύτητα είναι μεγάλη, και αντίστροφα είναι μεγάλη σε σημεία όπου η ταχύτητα είναι μικρή, ή ακόμα, το άθροισμα της "ενέργειας θέσεως" και της "κινητικής ενέργειας" είναι σταθερό. Τούτο άλλωστε γίνεται εύκολα αντιληπτό δεδομένου ότι όταν

αυξάνεται η κινητική ενέργεια του υγρού, η αύξηση αυτή πραγματοποιείται με αντίστοιχη ελάττωση της ενέργειας θέσεως προκειμένου το άθροισμα τους να παραμένει σταθερό.



Εικόνα 2.4: Αρχή διατήρησης ενέργειας – σχέση bernoulli Γραμμική και τυρβώδης ροή: Πηγή(Περικλής Κορωνάκης, "Μηχανική Ρευστών", Εκδόσεις Ιων)

Η σχέση Bernoulli ισχύει μεταξύ δύο σημείων ρευστού που ικανοποιούν τις εξής προϋποθέσεις:

- A) Το ρευστό να είναι μη συνεκτικό
- B) Το ρευστό είναι ασυμπίεστο
- Γ) Η ροή είναι μόνιμη

Κάτω όμως από κατάλληλες συνθήκες οι ανωτέρω περιορισμοί, μπορεί να μη ληφθούν υπόψη. Όπως όταν η ροή είναι μη μόνιμη, αλλά η μεταβολή ως προς τον χρόνο γίνεται με αργό ρυθμό, όταν υπάρχει κίνηση αερίου όπου η διαφορά πίεσεως είναι ένα μηδαμινό ποσοστό της απόλυτου πίεσεως όταν τα δυο σημεία βρίσκονται σε διαφορετικές γραμμές ροής που όμως ξεκινούν από την ελεύθερη επιφάνεια ρευστού η από περιοχή της ροής όπου η ολική ενέργεια είναι ίδια και όταν το ρευστό παρουσιάζει μη συνεκτικότητα, αλλά οι απώλειες ενεργείας εξαιτίας των διατμητικών τάσεων είναι μικρές η μπορούν να συμπεριληφθούν σε έναν όρο ο οποίος μπορεί να υπολογίσει από τα δεδομένα του προβλήματος και από ένα συντελεστή που έχει βρεθεί προηγουμένως πειραματικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

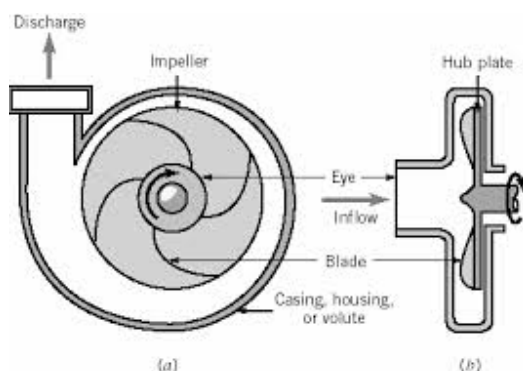
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΥΠΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

3.1 Δυναμικές αντλίες

Η λειτουργία των δυναμικών αντλιών στηρίζεται στη μεταβολή της κινητικής κατάστασης του υγρού και τη μετατροπή της κινητικής τους ενέργειας σε στατική πίεση. Οι αντλίες αυτές έχουν μεγάλη διάδοση για τους παρακάτω λόγους:

- α) Έχουν καλή απόδοση, μικρό όγκο και βάτος και συνδέονται εύκολα με διάφορους τύπους κινητήρων.
- β) Έχουν συνεχή και ομοιόμορφη κίνηση (περιστροφική)
- γ) Η πίεση και η παροχή τους δεν παρουσιάζει περιοδική διακύμανση.
- δ) Έχουν διάφορες δυνατότητες ρύθμισης της παροχής του.
- ε) Το κόστος αγοράς και λειτουργίας τους είναι χαμηλό.
- ζ) Παρουσιάζουν ασφάλεια λειτουργίας γιατί έχουν μικρό αριθμό κινουμένων στοιχείων.

3.1.1 Φυγοκεντρικές αντλίες



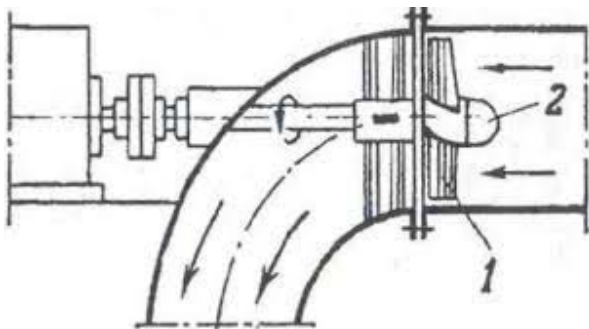
- **Εικόνα 3.1:** Διάταξη φυγοκεντρικής αντλίας: (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Η εικόνα 3.1 παρουσιάζει σχηματικά μια φυγοκεντρική αντλία. Η περωτή φέρει πτερύγια και περικλείεται μέσα σ ένα περίβλημα (κέλυφος). Καθώς η περωτή περιστρέφεται από τον κινητήρα, το υγρό μετακινείται από τη φυγόκεντρη δύναμη από το κέντρο προς την περιφέρεια

και εκτινάσσεται στο σπειροειδές περίβλημα για να οδηγηθεί στη συνέχεια στον σωλήνα κατάθλιψης. Επειδή το υγρό μετακινείται από το κέντρο της περωτής προς την περιφέρεια, η πίεση στο κέντρο ελαττώνεται. Νέα ποσότητα υγρού κινείται μέσα από τον σωλήνα αναρρόφησης προς το σημείο χαμηλής πίεσης δηλαδή το κέντρο της περωτής. Έτσι δημιουργείται μια σταθερή ροή από την αναρρόφηση προς την κατάθλιψη της αντλίας. Το σπειροειδές κέλυφος έχει μια σταθερά αυξανόμενη διατομή, έτσι ώστε καθώς το υγρό προχωρεί κατά μήκος του σπειροειδούς αγωγού η ταχύτητα του να ελαττώνεται. Και αφού σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας η ενέργεια του υγρού δεν χάνεται, η ελάττωση της κινητικής του ενέργειας συνεπάγεται αύξηση της δυναμικής του ενέργειας, δηλαδή έχουμε αύξηση της πίεσης του υγρού. Οι φυγοκεντρικές αντλίες ονομάζονται μονοβάθμιες όταν έχουν μία περωτή, διβάθμιες όταν έχουν δύο περωτές κ.ο.κ Υπάρχουν αντλίες που έχουν 30 ή και περισσότερες βαθμίδες σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Στις πολυβάθμιες αντλίες το υγρό ρέει διαδοχικά από τις βαθμίδες. Κάθε περωτή στη σειρά αυξάνει την πίεση του υγρού στην κατάθλιψη της αντλίας.

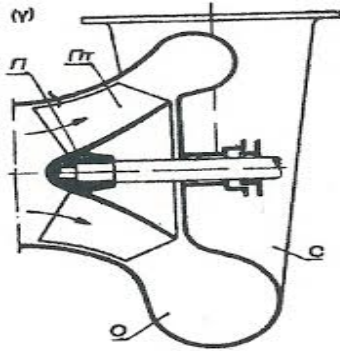
3.1.2 Αντλίες αξονική ροής

Στις αντλίες αξονικής ροής τα περύγια της περωτής είναι στερεωμένα στην πλύμνη υπό γωνία ως προς το επίπεδο που περνάει από τον κεντρικό άξονα. Τα περιστρεφόμενα περύγια εξασκούν ώθηση στο υγρό που κινείται αξονικά, δηλαδή κατά μήκος του άξονα της αντλίας. Επειδή η περωτή έχει σχήμα έλικας οι αντλίες αυτές ονομάζονται και ελικοφόρες.



Εικόνα 3.2: Αντλία αξονικής ροής. (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

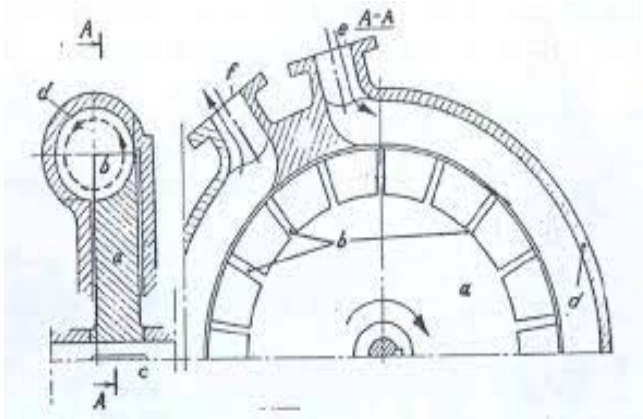
3.1.3 Αντλίες μικτής ροής.



Εικόνα 3.3: Αντλία μικτής ροής (ελικοειδής) (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Η μορφή αυτών των αντλιών είναι ενδιάμεση ανάμεσα στις φυγοκεντρικές και τις αντλίες αξονικής ροής. Σ αυτές η αύξηση πίεσης του υγρού δημιουργείται κατά ένα μέρος από τη φυγοκεντρική δύναμη και το άλλο μέρος από την ώθηση των πτερυγίων. Τα πτερύγια είναι τοποθετημένα υπό γωνία ως προς τον άξονα περιστροφής. Το υγρό εισέρχεται αξονικά και εξέρχεται από την πτερωτή ταυτόχρονα αξονικά και ακτινικά. Όταν η έξοδος του υγρού από την αντλία γίνεται αξονικά μέσα από κατάλληλα σταθερά πτερύγια η αντλία λέγεται διαγώνια. Όταν υπάρχει σπειροειδές κέλυφος όπως στις φυγόκεντρες αντλίες και η έξοδος του υγρού από την αντλία γίνεται ακτινικά, η αντλία λέγεται ελικοειδής.

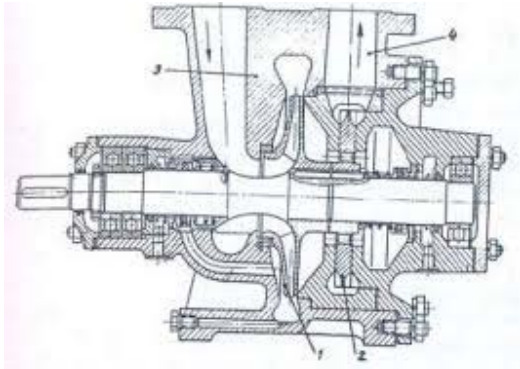
3.1.4 Αντλίες αναγεννητικές ή στροβιλαντλίες ή περιφερικές ή δινραντλίες (vortex pumps).



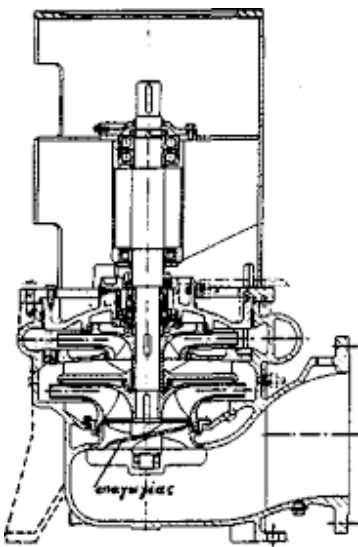
Εικόνα 3.4: Αναγεννητική αντλία (Στροβιλαντλία) (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Σχηματικά μια τέτοια αντλία φαίνεται στο χήμα 3.5. Το υγρό εισέρχεται από το στόμιο και έρχεται στην περιφέρεια μια πτερωτής με ειδικά πτερύγια. Με την περιστροφή της πτερωτής προστίθεται ενέργεια στο υγρό καθώς αυτό κινείται όπως δείχνουν τα βέλη μέσα στο δακτυλιοειδές περίβλημα προς το στόμιο εξόδου. Χαρακτηριστικό των στροβιλαντλιών είναι ότι το υγρό κινείται συνεχώς από την περιφέρεια της πτερωτής προς το περίβλημα και από το περίβλημα προς την περιφέρεια της πτερωτής. Το υγρό διαγράφει ταυτόχρονα δύο περιστροφικές κινήσεις από και προς τα πτερύγια της πτερωτής και την κίνηση κατά μήκος του δακτυλιοειδούς κελύφους από την είσοδο προς την έξοδο της αντλίας.

3.1.5 Αντλίες σύνθετες και ειδικές



Εικόνα 3.5: Σύνθετη φυγοκεντρική – αναγεννητική αντλία (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, “Αντλίες και Σωληνώσεις”, Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)



Εικόνα 3.6: Διβάθμια φυγοκεντρική αντλία με επαγωγέα (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, “Αντλίες και Σωληνώσεις”, Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Οι σύνθετες αντλίες αποτελούν συνδιασμό δύο τύπων δυναμικών αντλιών σε μία αντλία, για να επιτευχθούν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Δύο παραδείγματα φαίνονται στα σχήματα 3.5, 3.6. Το σχήμα 3.5 δείχνει μια σύνθετη αντλία που είναι συνδιασμός φυγοκεντρικής και

αναγεννητικής αντλίας. Το υγρό ρέει από την είσοδο του κελύφους προς τη φυγοκεντρική πτερωτή όπως δείχνει το βέλος. Εξερχόμενο από την φυγοκεντρική πτερωτή οδηγείται μέσα από κοχλιοειδή αγωγό του κελύφους στην αναρρόφηση της αναγεννητικής πτερωτής και στη συνέχεια καταθλίβεται μέσα από το στόμιο εξόδου. Στο σχήμα 3.6 φαίνεται μια κατακόρυφη διβάθμια φυγοκεντρική αντλία στην είσοδο της οποίας είναι τοποθετημένη και κινείται από τον ίδιο άξονα μια πτερωτή αξονικής ροής με αποτέλεσμα να έχουμε μια σύνθετη αντλία. Η πτερωτή αξονικής ροής ονομάζεται επαγωγέας (INDUCER). Πολλές φορές για λόγους αυξημένης ακαμψίας και χαμηλού θορύβου ο επαγωγέας, η φυγοκεντρική πτερωτή και ο άξονας αποτελούν ένα τεμάχιο. Οι ειδικές αντλίες είναι δυναμικές αντλίες των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε κάποιο ιδιαίτερο φυσικό φαινόμενο. Τέτοιες είναι οι αντλίες περιστρεφόμενου κελύφους, οι δισκοαντλίες, οι αντλίες περιδίνησης.

α) Στη αντλία PITOT το υγρό από το στόμιο εισόδου περνά σ' ένα περιστρεφόμενο κέλυφος όπου η φυγοκεντρική δύναμη το επιταχύνει. Ένας σταθερός σωλήνας παραλαβής με το στόμιο του κοντά στην εσωτερική περιφέρεια του περιστρεφόμενου κελύφους, όπου η πίεση και η ταχύτητα έχουν τη μέγιστη τιμή τους, παραλαμβάνει το υγρό μετατρέποντας τη μεγάλη του ταχύτητα σε υψηλή πίεση. Οι αντλίες αυτές αναπτύσσουν 4πλάσια περίπου πίεση από αντίστοιχες μονοβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες ίδιας ταχύτητας περιστροφής.

β) Η λειτουργία των δισκοαντλιών στηρίζεται στα φαινόμενα επιφανειακής τάσης και συνεκτικότητας των υγρών. Ο ρότορας των αντλιών αυτών αντί για πτερωτή έχει μια ομάδα από δίσκους σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Επάνω σ αυτούς προσκολλάται και στη συνέχεια εκτινάσσεται από τη φυγοκεντρική δύναμη το αντλούμενο υγρό. Οι κατασκευαστές τους προβάλλουν τα παρακάτω πλεονεκτήματά τους: Ελάχιστη φθορά ρότορα, "ευγενική" διακίνηση ευαίσθητων υγρών, δυνατότητα άντλησης παχυρεύστων υγρών κ.ά.

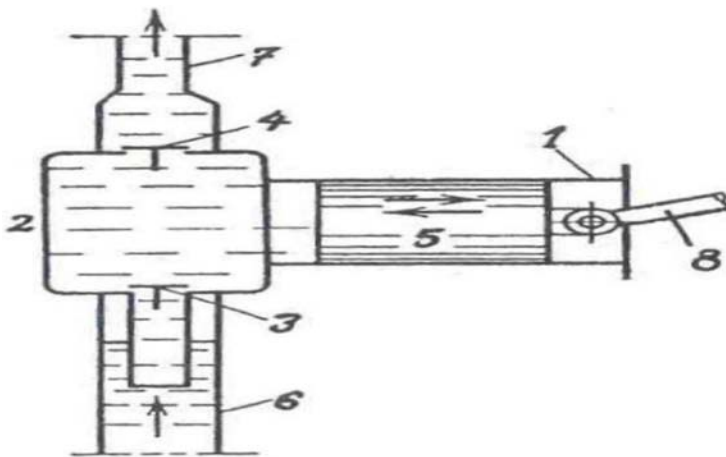
3.2 Αντλίες θετικής μετατόπισης

Οι αντλίες αυτές παραλαμβάνουν το υγρό από το σωλήνα αναρρόφησης και το μετατοπίζουν το εκτοπίζουν προς τον σωλήνα κατάθλιψης με κάποιο κινούμενο στερεό σώμα (έμβολο, σύρτη, οδόντωση, διάφραγμα κλπ.), που κινείται μέσα σε ειδικό περίβλημα. Το υγρό εξαναγκάζεται να μετατοπιστεί ανεξάρτητα από την υδραυλική αντίσταση των σωλήνων μεταφοράς του. Γι' αυτό και οι αντλίες της κατηγορίας αυτής ονομάζονται θετικής μετατόπισης. Διακρίνονται σε δύο

βασικούς τύπους: Τις παλινδρομικές και περιστροφικές ανάλογα με το είδος της κίνησης του κινούμενου στοιχείου.

3.2.1 Παλινδρομικές αντλίες

Στο σχήμα 8 φαίνεται η βασική σχεδίαση μιας παλινδρομικής αντλίας. Ο κύλινδρος (1) συνδέεται με τον βαλβιδοθάλαμο (2) στον οποίο υπάρχει η βαλβίδα εισαγωγής (3) και η βαλβίδα εξαγωγής (4). Καθώς το έμβολο (5) κινείται προς τα δεξιά μέσα στον κύλινδρο, κλείνει η βαλβίδα κατάθλιψης (4) και ο θάλαμος (2) γεμίζει με υγρά μέσα από την ανοιχτή βαλβίδα αναρρόφησης (3). Όταν το έμβολο κινείται προς τα αριστερά κλείνει η βαλβίδα αναρρόφησης ανοίγει η βαλβίδα κατάθλιψης και το υγρό εκτοπίζεται προς το στόμιο εξόδου (κατάθλιψης) (7).



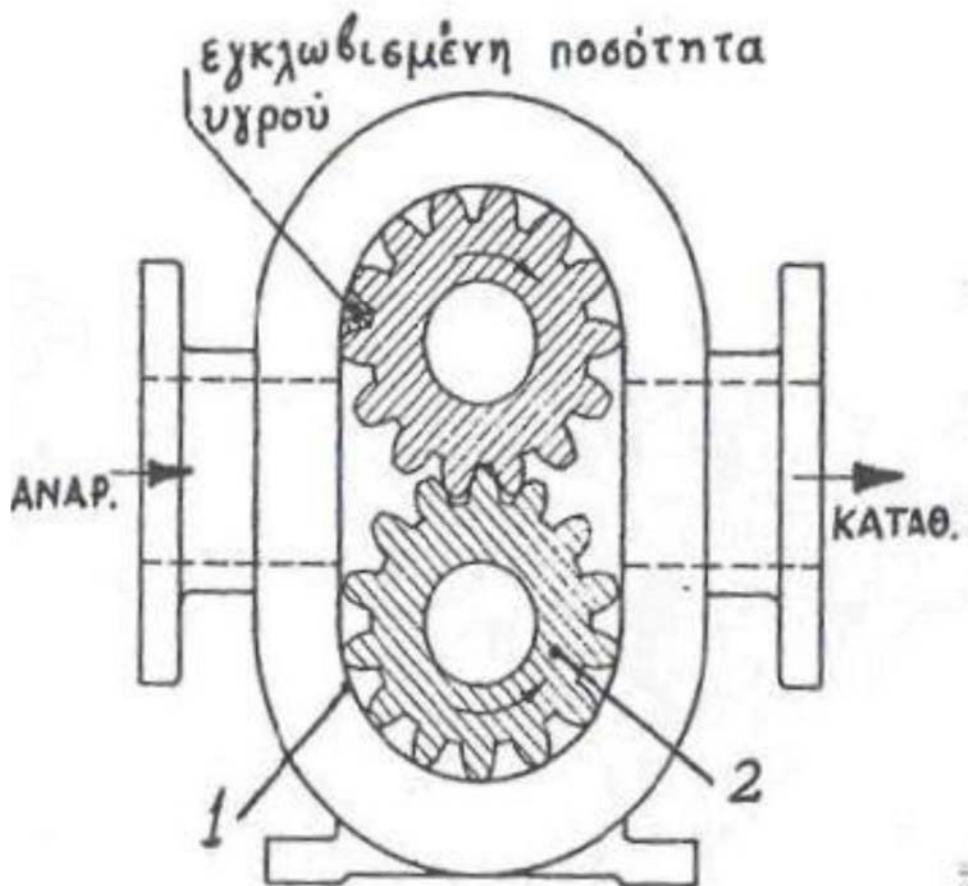
Εικόνα 3.7: Παλινδρομική αντλία. (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

3.2.2 Περιστροφικές αντλίες μετατόπισης

Οι περιστροφικές αντλίες μετατόπισης είναι μια πολύ σημαντική κατηγορία αντλιών με πάμπολλες εφαρμογές στη βιομηχανία. Το ευρύτετο πεδίο εφαρμογών τους εκτείνεται σε κάθε είδους καθαρό υγρά που έχει κάποια λιπαντική ικανότητα και επαρκές ιξώδες για να αποφευχθεί η υπερβολική διαρροή μέσα από τα διάκενα στην απαιτούμενη πίεση. Γενικά χρησιμοποιούνται για μικρές παροχές και μέσες πιέσεις. Είναι ελαφρές και μικρού όγκου και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία τύπων.

Η αντλία με ολισθαίνοντες σύρτες (σχήμα 9α) είναι ένας αντιπροσωπευτικός τύπος αυτής της κατηγορίας. Ο συμπαγής ρότορας (1) με ακτινικές εγκοπές σταθερού πλάτους έχει μια έκκεντρη τοποθέτηση μέσα στο κέλυφος (2). Ο άξονας του ρότορα (1) βγαίνει έξω από το κέλυφος μέσα από στυπιοθλίπτη και συνδέεται με τον άξονα του κινητήρα. Οι εγκοπές του ρότορα (1) φέρουν ορθογώνιους σύρτες (3) που ωθούνται από το κέντρο προς την περιφέρεια από τη φυγόκεντρη δύναμη. Καθώς ο ρότορας (1) περιστρέφεται, οι σύρτες (3) αναρροφούν υγρό από το στόμιο εισόδου (4) και το καταθλίβουν μέσα από το στόμιο εξόδου (5). Η αναρρόφηση επιτυγχάνεται γιατί ο όγκος του θαλάμου που βρίσκεται προς την πλευρά της αναρρόφησης αυξάνεται και γεμίζει με το υγρό. Αντίθετα ο όγκος αυτός μικραίνει όσο ο σύρτης (3) προχωρεί προς την πλευρά της κατάθλιψης αυξάνοντας την πίεση του υγρού.

Ένας άλλος εξίσου αντιπροσωπευτικός τύπος των περιστροφικών αντλιών είναι η γριναζωτή αντλία (σχήμα 9β). Το διάκενο μεταξύ του ωοειδούς περιβλήματος (1) και των γριναζιών (2) είναι πολύ μικρό. Η κίνηση δίνεται στο ένα γριναζί ενώ το άλλο παρασύρεται από το πρώτο. Το υγρό εγκλωβίζεται ανάμεσα στο περίβλημα και τα κενά των δοντιών και μετατοπίζεται προς την κατάθλιψη. Τα δόντια που βρίσκονται συνεχώς σε επαφή εξασφαλίζουν τη στεγανότητα ανάμεσα στην αναρρόφηση και την κατάθλιψη.



Εικόνα 3.8: Περιστροφική αντλία. (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

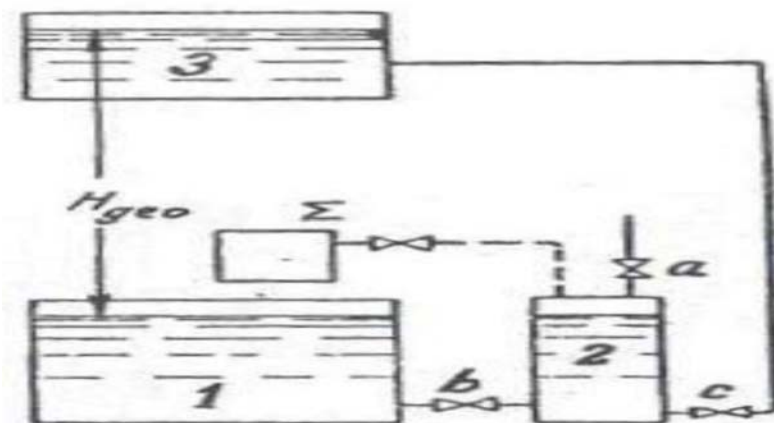
3.3 Πνευματικές αντλίες

Η τρίτη κατηγορία αντλιών σύμφωνα με βάση την αρχή λειτουργίας είναι οι πνευματικές αντλίες ορίζουμε σαν πνευματικές αντλίες, τις αντλίες στις οποίες η ενέργεια μεταδίδεται στο υγρό από αέρα (ή κάποιο άλλο αέριο) που έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό. Διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

- 1) Πιεστικού θαλάμου
- 2) ανύψωσης με αέρα
- 3) εγχυτήρες αερίου

3.3.1 Αντλίες πιεστικού θαλάμου

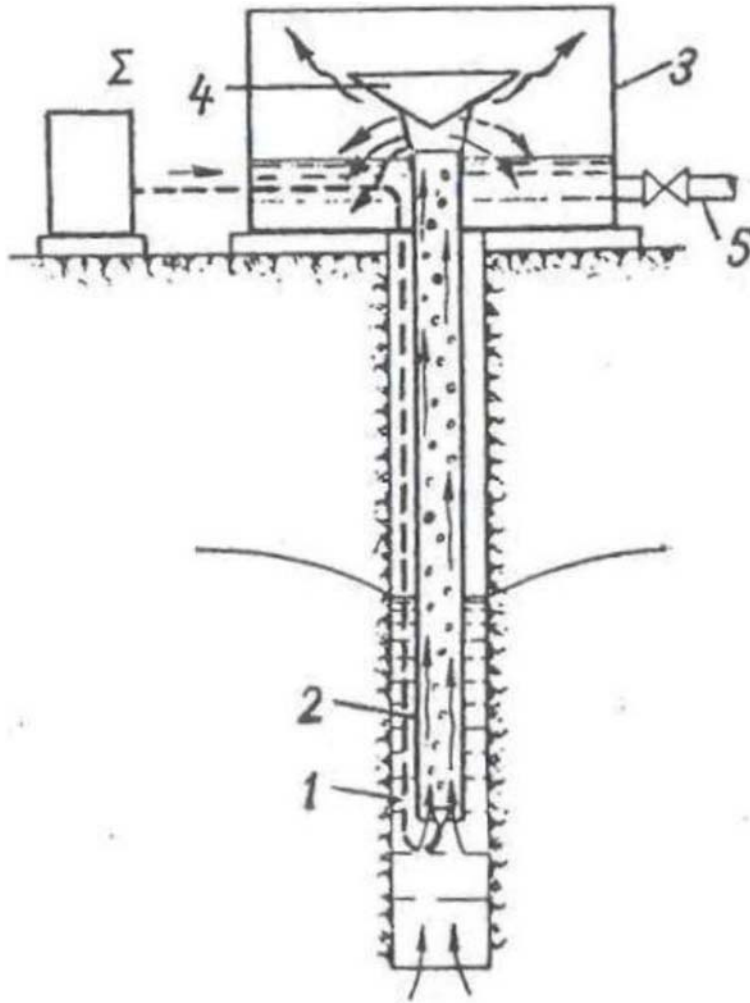
Στην εικόνα 3.9 φαίνεται σχηματικά μια τέτοια αντλία. Από τη δεξαμενή (1) το υγρό ανυψώνεται στη δεξαμενή (3) σε ύψος H_{geo} με τη χρήση του αεροσυμπιεστή (Σ) και του πιεστικού θαλάμου (2). Με τον αεροσυμπιεστή κλειστό και τις βαλβίδες (α) και (b) ανοικτές ο πιεστικός θάλαμος γεμίζει με υγρό από τη δεξαμενή (1). Οι βαλβίδες κλείνονται κατόπιν και ξεκινά ο αεροσυμπιεστής. Η πίεση του αέρα που εξασκείται στην επιφάνεια του υγρού μέσα στον πιεστικό θάλαμο το καταθλίβει μέσα από την ανοιχτή βαλβίδα (ο) στη δεξαμενή (3). Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται περιοδικά και μπορεί να αυτοματοποιηθεί.



Εικόνα 3.9: Αντλία πιεστικού Θαλάμου. (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

3.3.2 Αντλίες ανύψωσης με αέρα

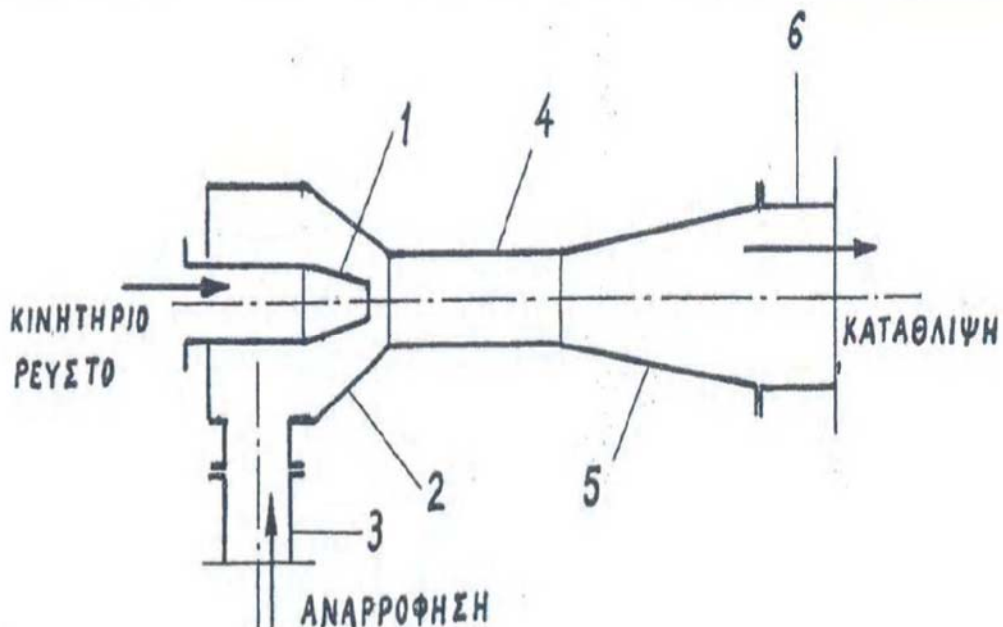
Σχηματική παράσταση μιας αντλητικής εγκατάστασης ανύψωσης με αέρα φαίνεται στο σχήμα 10β. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται για την άντληση νερού ή πετρελαίου από γεωτρήσεις μικρού βάθους, θερμών υπόγειων νερών, ανύψωση διαβρωτικών υγρών ή υγρών που περιέχουν άμμο κ.ά. Το μεγαλύτερο ίσως μειονέκτημα των αντλιών ανύψωσης με αέρα είναι ο μικρός βαθμός απόδοσης ($\eta=0,26-0,35$). Στη γεώτρηση του σχήματος 22 ο σωλήνας ανύψωσης νερού (2) είναι κατεβασμένος μέσα στον εξωτερικό σωλήνα (1). Αέρας από τον αεροσυμπιεστή (Σ) φθάνει με πίεση στο κάτω άκρο του σωλήνα (1) μέσα από το σωλήνα αέρα που φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή. Μέσα από ειδικά διαμορφωμένο στόμιο αναμιγνύεται με το νερό και σχηματίζει ένα μίγμα νερού - αέρα μέσα στο σωλήνα ανύψωσης (2). Το μίγμα αυτό έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το νερό που βρίσκεται εξωτερικά του σωλήνα (2). Λόγω της αρχής των συγκοινωνούντων δοχείων η στήλη του μίγματος ανυψώνεται. Ο σωλήνας (2) βυθίζεται σε τέτοιο βάθος κάτω από τη στάθμη του νερού, ώστε η στήλη του μίγματος να ανυψώνεται λίγο πιο πάνω από το άνω άκρο του σωλήνα (2). Καθώς το μίγμα χτυπά πάνω στον κώνο (4) διαχωρίζεται ο αέρας από το νερό και το νερό συγκεντρώνεται στον συλλέκτη (3) απ' όπου ρέει προς τον σωλήνα (5).



Εικόνα 3.10: Σχηματική λειτουργία πιεστικού Θαλάμου και σχηματική διάταξη άντλησης με ανύψωση αέρα. (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

3.3.3 Εγχυτήρες (τζιφάρια)

Την τελευταία κατηγορία αντλιών με βάση την κατάταξη του σχήματος 4 αποτελούν οι εγχυτήρες (εικόνα 3.11). Στους εγχυτήρες η ενέργεια μεταδίδεται από ένα ρευστό (υγρό ή αέριο) που λέγεται κινητήριο ρευστό σε ένα άλλο ρευστό, το αντλούμενο ρευστό, που κατά τη λειτουργία του εγχυτήρα αναμιγνύεται με το κινητήριο. Αν το κινητήριο ρευστό είναι αέριο (π.χ. αέρας ή ατμός) ο εγχυτήρας λέγεται εγχυτήρας αερίου. Επειδή εξ ορισμού οι αντλίες είναι διακινητές υγρών, για να ονομασθεί ένας εγχυτήρας «αντλία» πρέπει το αντλούμενο ρευστό να είναι υγρό. Επειδή στους εγχυτήρες υγρού—υγρού η ανάμιξη κινητηρίου και αντλούμενου υγρού δεν πρέπει να αποτελεί πρόβλημα, συνήθως αυτά συμπίπτουν π.χ. το κινητήριο και το αντλούμενο υγρό είναι νερό.



Εικόνα 3.11: Εγχυτήρας. (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

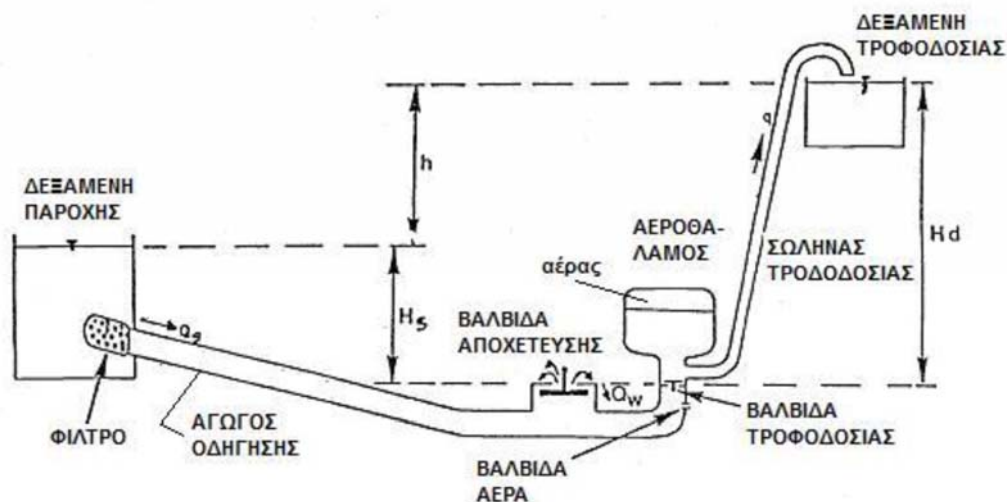
3.4 Αντλία Ram

Η υδραυλική αντλία Ram είναι μια αντλία η οποία χρησιμοποιεί την ενέργεια της πτώσης μιας ποσότητας νερού για να αντλήσει και να ανυψώσει ένα τμήμα του νερού αυτού σε ένα άλλο σημείο υψηλότερο από εκείνο της αρχικής του πηγής. Είναι απαραίτητο να έχουμε τουλάχιστον 1 μέτρο ύψος της αρχικής ποσότητας νερού το οποίο μπορεί να είναι είτε από φυσική πηγή (ποτάμι, ρυάκι) είτε από ένα φράγμα.

Καμία άλλη πηγή ενέργειας δεν απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας και όσο υπάρχει συνεχόμενη ροή πτώσης του νερού, τόσο η αντλία θα λειτουργεί αυτόματα και συνεχόμενα. Η επαρκής τροφοδοσία νερού στον αγροτικό πληθυσμό ήταν ένα κύριο πρόβλημα ακόμα και στις πιο προηγμένες χώρες. Καύσιμη ύλη, συντήρηση αλλά και το κόστος της λειτουργίας του συμβατικού αντλητικού συστήματος έκανε απαγορευτική την χρήση του.

Οι υδραυλικές αντλίες Ram είναι ένας εναλλακτικός μηχανισμός άντλησης νερού ο οποίος χρησιμοποιεί σχετικά απλή τεχνολογία και η ανανεώσιμη ενέργειά του το κάνει ανθεκτικό στον χρόνο. Η Ram έχει μόνο δύο κινούμενα μέρη τα οποία μπορούν εύκολα να συντηρηθούν. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται στις αγροτικές περιοχές των ανεπτυγμένων χωρών όπου το ηλεκτρικό ρεύμα είναι οικονομικά δυσπρόσιτο.

Οι Ram βρίσκουν εφαρμογή στην τροφοδοσία της κτηνοτροφίας, σε σπίατα, σε κοινότητες και σε μικρής κλίμακας αρδευτικές περιοχές. Η ποσότητα του νερού που θα διανεμηθεί αλλά και το ύψος αυτού εξαρτάται από την πηγή του νερού αλλά και από τη μορφολογία του εδάφους.



Εικόνα 3.12: Εξαρτήματα μιας εγκατάστασης Ram (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Αναφορικά στην Εικόνα 3.11 η ορμή του υγρού που παρέχεται στο σύστημα αναγράφεται ως (Qs), (Hs) ονομάζουμε το μανομετρικό ύψος της πηγής με την αντλία, (q) ένα μέρος του νερού που αντλείται, (Hd) το ύψος του αγωγού που μεταφέρει το αντλούμενο νερό, (Qw) είναι το μη χρησιμοποιηθέν νερό και τέλος το (h) είναι το κερδισμένο ύψος από την κατάθλιψη της αντλίας. Οι αντλίες Ram βρίσκουν εφαρμογή σε μέρη όπου υπάρχει σταθερή και σίγουρη πηγή νερού και επαρκής πτώση αυτού για την λειτουργία της. Οι εμπορικές αντλίες Ram οι οποίες κυρίως κατασκευάζονται σε ανεπτυγμένες χώρες είναι γνωστές για πολλά χρόνια. Παρόλα αυτά οι εμπορικές αντλίες είναι ακριβές αλλά υπάρχει μια αυξανόμενη τάση στην ανάπτυξη και στον σχεδιασμό μικρότερων, ελαφρύτερων και χαμηλού κόστους.

Η υδραυλική αντλία Ram αν και απλή στην σχεδίαση έχοντας μόνο δυο κινούμενα μέρη, η λειτουργία της δεν είναι τόσο εύκολα κατανοητή. Σαν αποτέλεσμα, έχει προσελκύσει πολλούς ερευνητές οι οποίοι προσπαθούν να αναπτύξουν αναλυτικά μοντέλα για την λειτουργία της.

Επειδή όμως οι ερευνητές έχουν έδρα τις ανεπτυγμένες χώρες, οι χώρες αυτές δεν παρέχουν εύκολη πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες και η τεχνολογία της αντλίας δεν είναι ευρέως γνωστή στην χρήση.

Ένα σημαντικό στοιχείο στην όλη μελέτη είναι πώς αλλάζει η ροή του νερού (υδατορεύματα) κατά την διάρκεια μιας πλημμύρας. Αν και κατά την διάρκεια της άνοιξης το σύστημα είναι λιγότερο ευπαθές σε υπερβολικές πλημμύρες, είναι όμως σημαντικό να ερευνησουμε και να γνωρίζουμε τα πιθανά προβλήματα που θα μας δημιουργηθούν στην διάρκεια μιας πλημμύρας την εποχή της άνοιξης.

Σε καιρούς πολύς βαριάς βροχόπτωσης, τα υδατορεύματα μπορούν να φουσκώσουν πολλές φορές κατά τη ροή τους ακόμα και σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Σχεδιάζοντας το σύστημα σωληνώσεων πρέπει να πάρουμε υπόψη τις χειρότερες καιρικές συνθήκες, ακόμα και αν αυτές κρατούν μόνο λίγες ώρες το χρόνο.

Σημαντική πηγή πληροφοριών για αυτές τις συνθήκες είναι οι τοπικοί κάτοικοι οι οποίοι μας πληροφορούν πόσο ψηλά φτάνει το νερό κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας.

Παρόλα αυτά πρέπει να κρατήσουμε το όλο σύστημα πάνω από το μέγιστο επίπεδο του νερού για να αποφύγουμε ανεπιθύμητες καταστροφές.

Η επιλογή της τοποθεσίας πρέπει να γίνει σε δύο στάδια, μια προκαταρκτική αξιολόγηση της πιθανής τοποθεσίας, και μια πλήρης έρευνα για την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας. Εν συντομία η προκαταρκτική έρευνα πρέπει να περιέχει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Διαβούλευση για σχετικούς χάρτες και υδρολογικές μελέτες.
- Επίσκεψη στην πιθανή τοποθεσία για την δημιουργία προκαταρκτικής αξιολόγησης και τη συμβουλή από ντόπιους κατοίκους.
- Επιλογή ενός ή περισσοτέρων τόπων με υψηλό δυναμικό που θα ερευνηθούν πλήρως.

Η πλήρης έρευνα της επιλεγθείσας τοποθεσίας πρέπει να είναι επαρκής, λεπτομερής και να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για μια ακριβή σχεδίαση του συστήματος.

Οι παρακάτω πληροφορίες είναι απαραίτητες για τη μελέτη :

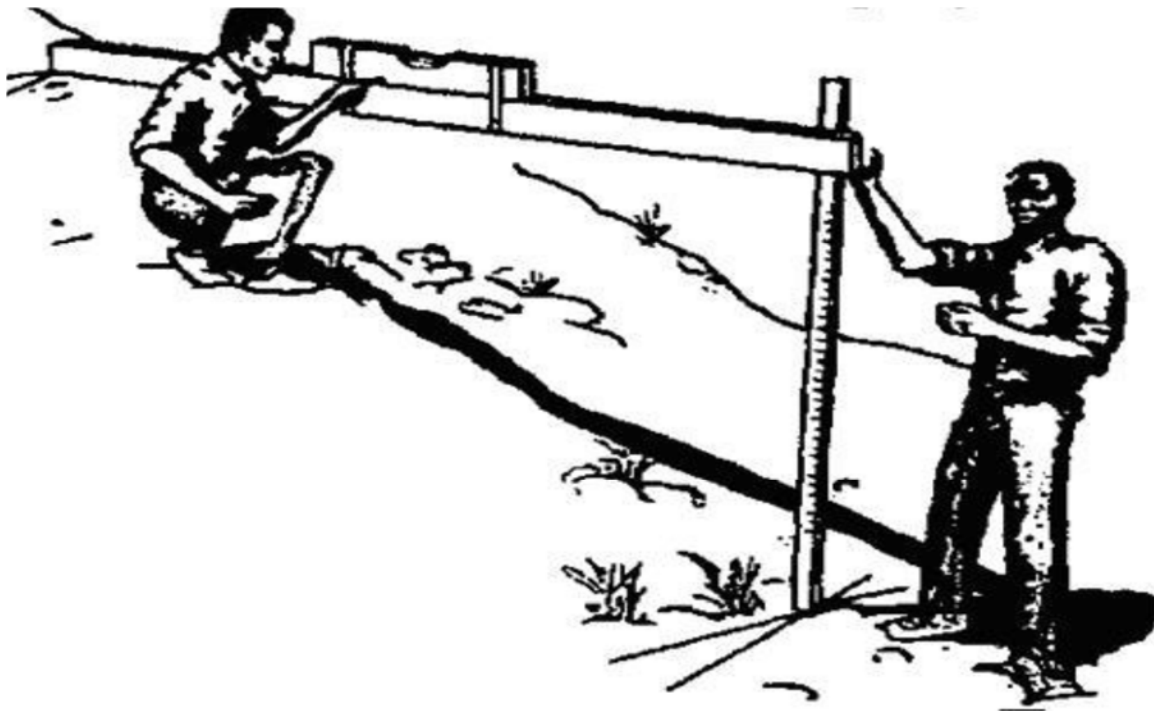
Παροχή του νερού της πηγής: Η μελέτη πρέπει να γίνει με τη μικρότερη ροή του νερού της πηγής σε έναν κανονικό χρόνο και η μέτρηση πρέπει να υπολογιστή κατά την διάρκεια της

ξηρής εποχής. Προκειμένου να διασφαλίσουμε το αντιπροσωπευτικό ποσοστό για την ελάχιστη ροή, απαιτείται η συμβουλή των ντόπιων κατοίκων για το ιστορική της παροχής τα τελευταία χρόνια. Κάποια ένδειξη για την μέγιστη αναμενόμενη ροή πρέπει να λαμβάνεται.

Κεντρική ροή : Πρέπει να υπολογιστεί η μέγιστη πιθανή ροή του τόπου ή ο μέσος όρος γωνίας του αγωγού από την πηγή έως την αντλία.

Ροή κατάθλιψης : Το ύψος της πηγής του νερού από το σημείο που θα διανεμηθεί πρέπει να υπολογιστεί. Αυτό θα παρέχει μια πρόχειρη εκτίμηση της ροής αλλά για περισσότερη ακρίβεια η κεντρική ροή θα πρέπει να προστεθεί στο ποσό αυτό για να δώσει την πραγματική ροή κατάθλιψης.

Απαίτηση νερού: Αυτή η ένδειξη πρέπει να υπολογιστεί αναφορικά με τον πληθυσμό που θα εξυπηρετεί (επιτρέποντας και την ανάπτυξη) ή την περιοχή που θα αρδεύσει.

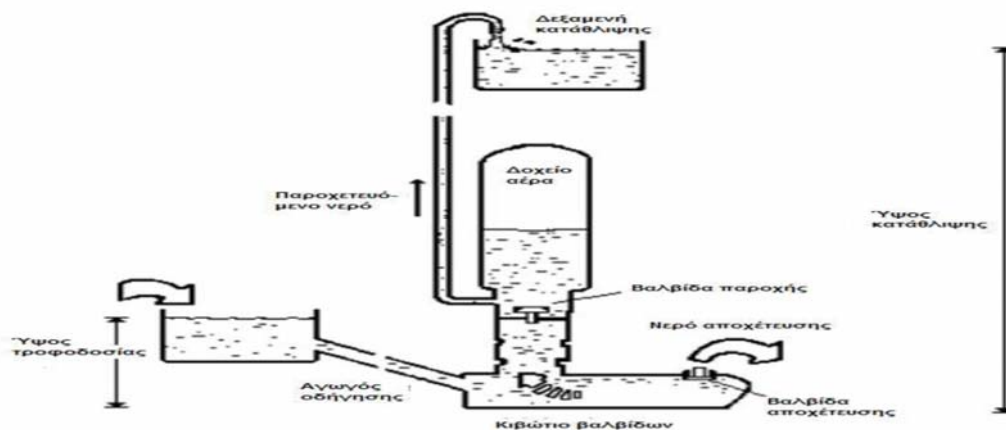


Εικόνα 3.12: Απλή μέθοδος για τον καθορισμό ύψους (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, “Αντλίες και Σωληνώσεις”, Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

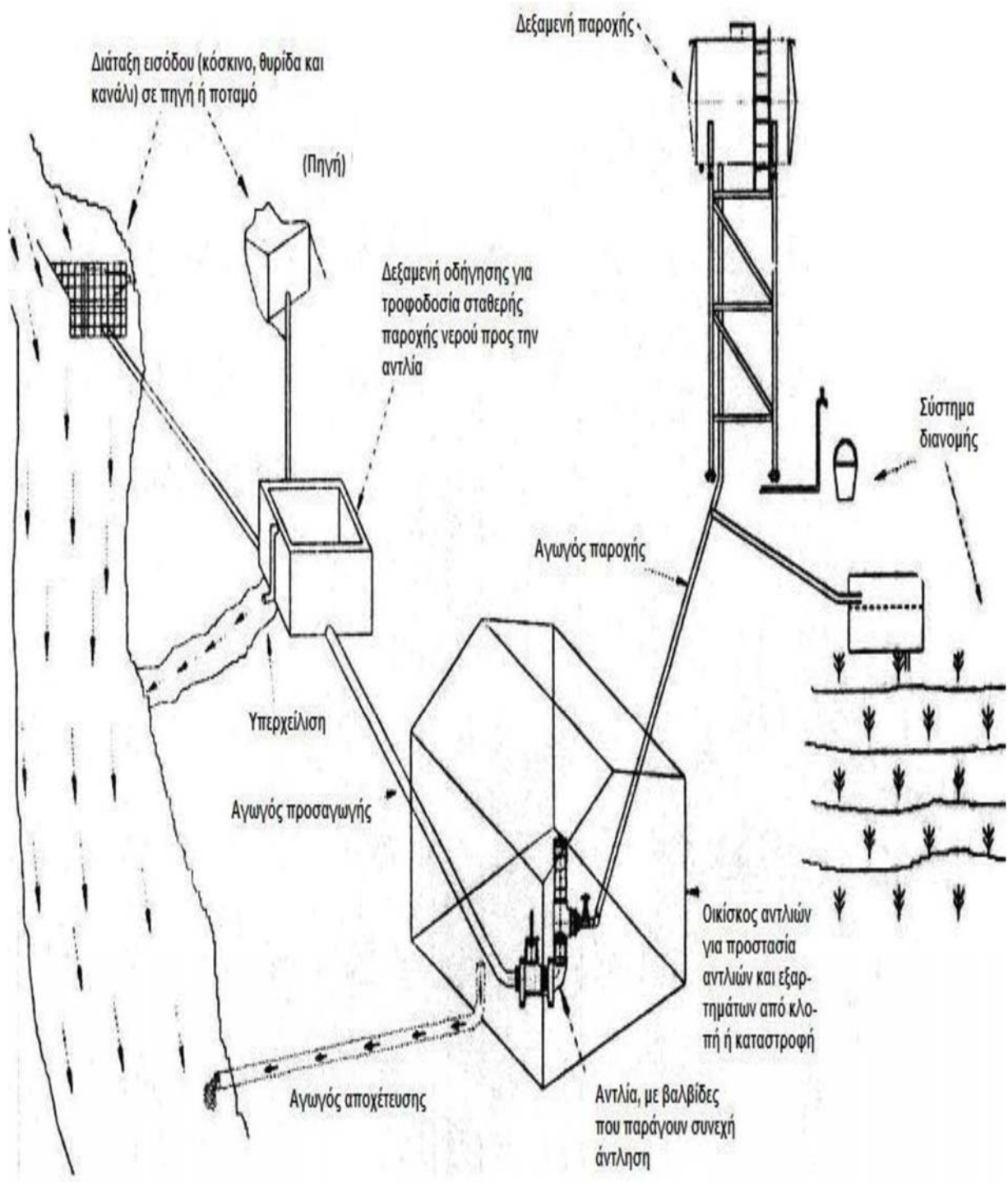
Έχουμε ήδη αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια ότι η αντλία Ram είναι μια μοναδική συσκευή η οποία χρησιμοποιεί την ενέργεια της ροής από την πτώση μιας ποσότητας νερού, από ένα επίπεδο, και ως κινητήρια δύναμη ένα μέρος της ποσότητας αυτής το καταθλίβει σε ένα πιο υψηλό επίπεδο από την αρχική πηγή του. Με την συνεχή ροή του νερού η αντλία λειτουργεί αυτόματα και συνεχώς χωρίς καμία άλλη εξωτερική πηγή ενέργειας.

Θα ακολουθήσουν λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας σε αυτό το κεφάλαιο.

Η αντλία Ram είναι πολύ απλή δομικά αποτελούμενη από δύο κινητά μέρη: από την βαλβίδα αποβλήτων (waste valve) και από την βαλβίδα μεταφοράς (delivery valve). Το σύστημα περιέχει επίσης έναν θάλαμο αέρα (air chamber) και μια βαλβίδα αέρος (sifter valve). Η λειτουργία της αντλίας είναι διακοπτόμενη λόγω του κυκλικού ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας αποβλήτων και της βαλβίδας μεταφοράς. Το κλείσιμο της βαλβίδας αποβλήτων δημιουργεί υψηλή πίεση η οποία αυξάνεται στο σωλήνα αναρρόφησης (drive pipe). Ένας θάλαμος αέρος είναι απαραίτητος για την πρόληψη της υψηλής διαλείπουσας ροής κατά το συνεχόμενο ρεύμα ροής. Η βαλβίδα αέρος επιτρέπει αέρα μέσα στην αντλία για να αντικαθιστά τον αέρα που απορροφάται από το νερό λόγω της υψηλής πίεσης και μίξης στον θάλαμο του αέρα.



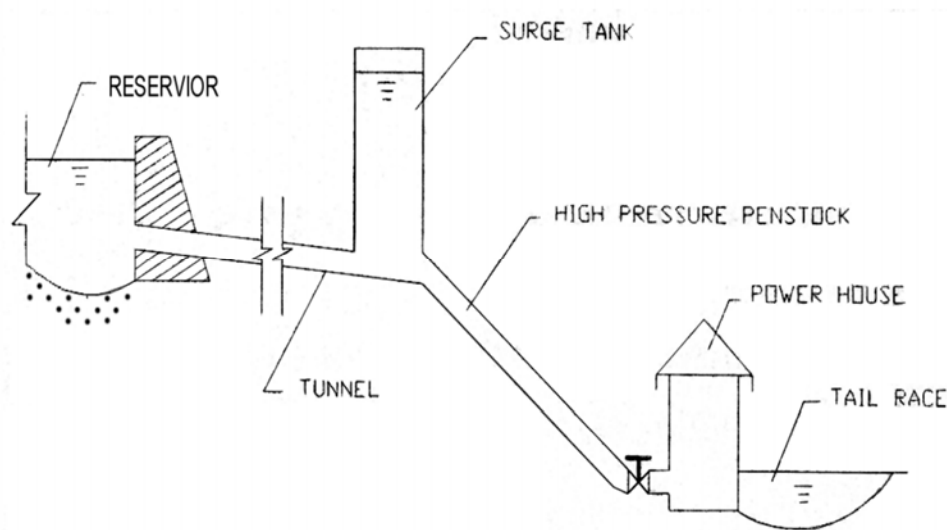
Εικόνα 3.13: Σχηματικό διάγραμμα της αντλίας Ram (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)



Εικόνα 3.14: Συστατικά ενός αντλητικού συστήματος (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Για να εξηγήσουμε την αρχή λειτουργίας μιας αντλίας Ram, βοηθά σε μεγάλο βαθμό να έχουμε μια εικόνα για τη λειτουργία μιας δεξαμενής από ένα σύστημα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Σε μια εγκατάσταση υδροηλεκτρικής ενέργειας, κάθε φορά που υπάρχει μια απότομη απόρριψη φορτίου από την ισχύ του συστήματος, οι χειριστές του υδροστροβίλου ρυθμίζουν την είσοδο του νερού στο στρόβιλο σε λίγα δευτερόλεπτα, ώστε να αποφεύγεται η μεταβολή της συχνότητας. Το ξαφνικό κλείσιμο της βαλβίδας δημιουργεί υψηλές διακυμάνσεις της πίεσης στον αγωγό προσαγωγής που συχνά συνοδεύεται από επαναλαμβανόμενο θόρυβο σαν σφυρηλάτηση μετάλλου γνωστό υδραυλικό πλήγμα ή φαινόμενο κριού.



Εικόνα 3.15: Δεξαμενές κύματος (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Για την αποφυγή του υδραυλικού πλήγματος, μια δεξαμενή έχει εγκατασταθεί μεταξύ του φράγματος και του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στην είσοδο του νερού του αγωγού πτώσης. Η κύρια λειτουργία της δεξαμενής κύματος είναι η προστασία του συστήματος της χαμηλής πίεσης αγωγού / σήραγγα από τις υψηλές εσωτερικές πιέσεις.

Η δεξαμενή αυτή, ως εκ τούτου, μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούμε αγωγούς μικρότερου πάχους ή σήραγγας, συνήθως λειτουργεί για λίγα χιλιόμετρα από το μήκος, καθιστώντας το σύστημα λιγότερο ακριβό.

Ωστόσο, αναπόφευκτα, ο αγωγός πτώσης πρέπει να είναι σχεδιασμένος για να αντέχει την υψηλή πίεση που θα δημιουργηθεί από το υδραυλικό πλήγμα, και απαιτεί τη χρήση σωλήνων με χοντρά τοιχώματα. Στην εφαρμογή αυτή, το υδραυλικό πλήγμα έχει αρνητικό αντίκτυπο. Παρ' όλα αυτά, αυτό το ίδιο φαινόμενο χρησιμοποιείται για την ανύψωση σε μια Ram.

3.4.1 Αρχή λειτουργίας των υδραυλικών αντλιών ram

Ο κύκλος λειτουργίας των αντλιών μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις φάσεις: την επιτάχυνση, την παράδοση και την ανάκρουση.

Επιτάχυνση - Όταν η βαλβίδα αποβλήτων είναι ανοικτή, το νερό επιταχύνει κάτω από το σωλήνα κίνησης (drive pipe) και το καταθλίβει μέσω της ανοικτής βαλβίδας. Καθώς η ροή αυξάνεται, φτάνει την ταχύτητα σε σημείο όπου η δύναμη αντίστασης να είναι επαρκής για να ξεκινήσει το κλείσιμο της βαλβίδας. Μόλις έχει αρχίσει να κινούνται, η βαλβίδα κλείνει πολύ γρήγορα.

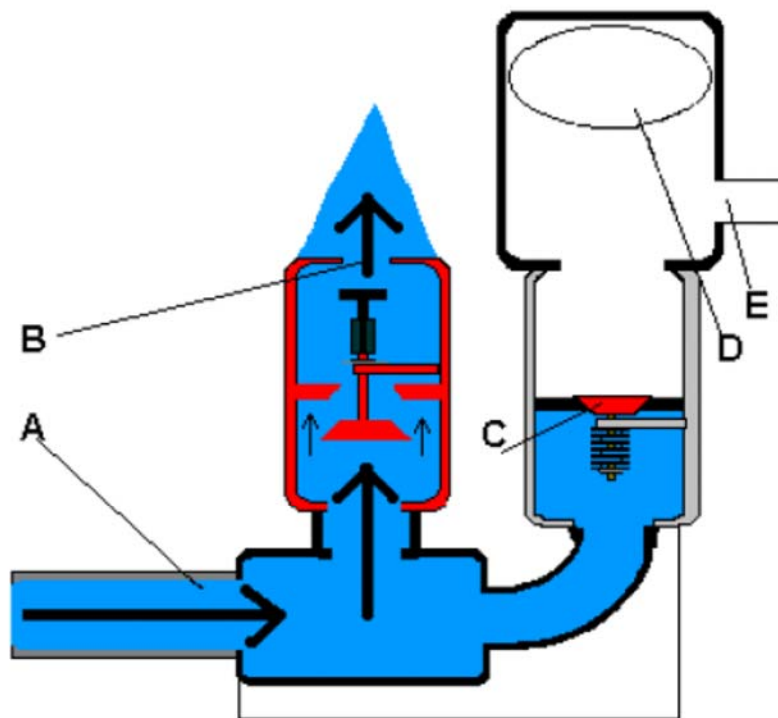
Παράδοση - Δεδομένου ότι η βαλβίδα αποβλήτων κλείνει ορμητικά, σταματά η ροή του νερού μέσα από αυτό. Το νερό που έρχεται στο σωλήνα κίνησης έχει σημαντική δυναμική (ενέργεια) που έχει για να διαχέεται. Για ένα κλάσμα του δευτερολέπτου, το νερό στο σώμα της αντλίας είναι συμπιεσμένο προκαλώντας ένα μεγάλο κύμα πίεσης. Αυτό το είδος της αύξησης της πίεσης είναι γνωστό ως υδραυλικό πλήγμα. Καθώς η πίεση ανεβαίνει υψηλότερα από ότι στον αεροθάλαμο, ωθεί το νερό μέσω της βαλβίδας διανομής (βαλβίδα αντεπιστροφής). Η βαλβίδα διανομής παραμένει ανοικτή μέχρι το νερό στο σωλήνα κίνησης να έχει σχεδόν εντελώς επιβραδυνθεί και η πίεση στο σώμα της αντλίας να πέσει κάτω από την πίεση παράδοσης. Η βαλβίδα παροχής κλείνει στη συνέχεια, διακόπτοντας οποιαδήποτε αντιστροφή ροής από το δοχείο αέρα στην αντλία και το σωλήνα κίνησης.

Ανάκρουση - Η υπολειπόμενη ροή στο σωλήνα κίνησης ανακρούει στην κλειστή βαλβίδα παράδοσης - όπως σαν μια μπάλα που αναπηδά πίσω. Αυτό προκαλεί την πίεση στο σώμα της αντλίας να πέσει αρκετά χαμηλά και η βαλβίδα αποβλήτων να ανοίξει εκ νέου. Ο αέρας που βρίσκεται κάτω από τη βαλβίδα παράδοσης μέχρι την επομένη του κύκλου, όταν αντλείται με το νερό παράδοσης μέσα στον θάλαμο του αέρα. Αυτό εξασφαλίζει ότι το δοχείο του αέρα παραμένει γεμάτο αέρα. Όταν η ενέργεια ανάκρουσης έχει τελειώσει, το νερό αρχίζει να επιταχύνει κάτω από το σωλήνα κίνησης και έξω από την ανοικτή βαλβίδα απόβλητων, αρχίζοντας τον κύκλο ξανά. Καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου η πίεση στο δοχείο αέρα ωθεί σταθερά το νερό προς το σωλήνα παράδοσης. Το δοχείο αέρα ομαλοποιεί τη ροή μέσα από την βαλβίδα παράδοσης σε μια ακόμη εκροή μέχρι το σωλήνα παράδοσης. Ο αντλητικός κύκλος συμβαίνει πολύ γρήγορα, συνήθως 40 με 120 φορές το λεπτό.

Κατά τη διάρκεια κάθε αντλητικού κύκλου, μόνο μια μικρή ποσότητα νερού μπορεί να αντληθεί. Εντούτοις, κύκλο με τον κύκλο που συνεχίζεται για 24 ώρες, ένα σημαντικό ποσοστό του νερού που μπορεί να αντληθεί. Ενώ η αντλία Ram λειτουργεί, το νερό που ρέει από τη βαλβίδα

αποβλήτων πιτσιλά επάνω στο πάτωμα ή στο σώμα της αντλίας και θεωρείται απόβλητο νερό. Ο όρος "απόβλητο", πρέπει να γίνει κατανοητός. Παρά το γεγονός ότι τα απόβλητα νερά δεν καταθλίβονται από την αντλία Ram, είναι η ενέργεια αυτού του νερού που αντλεί το νερό που έχει παραδοθεί.

3.4.2 Λειτουργική ακολουθία της αντλίας τύπου Ram

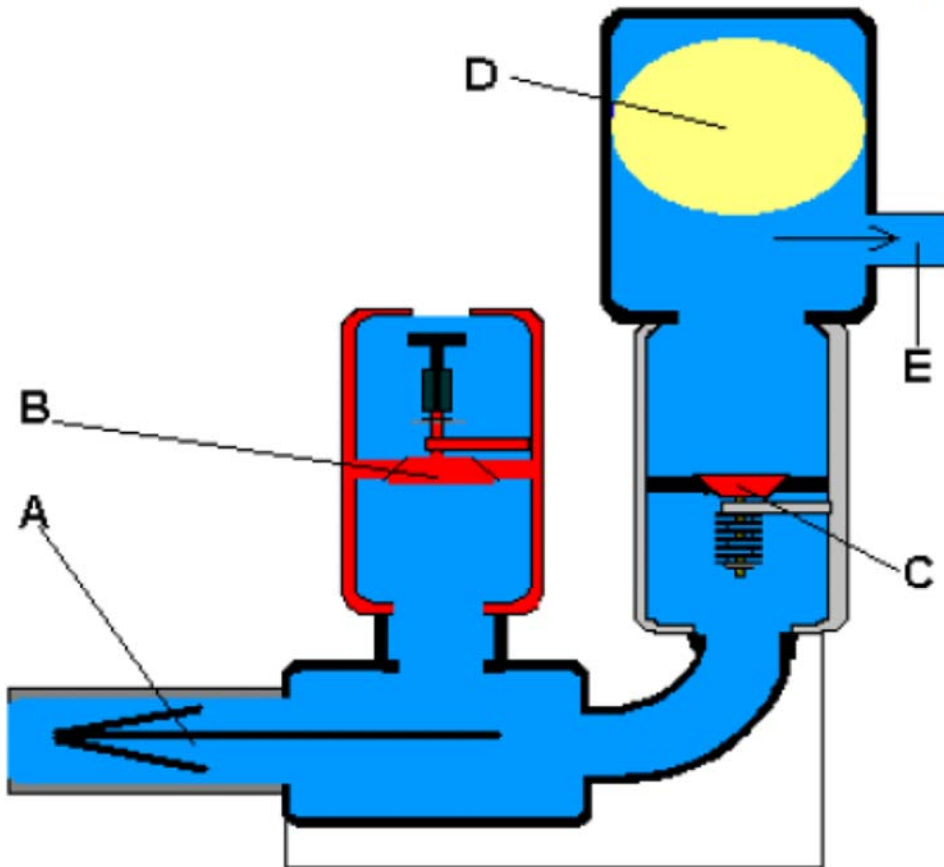


Εικόνα 3.16: Ακολουθία 1 (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Ακολουθία 1: Το νερό από την πηγή ρέει μέσω του σωλήνα κίνησης (A) στο σώμα της αντλίας Ram, γεμίζει αυτήν και αρχίζει να βγαίνει μέσα από την βαλβίδα αποβλήτων (ωθητική) (B).

Η βαλβίδα αντεπιστροφής (C) παραμένει σε κλειστή θέση τόσο από το ελατήριο όσο και από την πίεση του νερού στη δεξαμενή (D) και του σωλήνα παράδοσης (E).

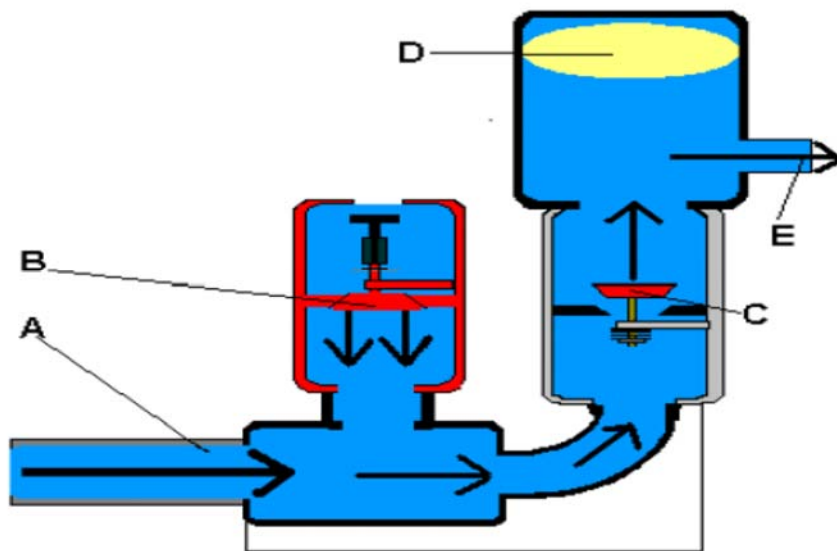
(Δεν υπάρχει νερό στη δεξαμενή πριν από την εκκίνηση) Σε αυτό το σημείο εκκίνησης, δεν υπάρχει πίεση στην δεξαμενή (D) και καμία ποσότητα νερού δεν παρέχεται μέσω του σωλήνα εξόδου (E), στην δεξαμενή προορισμού.



Εικόνα 3.17: Ακολουθία 2 (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

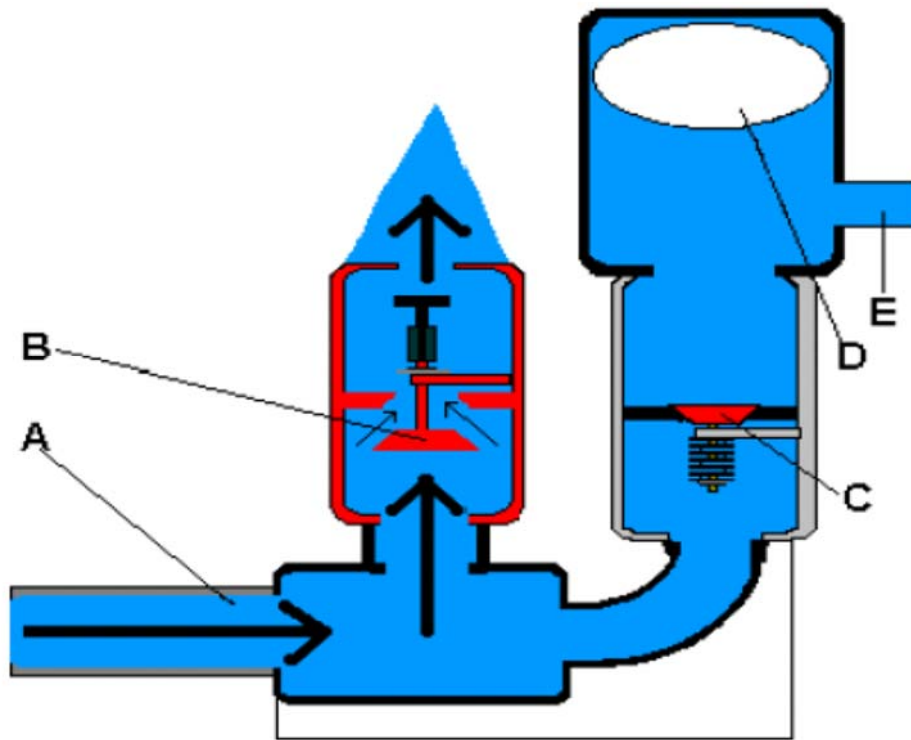
Ακολουθία 2: Το νερό εισέρχεται στην αντλία μέσω του σωλήνα κίνησης (A). Η ταχύτητα και η πίεση σε αυτήν τη στήλη νερού είναι να κατευθύνεται έξω από την βαλβίδα αποβλήτων (B), η οποία έχει υπερνικηθεί, με αποτέλεσμα να κλείσει ξαφνικά. Αυτό δημιουργεί μια στιγμιαία υψηλή πίεση "υδραυλικό πλήγμα" που με τη σειρά του ωθεί τη βαλβίδα αντεπιστροφής (C) για να ανοίξει επιτρέποντας υψηλής πίεσης νερό να εισαχθεί στη δεξαμενή πίεσης, (D).

Ο όγκος του αέρα στη δεξαμενή πίεσης είναι συμπιεσμένος προκαλώντας στο νερό να αρχίσει να ρέει προς το σωλήνα παράδοσης (E) και την ίδια στιγμή το κλείσιμο της βαλβίδας (C) δεν επιτρέπει στο νερό μια διαδρομή πίσω στο σώμα της αντλίας. Δεδομένου ότι ο όγκος του αέρα στη δεξαμενή πίεσης (D) συνεχίζει να μεγαλώνει εκ νέου, το νερό αναγκάζεται να κινηθεί προς το σωλήνα παράδοσης (E) και τη δεξαμενή παράδοσης.



Εικόνα 3.18: Ακολουθία 3 (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

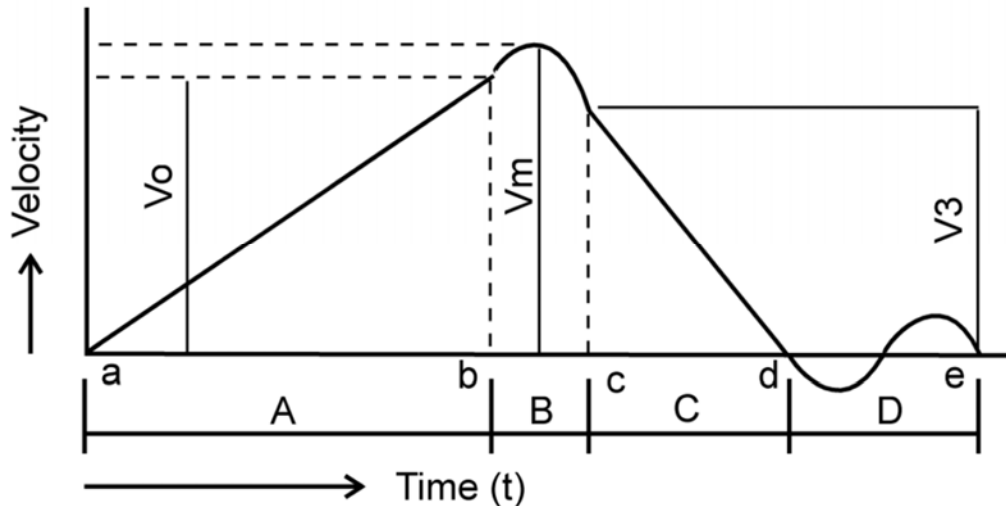
Ακολουθία 3: Το νερό έχει σταματήσει να ρέει μέσω του σωλήνα κίνησης (Α) ως «ωστικό κύμα» που δημιουργείται από το "υδραυλικό πλήγμα» ταξιδεύει πίσω στον αγωγό κίνησης για τη δεξαμενή τροφοδοσίας (απεικονίζεται νωρίτερα). Η βαλβίδα αποβλήτων (Β) είναι κλειστή. Όγκος του αέρα από τη δεξαμενή πίεσης (D) συνεχίζει να επεκτείνεται για να εξισωθεί η πίεση, ωθώντας μια μικρή ποσότητα νερού από το αγωγό παράδοσης (Ε).



Εικόνα 3.19: Ακολουθία 4 (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Ακολουθία 4: Το "ωστικό κύμα" φτάνει στη δεξαμενή παράδοσης . Η βαλβίδα αποβλήτων (B) ανοίγει και το νερό στον αγωγό κίνησης (A) αρχίζει να εισρέει στην αντλία και έξω από την βαλβίδα αποβλήτων (B). Η αντεπίστροφη βαλβίδα (C) παραμένει κλειστή. Ο όγκος του αέρα από τη δεξαμενή πίεσης (D) έχει σταθεροποιηθεί και το νερό έχει σταματήσει ρέει από το σωλήνα παράδοσης (E). Σε αυτό το σημείο η ακολουθία 1 αρχίζει ξανά από την αρχή.

3.4.3 Τεχνική λειτουργίας μια Ram



Εικόνα 3.20: Μεταβολή του χρόνου και της ταχύτητας στον αγωγό κίνησης. (Πηγή: Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.)

Για την ανάλυση, ο αντλητικός κύκλος μιας Ram χωρίζεται σε τέσσερις κύριες περιόδους, με βάση τη θέση της βαλβίδας αποβλήτων και τον μέσο όρο χρόνου- ταχύτητας στον αγωγό κίνησης.

- Η βαλβίδα αποβλήτων είναι ανοιχτή και το νερό αρχίζει να ρέει από την πηγή και να διαφεύγει μέσω της βαλβίδας αποβλήτων. Η ροή επιταχύνει υπό την επίδραση της παροχής, μέχρι ταχύτητα V_0 .
- Η βαλβίδα αποβλήτων συνεχίζει να κλείνει και, τέλος, κλείνει πλήρως. Για έναν καλό σχεδιασμό μιας Ram, το κλείσιμο της βαλβίδας πρέπει είναι ταχύ ή ακαριαίο.
- Η βαλβίδα αποβλήτων είναι πλήρως κλειστή και παραμένει κλειστή. Το ξαφνικό κλείσιμο δημιουργεί υψηλή πίεση στην αντλία και στη βαλβίδα ελέγχου που βρίσκεται πάνω από τη στατική πίεση παράδοσης. Η βαλβίδα ελέγχου αναγκάζεται να ανοίξει και η άντληση παίρνει μέρος έως ότου η ταχύτητα να γίνει μηδέν και η άντληση σταματά, υπό την καθυστερημένη επίδραση της πίεσης παράδοσης.
- Η βαλβίδα παράδοσης κλείνει. Η πίεση κοντά στη βαλβίδα ελέγχου είναι πολύ υψηλότερη από τη στατική πίεση της προσφοράς και η ροή αντιστρέφεται προς την κατεύθυνση της προσφερόμενης πηγή. Η δράση αυτή ονομάζεται ανάκρουση. Η δράση της ανάκρουση δημιουργεί ένα κενό στην αντλία, αναγκάζοντας προσωρινά μια μικρή ποσότητα αέρα να απορροφηθεί στην αντλία μέσω της βαλβίδας αέρος. Η πίεση στην κάτω πλευρά της βαλβίδας αποβλήτων, μειώνεται και μαζί με τη δράση του βάρους της, η βαλβίδα αποβλήτων ανοίγει αυτόματα. Το νερό του σωλήνα κίνησης επιστρέφει στην

στατική της πίεση προσφοράς, όπως και πριν αρχίσει τον επόμενο κύκλο. Η δράση αυτή επαναλαμβάνεται αυτόματα με συχνότητα από λίγους παλμούς έως σε περισσότερες από 300 παλμούς ανά λεπτό.

3.4.4 Εφαρμογές και περιορισμοί

Για κάθε συγκεκριμένη τοποθεσία, υπάρχουν συνήθως μια σειρά πιθανών επιλογών ανύψωσης του νερού. Η επιλογή μεταξύ αυτών περιλαμβάνει την εξέταση πολλών διαφορετικών παραγόντων. Οι αντλίες τύπου Ram σε ορισμένες συνθήκες έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μορφές ανύψωσης, αλλά σε άλλες, μπορεί να είναι εντελώς ακατάλληλες. Τα κύρια πλεονεκτήματα της αντλίας Ram είναι:

- Χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξασφαλίζοντας χαμηλό κόστος συντήρησης.
- Αντλώντας μόνο μια μικρή αναλογία από την διαθέσιμη ροή έχει χαμηλές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η απλότητα και η αξιοπιστία δίνουν χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης
- Υπάρχουν πολλές δυνατότητες για την τοπική παραγωγή στην αγροτική περιοχή.
- Αυτόματα, η συνεχής λειτουργία δεν απαιτεί καμία επίβλεψη ή την ανθρώπινη παρουσία.

Οι βασικοί περιορισμοί είναι οι εξής:

- Περιορίζονται σε λοφώδεις περιοχές με την ετήσια κυκλοφορία του νερού.
- Αντλείται μόνο ένα μικρό μέρος της διαθέσιμης ροής και ως εκ τούτου απαιτείται πηγή νερού με μεγάλα αποθέματα ροής απ'ότι στην πραγματικότητα θα παραδοθούν.
- Μπορεί να έχουν υψηλό κόστος κεφαλαίου σε σχέση με άλλες τεχνολογίες
- Περιορίζονται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας, συνήθως μέχρι 1 KW, αλλά αυτό απαιτεί οικονομικές ή άλλες σκοπιμότητες.

Ειδικές περιπτώσεις στις οποίες οι άλλες τεχνολογίες μπορεί να αποδειχθούν πιο κατάλληλες είναι οι εξής:

- Το έδαφος όπου ρέματα πέφτουν πολύ γρήγορα, μπορεί να είναι δυνατό να εξαχθεί νερό σε ένα σημείο πάνω από τον τόπο παράδοσης ή άρδευσης και να τον τροφοδοτεί λόγω της βαρύτητας.
- Αν οι ανάγκες σε νερό είναι μεγάλες και υπάρχει μια μεγάλη πηγή πτώσης νερού κοντά στην περιοχή, ένας συνδυασμός στροβίλου – αντλίας μπορεί να προσφέρει την καλύτερη λύση. Πολλές αντλίες ram θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα για να δώσουν την απαιτούμενη απόδοση, αλλά σε ενέργεια πάνω από 2KW ένα σύστημα με στρόβιλο-αντλία είναι συνήθως φθηνότερο.

- Σε μικρής κλίμακας εγχώριας παροχής νερού, η επιλογή μπορεί συχνά να είναι μεταξύ μιας αντλίας Ram σε ένα ρεύμα ή με τη χρήση των υπόγειων υδάτων. Επιφανειακά ύδατα θα πρέπει συχνά να φιλτράρονται ή να υφίστανται επεξεργασία για ανθρώπινη κατανάλωση, αυξάνοντας το κόστος ενός συστήματος και απαιτούν τακτική συντήρηση των φίλτρων. Υπό αυτές τις συνθήκες, το να επιλέξετε μια αντλία Ram, πρέπει να εξεταστούν τα οικονομικά κριτήρια σε σχέση με άλλες τεχνολογίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

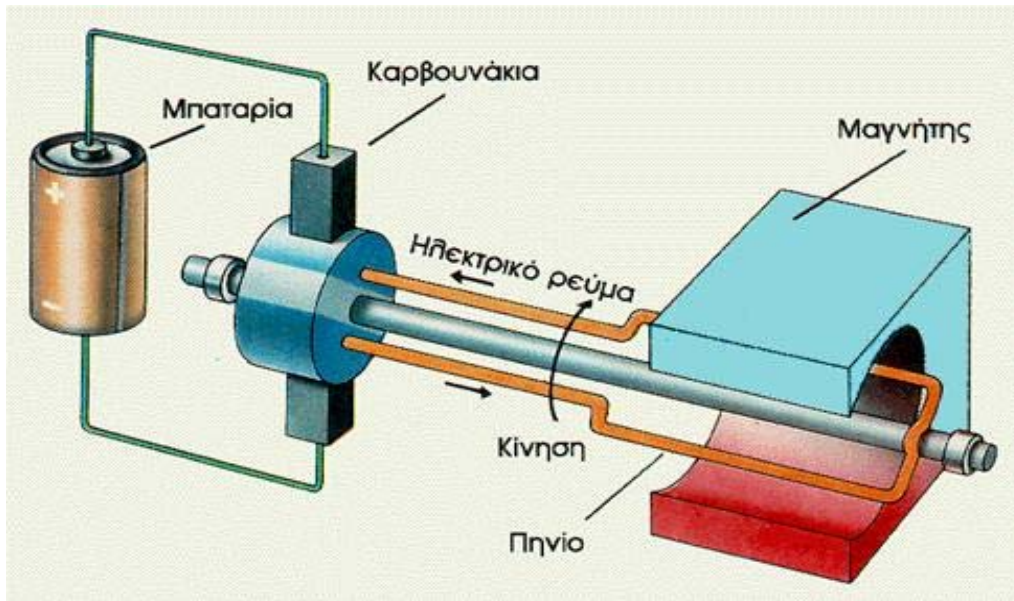
ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

4.1 Εισαγωγή στους Ηλεκτρικούς Κινητήρες

Η αλληλοσύνδεση του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού είναι ένα γεγονός που προώθησε την επιστημονική έρευνα και επέφερε σημαντικές αλλαγές στην καθημερινή μας ζωή. Σ' αυτόν φείλονται ο ηλεκτροκινητήρας, ο ηλεκτρομαγνήτης, οι ασύρματες επικοινωνίες κ.λ.π. Τη συγγένεια των ηλεκτρικών και μαγνητικών δυνάμεων διαπίστωσε πρώτος ο Έρστεντ (Hans Christian Oersted). Αυτό έγινε τυχαία όταν, καθώς έδινε μια διάλεξη, συνέδεσε ένα σύρμα με τους πόλους μιας μπαταρίας. Προς μεγάλη του έκπληξη παρατήρησε ότι η βελόνα μιας πυξίδας που βρισκόταν κοντά στο σύρμα στράφηκε από την αρχική της θέση. Έτσι ο Δανός φυσικός συνειδητοποίησε ότι ο ηλεκτρισμός μπορούσε να παράγει μαγνητισμό. Τις παρατηρήσεις του Έρστεντ περιέγραψε και ερμήνευσε θεωρητικά ο Αμπέρ (Andre Mari Ampere).

Ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια μηχανή που δημιουργεί κίνηση καταναλώνοντας ηλεκτρισμό. Σ' έναν απλό ηλεκτροκινητήρα, 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.



- **Εικόνα 4.1:** Ηλεκτρικός κινητήρας, Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κινητήρα. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

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 και αντίστροφα. Υπάρχουν τρεις τρόποι λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών. Η λειτουργία τους σαν κινητήρες, σαν γεννήτριες και σαν πέδες.

Στην ηλεκτροτεχνία οι κινητήρες και οι γεννήτριες ρεύματος είναι μηχανήματα αντίστοιχης δομής και αντίστροφης λειτουργίας. Σε μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και αυτό εκφράζεται με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ στους κινητήρες το ηλεκτρικό ρεύμα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.

Η λειτουργία τόσο των ηλεκτρικών γεννητριών όσο και των ηλεκτρικών κινητήρων στηρίζεται στη ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Με βάση λοιπόν το φαινόμενο της επαγωγής όταν ένας αγωγός (δηλαδή ένα αγώγιμο ηλεκτρικά υλικό) κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε μέσα στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή δηλαδή ηλεκτρικό δυναμικό το οποίο είναι και το αίτιο εμφάνισης ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό. Στους κινητήρες αντίστοιχα αξιοποιείται ένα άλλο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

Όταν ένας αγωγός 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 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 δύναμη αντιστρέφεται είτε αν αλλάξει η φορά του ρεύματος, είτε αν αντιστραφεί η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου.

4.1.1 Αρχή Λειτουργίας Ηλεκτροκινητήρων.

Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν κινητήρα παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στο κύριο τύλιγμα της μηχανής, που λέγεται τύλιγμα τυμπάνου και αποδίδεται μηχανική ενέργεια εξόδου πάνω σε μια περιστρεφόμενη άτρακτο. Μια εξωτερικά επιβαλλόμενη ηλεκτρική τάση v οδηγεί ένα ρεύμα i μέσα στο τύλιγμα τυμπάνου ενάντια σε μια εσωτερικά επαγόμενη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη e . Το τύλιγμα τυμπάνου γίνεται έτσι ικανό να απορροφά ηλεκτρική ενέργεια με ρυθμό $e * i$. Το πεδίο ζεύξεως ασκεί μια στιγμιαία ηλεκτρομαγνητική ροπή $T_{πεδ}$ πάνω στο περιστρεφόμενο μέλος της μηχανής που λέγεται δρομέας (ρότορας). Αν ο δρομέας στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω τότε η στιγμιαία ισχύς εξόδου που αποδίδεται στην άτρακτο θα είναι $T_{πεδ} * \omega$. Η εξωτερικά εφαρμοζόμενη ροπή φορτίου $T_{εξ}$ δρα με φορά αντίστροφη από εκείνη της περιστροφής και καθιστά το φορτίο ικανό ν' απορροφά μηχανική ενέργεια. Ισχύει προφανώς ότι:

$$T_{πεδ} - T_{εξ} = J * d\omega/dt$$

Όπου J είναι η ροπή αδρανείας του δρομέα και του μηχανικού του φορτίου (η κίνηση του οποίου είναι ο τελικός σκοπός της ύπαρξης του κινητήρα). Όταν $T_{πεδ} = T_{εξ}$ τότε $d\omega/dt = 0$ και η μηχανή περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας έχουμε ότι:

$$(\omega \times T_{πεδ}) \text{ μέση τιμή} = (e * i) \text{ μέση τιμή}$$

Δεδομένου ότι στο τύλιγμα τυμπάνου αναπτύσσεται μια ΗΕΔ (ηλεκτρεγερτική δύναμη), χρειαζόμαστε ένα μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως που συνηθέστατα (εκτός από την περίπτωση μόνιμου μαγνήτη στις μικρές μηχανές), στην πράξη παρέχεται από τυλίγματα διεγέρσεως ή τυλίγματα πεδίου. Στη μόνιμη λειτουργία των συνήθων μηχανών της πράξης, οι οποίες έχουν χωριστά τροφοδοτούμενο τύλιγμα διέγερσης, η μέση τιμή της ισχύος που τροφοδοτεί το τύλιγμα αυτό δαπανάται υπό μορφή θερμότητας.

Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν γεννήτριας παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στην άτρακτο της ηλεκτρικής μηχανής από μια πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή (prime mover) και ηλεκτρική ενέργεια εξόδου είναι διαθέσιμη στους ακροδέκτες του τυλίγματος τυμπάνου. Η πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή μπορεί να είναι για παράδειγμα, είτε ένας ατμοστρόβιλος σ' ένα θερμικό σταθμό παραγωγής, είτε ένας υδροστρόβιλος σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό παραγωγής, είτε μια εμβολοφόρα μηχανή εσωτερικής καύσεως σ' ένα απομονωμένο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

Τέλος κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν πέδης, η μηχανή τροφοδοτείται και με μηχανική και με ηλεκτρική ενέργεια. Η ολική ενέργεια εισόδου χάνεται μέσα στη μηχανή με μορφή απωλειών και έτσι η μηχανή λειτουργεί σαν πέδη και φρενάρι.

Ο ηλεκτρικός κινητήρας παράγει κίνηση, εφαρμόζοντας πηνία διαρρέομενα από ρεύμα(1) μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Ο ενιαίος ηλεκτρικός κινητήρας χρησιμοποιεί συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα. Ένας ηλεκτρομαγνήτης, ο στάτορας(2), παράγει το μαγνητικό πεδίο. Ο ρότορας(3) (οπλισμός) αποτελείται από διαφορετικά συρμάτινα πηνία. Οι ψήκτρες(4) τροφοδοτούν το ένα πηνίο με ρεύμα. Το μαγνητικό του πεδίο αλληλεπιδρά με αυτό του στάτορα και ο ρότορας στρέφεται ελαφρά. Επειδή κάθε πηνίο τροφοδοτείται με γρήγορη διαδοχή, ο ρότορας περιστρέφεται.

- **(1)Ρεύμα:** Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ροή των αρνητικά φορτισμένων ελεύθερων ηλεκτρονίων μέσα σε ένα υλικό. Αν και συνήθως στα διαγράμματα το ρεύμα συμβολίζεται ως ροή από το θετικό προς το αρνητικό, στην πραγματικότητα τα ηλεκτρόνια κινούνται προς το θετικό άκρο του κυκλώματος.
- **(2)Στάτορας:** Ο στάτορας αποτελείται από πηνία που τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό παράγει το μαγνητικό πεδίο, που ασκεί δύναμη στρέψης στα πηνία του ρότορα.
- **(3)Ρότορας:** Ο ρότορας αποτελείται από πολλά πηνία. Καθώς περιστρέφεται, κάθε πηνίο διαρρέεται εναλλάξ με ρεύμα από τις ψήκτρες.
- **(4)Ψήκτρα:** Οι ψήκτρες από γραφίτη εξασφαλίζουν την ηλεκτρική σύνδεση του εναλλάκτη(5).
- **(5)Εναλλάκτης:** Ο εναλλάκτης (ή μεταλλάκτης) διαθέτει μια σειρά μεταλλικών συνδέσεων πάνω σε έναν κύλινδρο. Οι ψήκτρες παρέχουν ρεύμα σε κάθε σύνδεση, εναλλάξ, καθώς ο εναλλάκτης περιστρέφεται.

Απλός Κινητήρας

Ο απλός κινητήρας DC λειτουργεί μόνο με συνεχές ρεύμα από μπαταρία. Το ρεύμα διοχετεύεται στο πηνίο και αυτό περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη. Το μαγνητικά πεδία του πηνίου και του μαγνήτη αλληλεπιδρούν και αναγκάζουν το πηνίο να στραφεί. Ένας εναλλάκτης αντιστρέφει τις συνδέσεις στην μπαταρία σε κάθε μισή στροφή και διατηρεί τη φορά περιστροφής του πηνίου σταθερή.

Κινητήρας Βηματισμού

Ο κινητήρας βηματισμού δεν περιστρέφεται συνεχόμενα αλλά με σταθερό βήμα. Οι μόνιμοι μαγνήτες του ρότορα έλκονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πηνία μέσα στο στάτορα, που ενεργοποιούνται με σταθερή διαδοχή. Κινητήρες βηματισμού, οι οποίοι ελέγχονται από μικροεπεξεργαστές, χρησιμοποιούνται για λειτουργίες ακριβείας σε βραχίονες ρομπότ και οδηγούς δίσκων των υπολογιστών.

4.1.2 Προδιαγραφές Ηλεκτροκινητήρων.

Όταν γίνεται παραγγελία ενός ηλεκτροκινητήρα πρέπει αυτός να έχει προδιαγραφεί σωστά με βάση αφενός μεν τις λειτουργικές απαιτήσεις του μηχανισμού ή του μηχανήματος που θα κινήσει, αφετέρου δε τις προυπάρχουσες συνθήκες και παραμέτρους της βιομηχανικής εγκατάστασης στη συγκεκριμένη περιοχή του πεδίου. Οι προδιαγραφές των ηλεκτροκινητήρων αναφέρονται στους παρακάτω άξονες. Στο σύστημα τροφοδοσίας, στις συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής του πεδίου, στις απαιτήσεις της ηλεκτρικής ισχύος που θα πρέπει να προσφέρεται στο ενεργοποιούμενο μηχάνημα και της μηχανικής ισχύος που θα πρέπει αυτό να αποδίδει, στα λοιπά λειτουργικά χαρακτηριστικά του, στα κατασκευαστικά στοιχεία του κινητήρα και στον τρόπο σύνδεσης των καλωδίων της εξωτερικής πηγής ισχύος με αυτόν.

Αναλυτικότερα αναφορικά με την τροφοδοσία του κινητήρα δίνονται παράμετροι της περιοχής του πεδίου όπως το αν η πηγή τροφοδοσίας είναι μονοφασική ή τριφασική, αν είναι 220V ή 380V, αν η συχνότητα του ρεύματος είναι 50 Hz (στις ΗΠΑ για παράδειγμα η συχνότητα διαφέρει), αν υπάρχει διακύμανση τάσης ή συχνότητας και σε ποιο ποσοστό της ονομαστικής τιμής ανέρχεται η μέγιστη διακύμανση εκάστου μεγέθους, αλλά και των δύο μεγεθών συνδυαστικά. Τέλος δίνονται στοιχεία σχετικά με τον τύπο της υπάρχουσας στην περιοχή του πεδίου γείωσης, στην οποία θα συνδεθεί ο αγωγός γείωσης του κινητήρα.

Αναφορικά με τις συνθήκες στη συγκεκριμένη περιοχή του πεδίου δίνονται πληροφορίες σχετικά με το αν η εγκατάσταση του ηλεκτροκινητήρα θα γίνει σε εσωτερικό ή υπαίθριο χώρο, με το αν υπάρχει προστασία από βροχή ή από χιόνι (στην περίπτωση που η εγκατάσταση θα γίνει σε εξωτερικό χώρο), με το αν η περιοχή εγκατάστασής του είναι διαβαθμισμένη (δηλαδή αν υπάρχουν εκεί εκρηκτικά αέρια) και ποια η κλάση της επικινδυνότητας και με το αν η περιβάλλουσα τον κινητήρα ατμόσφαιρα χώρος έχει διαβρωτικές ιδιότητες και τα φυσικά ή χημικά μέσα μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση. Αναφορικά με την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα δίνονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας.

Αναφορικά με τα ζητούμενα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κινητήρα σημειώνονται ενδεικτικά από τον πελάτη αλλά εντελώς συγκεκριμένα από τον κατασκευαστή, η αποδιδόμενη ισχύς και η απορροφούμενη ένταση ρεύματος και οι αντίστοιχες στροφές λειτουργίας του κινητήρα, καθώς επίσης ο αριθμός των πόλων του και ο βαθμός απόδοσης του. Άλλα σημαντικά λειτουργικά χαρακτηριστικά του είναι η ένταση του απορροφούμενου ρεύματος κατά την εκκίνησή τους, αν η σύνδεση του θα είναι direct on line ή όχι, καθώς και ο χρόνος επανεκκίνησης (reacceleration) και η παραμένουσα τάση. Στα λεπτομερή λειτουργικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται το $\cos\phi$ (που σχετίζεται με τον ακριβή σχεδιασμό του συγκεκριμένου κινητήρα), η ροπή αδρανείας του στρεφόμενου τμήματος, η στάθμη του παραγόμενου θορύβου καθώς και το σημείο «υπερλειτουργίας» του κινητήρα στο οποίο αυτός θα καεί.

Τα αναλυτικά κατασκευαστικά στοιχεία τα δίνει ο κατασκευαστής και αναφέρονται στο βάρος του κινητήρα και των διαφόρων μερών του, στο αν η κατασκευή του κελύφους τους υπακούει σε προδιαγραφές μηχανικής (IP) ή αντiekρηκτικής (Excd) προστασίας, στον τρόπο στήριξης του και στη μέθοδο ψύξης του, στον τύπο των ρουλεμάν του κιβωτίου μετάδοσης καθώς και στη ενδεικνυόμενη μέθοδο λίπανσης. Αναφορικά με το τερματικό κουτί σύνδεσης των καλωδίων της εξωτερικής πηγής αναφέρεται ο τύπος του καλωδίου σύνδεσης(από τον πελάτη), οι τύποι μηχανικής και αντiekρηκτικής προστασίας, ο αριθμός των τερματικών, η θέση και ο προσανατολισμός τους.

4.2 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος.

4.2.1 Εισαγωγή Στους Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Οι ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος που εξετάσαμε ως γεννήτριες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κινητήρες, αν τροφοδοτήσουμε το τύλιγμα του σπλισμού με συνεχή τάση.

Όταν το τύλιγμα του δρομέα, ευρισκόμενο εντός του κύριου πεδίου του στάτη, διαρρέεται από ρεύμα, αναπτύσσεται ροπή η οποία τείνει να στρέψει το δρομέα.

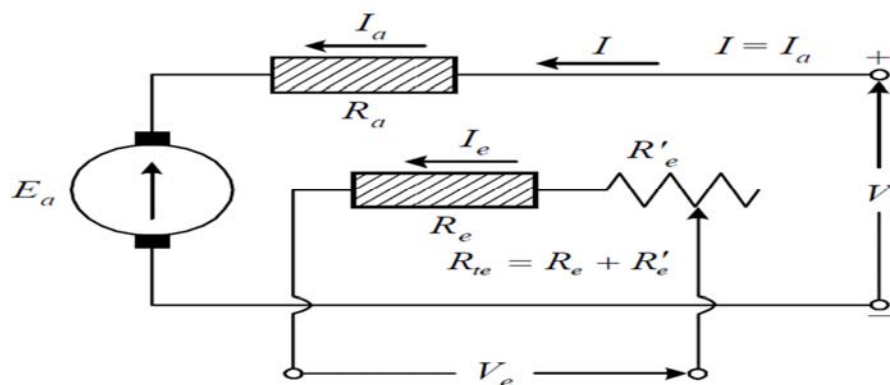
Επομένως, η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια εισόδου σε μηχανική. Παρόλο που οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος άρχισαν να εκτοπίζονται από τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος πριν από το 1900, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι ακόμη και σήμερα αρκετά διαδεδομένοι. Ο κύριος λόγος που καθιστά τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος δημοφιλείς, είναι η ευκολία στον έλεγχο της ταχύτητάς τους μέχρι το μηδέν και η εξαιρετική δυναμική τους συμπεριφορά. Έτσι, υπάρχουν εφαρμογές πολύ υψηλών απαιτήσεων στις οποίες οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι αναντικατάστατοι. Η συμπεριφορά των κινητήρων περιγράφεται από τη χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής.

Αυτή περιγράφει τη μεταβολή της ταχύτητας του κινητήρα, καθώς μεταβάλλεται η ροπή του φορτίου που εφαρμόζεται στον άξονά του.

Στη συνέχεια εξετάζουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των μηχανών συνεχούς ρεύματος με ανεξάρτητη διέγερση και αυτοδιέγερση, όταν χρησιμοποιούνται ως κινητήρες.

4.2.2 Κινητήρες Με Ανεξάρτητη Διέγερση

Το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση, είναι αντίστοιχο μ' εκείνο της γεννήτριας συνεχούς ρεύματος και εικονίζεται στο Σχ. 4.1. Στο Σχ. 4.1 με E_a συμβολίζεται η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη (ΑΗΕΔ) του κινητήρα. Η ΑΗΕΔ είναι η τάση που αναπτύσσεται στο τύλιγμα του σπλισμού καθώς αυτός στρέφεται μέσα στο κύριο μαγνητικό πεδίο του στάτη.



- **Εικόνα 4.2:** Ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμевών)

Επομένως, το φαινόμενο της γεννήτριας εκδηλώνεται και στον κινητήρα, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Έτσι, η ΑΗΕΔ στους κινητήρες Ea υπολογίζεται από την ίδια σχέση, που ορίζεται η ηλεκτρεγερτική δύναμη E στις γεννήτριες

$$E = C \phi \omega$$

Από το ισοδύναμο κύκλωμα ισχύει η σχέση, $V = E + IR$.

Όπου V είναι η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα. Η τάση τροφοδοσίας είναι μεγαλύτερη από την ΑΗΕΔ του κινητήρα και η διαφορά των δύο τάσεων καθορίζει το μέγεθος του ρεύματος στο δρομέα. Για δεδομένη φορά περιστροφής, το ρεύμα του δρομέα στον κινητήρα έχει αντίθετη φορά από εκείνο στη γεννήτρια. Στις γεννήτριες, όπου η ροή της ισχύος είναι αντίθετη, η ηλεκτρεγερτική δύναμη E είναι μεγαλύτερη από την τάση εξόδου V . Η ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα των μηχανών συνεχούς ρεύματος, όλων των κατηγοριών, ορίζεται από τη σχέση

$$T = C \phi I$$

Οι σταθερές Ce και CT είναι ίσες, $Ce = CT$. Από τις Εξ. (4.1), (4.2) προκύπτει μια έκφραση της ταχύτητας του κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση

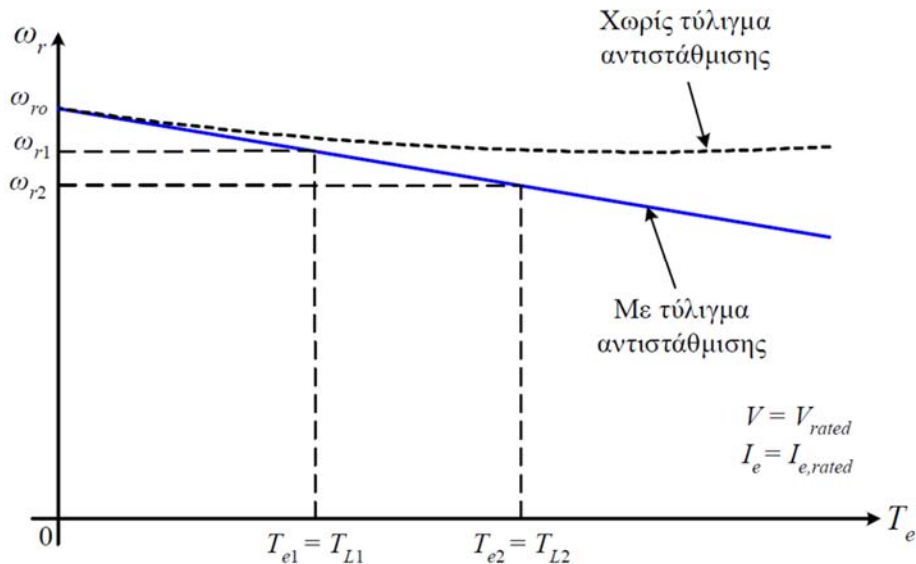
$$\omega r = V - IaRa / Ce\phi(Ie)$$

κύρια μαγνητική ροή στην Εξ. (4.4) ορίζεται από το ρεύμα διέγερσης Ie , το οποίο ρυθμίζεται από την ανεξάρτητη πηγή συνεχούς τάσης V_e . Αντικαθιστώντας στην Εξ. (4.4) το ρεύμα του δρομέα από την Εξ. (4.3), προκύπτει η παρακάτω έκφραση της ταχύτητας ως προς τη ροπή

$$\omega r = V / Ce\Phi - Ra / Ce\phi 2Te$$

Όταν η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα V και η μαγνητική ροή είναι

σταθερές, η ταχύτητα μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της ροπής φορτίου TL . Στην κατάσταση ισορροπίας ισχύει, $T_e = TL$.



- **Εικόνα 4.3:** Φυσική χαρακτηριστική ταχύτητα-ροπής του κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμείων)

Η γραμμική μεταβολή της ταχύτητας ισχύει μόνο όταν ο κινητήρας διαθέτει τύλιγμα αντιστάθμισης. Αν αυτό δεν συμβαίνει, με την αύξηση της ροπής φορτίου η αντίδραση του σπλισμού προκαλεί τη μείωση της ροής, καθώς από την Εξ. (4.3) αυξάνει το ρεύμα I_a .

Η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής του κινητήρα που αντιστοιχεί στην ονομαστική τάση σπλισμού $V = V_{rated}$ και την ονομαστική ροή $\phi = \phi_{rated}$ ονομάζεται φυσική (*natural*).

Η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής του κινητήρα εξηγείται ως εξής: Θεωρούμε ότι ο κινητήρας στρέφεται με ταχύτητα $\omega r1$ και αναπτύσσει ροπή $Te1$, η οποία είναι ίση με τη ροπή του

φορτίου $TL1$ ($Te1 = TL1$). Αν η ροπή του φορτίου αυξηθεί στην τιμή $TL2$, η ταχύτητα του κινητήρα

τείνει να μειωθεί. Με τη μείωση της ταχύτητας, με σταθερή ροή, η ΑΗΕΔ μειώνεται. Εφόσον η τάση τροφοδοσίας είναι σταθερή, με τη μείωση της E_a το ρεύμα στο δρομέα αυξάνεται. Το αυξημένο I_a προκαλεί την αύξηση της παραγόμενης ροπής, στην τιμή $Te2$, η οποία είναι ίση με τη νέα ροπή φορτίου $TL2$. Η μειωμένη ταχύτητα του κινητήρα $\omega r2$ στο νέο σημείο ισορροπίας, εξαρτάται αποκλειστικά από τη ροπή του φορτίου. Προκύπτουν οι τρεις μέθοδοι για τον έλεγχο της ταχύτητας ενός κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση:

- Ρύθμιση της τάσης στο τύλιγμα του σπλισμού (*armature voltage control*)
- Ρύθμιση της μαγνητικής ροής (*field control*) ϕ .

- Ρυθμιζόμενη αντίσταση στο κύκλωμα του δρομέα (armature resistance control).

4.2.3 Έλεγχος της Ταχύτητας με Ρύθμιση της Τάσης Οπλισμού

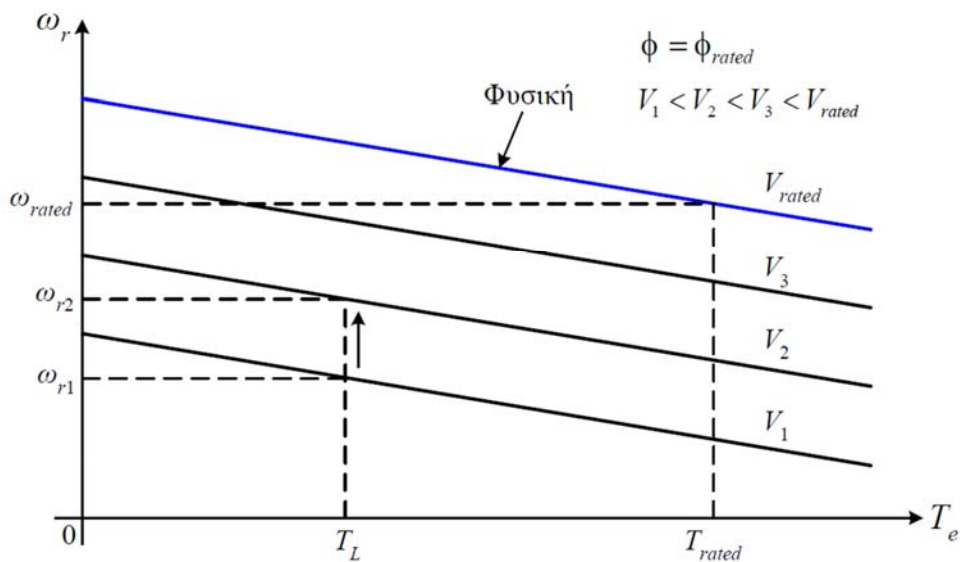
Η ταχύτητα ενός κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση, μπορεί να ρυθμιστεί με τον έλεγχο της τάσης που εφαρμόζεται στο τυλίγμα του οπλισμού. Η τάση διέγερσης διατηρείται σταθερή. Έτσι,

το ρεύμα διέγερσης και η μαγνητική ροή είναι επίσης σταθερές. Προκειμένου να ερμηνεύσουμε τη διαδικασία μεταβολής της ταχύτητας, θεωρούμε ότι ο κινητήρας αρχικά τροφοδοτείται με τάση V_1 , στρέφεται με ταχύτητα ω_{r1} και αναπτύσσει ροπή T_{e1} , η οποία είναι ίση με τη ροπή του

φορτίου T_L ($T_{e1} = T_L$). Μια αύξηση της τάσης του τυλίγματος οπλισμού, από την τιμή V_1 στην V_2 ,

προκαλεί την αύξηση του ρεύματος οπλισμού I_a , καθώς $I_a = \frac{V - E}{R}$. Η αύξηση του I_a ,

από την τιμή I_{a1} στην τιμή I_{a2} , προκαλεί την αύξηση της αναπτυσσόμενης ροπής, στην τιμή T_{e2} $T_{e2} > T_L$



- **Εικόνα 4.4:** Έλεγχος της ταχύτητας του κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση, με τη ρύθμιση της τάσης οπλισμού. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

Εφόσον η ροπή T_{e2} είναι μεγαλύτερη της ροπής φορτίου, ο κινητήρας επιταχύνεται.

Η αύξηση της ταχύτητας προκαλεί την αύξηση της ΑΗΕΔ από τη σχέση $a e r E = C \phi \omega$, οπότε το

ρεύμα του οπλισμού ελαττώνεται ξανά. Έτσι, η ροπή επανέρχεται στην αρχική της τιμή $Te1 = TL$,

σε μια ταχύτητα $\omega r2$ μεγαλύτερη της αρχικής. Η ροπή του φορτίου έχει θεωρηθεί σταθερή και ανεξάρτητη της ταχύτητας.

Οι χαρακτηριστικές ταχύτητας–ροπής του κινητήρα, με τη ρύθμιση της τάσης οπλισμού.

Οι χαρακτηριστικές είναι παράλληλες μεταξύ τους, δηλαδή η κλίση τους είναι σταθερή, όπως ορίζει η Εξ. (4.5).

Αυτή η μέθοδος ελέγχου εφαρμόζεται μόνο για τη ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα σε τιμές μικρότερες της ονομαστικής. Ο κινητήρας στρέφεται με την ονομαστική του ταχύτητα $\omega rated$, όταν τροφοδοτείται με την ονομαστική του τάση $V rated$, το ονομαστικό ρεύμα διέγερσης και το ονομαστικό φορτίο.

Η ταχύτητα του κινητήρα είναι ανάλογη με την τάση του δρομέα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση του οπλισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του κινητήρα.

Επομένως, για την αύξηση της ταχύτητας σε τιμές μεγαλύτερες της ονομαστικής, πρέπει και η τάση στο τύλιγμα του δρομέα να υπερβεί την $V rated$.

Όμως αυτό δεν είναι επιτρεπτό, καθώς μπορεί να καταστραφεί το κύκλωμα του οπλισμού.

Έτσι, η μέθοδος της ρύθμισης της τάσης οπλισμού, χρησιμοποιείται στον έλεγχο της ταχύτητας σε τιμές μικρότερες από την ονομαστική.

4.2.4 Έλεγχος της Ταχύτητας με Ρύθμιση της Μαγνητική Ροής

Η μαγνητική ροή του κινητήρα ελέγχεται με τη ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης I_e , μέσω της τάσης V_e ή της αντίστασης R_e . Θεωρούμε όπως και προηγούμενα, ότι ο κινητήρας στρέφεται αρχικά με ταχύτητα $\omega r1$ και αναπτύσσει ροπή $Te1$, η οποία είναι ίση με τη ροπή του φορτίου TL ($Te1 = TL$). Η μαγνητική ροή είναι ίση με 1ϕ . Η τάση στο τύλιγμα του δρομέα είναι σταθερή και ίση με την ονομαστική. Μια μείωση στο ρεύμα διέγερσης και αντίστοιχα στη μαγνητική ροή,

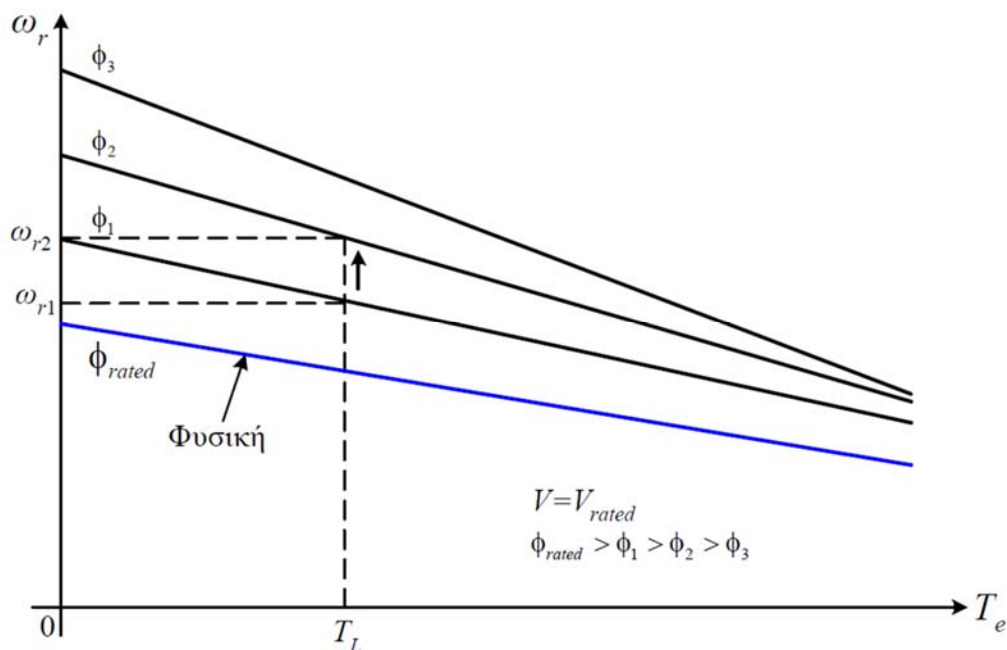
από την τιμή 1ϕ στην τιμή 2ϕ , προκαλεί την ελάττωση της ΑΗΕΔ $a e r E = C \phi \omega$. Η μείωση της ΑΗΕΔ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος οπλισμού (I_a) $I_a = V - E R$. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα $\omega r1$ είναι κοντά στην ονομαστική, η ΑΗΕΔ έχει μεγάλη τιμή. Έτσι, ακόμη και

μια ελάχιστη μείωση στη ροή και την ΑΗΕΔ, προκαλεί μια εξαιρετικά μεγάλη αύξηση του ρεύματος οπλισμού, καθώς η R_a είναι πολύ μικρή. Επειδή η αύξηση του I_a είναι πολύ μεγαλύτερη της μείωσης της ροής, η αναπτυσσόμενη ροπή αυξάνει $e T a T = C \phi I_a$.

Σημειώνουμε ότι, σε μικρές ταχύτητες η αύξηση του ρεύματος οπλισμού με τη μείωση της ροής περιορίζεται. Έτσι, σε εξαιρετικά μικρές ταχύτητες είναι δυνατό η μείωση της ροής να υπερσχύει της αύξησης του I_a και η ροπή να μειώνεται με τη μείωση ροής. Όμως, αυτή η συνθήκη λειτουργίας δεν έχει πρακτικό ενδιαφέρον. Εξαιτίας της αύξησης της ροπής που προκαλεί η μείωση της ροής, ο κινητήρας επιταχύνει. Όμως, καθώς αυξάνει η ταχύτητα, μειώνεται η ΑΗΕΔ, το ρεύμα του δρομέα και η παραγόμενη ροπή. Τελικά ο κινητήρας ισορροπεί σε μια μεγαλύτερη ταχύτητα $\omega r2$ από την αρχική, στην οποία η ροπή του είναι και πάλι ίση με τη ροπή του φορτίου. Οι χαρακτηριστικές ταχύτητας–ροπής του κινητήρα, με τη

ρύθμιση της μαγνητικής ροής, εικονίζονται στο Σχ. 4.4. Οι χαρακτηριστικές δεν έχουν την ίδια κλίση, όπως στην προηγούμενη μέθοδο. Όσο μειώνεται η ροή, τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση των χαρακτηριστικών. Αυτή η συμπεριφορά ερμηνεύεται από την Εξ. (4.5), στην οποία ο δεύτερος όρος (κλίση), είναι αντιστρόφως ανάλογος με το τετράγωνο της μαγνητικής ροής. Η ταχύτητα του κινητήρα στο κενό, είναι αντιστρόφως ανάλογη της μαγνητικής ροής. Με τη ρύθμιση της μαγνητικής ροής, η ταχύτητα του κινητήρα ελέγχεται σε τιμές μεγαλύτερες από την ονομαστική. Για τη λειτουργία του κινητήρα σε ταχύτητες μικρότερες από την ονομαστική, το ρεύμα διέγερσης πρέπει να γίνει μεγαλύτερο από το ονομαστικό. Θεωρούμε ότι $V=V_{rated}$. Όμως, ένα ρεύμα διέγερσης μεγαλύτερο από το ονομαστικό, θα προκαλέσει υπερθέρμανση του τυλίγματος, με κίνδυνο την καταστροφή του.

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι κρίσιμο το ρεύμα διέγερσης να ρέει συνεχώς. Αν για κάποιο λόγο το ρεύμα διέγερσης διακοπεί, ενώ ο κινητήρας λειτουργεί, η μαγνητική ροή θα γίνει ίση με την παραμένουσα $r\phi$. Η ΑΗΕΔ θα γίνει πολύ μικρή $a e r r E = C \phi \omega$ και το ρεύμα του οπλισμού θα αυξηθεί υπερβολικά. Έτσι, η παραγόμενη ροπή θα γίνει μεγαλύτερη της ροπής φορτίου και η ταχύτητα του κινητήρα θα αυξάνει συνεχώς.



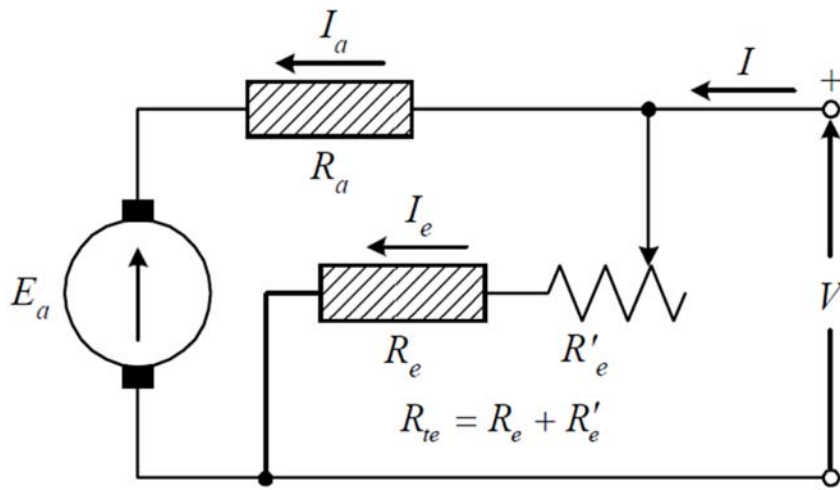
- **Εικόνα 4.5:** Έλεγχος της ταχύτητας του κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση, με τη ρύθμιση της μαγνητικής ροής. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

4.2.5 Έλεγχος της Ταχύτητας με Ρυθμιζόμενη Αντίσταση στο Δρομέα

Η ταχύτητα του κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης μπορεί να ρυθμιστεί με την εισαγωγή μιας μεταβλητής αντίστασης σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της αντίστασης, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα του κινητήρα, όταν λειτουργεί με φορτίο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σπάνια, εξαιτίας των μεγάλων απωλειών ισχύος στην αντίσταση ρύθμισης, από το μεγάλο ρεύμα του οπλισμού. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι, η ταχύτητα του κινητήρα στο κενό δεν μπορεί να ελεγχθεί.

4.2.6 Κινητήρες Παράλληλης Διέγερσης

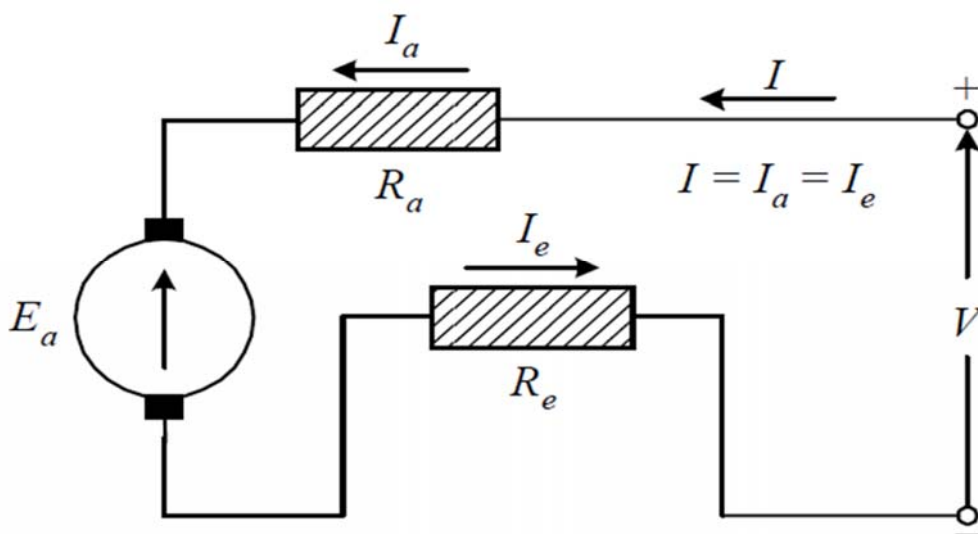
Το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα παράλληλης διέγερσης εικονίζεται στο Σχ. 4.6. Η διαφορά του κινητήρα παράλληλης διέγερσης από τον κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση, είναι ότι το κύκλωμα του δρομέα και το κύκλωμα της διέγερσης τροφοδοτούνται από την ίδια πηγή συνεχούς τάσης V . Οι παραπάνω εξισώσεις και η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής, ισχύουν και στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση. Έτσι, η συμπεριφορά των κινητήρων παράλληλης διέγερσης, δεν διαφέρει από εκείνη των κινητήρων με ανεξάρτητη διέγερση. Οι κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης, προτιμώνται από τους κινητήρες με παράλληλη διέγερση, σε εφαρμογές όπου απαιτείται ο έλεγχος της ταχύτητας σε ευρεία περιοχή με υψηλή ακρίβεια.



- **Εικόνα 4.6:** Ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα παράλληλης διέγερσης. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

4.2.7 Κινητήρες Με Διέγερση Σειράς

Στους κινητήρες με διέγερση σειράς, το τύλιγμα της διέγερσης συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα του δρομέα, όπως εικονίζεται στο Σχ. 4.7. Έτσι, το ρεύμα της διέγερσης είναι ίσο με το ρεύμα του οπλισμού και η μαγνητική ροή είναι συνάρτηση του ρεύματος στο δρομέα ($I = I_a = I_e$). Στη μη κορεσμένη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης του κινητήρα, η ροή μπορεί να θεωρηθεί ότι μεταβάλλεται γραμμικά με το ρεύμα του οπλισμού

$$f a \phi = C$$


- **Εικόνα 4.7:** Ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα με διέγερση σειράς. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

4.2.8 Εκκίνηση Των Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος

Κατά την εκκίνηση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με την ονομαστική τάση, το ρεύμα του οπλισμού αποκτά πολύ μεγάλες τιμές.

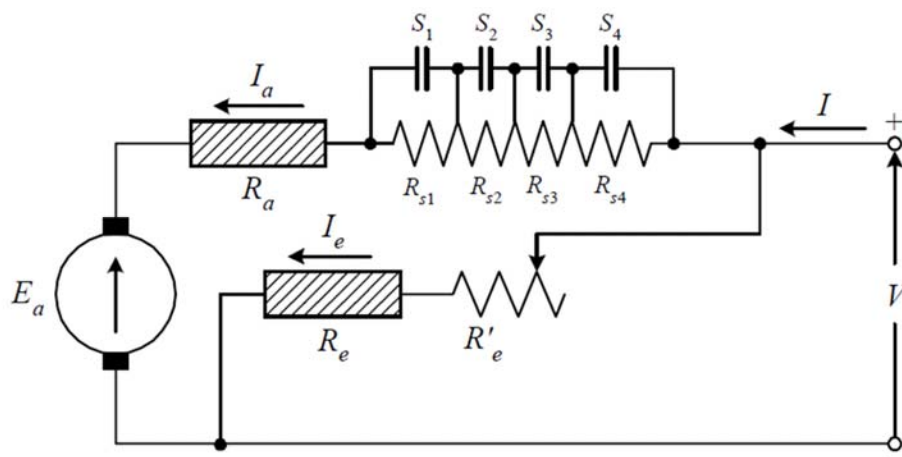
Τη στιγμή της εκκίνησης, η ΑΗΕΔ του κινητήρα είναι μηδενική.

Έτσι, το αρχικό ρεύμα εκκίνησης είναι ίσο με V/R_a . Η ωμική αντίσταση του οπλισμού είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα το ρεύμα εκκίνησης των τυπικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος να είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό.

Το μεγάλο ρεύμα εκκίνησης οφείλεται στο ότι η ΑΗΕΔ είναι μηδενική, επειδή ο κινητήρας δεν στρέφεται, $\omega r = 0$.

Καθώς η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνεται, η ΑΗΕΔ ενισχύεται και περιορίζει το ρεύμα του οπλισμού.

Αν και η χρονική διάρκεια του ρεύματος εκκίνησης είναι μικρή, η εξαιρετικά μεγάλη τιμή του μπορεί να προκαλέσει βλάβη στη μηχανή. Για τον περιορισμό του ρεύματος εκκίνησης, τοποθετείται σε σειρά με το τύλιγμα του οπλισμού μια *αντίσταση εκκίνησης*. Η αντίσταση εκκίνησης βραχυκυκλώνεται με διακόπτες, όταν η ταχύτητα του κινητήρα αποκτήσει μια επαρκώς μεγάλη τιμή. Στο Σχ. 4.13 εικονίζεται η διάταξη εκκίνησης ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης.



- **Εικόνα 4.8:** Διάταξη εκκίνησης του κινητήρα με παράλληλη διέγερση. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, 'Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων', Εκδόσεις Συμεών)

4.2.9 Πέδηση Των Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος.

Πέδηση ονομάζεται η διαδικασία επιβράδυνσης, μείωσης της ταχύτητας, ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Κατά τη διάρκεια της πέδησης, ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια. Δηλαδή, ο κινητήρας μετατρέπει κατά το διάστημα της πέδησης τη μηχανική ενέργεια από το φορτίο, σε ηλεκτρική. Η μηχανική ενέργεια παρέχεται, στην περίπτωση του *παθητικού φορτίου*, από την κινητική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην αδράνεια του συστήματος κινητήρας-φορτίο, είτε απευθείας από το *ενεργό φορτίο*.

Για την πέδηση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, το ρεύμα του σπλισμού πρέπει να αντιστραφεί, ενώ η φορά της κύριας μαγνητικής ροής διατηρείται σταθερή. Τότε, η φορά της αναπτυσσόμενης ροπής αντιστρέφεται $T_e = -CT\phi I_a$ και η ισχύς γίνεται αρνητική $e r P = -T \omega$. Η αρνητική ισχύς σημαίνει ότι, η μηχανή μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, δηλαδή λειτουργεί ως γεννήτρια.

Διακρίνουμε τρεις μεθόδους πέδησης των ηλεκτρικών κινητήρων όλων των κατηγοριών,

ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης της ισχύος που ανακτάται από τη μηχανή (*regenerated power*):

- Πέδηση με ανάκτηση της ισχύος (*regenerative braking*)
- Δυναμική πέδηση (*dynamic braking*)
- Πέδηση με αναστροφή της τάσης (*plugging*)

4.3 Ασύγχρονοι-Επαγωγικού Κινητήρες Εναλασσόμενου Ρεύματος.

4.3.1 Αρχή Λειτουργίας των Κινητήρων Εναλασσόμενου Ρεύματος

Οι μηχανές εναλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις *σύγχρονες* (*synchronous*) και τις *ασύγχρονες ή επαγωγικές μηχανές*. Οι σύγχρονες μηχανές, αντίθετα από τις επαγωγικές, χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες.

Οι κινητήρες εναλασσόμενου ρεύματος, όλων των κατηγοριών, έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας. Σύμφωνα μ' αυτή, ο δρομέας του κινητήρα στρέφεται από τη ροπή, η οποία τείνει να ευθυγραμμίσει τα μαγνητικά πεδία του αναπτύσσουν τα τύλιγμα του στάτη και του δρομέα. Αν το μαγνητικό πεδίο του στάτη μπορούσε να στραφεί, τότε η αναπτυσσόμενη ροπή θα ανάγκαζε το δρομέα να ακολουθεί το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Επομένως, η λειτουργία όλων κινητήρων εναλασσόμενου ρεύματος στηρίζεται στη δυνατότητα παραγωγής από το τύλιγμα του στάτη ενός *στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου*.

Στους σύγχρονους κινητήρες η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι ίση με την ταχύτητα που στρέφεται το πεδίο του στάτη. Αντίθετα, στους ασύγχρονους κινητήρες, η ταχύτητα του δρομέα είναι μικρότερη από εκείνη του στρεφόμενου πεδίου του στάτη και εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου.

4.3.2 Δομή Των Κινητήρων Εναλασσόμενου Ρεύματος.

Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος ο στάτης αποτελείται από το ζύγωμα, πάνω στον οποίο στηρίζονται οι μαγνητικοί πόλοι. Οι μαγνητικοί πόλοι προεξέχουν από το κυλινδρικό ζύγωμα και ονομάζονται *έκτυποι πόλοι* (*salient poles*). Το τύλιγμα της διέγερσης, που φέρουν οι πόλοι του στάτη, τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα και παράγει ένα *σταθερό* και ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο. Το τύλιγμα του οπλισμού τοποθετείται σε αυλακώσεις, στον κυλινδρικό δρομέα.

Στις μηχανές εναλασσόμενου ρεύματος, με έμφαση τις σύγχρονες γεννήτριες, οι ρόλοι του στάτη και του δρομέα είναι αντεστραμμένοι, σε σχέση με τις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

Η μορφή του δρομέα αλλάζει δραστικά, ανάλογα με το είδος της μηχανής εναλασσόμενου ρεύματος. Ο δρομέας των μηχανών εναλασσόμενου ρεύματος μπορεί να έχει κυλινδρική δομή με αυλακώσεις, εντός των οποίων τοποθετείται το τύλιγμα. Εναλλακτικά, ο δρομέας μπορεί να έχει πόλους οι οποίοι να προεξέχουν (*salient pole rotor*), όπως οι πόλοι του στάτη στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

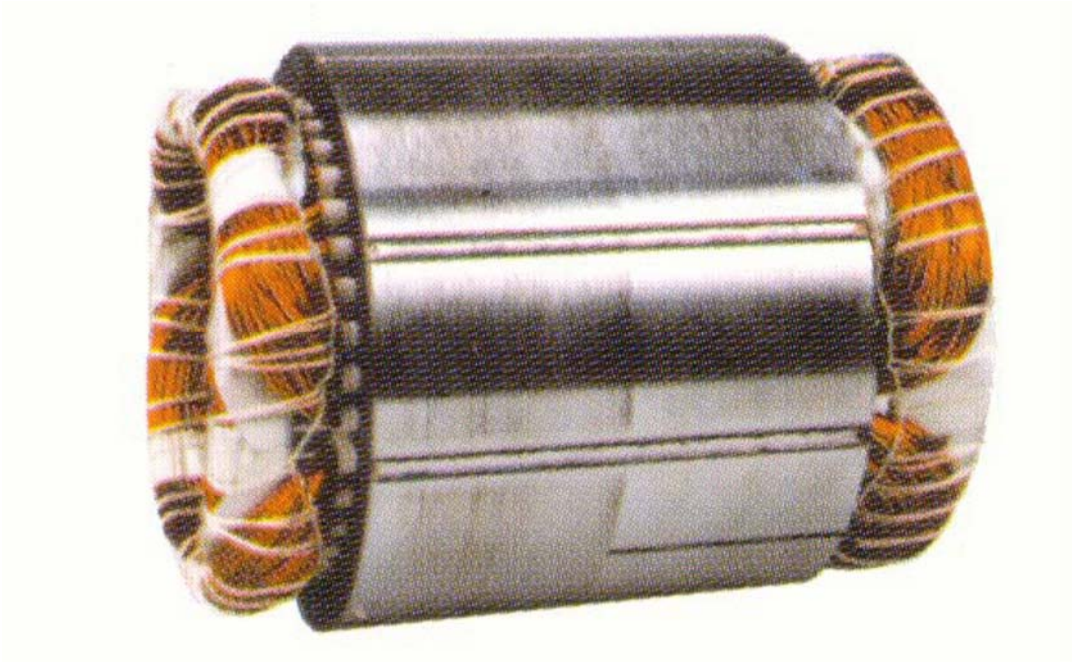
Στην κατασκευαστική δομή του δρομέα των επαγωγικών κινητήρων, θα αναφερθούμε λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

Αντίθετα από το δρομέα, ο στάτης όλων μηχανών εναλασσόμενου ρεύματος έχει την ίδια κατασκευαστική δομή. Ο στάτης είναι μια κυλινδρική δομή από ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους.

Στο εσωτερικό του φέρει αυλακώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα του στάτη, όπως εικονίζεται στο Σχ. 5.2. Στη συνέχεια θεωρούμε ότι το τύλιγμα του στάτη είναι *τριφασικό*, οπότε η μηχανή χαρακτηρίζεται ως τριφασική. Όταν το τριφασικό τύλιγμα του στάτη διαρρέετο από ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων, αναπτύσσεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

Εκτός από τις τριφασικές μηχανές εναλασσόμενου ρεύματος, υπάρχουν οι μονοφασικές και οι διφασικές. Οι μηχανές αυτές φέρουν στο στάτη μονοφασικό ή διφασικό τύλιγμα αντίστοιχα. Η

χρήση τους είναι περιορισμένη, σε σχέση με τις τριφασικές μηχανές, εξαιτίας των λειτουργικών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν.



- **Εικόνα 4.9:** Δομή του στάτη, των τριφασικών μηχανών. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, 'Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων', Εκδόσεις Συμewν)

Στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, με έμφαση τις σύγχρονες γεννήτριες, οι ρόλοι του στάτη και του δρομέα είναι αντεστραμμένοι, σε σχέση με τις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Η μορφή του δρομέα αλλάζει δραστικά, ανάλογα με το είδος της μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ο δρομέας των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί έχει κυλινδρική δομή με αυλακώσεις, εντός των οποίων τοποθετείται το τύλιγμα. Εναλλακτικά, ο δρομέας μπορεί να έχει πόλους οι οποίοι να προεξέχουν (*salient pole rotor*), όπως οι πόλοι του στάτη στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

Στην κατασκευαστική δομή του δρομέα των επαγωγικών κινητήρων, θα αναφερθούμε λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

Αντίθετα από το δρομέα, ο στάτης όλων μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος έχει την ίδια κατασκευαστική δομή. Ο στάτης είναι μια κυλινδρική δομή από ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους. Στο εσωτερικό του φέρει αυλακώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα του στάτη.

Στη συνέχεια θεωρούμε ότι το τύλιγμα του στάτη είναι *τριφασικό*, οπότε η μηχανή χαρακτηρίζεται ως τριφασική. Όταν το τριφασικό τύλιγμα του στάτη διαρρέετε

από ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων, αναπτύσσεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Εκτός από τις τριφασικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, υπάρχουν οι μονοφασικές και οι διφασικές. Οι μηχανές αυτές φέρουν στο στάτη μονοφασικό ή διφασικό τύλιγμα αντίστοιχα. Η χρήση τους είναι περιορισμένη, σε σχέση με τις τριφασικές μηχανές, εξαιτίας των λειτουργικών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν.

4.3.3 Το Στρεφόμενο Μαγνητικό Πεδίο.

Όπως και στην ανάλυση των μηχανών συνεχούς ρεύματος, θεωρούμε αρχικά μια μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος, ο στάτης της οποίας φέρει ένα στοιχειώδες τριφασικό τύλιγμα. Το τύλιγμα του στάτη, όπως εικονίζεται στο Σχ. 5.3α, δημιουργεί ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με δύο πόλους (διπολική μηχανή).

Το τριφασικό τύλιγμα είναι σε σύνδεση αστέρα (Σχ. 5.3β).

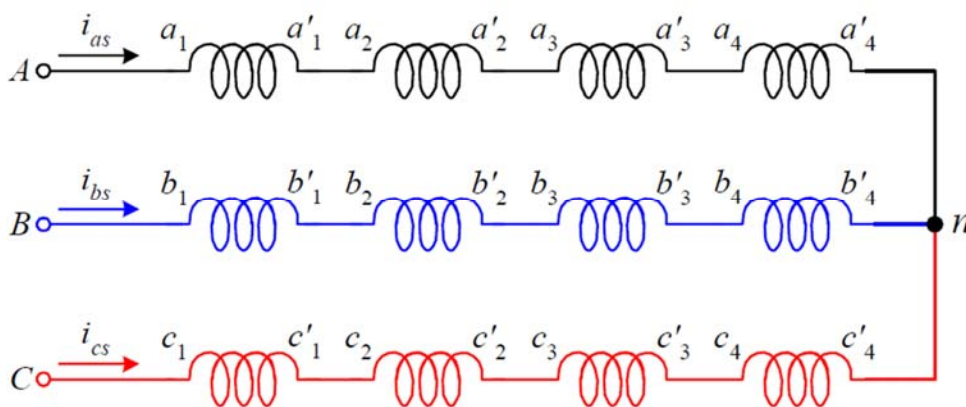
Στην τριφασική μηχανή, η κάθε φάση του τυλίγματος είναι μετατοπισμένη κατά 120° , σε σχέση με τις άλλες δύο. Οι άξονες as , bs , cs , δηλώνουν τη θετική φορά των μαγνητικών πεδίων, που παράγουν τα τρία τυλίγματα μόνα τους. Τα τρία τυλίγματα έχουν την ίδια αντίσταση και τον ίδιο αριθμό σπειρών, οπότε το τριφασικό τύλιγμα του στάτη ονομάζεται *συμμετρικό*.

Οι πλευρές των ομάδων (*coil sides*), κάθε τυλίγματος είναι τοποθετημένες σε αυλάκια (*slots*), τα οποία

σηματίζουν γωνία (*span*) 180° στη διπολική μηχανή. Η φορά του ρεύματος σε κάθε πλευρά των

ομάδων, οι οποίες αποτελούνται από ορισμένο αριθμό σπειρών, εικονίζεται στο Σχ. 5.3α.

Τα άκρα των τεσσάρων ομάδων κάθε τυλίγματος συνδέονται σε σειρά, με τον τρόπο που εικονίζεται στο Σχ. 5.3β. Τα άκρα $a'4$, $b'4$ και $c'4$ από τα τρία τυλίγματα συνδέονται μεταξύ τους, στη σύνδεση αστέρα.



- **Εικόνα 4.10:** Στοιχειώδες διπολική μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος σε σύνδεση αστέρα. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, 'Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων', Εκδόσεις Συμεών)

Στη στοιχειώδη μηχανή της εικόνας 4.10, οι πλευρές των ομάδων κάθε τυλίγματος, είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στην επιφάνεια του στάτη, σε γωνία 60°. Στις πραγματικές μηχανές, οι πλευρές των ομάδων κατανέμονται σε μεγαλύτερη γωνία. Έτσι, στην ίδια αυλάκωση τοποθετούνται οι πλευρές από δύο ομάδες. Επιπλέον, οι ομάδες δεν έχουν τον ίδιο αριθμό σπειρών. Το τύλιγμα του Σχ. 5.3α ονομάζεται *full-pitch*, επειδή οι αντίθετες πλευρές των ομάδων σχηματίζουν γωνία 180° (διπολική μηχανή). Συχνά, οι αντίθετες πλευρές των ομάδων σχηματίζουν γωνία

μικρότερη από 180°, οπότε το τύλιγμα ονομάζεται *fractional-pitch*.

Στην εικόνα 4.10 εικονίζεται το ανάπτυγμα της στοιχειώδους μηχανής. Ως αρχή των αξόνων θεωρείται ο άξονας *as* στα δεξιά του σχήματος. Ακόμη, στην εικόνα 4.10 εικονίζεται η μαγνητεγερτική δύναμη ΜΕΔ, που αναπτύσσεται από το τύλιγμα της φάσης *as*.

Η ΜΕΔ_{as} μεταβάλλεται βηματικά στο κέντρο των αγωγών του τυλίγματος. Σημειώνουμε ότι, το μαγνητικό πεδίο διατρέχει ακτινικά το διάκενο. Η ακτινική διεύθυνση του πεδίου οφείλεται στο μικρό πλάτος του διακένου σχετικά με τη διάμετρο του δρομέα και τη μεγάλη μαγνητική του αντίσταση, σε σχέση με εκείνη του σιδήρου στο στάτη και το δρομέα. Η ΜΕΔ που αναπτύσσεται από το τύλιγμα *bs* (ΜΕΔ_{bs}) έχει την ίδια μορφή με την ΜΕΔ_{as}, αλλά είναι μετατοπισμένη κατά 120° προς τα αριστερά. Αντίστοιχα, η ΜΕΔ_{cs} είναι μετατοπισμένη κατά 240° προς τα αριστερά ως προς την ΜΕΔ_{as}. Οι άξονες *as*, *bs*, *cs*, βρίσκονται στο μέσο της μέγιστης θετικής ΜΕΔ κάθε τυλίγματος. Οι κυματομορφές των ΜΕΔ που αναπτύσσουν τα τυλίγματα της στοιχειώδους μηχανής στο

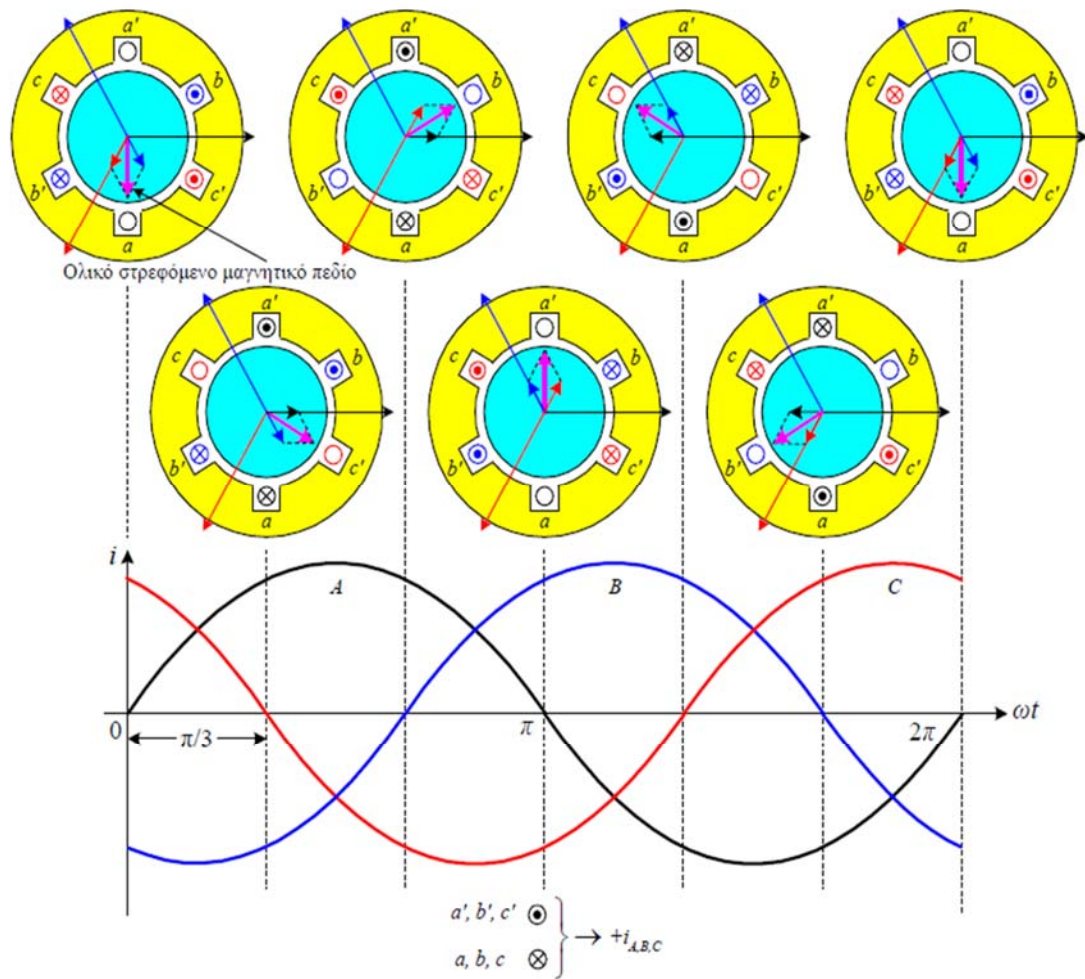
διάκενο, είναι μη ημιτονοειδείς συναρτήσεις της χωρικής γωνίας *s*

ϕ . Αυτό είναι ανεπιθύμητο,

ιδιαίτερα στις μηχανές μεγάλης ισχύος, γιατί προκαλεί την ανάπτυξη αρμονικών τάσεων και ρευμάτων. Για την παραγωγή ημιτονοειδούς ΜΕΔ στο διάκενο της μηχανής, τα τυλίγματα του στάτη πρέπει να έχουν ημιτονοειδή κατανομή. Τότε, η ΜΕΔ έχει

την ημιτονοειδή μορφή και ορίζεται από την παρακάτω σχέση, για τη φάση *as*

$$ME\Delta_{as} = N_s / 2 i_{as} \cos \phi_s$$

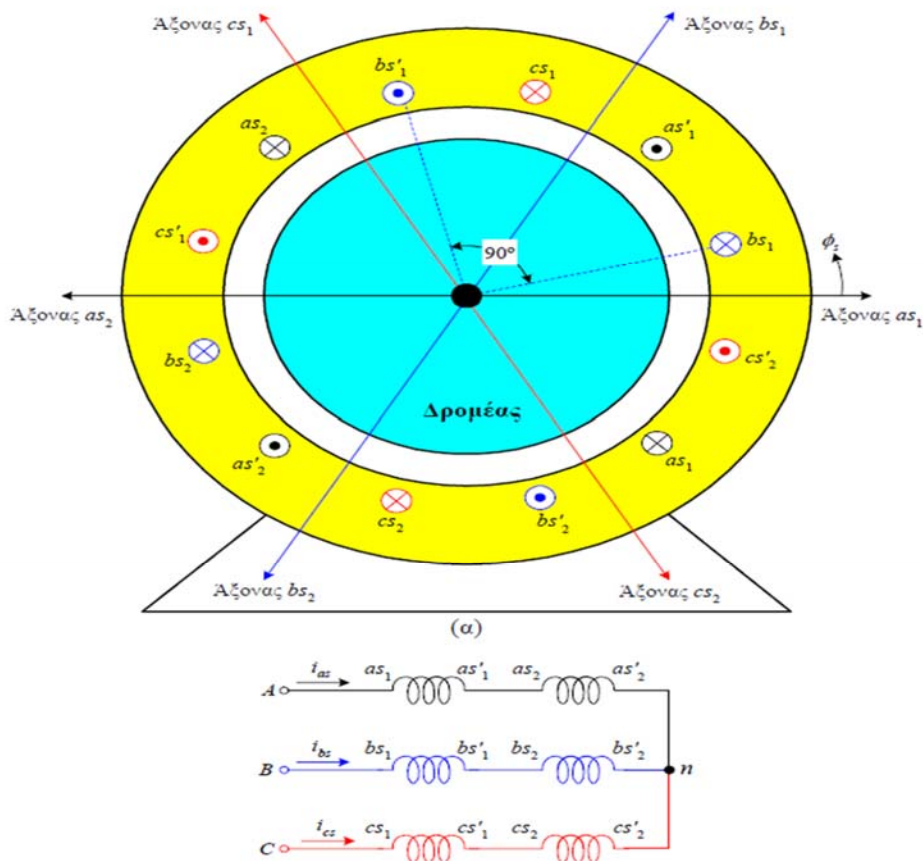


- Εικόνα 4.11:** Παραγωγή του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου σε μια διπολική τριφασική μηχανή με θετική σειρά διαδοχής των φάσεων. Το μαγνητικό πεδίο εκτελεί μια πλήρη περιστροφή, με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού, σε κάθε περίοδο των ρευμάτων. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

Η δημιουργία του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου γίνεται φανερή από την Εικόνα. 4.11. Η θετική φορά των ρευμάτων σε καθένα από τα τρία τυλίγματα του στάτη, αντιστοιχεί σ' εκείνη του Σχ.

5.3α. Κάθε τύλιγμα από τη ροή του αντίστοιχου ρεύματος παράγει ένα μαγνητικό πεδίο, η θετική φορά του οποίου (βόρειος πόλος) εικονίζεται στο Σχ. 5.6 και είναι ίδια μ' εκείνη στο Σχ. 5.3α. Στην Εικόνα. 4.11 εικονίζονται τα μαγνητικά πεδία που παράγει κάθε τύλιγμα του στάτη μόνο του, καθώς και το ολικό πεδίο της μηχανής σε επτά διακριτές χρονικές στιγμές, οι οποίες αντιστοι-

χούν σε γωνίες των ρευμάτων 60ο. Η διαδοχή φάσης των ρευμάτων είναι ABC . Παρατηρούμε ότι στη διπολική μηχανή που εξετάζουμε το ολικό μαγνητικό πεδίο στρέφεται κατά 60 μηχανικές μοίρες σε κάθε 60ο μεταβολή της φασικής γωνίας των ρευμάτων με αντι-ωρολογιακή φορά, όπως ήδη γνωρίζουμε). Αν η σειρά διαδοχής φάσης των ρευμάτων αντιστραφεί, τότε θα αντιστραφεί και η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου (ωρολογιακή).



- **Εικόνα 4.12:** Στοιχειώδης τετραπολική μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος, με τριφασικό τύλιγμα του στατη. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμμεών)

Στην Εικόνα 4.12 εικονίζονται τα τυλίγματα του στάτη σε μια τετραπολική μηχανή. Το τύλιγμα της κάθε φάσης αποτελείται από δύο επιμέρους τυλίγματα, τα οποία συνδέονται σε σειρά. Τα τρία τυλίγματα συνδέονται σε αστέρα. Οι αντίθετες πλευρές των ομάδων κάθε τυλίγματος (*span*) σχηματίζουν γωνία 90ο. Η ΜΕΔ που αναπτύσσεται στο διάκενο των μηχανών με P πόλους, ορίζεται με αντίστοιχο τρόπο από τη σχέση

$$ME\Delta_s = N_s 3/P_2 * I_{ms} \cos(\omega t - P/2\phi_s)$$

Η ταχύτητα περιστροφής της ΜΕΔ είναι μειωμένη και ίση με $\omega / 2$ $e \omega P$. Η ταχύτητα της ΜΕΔ ονομάζεται *σύγχρονη ταχύτητα*. Το μαγνητικό πεδίο αποτελείται από P πόλους.

4.3.4 Είδη Επαγωγικών Κινητήρων.

Οι επαγωγικοί κινητήρες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την κατασκευαστική δομή του δρομέα τους: σε κινητήρες με *βραχυκυκλωμένο δρομέα ή κλωβό (squirrel cage rotor)* και σε κινητήρες με *δακτυλιοφόρο δρομέα (wound rotor)*.

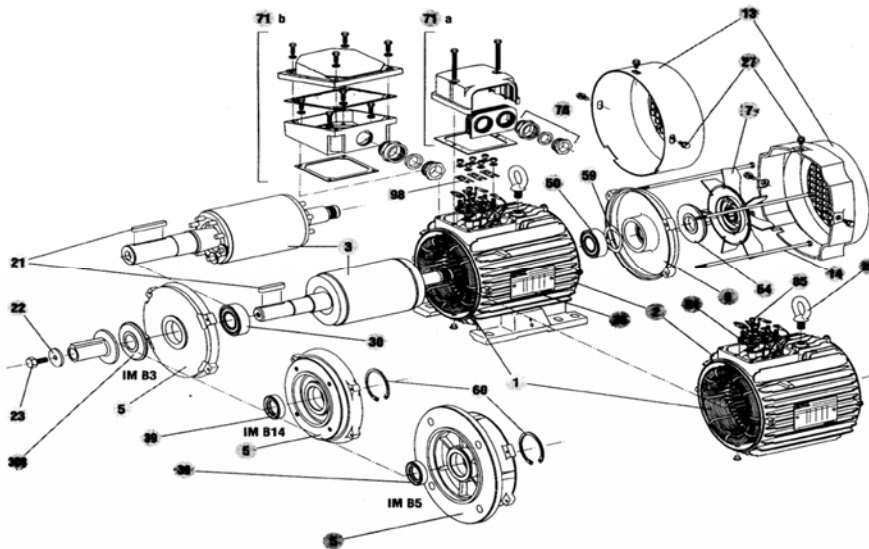
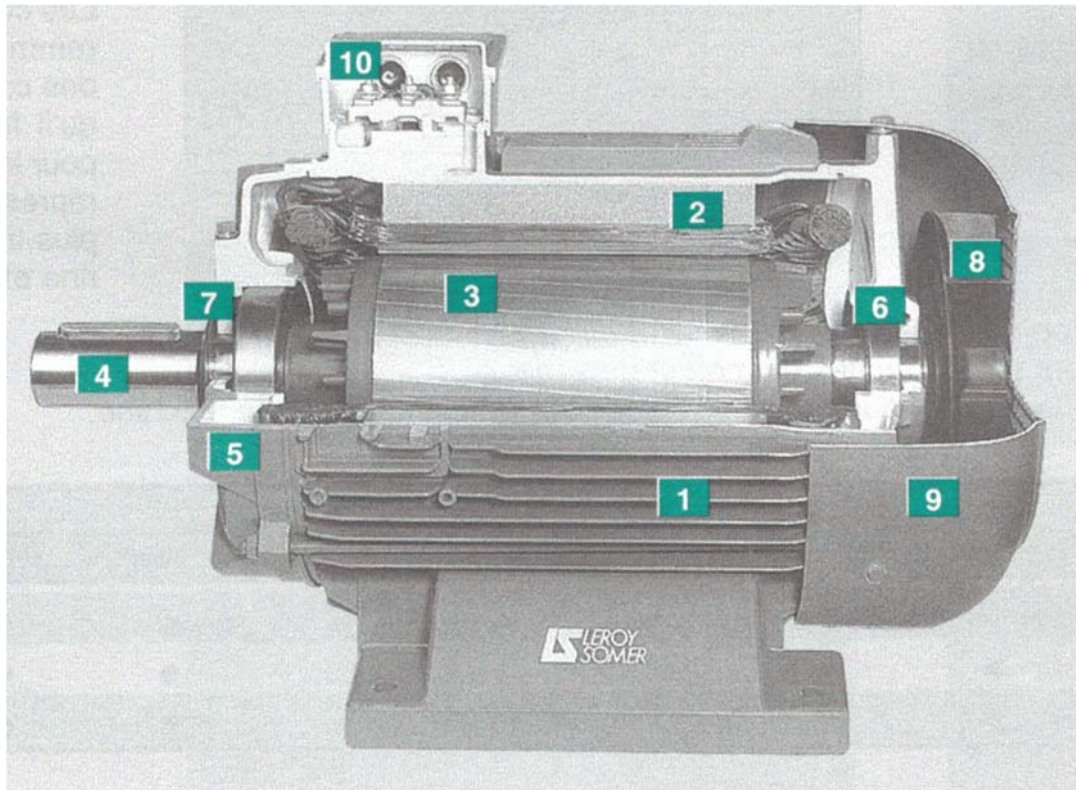
Οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο κλωβό είναι οι πλέον διαδεδομένοι. Ο δρομέας των κινητήρων αυτών αποτελείται από ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους, τα οποία προσαρμόζονται στον άξονα. Τα ελάσματα φέρουν οδοντώσεις, οι οποίες σχηματίζουν αυλάκια κατά μήκος του δρομέα. Η γεωμετρική μορφή των αυλακώσεων καθορίζει την ηλεκτρική συμπεριφορά του κινητήρα, δηλαδή τη χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπή. Στις *κλάσεις (classes)* των επαγωγικών κινητήρων με βραχυκυκλωμένο κλωβό, ανάλογα με τη μορφή των αυλακώσεων και στην ιδιαίτερη μορφή της χαρακτηριστικής ταχύτητας-ροπής κάθε κλάσης, θα αναφερθούμε στη συνέχεια. Στα αυλάκια του δρομέα τοποθετούνται ράβδοι από χαλκό ή ορείχαλκο, τα άκρα των οποίων συνδέονται μεταξύ τους με *δακτυλίους βραχυκύκλωσης (shorting rings)*. Έτσι, σχηματίζεται

το τύλιγμα κλωβού του δρομέα. Στους επαγωγικούς κινητήρες μικρής ισχύος, το τύλιγμα κλωβού κατασκευάζεται με χύτευση αλουμινίου στα αυλάκια του δρομέα. Στην περίπτωση αυτή, οι δακτύλιοι βραχυκύκλωσης και τα πτερύγια εξαερισμού χυτεύονται μαζί με τους αγωγούς του

κλωβού, οι οποίοι δεν είναι μονωμένοι ως προς το σίδηρο του δρομέα. Όμως, τα ρεύματα κυκλοφορούν κυρίως από τον κλωβό, καθώς η αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι πολύ μεγαλύτερη

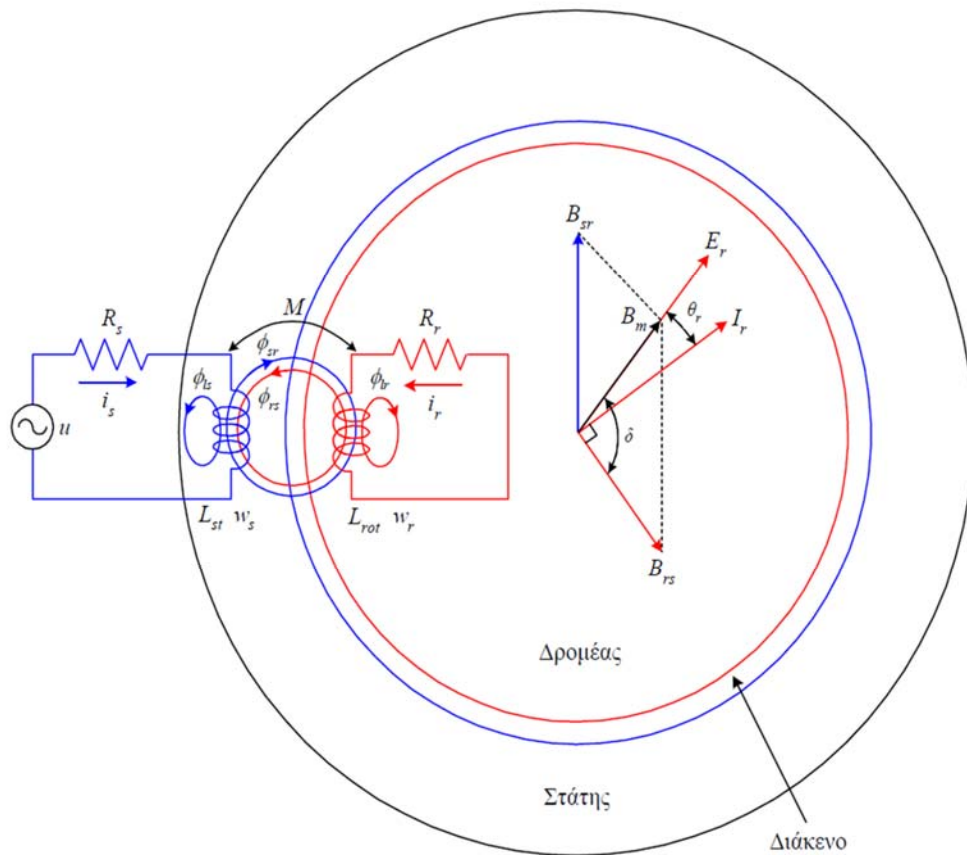
από εκείνη του σιδήρου. Είναι φανερό ότι, ο δρομέας του επαγωγικού κινητήρα με βραχυκυκλωμένο κλωβό, δεν συνδέεται ηλεκτρικά με καμιά πηγή. Στο γεγονός αυτό οφείλεται η απλή

κατασκευή και η ευρεία χρήση του επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού



- **Εικόνα 4.13:** Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας με βραχυκυκλωμένο κλωβό. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

Ο δρομέας των επαγωγικών κινητήρων με δακτυλιοφόρο δρομέα φέρει αυλακώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται ένα τριφασικό τύλιγμα, αντίστοιχο μ' εκείνο του στάτη. Οι τρεις φάσεις του τυλίγματος στο δρομέα συνδέονται σχεδόν πάντα σε αστέρα. Τα τρία άκρα του τυλίγματος αστέρα καταλήγουν σε ισάριθμους δακτυλίους, που φέρει ο δρομέας. Μέσω των δακτυλίων και των ψηκτρών που εφάπτονται σ' αυτούς, είναι δυνατή η σύνδεση ρυθμιστικών αντιστάσεων στο τύλιγμα του δρομέα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η τροποποίηση της χαρακτηριστικής ταχύτητας-ροπής του κινητήρα, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.



- **Εικόνα 4.14:** Ηλεκτρομαγνητική δομή του επαγωγικού κινητήρα. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

4.4 Σύγχρονοι Κινητήρες Εναλασσόμενου Ρεύματος

4.4.1 Εισαγωγή στις σύγχρονες μηχανές

Οι *σύγχρονοι κινητήρες (synchronous motors)* είναι κινητήρες εναλασσομένου ρεύματος, οι οποίοι έχουν το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό να περιστρέφονται με την σύγχρονη ταχύτητά τους (6.6), η οποία για ένα ζεύγος πόλων είναι 3000 rpm στα 50 Hz. Οι σύγχρονοι κινητήρες μπορεί να είναι μεγάλης ισχύος τριφασικοί ή μονοφασικοί κλασματικής ιπποδύναμης για εφαρμογές όπου απαιτείται απόλυτα σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όπως ηλεκτρικά ρολόγια, πικάπ κλπ.

Οι μεγάλοι 3φασικοί κινητήρες αναπτύσσουν ένα περιστρεφόμενο πεδίο στον στάτη ακριβώς, όπως οι επαγωγικοί. Διαθέτουν όμως περιελίξεις στο δρομέα, οι οποίες τροφοδοτούνται με συνεχή τάση, την *τάση διέγερσης*. Δημιουργείται έτσι ένα σταθερό πεδίο στον δρομέα, σαν να ήταν ένας μόνιμος μαγνήτης. Η αλληλεπίδραση αυτών των δυο πεδίων δημιουργεί ροπή στον άξονα του κινητήρα.

Ο επαγωγικός, ή ασύγχρονος, κινητήρας προσαρμόζεται στις μεταβολές του φορτίου με μικρή μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του. Έτσι η αύξηση του φορτίου οδηγεί σε μία επιβράδυνση, αύξηση της ολίσθησης, του ρεύματος του στάτη και της ροπής στον άξονα. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες *T-n* δείχνουν παραστατικά την διαδικασία αυτή. Αντίθετα ο σύγχρονος κινητήρας διατηρεί τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, ανεξάρτητα από τις μεταβολές του φορτίου στον άξονά του, όσο αυτές παραμένουν μέσα στα πλαίσια της λειτουργίας τους.

Για να γίνει κατανοητή η διαδικασία προσαρμογής του σύγχρονου κινητήρα στις μεταβολές του φορτίου, θα χρησιμοποιηθεί ένα ανάλογο παράδειγμα. Έστω ότι 2 μικροί μαγνήτες βρίσκονται στις 2 πλευρές ενός τζαμιού. Η μετακίνηση του ενός μαγνήτη αναγκάζει τον άλλο να τον ακολουθήσει με κάποια μικρή καθυστέρηση. Εάν ο δεύτερος μαγνήτης κατά την πορεία του συναντήσει υποστρώματα με διαφορετικούς συντελεστές τριβής, θα πλησιάσει περισσότερο ή θα απομακρυνθεί από τον πρώτο, κινούμενος όμως συνεχώς σύμφωνα με την κίνηση του πρώτου.

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τον σύγχρονο κινητήρα. Μόλις ο δρομέας αποκτήσει τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, το πεδίο του στάτη που γυρίζει μέσα στο διάκενο, συμπαρασύρει τον δρομέα, ο οποίος λειτουργεί σαν ηλεκτρομαγνήτης. Η καθυστέρηση ανάμεσα στο πεδίο του στάτη και στον περιστρεφόμενο με την ίδια ταχύτητα άξονα του μαγνήτη του δρομέα ονομάζεται *γωνία φορτίου (load angle)*. Τα 2 πεδία είναι ακλόνητα συμπλεγμένα. Τυχόν μεταβολές του φορτίου προκαλούν αύξηση ή μείωση της γωνίας φορτίου, χωρίς να επηρεάσουν την κοινή ταχύτητα περιστροφής των 2 πεδίων.

Η γωνία φορτίου μπορεί να μεταβληθεί αρκετά. Υπάρχει όμως ένα όριο πέρα από το οποίο δεν είναι πλέον δυνατή η αύξηση της ροπής του σύγχρονου κινητήρα και αυτός θα επιβραδυνθεί και θα σταματήσει. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται σαν *απώλεια συγχρονισμού* και σε

μεγάλους σύγχρονους κινητήρες είναι ιδιαίτερα οδυνηρό προκαλώντας τεράστια ρεύματα σφάλματος και ενεργοποίηση των συστημάτων προστασίας.

Ο σύγχρονος κινητήρας δεν έχει ροπή εκκίνησης και δεν μπορεί να παράγει ροπή παρά μόνο όταν περιστρέφεται στη σύγχρονη ταχύτητα. Για το λόγο αυτό οι μεγάλοι σύγχρονοι κινητήρες εκκινούν σαν ασύγχρονοι με τη βοήθεια ειδικού κλωβού στο δρομέα. Λειτουργώντας σαν ασύγχρονοι επιταχύνονται μέχρι τη σύγχρονη ταχύτητα. Τότε συνδέεται η συνεχής τάση στο τύλιγμα του δρομέα, εμπλέκεται το φορτίο και ο κινητήρας λειτουργεί πλέον σαν σύγχρονος.

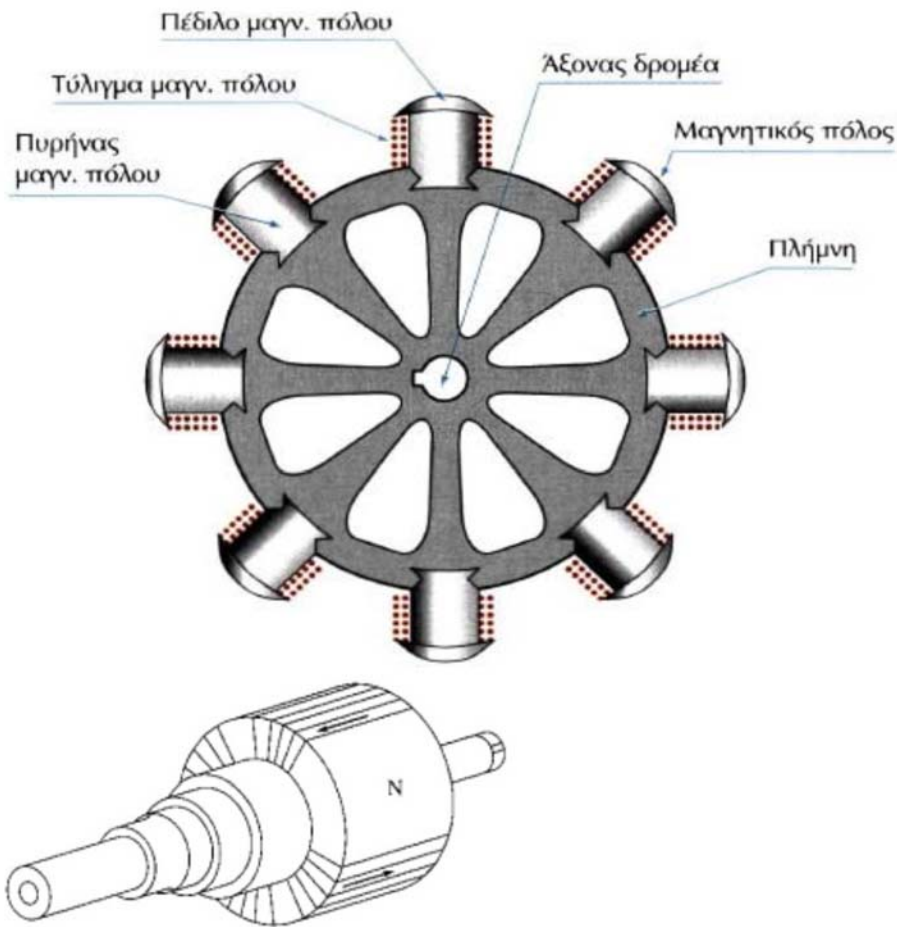
Με τις ειδικές απαιτήσεις της εκκίνησης, την ανάγκη για συνεχή τάση στο δρομέα και το υψηλό κόστος, οι σύγχρονοι κινητήρες δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στη βιομηχανία, εκτός από τις περιπτώσεις όπου η σταθερή ταχύτητα περιστροφής είναι απαραίτητη. Παρόλα αυτά οι σύγχρονοι κινητήρες έχουν ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα. Με κατάλληλη ρύθμιση της συνεχούς τάσης του δρομέα, ένας σύγχρονος κινητήρας αλλάζει την κατανάλωση αέργου ισχύος ή μπορεί ακόμη και να παράγει άεργη ισχύ σαν ένας πυκνωτής. Στην περίπτωση αυτή η λειτουργία του χαρακτηρίζεται σαν λειτουργία **στρεφόμενου πυκνωτή (synchronous condenser)**.

Όλοι οι τύποι των κινητήρων μπορούν, θεωρητικά, να λειτουργήσουν σαν γεννήτριες, δηλαδή με εφαρμογή κάποιας κινητήριας ροπής στον άξονα να παράγουν ηλεκτρική ισχύ στα τυλίγματα του στάτη. Η πιο χαρακτηριστική κατηγορία τέτοιων μηχανών είναι οι σύγχρονες, που αποτελούν τις γεννήτριες σε όλους τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος λειτουργούν και σαν γεννήτριες συνεχούς ρεύματος κατά την πέδηση σε συστήματα ηλεκτρικής έλξης, ενώ η μηχανή των ανεμογεννητριών είναι, όπως προαναφέρθηκε, ασύγχρονη γεννήτρια.

Σε αντίθεση με την ασύγχρονη μηχανή η οποία είναι απλής τροφοδότησης (καθόσον το τύλιγμα του δρομέα τροφοδοτείται εξ' αλληλεπαγωγής από το τύλιγμα του στάτη), η σύγχρονη μηχανή είναι διπλής τροφοδότησης.

Το τύλιγμα τυμπάνου είναι απόλυτα όμοιο με εκείνο των μηχανών επαγωγής, βρίσκεται συνήθως στο στάτη και είναι τριφασικό διανεμημένο τύλιγμα.

Το τύλιγμα του δρομέα γνωστό και ως τύλιγμα διέγερσης ή τύλιγμα πεδίου, είναι τύλιγμα συνεχούς ρεύματος και ανάλογα του αριθμού των πόλων μπορεί να είναι διανεμημένο ή συγκεντρωμένο. Σε σπάνιες περιπτώσεις, είναι δυνατόν το τύλιγμα τυμπάνου να βρίσκεται στο δρομέα και το τύλιγμα διέγερσης στο στάτη.



- **Εικόνα 4.15:** Σχέδιο Ρότορα-στάτη σύγχρονου κινητήρα (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

4.4.2 Κατηγορίες Σύγχρονων Μηχανών

- **Μηχανές κυλινδρικού δρομέα** (Πολύστροφες μηχανές. Συνήθως είναι διπολικές ή τετραπολικές)
- **Μηχανές έκτυπων πόλων** (Αργόστροφες μηχανές. Πρακτικά άνω των τεσσάρων πόλων, οι σύγχρονες μηχανές κατασκευάζονται με έκτυπους πόλους).

Οι μηχανές ομοιόμορφου διάκενου, εμφανίζουν καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις μηχανές έκτυπων πόλων. Οι δρομείς των μηχανών ομοιόμορφου διάκενου είναι μεγαλύτερου ενεργού μήκους και μικρότερης διαμέτρου, από τους αντίστοιχους δρομείς των μηχανών με έκτυπους πόλους (για των περιορισμό των φυγοκεντρικών δυνάμεων αλλά και τη μείωση της ροπής αδράνειας των στρεφόμενων μαζών).

Ανεξάρτητα από το είδος της λειτουργίας της ως κινητήρα ή γεννήτρια και τις συνθήκες φόρτισης, στρέφεται πάντα με σταθερό αριθμό στροφών (σύγχρονο αριθμό στροφών που εξαρτώνται από τον αριθμό των μαγνητικών πόλων των τυλιγμάτων και από τη συχνότητα των ρευμάτων του τυλίγματος τυμπάνου)).

Σε αντίθεση λοιπόν με τις ασύγχρονες μηχανές, στις σύγχρονες μηχανές η ολίσθηση του δρομέα είναι μηδενική. Δηλαδή, το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της μηχανής και ο δρομέας, στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, στρέφονται με την ίδια ταχύτητα. Οι σύγχρονες μηχανές, χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες και λιγότερο ως κινητήρες. (π.χ. Αντλητικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς).

Βασικό πλεονέκτημα σύγχρονης γεννήτριας.

Εύκολη ρύθμιση της ενεργού και της άεργης ισχύος.

Χαρακτηριστικό των σύγχρονων κινητήρων

Με κατάλληλη ρύθμιση της διέγερσης, για τις ίδιες συνθήκες φόρτισης μπορεί να εμφανίζουν χωρητική, επαγωγική ή ωμική συμπεριφορά.

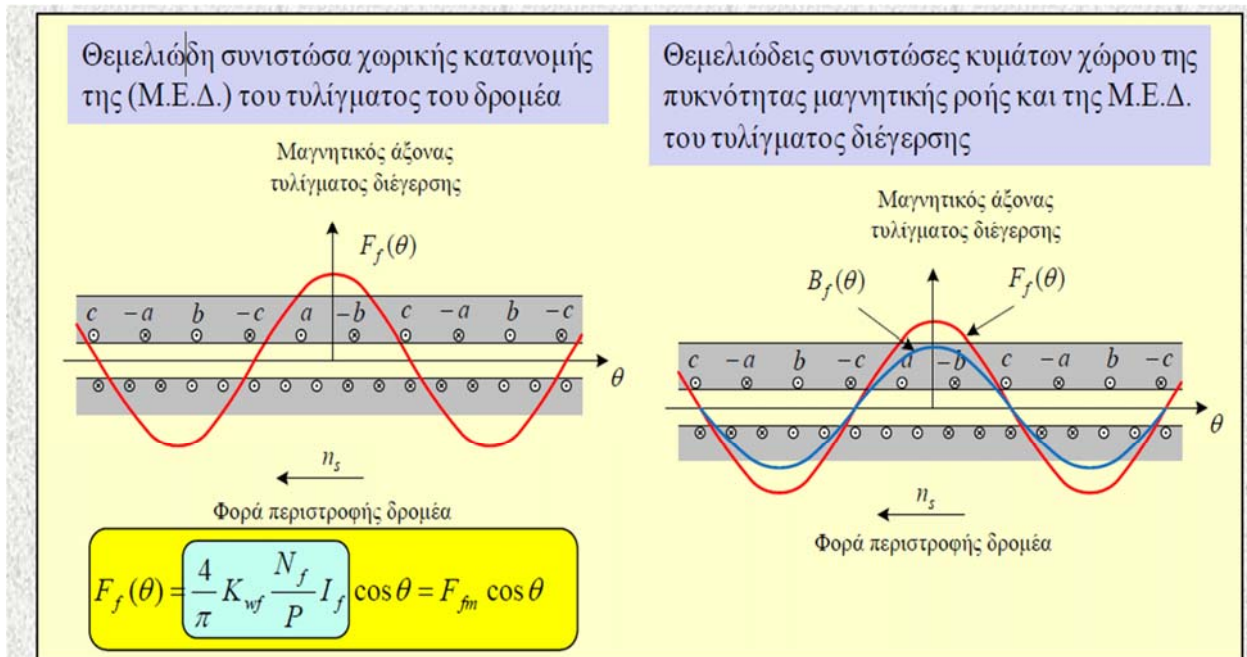
Υπάρχουν σύγχρονοι κινητήρες (στα κέντρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στους υποσταθμούς βιομηχανικών μονάδων μεγάλης ισχύος), οι οποίοι συνήθως είναι χωρίς εξωτερικούς άξονες και οι οποίοι χρησιμοποιούνται σαν τοπικές μονάδες αντιστάθμισης της άεργης ισχύος. Οι κινητήρες αυτοί, δεν παράγουν μηχανικό έργο («επιπλέουν» στο δίκτυο) και κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, με κατάλληλη ρύθμιση της διέγερσης τους, συμπεριφέρονται είτε ως ιδανικοί πυκνωτές είτε ως ιδανικά πηνία.

4.4.3 Κύματα χώρου μαγνητεγερτικών δυνάμεων τυλιγμάτων στάτη και δρομέα.

Ο δρομέας, κινείται με τη σύγχρονη ταχύτητα, από κινητήρα συνδεδεμένο στον άξονα.

Αγνοώντας φαινόμενα κορεσμού του σιδηρομαγνητικού κυκλώματος και λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερότητα της μαγνητικής αντίστασης περί την περιφέρεια του διακένου, η ακτινική διανομή της πυκνότητας μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής μπορεί να παρασταθεί με αρκετά καλή προσέγγιση από την αντίστοιχη θεμελιώδη συνιστώσα χώρου, η οποία είναι σε φάση με το κύμα χώρου της Μ.Ε.Δ.

Το κύμα πυκνότητας της μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής, στις μηχανές μπορεί να καταστεί κατά προσέγγιση ημιτονοειδές, με κατάλληλη διαμόρφωση του προσώπου των πόλων.



- **Εικόνα 4.16:** Θεμελιώδης συνιστώσες. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

4.4.4 Ανάπτυξη τάσης και ροπής.

Με αναφορά το μαγνητικό άξονα της φάσης (α-α) του τυλίγματος του στάτη παρατηρούμε ότι, το θεμελιώδες κύμα πυκνότητας μαγνητικής ροής του δρομέα περιστρέφεται με τη n_s . Μιας και οι επαγόμενες τάσεις στο τύλιγμα τυμπάνου, εξαρτώνται από τη σχετική κίνηση του πεδίου του δρομέα και των αγωγών του τυλίγματος τυμπάνου, μπορούμε ισοδύναμα να θεωρήσουμε το πεδίο του δρομέα ακίνητο στο χώρο και το τύλιγμα τυμπάνου να περιστρέφεται με ταχύτητα ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς περιστροφής.

Καθώς λοιπόν ο δρομέας περιστρέφεται, το θεμελιώδες κύμα πυκνότητας μαγνητικής ροής σαρώνει τις πλευρές του πηνίου a και $-a$.

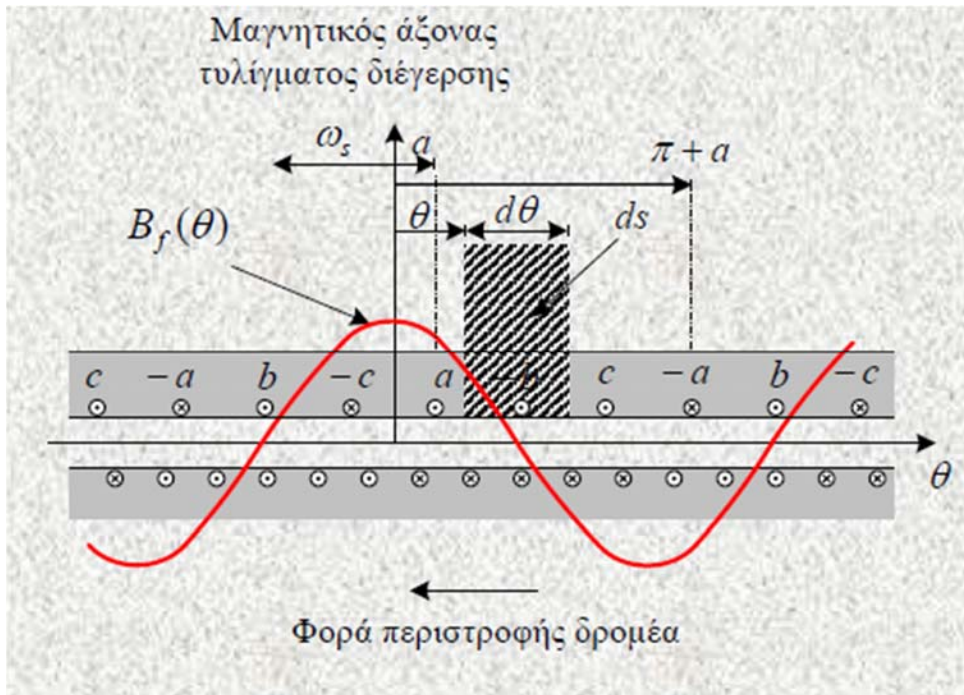
Μαγνητική ροή ανά πόλο στο τύλιγμα της φάσης (α -α) του στάτη

$\varphi_{af} = -\Phi_f \sin \omega t$ όπου $\Phi_f = \frac{4}{P} B_{fm} l r$

Η επαγόμενη τάση στο τύλιγμα της φάσης (α -α), είναι γνωστή ως **τάση διέγερσης** και με βάση το νόμο του Faraday είναι

$$e_{af} = -\frac{d\lambda_{af}}{dt} = -N_{ph} \Phi_f \frac{d}{dt} (-\sin \omega t) = N_{ph} \Phi_f \cos \omega t = E_m \cos \omega t$$

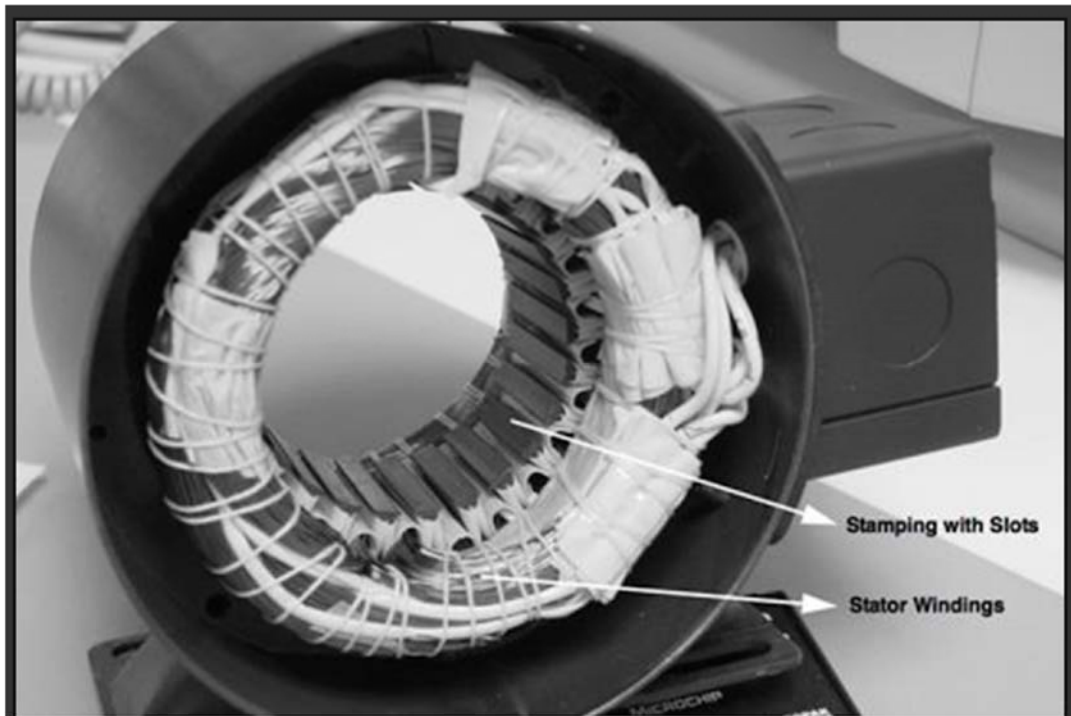
Με ενεργό τιμή $E_f = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_{ph} \Phi_f}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_{ph} \Phi_f$



4.4.5 Σύγχρονος Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν τεράστιο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά, με περισσότερους από 5 δισεκατομμύρια να κατασκευάζονται κάθε χρόνο. Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για συμπαγείς και αξιόπιστους κινητήρες και λόγω της εξέλιξης νέων τεχνολογιών ημιαγωγικών στοιχείων και μόνιμων μαγνητών υψηλής απόδοσης και χαμηλού κόστους, οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη αποτελούν μια δημοφιλή λύση για πληθώρα εφαρμογών.

Ο **στάτης** ενός σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη, είναι κατασκευασμένος από στοιβαγμένα ελάσματα σιλικονούχου χάλυβα (silicon steel) πάχους 0,3-0,5 mm. Μεταξύ από κάθε στρώση ελασμάτων παρεμβάλλεται ειδική μονωτική ρητίνη. Σκοπός της ρητίνης, είναι η αύξηση της αντίστασης αγωγής μεταξύ των στρώσεων του χάλυβα και συνεπώς, ελαχιστοποίηση των δινορευμάτων. Τα τυλίγματα του στάτη τοποθετούνται σε αξονικές τομές στην εσωτερική περιφέρεια, με κάθε ένα από αυτά να κατασκευάζεται με την διασύνδεση μεγάλου αριθμού ελιγμάτων χαλκού. Συνήθως, ο στάτης μοιάζει με εκείνον του κινητήρα επαγωγής. Όμως, τα τυλίγματα του διανέμονται με διαφορετικό τρόπο. Οι περισσότεροι κινητήρες BLDC διαθέτουν τρία τυλίγματα στο στάτη σε συνδεσμολογία αστέρα.



- **Εικόνα 4.17:** Στάτης κινητήρα BLDC(Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμείων)

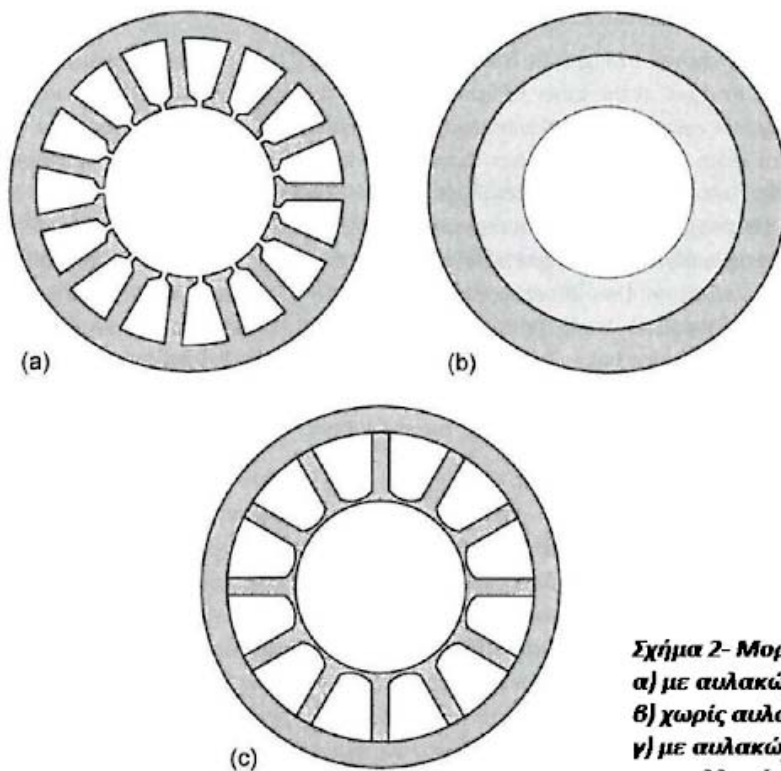
Υπάρχουν δύο βασικές μορφολογίες στάτη:

- **Στάτης με αυλακώσεις:**
- **Στάτης χωρίς αυλακώσεις:**

Ο στάτης με αυλακώσεις έχει κατασκευαστικά μικρό μαγνητικό διάκενο, με αποτέλεσμα ο συντελεστής διαπερατότητας και η πυκνότητα μαγνητικής ροής του διακένου να είναι αυξημένοι. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη παραγόμενη ροπή και αυξημένη απόδοση. Επίσης, η μεγάλη επιφάνεια επαφής μεταξύ των τυλιγμάτων και του στάτη προσφέρει καλή απαγωγή θερμότητας από τα τυλίγματα προς το περιβάλλον. Βασικά μειονεκτήματα αυτής της μορφολογίας είναι η ανάπτυξη ταλαντώσεων στην παραγόμενη ροπή λόγω της μη ομοιογενούς κατανομής της μαγνητικής διαπερατότητας του διακένου (ροπή αντιδράσεως) και το αυξημένο κόστος, που υπεισέρχεται από τη δυσκολία εισαγωγής των τυλιγμάτων στις αυλακώσεις.

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της ροπής αντιδράσεως αναπτύχθηκε η μορφολογία στάτη με αυλακώσεις του Σχήματος 2c. Αυτή η δομή, έχει αυλακώσεις χωρίς ανοίγματα, με τα πέλατα των δοντιών του στάτη να ενώνονται σχηματίζοντας μια λεία επιφάνεια. Αυτή η ομοιογένεια του διακένου εξασφαλίζει πολύ μικρές αλλαγές στην μαγνητική αντίσταση διακένου που συναντάει ο μαγνήτης ενώ περιστρέφεται, μειώνοντας την ροπή αντιδράσεως. Οι ενώσεις των αυλακώσεων υστερούν από πλευράς μαγνητικής απόδοσης, καθώς αυξάνουν τη ροή σκεδάσεως και στερούν ένα τμήμα της μαγνητικής ροής των μαγνητών από τα τυλίγματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα παραγωγή χαμηλότερης τάσης εξ επαγωγής και κατ' επέκταση μειωμένη απόδοση.

Στον στάτη χωρίς αυλακώσεις, (Σχήμα 2b), τα τυλίγματα παίρνουν την μορφή δακτυλιδιού και τοποθετούνται στην εσωτερική επιφάνεια του στάτη. Αυτή η μορφολογία εμφανίζει μηδενική ροπή αντιδράσεως, καθώς η επιφάνεια του στάτη είναι λεία με τη μαγνητική αντίσταση που συναντούν οι μαγνήτες να μην μεταβάλλεται κατά την περιστροφή του δρομέα. Ένα ακόμα πλεονέκτημα αυτής της μορφολογίας, είναι η ύπαρξη αυξημένου χώρου για την εισαγωγή τυλίγματος. Ωστόσο, η μειωμένη δυνατότητα απαγωγής θερμότητας από τα τυλίγματα προς το στάτη, μειώνει τις επιτρεπόμενες τιμές ρευμάτων λειτουργίας. Το μαγνητικό διάκενο αποτελείται από το διάκενο αέρα μαζί με το πάχος των τυλιγμάτων. Αυτή η αύξηση στις διαστάσεις του διακένου προκαλεί μείωση στον συντελεστή διαπερατότητας και στην πυκνότητα μαγνητικής ροής του διακένου. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση της παραγόμενης ροπής και κατ' επέκταση μειωμένη απόδοση.



Σχήμα 2- Μορφολογίες στάτη
α) με αυλακώσεις
β) χωρίς αυλακώσεις
γ) με αυλακώσεις και συγκολλημένα πέγματα

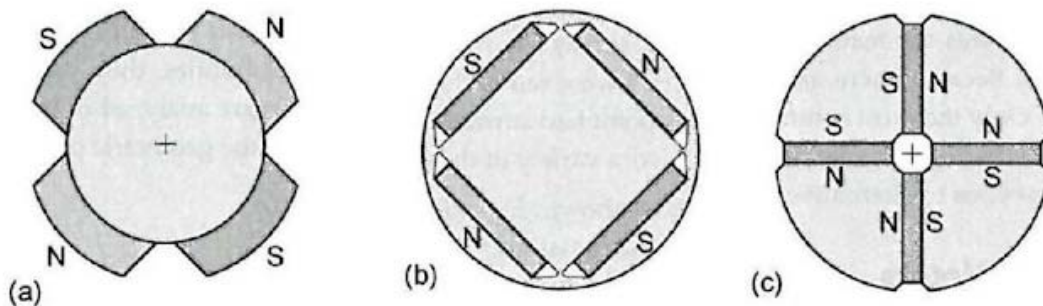
- **Εικόνα 4.18:** Μορφολογίες Στάτη(Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

Ο **δρομέας** είναι συνήθως κατασκευασμένος από ελασματοποιημένο σιλικονούχο χάλυβα κυλινδρικής μορφής. Στην επιφάνειά του τοποθετούνται οι μόνιμοι μαγνήτες, οι οποίοι σχηματίζουν ζεύγη πόλων αντίθετης πολικότητας.

Ανάλογα με το σχήμα και την τοποθέτηση των μαγνητών υπάρχουν οι εξής τοπολογίες δρομέα:

- α)** δρομέας με μαγνήτες συγκολλημένους στην επιφάνειά του,
- β)** δρομέας με μαγνήτες στο εσωτερικό του
- γ)** δρομέας με μαγνήτες κάθετα τοποθετημένους στο εσωτερικό του.

Με βάση την απαιτούμενη πυκνότητα μαγνητικού πεδίου γίνεται επιλογή του κατάλληλου μαγνητικού υλικού για την κατασκευή τους. Στο παρελθόν το πιο συνηθισμένο υλικό για την κατασκευή μόνιμων μαγνητών ήταν οι κεραμικοί μαγνήτες (φερρίτες). Όμως, με την πρόοδο της τεχνολογίας άρχισαν να χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες μαγνητών υψηλής ενέργειας, όπως κράματα σπάνιων γαιών (NdSmCo και NdFeB). Ο δρομέας μπορεί να τοποθετηθεί εσωτερικά ή εξωτερικά του στάτη της μηχανής. Γενικά όμως, κατασκευαστικά προτιμώνται οι μηχανές με εσωτερικό δρομέα, καθώς με αυτό τον τρόπο τα τυλίγματα του στάτη βρίσκονται πιο κοντά στο εξωτερικό μέρος της μηχανής αποβάλλοντας ευκολότερα τη θερμότητα στο περιβάλλον.



Σχήμα 3- Διαφορετικές τοπολογίες μαγνητών στον δρομέα
(α) μαγνήτες πάνω στην επιφάνεια του δρομέα
(β) μαγνήτες εσωτερικά του δρομέα
(γ) μαγνήτες κάθετα τοποθετημένοι στο εσωτερικό του δρομέα

- **Εικόνα 4.19:** Τοπολογίες Μαγνητών στον δρομέα. (Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

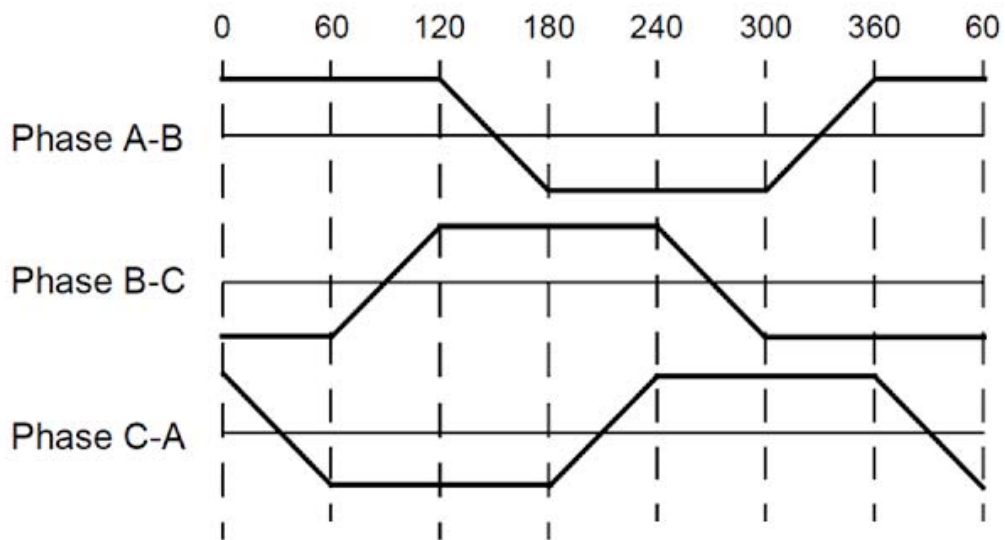
4.4.6 Τύπου Σύγχρονης Μηχανής Μόνιμου Μαγνήτη.

Οι σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη ανάλογα με την τεχνική ελέγχου και την μορφή της επαγόμενης τάσης στα τυλίγματα του στάτη, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

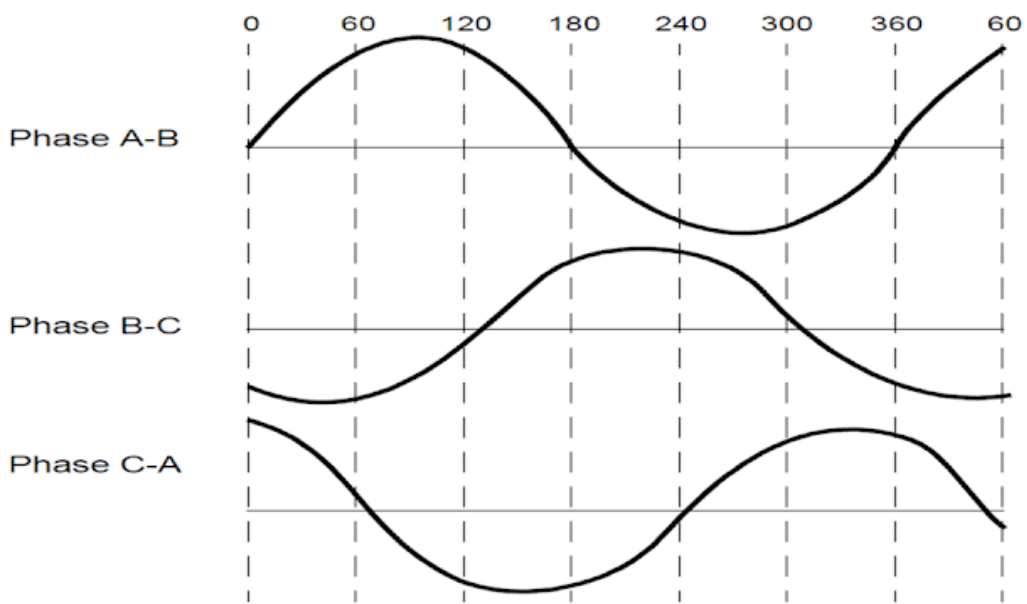
- Μηχανές μόνιμου μαγνήτη τραπεζοειδούς ή τετραγωνικού παλμού (trapezoidal or square wave permanent magnet machines)-
- Ημιτονοειδείς σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη (sinusoidal permanent magnet synchronous machines)

Στις μηχανές της πρώτης κατηγορίας (Σχήμα 4α), η τροφοδοσία γίνεται με τετραγωνικούς παλμούς ρεύματος διάρκειας 120ο ηλεκτρικών μοιρών συγχρονισμένους με την τάση εξ επαγωγής. Οι παλμοί ρεύματος είναι συγχρονισμένοι με τη τάση εξ επαγωγής, έτσι ώστε το σταθερό τμήμα της τάσης να συμπίπτει με τα διαστήματα όπου το φασικό ρεύμα διατηρεί σταθερή τιμή. Στις μηχανές αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται αισθητήρες Hall, καθώς είναι απαραίτητη η γνώση της θέσης του δρομέα μόνο στα σημεία μετάβασης, δηλαδή κάθε 60ο ηλεκτρικές μοίρες. Η οδήγηση αυτού του τύπου κινητήρων γίνεται με χρήση τριφασικού αντιστροφέα.

Οι μηχανές της δεύτερης κατηγορίας (Σχήμα 4β) προέκυψαν από την προσπάθεια κατασκευής μιας σύγχρονης μηχανής χωρίς το τύλιγμα διεγέρσεως. Αυτό έγινε δυνατό αντικαθιστώντας το τύλιγμα με μόνιμους μαγνήτες ημιτονοειδούς κατανομής μαγνητικού πεδίου. Οι μηχανές αυτές τροφοδοτούνται με τριφασική ημιτονοειδή τάση και λειτουργούν υπό την αρχή του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Σε λειτουργία σταθερών στροφών δεν απαιτείται γνώση της ακριβούς θέσης του, καθώς η μηχανή περιστρέφεται με τον σύγχρονο αριθμό στροφών. Όταν όμως έχουμε μεταβολή της συχνότητας περιστροφής, απαιτείται ακριβής εποπτεία της θέσης του δρομέα, ώστε οι τάσεις τροφοδοσίας που θα παραχθούν να συγχρονίζονται με την τάση εξ επαγωγής και κατ' επέκταση με την περιστροφή του δρομέα. Η οδήγηση αυτού του τύπου κινητήρων γίνεται συνήθως με τριφασικό αντιστροφέα.



Σχήμα 4^α- Τάση εξ επαγωγής τραπεζοειδούς μορφής



Σχήμα 4β- Τάση εξ επαγωγής ημιτονοειδούς μορφής

- **Εικόνα 4.20:** Τάσεις εξ επαγωγής(Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμμεών)

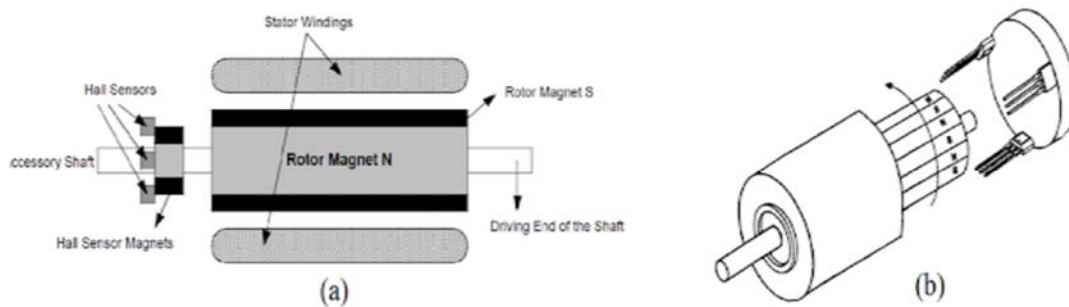
4.4.7 Αισθητήρες Hall-Φαινόμενο Hall.

Όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε η επαγωγή B ασκεί εγκάρσια δύναμη στον φορέα ρεύματος και τους ωθεί στη μια πλευρά του αγωγού. Το παρακάτω φαινόμενο είναι γνωστό ως φαινόμενο Hall

Ο αισθητήρας Hall είναι ένας αισθητήρας μαγνητικού πεδίου. Όταν εφαρμόζεται σε αυτόν μαγνητικό πεδίο έντασης B και τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα, αναπτύσσει τάση στους ακροδέκτες του.

Αντίθετα από έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες, η μετάβαση σε έναν κινητήρα BLDC ελέγχεται ηλεκτρονικά. Για να περιστραφεί ο δρομέας του κινητήρα, τα τυλίγματα του στάτη πρέπει να τροφοδοτηθούν με μια συγκεκριμένη ακολουθία, καθώς με αυτό τον τρόπο αποφασίζεται ποιο τυλίγμα θα τροφοδοτηθεί, ώστε να δημιουργηθεί στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ακριβή θέση του δρομέα ανά πάσα στιγμή. Αυτό γίνεται δυνατό με την τοποθέτηση τριών αισθητήρων Hall. Οι αισθητήρες συνήθως τοποθετούνται στο στάτη της μηχανής σε διαστήματα των 60ο ή 120ο μοιρών. Όταν ένας μαγνητικός πόλος περάσει δίπλα από τον αισθητήρα Hall δημιουργεί ένα υψηλό ή χαμηλό σήμα, ανάλογα με την πολικότητα του. Με την ανάγνωση και αποκωδικοποίηση του συνδυασμού των τριών σημάτων των αισθητήρων Hall, καθίσταται δυνατή η επιλογή της κατάλληλης ακολουθίας για την ηλεκτρονική μετάβαση.

Σε σπάνιες περιπτώσεις, οι αισθητήρες Hall τοποθετούνται στο σταθερό τμήμα της μηχανής, ενώ τοποθετούνται επιπρόσθετοι μαγνήτες μικρότερης κλίμακας στον δρομέα. Οι μαγνήτες αυτοί τοποθετούνται με σκοπό να έχουν ίδια πολικότητα με τους μόνιμους μαγνήτες του δρομέα, έτσι ώστε, όταν αυτός περιστρέφεται, οι αισθητήρες hall να δίνουν το κατάλληλο αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.21: Αισθητήρες Hall(Πηγή: Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών)

4.4.8 Σύγκριση Κινητήρα Μόνιμου Μαγνήτη Με Κινητήρα Βραχυκυκλωμένου Δρομέα Που Ελέγχεται Από Inverter

Είναι γνωστό ότι οι ηλεκτροκινητήρες καταναλώνουν το 65% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, αλλά είναι λιγότερο γνωστό το γεγονός ότι το 96% του κόστους διάρκειας ζωής (lifetime cost) ενός ηλεκτροκινητήρα συνδέεται με την κατανάλωση ενέργειας. Αυτό δείχνει τη σημασία της συνολικής απόδοσης σε σχέση με το αρχικό κόστος αγοράς, σύμφωνα με τους όρους σπουδαιότητας του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (TCO-Total Cost of Ownership).

Οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PMSM-Permanent Magnet Synchronous Motors) πληρούν τις απαιτήσεις της ταξινόμησης IE4 (Super Premium). Αυτό αποδεικνύεται από τις δυνατότητές τους για εξοικονόμηση ενέργειας έως και 40% σε σύγκριση με έναν κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα κατηγορίας IE2 που ελέγχεται από inverter. Οι κινητήρες PMSM έχουν καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τους επαγωγικούς κινητήρες σε συνθήκες λειτουργίας μερικού φορτίου και εξαιρετικά υψηλή απόδοση σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας. Έχουν, επίσης, σημαντικά υψηλότερη πυκνότητα ισχύος η οποία (για κινητήρες με κιβώτιο ταχυτήτων) εξασφαλίζει υψηλότερη απόδοση με μειωμένες ανάγκες σε χώρο και όγκο για την εγκατάσταση.

Ο σύγχρονος σχεδιασμός των PMSM τους καθιστά ανώτερους όχι μόνο σε ότι αφορά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ισχύ, αλλά και στη δυνατότητα διατήρησης σταθερής ταχύτητας, ανεξάρτητα από το φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα του κινητήρα δεν αλλάζει σε τυχόν μεταβολές του φορτίου ή σε ενδεχόμενο πτώσης τάσεως (τουλάχιστον για όσο διάστημα η συχνότητα του δικτύου παραμένει σταθερή). Αυτός ο σχεδιασμός, μειώνει τις απώλειες θερμότητας από τον ρότορα κατά 100%, τις συνολικές απώλειες κατά περίπου 25% και αυξάνει την συνολική απόδοση κατά 10% ή και περισσότερο. Για τον πελάτη που εγκαθιστά έναν κινητήρα PMSM, αυτό μεταφράζεται σε χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, μείωση των εκπομπών CO₂, και διαρκή εξοικονόμηση ενέργειας. Το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης των PMSMs τους καθιστά ιδανικούς για εφαρμογές όπως ανεμιστήρες, αντλίες και αεροσυμπιεστές, καθώς και για εφαρμογές φορτίου σταθερής ροπής όπως είναι οι ανελκυστήρες και οι μεταφορικές ταινίες.

Σημειώνεται ότι από τον Ιανουάριο του 2015 και μετά, οι κινητήρες με ονομαστική ισχύ από 7,5 έως 375 kW (και από τον Ιανουάριο του 2017 και μετά κινητήρες με ονομαστική ισχύ από 0,75 έως 375 kW) θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της κατηγορία ενεργειακής αποδοτικότητας IE3 (Premium). Αντίθετα, κινητήρες που ελέγχονται από μετατροπείς συχνότητας εξαιρούνται από αυτόν τον κανονισμό, και θα πρέπει να πληρούν το πρότυπο IE2.

Η βελτιωμένη τεχνολογία και αποδοτικότητα ενός κινητήρα PMSM συνεπάγεται ένα υψηλότερο αρχικό κόστος αγοράς. Το κόστος αυτό, όμως, ανακτάται αργότερα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα.

Στη συνέχεια, δίνεται μια σύγκριση, όπου ένας ασύγχρονος κινητήρας (ASM-Asynchronous Motor) που ελέγχεται από μετατροπέα συχνότητας και ένας κινητήρας μόνιμου

μαγνήτη εκτελούν πανομοιότυπα καθήκοντα. Η σύγκριση έγινε σε ένα εργοστάσιο επεξεργασίας αποβλήτων στη Γερμανία. Και τα δύο μοτέρ τροφοδοτούν έναν παχυντικό δίσκο για επτά ώρες κάθε μέρα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι ο ασύγχρονος κινητήρας λειτουργεί υπό βέλτιστη αποδοτικότητα, χρησιμοποιήθηκε ένας μετατροπέας συχνότητας για την παρακολούθηση των φορτίων του κινητήρα. Τέλος, προκειμένου να είναι βέβαιο ότι ενδεχόμενες διαφορές στην απόδοση θα αποδοθούν μόνο στους κινητήρες, τα δύο συστήματα κίνησης χρησιμοποιούν το ίδιο ακριβώς κιβώτιο ταχυτήτων. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Η δοκιμή έδειξε ότι ο κινητήρας PMSM εξοικονόμησε 40% ενέργεια σε σχέση με τον ASM, η οποία για μια περίοδο τεσσάρων ετών μεταφράζεται σε 1022 kW/hr.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΟΜΕΝΟ INVERTER

5.1 Αρχή Λειτουργίας Inverter

5.1.1 Λειτουργία Inverter Σε Ηλεκτρικό Κινητήρα.

Οι αντιστροφείς (Inverters) είναι ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος που έχουν σαν σκοπό τη μετατροπή μιας συνεχούς τάσης ή πηγής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενη τάση με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος, και για το λόγο αυτό πολλές φορές αναφέρονται και ως μετατροπείς D.C./A.C.

Χρησιμοποιούνται πάρα πολύ για τον έλεγχο της ταχύτητας, της ροπής, της εκκίνησης και του σταματήματος κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος.

Αν αυξήσω την τάση σε ένα κινητήρα αυξάνονται οι στροφές του και η ροπή του αλλά αυξάνεται και το ρεύμα που τραβάει.

Αν αυξήσω την συχνότητα αυξάνονται οι στροφές, μειώνεται το ρεύμα αλλά μειώνεται και η ροπή.

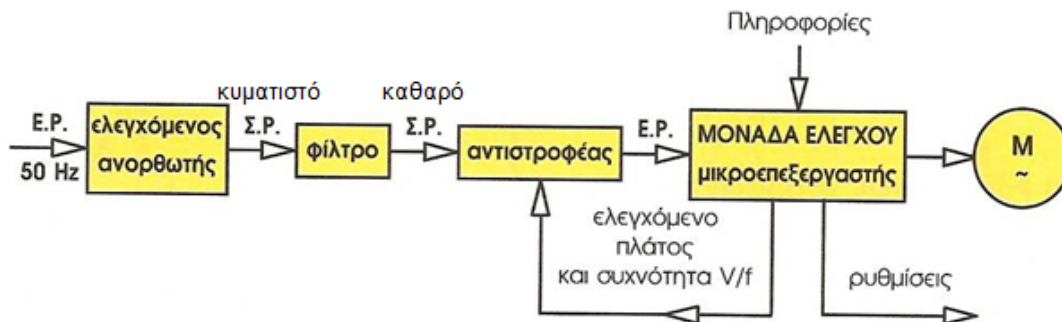
Τη λύση λοιπόν μας την δίνει ένα inverter με το οποίο έχουμε τη δυνατότητα να μεταβάλλουμε το λόγο της τάσης προς τη συχνότητα V/f.



Εικόνα 5.1: Inverter (Πηγή: Mohan Ned , Undeland Tore A. , Robbins William P., ''Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος'', Εκδόσεις Τζιόλα)

Το κύκλωμα του inverter περιλαμβάνει:

- Τον ανορθωτή.
- Το φίλτρο
- Τον αντιστροφέα.
- Το κύκλωμα ελέγχου του αντιστροφέα.



Εικόνα 5.2: Αναλυτικό διάγραμμα κινητήρα ελεγχόμενο από inverter. (Πηγή: Mohan Ned , Undeland Tore A. , Robbins William P., "Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος", Εκδόσεις Τζιόλα)

5.1.2 Ανορθωτής Και Φίλτρο.

Δουλειά του ανορθωτή είναι να μετατρέψει την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή τάση σταθερού (μη ελεγχόμενος ανορθωτής) ή μεταβαλλόμενου (ελεγχόμενος ανορθωτής) πλάτους.

Ο ανορθωτής με την σειρά του μπορεί να χωριστεί στις εξής κατηγορίες:

Μονοφασικός ανορθωτής

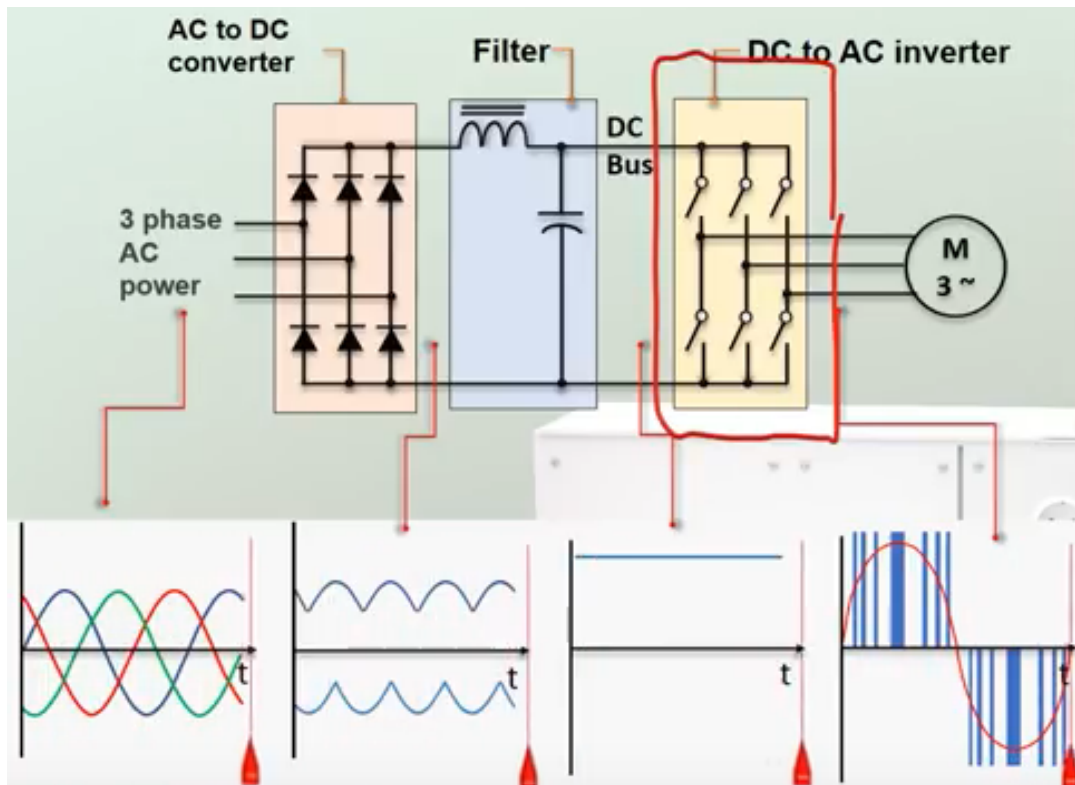
- Σε ημιανορθωτή.
- Σε γέφυρα πλήρους ανόρθωσης.

Τριφασικός ανορθωτής

- Σε τριφασικό ημιανορθωτή.
- Σε πλήρης τριφασικό ανορθωτή.

Υπάρχουν στην αγορά μονοφασικά inverter που είναι για μικρά τριφασικά μοτέρ, και τα τριφασικά inverter που προορίζονται για μεγαλύτερα μοτέρ. Ο χαρακτηρισμός μονοφασικό ή τριφασικό, φανερώνει την τροφοδοσία τους, αν δηλαδή έχουν ως είσοδο μονοφασική τάση 230 volts ή τριφασική 400 volts .

Ο τριφασικός μη ελεγχόμενος ανορθωτής σε συνδεσμολογία γέφυρας είναι μια τυπική περίπτωση.



Εικόνα 5.3: Τριφασικός μη ελεγχόμενος ανορθωτής σε συνδεσμολογία γέφυρας. (Πηγή: Mohan Ned , Undeland Tore A. , Robbins William P., 'Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος', Εκδόσεις Τζιόλα)

Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω σχήμα τα ημιαγωγικά στοιχεία που χρησιμοποιεί είναι έξι διόδοι σε συνδεσμολογία γέφυρας. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στο ότι η τριφασική εναλλασσόμενη τάση εισόδου πολώνει διαδοχικά ορθά τα ζεύγη διόδων που δεν βρίσκονται στον ίδιο κλάδο, οι οποίες άγουν αυθόρμητα (χωρίς έλεγχο). Η τάση στην έξοδο δεν είναι καθαρά συνεχής αλλά έχει μια κυμάτωση.

Για να γίνει η τάση καθαρά συνεχής περνάει από ένα φίλτρο που περιέχει συστοιχία πυκνωτών και πηνίων.

Επειδή οι διόδοι είναι αυτοελεγχόμενες (άγουν αυθόρμητα μόλις πολωθούν ορθά) δεν υπάρχει κανένας έλεγχος της τάσης εξόδου.

Η μέση τιμή της συνεχούς τάσης που λαμβάνουμε στην έξοδο ενός μη ελεγχόμενου ανορθωτή είναι: $V_{dc} = 1,654 V_m$ όπου V_m το πλάτος της φασικής εναλλασσόμενης τάσης εισόδου.

Εάν επιπλέον επιθυμούμε και τον έλεγχο της τιμής της συνεχούς τάσης εξόδου θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάποιο ελεγχόμενο ανορθωτή. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε

ελεγχόμενο ανορθωτή με θυρίστορ στη θέση των διόδων, οπότε έχουμε τη δυνατότητα να ελέγξουμε την μέση τιμή της τάσης εξόδου μέσω της έναυσης των θυρίστορς.

Ο έλεγχος της τάσης εξόδου γίνεται μέσω κατάλληλου ελέγχου των ημιαγωγικών στοιχείων. Έτσι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής μπορεί να παρέχει τάση εξόδου οποιασδήποτε μέσης τιμής από 0V έως και 1,654Vm.

5.1.3 Αντιστροφέας

Ο Αντιστροφέας μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και πλάτους.

Περιέχει σαν διακοπτικά στοιχεία (ημιαγωγικούς διακόπτες) έξι τρανζίστορ ισχύος ή θυρίστορ γρήγορης απόκρισης T1 έως T6. Ένα ζεύγος διακοπτικών στοιχείων για κάθε φάση. Οι διόδοι D1 έως D6, που είναι διόδοι ελευθέρως ροής είναι και αυτοί γρήγορης απόκρισης και είναι για την προστασία των τρανζίστορ.

Από κάθε ζεύγος ημιαγωγικών διακοπών ένα είναι υπεύθυνο για την παραγωγή της θετικής ημιπεριόδου της εναλλασσόμενης τάσης (μιας φάσης) και το άλλο για την παραγωγή της αρνητικής.

Στην έξοδο του αντιστροφέα λαμβάνουμε τριφασική εναλλασσόμενη τάση, η μορφή της οποίας εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο χειριζόμαστε τους ημιαγωγικούς διακόπτες. Ο χειρισμός τους γίνεται μέσω κατάλληλης παλμοδότησης στην πύλη τους. Τα ημιαγωγικά στοιχεία έχουν κάποιο χρονικό διάστημα που άγουν. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται αποκλειστικά από την χρονική διάρκεια των παλμών. Ο μόνος περιορισμός που έχουμε είναι ότι τα διαστήματα αγωγής των ημιαγωγικών στοιχείων δεν πρέπει να συμπίπτουν μεταξύ τους γιατί τότε θα προκαλέσουν βραχυκύκλωμα.

Ανάλογα την διάρκεια αγωγής των θυρίστορ διακρίνουμε δύο κύριες μεθόδους ελέγχου που καθορίζουν και τις καταστάσεις λειτουργίας τους:

1. Λειτουργία με Τετραγωνικό Παλμό Τάσης και
2. Λειτουργία Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (Pulse Width Modulation – PWM)

Λειτουργία με τετραγωνικό παλμό τάσης

Στην λειτουργία αυτή η φασική τάση εξόδου του αντιστροφέα έχει την μορφή τετραγωνικού παλμού από όπου έχει πάρει και την ονομασία του. Η θεμελιώδης αρμονική συνιστώσα του τετραγωνικού παλμού που είναι ημιτονοειδής προσεγγίζει την επιθυμητή ημιτονοειδή τάση εξόδου. Η πραγματική τάση εξόδου όμως, που είναι τετραγωνικός παλμός, φέρει πέραν της θεμελιώδους αρμονικής συνιστώσας και όλο εκείνο το ανώτερο αρμονικό περιεχόμενο που συνεπάγεται κάθε τετραγωνικός παλμός.

Η λειτουργία του αντιστροφέα με τετραγωνικό παλμό τάσης είναι ιδιαίτερα απλή. Επιτρέπει τον εύκολο έλεγχο του και παρουσιάζει πολύ μικρές διακοπτικές απώλειες, καθώς γίνονται μόνο έξι μεταγωγές των ημιαγωγικών διακοπών ανά περίοδο. Ταυτόχρονα αποτελεί μια ουσιαστική και μια απλή προσέγγιση για την κατανόηση της λειτουργίας του αντιστροφέα. Η λειτουργία αυτή, όμως, στην πράξη συνήθως δεν χρησιμοποιείται καθώς παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα και κυρίως μεγάλες αρμονικές συνιστώσες στο ρεύμα και στην τάση, χαμηλών γενικά συχνοτήτων. Συνεπώς προκαλεί μεγάλη αρμονική παραμόρφωση στην τάση και στο ρεύμα, η οποία για να μειωθεί απαιτεί τη χρήση ογκωδέστατων και ακριβών βαθυπερατών φίλτρων.

Λειτουργία Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (Pulse Width Modulation – PWM)

Η διαμόρφωση εύρους παλμού (pulse –width modulation – PWM) είναι μια διαδικασία κατά την οποία ρυθμίζεται το εύρος των παλμών μιας παλμοσειράς ανάλογα με το πλάτος ενός μικρού σήματος ελέγχου.

Οι παλμοί δίνονται από τα διακοπτικά στοιχεία. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της τάσης ελέγχου, τόσο μεγαλύτερο εύρος έχουν οι παλμοί που παράγονται. Η τεχνική αυτή στηρίζεται στη δυνατότητα που μας παρέχει ο αντιστροφέας για έλεγχο της τάσης εξόδου και ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της αρμονικής παραμόρφωσης μέσω του πολύ γρήγορου χειρισμού των ημιαγωγικών του διακοπών. Από τον χειρισμό αυτό δημιουργούνται θετικοί και αρνητικοί παλμοί μεταβλητής διάρκειας και στόχος είναι να παράγουμε πολλούς παλμούς τέτοιου εύρους κάθε φορά, ώστε η τάση εξόδου κάθε στιγμή να προσεγγίζει την επιθυμητή ή την ισοδύναμη η προκύπτουσα κυματομορφή της τάσης εξόδου να προσεγγίζει την επιθυμητή κυματομορφή της τάσης εξόδου. Τελικός σκοπός της διαμόρφωσης αυτής είναι ο έλεγχος της μέσης τιμής της τάσης εξόδου. Η χρονική διάρκεια και συχνότητα ανοιγοκλεισίματος των διακοπτικών στοιχείων

καθορίζει και τη μεταβολή της συχνότητας και τάσης στον κινητήρα με σκοπό τη ρύθμιση των στροφών του.

5.1.4 Μονάδα Ελέγχου.

Περιέχει ένα μικροεπεξεργαστή στη μνήμη του οποίου μπορούμε να γράψουμε διάφορες ρυθμίσεις και έτσι να αναγνωρίζει στιγμιαία τα χαρακτηριστικά του κινητήρα και να αυτοπροσαρμόζεται, να δίνει επιπλέον ροπή στην εκκίνηση και όταν αυτή ζητηθεί από το φορτίο.

5.2 Έλεγχος Φυγοκεντρικών Αντλιών Μέσω Inverter.

5.2.1 Έλεγχος Αντλίας με Αισθητήριο Διαφορικής και απόλυτης πίεσης.

Ένας ηλεκτρονικός κωδικοποιητής σήματος παρέχει την πραγματική ρυθμιστική τιμή ως σήμα ρεύματος 4...20 mA. Ο ρυθμιστής διατηρεί σταθερό στη συνέχεια το ρυθμιστικό μέγεθος συγκρίνοντας ονομαστική/πραγματική τιμή. Αν δεν υπάρχει κάποιο μήνυμα «Extern off» και κάποια βλάβη, τουλάχιστον η αντλία βασικού φορτίου λειτουργεί στις ελάχιστες στροφές. Αν η απαιτούμενη ισχύς δεν μπορεί πλέον να καλυφθεί από αυτήν την αντλία στις στροφές που ρυθμίζονται, μόλις η τιμή πέσει κάτω από τη βασική ονομαστική τιμή ενεργοποιείται μια ακόμη αντλία και αναλαμβάνει τη ρύθμιση στροφών. Η προηγούμενη αντλία βασικού φορτίου συνεχίζει να λειτουργεί στις μέγιστες στροφές ως αντλία φορτίου αιχμής. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται όσο αυξάνει το φορτίο μέχρι το μέγιστο αριθμό αντλιών.

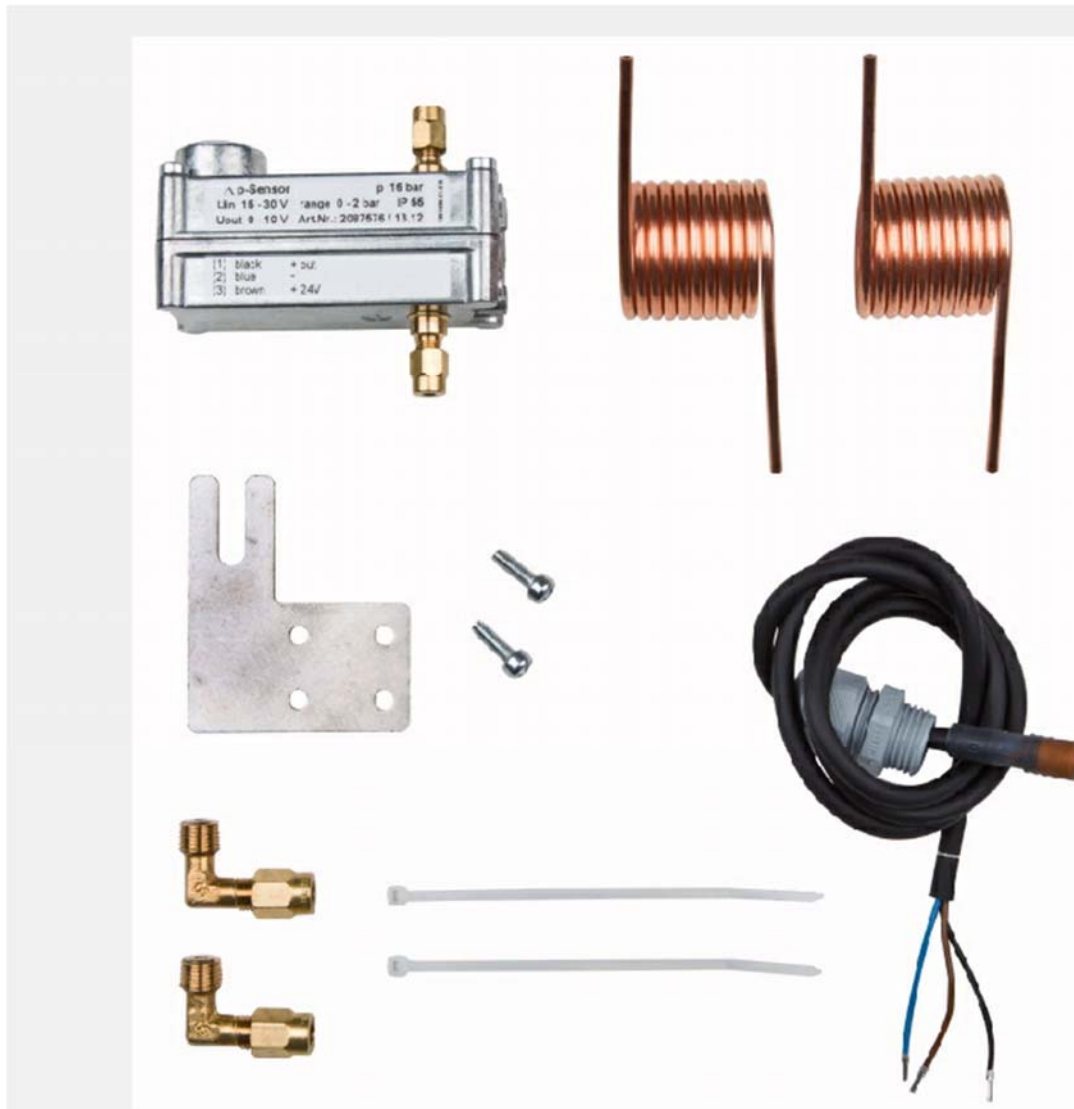
Αν η απαιτούμενη ισχύς μειωθεί, η ρυθμιστική αντλία απενεργοποιείται μόλις επιτευχθούν οι στροφές που ρυθμίζονται και ταυτόχρονα ξεπεραστεί η βασική ονομαστική τιμή και μια από τις αντλίες αιχμής αναλαμβάνει τη ρύθμιση.

Για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της αντλίας φορτίου αιχμής μπορούν 3 να ρυθμιστούν χρόνοι καθυστέρησης.

Ένας ηλεκτρονικός κωδικοποιητής σήματος παρέχει την πραγματική ρυθμιστική τιμή ως σήμα ρεύματος 4...20 mA. Επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης των στροφών της βασικής αντλίας σε σχέση με το φορτίο, το σύστημα λειτουργεί ως ρυθμιστής δύο σημείων και διατηρεί το ρυθμιστικό μέγεθος στην περιοχή ανάμεσα στα κατώφλια ενεργοποίησης και απενεργοποίησης.

Αυτά πρέπει να ρυθμιστούν σε σχέση προς τη βασική ονομαστική τιμή.

Αν δεν υπάρχει κάποιο μήνυμα «Extern off» και κάποια βλάβη, λειτουργεί τουλάχιστον η βασική αντλία. Αν η απαιτούμενη ισχύς δεν μπορεί να καλυφθεί από αυτήν την αντλία, το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί μία αντλία φορτίου αιχμής ή περισσότερες, αν οι ανάγκες αυξάνουν, ρυθμίζεται ξεχωριστά για κάθε αντλία, μενού. Αν οι ανάγκες μειωθούν τόσο ώστε να μην χρειάζεται πλέον καμία αντλία φορτίου αιχμής, τότε η αντλία φορτίου αιχμής απενεργοποι-



Εικόνα 5.4: Αισθητήριο διαφορικής Πίεσης(Πηγή: Mohan Ned , Undeland Tore A. , Robbins William P., "Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος", Εκδόσεις Τζιόλα)

5.2.2 Έλεγχος Αντλίας με Αισθητήριο Διαφορικής και απόλυτης θερμοκρασίας.

Ένας ηλεκτρονικός κωδικοποιητής σήματος παρέχει την πραγματική ρυθμιστική τιμή ως σήμα ρεύματος 4...20 mA. Ο ρυθμιστής διατηρεί σταθερό στη συνέχεια το ρυθμιστικό μέγεθος συγκρίνοντας ονομαστική/πραγματική τιμή. Αν δεν υπάρχει κάποιο μήνυμα «Extern off» και κάποια βλάβη, τουλάχιστον η αντλία βασικού φορτίου λειτουργεί στις ελάχιστες στροφές. Αν η απαιτούμενη ισχύς δεν μπορεί πλέον να καλυφθεί από αυτήν την αντλία στις στροφές που ρυθμίζονται, μόλις η τιμή πέσει κάτω από τη βασική ονομαστική τιμή ενεργοποιείται μια ακόμη αντλία και αναλαμβάνει τη ρύθμιση στροφών. Η προηγούμενη αντλία βασικού φορτίου συνεχίζει να λειτουργεί στις μέγιστες στροφές ως αντλία φορτίου αιχμής. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται όσο αυξάνει το φορτίο μέχρι το μέγιστο αριθμό αντλιών.

Αν η απαιτούμενη ισχύς μειωθεί, η ρυθμιστική αντλία απενεργοποιείται μόλις επιτευχθούν οι στροφές που ρυθμίζονται και ταυτόχρονα ξεπεραστεί η βασική ονομαστική τιμή και μια από τις αντλίες αιχμής αναλαμβάνει τη ρύθμιση.

Για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της αντλίας φορτίου αιχμής μπορούν 3 να ρυθμιστούν χρόνοι καθυστέρησης.

Ένας ηλεκτρονικός κωδικοποιητής σήματος παρέχει την πραγματική ρυθμιστική τιμή ως σήμα ρεύματος 4...20 mA. Επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης των στροφών της βασικής αντλίας σε σχέση με το φορτίο, το σύστημα λειτουργεί ως ρυθμιστής δύο σημείων και διατηρεί το ρυθμιστικό μέγεθος στην περιοχή ανάμεσα στα κατώφλια ενεργοποίησης και απενεργοποίησης.

Αυτά πρέπει να ρυθμιστούν σε σχέση προς τη βασική ονομαστική τιμή.

Αν δεν υπάρχει κάποιο μήνυμα «Extern off» και κάποια βλάβη, λειτουργεί τουλάχιστον η βασική αντλία. Αν η απαιτούμενη ισχύς δεν μπορεί να καλυφθεί από αυτήν την αντλία, το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί μία αντλία φορτίου αιχμής ή περισσότερες, αν οι ανάγκες αυξάνουν, ρυθμίζεται ξεχωριστά για κάθε αντλία, μενού. Αν οι ανάγκες μειωθούν τόσο ώστε να μην χρειάζεται πλέον καμία αντλία φορτίου αιχμής, τότε η αντλία φορτίου αιχμής απενεργοποιείται.

5.2.3 Τρόποι λειτουργίας αντλιών.

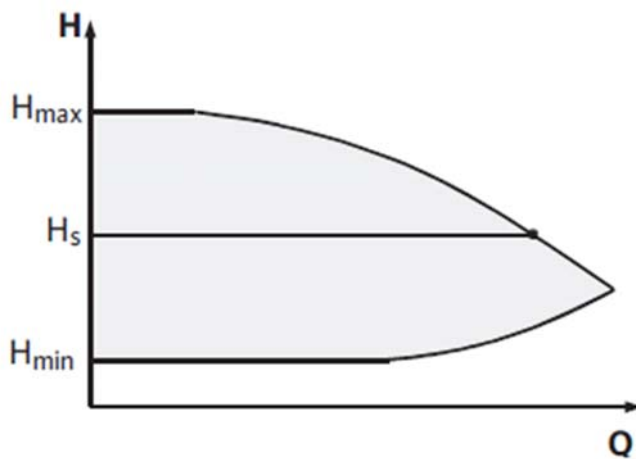
Δp-c:

Το ηλεκτρονικό σύστημα διατηρεί σταθερή τη διαφορά πίεσης που δημιουργείται από την αντλία στην επιτρεπόμενη περιοχή παροχής, σύμφωνα με τη ρυθμισμένη επιθυμητή τιμή διαφοράς πίεσης H_s από τη μέγιστη χαρακτηριστική καμπύλη (Σχ. 15).

Q = Παροχή

H = Διαφορά πίεσης (Min/Max)

H_s = Επιθυμητή διαφορά πίεσης



Εικόνα 5.5: Έλεγχος Δp-c (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

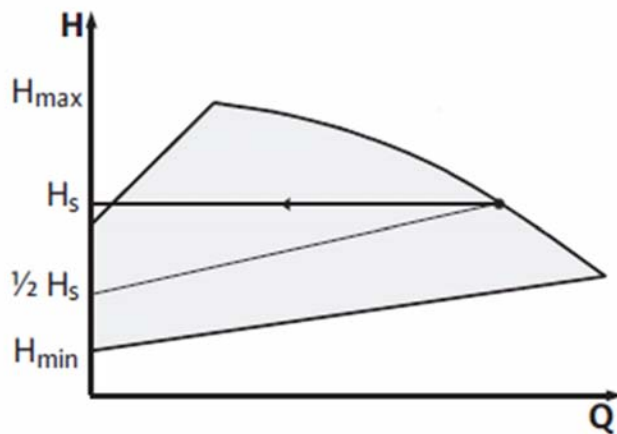
Δp-v:

Το ηλεκτρονικό σύστημα μεταβάλλει τη διατηρούμενη από την αντλία ονομαστική τιμή διαφορικής πίεσης γραμμικά μεταξύ του μανομετρικού ύψους HS και ½HS. Η ονομαστική τιμή διαφορικής πίεσης Hs αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την παροχή (Σχ. 16).

Q = Παροχή

H = Διαφορά πίεσης (Min/Max)

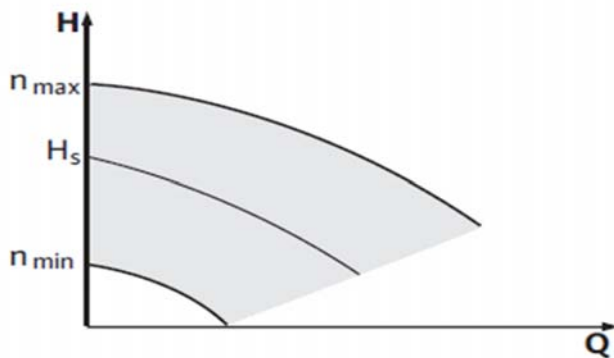
HS = Επιθυμητή διαφορά πίεσης



Εικόνα 5.6: Έλεγχος Δp-V (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

Έλεγχος με εξωτερικό σήμα:

Οι στροφές της αντλίας μπορούν να διατηρούνται σε μια σταθερή τιμή μεταξύ n_{min} και n_{max} (Σχ. 17). Ο «έλεγχος με εξωτερικό σήμα» απενεργοποιεί όλους τους υπόλοιπους τρόπους ρύθμισης.



Εικόνα 5.7: Έλεγχος με Εξωτερικό Σήμα. (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

Έλεγχος PID:

Εάν δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα παραπάνω βασικά είδη ρύθμισης – π.χ. αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλοι αισθητήρες ή αν η απόσταση των αισθητήρων από την αντλία είναι πολύ μεγάλη – έχετε στη διάθεσή σας τη λειτουργία ελέγχου PID (Proportional-Integral-Differential = Αναλογική – Ολοκληρωτική – Διαφορική ρύθμιση).

Συνδυάζοντας κατάλληλα τα μεμονωμένα είδη ρύθμισης, ο χρήστης μπορεί να επιτύχει μια γρήγορη, μόνιμη ρύθμιση, χωρίς παραμένονσα απόκλιση από τις επιθυμητές τιμές.

Το σήμα εξόδου του επιλεγμένου αισθητήρα μπορεί να πάρει οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή. Η εκάστοτε επιτυγχανόμενη πραγματική τιμή (σήμα αισθητήρα) εμφανίζεται στη σελίδα κατάστασης του μενού σε ποσοστά (100 % = μέγιστο εύρος μέτρησης του αισθητήρα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 Φυγοκεντρική αντλία με ενσωματωμένο inverter ασύγχρονου κινητήρα.

6.1.1 Τεχνική προδιαγραφή αντλίας.

Η αντλία είναι Inline υψηλής απόδοσης με τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα, ενεργειακής κλάσης IE4 και υδραυλικό μέρος υψηλής απόδοσης, βέλτιστα προσαρμοσμένο στην τεχνολογία κινητήρα IE4 με δείκτη ελάχιστης απόδοσης (MEI) $\geq 0,4$ σύμφωνα με την Οδηγία ErP 2009/125/EK [Κανονισμός Επιτροπής (ΕΕ) 547/2012]. Θα είναι κατάλληλη για Άντληση νερού θέρμανσης (κατά VDI 2035), κρύου νερού και μίγματος νερού-γλυκόλης χωρίς επιθετικές ουσίες σε συστήματα θέρμανσης, κρύου νερού και ψύξης. Θα είναι μονής κεφαλής, συνδέσεως μέσω φλαντζών για διατομές από DN32 έως και DN80, με στόμια αναρρόφησης /κατάθλιψης in-line, ίδιας ονομαστικής διαμέτρου. Οι φλάντζες θα είναι τρυπημένες σύμφωνα με το EN1092-2 και θα διαθέτουν ειδικές υποδοχές μέτρησης πίεσης (R 1/8) για την σύνδεση αισθητηρίου πίεσης ή μανομέτρου. Θα φέρει κέλυφος αντλίας από χυτοσίδηρο (EN-GJL-250), περωτή από συνθετικό υλικό περιεκτικότητας 30% σε ίνες γυαλιού (PPS-GF30) για θερμοκρασία ρευστού από -20°C έως +120°C, που τον καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές ψύξης & θέρμανσης, άξονα από ανοξείδωτο χάλυβα (1.4021-AISI420), και θα διαθέτει μηχανικό στυπιοθλίπτη (AQEGG) με ολισθαίνοντα δακτύλιο για τη στεγανοποίηση του υδραυλικού μέρους. Η περωτή θα είναι απευθείας συνδεδεμένη με ενιαίο άξονα με τον ηλεκτροκινητήρα. Έως τη θερμοκρασία $T \leq +40^{\circ}\text{C}$ θα επιτρέπεται πρόσμειξη γλυκόλης σε ποσοστό 20 έως 40%. Για μείγματα νερού-γλυκόλης με ποσοστό γλυκόλης $>40\%$ έως το πολύ 50% και θερμοκρασία ρευστού $> +40^{\circ}\text{C}$ έως το πολύ +120°C ή για άλλα ρευστά διαφορετικά του νερού, θα πρέπει να προβλέπεται η χρήση άλλου κατάλληλου μηχανικού στυπιοθλίπτη. Η αντλία θα έχει μέγιστη πίεση λειτουργίας 10bar (PN10).

Η αντλία θα είναι απευθείας συνδεδεμένη με τριφασικό κινητήρα ασύγχρονο βραχυκυκλωμένου δρομέα, ενεργειακής κλάσης IE4 με ειδικό κάλυμμα βελτιστοποίησης της ροής του αέρα ψύξης,

με ενσωματωμένο ηλεκτρονικό έλεγχο ισχύος (Inverter), με πολύ υψηλή ροπή εκκίνησης για ασφαλή εκκίνηση, με βαθμό προστασίας IP55. Ο κινητήρας θα φέρει περιμετρικά ειδικές οπές για την αποστράγγιση τυχόν συμπυκνωμάτων που μπορεί να δημιουργηθούν εντός του κινητήρα. Θα διαθέτει ενσωματωμένο έλεγχο διαφορικής πίεσης για την απόδοση σταθερού ($\Delta p-C$), έλεγχο αναλογικού μανομετρικού ($\Delta p-V$) με ρύθμιση του επιθυμητού μανομετρικού μέσω του κόκκινου κουμπιού σε βήματα του 0.1m για ρύθμιση ακριβείας, έλεγχο PID & έλεγχο για λειτουργία σταθερών στροφών ($n = \text{σταθερό}$) με αναγραφή των ανάλογων ενδείξεων των τρόπων ρύθμισης στην φωτιζόμενη οθόνη υγρών κρυστάλλων, ενώ όλες οι ρυθμίσεις θα πραγματοποιούνται μέσω του κόκκινου κουμπιού. Θα φέρει στην βασική έκδοση ενσωματωμένο δότη διαφορικής πίεσης για την οδήγηση του Inverter (έκδοση 'R1' χωρίς ενσωματωμένο αισθητήριο). Θα έχει δυνατότητα για αυτόματη διαχείριση ζεύγους αντλιών (εναλλαγή, εφεδρεία, αιχμή) μέσω ειδικών επαφών ηλεκτρονικής διασύνδεσης. Εκτός των αυτόματων λειτουργιών, θα έχει δυνατότητα για επιπλέον χειροκίνητες λειτουργίες όπως: Ρύθμιση της ονομαστικής τιμής διαφορικής πίεσης, Ρύθμιση των στροφών (χειροκίνητα), Ρύθμιση του τρόπου λειτουργίας, Ρύθμιση της αντλίας ON/OFF, Βασική ρύθμιση όλων των παραμέτρων λειτουργίας, Επιβεβαίωση σφάλματος. Θα έχει επίσης την δυνατότητα για εξωτερικές λειτουργίες ελέγχου με Αναλογικές διεπαφές 0-10V, 2-10V, 0-20mA, 4-20mA, δύο παραμετροποιήσιμα ρελέ ειδοποίησης για μηνύματα λειτουργίας και βλάβης, ρυθμιζόμενη συμπεριφορά βλάβης προσαρμοσμένη στις εφαρμογές θέρμανσης ή κλιματισμού, φραγή πρόσβασης στην αντλία, ενσωματωμένη πλήρης προστασία κινητήρα (KLF) με ηλεκτρονικό σύστημα διέγερσης, διεπαφή IR για ασύρματη επικοινωνία με συσκευή χειρισμού και σέρβις, οθόνη και στικ Wilo-IR, υποδοχή για μονάδες Wilo IF όπως Modbus, BACnet, CAN, PLR, LON για διασύνδεση στον αυτοματισμό του κτιρίου (BMS). Ο ηλεκτροκινητήρας θα καλύπτει τις απαιτήσεις για εκπομπή παρεμβολών κατά EN 61800-3 & αντοχή σε παρεμβολές κατά EN 61800-3. Θα μπορεί να συνδέεται σε ηλεκτρικά δίκτυα 3~400V $\pm 10\%$, 50/60Hz, 3~380V -5% +10%, 60Hz και ο κινητήρας θα είναι κλάσης μόνωσης F.



Εικόνα 6.1: Φυγοκεντρική Αντλία inverter ασύγχρονου κινητήρα. (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

6.1.2 Τεχνικά στοιχεία αντλίας.

Ιδιότητα IP-E/DP-E	Τιμή	Παρατηρήσεις
Περιοχή στροφών	750 - 2900 min ⁻¹	
Ονομαστική διάμετρος DN	32/40/50/65/80 mm	
Συνδέσεις σωλήνων	Φλάντζες PN 16	EN 1092-2
Ελάχιστη/μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία μέσου	-20 °C έως +120 °C	Ανάλογα το μέσο
Θερμοκρασία περιβάλλοντος min./max.	0 έως +40 °C	Χαμηλότερες ή υψηλότερες θερμοκρασίες κατόπιν ζήτησης
Θερμοκρασία αποθήκευσης min./max.	-20 °C έως +60 °C	
Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας	10 bar	
Κατηγορία μόνωσης	F	
Βαθμός προστασίας	IP 55	
Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα Εκπομπή παρεμβολών κατά Ατρωσία σε παρεμβολές κατά	EN 61800-3 EN 61800-3	Κατοικίες Βιομηχανικός τομέας
Στάθμη ηχητικής πίεσης ¹⁾	L _{PA, 1m} < 71 dB(A) αναφ. 20 μPa	Ανάλογα με τον τύπο της αντλίας
Επιτρεπόμενα αντλούμενα υγρά ²⁾	Νερό θέρμανσης κατά VDI 2035 Νερό ψύξης/κρύο νερό Μείγμα νερού/γλυκόλης έως 40 % κατ' όγκο Λάδι μεταφοράς θερμότητας Άλλα υγρά	Στάνταρ τύπος Στάνταρ τύπος Στάνταρ τύπος μόνο σε ειδική κατασκευή μόνο σε ειδική κατασκευή
Ηλεκτρική σύνδεση	3~380 V -5%/+10 %, 50/60 Hz 3~400 V ±10 %, 50/60 Hz 3~440 V ±10 %, 50/60 Hz	Υποστηριζόμενα είδη δικτύου: TN, TT
Εσωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα	PELV, γαλβανική μόνωση	
Ρύθμιση στροφών	Ενσωματωμένος μετατροπέας συχνότητας	
Σχετική υγρασία αέρα - σε T _{περιβάλλον} = 30 °C - σε T _{περιβάλλον} = 40 °C	< 90 %, χωρίς υγροποίηση < 60 %, χωρίς υγροποίηση	

Εικόνα6.2: Τεχνικά στοιχεία αντλίας ασύγχρονου κινητήρα με ενσωματωμένο Inverter(Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

6.1.3 Είδη Ρύθμισης αντλίας

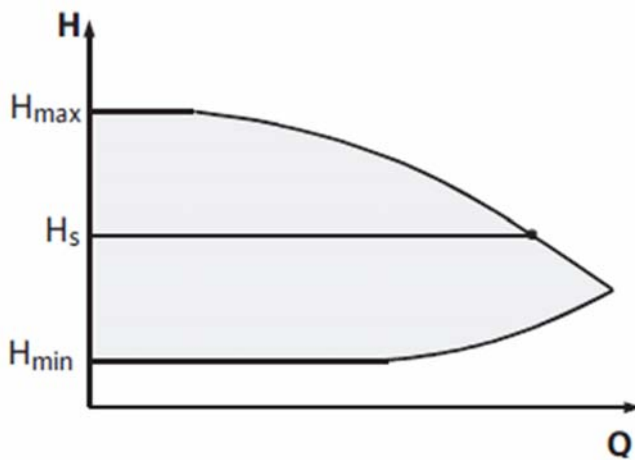
Δρ-ε:

Το ηλεκτρονικό σύστημα διατηρεί σταθερή τη διαφορά πίεσης που δημιουργείται από την αντλία στην επιτρεπόμενη περιοχή παροχής, σύμφωνα με τη ρυθμισμένη επιθυμητή τιμή διαφοράς πίεσης H_s από τη μέγιστη χαρακτηριστική καμπύλη (Σχ. 10).

Q = Παροχή

H = Διαφορά πίεσης (Min/Max)

H_S = Επιθυμητή διαφορά πίεσης



Εικόνα 6.3: Ρύθμιση Δρ-ε(Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

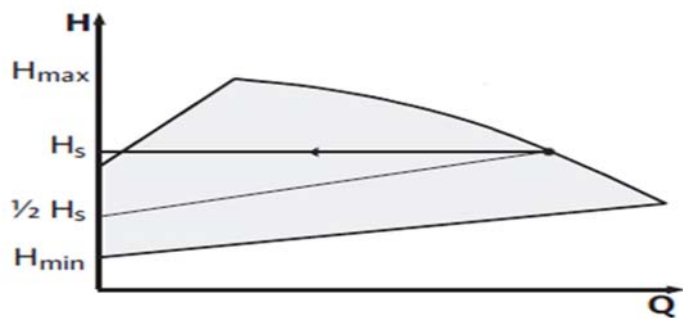
Δρ-ν:

Το ηλεκτρονικό σύστημα μεταβάλλει τη διατηρούμενη από την αντλία ονομαστική τιμή διαφορικής πίεσης γραμμικά μεταξύ του μανομετρικού ύψους H_S και $\frac{1}{2}H_S$. Η ονομαστική τιμή διαφορικής πίεσης H_s αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την παροχή (Σχ. 11).

Q = Παροχή

H = Διαφορά πίεσης (Min/Max)

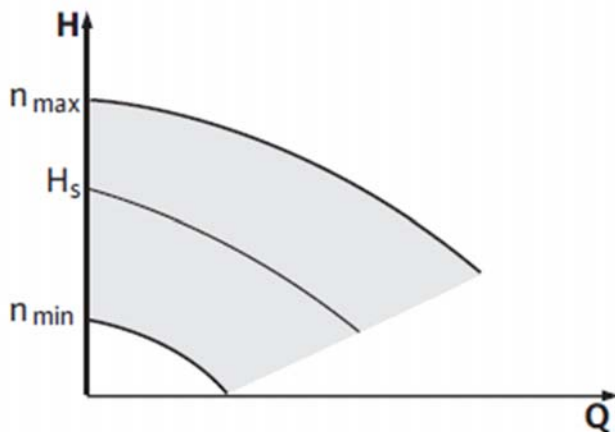
H_S = Επιθυμητή διαφορά πίεσης



Εικόνα 6.4: Ρύθμιση Δp -v(Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

Έλεγχος με εξωτερικό σήμα:

Οι στροφές της αντλίας μπορούν να διατηρούνται σε μια σταθερή τιμή μεταξύ n_{min} και n_{max} (Σχ. 12). Ο «έλεγχος με εξωτερικό σήμα» απενεργοποιεί όλους τους υπόλοιπους τρόπους ρύθμισης.



Εικόνα 6.5 Έλεγχος με εξωτερικό σήμα. (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

Έλεγχος PID:

Εάν δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα παραπάνω βασικά είδη ρύθμισης – π.χ. αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλοι αισθητήρες ή αν η απόσταση των αισθητήρων από την αντλία είναι πολύ μεγάλη – έχετε στη διάθεσή σας τη λειτουργία ελέγχου PID (**P**roportional-**I**ntegral-**D**ifferential = Αναλογική – Ολοκληρωτική – Διαφορική ρύθμιση). Συνδυάζοντας κατάλληλα τα μεμονωμένα είδη ρύθμισης, ο χρήστης μπορεί να επιτύχει μια γρήγορη, μόνιμη ρύθμιση, χωρίς παραμένουσα απόκλιση από τις επιθυμητές τιμές.

Το σήμα εξόδου του επιλεγμένου αισθητήρα μπορεί να πάρει οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή. Η εκάστοτε επιτυγχανόμενη πραγματική τιμή (σήμα αισθητήρα) εμφανίζεται στη σελίδα κατάστασης του μενού σε ποσοστά (100 % = μέγιστο εύρος μέτρησης του αισθητήρα).

Ο ρυθμιστής PID που χρησιμοποιείται στην αντλία είναι ένας στάνταρ ρυθμιστής PID όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία για τα συστήματα αυτοματισμού. Ο ρυθμιστής συγκρίνει τη μετρούμενη πραγματική τιμή με την προκαθορισμένη επιθυμητή τιμή και προσπαθεί να προσαρμόσει την πραγματική τιμή στην επιθυμητή. Εφόσον χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχοι αισθητήρες, μπορούν να πραγματοποιηθούν διάφορες ρυθμίσεις, όπως π.χ. ρύθμιση πίεσης, διαφοράς πίεσης, θερμοκρασίας ή ροής. Κατά την επιλογή ενός αισθητήρα πρέπει να προσέξετε τις ηλεκτρικές τιμές στον πίνακα «Πιν. 3: Αντιστοίχιση των ακροδεκτών σύνδεσης» στη σελίδα 24.

Η συμπεριφορά ρύθμισης μπορεί να βελτιστοποιηθεί μέσω της αλλαγής των παραμέτρων P, I και D. Το ποσοστό P (δηλαδή το αναλογικό ποσοστό) του ρυθμιστή δίνει μια γραμμική ενίσχυση της απόκλισης μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής τιμής στην έξοδο του ρυθμιστή. Το πρόσημο του ποσοστού P καθορίζει τον τρόπο δράσης του ρυθμιστή. Το ποσοστό I (δηλαδή το ποσοστό ολοκλήρωσης) του ρυθμιστή σχηματίζει το ολοκλήρωμα ως προς την απόκλιση ρύθμισης. Η σταθερή απόκλιση δίνει γραμμική αύξηση στην έξοδο του ρυθμιστή. Έτσι αποφεύγεται μια συνεχής απόκλιση ρύθμισης.

Το ποσοστό D (δηλαδή το διαφορικό ποσοστό) του ρυθμιστή αντιδρά απευθείας στην ταχύτητα μεταβολής της απόκλισης ρύθμισης. Έτσι επηρεάζεται η ταχύτητα αντίδρασης του συστήματος. Εργοστασιακά το ποσοστό D έχει ρυθμιστεί στο μηδέν, γιατί αυτό ταιριάζει για πολλές εφαρμογές.

Οι παράμετροι θα πρέπει να αλλάζουν μόνο σε μικρά βήματα και οι επιδράσεις στο σύστημα θα πρέπει να επιτηρούνται συνεχώς. Η προσαρμογή των τιμών των παραμέτρων επιτρέπεται να εκτελείται μόνο από προσωπικό με εξειδίκευση στον τομέα των συστημάτων αυτοματισμού. Ο τρόπος δράσης της ρύθμισης καθορίζεται από το πρόσημο του ποσοστού P.

Έλεγχος θετικού PID (στάνταρ):

Εάν υπάρχει θετικό πρόσημο στο ποσοστό P, η ρύθμιση αντιδρά σε περίπτωση τιμής κάτω από την επιθυμητή με αύξηση του αριθμού

στροφών της αντλίας, μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.

Έλεγχος αρνητικού PID:

Εάν υπάρχει αρνητικό πρόσημο στο ποσοστό P, η ρύθμιση αντιδρά σε περίπτωση τιμής κάτω από την επιθυμητή με μείωση του αριθμού στροφών της αντλίας, μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.

6.1.4 Απομακρυσμένος έλεγχος αντλίας μέσω BMS

ESM/SSM:

- Για κεντρικό έλεγχο μπορεί να συνδεθεί ένα συνολικό σήμα βλάβης (SSM) στην κύρια αντλία.
- Σε αυτήν την περίπτωση η επαφή επιτρέπεται να είναι συνδεδεμένη μόνο στην κύρια αντλία.
- Η ένδειξη ισχύει για όλο το συγκρότημα.
- Στην κύρια αντλία (ή μέσω οθόνης/στικ IR) αυτό το σήμα να προγραμματιστεί ως μεμονωμένο (ESM) ή συνολικό (SSM) μήνυμα βλάβης.
- Για το μεμονωμένο μήνυμα βλάβης πρέπει να συνδεθεί η επαφή σε κάθε αντλία.

EBM/SBM:

- Για κεντρικό έλεγχο μπορεί να συνδεθεί ένα συνολικό μήνυμα λειτουργίας (SBM) στην κύρια αντλία.
- Σε αυτήν την περίπτωση η επαφή επιτρέπεται να είναι συνδεδεμένη μόνο στην κύρια αντλία.
- Η ένδειξη ισχύει για όλο το συγκρότημα.
- Στην κύρια αντλία (ή μέσω οθόνης/στικ IR) αυτό το σήμα να προγραμματιστεί ως μεμονωμένο (EBM) ή συνολικό (SBM) μήνυμα λειτουργίας.
- Η λειτουργία – «Ετοιμότητα», «Λειτουργία», «Ηλεκτρικό δίκτυο On» – του μηνύματος EBM/SBM ρυθμίζεται στην κύρια αντλία.

Για την επικοινωνία μεταξύ των αντλιών και του συστήματος διαχείρισης κτιρίου απαιτείται μία μονάδα IF (προαιρετικός εξοπλισμός), που συνδέεται στο κουτί ακροδεκτών

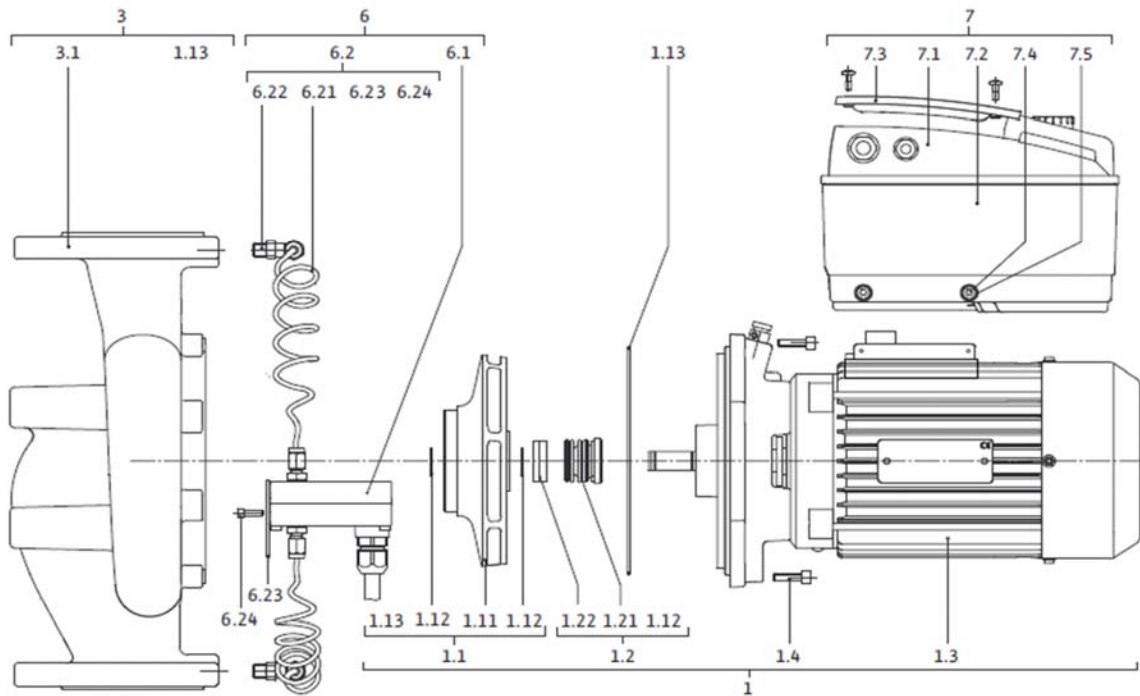
- Η επικοινωνία Master – Slave γίνεται μέσω μίας εσωτερικής διεπαφής
- Για δίδυμες αντλίες πρέπει κατά κανόνα μόνο η κύρια αντλία να εξοπλίζεται με μία μονάδα IF.
- Σε αντλίες με εφαρμογές διχαλωτού σωλήνα όπου οι ηλεκτρονικές

μονάδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω εσωτερικής διεπαφής, χρειάζονται επίσης μόνο οι κύριες αντλίες μονάδα IF.

Μονάδα Διεπαφών.

PLR/μετατροπέας διεπαφής
Μονάδα IF PLR Δεν χρειάζεται μονάδα IF
Δίκτυο LONWORKS Μονάδα IF LON
BACnet Μονάδα IF BACnet μονάδα IF
Modbus Μονάδα IF Modbus
Διάλογος CAN Μονάδα IF CAN

6.1.5 Σχέδιο Αντλία.



Αρ.	Εξάρτημα	Λεπτομέρειες
1.1	Πτερωτή (σετ)	
1.11		Πτερωτή
1.12		Δακτύλιος ασφάλισης
1.13		Στεγανοποιητικός δακτύλιος
1.2	Μηχανικός στυπιοθλίπτης (σετ)	
1.12		Δακτύλιος ασφάλισης
1.13		Στεγανοποιητικός δακτύλιος
1.21		Μηχανικός στυπιοθλίπτης
1:22		Αποστατικός δακτύλιος
1.3	Κινητήρας	
1.4	Βίδες στερέωσης κινητήρα/κελύφους αντλίας	
3	Κέλυφος αντλίας (σετ)	
1.13		Στεγανοποιητικός δακτύλιος
3.1		Κέλυφος αντλίας
3.2		Τάπα (στην έκδοση ...-R1)
3.3		Δικλείδα (σε διδυμη αντλία)
6	Αισθητήρας διαφορικής πίεσης (σετ)	
7	Ηλεκτρονική μονάδα (σετ)	
7.1		Ηλεκτρονική μονάδα
7.3		Κάλυμμα μονάδας
7.4		Βίδες
7.5		Οδοντωτές ροδέλες
8.2	Βαλβίδα εξαέρωσης	

Εικόνα 6.6 Πίνακας ανταλλακτικών. (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

6.2 Φυγοκεντρική αντλία με ενσωματωμένο inverter σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη.

6.2.1 Τεχνική προδιαγραφή αντλίας.

Η αντλία θα είναι Inline υπέρ-υψηλής απόδοσης με σύγχρονο EC αερόψυκτο ηλεκτροκινητήρα ξηρού ρότορα μόνιμου μαγνήτη (διαθέσιμες ισχύς από 0,6Kw έως 22Kw), ενεργειακής κλάσης **IE5 κατά IEC 60034-30-2** και Υδραυλικό μέρος υψηλής απόδοσης, βέλτιστα προσαρμοσμένο στην τεχνολογία κινητήρα EC με δείκτη ελάχιστης απόδοσης (MEI) $\geq 0,7$ πάνω από την ελάχιστη τιμή του 2^{ου} σταδίου της Οδηγίας ErP 2009/125/EK [Κανονισμός Επιτροπής (EE) 547/2012]. Θα είναι κατάλληλη για Άντληση νερού θέρμανσης (κατά VDI 2035), κρύου νερού και μίγματος νερού-γλυκόλης χωρίς επιθετικές ουσίες σε συστήματα θέρμανσης, κρύου νερού και ψύξης. Θα είναι μονής κεφαλής, συνδέσεως μέσω φλαντζών για διατομές από DN40 έως και DN100, με στόμια αναρρόφησης /κατάθλιψης in-line, ίδιας ονομαστικής διαμέτρου. Οι φλάντζες θα είναι τρυπημένες σύμφωνα με το EN 1092-2 και θα διαθέτουν ειδικές υποδοχές μέτρησης πίεσης (R 1/8) για την σύνδεση αισθητηρίου πίεσης ή μανομέτρου. Θα φέρει κέλυφος αντλίας από χυτοσίδηρο (EN-GJL-250), πτερωτή από συνθετικό υλικό περιεκτικότητας 40% σε ίνες γυαλιού (PPS-GF40) για θερμοκρασία ρευστού από -20°C έως +140°C, που τον καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές ψύξης & θέρμανσης, άξονα από ανοξείδωτο χάλυβα (1.4122), και θα διαθέτει μηχανικό στυπιοθλίπτη (AQ1EGG) με ολισθαίνοντα δακτύλιο για τη στεγανοποίηση του υδραυλικού μέρους. Η πτερωτή θα είναι απευθείας συνδεδεμένη επάνω στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Το υδραυλικό μέρος θα συνδέεται με τον κινητήρα με τη χρήση λατέρνας, η οποία θα φέρει ανοξείδωτο προφυλακτήρα του άξονα περιστροφής. Επάνω στη λατέρνα θα είναι προσαρμοσμένη και ειδική βαλβίδα εξαέρωσης. Έως τη θερμοκρασία $T \leq +40$ °C θα επιτρέπεται πρόσμειξη γλυκόλης σε ποσοστό 20 έως 40 %. Για μείγματα νερού-γλυκόλης με ποσοστό γλυκόλης >40% έως το πολύ 50% και θερμοκρασία ρευστού > + 40°C έως το πολύ +120°C ή για άλλα ρευστά διαφορετικά του νερού, θα πρέπει να προβλέπεται η χρήση άλλου κατάλληλου μηχανικού στυπιοθλίπτη. Η αντλία θα έχει μέγιστη πίεση λειτουργίας 16bar.

Η αντλία θα είναι απευθείας συνδεδεμένη με σύγχρονο EC αερόψυκτο ηλεκτροκινητήρα ξηρού ρότορα μόνιμου μαγνήτη με ειδικό κάλυμμα βελτιστοποίησης της ροής του αέρα ψύξης, με ενσωματωμένο ηλεκτρονικό έλεγχο ισχύος (Inverter), με πολύ υψηλή ροπή εκκίνησης για

ασφαλή εκκίνηση, με βαθμό προστασίας IP55. Ο κινητήρας θα φέρει περιμετρικά ειδικές οπές για την αποστράγγιση τυχόν συμπυκνωμάτων που μπορεί να δημιουργηθούν εντός του κινητήρα. Θα διαθέτει ενσωματωμένο έλεγχο διαφορικής πίεσης για την απόδοση σταθερού ($\Delta p-C$), έλεγχο αναλογικού μανομετρικού ($\Delta p-V$) με ρύθμιση του επιθυμητού μανομετρικού μέσω του κόκκινου κουμπιού σε βήματα του 0.1m για ρύθμιση ακριβείας, έλεγχο PID & έλεγχο για λειτουργία σταθερών στροφών ($n = \text{σταθερό}$) με αναγραφή των ανάλογων ενδείξεων των τρόπων ρύθμισης στην φωτιζόμενη οθόνη υγρών κρυστάλλων, ενώ όλες οι ρυθμίσεις θα πραγματοποιούνται μέσω του κόκκινου κουμπιού. Θα φέρει ενσωματωμένο δότη διαφορικής πίεσης για την οδήγηση του Inverter. Θα έχει δυνατότητα για αυτόματη διαχείριση ζεύγους αντλιών (εναλλαγή, εφεδρεία, αιχμή) μέσω ειδικών επαφών ηλεκτρονικής διασύνδεσης. Εκτός των αυτόματων λειτουργιών, θα έχει δυνατότητα για επιπλέον χειροκίνητες λειτουργίες όπως: Ρύθμιση της ονομαστικής τιμής διαφορικής πίεσης, Ρύθμιση των στροφών (χειροκίνητα), Ρύθμιση του τρόπου λειτουργίας, Ρύθμιση της αντλίας ON/OFF, Βασική ρύθμιση όλων των παραμέτρων λειτουργίας, Επιβεβαίωση σφάλματος. Θα έχει επίσης την δυνατότητα για εξωτερικές λειτουργίες ελέγχου με Αναλογικές διεπαφές 0-10V, 2-10V, 0-20mA, 4-20mA, δύο παραμετροποιήσιμα ρελέ ειδοποίησης για μηνύματα λειτουργίας και βλάβης, ρυθμιζόμενη συμπεριφορά βλάβης προσαρμοσμένη στις εφαρμογές θέρμανσης ή κλιματισμού, φραγή πρόσβασης στην αντλία, ενσωματωμένη πλήρης προστασία κινητήρα (KLF) με ηλεκτρονικό σύστημα διέγερσης, διεπαφή IR για ασύρματη επικοινωνία με συσκευή χειρισμού και σέρβις, οθόνη και στικ Wilo-IR, υποδοχή για μονάδες Wilo IF όπως Modbus, BACnet, CAN, PLR, LON για διασύνδεση στον αυτοματισμό του κτιρίου (BMS). Ο ηλεκτροκινητήρας θα καλύπτει τις απαιτήσεις για εκπομπή παρεμβολών κατά EN 61800-3. Θα μπορεί να συνδέεται σε ηλεκτρικά δίκτυα 3~480V $\pm 10\%$, 50/60Hz, 3~440V $\pm 10\%$, 50/60Hz, 3~400V $\pm 10\%$, 50/60Hz, 3~380 V -5 % +10 %, 50/60Hz, και ο κινητήρας θα είναι κλάσης μόνωσης F.



Εικόνα 6.7 Φυγοκεντρική Αντλία inverter σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη. (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

6.2.2 Τεχνικά στοιχεία αντλίας.

Ιδιότητα	Τιμή	Παρατηρήσεις
Σχετική υγρασία αέρα - σε $T_{\text{περιβάλλον}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - σε $T_{\text{περιβάλλον}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$	< 90 %, χωρίς υγροποίηση < 60 %, χωρίς υγροποίηση	

Ιδιότητα	Τιμή	Παρατηρήσεις
Περιοχή στροφών	500 – 5200 min ⁻¹	Ανάλογα με τον τύπο της αντλίας
Ονομαστική διάμετρος DN	Stratos GIGA: 40/50/65/80/100 mm Stratos GIGA B: 32/40/50/65/80 mm (κατάθλιψη)	
Συνδέσεις σωλήνων	Φλάντζες PN 16	EN 1092-2
Ελάχιστη/μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία μέσου	-20 °C έως +140 °C	Ανάλογα το μέσο
Θερμοκρασία περιβάλλοντος min./max.	0 έως +40 °C	Χαμηλότερες ή υψηλότερες θερμοκρασίες κατόπιν ζήτησης
Θερμοκρασία αποθήκευσης min./max.	-20 °C έως +70 °C	
Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας	16 bar	
Κατηγορία μόνωσης	F	
Βαθμός προστασίας	IP 55	
Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα Εκπομπή παρεμβολών κατά Ατρωσία σε παρεμβολές κατά	EN 61800-3 EN 61800-3	Κατοικίες Βιομηχανικός τομέας
Στάθμη ηχητικής πίεσης ¹⁾	$L_{pA, 1m} < 74 \text{ dB(A)}$ αναφ. 20 μPa	Ανάλογα με τον τύπο της αντλίας
Επιτρεπόμενα αντλούμενα υγρά ²⁾	Νερό θέρμανσης κατά VDI 2035 Νερό ψύξης/κρύο νερό Μείγμα νερού /γλυκόλης έως 40 % κατ' όγκο Λάδι μεταφοράς θερμότητας Άλλα υγρά	Στάνταρ τύπος Στάνταρ τύπος Στάνταρ τύπος μόνο σε ειδική κατασκευή μόνο σε ειδική κατασκευή
Ηλεκτρική σύνδεση	3~380 V – 3~480 V (±10 %), 50/60 Hz	Υποστηριζόμενα είδη δικτύου: TN, TT, IT
Εσωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα	PELV, γαλβανική μόνωση	
Ρύθμιση στροφών	Ενσωματωμένος μετατροπέας συχνότητας	

Εικόνα 6.8: Τεχνικά στοιχεία αντλίας σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη με ενσωματωμένο Inverter. (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

6.2.3 Είδη Ρύθμισης αντλίας

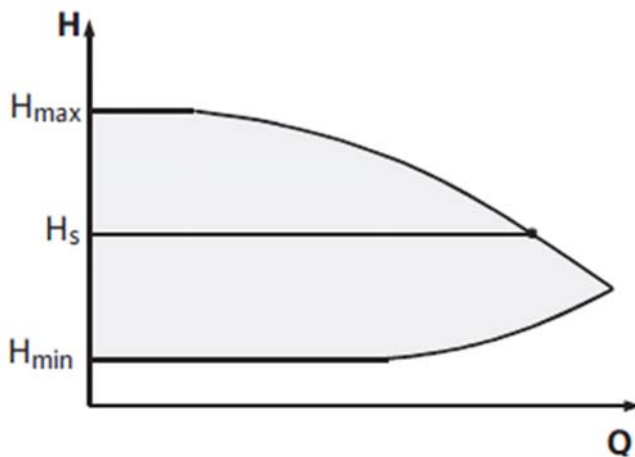
$\Delta p-c$:

Το ηλεκτρονικό σύστημα διατηρεί σταθερή τη διαφορά πίεσης που δημιουργείται από την αντλία στην επιτρεπόμενη περιοχή παροχής, σύμφωνα με τη ρυθμισμένη επιθυμητή τιμή διαφοράς πίεσης H_s από τη μέγιστη χαρακτηριστική καμπύλη (Σχ. 10).

Q = Παροχή

H = Διαφορά πίεσης (Min/Max)

H_S = Επιθυμητή διαφορά πίεσης



Εικόνα 6.3: Ρύθμιση $\Delta p-c$ (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

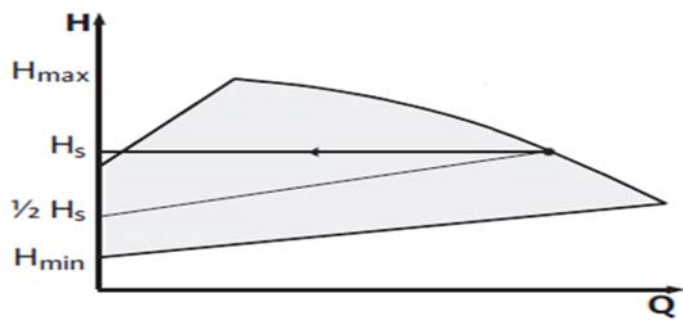
$\Delta p-v$:

Το ηλεκτρονικό σύστημα μεταβάλλει τη διατηρούμενη από την αντλία ονομαστική τιμή διαφορικής πίεσης γραμμικά μεταξύ του μανομετρικού ύψους H_S και $\frac{1}{2}H_S$. Η ονομαστική τιμή διαφορικής πίεσης H_s αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την παροχή (Σχ. 11).

Q = Παροχή

H = Διαφορά πίεσης (Min/Max)

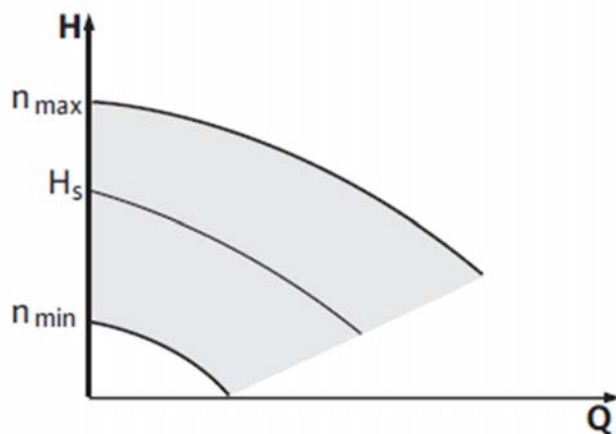
H_S = Επιθυμητή διαφορά πίεσης



Εικόνα 6.4: Ρύθμιση Δp -v(Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

Έλεγχος με εξωτερικό σήμα:

Οι στροφές της αντλίας μπορούν να διατηρούνται σε μια σταθερή τιμή μεταξύ n_{min} και n_{max} (Σχ. 12). Ο «έλεγχος με εξωτερικό σήμα» απενεργοποιεί όλους τους υπόλοιπους τρόπους ρύθμισης.



Εικόνα 6.5 Έλεγχος με εξωτερικό σήμα. (Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

Έλεγχος PID:

Εάν δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα παραπάνω βασικά είδη ρύθμισης – π.χ. αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλοι αισθητήρες ή αν η απόσταση των αισθητήρων από την αντλία είναι πολύ μεγάλη – έχετε στη διάθεσή σας τη λειτουργία ελέγχου PID (**P**roportional-**I**ntegral-**D**ifferential = Αναλογική – Ολοκληρωτική – Διαφορική ρύθμιση). Συνδυάζοντας κατάλληλα τα μεμονωμένα είδη ρύθμισης, ο χρήστης μπορεί να επιτύχει μια γρήγορη, μόνιμη ρύθμιση, χωρίς παραμένουσα απόκλιση από τις επιθυμητές τιμές.

Το σήμα εξόδου του επιλεγμένου αισθητήρα μπορεί να πάρει οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή. Η εκάστοτε επιτυγχανόμενη πραγματική τιμή (σήμα αισθητήρα) εμφανίζεται στη σελίδα κατάστασης του μενού σε ποσοστά (100 % = μέγιστο εύρος μέτρησης του αισθητήρα).

Ο ρυθμιστής PID που χρησιμοποιείται στην αντλία είναι ένας στάνταρ ρυθμιστής PID όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία για τα συστήματα αυτοματισμού. Ο ρυθμιστής συγκρίνει τη μετρούμενη πραγματική τιμή με την προκαθορισμένη επιθυμητή τιμή και προσπαθεί να προσαρμόσει την πραγματική τιμή στην επιθυμητή. Εφόσον χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχοι αισθητήρες, μπορούν να πραγματοποιηθούν διάφορες ρυθμίσεις, όπως π.χ. ρύθμιση πίεσης, διαφοράς πίεσης, θερμοκρασίας ή ροής. Κατά την επιλογή ενός αισθητήρα πρέπει να προσέξετε τις ηλεκτρικές τιμές στον πίνακα «Πιν. 3: Αντιστοίχιση των ακροδεκτών σύνδεσης» στη σελίδα 24.

Η συμπεριφορά ρύθμισης μπορεί να βελτιστοποιηθεί μέσω της αλλαγής των παραμέτρων P, I και D. Το ποσοστό P (δηλαδή το αναλογικό ποσοστό) του ρυθμιστή δίνει μια γραμμική ενίσχυση της απόκλισης μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής τιμής στην έξοδο του ρυθμιστή. Το πρόσημο του ποσοστού P καθορίζει τον τρόπο δράσης του ρυθμιστή. Το ποσοστό I (δηλαδή το ποσοστό ολοκλήρωσης) του ρυθμιστή σχηματίζει το ολοκλήρωμα ως προς την απόκλιση ρύθμισης. Η σταθερή απόκλιση δίνει γραμμική αύξηση στην έξοδο του ρυθμιστή. Έτσι αποφεύγεται μια συνεχής απόκλιση ρύθμισης.

Το ποσοστό D (δηλαδή το διαφορικό ποσοστό) του ρυθμιστή αντιδρά απευθείας στην ταχύτητα μεταβολής της απόκλισης ρύθμισης. Έτσι επηρεάζεται η ταχύτητα αντίδρασης του συστήματος. Εργαστασιακά το ποσοστό D έχει ρυθμιστεί στο μηδέν, γιατί αυτό ταιριάζει για πολλές εφαρμογές.

Οι παράμετροι θα πρέπει να αλλάζουν μόνο σε μικρά βήματα και οι επιδράσεις στο σύστημα θα πρέπει να επιτηρούνται συνεχώς. Η προσαρμογή των τιμών των παραμέτρων επιτρέπεται να εκτελείται μόνο από προσωπικό με εξειδίκευση στον τομέα των συστημάτων αυτοματισμού. Ο τρόπος δράσης της ρύθμισης καθορίζεται από το πρόσημο του ποσοστού P.

Έλεγχος θετικού PID (στάνταρ):

Εάν υπάρχει θετικό πρόσημο στο ποσοστό P, η ρύθμιση αντιδρά σε

περίπτωση τιμής κάτω από την επιθυμητή με αύξηση του αριθμού στροφών της αντλίας, μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.

Έλεγχος αρνητικού PID:

Εάν υπάρχει αρνητικό πρόσημο στο ποσοστό P, η ρύθμιση αντιδρά σε περίπτωση τιμής κάτω από την επιθυμητή με μείωση του αριθμού στροφών της αντλίας, μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.

6.2.4 Απομακρυσμένος έλεγχος αντλίας μέσω BMS

ESM/SSM:

- Για κεντρικό έλεγχο μπορεί να συνδεθεί ένα συνολικό σήμα βλάβης (SSM) στην κύρια αντλία.
- Σε αυτήν την περίπτωση η επαφή επιτρέπεται να είναι συνδεδεμένη μόνο στην κύρια αντλία.
- Η ένδειξη ισχύει για όλο το συγκρότημα.
- Στην κύρια αντλία (ή μέσω οθόνης/στικ IR) αυτό το σήμα να προγραμματιστεί ως μεμονωμένο (ESM) ή συνολικό (SSM) μήνυμα βλάβης.
- Για το μεμονωμένο μήνυμα βλάβης πρέπει να συνδεθεί η επαφή σε κάθε αντλία.

EBM/SBM:

- Για κεντρικό έλεγχο μπορεί να συνδεθεί ένα συνολικό μήνυμα λειτουργίας (SBM) στην κύρια αντλία.
- Σε αυτήν την περίπτωση η επαφή επιτρέπεται να είναι συνδεδεμένη μόνο στην κύρια αντλία.
- Η ένδειξη ισχύει για όλο το συγκρότημα.
- Στην κύρια αντλία (ή μέσω οθόνης/στικ IR) αυτό το σήμα να προγραμματιστεί ως μεμονωμένο (EBM) ή συνολικό (SBM) μήνυμα λειτουργίας.
- Η λειτουργία – «Ετοιμότητα», «Λειτουργία», «Ηλεκτρικό δίκτυο On» – του μηνύματος EBM/SBM ρυθμίζεται στην κύρια αντλία.

Για την επικοινωνία μεταξύ των αντλιών και του συστήματος διαχείρισης κτιρίου απαιτείται μία μονάδα IF (προαιρετικός εξοπλισμός), πλίζεται με που συνδέεται στο κουτί ακροδεκτών

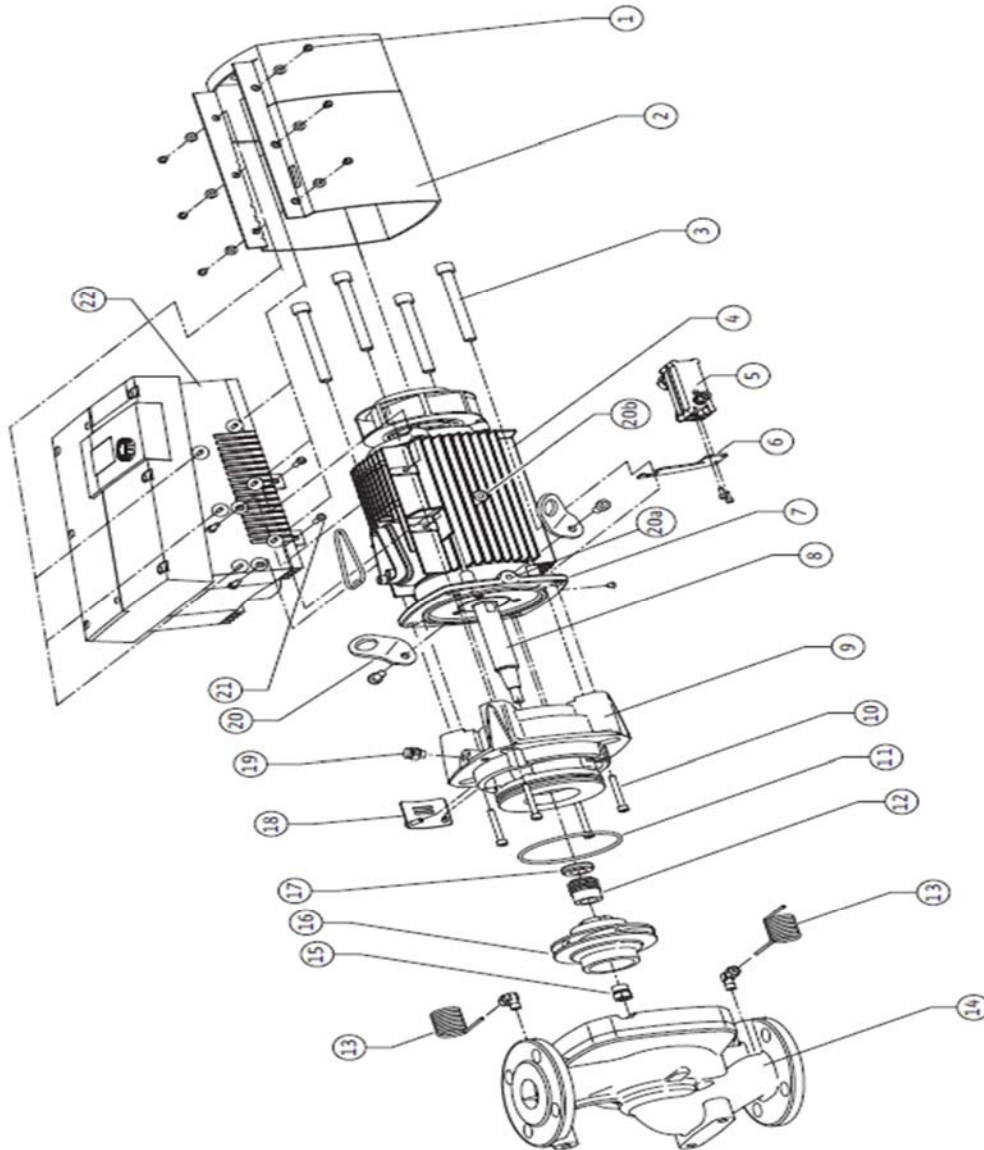
- Η επικοινωνία Master – Slave γίνεται μέσω μίας εσωτερικής διεπαφής
- Για δίδυμες αντλίες πρέπει κατά κανόνα μόνο η κύρια αντλία να εξομιά μονάδα IF.

- Σε αντλίες με εφαρμογές διγαλωτού σωλήνα όπου οι ηλεκτρονικές μονάδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω εσωτερικής διεπαφής, χρειάζονται επίσης μόνο οι κύριες αντλίες μονάδα IF

Μονάδα Διεπαφών.

PLR/μετατροπέας διεπαφής
Μονάδα IF PLR Δεν χρειάζεται μονάδα IF
Δίκτυο LONWORKS Μονάδα IF LON
BACnet Μονάδα IF BACnet μονάδα IF
Modbus Μονάδα IF Modbus
Διάυλος CAN Μονάδα IF CAN

6.2.5 Σχέδιο Αντλία.



Εικόνα 6.6 Σχέδιο αντλίας σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη(Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

Αρ.	Εξάρτημα
1	Βίδες στερέωσης του καλύμματος ανεμιστήρα
2	Κάλυμμα ανεμιστήρα
3	Βίδες στερέωσης του σετ σύνδεσης
4	Περίβλημα κινητήρα
5	Αισθητήριο διαφορικής πίεσης (DDG)
6	Έλασμα συγκράτησης DDG
7	Φλάντζα κινητήρα
8	Άξονας κινητήρα
9	Λατέρνα
10	Βίδες στερέωσης της λατέρας
11	Στεγανοποιητικός δακτύλιος
12	Περιστρεφόμενο σώμα του μηχανικού στυπιοθλίπτη (GLRD)
13	Σωλήνας μέτρησης πίεσης
14	Κέλυφος αντλίας
15	Παξιμάδι περωτής
16	Περωτή
17	Κόντρα δακτύλιος του μηχανικού στυπιοθλίπτη (GLRD)
18	Έλασμα προστασίας
19	Βαλβίδα εξαέρωσης
20	Κρίκος μεταφοράς
20a	Σημεία στερέωσης για κρίκους μεταφοράς στη φλάντζα του κινητήρα
20b	Σημεία στερέωσης για κρίκους μεταφοράς στο περίβλημα του κινητήρα
21	Βίδες στερέωσης της ηλεκτρονικής μονάδας
22	Ηλεκτρονική μονάδα

Εικόνα 6.7 Εξαρτήματα αντλίας βάση εικόνας 5.6(Πηγή: Λογισμικό Wilo-Select 4)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

7.1 Παρουσίαση αίθουσα πρακτικής

Σε έναν ειδικά διαμορφωμένο χώρο 140 τ.μ., δίπλα στο Εκπαιδευτικό Κέντρο της Wilo Hellas στην Άνοιξη. Στην αίθουσα αυτή υπάρχουν περισσότερες από 50 αντλίες σε υποδειγματική εγκατάσταση και πλήρη λειτουργία υπάρχει η δυνατότητα διεξαγωγής μετρήσεων και πειραμάτων. Η χρησιμότητα της είναι εξομοίωση πραγματικών συνθηκών σε υδραυλικές εγκαταστάσεις, η μελέτη της συμπεριφοράς των εξαρτημάτων και η βελτίωση της λειτουργίας τους. Η αίθουσα χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες ανάλογα με την χρήση των εξαρτημάτων και τον σκοπό που εξυπηρετούν έτσι έχουμε τους παρακάτω τομείς:

- Τμήμα πυροσβεστικού συγκροτήματος
- Τμήμα πιεστικών συστημάτων
- Τμήμα λεβητοστασίου
- Τμήμα προκατασκευασμένων φρεατίων λυμάτων
- Τμήμα αντλιών & αναδευτήρα λυμάτων (δεξαμενή)
- Τμήμα υποβρύχιων αντλιών γεώτρησης (υδροφόρος ορίζοντας)
- Τμήμα WC με αντλίες & συστήματα άντλησης οικιακών εφαρμογών
- Τμήμα HVAC το οποίο είναι και το δικό μας αντικείμενο

7.1.1 Τμήμα Πιεστικών συγκροτημάτων.

Σε αυτό το κομμάτι της αίθουσας έχουν εγκατασταθεί πιεστικά συγκροτήματα διαφόρων μεγεθών και δυνατοτήτων μονά και διπλά καθώς και πιεστικά με έλεγχο απο inverter. Η τροφοδοσία με νερό του τμήματος πιεστικών συγκροτημάτων γίνεται από την κεντρική δεξαμενή που είναι εγκατεστημένη στην αίθουσα . Η δεξαμενή δεν είναι υπό πίεση γι' αυτό τον λόγο την πίεση του κανονικού δικτύου της εταιρίας παροχής ποσίμου νερού την υποκαθιστά μια αντλία.

Το σύστημα λειτουργεί και χωρίς την πίεση του δικτύου απλα αδειάζοντας την δεξαμενή και μέσω κλειστού βρόγχου την ξαναγεμίζει. Γενικά η προσαγωγή και η κατάθλιψη του συστήματος γίνεται στην δεξαμενή της αίθουσας. Σε αυτό το κομμάτι μπορούμε να κάνουμε διάφορα πειράματα με τα πιεστικά συγκροτήματα μετρώντας πίεση , ταχύτητα , και παροχή σε κάθε ένα ξεχωριστά μέσω ενός πολυ-οργάνου το οποίο είναι τοποθετημένο αμέσως πριν την κατάθλιψη στην δεξαμενή . Το δίκτυο είναι εξοπλισμένο με διάφορα δοχεία διαστολής μικρά και μεγάλα προσομοιώνοντας διάφορες συνθήκες πίεσης. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει χειροκίνητα αλλά και αυτόματα μέσω ενός ιδιαίτερα ελαστικού συστήματος αυτοματοποίησης το οποίο δυστυχώς δεν ήταν ακόμη έτοιμο για χρήση κατά την παραμονή μας στην αίθουσα .

Μόνο το σύστημα αυτοματοποίησης θα μπορούσε να αποτελέσει ένα αντικείμενο πλήρους πτυχιακής μελέτης λόγω των εκτεταμένων δυνατοτήτων του . Τέλος για να γίνει η πίεση , η ταχύτητα καθώς και η παροχή του συστήματος κατανοητή και με γυμνό μάτι πέρα από τα όργανα μέτρησης στην αίθουσα έχει εγκατασταθεί μια σειρά από υποδοχείς (βρύσες) σε σειρά . Το νερό που εξέρχεται από αυτές επαναπροωθείται πίσω στην δεξαμενή με μια άλλη αντλία.

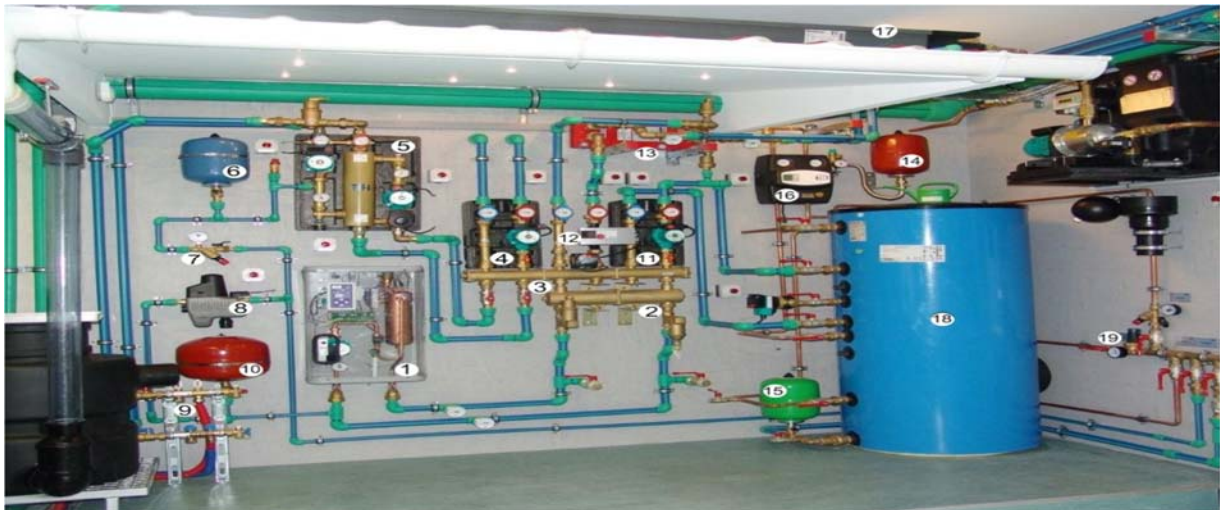


Εικόνα 7.1: Τμήμα πιεστικών συγκροτημάτων(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)

7.1.2 Τμήμα Λεβητοστασίου.

Το τμήμα αυτό της αίθουσας είναι και το πιο πολυλειτουργικό καθώς και το πιο εντυπωσιακό. Οι λειτουργίες και τα πειράματα που μπορούν να γίνουν σε αυτό το κομμάτι είναι παρά πολλά γι' αυτό και θα προσπαθήσουμε συνοπτικά να δείξουμε τα μέρη από τα οποία αποτελείται και μερικές λειτουργίες αλλά ο κάθε ένας θα μπορούσε κυριολεκτικά να σχεδιάσει και το δικό του πείραμα. Η "καρδιά" του λεβητοστασίου είναι ένας ηλεκτρικός καυστήρας με ενσωματωμένο κυκλοφορητή. Ο λόγος που επιλέχτηκε η λύση του ηλεκτρικού καυστήρα είναι κυρίως η ευκολία στην εγκατάσταση (απουσία σωληνώσεων φυσικού αερίου, απουσία δεξαμενής πετρελαίου). Τα διάφορα τμήματα λειτουργίας του λεβητοστασίου είναι συνοπτικά τα παρακάτω:

- Θέρμανση ενδοδαπέδιου κυκλώματος
- Θέρμανση πισίνας
- Θέρμανση κοινού σώματος
- Λειτουργία boiler
- Λειτουργία ηλιακού συλλέκτη



Εικόνα 7.2: Τμήμα Λεβητοστασίου(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)

Τα επι μέρους τμήματα του λεβητοστασίου φαίνονται παραπάνω:

1. Ηλεκτρικός λέβητας KOSPEL με κυκλοφορητή stratos ECO
2. Πρωτεύον συλλέκτης
3. Δευτερεύον συλλέκτης διασταυρούμενης ροής
4. Θέρμανση σωμάτων
5. Θέρμανση δαπέδου
6. Δοχείο διαστολής πλήρωσης λεβητοστασίου
7. Μηχανικός αυτόματος πλήρωσης
8. Ηλεκτρονικός αυτόματος πλήρωσης
9. Συλλέκτης θέρμανσης δαπέδου
10. Δοχείο διαστολής κυκλώματος θέρμανσης δαπέδου
11. Κυκλοφορητής θερμαντήρα λέβητα
12. Κυκλοφορητής κυκλώματος πισίνας
13. Πλακοειδής εναλλάκτης κυκλώματος πισίνας
14. Δοχείο διαστολής κυκλώματος ηλιακών
15. Δοχείο διαστολής ζεστού νερού χρήσης
16. Συσκευή ελέγχου ηλιακών- λέβητα κυκλοφορητής ηλιακών
17. Ηλιακοί συλλέκτες

7.1.3 Τμήμα Πυροσβεστικού Συγκροτήματος.



Εικόνα 7.3: Τμήμα Πυρόσβεσης(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)

Σε αυτό το κομμάτι της αίθουσας έχει εγκατασταθεί ένα διπλό πυροσβεστικό συγκρότημα της Wilo με ηλεκτροκινητήρα και βενζινοκινητήρα σε παράλληλη διάταξη. Το πυροσβεστικό συγκρότημα έχει προσαγωγή από μια δεξαμενή μεγάλης χωρητικότητας που είναι εγκατεστημένη επίσης στην αίθουσα και κατάθλιψη σε μια πυροσβεστική φωλιά σε ένα σετ από sprinklers και σε μια απλή σωλήνωση επιστροφής στην δεξαμενή. Το συγκρότημα είναι πλήρως αυτοματοποιημένο και ελέγχεται ηλεκτρονικά από ένα διπλό ηλεκτρολογικό πινάκιο (ένα για τον ηλεκτροκινητήρα και ένα για τον βενζινοκινητήρα) καθώς και με προστασία ενάντια στις διακοπές ρεύματος. Τα πειράματα και οι παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν σε αυτό το κομμάτι της αίθουσας αφορούν κυρίως στην λειτουργία του πυροσβεστικού συστήματος καθώς είναι εξαιρετικά δύσκολο να πραγματοποιηθούν δόκιμες σε ήδη εγκατεστημένα συστήματα. Εδώ μπορούμε να παρατηρήσουμε την αυτόματη αλλαγή λειτουργίας από ηλεκτροκινητήρα σε βενζινοκινητήρα μετά από διακοπή ρεύματος και να κάνουμε μετρήσεις παροχής και ταχύτητας ρευστού (στην περίπτωση μας νερό).

7.1.4 Τμήμα Προκατασκευασμένου φρεατίου λυμάτων και αντλίας γεωτρήσεως.



Εικόνα 7.4: Τμήμα Προκατασκευασμένων φρεατίων(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)



Εικόνα 7.5: Τμήμα Αντλιών Γεώτρησης(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)

7.2 Όργανα μετρήσεων και Πειραματικές διατάξεις

7.2.1 Όργανα μετρήσεων

Στο τμήμα αυτό πέραν από τις αντλίες που θα μελετήσουμε υπάρχουν και αρκετά βοηθητικά στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και παρουσιάζονται παρακάτω.

- **Ηλεκτρολογικοί πίνακες**

Όλες οι αντλίες και τα επιμέρους στοιχεία ελέγχονται ηλεκτρονικά από δυο πινάκες . Ο πρώτος ελέγχει της πρώτες πέντε αντλίες που έχουν και πιο απλή λειτουργία , ο δεύτερος πινάκας που βρίσκεται δεξιά του τμήματος ελέγχει τις τρεις τελευταίες αντλίες και έχει και ενσωματωμένα inverter για τα οποία θα μιλήσουμε παρακάτω. Οι πίνακες πληρούν όλους τους κανονισμούς ασφαλείας και έχουν ενσωματωμένο όργανο μέτρησης της καταναλισκόμενης ενέργειας στο τμήμα. Οι πίνακες όλοι είναι custom κατασκευή της εταιρείας.

- **Ροόμετρο Siemens SITRANS F M MAG5000**

Η τυπική ανοχή μέτρησης της συσκευής είναι +/- 0,25%. Προκειμένου να βαθμονομηθεί άμεσα το ροόμετρο στη διαδικασία με μετρητή Master, απαιτείται ακρίβεια τουλάχιστον +/- 0,1%. Το ειδικό λογισμικό και η βαθμονόμηση που παρέχονται καλύπτουν αυτή την απαίτηση. Για 5 ταχύτητες ροής, η παραετροποίηση της συσκευής προσφέρει μια αντιστάθμιση του ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου με απόκλιση «μηδέν»!

Τεχνικά χαρακτηριστικά του SITRANS F M MAG5000

- Ηλεκτρομαγνητική μέτρηση όγκου με εύκολη λειτουργία
- 2 μετρητές επαναρυθμίσιμης ποσότητας και 1 αθροιστής
- Η αυτόματη προσαρμογή της κλίμακας μέτρησης επιτρέπει τη μεγάλη δυναμική ταχυτήτων ροής
- Έκδοση που έχει εγκριθεί επισήμως
- Ειδικές λειτουργίες χάριν στις 4 ψηφιακές εισόδους και εξόδους και 1 αναλογική έξοδο καθώς και κουμπί έναρξης και διακοπής λειτουργίας στο πληκτρολόγιο
- Δείγματα διαφορετικών παλμών για πιθανή εναλλαγή σημάτων
- Κατάλληλο για λειτουργία σε οδικά βυτιοφόρα με ηλεκτρική τροφοδοσία από μπαταρίες 12 V και 24 V
- Η αποθήκευση δεδομένων βαθμονόμησης «MEMbox» επιτρέπει την εύκολη ανταλλαγή.
 - Μέτρηση θερμοκρασίας μέσω εξωτερικού Pt100
 - Είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου που σχετίζεται με τη θερμοκρασία αναφοράς
 - Υπάρχει σύνδεση εκτυπωτή τύπου RS232
 - Εκτύπωση με ημερομηνία / ώρα και πρόσθετο κείμενο, επίσης εγκεκριμένο ως επίσημο παραστατικό

- Κατάλληλο για λειτουργία σε βυτιοφόρα οχήματα με τροφοδοσία μπαταριών 12 V και 24 V
- 2 επαναρυθμιστές μετρητές ποσότητας και 1 αθροιστής
- Η αυτόματη προσαρμογή της κλίμακας μέτρησης επιτρέπει τη μεγάλη δυναμική ταχύτητα ροής
- Η αποθήκευση δεδομένων βαθμονόμησης «MEMBox» επιτρέπει την εύκολη εναλλαγή
- Διατίθενται όλες οι τυπικές συνδέσεις διεργασίας (φλάντζα DIN, σφικτήρας, ρακόρ σωλήνα γάλακτος κλπ.)

• **Όργανο μέτρησης πίεσης (μπαρομετρο)** εγκατεστημένο σε κάθε αντλία και συνδεδεμένο και στην προσαγωγή και στην κατάθλιψη με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε γυρνώντας δυο βάνες να μετρά όποτε είναι επιθυμητό είτε την κατάθλιψη είτε την αναρρόφηση της αντλίας



Εικόνα 7.6: Μπαρόμετρο(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)

- **Όργανο μέτρησης διαφοράς πίεσης στην προσαγωγή και στην κατάθλιψη**



Εικόνα 6.7: Μανόμετρο διαφορικής Πίεσης(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)

- **Φίλτρα απαερωτές**



Εικόνα 7.8: Διαχωριστής & απαερωτής κυκλώματος(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas)

Στο τμήμα είναι εγκατεστημένο ένα κάθετο φίλτρο της spirovent το οποίο καθαρίζει το νερό της εγκατάστασης από τυχόν ανεπιθύμητα σωματίδια . Επίσης υπάρχει κατεστημένη και μια αυτοματοποιημένη μονάδα εξαέρωσης κενού ειδικά διαμορφωμένη για κλειστές εγκαταστάσεις. Λειτουργικός σκοπός της μονάδας αυτής είναι η απομάκρυνση των διαλυμένων και μη διαλυμένων αερίων που υπάρχουν στην εγκατάσταση μέχρι το απόλυτο ελάχιστο. Το σύστημα επίσης έχει χρονοδιακόπτη και είναι πλήρως προγραμματιζόμενο.

- **Αυτόματος πλήρωσης και δοχείο διαστολής.**

Όπως σε κάθε κλειστό κύκλωμα νερού έτσι και εδώ υπάρχει ένας αυτόματος πλήρωσης του τμήματος ηλεκτρονικά ελεγχόμενος και εξοπλισμένος με αντεπιστροφή βάννα υπερχειλίσσης . Το καινούργιο στοιχείο στον συγκεκριμένο αυτόματο πλήρωσης είναι ότι λόγω του ηλεκτρονικού του κυκλώματος μπορεί ο εγκαταστάτης να ορίσει απλά και εύκολα την πίεση που θέλει να υπάρχει στο σύστημα όταν αυτό είναι σε αδράνεια και ο αυτόματος δουλεύει έτσι ώστε να κρατά σταθερή την πίεση είτε βάζοντας νερό στο σύστημα είτε αποβάλλοντας . Το δοχείο διαστολής είναι ένα κλασσικό δοχείο μεμβράνης χωρητικότητας 15 λίτρων για εγκαταστάσεις θέρμανσης.

	S4A	S4A-R	S6A	S6A-R	S6A-R2P	S10A	S10A-R	S16A	S16A-R
Max. system volume [m ³]	25	25	300	300	300	300	300	300	300
System pressure [bar]	1 - 4,5 1)	1 - 4,5 1)	1 - 6	1 - 6	1 - 6	5 - 10	5 - 10	9 - 16	9 - 16
Temperature of system fluid [°C]	0 - 90 2)	0 - 90 2)	0 - 90	0 - 90	0 - 90	0 - 90	0 - 90	0 - 90	0 - 90
Fluid treated (degassed) [l/h]	70	70	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Max. refill volume [l/u] 3)	n/a	50	n/a	500	500	n/a	600	n/a	550
Refill pressure [bar]	n/a	± 0,5	n/a	0 - 6	0 - 6	n/a	0 - 10	n/a	0 - 10
Ambient temperature [°C]	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
Dimensions [HxWxD]	490x340x340	490x340x340	880x590x350	880x590x350	880x590x350	1272x744x400	1272x744x400	1272x744x400	1272x744x400
Noise level [dB(A)]	52	52	57	57	57	57	57	57	57
Empty weight [kg]	15	16	57	59	67	77	79	90	92
Supply voltage at 50 Hz [V] 4)	230 ± 10%	230 ± 10%	230 ± 10%	230 ± 10%	230 ± 10%	3 x 400	3 x 400	3 x 400	3 x 400
Power consumption at 50 Hz [Watt] 4)	100	100	800	800	1300	1150	1150	2250	2250
Degree of protection [IP]	X 4D	X 4D	X 4D	X 4D	X 4D	X 4D	X 4D	X 4D	X 4D
Notification "in operation" to BMS	n/a	n/a	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free
Failure notification to BMS	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free	volt-free
Superior run/stop by BMS	n/a	n/a	24 VAC (in)	24 VAC (in)	24 VAC (in)	24 VAC (in)	24 VAC (in)	24 VAC (in)	24 VAC (in)
Refill on/off by BMS	n/a	n/a	n/a	24 VAC (in)	24 VAC (in)	n/a	24 VAC (in)	n/a	24 VAC (in)
Refill on/off by external device	n/a	5 VDC (out)	n/a	5 VDC (out)	5 VDC (out)	n/a	5 VDC (out)	n/a	5 VDC (out)
Article number 50 Hz	MA04A50	MA04R50	MA06A50	MA06R50	MA06P50	MA10A50	MA10R50	MA16A50	MA16R50
Article number 60 Hz	MA04A60	MA04R60	MA06A60	MA06R60	MA06P60	MA10A60	MA10R60	MA16A60	MA16R60

1) At 50 Hz; 60 Hz = 1,5 - 4,5 bar

2) At ≤ 4 bar; > 4 bar = 0 - 70


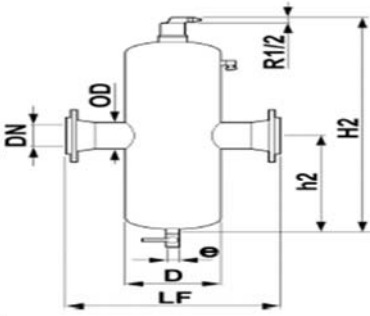
3) An approved non-return protective device (GN[®] male) is available as an option

4) Data for 60 Hz on request

Special insulated versions of the S6, the S10 and the S16 are available for cooling applications.

SpiroVent Superior vacuum degassers are suitable for water and water/glycol mixtures (S4 max. 50%, S6/S10/S16 max. 40%). Not suitable for drinking water installations.

Εικόνα 7.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά αυτόματου πλήρωσης (Πηγή: Manual Spirotech)

SPIROTECH SPECIFICATION SHEET			
Product: SpiroCombi DN 300 Flanged end		Type: BC300F	
Customer: Willio Hellas - Greece		Date: 21-3-2014	
Project: SNFCC - Greece			
Reference: AdK\2014-03-20			
Design criteria Medium: Water / glycol (max 50%) Max. flow velocity: 1.5 m/s Max. flow rate: 405.0 m ³ /h Max. pressure: 10 bar-g Max. temperature: 110 °C Δp at max. flow: 7.8 kPa Flow: 405.0 m ³ /h Δp at flow: 7.8 kPa Design standard: EN 13445		Drawing: 	
Testing and quality assurance Test pressure (bar): 7 Test medium: Air Test certificate: no Design and manufacturing acc. 97/23/EC: yes Material certificates (structural parts): no Drawing: no Weld procedures: no Nondestructive Testing (X-ray: 10%): no Notified body inspection: no			
Construction materials Body: S235 JR G2 (St.37) Connections: S235 JR G2 (St.37) Fittings: S235 JR G2 (St.37) Flanges (PN16): C22.8 Heads: S235 JR G2 (St.37) Deaeration cap: Brass Valve sealing: Viton Float: PP Spirotube Tube: S235 JR G2 (St.37) Wire: Copper Solder: Tin(SnCu3) Paint: Standard Color: Yellow (RAL 1003) Drain valve: Nickered brass		Dimensions: DN: 300 mm OD: 323,9 mm H2: 2025 mm h2: 970 mm D: 610 mm LF: 1005 mm e: 2"	
		Volume: 500 ltr Dry weight (approx): 325 kg	
Subject to changes			

Εικόνα 7.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά Απαιρωτή(Πηγή: Manual Spirotech)

SPIROVENT 'AIR SUPERIOR

Ο αέρας στις κλειστές εγκαταστάσεις δημιουργεί πολλά προβλήματα

Δεν χρειάζεται να συμβαίνει κάτι τέτοιο... Μπορούμε να έχουμε κλειστές εγκαταστάσεις χωρίς αέρα. Το Spirovent "Air Superior" είναι ένας Βηματικός Απαερωτής κενού (Vacuum-Deaerator), ο οποίος έχει ειδικά αναπτυχθεί για:

- εγκαταστάσεις θέρμανσης όπου το στατικό ύψος του νερού πάνω από το λέβητα ξεπερνά τα 15 μέτρα
- εγκαταστάσεις ψύξης όπου το στατικό ύψος του νερού πάνω από τον ψύκτη ξεπερνά τα 5 μέτρα
- εγκαταστάσεις θέρμανσης και ψύξης όπου υπάρχουν μεγάλες δυναμικές μεταβολές πίεσης όπως τηλεθέρμανσεις και γενικά κυκλώματα μεγάλου μήκους

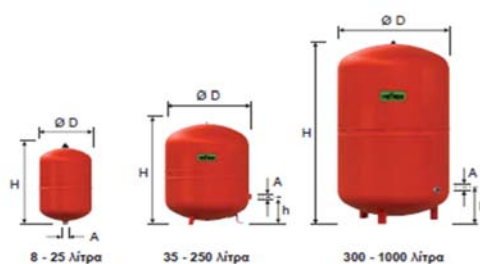
Τεχνικά χαρακτηριστικά - Πλεονεκτήματα

- Κατάλληλο για πιέσεις συστημάτων από 1 έως 15 bar
- Δυνατότητα επιτήρησης της πίεσης και αυτόματης πλήρωσης της εγκατάστασης
- Κατάλληλο για εγκαταστάσεις με όγκο νερού μέχρι 150 m³
- Ασφαλής και απλή εγκατάσταση
- Εύκολη εφαρμογή και σε παλιές εγκαταστάσεις
- Αξιόπιστος μηχανισμός εξαεριστικού
- Κατάλληλο για κάθε εγκατάσταση, θέρμανσης ή ψύξης
- Δυνατότητα ρύθμισης της ώρας εξαέρωσης μέσω ενός εβδομαδιαίου χρονομετρητή
- Ελεύθερες επαφές για BMS
- Διατίθεται στήριγμα για τοποθέτηση στον τοίχο
- Χαμηλή στάθμη θορύβου

Εικόνα 7.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά αυτόματου πλήρωσης(Πηγή: Manual Spirotech)

'reflex NG και N'

- ▶ για εφαρμογές θέρμανσης και κρύου νερού
- ▶ συνδέσεις με σπείρωμα
- ▶ διάφραγμα που δεν αντικαθίσταται, κατά DIN 4807 μέρος 3, μέγ. θερμοκρασία λειτουργίας 70 °C
- ▶ πληροί ή υπερβαίνει τις προδιαγραφές της Ε.Ε. για συσκευές υπό πίεση 97/23/ΕΚ
- ▶ χρώμα: κόκκινο ή λευκό, ανθεκτικό φινιρίσμα
- ▶ Προρύθμιση 1,5 bar (Αζωτο)



Τύπος	Κωδικός		Βάρος kg	Κατηγορ. προϊόντος	Τμη./ παλ.*	∅ D mm	H mm	h mm	A
	κόκκινο	λευκό							
6 bar / 120 °C									
NG 8	7230100	7230107	1.7	10	96	206	285	---	R ¼
NG 12	7240100	7240107	2.3	10	72	280	275	---	R ¼
NG 18	7250100	7250107	2.8	10	56	280	345	---	R ¼
NG 25	7260100	7260107	3.5	10	42	280	465	---	R ¼
NG 35	7270100	7270107	5.7	10	24	354	460	130	R ¼
NG 50	7001000	7001100	7.5	11	24	409	493	175	R ¼
NG 80	7001200	7001300	9.9	11	12	480	565	175	R 1
NG 100	7001400	7001500	11.2	11	10	480	670	175	R 1
NG 140	7001600	7001700	14.5	11	8	480	912	175	R 1
6 bar / 120 °C									
N 200	7213300	---	36.7	18	4	634	760	205	R 1
N 250	7214300	---	45.0	18	---	634	890	205	R 1
N 300	7215300	---	52.0	18	---	634	1060	235	R 1
N 400	7218000	---	65.0	18	---	740	1070	245	R 1
N 500	7218300	---	79.0	18	---	740	1290	245	R 1
N 600	7218400	---	85.0	18	---	740	1530	245	R 1
N 800	7218500	---	103.0	18	---	740	1995	245	R 1
N 1000	7218600	---	120.0	18	---	740	2410	245	R 1

*V_n Ονομαστικός όγκος [λίτρα]





























Εικόνα 7.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά Δοχείου διαστολής(Πηγή: Reflex)

- **ΤΡΙΟΔΗ ΒΑΝΑ belimo**

Τέλος οι σωληνώσεις του τμήματος αποτελούνται από ανοξείδωτους σωλήνες κατάλληλης διαμέτρου. Για την σύνδεση των αντλιών στο κύκλωμα καθώς και μια ηλεκτρονικά ελεγχόμενη (μέσο ποτενσιόμετρου) τριόδη βάνα της εταιρίας belimo. Η βάνα αυτή έχει μπλοκαρισμένη την μια της πλευρά έτσι ώστε ανοίγοντας και κλείνοντας την να μικραίνει η διάμετρος του σωλήνα προσομοιώνοντας έτσι διάφορες διαμέτρους και διάφορες αντιστάσεις στην ροή του νερού όπως συμβαίνει και σε ένα πραγματικό κλειστό κύκλωμα . Έτσι η βάνα μπορεί να φτάσει από 100% ανοιχτή μέχρι εντελώς κλειστή. Οι αντιστάσεις των σωληνώσεων μετρήθηκαν και θεωρούνται αμελητέες .



Εικόνα 7.12: Τριόδη Βάνα Belimo(Πηγή: Manual Belimo)

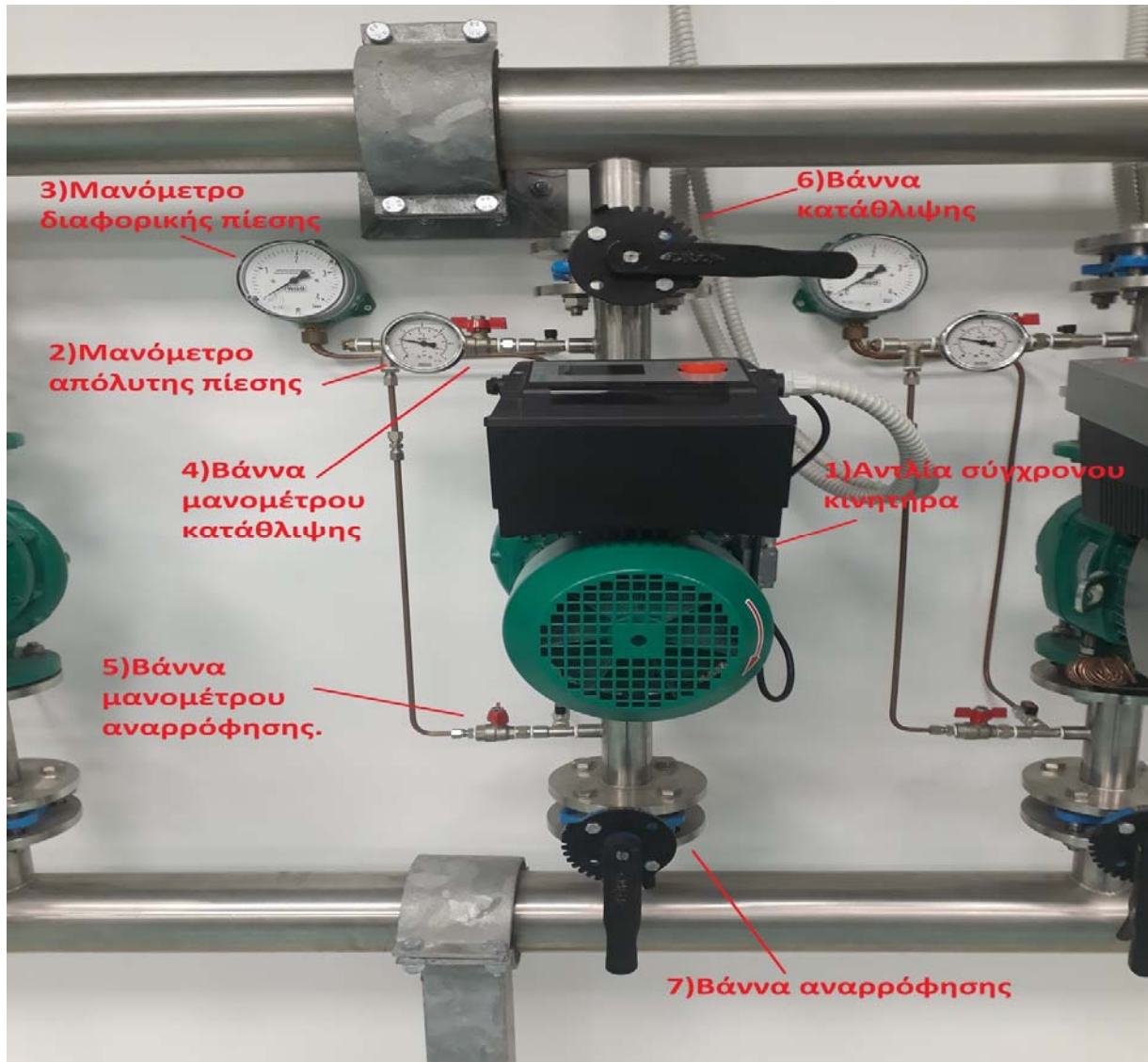
				Emergency control function						
				KR	TR/TRF/TRC					
										
				80°C	120°C					
		Running times	(Control) Operating range							
3-point	AC/DC 24 V	☉: 90 s / ☉: <25 s	3-point	●	TRF24-2-O 					
		75 s	3-point	KR24 						
		100 s	3-point		TR24 					
	AC 230 V	75 s	3-point	KR230 						
		105 s	3-point		TR230-3 ³⁾ 					
Modulating	AC/DC 24 V	15 s	DC (I) 2...10 V		TRC24A-SR 					
		75 s	DC (I) 2...10 V	KR24-SR 						
		90 s	DC (I) 2...10 V		TR24-SR 					
		☉: 90 s / ☉: 25 s	DC (I) 2...10 V	●	TRF24-SR-O 					
Internal thread Rp ISO 7/1  2-way	PN 16 $T_{max}=100^{\circ}C$	DN [mm]	k_{vs}^1 [m³/h]	Range of use ³⁾ Closed / open circuits (pH > 7)						
				Δp_s [kPa]	Δp_{max} [kPa]	Δp_s [kPa]	Δp_{max} [kPa]			
				R2015-P25-S1 	15	0.25	1400	350	1400	350
				R2015-P4-S1 	15	0.4	↑	↑	↑	↑
				R2015-P63-S1 	15	0.63	↑	↑	↑	↑
				R2015-1-S1 	15	1	↑	↑	↑	↑
				R2015-1P6-S1 	15	1.6	↑	↑	↑	↑
				R2015-2P6-S1 	15	2.5	↑	↑	↑	↑
				R2015-4-S1 	15	4	↓	↓	↓	↓
R2015-6P3-S1 	15	6.3	1400	350	1400	350				
Internal thread Rp ISO 7/1  3-way	PN 16 $T_{max}=100^{\circ}C$	DN [mm]	k_{vs}^1 [m³/h]	Range of use ³⁾ Closed / open circuits (pH > 7)						
				Δp_s [kPa]	Δp_{max} [kPa]	Δp_s [kPa]	Δp_{max} [kPa]			
				R3015-P25-S1 	15	0.25	1400	350	1400	350
				R3015-P4-S1 	15	0.4	↑	↑	↑	↑
				R3015-P63-S1 	15	0.63	↑	↑	↑	↑
				R3015-1-S1 	15	1	↑	↑	↑	↑
				R3015-1P6-S1 	15	1.6	↑	↑	↑	↑
				R3015-2P6-S1 	15	2.5	↑	↑	↑	↑
				R3015-4-S1 	15	4	↓	↓	↓	↓
			1400	350	1400	350				

- 1) $k_{vs} = A - AB$, $k_{vs} (B - AB) = 70\% \times k_{vs}$.
- 2) Parallel control not possible.
- 3) R3..., R7...: not suitable for open circuits.

Εικόνα 7.13: Τεχνικά χαρακτηριστικά Τρίοδης Βάνα Belimo(Πηγή: Manual Belimo)

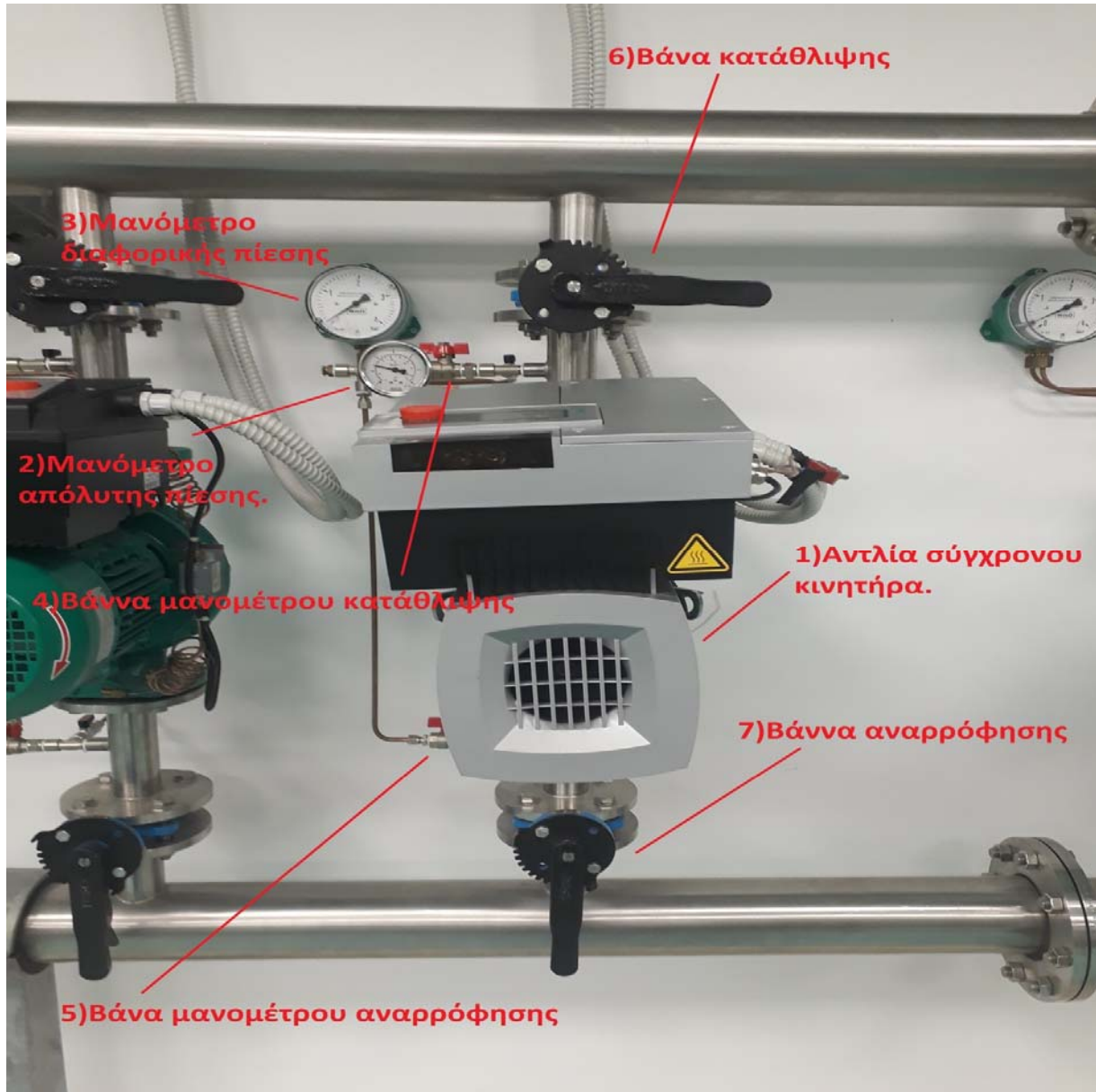
7.2.2 Πειραματικές διατάξεις

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την διάταξη της αντλίας ασύγχρονου κινητήρα του πειράματος και τα βοηθητικά όργανα μετρήσεων.



Εικόνα 7.14: Πειραματική διάταξη αντλία inverter σύγχρονου κινητήρα(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την διάταξη της αντλίας ασύγχρονου κινητήρα του πειράματος και τα βοηθητικά όργανα μετρήσεων.



Εικόνα 7.15: Πειραματική διάταξη αντλία inverter ασύγχρονου κινητήρα(Πηγή: Αίθουσα πρακτικής Wilo Hellas

7.3 Περιγραφή πειράματος και πειραματικές μετρήσεις των χαρακτηριστικών αντλιών.

Πάντα θεωρούμε ότι όλα τα συστήματα ηλεκτρικά και υδραυλικά βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας (κλειστά).

Για να μπορέσουμε να κάνουμε πείραμα με τη συγκεκριμένη αντλία πρέπει αρχικά να ανοίξουμε τις βάνες 6 και 7 έτσι ώστε να μπει μέσα στο σύστημα. Στη συνέχεια τροφοδοτούμε με ρεύμα από τον κεντρικό πίνακα της αίθουσας (βλέπε τμήμα Η VAC). Η αντλία μας τώρα είναι σε λειτουργία.

- Ανοίγοντας την βάνα 5 (αριστερόστροφα) μετράμε την απόλυτη πίεση αναρρόφησης.(μανόμετρο 2)
- Ανοίγοντας την βάνα 4 (αριστερόστροφα-κλειστή ή η βάνα 5) μετράμε την πίεση στην πλευρά της κατάθλιψης. (μανόμετρο 2)
- Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος μετράμε την διαφορά των πιέσεων κατάθλιψης-αναρρόφησης στο μανόμετρο 3 έχοντας τις βάνες του ανοιχτές.

Και εδώ όπως και σε όλα τα πειράματα μπορούμε να αυξομειώσουμε τη διατομή του σωλήνα μέσω του εξαρτήματος BELIMO H7100N το οποίο το χειριζόμαστε μέσω ενός ποτενσιόμετρου στον πίνακα δεξιά της εγκατάστασης (βλέπε τμήμα HVAC). Μέσω του διακόπτη μπορούμε να ρυθμίσουμε διαφορετικά μανομετρικά υψηλό στο εύρος λειτουργίας της αντλίας, καθώς και άλλες ρυθμίσεις. Τα αποτελέσματα και το διάγραμμα των πειραματικών μετρήσεων φαίνονται στα σχήματα 7.16 έως 7.18. Οι μετρήσεις για τους συγκεκριμένους κυκλοφορητές έγιναν στην ρύθμιση **n-constant** δηλαδή σε όλες τις πιθανές καμπύλες λειτουργίας των κυκλοφορητών από εύρος στροφών 70% - 100%. Η αλλαγή στις στροφές των αντλιών επηρεάζει άμεσα τις καμπύλες λειτουργίας των αντλιών βάση του τύπου $nsQ=nQ/H^{3/4}$, όπου nsQ η ειδική ταχύτητα, n οι στροφές που εργάζεται ο κινητήρας, Q η παροχή και H το μανομετρικό. Αποφύγαμε την μέτρηση κάτω των 70% των στροφών του κυκλοφορητή για να μπορέσουμε να έχουν νόημα τα μεγέθη που θα πάρουμε από άποψη κατανάλωσης ισχύος (ηλεκτρικής ενέργειας). Από τις παρακάτω μετρήσεις που πήραμε μπορούμε να βγάλουμε τα εξής συμπεράσματα: Μειώνοντας την διατομή του αγωγού μας μέσω του εξαρτήματος Belimo συμφώνα με τον τύπο του Μανομετρικού ύψους απωλειών δικτύου $H_{απωλ}=f \cdot L/D \cdot V^2 / 2 \cdot g$ όπου f, ο συντελεστής τριβής μεταξύ ρευστού και ευθύγραμμου αγωγού, L και D, το μήκος και η διάμετρος του αγωγού και v η ταχύτητα του ρευστού, όταν αυξάνεται η διατομή της σωλήνας μειώνονται οι απώλειες στο δίκτυο μας με αποτέλεσμα να έχουμε πτώση στο ολικό μανομετρικό μας όπως φαίνεται και στις μετρήσεις μας, εν συνεχεία αυξάνεται και η ογκομετρική παροχή μας αφού $Q=V \cdot A$ όπου A η διατομή της σωλήνας και V η ταχύτητα ροής. Τέλος πήραμε της ενδείξεις της καταναλισκόμενης ισχύος των αντλιών έχοντας την παροχή και το μανομετρικό. Τις μετρήσεις για την ισχύ στον άξονα της αντλίας της πήραμε από την ένδειξη στην οθόνη των Inverter κάθε αντλίας. Βλέπουμε ότι αυξάνοντας την παροχής μας κατά 10 μονάδες κάθε φορά η πτώση πίεσης στο δίκτυο μας δεν είναι τόσο μεγάλη, άρα σύμφωνα με τον τύπο $N=p \cdot g \cdot Q \cdot H$ όπου p η πυκνότητα του υγρού, g η βαρυτική επιτάχυνση, Q η παροχή του ρευστού και H το μανομετρικό (πτώση πίεσης της εγκατάστασης) βλέπουμε ότι όσο πιο πολύ αυξάνουμε την παροχή μας τόσο περισσότερο ενέργεια καταναλώνουν οι αντλίες. Παρακάτω βλέπουμε ότι σύμφωνα με τις μετρήσεις που πήραμε βάση των παραπάνω τύπων επιβεβαιώνεται η ορθότητα τους καθώς και με τις καμπύλες του κατασκευαστή των αντλιών η απόκλιση είναι πολύ μικρή.

**ΑΝΤΛΙΑ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ
ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

**n-constant
70%**

Q m3/h	ΔH m	P2 KW
10	9	1,17
20	8,2	1,24
30	7,7	1,56
40	7,5	1,69
50	6,78	1,82
60	5,73	1,84
70	5,21	1,82
80	2,62	1,83

**n-constant
80%**

Q m3/h	ΔH m	P2 KW
10	11,5	1,67
20	11,4	1,8
30	11,2	1,92
40	10,53	1,95
50	9,62	2,08
60	8,84	2,3
70	7,28	2,32
80	6,27	2,34
90	5,91	2,25

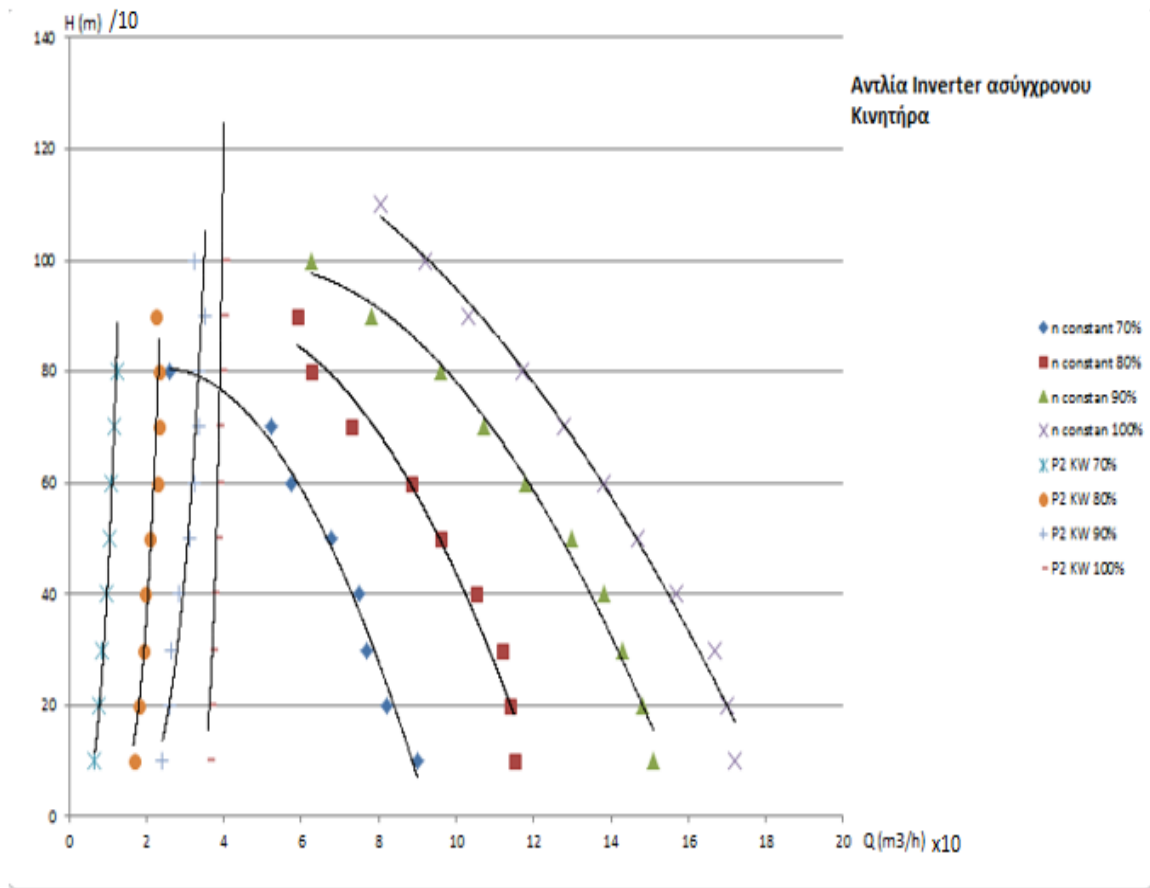
**n-constant
90%**

Q m3/h	ΔH m	P2 KW
10	15,1	2,42
20	14,8	2,6
30	14,3	2,65
40	13,8	2,86
50	13	3,12
60	11,8	3,25
70	10,7	3,35
80	9,61	3,38
90	7,81	3,53
100	6,25	3,25

**n-constant
100%**

Q m3/h	ΔH m	P2 KW
10	19	3,58
20	18,7	3,63
30	18,2	3,67
40	17,6	3,72
50	16,7	3,78
60	15,6	3,82
70	14	3,85
80	12,7	3,92
90	11,7	3,95
100	9,36	4

Εικόνα 7.16: Πειραματικές μετρήσεις αντλίας inverter ασύγχρονου κινητήρα (Πηγή: Microsoft Office excel)



Εικόνα 7.17: Διάγραμμα μετρήσεων αντλίας inverter ασύγχρονου κινητήρα ($\Delta H-Q$, $P-Q$) (Πηγή: Microsoft Office excel)

**ΑΝΤΛΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ
ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

**n-constant
70%**

Q m ³ /h	ΔH m	P2 KW
10	8,5	0,672
20	8,25	0,78
30	7,82	0,865
40	7,09	0,98
50	6,14	1,05
60	5,56	1,1
70	4,61	1,18
80	3,65	1,26

**n-constant
80%**

Q m ³ /h	ΔH m	P2 KW
10	11,1	0,943
20	10,5	1,15
30	10,3	1,24
40	9,65	1,32
50	8,86	1,48
60	8,05	1,57
70	6,72	1,61
80	6,2	1,65
90	5,01	1,73

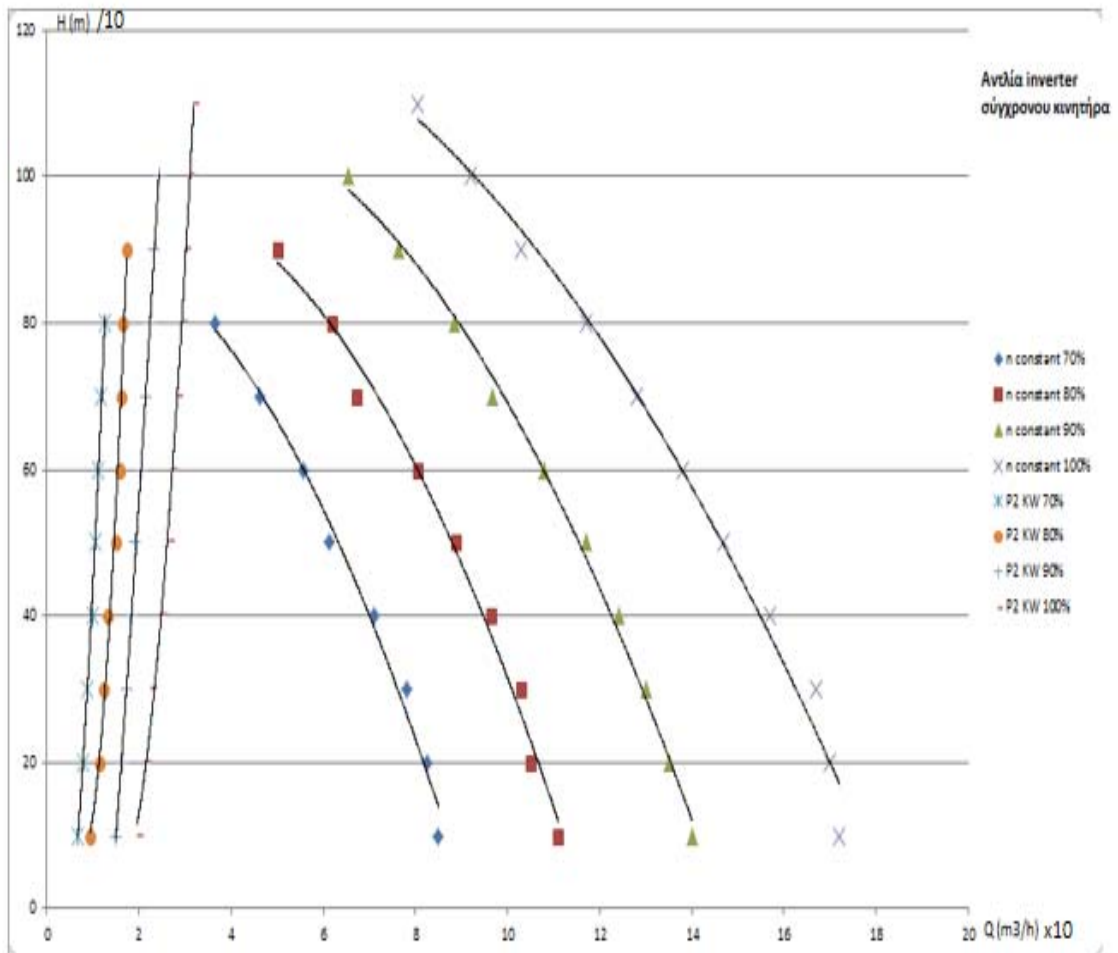
**n-constant
90%**

Q m ³ /h	ΔH m	P2 KW
10	14	1,49
20	13,5	1,63
30	13	1,72
40	12,4	1,84
50	11,7	1,92
60	10,8	2,04
70	9,68	2,15
80	8,84	2,24
90	7,62	2,32
100	6,54	2,43

**n-constant
100%**

Q m ³ /h	ΔH m	P2 KW
10	17,2	1,96
20	17	2,14
30	16,7	2,27
40	15,7	2,5
50	14,7	2,63
60	13,8	2,71
70	12,8	2,82
80	11,7	2,94
90	10,3	3,01
100	9,2	3,1
110	8,05	3,18

Εικόνα 7.18: Πειραματικές μετρήσεις αντλίας inverter σύγχρονου κινητήρα(Πηγή: Microsoft Office excel)



Εικόνα 7.19: Διάγραμμα μετρήσεων αντλίας inverter σύγχρονου κινητήρα (ΔH - Q , P - Q) (Πηγή: Microsoft Office excel)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΜΕΛΕΤΩΜΕΝΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

8.1 Εισαγωγή στο Life Cycle Cost

Μέθοδος οικονομικής σύγκρισης εναλλακτικών επενδύσεων που βασίζεται στο συνολικό κόστος στη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος.

Λαμβάνει υπ' όψη:

- Αρχικά κόστη –αρχική επένδυση, αγορά, εγκατάσταση
- Μελλοντικά κόστη –κόστος ενέργειας, λειτουργίας, συντήρησης, αντικατάστασης εξοπλισμού
- Τελικά κόστη –μεταπώληση, κόστος καταστροφής, αξία εκποίησης

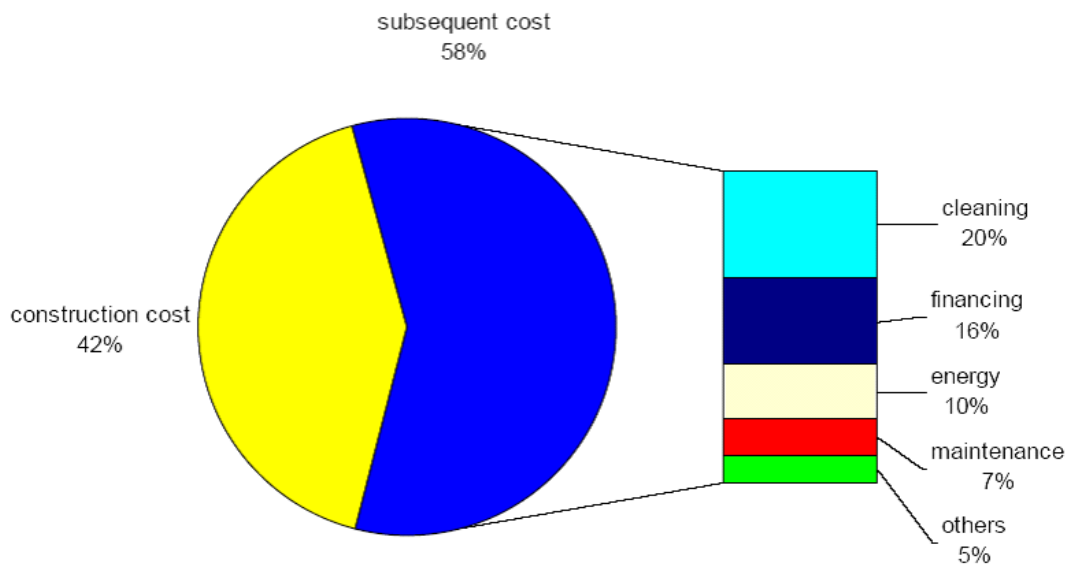
Παρούσα Προσέγγιση:

- Το κόστος κατασκευής είναι το μοναδικό κριτήριο οικονομικότητας μιας επένδυσης.
- Συνήθως ο κατασκευαστής-επενδυτής δεν είναι ο μελλοντικός χρήστης του κτιρίου.
- Άρα στην περιορισμένη διάρκεια του χρόνου κατασκευής η επένδυση πρέπει να αποφέρει θετικά οικονομικά αποτελέσματα

Η προσέγγιση θα πρέπει να αλλάξει όταν ο επενδυτής θα είναι και ο χρήστης του κτιρίου. Το κόστος χρήσης ενός κτιρίου στο συνολικό χρόνο ζωής του είναι μεγαλύτερο από το κόστος κατασκευής!



• **Εικόνα 8.1:** Κόστος Χρήσης Κτιρίου (Πηγή: Βασιλείου Ε., “Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) Αντλητικών Συγκροτημάτων” e.vassiliou@mavromatis.com.cy)



Εικόνα 8.2: Παράγοντες Life Cycle cost (Πηγή: Βασιλείου Ε., “Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) Αντλητικών Συγκροτημάτων” e.vassiliou@mavromatis.com.cy)

Αρα η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο στη διαδικασία σχεδιασμού που ελέγχει τα αρχικά και τα μελλοντικά κόστη.

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε σημείο της διαδικασίας σχεδιασμού αλλά και για την αξιολόγηση υπαρχόντων κτιρίων.

- Δίνει τη δυνατότητα επιλογής μιας επένδυσης βασισμένη και σε άλλα κριτήρια όπως:

- η οικονομικότητα,
- η επίδραση στο περιβάλλον
- η κατανάλωση ενέργειας
- ο σχεδιασμός
- η αποτελεσματικότητα

Τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας είναι ιδανικά για να αξιολογηθούν με LCCA.

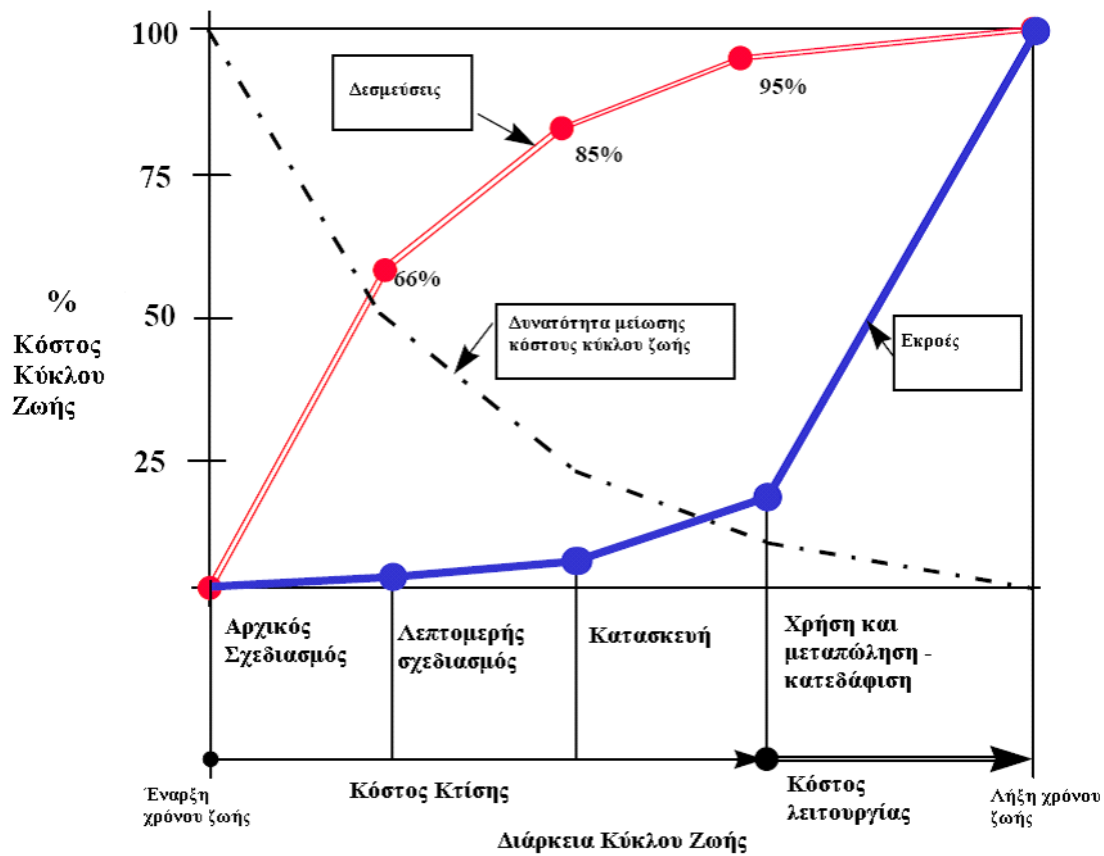
- Η αρχική επένδυση και η εξοικονόμηση στο συνολικό χρόνο ζωής της επένδυσης μπορεί να συγκριθεί με την κατάσταση αναφοράς.

- Μπορεί να αξιολογηθεί η πιο αποδοτική επένδυση εξοικονόμησης ανάμεσα σε πολλές εναλλακτικές.

- Μπορεί να αξιολογηθεί η κατανομή χρηματοδότησης σε διαφορετικές επενδύσεις χρησιμοποιώντας το λόγο Εξοικονόμησης προς Επένδυση (SIR) ή Προσαρμοσμένο Εσωτερικό Επιτόκιο Αναγωγής. (AIRR).

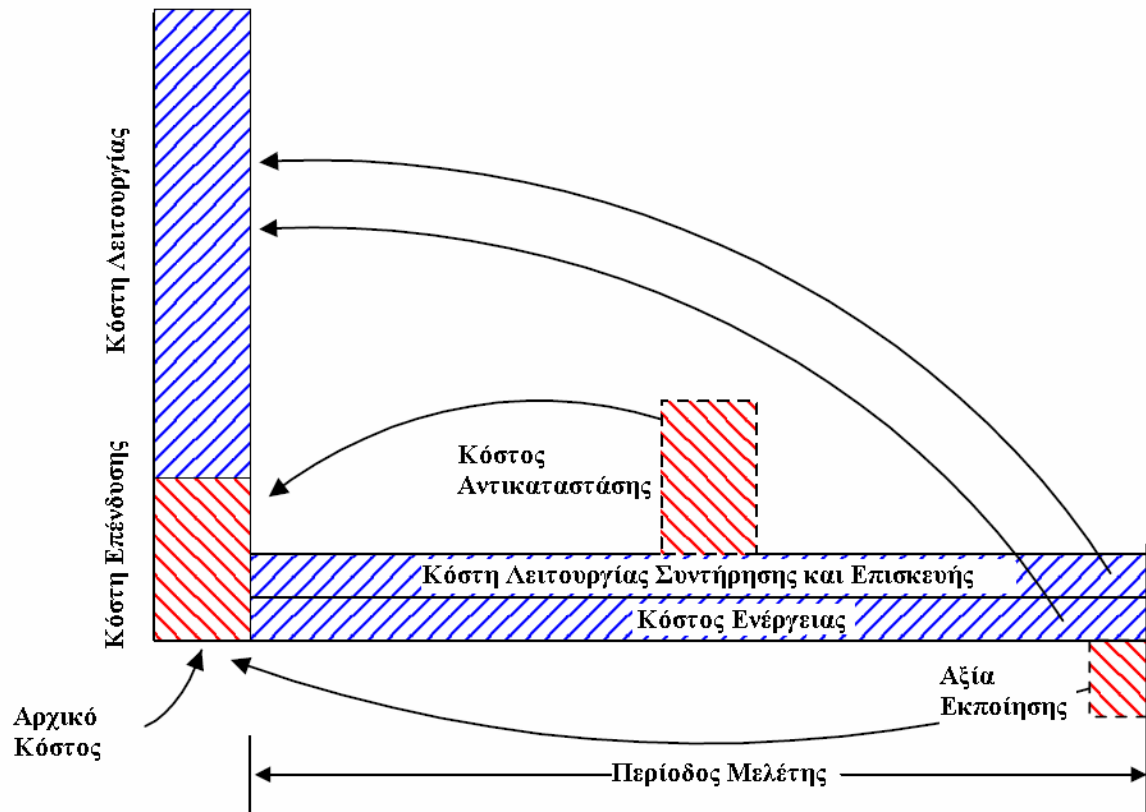
Η ΑΚΚΖ πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό πιο νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού.

Περίπου 2/3 του συνολικού κόστους ζωής καθορίζεται στη φάση του σχεδιασμού ενός έργου.

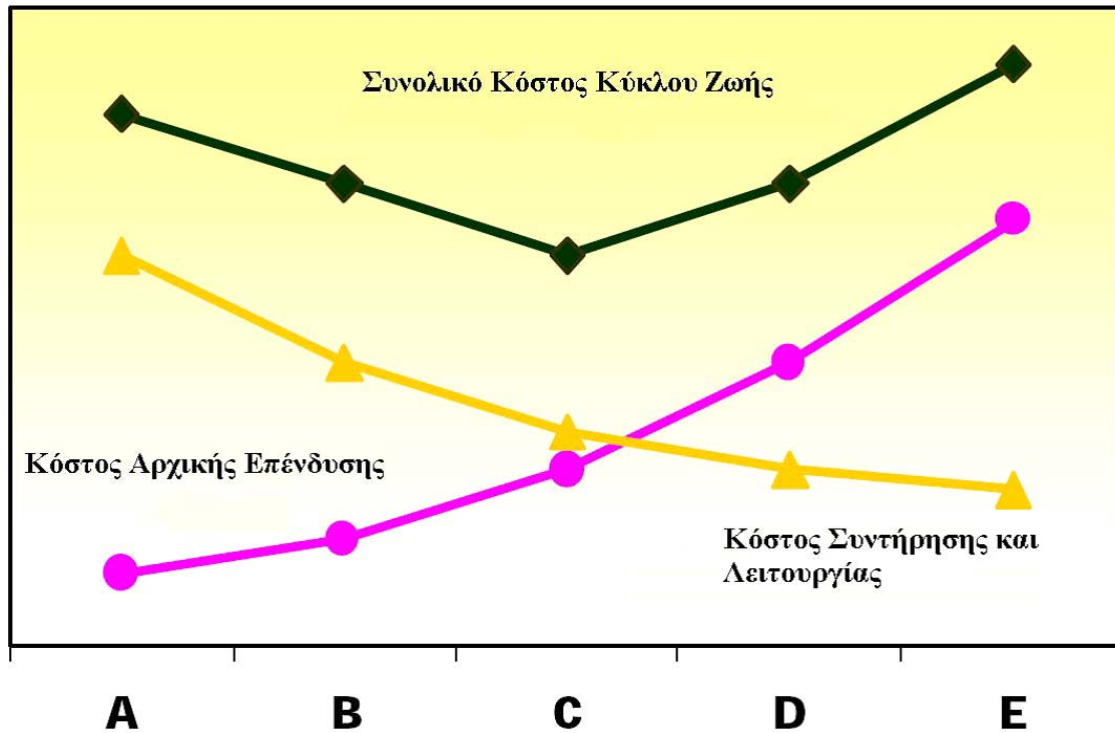


Εικόνα 8.3: Διάγραμμα κόστους κύκλου ζωής - κόστος κύκλου ζωής (Πηγή: Βασιλείου Ε., “Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) Αντλητικών Συγκροτημάτων” e.vassiliou@mavromatis.com.cy)

+Αρχικό Κόστος (σχεδιασμός –κατασκευή) +Ετήσιο Κόστος Ενέργειας +Ετήσιο Κόστος Συντήρησης / Επισκευής +Κόστος Αντικατάστασης –Εκσυγχρονισμού-Αξία Εκποίησης – Μεταπώλησης ή + Κόστος κατεδάφισης
 = **Συνολικό Κόστος Κύκλου Ζωής**



Εικόνα 8.4: Συνολικό Κόστος Κύκλου Ζωής (Πηγή: Βασιλείου Ε., “Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) Αντλητικών Συγκροτημάτων” e.vassiliou@mavromatis.com.cy)



Εικόνα 8.5: Συνολικό Κόστος Κύκλου Ζωής συγκριτικά με κόστος αρχικής επένδυσης (Πηγή: Βασιλείου Ε., “Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) Αντλητικών Συγκροτημάτων” e.vassiliou@mavromatis.com.cy)

Επιλογή της επένδυσης με το ελάχιστο κόστος κύκλου ζωής.

Μπορούν όμως να υπάρχουν και άλλα κριτήρια που επηρεάζουν την τελική επιλογή

- Ελαχιστοποίηση κινδύνου
- Ευκολία υλοποίησης
- Πολιτική της εταιρείας
- Άλλες παράμετροι που δεν είναι εύκολα μετρήσιμες.

Μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλοι οικονομικοί δείκτες όταν συγκρίνεται μια επένδυση με μια κατάσταση αναφοράς

Καθαρή Εξοικονόμηση (Net Savings)

NS = LCC (αναφοράς) – LCC (εναλλακτική)

$$NS = [\Delta E + \Delta W + \Delta O\&M\&R] - [\Delta I\theta + \Delta Repl - \Delta Res]$$

Λόγος Εξοικονόμησης προς Επένδυση

(Savings to Investment Ratio, SIR)

$$SIR = \Delta E + \Delta W + \Delta O\&M\&R / \Delta I\theta + \Delta Repl - \Delta Res$$

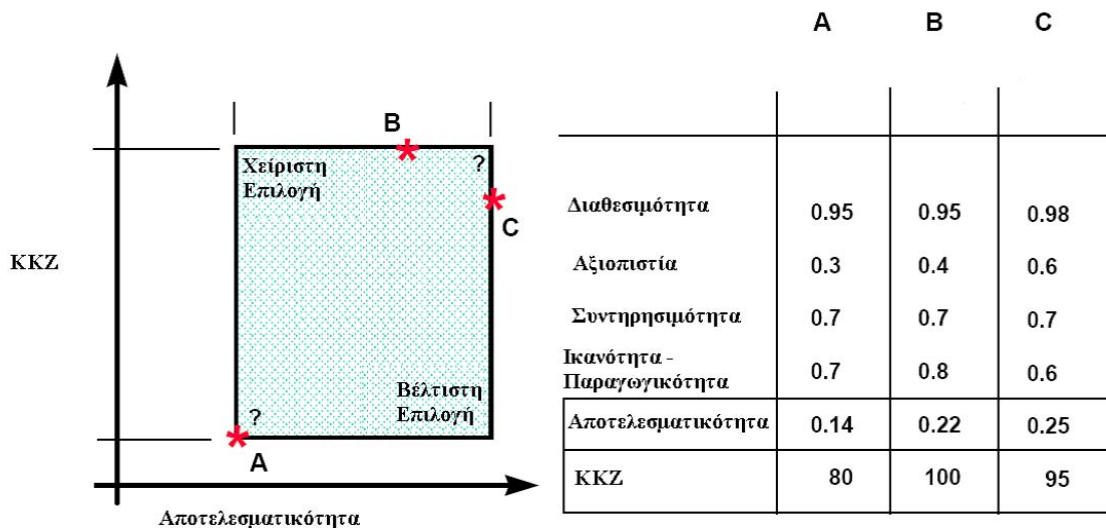
Προσαρμοσμένο Εσωτερικό Επιτόκιο

(Adjusted Internal Rate of Return, AIRR)

$$AIRR = (1 + r) (SIR)^{1/N} - 1$$

r : επιτόκιο επανεπένδυσης (οριακό αποδεκτό επιτόκιο–επιτόκιο αναγωγής)

N:έτη



Εικόνα 8.6: Διάγραμμα Αποτελεσματικότητας (Πηγή: Βασιλείου Ε., “Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) Αντλητικών Συγκροτημάτων” e.vassiliou@mavromatis.com.cy)

Συμπερασματικά λοιπόν η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής LCC είναι ιδανική για επενδύσεις σε κτίρια (κόστος επένδυσης μικρότερο από το κόστος λειτουργίας στο σύνολο του κύκλου ζωής). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για αξιολόγηση των κτιρίων ή για αξιολόγηση επιμέρους επενδύσεων όπως και να οδηγήσει στη βέλτιστη επιλογή με συνδιασμό οικονομικών κριτηρίων και κριτηρίων αποτελεσματικότητας αλλά απαιτεί δεδομένα που εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα και είναι χρονοβόρα και ακριβή.

8.2 Παράγοντες ανάλυσης κύκλου ζωής LCC σε αντλίες.

Η οικονομία ενός συστήματος αντλίας πρέπει να αξιολογείται από την προοπτική του Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC). Αυτή η δομημένη προσέγγιση εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση όλων των άμεσων και έμμεσων δαπανών που σχετίζονται με τη λειτουργία και το service της αντλίας. Για να λάβουμε υπόψη μας όλες τις οικονομικές παραμέτρους μία λύσης αντλίας που επιλέξαμε, δεν αρκεί να επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας αποκλειστικά στην τιμή της αντλίας. Μία ανάλυση LCC περιλαμβάνει την αρχική επένδυση, τη συντήρηση και την κατανάλωση ενέργειας για όλη τη διάρκεια ζωής της επιλεγμένης λύσης. Η αρχική τιμή αγοράς σπάνια υπερβαίνει το 5% του συνολικού κόστους μίας αντλίας για όλη τη διάρκεια ζωής της. Σχεδόν το 85% του LCC μίας αντλίας σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας. Το service και η συντήρηση ανέρχονται συνήθως στο 10% των εξόδων του κύκλου ζωής. Το γεγονός ότι η ενεργειακή κατανάλωση των υφιστάμενων αντλιών είναι περίπου το 85% του μακρόχρονιου κόστους μιας αντλίας μας δίνει και το έναυσμα για τα περιθώρια κέρδους που έχουμε ενώ παρουσιάζεται μεγάλο δυναμικό βελτιστοποίησης των εν λειτουργία αντλητικών συστημάτων. Οι εγκατεστημένες αντλίες ξεπερνούν κατά 20 φορές τον αριθμό των νέων αντλιών που τοποθετούνται κάθε χρόνο. Σήμερα εκτιμάται 75% των υφιστάμενων εν λειτουργία αντλιών είναι υπερδιαστασιοποιημένες τουλάχιστον κατά 20%. Κύριες αιτίες της υπερδιαστασιολόγησης των αντλιών είναι η επιλογή μεγάλης αντλίας για κάλυψη μελλοντικών αναγκών καθώς και η υπερβολική προσαύξηση συντελεστών ασφαλείας στον υπολογισμό του απαιτούμενου μονομετρικού. Επίσης επιλογή αντλίας για κάλυψη μέγιστου φορτίου & κακή ή ανύπαρκτη προσαρμογή σε συνθήκες μερικού φορτίου οδηγεί επίσης σε λανθασμένη υπερδιαστασιολόγηση αντλίας με ότι αυτό συνεπάγεται. Η επιλογή μεγάλης αντλίας από ανάγκη επίλυσης άλλων προβλημάτων του συστήματος (υδραυλική εξισορρόπηση, διατήρηση πίεσης, περιεκτικότητα αέρα ή/και σωματιδίων στο νερό, κλπ.) καθώς και επιλογή αντλίας βάση προδιαγραφών ακατάλληλων για συγκεκριμένες εφαρμογές οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα επίσης.

Παρακάτω γίνεται μια προσέγγιση των όρων του κόστους κύκλου ζωής και των επιμέρους

παραγόντων του.

Το Κόστος Κύκλου Ζωής (LCC) της αντλίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$, όπου C_{ic} το κόστος αγοράς της αντλίας, C_{in} το κόστος εγκατάστασης και μεταφοράς, C_e το κόστος δαπάνης ενέργειας, C_o το κόστος λειτουργικού ελέγχου, C_m το κόστος συντήρησης και επισκευών, C_s το κόστος διακοπών, το C_{env} το κόστος προστασίας περιβάλλοντος και C_d το κόστος απεγκατάστασης και απόρριψης.

- Αρχικό κόστος, κόστος αγοράς (C_{ic})

Περιλαμβάνει το σύνολο του εξοπλισμού που απαιτείται για την λειτουργία του αντλητικού συστήματος, δηλαδή αντλίες, μετατροπείς συχνότητας (inverter), ηλεκτρικοί πίνακες, αισθητήρια σήματος. Στο κόστος αγοράς συχνά ενσωματώνεται η ενεργειακή απόδοση καθώς και η αξιοπιστία των αντλιών δεδομένου ότι πολλές φορές ακριβότερα υλικά παρέχουν μεγαλύτερο χ ρόνο ζωής ή χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος συγκριτικά με φθηνότερα υλικά – προϊόντα.

- Κόστος εγκατάστασης και μεταφοράς (C_{in})

Το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης περιλαμβάνει:

- εγκατάσταση των αντλιών (θεμελίωση, στήριξη, πάκτωση)
- ηλεκτρολογικές συνδέσεις παροχής ισχύος καθώς και διαφόρων άλλων οργάνων - τοποθέτηση και σύνδεση αισθητηρίων και μονάδων inverter
- επίβλεψη και εκκίνηση των ανωτέρω (start-up)

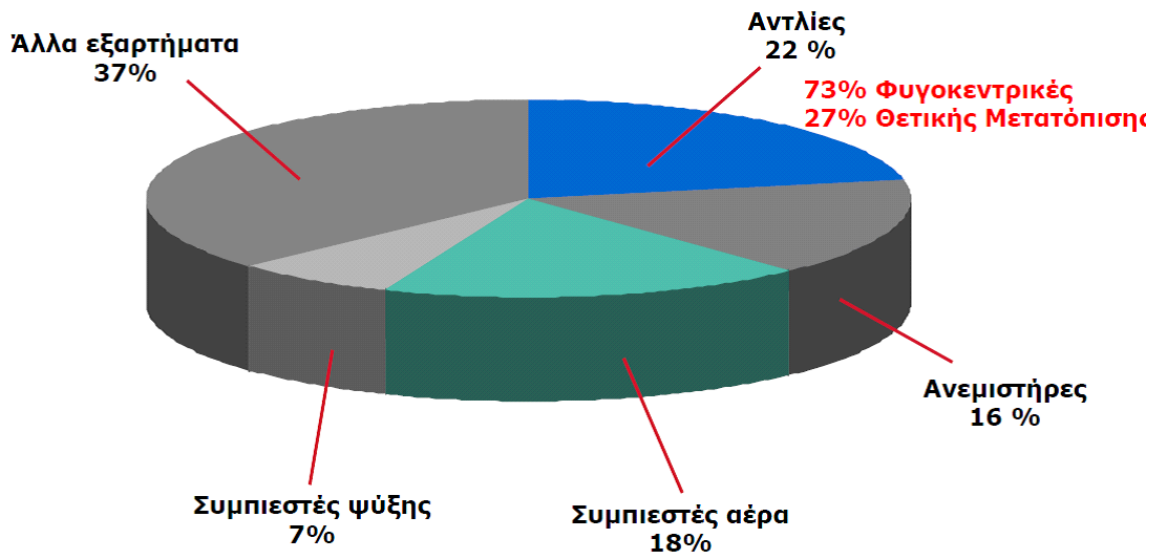
Όπως στο αρχικό κόστος/αγοράς, έτσι και εδώ οφείλουμε να ελέγχουμε και να λαμβάνουμε υπόψη τυχόν πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τις επιλογές μας, π.χ. σε περίπτωση επιλογής αντλιών in-line με ενσωματωμένες μονάδες inverter και αισθητήρια πολλά από τα απαιτούμενα υλικά / εξαρτήματα όπως μονάδα inverter, φίλτρα διαχωρισμού, ηλεκτρομαγνητική προστασία του inverter για αποφυγή διάδοσης αρμονικών συχνοτήτων, και αισθητήρια διαφορικής πίεσης βρίσκονται ήδη επί των αντλιών (factory assembled).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα υψηλότερο αρχικό κόστος αγοράς αλλά ταυτόχρονα πολύ χαμηλό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του συνολικού εξοπλισμού. •

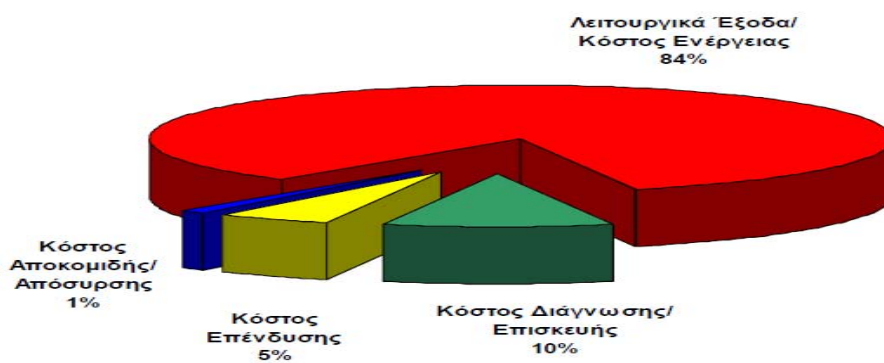
- Κόστος δαπάνης ενέργειας (C_e)

Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί τη μεγαλύτερη επιβάρυνση στο κόστος κύκλου ζωής οποιουδήποτε συστήματος άντλησης, όπου συχνά οι αντλίες λειτουργούν περισσότερο από 2.000 ώρες ετησίως. Πράγματι, 22% περίπου της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αποδίδεται στην χρήση αντλητικών συστημάτων. Το μεγάλο αυτό ποσοστό των αντλιών επί του συνόλου των μηχανημάτων αποτελεί μια καλή βάση για την περαιτέρω βελτίωση των αντλητικών εγκαταστάσεων όσον αφορά την ενεργειακή τους κατανάλωση. Επίσης όπως είναι προφανές το λειτουργικό - ενεργειακό κόστος

κάθε μηχανήματος ξεχωριστά είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τα υπόλοιπα κόστη που πιθανόν να έχει



Εικόνα 8.7: Καταμερισμός Παγκόσμιας Κατανάλωσης Ενέργειας (Πηγή: Μποζατζίδης Χρήστος, “Βελτιστοποίηση κόστους κύκλου ζωής αντλιών μέσω ηλεκτρονικού ελέγχου στροφών”, 4th Maintenance Forum.)



Εικόνα 8.8: Ενεργειακό κόστος μηχανήματος(Πηγή: Μποζατζίδης Χρήστος, “Βελτιστοποίηση κόστους κύκλου ζωής αντλιών μέσω ηλεκτρονικού ελέγχου στροφών”, 4th Maintenance Forum.)

Ακολουθώς βλέπουμε κάποιους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας μιας αντλίας:

- κατανομή φορτίου (load profile)
- βαθμός απόδοσης της αντλίας, υπολογισμός σημείου λειτουργίας.
- βαθμός απόδοσης ηλεκτροκινητήρα (μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ ηλεκτροκινητήρων κλάσης EFF 1* και άλλων standard ηλ/τήρων EFF2, EFF3.
- διαστασιολόγηση αντλίας (συνήθως η υπερδιαστασιολόγηση αντλιών για λόγους ασφαλείας καταλήγει σε ενεργειακά δαπανηρή λύση).
- άλλες παράμετροι όπως σωληνώσεις, δίοδοι / τρίοδοι βάνες, συλλέκτες.
- επιλογή συστημάτων μεταβλητής συχνότητας (inverter), η χρήση των οποίων μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας μέχρι και 50% στην βιομηχανία.

Κύρια χαρακτηριστικά που διακρίνουν τους ηλεκτροκινητήρες EFF 1 ως προς την λειτουργία τους αλλά και ως προς την κατασκευή τους:

- Χαμηλότερη στάθμη θορύβου κατά 5 έως 6dB(a). Σε ένα ηλ/τήρα κύρια πηγή θορύβου είναι ο ανεμιστήρας ψύξης. Ο ηλ/τήρες EFF1 λόγω πολύ υψηλού βαθμού απόδοσης μειώνουν σημαντικά τις ανάγκες ψύξης γεγονός που οδηγεί σε μικρότερους ανεμιστήρες άρα και πλέον αθόρυβους ηλ/ρες.
- Διατήρηση υψηλών βαθμών απόδοσης με τιμές $\cos\phi$ έως 0,95.
- Διατήρηση υψηλού αριθμού απόδοσης στο 00% του φορτίου ακόμα και για μεγάλα χρονικά διαστήματα
- Μεγάλη διάρκεια ζωής τυλιγμάτων & δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος χάρη στην διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών στα τυλίγματα των κινητήρων.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ρουλεμάν λόγω μειωμένης «ολίσθησης» και συνεπώς μείωση της θερμοκρασίας των ρουλεμάν.

Αντιλαμβάνεται κανείς ότι η επιλογή αντλιών με ηλ/τήρες 2.900 στροφών είναι πλέον αξιόπιστη και ασφαλής, ειδικά όταν τα σημεία λειτουργίας οδηγούν σε ογκώδεις και ασύμφωτες αντλίες 1.450 στροφών, ενώ παράλληλα προσφέρουν την βέλτιστη λύση από πλευράς κόστους αγοράς στον εργολάβο και τον τελικό χρήστη. Ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου το μανομετρικό ύψος παρουσιάζει δυσανάλογα υψηλή τιμή ως προς την ονομαστική παροχή (π.χ. $Q=40 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=35\text{m}$) είναι σχεδόν επιτακτική η ανάγκη επιλογής αντλίας σε 2.900 στροφές, εφόσον επιθυμούμε σωστή και αξιόπιστη επιλογή στην μέση της καμπύλης λειτουργίας - σεβόμενοι πάντα τις αρχές της Υδραυλικής - ενώ αντίθετα όπου το μανομετρικό ύψος κρίνεται χαμηλό συγκρινόμενο με την παροχή της αντλίας (π.χ. $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=8 \text{ m}$), τότε οδηγούμαστε εκ των πραγμάτων σε αντλία 1.450 στροφών.

- Κόστος λειτουργικού ελέγχου (Co)

Αναφέρεται στα έξοδα απασχόλησης εργαζομένων που υποστηρίζουν αντλητικά συστήματα. Συνήθως, χάρη στην σημερινή τεχνολογική εξέλιξη, τα έξοδα αυτά είναι αμελητέα χάρη στους σύγχρονους τρόπους παρακολούθησης των διαφόρων εφαρμογών με αντλίες όπως είναι το Building Management System (BMS), η σειριακή σύνδεση, και πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως GENIbus και LONbus.

- Κόστος συντήρησης και επισκευών (Cm)

Είναι προφανές ότι έχει να κάνει με την συντήρηση και επισκευή της αντλίας, π.χ. παροχή τεχνικής υποστήριξης, κόστος απασχόλησης ειδικευμένου τεχνικού, ανταλλακτικά, μεταφορά, δοκιμή σε δοκιμαστήριο και έλεγχος σωστής απόδοσης επισκευασμένης αντλίας, καθαρισμός αντλίας (όταν αυτό απαιτείται σε υποβρύχιες αντλίες λυμάτων λόγω μέτρων υγιεινής). Η βέλτιστη λύση για να έχουμε την μέγιστη διάρκεια ζωής μιας αντλίας αποκλείοντας ζημιές και έκτακτες βλάβες είναι η προληπτική συντήρηση σε τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. service contracts σε κτιριακά έργα ή έργα υποδομής, υψηλής λειτουργικής ετοιμότητας και υπεύθυνης διαχείρισης).

- Κόστος διακοπών (Cs)

Εξαιρετικά σημαντικό όταν η αντλία χρησιμοποιείται σε γραμμή βιομηχανικής παραγωγής ή καλείται να εξασφαλίσει την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου σε ένα κτίριο γραφείων. Στην περίπτωση της βιομηχανίας το κόστος παύσης της παραγωγής λόγω βλάβης σε αντλία είναι απαγορευτικό ενώ στην περίπτωση του κτιρίου γραφείων οι επιπτώσεις στους εργαζομένους είναι αναπόφευκτα αρνητικές. Προκειμένου να διασφαλιστούμε σε κάθε εφαρμογή όπου δεν μπορούμε να διανοηθούμε αντλία χαλασμένη χωρίς άμεση κάλυψη συνιστάται η εγκατάσταση εφεδρικών αντλιών οι οποίες εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη και ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου ο διαθέσιμος χώρος είναι ελάχιστος και ο αριθμός των αντλιών μεγάλος επιλέγουμε αντλίες δίδυμης κεφαλής με κοινό στόμιο αναρρόφησης/κατάθλιψης και ενδιάμεσο κλαπέ (αντεπίστροφο), αποφεύγοντας τους συλλέκτες προσαγωγής/επιστροφής και περιορίζοντας κατά το ήμισυ τον αριθμό των απαιτούμενων βανών σύνδεσης.

- Κόστος προστασίας περιβάλλοντος (Cenv)

Μιλώντας για αντλητικά συστήματα και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον αυτές είναι είτε η απόρριψη των αντλιών ή μέρους αυτών (άχρηστα ανταλλακτικά) ή ακόμη η αλλοίωση της χημικής σύστασης και καθαρότητας του αντλούμενου υγρού/νερού από τα βρεχόμενα μέρη της αντλίας.

- Κόστος απεγκατάστασης και απόρριψης (Cd)

Ουσιαστικά κρίνεται περισσότερο ο εκάστοτε κατασκευαστής αντλιών για το κόστος απόρριψης παρά ο τελικός χρήστης. Παρά το γεγονός ότι το κόστος αυτό σπανίως λαμβάνεται υπόψη, περιλαμβάνει την ικανότητα της γραμμής παραγωγής κάθε εταιρείας να ανακυκλώνει ταβ«άχρηστα» υλικά (scrap, ανταλλακτικά) μετατρέποντας τα πάλι σε πρώτη ύλη κατασκευής των

προϊόντων της. Λαμβάνοντας το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών (Cic, Cin, Ce, Co, Cenv, Cm, Cs, Cd) έχουμε το ζητούμενο LCC για τ ην διάρκεια ζωής του εν λόγω αντλητικού συστήματος που τυπικά ανέρχεται σε 10 έως 20 έτη. Στον χώρο των αντλιών το LCC υπολογίζεται απλούστερα ως κάτωθι: $LCC = Cic + Ce + Cm$. Αυτή η παραδοχή έχει δείξει ότι ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα λαμβάνοντας υπόψη ότι το 85% περίπου του ολικού

κόστους μιας αντλίας σε χρονικό βάθος ορίζονται 10 με 15 χρόνια είναι το ενεργειακό κόστος της.

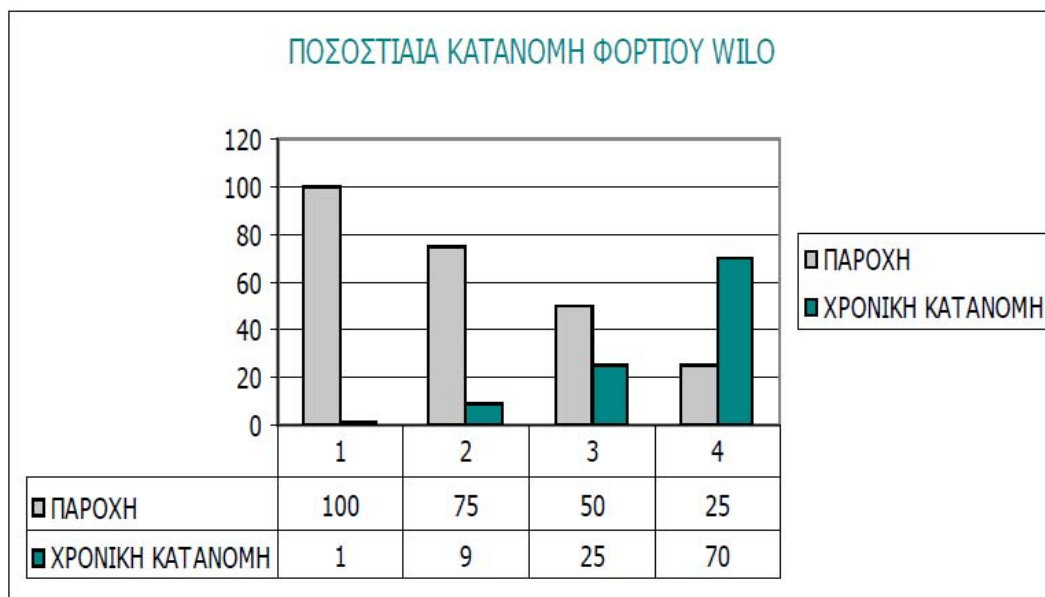
8.3 Ανάλυση Life Cycle Cost με προφίλ Blue Angel

Οι αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες και στην εξωτερική θερμοκρασία, η αύξηση της ηλιακής θερμότητας ή οι εσωτερικές πηγές θέρμανσης στα κτίρια από ανθρώπους και συσκευές έχουν σαν συνέπεια το σχεδιασμένο και το μέγιστο φορτίο στον κυκλοφορητή και στο σύστημα θέρμανσης να υφίσταται μόνο μερικές μέρες το χρόνο. Η κανονική κατάσταση λειτουργίας είναι στην πραγματικότητα λειτουργία μερικού φορτίου του κυκλοφορητή και του συστήματος, το οποίο σε ετήσιο μέσο όρο, ανέρχεται σε λιγότερο από το μισό του φορτίου σχεδίασης. Ένας αριθμός θεωρητικών μελετών και πρακτικών ελέγχων σε υπάρχοντα κτίρια οδηγούν σε στάνταρ προφίλ φορτίου – επίσης γνωστό ως «Προφίλ Φορτίου Μπλέ Άγγελος» - το οποίο έχει γίνει ευρέως αποδεκτό ως προφίλ φορτίου

για κυκλοφορητές θέρμανσης στις Ευρωπαϊκές κλιματικές ζώνες. Αυτό το μοντέλο βασίζεται σε μια περίοδο λειτουργίας 6800 ωρών το χρόνο. Αυτή η περίοδος λειτουργίας είναι απολύτως φυσιολογική στο κεντρικό Ευρωπαϊκό κλίμα και οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ένας μέσος όρος 10% της ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα κτίριο απαιτείται για τη λειτουργία των κυκλοφορητών. Το μοντέλο αποδεικνύει ότι η απαιτούμενη παροχή του κυκλοφορητή που απαιτείται για

θέρμανση ποικίλει κατά τη διάρκεια του χρόνου ανάμεσα στο 100% σε μια αναλογία χρόνου μόνο 6% και 25% παροχή σε μια αναλογία χρόνου 44%.

Με τη βοήθεια αυτού του στάνταρ μοντέλου φορτίου είναι δυνατό να γνωρίζουμε προκαταβολικά την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση και τα κόστη για τη λειτουργία του κυκλοφορητή.



Εικόνα 8.9: Κατανομή Προφίλ Blue Angel (Πηγή: Μποζατζίδης Χρήστος, “Βελτιστοποίηση κόστους κύκλου ζωής αντλιών μέσω ηλεκτρονικού ελέγχου στροφών”, 4th Maintenance Forum.)

Για την ανάλυση LCC χρησιμοποιώντας το προφίλ BLUE ANGEL που αναλύθηκε προηγουμένως καθώς και με την βοήθεια του προγράμματος WILO Select 4 θα γίνουν οι ίδιες παραδοχές για την παρούσα εργασία έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα. Επομένως θα κάνουμε τις εξής παραδοχές που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Αρχικά όπως έχουμε ήδη αναλύσει η διάρκεια θέρμανσης είναι 4.700 h. Επίσης θα κάνουμε την ανάλυση LCC για χρονικό ορίζοντα 10 ετών. Τα κόστη που θα υπολογισθούν για την ανάλυση της εργασίας θα είναι το κόστος αρχικής εγκατάστασης και το ενεργειακό κόστος για κάθε περίπτωση που προκύπτει ανάλογα με το υπολογιζόμενο προφίλ και τον μελετώμενο κυκλοφορητή. Το κόστος για την συντήρηση των δύο μελετώμενων αντλιών θεωρούμε ότι είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις δεδομένου ότι κάθε χρόνο πριν την έναρξη της περιόδου θέρμανσης γίνεται ένας γενικός έλεγχος του λεβητοστασίου που συμπεριλαμβάνει και τον έλεγχο του κυκλοφορητή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρήσαμε αρχικό κόστος εγκατάστασης που συμπεριλαμβάνει το κόστος αγοράς της νέας αντλίας σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη υψηλής ενεργειακής απόδοσης περίπου 3.100,00 €. Η τιμή αυτή είναι απόλυτα λογική βασισμένη σε τρέχουσες τιμές της αγοράς. Από τους υπολογισμούς της ενεργειακής απαίτησης για το συγκεκριμένο προφίλ κατανάλωσης της αντλίας ασύγχρονου κινητήρα προκύπτει ενεργειακή απαίτηση για το προφίλ της αυτονομίας περίπου 10.650 kWh/a ετησίως. Δεδομένου ότι θεωρήσαμε μια μέση τιμή της κιλοβατώρας περίπου 0,25 € προκύπτει ενεργειακό κόστος για τον χρόνο

Ενεργειακό ετήσιο κόστος Αντλίας ασύγχρονου κινητήρα = 10.650 kWh/a * 0,25€/kwh = **2.664€/a**

Ενεργειακό ετήσιο κόστος Αντλίας σύγχρονου κινητήρα = 7.027 kWh/a * 0,25€/kwh = **1.758€/a**

Επομένως στη προκειμένη περίπτωση έχουμε εξοικονόμηση κόστους $2.644 - 1.758 / 2.664 = 35\%$

Ετήσια Έκκληση CO2 Αντλίας ασύγχρονου κινητήρα = 6.627kwh/a*0,62kg/kwh= **4.109 kg/a**

Ετήσια Έκκληση CO2 Αντλίας σύγχρονου κινητήρα = 2.709kwh/a*0,62kg/kwh= **1.680 kg/a**

Επομένως στη προκειμένη περίπτωση έχουμε εξοικονόμηση στις εκπομπες ρύπων CO2 περίπου 3tn

Υφιστάμενη αντλία από τη βάση δεδομένων
 Αντλία ασύγχρονου κινητήρα

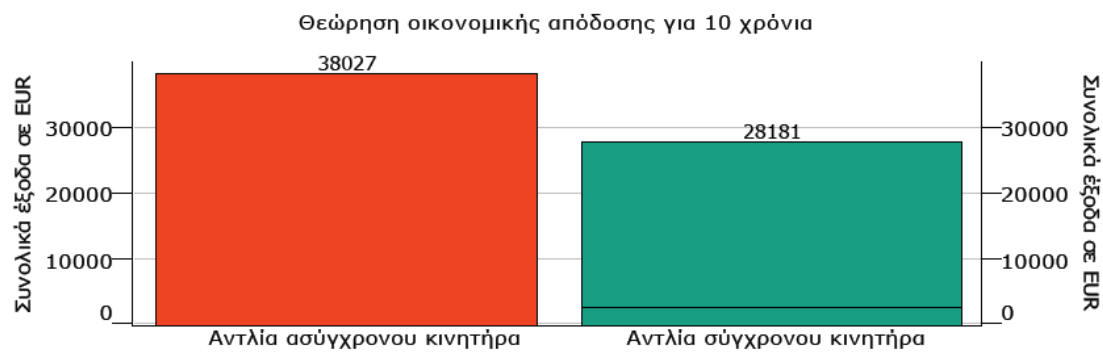
Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	10650,00	kWh/a
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	2663,50	EUR/a
Σύνολο της επένδυσης	0,00	EUR
Κόστη κύκλου ζωής (LCC) για 10 χρόνια	38026,55	EUR

Σύσταση αντλίας
 Αντλία σύγχρονου κινητήρα

Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	7027,00	kWh/a
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	1756,79	EUR/a
Σύνολο της επένδυσης	3100,00	EUR
Κόστη κύκλου ζωής (LCC) για 10 χρόνια	28181,48	EUR

Πλεονέκτημα της σύστασης αντλιών Wilo

Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας	36268,60	kWh
Συνολική εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους	12945,07	EUR
Συνολικό πλεονέκτημα κόστους για 10 χρόνια	9845,07	EUR
Χρόνος απόσβεσης	3	χρόνια

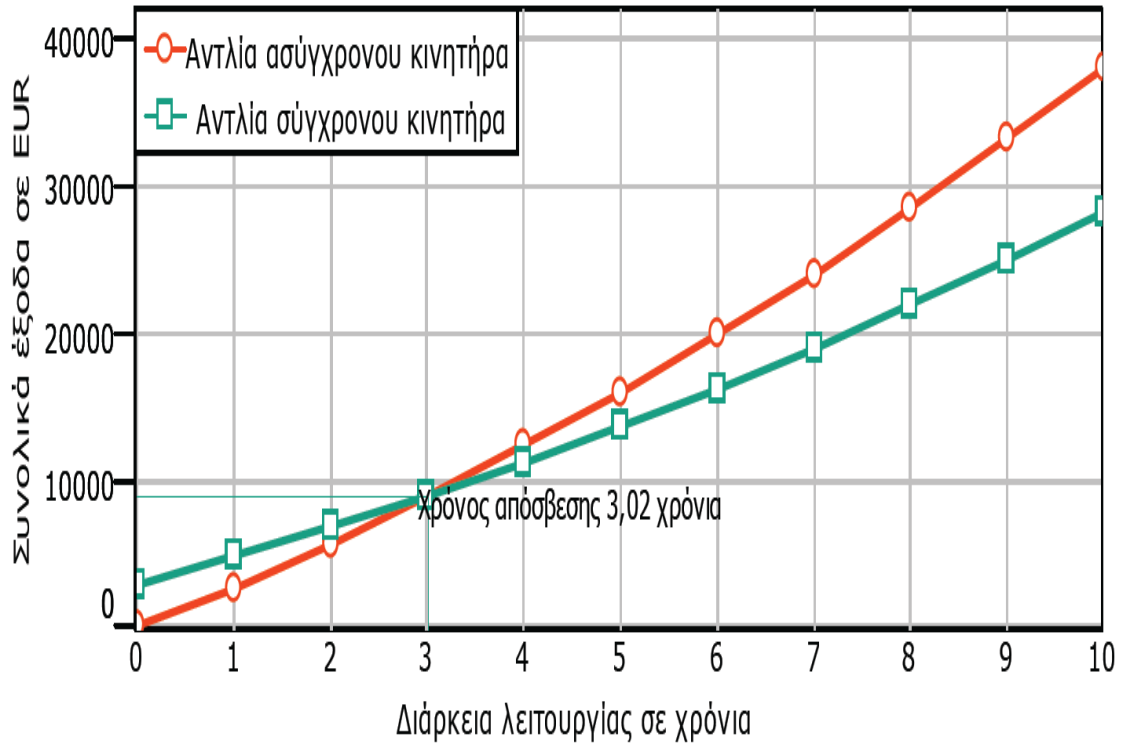


□ Κόστος συναρμολόγησης και επένδυσης

Εικόνα 8.10: Εξοικονόμηση κόστους για 10 χρόνια (Πηγή: Wilo-Select 4)

Στο υπολογιζόμενο ενεργειακό κόστος για την περίοδο που μελετάμε προσθέτοντας και το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης του νέου κυκλοφορητή έχουμε το συνολικό κόστος για τις δύο περιπτώσεις που προκύπτει μια εξοικονόμηση περίπου 35% (σχήμα) για 10 χρόνια. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.9 για τα 10 χρόνια της μελέτης προκύπτει μια εξοικονόμηση 9.846 € περίπου και μια εξοικονόμηση της τάξεως 3 tn εκπομπών CO₂ μόνο με την ενέργεια που έγινε αντικαθιστώντας τον συμβατικό κυκλοφορητή με έναν υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Από την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται γίνεται απόσβεση της επένδυσης μας σε λιγότερο από ένα χρόνο.

Θεώρηση οικονομικής απόδοσης - Εξέλιξη κόστους



Εικόνα 8.11: Χρόνος Απόσβεσης(Πηγή: Wilo-Select 4)

Υφιστάμενη αντλία από τη βάση δεδομένων

Σύσταση αντλίας σύγχρονου κινητήρα

Υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής (LCC)**Επένδυση**

Αντλία και εξοπλισμός	0,00	EUR
Αποσυναρμολόγηση / συναρμολόγηση	0,00	EUR
Διάθεση / αποκομιδή	0,00	EUR
Σύνολο της επένδυσης	0,00	EUR

Ετήσια έξοδα λειτουργίας

Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	10650,00	kWh/a
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	2663,50	EUR
Τακτική συντήρηση	0,00	EUR
Αποκατάσταση	0,00	EUR
Περιβαλλοντικά δεδομένα	0,00	EUR
Κόστη μη εκμετάλλευσης	0,00	EUR
Άλλα κόστη	0,00	EUR
Σύνολο ετήσιων εξόδων λειτουργίας	2663,50	EUR
Σύνολο κόστους λειτουργίας για 10 χρόνια	38026,55	EUR

CO2-Εκπομπή

Ετήσια έκλυση CO2	6626,80	kg/a
Εκλύσεις CO2 για 10 χρόνια	66267,97	kg

Κόστη κύκλου ζωής (LCC) για 10 χρόνια 38026,55 EUR

Υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής (LCC)**Επένδυση**

Αντλία και εξοπλισμός	3100,00	EUR
Αποσυναρμολόγηση / συναρμολόγηση	0,00	EUR
Διάθεση / αποκομιδή	0,00	EUR
Σύνολο της επένδυσης	3100,00	EUR

Ετήσια έξοδα λειτουργίας

Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες	7027,00	kWh/a
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	1756,79	EUR
Τακτική συντήρηση	0,00	EUR
Αποκατάσταση	0,00	EUR
Περιβαλλοντικά δεδομένα	0,00	EUR
Κόστη μη εκμετάλλευσης	0,00	EUR
Άλλα κόστη	0,00	EUR
Σύνολο ετήσιων εξόδων λειτουργίας	1756,79	EUR
Σύνολο κόστους λειτουργίας για 10 χρόνια	25081,48	EUR

CO2-Εκπομπή

Ετήσια έκλυση CO2	4370,89	kg/a
Εκλύσεις CO2 για 10 χρόνια	43708,91	kg

Κόστη κύκλου ζωής (LCC) για 10 χρόνια 28181,48 EUR

Πλεονέκτημα της σύστασης αντλιών Wilo

Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας	36268,60	kWh
Συνολική εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους	12945,07	EUR

Συνολικό πλεονέκτημα κόστους για 10 χρόνια 9845,07 EUR

Χρόνος απόσβεσης 3 χρόνια

Εικόνα 8.12: Βάση δεδομένων αντλιών(Πηγή: Wilo-Select 4)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ξεκάθαρα ένα πλεονέκτημα στην εξέλιξη των σύγχρονων EC- κινητήρων με μόνιμο μαγνήτη ως ρότορα σαν τους μελλοντικούς κινητήρες κυκλοφορητών - αντλιών, μια και αυτοί έχουν ξεκάθαρα πιο υψηλή απόδοση από τους ασύγχρονους κινητήρες που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν. Οι κινητήρες EC (γνωστοί και ως Brushless Motors) χρησιμοποιούνται ήδη σε ελαιολίπαντες κατασκευές όπως σε ανεμιστήρες.. Εφαρμογές EC- κινητήρων στη τεχνολογία των υδρολίπαντων κυκλοφορητών σε τυπικούς κινητήρες δεν ήταν προηγουμένως γνωστές. Προϊόντα με υψηλότερους βαθμούς απόδοσης και συνεπώς χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας είναι κατά κανόνα πιο ακριβά στην κατασκευή και επομένως στην τιμή πώλησης από ότι τα συμβατικά προϊόντα ωστόσο η απόσβεση με την αγορά τέτοιου προϊόντος είναι εκπληκτική, βλέποντας και από τα αποτελέσματα του LCC όπου ο χρόνος απόσβεσης αγοράς αντλία EC είναι λιγότερο από ένα χρόνο. Φυσικά μεγάλη διαφορά υπάρχει και στην εξοικονόμηση κόστους ανα δεκαετία περίπου στα 9.847€ καθώς και στην εξοικονόμηση εκπομπής ρύπων CO₂ κατά 3tn ανα έτος. Τα επιπλέον κόστη που οφείλονται στα ηλεκτρονικά έχουν κάνει μέχρι τώρα την είσοδο στην αγορά πολύ δύσκολη. Με τη διαθεσιμότητα των μετατροπέων και την πρόοδο στο πεδίο των ηλεκτρονικών ισχύος και μικροηλεκτρονικών η κατάσταση έχει σαφώς βελτιωθεί. Η EC τεχνολογία του κινητήρα συνδυάζει υψηλά οφέλη για τον καταναλωτή με μικρό χρόνο απόσβεσης του επιπλέον κόστους –ειδικά λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κύκλου ζωής. Διότι τα έξοδα λειτουργίας κατά τη διάρκεια ζωής των κυκλοφορητών - αντλιών, δηλαδή ειδικότερα η κατανάλωση ρεύματος, ανέρχονται σε πολλαπλάσιο του κόστους αγοράς.

Βιβλιογραφία

- *Ιωάννης Μ.Μαυρουδής, "Αντλίες και Σωληνώσεις", Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης.*
- *Κωνσταντίνος Β.Ακριτίδης, "Αντλίες", Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαννούλη.*
- *Αναστάσιος Στάμου, "Εφαρμοσμένη Υδραυλική", Εκδόσεις Παπασωτηρίου.*
- *Περικλής Κορωνάκης, "Μηχανική Ρευστών", Εκδόσεις Ιων.*
- *Παντελής Μαλατέστας, "Συστήματα Οδήγησης Κινητήρων", Εκδόσεις Συμεών.*
- *Mohan Ned, Undeland Tore A., Robbins William P., "Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος", Εκδόσεις Τζιόλα*
- *British Pump Manufacturers Association, "Variable Speed Driven Pumps Best Practice Guide", Brussels, Belgium.*
- *Βασιλείου Ε., "Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) Αντλητικών Συγκροτημάτων" e.vassiliou@mavromatis.com.cy.*
- *Μποζατζίδης Χρήστος, "Βελτιστοποίηση κόστους κύκλου ζωής αντλιών μέσω ηλεκτρονικού ελέγχου στροφών", 4th Maintenance Forum.*
- *Ενεργειακός Έλεγχος Στροφών - Life Cycle Costs", Λογισμικό Wilo-Select.gr*