



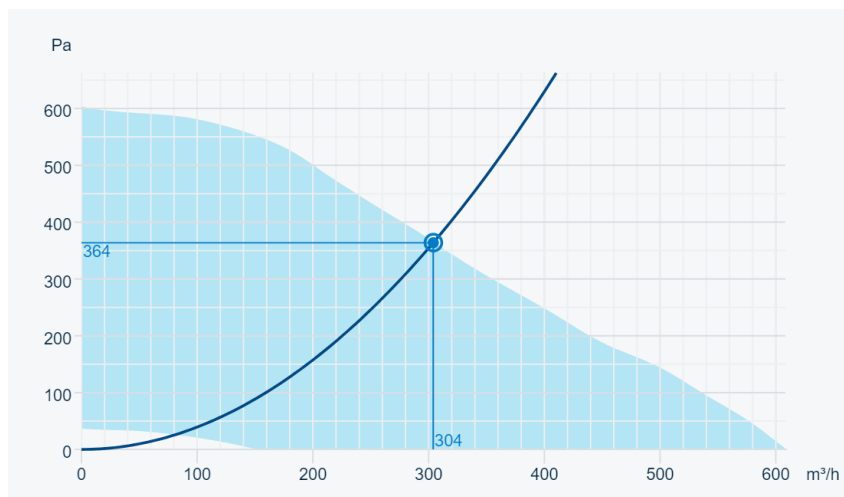
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**

**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**

**Διπλωματική εργασία**

Τεχνοοικονομική ανάλυση φυγοκεντρικών - αξονικών ανεμιστήρων σε συστήματα HVAC με κινητήρες νέας τεχνολογίας EC (Electronically Commutated).



Όνομα: Μάριος Αναστάσιος

Επώνυμο: Μάντεσης

ΑΜ: 272017011

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Αντώνης Νάζος

Αθήνα 2024

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
του Μάντεση Μάριου - Αναστάσιου

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Αντώνης Νάζος  
Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική Επιτροπή την 14<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2024

Νάζος Αντώνιος Διδακτικό Ερευνητικό Προσωπικό (ΔΕΠ) Επικ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	Μαϊτός Αντώνης Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.)	Σπυρόπουλος Γεώργιος Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.)
Υπογραφή	Υπογραφή	Υπογραφή

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μάντεσης Μάριος Αναστάσιος του Γιώργου, με αριθμό μητρώου 272017011 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην επιτυχία αυτής της προσπάθειας.

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Αντώνη Νάζο για την καθοδήγηση, τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Η υπομονή του και η συνεχής διάθεση για βοήθεια συνέβαλαν καθοριστικά στην ανάπτυξη αυτής της διπλωματικής.

Ευχαριστώ θερμά επίσης όλα τα μέλη του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που μοιράστηκαν μαζί μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Οι διδάσκοντες και το προσωπικό του τμήματος αποτέλεσαν πηγή έμπνευσης και με βοήθησαν να εξελιχθώ τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε προσωπικό επίπεδο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη και την ενθάρρυνση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Χωρίς την υπομονή και την κατανόησή τους, δεν θα είχα καταφέρει να φτάσω σε αυτό το σημείο.

Τέλος, ευχαριστώ όλους όσους, με οποιονδήποτε τρόπο, συνέβαλαν στη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

# Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....	12
1.1 Ιστορική εξέλιξη ανεμιστήρων.....	14
1.1.1 Ανάπτυξη ηλεκτρικών ανεμιστήρων .....	15
1.1.2 Χρονολόγιο ιστορίας ηλεκτρικών ανεμιστήρων.....	17
1.1.3 Ιστορία ανάπτυξης των ανεμιστήρων από το 1960 έως σήμερα.....	18
1.2 Αρχές λειτουργίας ηλεκτρικών κινητήρων.....	20
1.2.1 EC Κινητήρες.....	24
Κεφάλαιο 2 Συστήματα HVAC .....	28
2.1 Γενική επισκόπηση των συστημάτων HVAC .....	30
2.2 Βασικά συστήματα και λειτουργίες.....	32
2.2.1 Σύστημα χειρισμού αέρα.....	32
2.2.2 Σύστημα θέρμανσης – ψύξης.....	34
2.2.3 Σύστημα προθέρμανσης.....	35
2.2.4 Μονάδα χειρισμού αέρα διπλού αγωγού .....	37
2.3 Εφαρμογές και χρήση σε βιομηχανικά των συστημάτων HVAC .....	39
2.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ενεργειακή αποδοτικότητα .....	42
2.5 Τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των HVAC.....	46
Κεφάλαιο 3 Βασικές Αρχές και Τεχνολογίες των ανεμιστήρων .....	51
3.1 Εισαγωγή στους ανεμιστήρες .....	51
3.2 Τύποι ανεμιστήρων και οι αποδόσεις τους .....	53
3.3 Αξιολόγηση της Απόδοσης των Ανεμιστήρων και Αποδοτική Λειτουργία του Συστήματος .....	58
3.3.1 Χαρακτηριστικά ανεμιστήρα .....	59
3.4 Κριτήρια σχεδιασμού και επιλογής ανεμιστήρων .....	61
Κεφάλαιο 4 σύγκριση ηλεκτροκινητήρων .....	66
4.1 Διαφορές μεταξύ συμβατικών ανεμιστήρων vs EC ανεμιστήρων.....	66
4.2 Ταχύτητα έναντι ροπής: Σύγκριση τύπων κινητήρων.....	68
4.2 Συγκριτικά στοιχεία κινητήρων EC με συμβατούς , inverter κλπ. καθώς και για την Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση ηλεκτροκινητήρων EC.....	73
Κεφάλαιο 5 Παρουσίαση πειραματικής Διατάξεις .....	75
5.1 Πειραματική σύγκριση AC κινητήρων.....	76
5.2 Σύγκριση EC κινητήρων .....	80
Κεφάλαιο 6. Οικονομική ανάλυση .....	86
6.1 Δεδομένα ανάλυσης.....	86

6.2.1 Σύγκριση Ισχύος Κινητήρων και Ενεργειακό Κόστος.....	86
6.2.2 Ανάλυση Κόστους Ζωής (Life Cycle Cost Analysis).....	89
Κεφάλαιο 7. Υπολογισμός Εκπομπών CO <sub>2</sub> και Κόστος Ανθρακικού Αποτυπώματος.....	94
Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα .....	98
Βιβλιογραφία .....	101

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ανεμιστήρας [1] .....	14
Εικόνα 2: Πορτρέτο της Gertrude Vanderbilt Whitney (κα Harry Payne Whitney), η οποία φοράει κοσμήματα και τιάρα και κρατάει μια βεντάλια με φτερά παγωνιού. (Βιβλιοθήκη του Κογκρέσου) [1]..	14
Εικόνα 3: Ηλεκτρικός ανεμιστήρας Crocker-Wheeler, 1 Ιανουαρίου 1892. (Wikimedia Commons) [1]..	16
Εικόνα 4: Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας [2].....	20
Εικόνα 5: Κυματομορφές ενός τριφασικού συστήματος [2] .....	21
Εικόνα 6: Μονάδα χειρισμού αέρα διπλού αγωγού .....	32
Εικόνα 7: Σύστημα θέρμανση – ψύξης.....	34
Εικόνα 8: Σύστημα προθέρμανσης .....	35
Εικόνα 9: Μονάδα χειρισμού αέρα διπλού αγωγού.....	37
Εικόνα 10: Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας (αριστερά), αξονικός (δεξιά).....	54
Εικόνα 11: Τύποι φυγοκεντρικών ανεμιστήρων .....	54
Εικόνα 12: Τύποι αξονικών ανεμιστήρων .....	56
Εικόνα 13: Χαρακτηριστικά συστήματος.....	59
Εικόνα 14: Καμπύλη χαρακτηριστικών ανεμιστήρα ανά κατασκευαστή.....	60
Εικόνα 15: Καμπύλη συστήματος .....	61
Εικόνα 16 Σχέση ταχύτητας περιστροφής (rpm) με ροή, στατική πίεση και ισχύς σε σύστημα ανεμιστήρων .....	62
Εικόνα 17: Στατική πίεση ανεμιστήρα και απαιτήσεις ισχύος για διαφορετικούς ανεμιστήρες .....	63
Εικόνα 18: Χαρακτηριστικά απόδοσης ανεμιστήρα με βάση τους ανεμιστήρες/ πτερωτές.....	63
Εικόνα 19: Σύγκριση τύπων κινητήρων.....	71
Εικόνα 20: Σύγκριση διαφόρων τύπων κινητήρων.....	72
Εικόνα 21: Πειραματική διάταξη.....	75
Εικόνα 22: Δεδομένα ροής: AC πρώτη ταχύτητα.....	76
Εικόνα 23: Καμπύλη απόδοσης AC πρώτης ταχύτητάς .....	77
Εικόνα 24: Δεδομένα ροής: AC δεύτερης ταχύτητάς .....	77
Εικόνα 25: Καμπύλη απόδοσης AC δεύτερης ταχύτητας.....	78
Εικόνα 26: Δεδομένα ροής : AC τρίτης ταχύτητάς.....	78
Εικόνα 27: Καμπύλη απόδοσης AC τρίτης ταχύτητάς .....	79
Εικόνα 28: Δεδομένα ροής: EC πρώτη ταχύτητας .....	81
Εικόνα 29: Καμπύλη απόδοσης EC πρώτης ταχύτητας.....	81
Εικόνα 30: Δεδομένα ροής : EC δεύτερης ταχύτητας .....	82
Εικόνα 31: Καμπύλη απόδοσης EC δεύτερης ταχύτητας .....	82
Εικόνα 32: Δεδομένα ροής, EC τρίτης ταχύτητας .....	83
Εικόνα 33: Καμπύλη απόδοσης EC τρίτης ταχύτητας.....	83
Εικόνα 34: Χρόνος απόσβεσης.....	88
Εικόνα 35: Εξοικονόμηση σε έτη .....	88
Εικόνα 36: Ανάλυση Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) για την Επένδυση σε EC Ανεμιστήρα.....	92
Εικόνα 37: Συγκριτική ανάλυση εκπομπών CO2 (kg).....	96
Εικόνα 38: Συγκριτική ανάλυση κόστους ενέργειας € .....	96

## Περίληψη

Στη σύγχρονη εποχή, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελούν κύριους στόχους των μηχανολογικών συστημάτων, ειδικά στον τομέα των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC). Τα συστήματα HVAC διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, επηρεάζοντας άμεσα την άνεση, την υγεία και την απόδοση των χρηστών σε κτίρια κατοικιών, εμπορικών χώρων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Στο πλαίσιο της προσπάθειας για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτιριακών εγκαταστάσεων, η αναβάθμιση και ο εκσυγχρονισμός των συστημάτων HVAC αποτελεί προτεραιότητα για τους μηχανολόγους μηχανικούς και τους επαγγελματίες του κλάδου.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει φέρει στο προσκήνιο νέες λύσεις που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων HVAC. Μία από τις πλέον καινοτόμες τεχνολογίες που έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής και τεχνικής κοινότητας είναι οι κινητήρες νέας τεχνολογίας EC (Electronically Commutated). Κινητήρες που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων ηλεκτροκινητήρων με τις δυνατότητες προηγμένου ελέγχου που προσφέρει η ηλεκτρονική τεχνολογία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλής ενεργειακής απόδοσης, ακριβούς ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής, και σημαντικής μείωσης των απωλειών ενέργειας σε σύγκριση με τις παραδοσιακές λύσεις. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη τεχνοοικονομική ανάλυση φυγοκεντρικών και αξονικών ανεμιστήρων που χρησιμοποιούνται σε συστήματα HVAC, οι οποίοι λειτουργούν με κινητήρες EC.

Η τεχνοοικονομική ανάλυση που παρουσιάζεται σε αυτή τη διπλωματική εργασία αφορά την εκτίμηση τόσο των τεχνικών χαρακτηριστικών όσο και της οικονομικής αποδοτικότητας των φυγοκεντρικών και αξονικών ανεμιστήρων με κινητήρες EC. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, στόχος είναι να αξιολογηθεί η συνολική αποδοτικότητα των ανεμιστήρων και να προσδιοριστούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες η χρήση τους είναι περισσότερο ωφέλιμη, τόσο από οικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής άποψης.

Η ανάλυση βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα από εγκαταστάσεις συστημάτων HVAC, καθώς και σε βιβλιογραφικές αναφορές. Η ανάλυση αυτή δεν περιορίζεται μόνο στη σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης, αλλά επεκτείνεται και στη διερεύνηση των οικονομικών ωφελειών που προκύπτουν από τη μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης, καθώς και από την ενδεχόμενη επιδότηση ή υποστήριξη που μπορεί να προσφέρει το κράτος για την υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών.

Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που συμβάλλουν στη γενικότερη προσπάθεια για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Τέλος, η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να δώσει πρακτικές κατευθύνσεις και συστάσεις για την επιλογή και εγκατάσταση φυγοκεντρικών και αξονικών ανεμιστήρων με κινητήρες EC στα συστήματα HVAC, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές ανάγκες και περιορισμούς κάθε εφαρμογής. Με τον τρόπο αυτό,



στοχεύει να αποτελέσει έναν χρήσιμο οδηγό για μηχανικούς και επαγγελματίες που επιδιώκουν να βελτιώσουν την απόδοση των συστημάτων HVAC και να προωθήσουν την υιοθέτηση νέων, αποδοτικών τεχνολογιών στον τομέα της θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού.

Λέξεις κλειδιά: Συστήματα εξαερισμού, Κλιματισμός, Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα, εξοικονόμηση ενέργειας, ενεργειακή αποδοτικότητα, EC κινητήρας, AC κινητήρας,

## **Abstract**

In modern times, energy efficiency and sustainable development are main goals of mechanical systems, especially in the field of heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems. HVAC systems play a critical role in the quality of the indoor environment, directly affecting the comfort, health and performance of users in residential, commercial and industrial buildings. As part of the effort to reduce energy consumption and the environmental footprint of building facilities, upgrading and modernizing HVAC systems is a priority for mechanical engineers and industry professionals. The evolution of technology has brought to the fore new solutions aimed at optimizing the performance of HVAC systems. One of the most innovative technologies that has attracted the interest of the scientific and technical community is the EC (Electronically Commutated) new technology motors. Engines that combine the advantages of modern electric motors with the advanced control capabilities offered by electronic technology. This results in achieving high energy efficiency, precise control of the rotation speed, and a significant reduction in energy losses compared to traditional solutions.

This thesis focuses on the techno-economic analysis of centrifugal and axial fans used in HVAC systems, which operate with EC motors. The techno-economic analysis presented in this thesis concerns the assessment of both the technical characteristics and the economic efficiency of centrifugal and axial fans with EC motors. Through this process, the goal is to evaluate the overall efficiency of fans and determine the conditions under which their use is most beneficial, both from an economic and environmental perspective. The analysis is based on actual data from HVAC system installations, as well as literature references. This analysis is not limited only to the comparison of energy efficiency, but also extends to the investigation of the economic benefits resulting from the reduction of operation and maintenance costs, as well as from the possible subsidy or support that the state can offer for the adoption of energy efficient technologies. In addition, factors such as the reduction of carbon dioxide emissions are taken into account, which contribute to the overall effort to tackle climate change.

Finally, this thesis attempts to give practical directions and recommendations for the selection and installation of centrifugal and axial fans with EC motors in HVAC systems, taking into account the specific needs and limitations of each application. In doing so, it aims to be a useful guide for engineers and professionals seeking to improve the performance of HVAC systems and promote the adoption of new, efficient technologies in the field of heating, ventilation and air conditioning. EC motors, which combine permanent magnet technology with electronic control, offer significant advantages over traditional motors. Their high efficiency and ability to precisely regulate speed allow for the adjustment of fan operation to the actual needs of the HVAC system, avoiding energy waste. Moreover, EC motors are characterized by longer service life and lower maintenance requirements, due to the absence of wear-prone components such as

brushes. These features make EC motors an extremely attractive option for upgrading existing HVAC systems or installing new, more efficient systems.

Keywords: HVAC Systems, Air Handling Unit, energy efficiency, EC motor, AC motor,

## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Η ενεργειακή αποδοτικότητα και η αειφορία έχουν αναδειχθεί σε κεντρικά ζητήματα της σύγχρονης εποχής, ιδιαίτερα σε τομείς που αφορούν τη λειτουργία κτιρίων και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Τα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC) διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών θερμοκρασίας και ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους, επηρεάζοντας άμεσα την άνεση και την υγεία των χρηστών. Ωστόσο, η λειτουργία των συστημάτων αυτών συνδέεται με σημαντική κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που καθιστά την αναβάθμισή τους ζωτικής σημασίας για τη μείωση της ενεργειακής σπατάλης και την προστασία του περιβάλλοντος.

Η τεχνολογία των κινητήρων έχει εξελιχθεί ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, οδηγώντας σε νέες λύσεις που προσφέρουν υψηλότερη απόδοση και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Οι κινητήρες EC (Electronically Commutated), οι οποίοι αποτελούν έναν από τους πιο πρόσφατους καινοτόμους τύπους κινητήρων, έχουν φέρει μια νέα εποχή στον τομέα των συστημάτων HVAC. Οι EC κινητήρες συνδυάζουν την ακρίβεια και την ευελιξία του ηλεκτρονικού ελέγχου με τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων κινητήρων μόνιμου μαγνήτη, προσφέροντας έτσι σημαντικά οφέλη σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες. Αυτή η διπλωματική εργασία εξετάζει την τεχνοοικονομική ανάλυση δύο βασικών τύπων ανεμιστήρων που χρησιμοποιούνται ευρέως στα συστήματα HVAC: των φυγοκεντρικών και των αξονικών ανεμιστήρων, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με κινητήρες EC. Η σημασία αυτών των ανεμιστήρων είναι μεγάλη, καθώς αποτελούν τον βασικό μηχανισμό για τη μεταφορά του αέρα σε δίκτυα αερισμού και κλιματισμού, διασφαλίζοντας τη σωστή κατανομή του αέρα σε όλους τους χώρους ενός κτιρίου.

Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες λειτουργούν αυξάνοντας την πίεση του αέρα μέσω της φυγόκεντρης δύναμης, καθιστώντας τους κατάλληλους για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή πίεση και μεταφορά αέρα σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι σε συστήματα με υψηλή αντίσταση και σύνθετα δίκτυα αερισμού. Από την άλλη πλευρά, οι αξονικοί ανεμιστήρες είναι ιδανικοί για εφαρμογές όπου προτεραιότητα είναι η διαχείριση μεγάλων όγκων αέρα με χαμηλή πίεση, όπως σε περιπτώσεις γενικού αερισμού ή ψύξης σε μεγάλα ανοιχτά περιβάλλοντα.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη εργασία δεν περιορίζεται μόνο στα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο αυτών τύπων ανεμιστήρων, αλλά επεκτείνεται και στη διερεύνηση των οικονομικών τους παραμέτρων. Ειδικότερα, εξετάζεται η ενεργειακή αποδοτικότητα, το αρχικό κόστος εγκατάστασης, τα λειτουργικά έξοδα και οι ανάγκες συντήρησης των ανεμιστήρων με κινητήρες EC. Επιπλέον, αξιολογούνται οι επιπτώσεις της χρήσης αυτών των ανεμιστήρων στη συνολική λειτουργία των συστημάτων HVAC και στα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας σε διαφορετικά σενάρια χρήσης.

Οι EC κινητήρες, χάρη στην ικανότητά τους να προσαρμόζουν την ταχύτητα περιστροφής ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών

κινητήρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, αποφεύγοντας την περιττή κατανάλωση ενέργειας, ενώ παράλληλα διασφαλίζεται η σταθερότητα και η αξιοπιστία της λειτουργίας. Επίσης, οι EC κινητήρες χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες ανάγκες συντήρησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, γεγονός που μειώνει τα μακροπρόθεσμα κόστη λειτουργίας.

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε μια σειρά από πραγματικά δεδομένα και μελέτες περιπτώσεων, που αποτυπώνουν τη χρήση φυγοκεντρικών και αξονικών ανεμιστήρων με κινητήρες EC σε διαφορετικά περιβάλλοντα, όπως εμπορικά κτίρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και κτίρια γραφείων. Μέσα από τη συγκριτική ανάλυση αυτών των δεδομένων, επιχειρείται να αποτυπωθεί μια σαφής εικόνα των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της χρήσης EC κινητήρων σε διαφορετικά σενάρια χρήσης.

Επιπρόσθετα, η εργασία εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης EC κινητήρων, εστιάζοντας στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην ενίσχυση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των κτιριακών εγκαταστάσεων. Οι EC κινητήρες, με τη δυνατότητά τους να λειτουργούν με μεταβλητή ταχύτητα και να προσαρμόζουν την κατανάλωση ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες, συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κτιρίων, γεγονός που τους καθιστά μια ελκυστική επιλογή για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Η τεχνοοικονομική ανάλυση που παρουσιάζεται στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην αξιολόγηση της χρήσης φυγοκεντρικών και αξονικών ανεμιστήρων με κινητήρες EC. Εξετάζονται τόσο οι οικονομικές πτυχές όσο και οι τεχνικές απαιτήσεις, ενώ λαμβάνονται υπόψη και οι επιπτώσεις στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Με αυτόν τον τρόπο, η εργασία αυτή αποσκοπεί στο να παρέχει πρακτικές κατευθύνσεις και χρήσιμα εργαλεία για μηχανικούς και επαγγελματίες του κλάδου που επιθυμούν να βελτιώσουν την απόδοση των συστημάτων HVAC και να προωθήσουν την υιοθέτηση νέων, ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών.

Τέλος, στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, εξετάζονται και οι τάσεις της αγοράς καθώς και οι μελλοντικές προοπτικές της τεχνολογίας των EC κινητήρων στον τομέα των συστημάτων HVAC. Αναλύεται η δυναμική της αγοράς και οι πιθανές εξελίξεις, με έμφαση στην ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας και της κατασκευαστικής δραστηριότητας. Η τεχνολογία των EC κινητήρων αναμένεται να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη των συστημάτων HVAC, προσφέροντας νέες δυνατότητες για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτιρίων.

Με τη σύνθεση των παραπάνω θεμάτων, η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να συμβάλει στην κατανόηση και αξιολόγηση των EC κινητήρων ως μια καινοτόμο και αποδοτική λύση για τη βελτίωση των συστημάτων HVAC, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες και συστάσεις για την αποτελεσματική εφαρμογή τους σε διάφορα περιβάλλοντα και εφαρμογές.

## 1.1 Ιστορική εξέλιξη ανεμιστήρων

Δεν είναι μια εφεύρεση που σκέφτεται κανείς συχνά, αλλά είναι πάντα χρήσιμη. Όταν η ζέστη του καλοκαιριού ανεβαίνει, θα είστε ευγνώμονες για την εφευρετικότητα του αφανή Dr. Wheeler, ο οποίος δεν έχει ακόμη εισαχθεί στο πάνθεο της Δόξας των Εφευρετών (το οποίο, ωστόσο, έχει μια τιμητική θέση για τον Willis Carrier, εφευρέτη του κλιματιστικού - ένα κατόρθωμα σαφώς αδύνατο χωρίς τον ηλεκτρικό ανεμιστήρα.



*Εικόνα 1: Ανεμιστήρας [1]*

Η αλήθεια είναι ότι οι πρόγονοί μας, στερούμενοι τέτοιας τεχνολογίας, περνούσαν τα καλοκαίρια τους δίχως τους πιο σύγχρονους τρόπους δροσισμού.

### **Φύλλα λωτού και φτερά παγωνιού**



*Εικόνα 2: Πορτρέτο της Gertrude Vanderbilt Whitney (κα Harry Payne Whitney), η οποία φοράει κοσμήματα και τιάρα και κρατάει μια βεντάλια με φτερά παγωνιού. (Βιβλιοθήκη του Κογκρέσου) [1]*

Φυσικά, οι άνθρωποι δροσίζονται με τη χρήση ειδών βεντάλιας κουνώντας τα χέρια τους εδώ και χιλιετίες - ή, όπως οι αρχαίοι Αιγύπτιοι, βάζοντας τους σκλάβους να τους αερίζουν με τεράστια φύλλα λωτού. Οι Αιγύπτιοι ανακάλυψαν επίσης το τέχνασμα του ανεμίσματος του αέρα σε βρεγμένα στρώματα ή σε δοχεία γεμάτα νερό για ψύξη με εξάτμιση. Οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι προτιμούσαν τα φτερά παγωνιού - οι Ρωμαίοι αυτοκράτορες προσέθεσαν τη δροσιστική δύναμη του χιονιού που κατέβαζαν από τις Άλπεις.

Οι Ιάπωνες επινόησαν τους πτυσσόμενους ανεμιστήρες τον όγδοο αιώνα, πιθανώς εμπνευσμένοι από τον τρόπο που οι νυχτερίδες διπλώνουν τα φτερά τους. Αλλά η ακμή του χειροκίνητου ανεμιστήρα ήταν κατά τη δυναστεία Μινγκ της Κίνας (1368-1644), όταν οι εξαιρετικά ζωγραφισμένοι ανεμιστήρες ήταν της μόδας. Οι Πορτογάλοι έμποροι έφεραν ασιατικές βεντάλιες στην Ευρώπη το 1400.

Οι Κινέζοι ήταν επίσης πρωτοπόροι στη μηχανοποίηση της βεντάλιας. Περίπου το 180 μ.Χ., ο διάσημος εφευρέτης της δυναστείας Χαν, ο Ting Huan, δημιούργησε έναν περιστροφικό ανεμιστήρα με επτά τροχούς, ο καθένας με διάμετρο 10 πόδια, με τον οποίο ένας μόνο άνθρωπος μπορούσε να δροσίσει μια ολόκληρη αίθουσα. Αργότερα οι περιστροφικοί ανεμιστήρες χρησιμοποιήθηκαν όχι μόνο για ψύξη, αλλά και για το ξεσκόνισμα των σιτηρών και τον εξαερισμό των φρεατίων των ορυχείων.

Αυτή η ρωμαϊκή ιδέα του συνδυασμού ενός ανεμιστήρα με πάγο ή χιόνι επανεμφανίστηκε στις πρώτες προσπάθειες του 19ου αιώνα για κλιματισμό. Στη δεκαετία του 1830 στην Αραλχικόλα της Φλόριντα, ο John Gorrie (1803-1855), ένας Αμερικανός γιατρός, φύσηξε αέρα πάνω από έναν κουβά με πάγο για να δροσίσει τα δωμάτια του νοσοκομείου για τους ασθενείς με ελονοσία και κίτρινο πυρετό.

Όταν ο πρόεδρος Τζέιμς Γκάρφιλντ πυροβολήθηκε το 1881, οι μηχανικοί του αμερικανικού ναυτικού επινόησαν ένα κατασκευάσμα που συνδύαζε έναν ανεμιστήρα και παγωμένα πανιά, το οποίο έριξε τη θερμοκρασία τουωματίου του ετοιμοθάνατου προέδρου κατά 20 βαθμούς - ενώ κατανάλωνε 436 κιλά πάγου την ώρα.

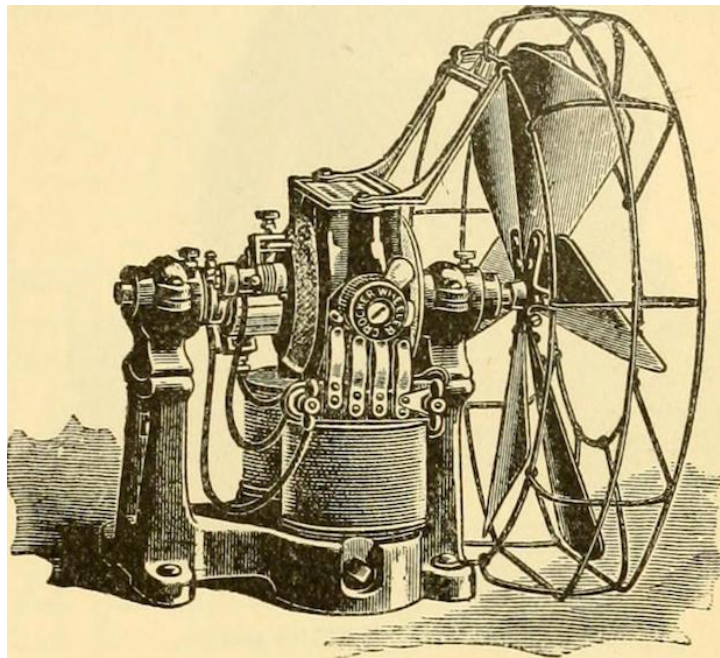
### 1.1.1 Ανάπτυξη ηλεκτρικών ανεμιστήρων

Όμως όλες αυτές οι συσκευές ψύξης βασίζονταν σε ανεμιστήρες που κινούνταν από ανθρώπους ή άλογα. Τότε, ένα χρόνο μετά τη δολοφονία του Γκάρφιλντ, ο Γουίλερ (1860-1923) βρήκε πώς να εφαρμόσει τη νεοσύστατη επιστήμη του ηλεκτρισμού για να κάνει έναν ανεμιστήρα να γυρίζει. Αντλώντας στοιχεία από το έργο του Τόμας Έντισον και του Νικόλα Τέσλα, ο Γουίλερ εφηύρε έναν επιτραπέζιο ανεμιστήρα που αποτελούνταν από δύο πτερύγια, τα οποία δεν προστατεύονταν από κανενός είδους προστατευτικού πλέγματος και τροφοδοτούνταν από έναν ηλεκτροκινητήρα. Ο ανεμιστήρας διατέθηκε στην αγορά από την Crocker & Curtis Electric Motor Co.

Ο Γουίλερ ανέβηκε στην κορυφή του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Το 1901 αγόρασε τη βιβλιοθήκη του J. Latimer Clark, ενός Βρετανού ηλεκτρολόγου μηχανικού, και τη δώρισε στο αμερικανικό IEEE με τον όρο ότι η ομάδα θα παρείχε ένα κατάλληλο κτίριο για να στεγάσει τη συλλογή Clark.

Με μια ενίσχυση 1,5 εκατομμυρίου δολαρίων από τον Άντριου Κάρνεγκι, αυτό οδήγησε στην ίδρυση το 1907 του κτιρίου Engineering Societies Building στη Νέα Υόρκη. Ο Wheeler έγινε αργότερα πρόεδρος του IEEE.

Εν τω μεταξύ, η περαιτέρω ανάπτυξη του ηλεκτρικού ανεμιστήρα ανατέθηκε στον Philip H. Diehl, έναν Γερμανό μετανάστη που είχε χάσει τα πάντα στην πυρκαγιά του Σικάγο το 1871. Ο Diehl έφυγε για την Ανατολική Ακτή, όπου εργάστηκε για την εταιρεία ραπτομηχανών Singer [1].



Εικόνα 3: Ηλεκτρικός ανεμιστήρας Crocker-Wheeler, 1 Ιανουαρίου 1892. (Wikimedia Commons) [1]

Πήρε ένα μοτέρ ραπτομηχανής, τοποθέτησε ένα πτερύγιο ανεμιστήρα και προσάρμοσε το σύνολο στο ταβάνι, εφευρίσκοντας έτσι τον ανεμιστήρα οροφής, τον οποίο κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1887. Αργότερα, ως επικεφαλής της δικής του εταιρείας, ο Diehl πρόσθεσε ένα φωτιστικό στον ανεμιστήρα οροφής. Το 1904, η εταιρεία Diehl and Co. τοποθέτησε έναν σύνδεσμο με διαιρούμενο σφαιρίδιο σε έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα, επιτρέποντας την ανακατεύθυνση του ανεμιστήρα- τρία χρόνια αργότερα, η ιδέα αυτή εξελίχθηκε στον πρώτο ταλαντευόμενο ανεμιστήρα.

Οι ανεμιστήρες διαδόθηκαν γρήγορα. Μέχρι το 1910, η Westinghouse προωθούσε στην αγορά έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα για οικιακή χρήση με τον ισχυρισμό ότι η ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του θα κόστιζε μόνο ένα τέταρτο της δεκάρας ανά ώρα.

Οι αυτόνομοι ανεμιστήρες παραθύρων, κατασκευασμένοι από πλαστικό αντί για μέταλλο, παρουσιάστηκαν το 1934 από τη βρετανική εταιρεία Vent-Axia. Το 1937, η ανάπτυξη ενός νέου πλαστικού ελάσματος για την επικάλυψη των πτερυγίων των ανεμιστήρων, της Micarta, έκανε τους ανεμιστήρες πιο αθόρυβους και λιγότερο πιθανό να στρεβλωθούν ή να διαβρωθούν.



## Ο κλιματισμός

Εν τω μεταξύ, όμως, ο Carrier (1876-1950) τελειοποιούσε την εφεύρεση που θα άφηνε τον ταπεινό ηλεκτρικό ανεμιστήρα του Wheeler στη σκόνη της ιστορίας. Η έμπνευση βρήκε τον Carrier ενώ περίμενε ένα τρένο μια κρύα, ομιχλώδη νύχτα- μέχρι να φτάσει το τρένο του, είχε κατανοήσει την αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του σημείου δρόσου.

Ο Carrier κατασκεύασε το πρώτο του κλιματιστικό τον Ιούλιο του 1902 - όχι για να δροσίζει τους ανθρώπους, αλλά για να διατηρεί το χαρτί δροσερό και στεγνό στο τυπογραφείο Sackett-Wilhelms στο Μπρούκλιν. Σύντομα η εφεύρεση του Carrier δρόσισε κινηματογραφικές αίθουσες, πολυκαταστήματα και ακόμη, μέχρι το 1929, το Κογκρέσο των ΗΠΑ.

Μαζί με τον ανελκυστήρα, ο κλιματισμός έκανε πρακτικούς τους σύγχρονους ουρανοξύστες. Θα μπορούσαμε ακόμη να πούμε ότι ο κλιματισμός μεταμόρφωσε το έθνος, δροσίζοντας την καυτή ζώνη του ήλιου, ώστε να μπουν στον πειρασμό να μετακομίσουν εκεί χιλιάδες Αμερικανών.

Σε μέρη της έρημης νοτιοδυτικής περιοχής, ωστόσο, μια απλή παραλλαγή του ηλεκτρικού ανεμιστήρα του Schuyler Skaats Wheeler συνεχίζει να δροσίζει μεγάλο μέρος του πληθυσμού: Ο "ψύκτης βάλτου" ή εξατμιστικός ψύκτης, που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1930, φυσάει αέρα μέσω μαξιλαριών που έχουν υγρανθεί με νερό - όπως έκαναν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι. Καθώς το νερό εξατμίζεται, απορροφά τη θερμότητα και ψύχει το δωμάτιο, καθιστώντας περιττά τα μηχανήματα κλιματισμού που οι Νοτιοδυτικοί αποκαλούν "ψυκτικό αέρα".

### 1.1.2 Χρονολόγιο ιστορίας ηλεκτρικών ανεμιστήρων

1. 1734 : Ο Γάλλος John Theophilus Desagulier εφευρίσκει τον ανεμιστήρα με πτερύγια για τον εξαερισμό των ορυχείων
2. Ο Schuyler Skaats Wheeler εφευρίσκει τον ηλεκτρικό ανεμιστήρα, 1882 – 1889
3. Ο Γερμανός καθηγητής Hermann Rietchel δημοσιεύει τον *Οδηγό Υπολογισμού και Σχεδιασμού Εγκαταστάσεων Αερισμού και Θέρμανσης* 1894 – 1896
4. Ο Willis Carrier εφευρίσκει τον κλιματισμό- ο ταλαντευόμενος ανεμιστήρας κάνει το ντεμπούτο του 1902 – 1911
5. Το σπίτι του Τσαρλς Γκέιτς στη Μινεάπολη είναι το πρώτο σπίτι με κλιματισμό, με κόστος 10.000 δολάρια, 1914 – 1922
6. Ο κινηματογράφος Rivoli στο Μπρόντγουεϊ της Νέας Υόρκης αποκτά κλιματισμό, 1925 – 1931
7. Το Packard είναι το πρώτο αυτοκίνητο με προαιρετικό "εργοστασιακό αέρα" ,1940 – 1953

### 1.1.3 Ιστορία ανάπτυξης των ανεμιστήρων από το 1960 έως σήμερα

Η ιστορία των ανεμιστήρων είναι στενά συνδεδεμένη με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τις ανάγκες των ανθρώπων για βελτίωση της ποιότητας ζωής, της άνεσης και της ενεργειακής αποδοτικότητας. Από τη δεκαετία του 1960 μέχρι σήμερα, η ανάπτυξη των ανεμιστήρων έχει περάσει από πολλές φάσεις, κάθε μία από τις οποίες αντικατοπτρίζει τις τεχνολογικές προόδους, τις αλλαγές στις βιομηχανικές πρακτικές και τις μεταβαλλόμενες προτιμήσεις των καταναλωτών.

#### **1960s: Η χρυσή εποχή της μηχανικής απλότητας**

Τη δεκαετία του 1960, οι ανεμιστήρες ήταν σε μεγάλο βαθμό απλές μηχανές που βασίζονταν σε μηχανικούς κινητήρες με χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Οι περισσότεροι ανεμιστήρες αυτής της περιόδου χρησιμοποιούσαν εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) και ήταν κατασκευασμένοι από μέταλλο, με απλή σχεδίαση και περιορισμένες επιλογές ταχύτητας. Οι φυγοκεντρικοί και αξονικοί ανεμιστήρες άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές, καθώς η ζήτηση για καλύτερο αερισμό και κλιματισμό αυξήθηκε σταδιακά με την ανάπτυξη των αστικών περιοχών.

Οι κινητήρες αυτής της εποχής ήταν γενικά χαμηλής απόδοσης σε σχέση με τα σημερινά πρότυπα, αλλά η απλότητά τους επέτρεπε την εύκολη κατασκευή και συντήρησή τους. Ωστόσο, η ανάγκη για βελτιωμένη και καλύτερη ενεργειακή απόδοση άρχισε να γίνεται όλο και πιο αισθητή, καθώς οι ενεργειακές κρίσεις και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες άρχισαν να εμφανίζονται στα τέλη της δεκαετίας του 1960.

#### **1970s: Η έλευση των ενεργειακών κρίσεων και οι πρώτες βελτιώσεις**

Η δεκαετία του 1970 ήταν μια περίοδος σημαντικών αλλαγών, καθώς η ενεργειακή κρίση του 1973 έθεσε στο προσκήνιο την ανάγκη για ενεργειακή αποδοτικότητα. Οι κατασκευαστές ανεμιστήρων άρχισαν να εξετάζουν νέες μεθόδους βελτίωσης της αποδοτικότητας των συσκευών τους, τόσο μέσω του σχεδιασμού των πτερυγίων όσο και μέσω της βελτίωσης των κινητήρων. Παρόλο που οι ανεμιστήρες συνέχισαν να βασίζονται σε AC κινητήρες, άρχισε να γίνεται πιο συνειδητή η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Σε αυτή την περίοδο, άρχισε επίσης να αυξάνεται η χρήση πλαστικών υλικών στην κατασκευή ανεμιστήρων, κάτι που επέτρεψε την παραγωγή φθηνότερων και πιο ελαφριών μονάδων. Ωστόσο, η απόδοση και η διάρκεια ζωής των κινητήρων παρέμεναν σχετικά χαμηλά, και οι κατασκευαστές άρχισαν να αναζητούν λύσεις που θα μπορούσαν να προσφέρουν καλύτερη απόδοση με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

#### **1980s: Εισαγωγή της τεχνολογίας ελεγχόμενης ταχύτητας και οι αρχές των ηλεκτρονικών κινητήρων**

Η δεκαετία του 1980 είδε την εμφάνιση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, όπως οι κινητήρες με δυνατότητα ελέγχου ταχύτητας. Η δυνατότητα μεταβλητής ταχύτητας έδωσε στους χρήστες μεγαλύτερο έλεγχο στην

απόδοση των ανεμιστήρων, κάτι που ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές HVAC, όπου η ρύθμιση της ταχύτητας των ανεμιστήρων μπορούσε να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και την άνεση.

Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη των πρώτων ηλεκτρονικά ελεγχόμενων κινητήρων (EC motors) άρχισε να προσελκύει το ενδιαφέρον. Οι EC κινητήρες, οι οποίοι συνδυάζουν την τεχνολογία μόνιμων μαγνητών με τις δυνατότητες ηλεκτρονικού ελέγχου, προσέφεραν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους παραδοσιακούς AC κινητήρες. Η δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ταχύτητας και της ροπής των ανεμιστήρων, καθώς και η υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, άρχισαν να αποτελούν βασικά κριτήρια για τις βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές.

### **1990s: Τυποποίηση και διάδοση πιο ενεργειακά αποδοτικών λύσεων**

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας έγινε ένας από τους κύριους στόχους των κατασκευαστών ανεμιστήρων. Οι EC κινητήρες άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρύτερα, ειδικά σε εφαρμογές όπου η ενεργειακή κατανάλωση ήταν κρίσιμος παράγοντας. Οι νέες τεχνολογίες επέτρεψαν την ανάπτυξη ανεμιστήρων με καλύτερο έλεγχο ροής αέρα και μειωμένο θόρυβο, κάτι που ήταν ιδιαίτερα σημαντικό για εφαρμογές σε εμπορικούς και οικιακούς χώρους.

Επιπλέον, οι προδιαγραφές και τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης έγιναν πιο αυστηρά, οδηγώντας τους κατασκευαστές στην ανάπτυξη νέων προϊόντων που πληρούσαν αυτές τις απαιτήσεις. Αυτή η δεκαετία σηματοδότησε την αρχή της τυποποίησης στην παραγωγή ανεμιστήρων, με έμφαση στη συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις και στην αύξηση της διάρκειας ζωής των συσκευών.

### **2000s: Ανάπτυξη τεχνολογιών ελέγχου και αυτοματοποίησης**

Η είσοδος στον 21ο αιώνα έφερε νέες προκλήσεις και ευκαιρίες στην τεχνολογία των ανεμιστήρων. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των αισθητήρων και των συστημάτων ελέγχου επέτρεψε την ενσωμάτωση πιο εξελιγμένων αυτοματισμών στα συστήματα HVAC. Οι ανεμιστήρες άρχισαν να εξοπλίζονται με αισθητήρες που επέτρεπαν την αυτόματη προσαρμογή της ταχύτητας και της ροής του αέρα ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, κάτι που βελτίωσε περαιτέρω την ενεργειακή αποδοτικότητα και την άνεση.

Οι EC κινητήρες βελτιώθηκαν περαιτέρω, και έτσι έγιναν περισσότερο αποδοτικοί και αξιόπιστοι. Η δυνατότητα σύνδεσης των ανεμιστήρων με κεντρικά συστήματα ελέγχου και η ανάπτυξη δικτυακών πρωτοκόλλων όπως το BACnet και το Modbus, επέτρεψαν τη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων ελέγχου κτιρίων, όπου οι ανεμιστήρες μπορούσαν να ελέγχονται και να παρακολουθούνται εξ αποστάσεως.

### **2010s έως σήμερα: Έμφαση στην ενεργειακή απόδοση και την βιωσιμότητα**

Από τη δεκαετία του 2010 και μετά, η τεχνολογία των ανεμιστήρων συνέχισε να εξελίσσεται με έμφαση στην περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της βιωσιμότητας. Οι EC κινητήρες έγιναν το πρότυπο για τις περισσότερες εφαρμογές HVAC, λόγω της δυνατότητας τους να προσφέρουν υψηλή απόδοση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μειωμένο θόρυβο.

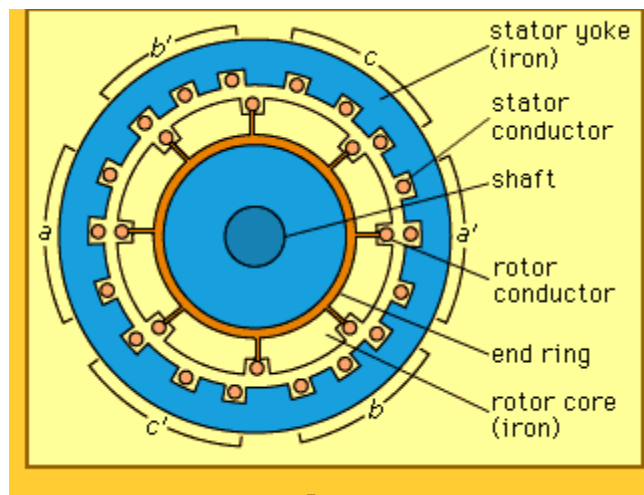
Η ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών κατασκευής επέτρεψε τη δημιουργία ανεμιστήρων με μεγαλύτερη αντοχή, λιγότερη ανάγκη για συντήρηση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Παράλληλα, η εστίαση στην πράσινη ανάπτυξη και στις πρωτοβουλίες για μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κτιρίων οδήγησε σε αυστηρότερους κανονισμούς και πρότυπα για τους ανεμιστήρες, ενθαρρύνοντας τη χρήση πιο αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών.

Σήμερα, οι ανεμιστήρες με EC κινητήρες αντιπροσωπεύουν την αιχμή της τεχνολογίας στον τομέα των συστημάτων HVAC, ενώ οι συνεχιζόμενες καινοτομίες υπόσχονται ακόμη μεγαλύτερες βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και στη βιωσιμότητα στο μέλλον.

## 1.2 Αρχές λειτουργίας ηλεκτρικών κινητήρων

Ο ηλεκτρικός κινητήρας, ανήκει σε μια κατηγορία συσκευών που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική, συνήθως με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων.

Οι περισσότεροι ηλεκτρικοί κινητήρες αναπτύσσουν τη μηχανική τους ροπή μέσω της αλληλεπίδρασης αγωγών που μεταφέρουν ρεύμα με κατεύθυνση κάθετη προς ένα μαγνητικό πεδίο. Οι διάφοροι τύποι ηλεκτροκινητήρων διαφέρουν ως προς τον τρόπο διάταξης των αγωγών και του πεδίου, καθώς και ως προς τον έλεγχο που μπορεί να ασκηθεί επί της μηχανικής ροπής εξόδου, της ταχύτητας και της θέσης. Τα περισσότερα από τα κυριότερα είδη περιγράφονται παρακάτω.

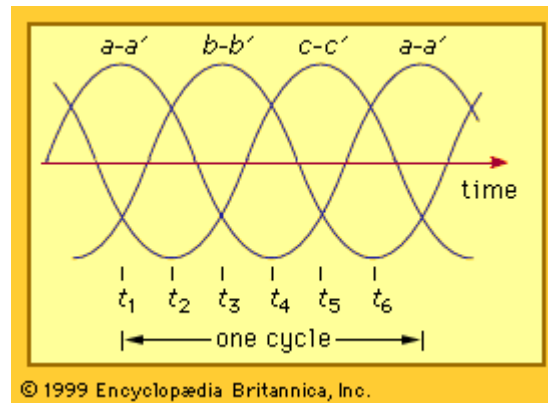


Εικόνα 4: Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας [2]

### Επαγωγικοί κινητήρες

Ο απλούστερος τύπος επαγωγικού κινητήρα παρουσιάζεται σε εγκάρσια τομή στην εικόνα 4. Ένα τριφασικό σύνολο περιελίξεων στάτη εισάγεται σε εγκοπές στο σίδηρο του στάτη. Τα τυλίγματα αυτά μπορούν να συνδεθούν είτε σε διάταξη wye (Y), συνήθως χωρίς εξωτερική σύνδεση στο ουδέτερο σημείο, είτε σε διάταξη τρίγωνο (D). Ο δρομέας αποτελείται από έναν κυλινδρικό πυρήνα σιδήρου με αγωγούς

τοποθετημένους σε σχισμές γύρω από την επιφάνειά του. Στην πιο συνηθισμένη μορφή, αυτοί οι αγωγοί του δρομέα συνδέονται μεταξύ τους σε κάθε άκρο του δρομέα με έναν αγωγίμο ακραίο δακτύλιο [2].



Εικόνα 5: Κυματομορφές ενός τριφασικού συστήματος [2]

Η βάση λειτουργίας του επαγωγικού κινητήρα μπορεί να αναπτυχθεί υποθέτοντας αρχικά ότι τα τυλίγματα του στάτη είναι συνδεδεμένα με τριφασική ηλεκτρική παροχή και ότι ένα σύνολο τριών ημιτονοειδών ρευμάτων της μορφής που φαίνεται στο σχήμα ρέει στα τυλίγματα του στάτη. Το σχήμα αυτό δείχνει την επίδραση αυτών των ρευμάτων στην παραγωγή μαγνητικού πεδίου στο διάκενο αέρα της μηχανής για έξι στιγμές ενός κύκλου. Για λόγους απλότητας, απεικονίζεται μόνο ο κεντρικός βρόχος αγωγού για κάθε περιέλιξη φάσης. Τη στιγμή  $t_1$  της εικόνας 5, το ρεύμα στη φάση α είναι μέγιστο θετικό, ενώ το ρεύμα στις φάσεις β και γ είναι το μισό αυτής της τιμής αρνητικό. Το αποτέλεσμα είναι ένα μαγνητικό πεδίο με περίπου ημιτονοειδή κατανομή γύρω από το διάκενο αέρα με μέγιστη τιμή προς τα έξω στην κορυφή και μέγιστη τιμή προς τα μέσα στο κάτω μέρος.

Τη χρονική στιγμή  $t_2$  στο σχήμα (δηλ. ένα έκτο του κύκλου αργότερα), το ρεύμα στη φάση γ είναι μέγιστο αρνητικό, ενώ εκείνο τόσο στη φάση β όσο και στη φάση α είναι κατά το ήμισυ θετικό. Το αποτέλεσμα, όπως φαίνεται για  $t_2$  στο σχήμα, είναι και πάλι ένα ημιτονοειδώς κατανομημένο μαγνητικό πεδίο, αλλά περιστρεφόμενο κατά  $60^\circ$  αριστερόστροφα. Η εξέταση της κατανομής του ρεύματος για τα  $t_3$ ,  $t_4$ ,  $t_5$  και  $t_6$  δείχνει ότι το μαγνητικό πεδίο συνεχίζει να περιστρέφεται με την πρόοδο του χρόνου. Το πεδίο ολοκληρώνει μια περιστροφή σε έναν κύκλο των ρευμάτων του στάτη. Έτσι, το συνδυασμένο αποτέλεσμα τριών ίσων ημιτονοειδών ρευμάτων, που μετατοπίζονται ομοιόμορφα στο χρόνο και ρέουν σε τρία τυλίγματα στάτη που μετατοπίζονται ομοιόμορφα στη γωνιακή θέση, είναι η παραγωγή ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου με σταθερό μέγεθος και μηχανική γωνιακή ταχύτητα που εξαρτάται από τη συχνότητα της ηλεκτρικής τροφοδοσίας.

Η περιστροφική κίνηση του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με τους αγωγούς του δρομέα προκαλεί την επαγωγή τάσης σε καθέναν από αυτούς, ανάλογη του μεγέθους και της ταχύτητας του πεδίου σε σχέση με τους αγωγούς. Δεδομένου ότι οι αγωγοί του δρομέα είναι βραχυκυκλωμένοι μεταξύ τους σε κάθε άκρο, το

αποτέλεσμα θα είναι να προκληθεί ροή ρεύματος στους αγωγούς αυτούς. Στον απλούστερο τρόπο λειτουργίας, τα ρεύματα αυτά θα είναι περίπου ίσα με την επαγόμενη τάση διαιρούμενη με την αντίσταση του αγωγού. Η εικόνα των ρευμάτων του δρομέα για τη χρονική στιγμή  $t_1$  του σχήματος φαίνεται σε αυτό το σχήμα. Τα ρεύματα φαίνονται να είναι περίπου ημιτονοειδώς κατανομημένα γύρω από την περιφέρεια του δρομέα και να είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να παράγουν μια αριστερόστροφη ροπή στον δρομέα. Αυτή η ροπή δρα για την επιτάχυνση του ρότορα και την περιστροφή του μηχανικού φορτίου.

Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, η ταχύτητά του σε σχέση με εκείνη του περιστρεφόμενου πεδίου μειώνεται. Έτσι, η επαγόμενη τάση μειώνεται, οδηγώντας σε ανάλογη μείωση του ρεύματος του αγωγού του δρομέα και της ροπής. Η ταχύτητα του δρομέα φθάνει σε μια σταθερή τιμή όταν η ροπή που παράγεται από τα ρεύματα του δρομέα ισούται με τη ροπή που απαιτείται σε αυτή την ταχύτητα από το φορτίο, χωρίς να υπάρχει διαθέσιμη πλεονάζουσα ροπή για την επιτάχυνση της συνδυασμένης αδράνειας του φορτίου και του κινητήρα [2].

Η μηχανική ισχύς εξόδου πρέπει να παρέχεται από ηλεκτρική ισχύ εισόδου. Τα αρχικά ρεύματα στάτη που φαίνονται στο σχήμα αρκούν μόνο για την παραγωγή του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Για να διατηρηθεί αυτό το περιστρεφόμενο πεδίο παρουσία των ρευμάτων δρομέα του σχήματος, είναι απαραίτητο τα τυλίγματα του στάτη να φέρουν μια πρόσθετη συνιστώσα ημιτονοειδούς ρεύματος τέτοιου μεγέθους και φάσης ώστε να ακυρώνεται η επίδραση του μαγνητικού πεδίου που διαφορετικά θα παρήγαγε τα ρεύματα δρομέα του σχήματος. Το συνολικό ρεύμα στάτη σε κάθε φασικό τύλιγμα είναι τότε το άθροισμα μιας ημιτονοειδούς συνιστώσας για την παραγωγή του μαγνητικού πεδίου και μιας άλλης ημιτονοειδούς, που προηγείται της πρώτης κατά ένα τέταρτο του κύκλου, ή  $90^\circ$ , για την παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος. Η δεύτερη ή συνιστώσα ισχύος του ρεύματος είναι σε φάση με την τάση που εφαρμόζεται στον στάτη, ενώ η πρώτη ή συνιστώσα μαγνήτισης υστερεί της εφαρμοζόμενης τάσης κατά ένα τέταρτο του κύκλου ή  $90^\circ$ . Στο ονομαστικό φορτίο, αυτή η συνιστώσα μαγνήτισης είναι συνήθως στο εύρος 0,4 έως 0,6 του μεγέθους της συνιστώσας ισχύος.

Η πλειονότητα των τριφασικών επαγωγικών κινητήρων λειτουργεί με τα τυλίγματα του στάτη τους συνδεδεμένα απευθείας σε τριφασική ηλεκτρική παροχή σταθερής τάσης και σταθερής συχνότητας. Οι τυπικές τάσεις τροφοδοσίας κυμαίνονται από 230 βολτ γραμμής προς γραμμή για κινητήρες σχετικά χαμηλής ισχύος (π.χ. 0,5 έως 50 κιλοβάτ) έως περίπου 15 κιλοβόλτ γραμμής προς γραμμή για κινητήρες υψηλής ισχύος έως περίπου 10 μεγαβάτ.

Εκτός από μια μικρή πτώση τάσης στην αντίσταση του τυλίγματος του στάτη, η τάση τροφοδοσίας προσαρμόζεται στο χρονικό ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής στο στάτη της μηχανής. Έτσι, με τροφοδοσία σταθερής συχνότητας, σταθερής τάσης, το μέγεθος του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου διατηρείται σταθερό και η ροπή είναι περίπου ανάλογη της συνιστώσας ισχύος του ρεύματος τροφοδοσίας. Με τον επαγωγικό κινητήρα που παρουσιάζεται στα προηγούμενα σχήματα, το μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται κατά μία περιστροφή για κάθε κύκλο της συχνότητας τροφοδοσίας. Για τροφοδοσία 60 Hz,

η ταχύτητα του πεδίου είναι τότε 60 στροφές ανά δευτερόλεπτο ή 3.600 ανά λεπτό. Η ταχύτητα του δρομέα είναι μικρότερη από την ταχύτητα του πεδίου κατά ένα ποσό που είναι ακριβώς αρκετό για να προκαλέσει την απαιτούμενη τάση στους αγωγούς του δρομέα ώστε να παραχθεί το ρεύμα του δρομέα που απαιτείται για τη ροπή φορτίου. Σε πλήρες φορτίο, η ταχύτητα είναι συνήθως 0,5 έως 5 τοις εκατό χαμηλότερη από την ταχύτητα του πεδίου (συχνά ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα), με το υψηλότερο ποσοστό να ισχύει για τους μικρότερους κινητήρες. Αυτή η διαφορά ταχύτητας αναφέρεται συχνά ως ολίσθηση.

Άλλες σύγχρονες ταχύτητες μπορούν να επιτευχθούν με τροφοδοσία σταθερής συχνότητας με την κατασκευή μιας μηχανής με μεγαλύτερο αριθμό ζευγών μαγνητικών πόλων, σε αντίθεση με την κατασκευή δύο πόλων του σχήματος. Οι δυνατές τιμές της ταχύτητας του μαγνητικού πεδίου σε στροφές ανά λεπτό είναι  $120 \text{ f/p}$ , όπου  $f$  είναι η συχνότητα σε hertz (κύκλους ανά δευτερόλεπτο) και  $p$  είναι ο αριθμός των πόλων (που πρέπει να είναι ζυγός αριθμός). Ένα δεδομένο σιδερένιο πλαίσιο μπορεί να τυλιχτεί για οποιοδήποτε από τα πολλά πιθανά ζεύγη πόλων χρησιμοποιώντας πηνία που καλύπτουν γωνία περίπου  $(360/p)^\circ$ . Η διαθέσιμη ροπή από το πλαίσιο της μηχανής θα παραμείνει αμετάβλητη, αφού είναι ανάλογη του γινομένου του μαγνητικού πεδίου και του επιτρεπόμενου ρεύματος του πηνίου. Έτσι, η ονομαστική ισχύς για το πλαίσιο, που είναι το γινόμενο της ροπής και της ταχύτητας, θα είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη του αριθμού των ζευγών πόλων. Οι πιο συνηθισμένες σύγχρονες ταχύτητες για κινητήρες 60 Hz είναι 1.800 και 1.200 στροφές ανά λεπτό [2].

### **Χαρακτηριστικά εκκίνησης**

Όταν λειτουργεί από τροφοδοσία σταθερής συχνότητας, ο τριφασικός επαγωγικός κινητήρας αποτελεί ουσιαστικά μια μονάδα κίνησης σταθερής ταχύτητας, με την ταχύτητα να μειώνεται μόνο κατά 1 έως 5 τοις εκατό καθώς η ροπή φορτίου αυξάνεται από το μηδέν στην ονομαστική τιμή. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις, οι επαγωγικοί κινητήρες μπορούν να εκκινήσουν και να επιταχυνθούν με τη σύνδεση των ακροδεκτών του στάτη απευθείας στην ηλεκτρική παροχή. Με τον τρόπο αυτό εγκαθίσταται το περιστρεφόμενο πεδίο στη μηχανή. Στη μηδενική ταχύτητα η ταχύτητα αυτού του πεδίου, σε σχέση με εκείνη του δρομέα, είναι υψηλή. Εάν το ρεύμα του δρομέα περιοριζόταν μόνο από την αντίσταση των ράβδων του δρομέα, τα ρεύματα του δρομέα θα ήταν εξαιρετικά υψηλά. Το ρεύμα εκκίνησης περιορίζεται, ωστόσο, από πρόσθετες διαδρομές του μαγνητικού πεδίου γύρω από τους αγωγούς του στάτη και του δρομέα, γνωστές ως διαδρομές διαρροής ροής. Συνήθως, το ρεύμα εκκίνησης περιορίζεται έτσι σε περίπου τέσσερις έως επτά φορές το ονομαστικό ρεύμα κατά την εκκίνηση με πλήρη τάση. Η ροπή κατά την εκκίνηση κυμαίνεται συνήθως από 1,75 έως 2,5 φορές την ονομαστική τιμή.

Εάν το ρεύμα στάτη κατά την εκκίνηση είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπόμενο από το σύστημα ηλεκτρικής τροφοδοσίας, ο κινητήρας μπορεί να εκκινήσει με μειωμένη τάση περίπου 70 έως 80 % χρησιμοποιώντας μετασχηματιστή υποβιβασμού. Εναλλακτικά, τα τυλίγματα του στάτη μπορούν να συνδεθούν σε γωνία στροφής κατά την εκκίνηση και να μετατραπούν σε δέλτα καθώς η ταχύτητα πλησιάζει την ονομαστική τιμή. Τα μέτρα αυτά μειώνουν σημαντικά τη ροπή εκκίνησης. Μια μείωση της τάσης εκκίνησης στο 75

τοις εκατό οδηγεί σε μείωση του ρεύματος ηλεκτρικής τροφοδοσίας στο 56 τοις εκατό, αλλά επίσης οδηγεί μόνο στο 56 τοις εκατό της ροπής εκκίνησης που θα παρεχόταν με πλήρη τάση.

Άλλοι κινητήρες εισάγουν μια αντίσταση ή επαγωγή σε σειρά με κάθε φάση του στάτη κατά τη διάρκεια της περιόδου εκκίνησης. Για φορτίο με πολύ μεγάλη αδράνεια, τα υψηλά ρεύματα δρομέα κατά την εκκίνηση μπορεί να προκαλέσουν υπερθέρμανση του δρομέα. Σε έναν τέτοιο κινητήρα, μπορεί να παρέχεται για την εκκίνηση μια παροχή μεταβλητής συχνότητας και τάσης από έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα [2].

### 1.2.1 EC Κινητήρες

Οι EC (Electronically Commutated) κινητήρες είναι ένας τύπος κινητήρα που συνδυάζει τις αρχές λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος (DC) με τις τεχνολογικές δυνατότητες των σύγχρονων ηλεκτρονικών ελέγχου. Ουσιαστικά, πρόκειται για κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες (brushless DC motors), οι οποίοι λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) αλλά διαχειρίζονται μέσω ενός ηλεκτρονικού ελεγκτή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και ελέγχει τη λειτουργία του κινητήρα.

Οι EC κινητήρες έχουν σχεδιαστεί για να επιτυγχάνουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και ακριβή έλεγχο ταχύτητας, καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές που απαιτούν ευέλικτο έλεγχο της ροπής και της ταχύτητας, όπως τα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC), οι βιομηχανικοί ανεμιστήρες, οι αντλίες και οι συμπιεστές.

#### **Πώς λειτουργούν οι EC κινητήρες;**

Οι EC κινητήρες λειτουργούν με βάση την αρχή του κινητήρα συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες, όπου οι μόνιμοι μαγνήτες είναι τοποθετημένοι στο ρότορα (περιστρεφόμενο τμήμα), και τα τυλίγματα του στάτορα (σταθερό τμήμα) παρέχουν το μαγνητικό πεδίο. Αυτός ο τύπος κινητήρα χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή για να διαχειριστεί τη λειτουργία του.

#### **Λειτουργία του ηλεκτρονικού ελεγκτή**

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής είναι το "μυαλό" του EC κινητήρα. Αρχικά, μετατρέπει το εισερχόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε συνεχές ρεύμα (DC) μέσω ενός ανορθωτή. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά κυκλώματα, παράγει μια σειρά από παλμούς (γνωστούς ως εναλλασσόμενα πεδία) που ελέγχουν τα τυλίγματα του στάτορα. Αυτά τα εναλλασσόμενα πεδία αλληλοεπιδρούν με τους μόνιμους μαγνήτες του ρότορα, προκαλώντας τη συνεχή περιστροφή του ρότορα.

Το κύριο πλεονέκτημα της ηλεκτρονικής μεταγωγής είναι ότι εξαλείφει την ανάγκη για ψήκτρες και συλλέκτες, τα οποία συνήθως φθείρονται και απαιτούν τακτική συντήρηση στους παραδοσιακούς κινητήρες DC. Επιπλέον, ο ηλεκτρονικός έλεγχος επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής του κινητήρα, βελτιώνοντας την απόδοση και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας.



## **Πλεονεκτήματα των EC κινητήρων**

Οι EC κινητήρες παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων σε σχέση με τους παραδοσιακούς κινητήρες AC και DC, τόσο από άποψη απόδοσης όσο και από άποψη συντήρησης και κόστους λειτουργίας.

### **1. Υψηλή ενεργειακή απόδοση**

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των EC κινητήρων είναι η υψηλή ενεργειακή τους απόδοση. Χάρη στον ηλεκτρονικό έλεγχο και την απουσία ψηκτρών, οι EC κινητήρες έχουν χαμηλότερες απώλειες ενέργειας σε σχέση με τους κινητήρες AC και τους παραδοσιακούς κινητήρες DC. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική κίνηση, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και το λειτουργικό κόστος.

### **2. Ακριβής έλεγχος ταχύτητας και ροπής**

Οι EC κινητήρες προσφέρουν δυνατότητες ακριβούς ελέγχου της ταχύτητας και της ροπής. Αυτό επιτρέπει την προσαρμογή της λειτουργίας του κινητήρα στις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής, βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος στο οποίο είναι ενσωματωμένοι. Για παράδειγμα, στους ανεμιστήρες HVAC, ο ακριβής έλεγχος της ταχύτητας επιτρέπει τη ρύθμιση της ροής αέρα ανάλογα με τις ανάγκες, αποφεύγοντας τη σπατάλη ενέργειας.

### **3. Μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης**

Οι EC κινητήρες δεν χρησιμοποιούν ψηκτρες, που σημαίνει ότι δεν απαιτούν τακτική συντήρηση για την αντικατάσταση φθαρμένων εξαρτημάτων. Αυτό αυξάνει τη διάρκεια ζωής του κινητήρα και μειώνει το κόστος συντήρησης. Η έλλειψη φθοράς σε κινητά μέρη οδηγεί επίσης σε μεγαλύτερη αξιοπιστία και λιγότερες βλάβες κατά τη διάρκεια της ζωής του κινητήρα.

### **4. Χαμηλότερα επίπεδα θορύβου**

Οι EC κινητήρες λειτουργούν με χαμηλότερα επίπεδα θορύβου σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες AC, λόγω της ομαλής και ελεγχόμενης λειτουργίας τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε εφαρμογές όπου ο θόρυβος αποτελεί παράγοντα άνεσης, όπως στα συστήματα κλιματισμού και αερισμού σε κτίρια γραφείων και κατοικιών.

### **5. Ευελιξία και Συμβατότητα**

Οι EC κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και είναι συμβατοί με τα περισσότερα υπάρχοντα συστήματα. Η δυνατότητα σύνδεσης με ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου και αυτοματοποίησης τους καθιστά ιδανικούς για σύγχρονες εφαρμογές, όπου απαιτείται ενσωμάτωση σε δίκτυα και συστήματα διαχείρισης κτιρίων.

## **Μειονεκτήματα των EC κινητήρων**

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματά τους, οι EC κινητήρες παρουσιάζουν και αυτοί, περιορισμούς και μειονεκτήματα. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη αυτά τα μειονεκτήματα κατά την επιλογή του κατάλληλου τύπου κινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

### **1. Αυξημένο αρχικό κόστος**

Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των EC κινητήρων είναι το αυξημένο αρχικό κόστος σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες AC και DC. Η πολυπλοκότητα του ηλεκτρονικού ελεγκτή και η χρήση προηγμένων υλικών αυξάνουν το κόστος παραγωγής, το οποίο μεταφέρεται στον τελικό χρήστη. Ωστόσο, το αυξημένο κόστος μπορεί να αντισταθμιστεί από τα μακροπρόθεσμα οφέλη, όπως η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και οι χαμηλότερες ανάγκες συντήρησης.

### **2. Εξάρτηση από την ποιότητα του ηλεκτρονικού ελεγκτή**

Η απόδοση και η αξιοπιστία των EC κινητήρων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του ηλεκτρονικού ελεγκτή. Αν ο ελεγκτής δεν είναι σχεδιασμένος σωστά ή δεν είναι υψηλής ποιότητας, μπορεί να προκύψουν προβλήματα στη λειτουργία του κινητήρα, όπως ασταθής λειτουργία, υπερθέρμανση ή ακόμα και βλάβες. Επίσης, οι ελεγκτές είναι ευαίσθητοι σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία τους σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

### **3. Πολυπλοκότητα στο σχεδιασμό και τη συντήρηση**

Η πολυπλοκότητα των EC κινητήρων και των ηλεκτρονικών τους ελεγκτών καθιστά το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη συντήρησή τους πιο απαιτητική σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες. Αυτό μπορεί να απαιτεί εξειδικευμένη εκπαίδευση για τους τεχνικούς που ασχολούνται με αυτούς τους κινητήρες, καθώς και εξειδικευμένο εξοπλισμό για την επισκευή και τη συντήρησή τους.

### **4. Εξάρτηση από την ποιότητα του ρεύματος**

Οι EC κινητήρες είναι πιο ευαίσθητοι στις διακυμάνσεις της ποιότητας του ρεύματος σε σχέση με τους παραδοσιακούς κινητήρες. Οι διακυμάνσεις στην τάση ή στη συχνότητα του ρεύματος μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία του κινητήρα και να προκαλέσουν προβλήματα στον ελεγκτή. Σε περιοχές με ασταθή δίκτυα ηλεκτροδότησης, μπορεί να απαιτηθεί η χρήση σταθεροποιητών τάσης ή άλλων μέτρων προστασίας για την αποφυγή προβλημάτων.

### **5. Περιορισμένη ανθεκτικότητα σε δύσκολα περιβάλλοντα**

Σε περιβάλλοντα με υψηλή θερμοκρασία, υγρασία ή άλλους ακραίους παράγοντες, οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές των EC κινητήρων μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα ανθεκτικότητας. Ενώ οι ίδιοι οι κινητήρες μπορεί να είναι ανθεκτικοί, οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές απαιτούν συχνά πρόσθετη προστασία για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία τους σε τέτοιες συνθήκες.

Οι EC κινητήρες αποτελούν μια εξαιρετικά καινοτόμο και αποδοτική λύση στον τομέα των ηλεκτρικών κινητήρων, συνδυάζοντας την υψηλή ενεργειακή απόδοση με την ακρίβεια και την ευελιξία του ηλεκτρονικού ελέγχου. Η εφαρμογή τους είναι ευρεία, από τα συστήματα HVAC και τους βιομηχανικούς ανεμιστήρες, μέχρι τις αντλίες και τους συμπιεστές.

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, οι EC κινητήρες δεν είναι χωρίς μειονεκτήματα. Το αυξημένο αρχικό κόστος, η εξάρτηση από την ποιότητα του ηλεκτρονικού ελεγκτή, και η πολυπλοκότητα στη συντήρηση

και την εγκατάσταση είναι ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή τους για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Σε τελική ανάλυση, η επιλογή ενός EC κινητήρα πρέπει να βασίζεται σε μια προσεκτική εκτίμηση των αναγκών της εφαρμογής, της περιβαλλοντικής κατάστασης, και της μακροπρόθεσμης απόδοσης. Με τη σωστή εφαρμογή και συντήρηση, οι EC κινητήρες μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη σε όρους ενεργειακής αποδοτικότητας, αξιοπιστίας και μείωσης του λειτουργικού κόστους, καθιστώντας τους μια από τις πιο σύγχρονες και αποδοτικές τεχνολογίες στον τομέα των ηλεκτρικών κινητήρων.

## Κεφάλαιο 2 Συστήματα HVAC

Τα συστήματα HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης καθημερινότητας, διασφαλίζοντας την άνεση, την υγεία και την ασφάλεια των ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους. Είτε πρόκειται για οικιακούς χώρους, εμπορικά κτίρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή δημόσια κτίρια, τα συστήματα HVAC είναι απαραίτητα για τη διατήρηση κατάλληλων συνθηκών θερμοκρασίας, υγρασίας και ποιότητας αέρα.

Τα συστήματα HVAC συνδυάζουν τρεις κύριες λειτουργίες: θέρμανση, αερισμό και κλιματισμό. Η θέρμανση αποτελεί θεμελιώδη λειτουργία των συστημάτων HVAC, ειδικά σε περιοχές με κρύο κλίμα. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη θέρμανση του αέρα ή του νερού και τη μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου στους εσωτερικούς χώρους. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων θέρμανσης, όπως οι λέβητες που καίνε καύσιμα (π.χ. φυσικό αέριο, πετρέλαιο), οι αντλίες θερμότητας που μεταφέρουν θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον, και τα ηλεκτρικά συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για τη θέρμανση του αέρα ή του νερού.

Ο αερισμός είναι η διαδικασία της ανταλλαγής ή της αντικατάστασης του αέρα σε έναν χώρο, με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα και την απομάκρυνση των ρύπων, όπως διοξείδιο του άνθρακα, υγρασία, καπνό, σκόνη και μικροοργανισμούς. Τα συστήματα αερισμού μπορούν να είναι φυσικά ή μηχανικά. Στα φυσικά συστήματα, η κυκλοφορία του αέρα γίνεται μέσω ανοιγμάτων, όπως παράθυρα και φεγγίτες, ενώ στα μηχανικά συστήματα, ο αερισμός επιτυγχάνεται μέσω ανεμιστήρων και αεραγωγών που εισάγουν καθαρό αέρα και εξάγουν τον χρησιμοποιημένο.

Η λειτουργία του κλιματισμού περιλαμβάνει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, ώστε να διασφαλιστούν οι κατάλληλες συνθήκες άνεσης. Τα συστήματα κλιματισμού χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες, όπως οι αντλίες θερμότητας και τα κλιματιστικά, για την ψύξη και αφύγρανση του αέρα. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος του χώρου, την κλιματική ζώνη και τις απαιτήσεις του χρήστη.

Τα συστήματα HVAC μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος, την εφαρμογή και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Τα κεντρικά συστήματα HVAC είναι σχεδιασμένα για να εξυπηρετούν μεγάλους χώρους ή κτίρια. Συνήθως αποτελούνται από έναν κεντρικό εξοπλισμό, όπως λέβητες, αντλίες θερμότητας ή ψύκτες, που είναι συνδεδεμένοι με δίκτυα αεραγωγών ή σωληνώσεων που διανέμουν το θερμαινόμενο ή ψυχόμενο αέρα ή νερό στους διάφορους χώρους του κτιρίου. Αυτά τα συστήματα είναι αποδοτικά και μπορούν να ελέγξουν την ποιότητα του αέρα σε όλο το κτίριο, αλλά είναι πιο πολύπλοκα και απαιτούν πιο σύνθετη εγκατάσταση και συντήρηση.

Τα τοπικά συστήματα HVAC είναι μικρότερα και σχεδιασμένα για να εξυπηρετούν συγκεκριμένους χώρους ή ζώνες μέσα σε ένα κτίριο. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν τα επιτοίχια κλιματιστικά, τις αντλίες θερμότητας με μονάδες εσωτερικού χώρου, τα παράθυρα και τα φορητά κλιματιστικά. Τα τοπικά

συστήματα είναι πιο εύκολα στην εγκατάσταση και τη συντήρηση, και παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία, αλλά δεν έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν την ποιότητα του αέρα σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις.

Τα υβριδικά συστήματα HVAC συνδυάζουν διαφορετικές τεχνολογίες για να επιτύχουν βέλτιστη ενεργειακή απόδοση και άνεση. Για παράδειγμα, ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί μια αντλία θερμότητας για θέρμανση και ψύξη, σε συνδυασμό με ένα παραδοσιακό σύστημα λέβητα για θέρμανση σε ακραίες κλιματικές συνθήκες. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την προσαρμογή σε διαφορετικές ανάγκες και συνθήκες, ενώ παράλληλα μειώνουν το κόστος λειτουργίας και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Η τεχνολογία HVAC έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με νέες καινοτομίες να εισάγονται συνεχώς στην αγορά. Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης είναι ένας από τους κύριους στόχους των σύγχρονων συστημάτων HVAC. Οι νέες τεχνολογίες, όπως οι αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης, οι EC κινητήρες (Electronically Commutated) και τα συστήματα μεταβλητής ταχύτητας, επιτρέπουν τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων. Επίσης, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, συμβάλλει στη μείωση του κόστους λειτουργίας και στη βελτίωση της βιωσιμότητας.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των αισθητήρων και των συστημάτων ελέγχου έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων HVAC που μπορούν να προσαρμόζουν αυτόματα τη λειτουργία τους στις ανάγκες του χρήστη και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Τα έξυπνα θερμοστάτες, τα συστήματα ελέγχου ζωνών και οι πλατφόρμες διαχείρισης κτιρίων (BMS) επιτρέπουν την ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ποιότητας του αέρα, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνοντας την άνεση. Η διασφάλιση της ποιότητας του αέρα εσωτερικού χώρου έχει γίνει προτεραιότητα, ιδιαίτερα μετά την πανδημία COVID-19. Τα συστήματα HVAC ενσωματώνουν πλέον προηγμένες τεχνολογίες φίλτραρίσματος, όπως φίλτρα HEPA, υπεριώδης ακτινοβολία (UV-C) και συστήματα ιονισμού, για την απομάκρυνση των ρύπων, των μικροβίων και των ιών από τον αέρα. Αυτές οι τεχνολογίες συμβάλλουν στην υγεία και την ασφάλεια των κατοίκων των κτιρίων, μειώνοντας τον κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.

Οι αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί κανονισμοί και η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση σχετικά με την κλιματική αλλαγή έχουν οδηγήσει σε μια στροφή προς πιο βιώσιμες πρακτικές στην ανάπτυξη και τη χρήση συστημάτων HVAC. Οι κατασκευαστές αναζητούν τρόπους μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα των συστημάτων, όπως η χρήση ψυκτικών με χαμηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) και η ανάπτυξη προϊόντων που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Επίσης, τα συστήματα HVAC σχεδιάζονται πλέον με σκοπό τη μακροχρόνια χρήση και την ευκολία στην ανακύκλωση, προωθώντας την κυκλική οικονομία.

Παρά τις εξελίξεις στην τεχνολογία HVAC, υπάρχουν ακόμα αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η εγκατάσταση και η συντήρηση των σύγχρονων συστημάτων HVAC μπορεί να είναι δαπανηρή, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μεγάλες εγκαταστάσεις ή συστήματα με προηγμένες τεχνολογίες.

Το αρχικό κόστος μπορεί να αποθαρρύνει τους ιδιοκτήτες κτιρίων από την αναβάθμιση σε πιο αποδοτικά συστήματα, παρά τα μακροπρόθεσμα οφέλη.

Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων συστημάτων HVAC απαιτεί υψηλό επίπεδο εξειδίκευσης από τους τεχνικούς εγκατάστασης και συντήρησης. Η εκπαίδευση και η συνεχής ενημέρωση σχετικά με τις νέες τεχνολογίες είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας των συστημάτων. Η συνεχής αναπροσαρμογή των κανονισμών και των προτύπων σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα αποτελεί πρόκληση για τους κατασκευαστές και τους εγκαταστάτες. Η ανάγκη για συμμόρφωση με αυστηρότερες απαιτήσεις μπορεί να επιβραδύνει την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών.

Παρά τις προκλήσεις, οι προοπτικές για την ανάπτυξη των συστημάτων HVAC είναι θετικές. Η συνεχιζόμενη καινοτομία, η αυξανόμενη ζήτηση για ενεργειακά αποδοτικές λύσεις και η εστίαση στη βιωσιμότητα και την ποιότητα του αέρα θα συνεχίσουν να οδηγούν την εξέλιξη της τεχνολογίας HVAC τα επόμενα χρόνια. Με τη σωστή προσέγγιση και επένδυση, τα συστήματα HVAC μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη δημιουργία πιο άνετων, υγιεινών και φιλικών προς το περιβάλλον εσωτερικών χώρων [3].

## 2.1 Γενική επισκόπηση των συστημάτων HVAC

Η γενική επισκόπηση των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC) αποτελεί κρίσιμο σημείο αναφοράς για την κατανόηση του ρόλου που διαδραματίζουν τα συστήματα αυτά στην σύγχρονη κοινωνία. Τα συστήματα HVAC είναι θεμελιώδη για τη διατήρηση άνετων και υγιεινών συνθηκών στους εσωτερικούς χώρους, ανεξαρτήτως των εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Ενσωματώνουν τρεις κύριες λειτουργίες: τη θέρμανση, τον αερισμό και τον κλιματισμό, επιτρέποντας τη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ποιότητας του αέρα.

### Ιστορική Εξέλιξη και Λειτουργία των Συστημάτων HVAC

Η ιστορία των συστημάτων HVAC αρχίζει από την ανάγκη του ανθρώπου να ελέγχει το περιβάλλον διαβίωσής του, με πρωταρχική την ανάπτυξη των συστημάτων θέρμανσης. Η θέρμανση χώρων μέσω καύσης ξύλου, κάρβουνου και αργότερα πετρελαίου και φυσικού αερίου, αποτέλεσε το θεμέλιο για τις μετέπειτα εξελίξεις. Κατά τον 20ό αιώνα, η εξέλιξη της τεχνολογίας και η βιομηχανική επανάσταση έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη πιο προηγμένων συστημάτων HVAC, τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως οι λέβητες, οι αντλίες θερμότητας, και τα κλιματιστικά συστήματα .

Η βασική λειτουργία της θέρμανσης στα συστήματα HVAC περιλαμβάνει τη χρήση πηγών θερμότητας για την αύξηση της θερμοκρασίας σε εσωτερικούς χώρους. Οι λέβητες, οι οποίοι καίνε καύσιμα όπως το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο, είναι συνηθισμένοι σε πολλές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια, οι αντλίες θερμότητας έχουν αναδειχθεί ως αποδοτική εναλλακτική, καθώς εκμεταλλεύονται τη θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον για τη θέρμανση εσωτερικών χώρων με χαμηλότερο ενεργειακό κόστος .

Ο αερισμός είναι μια άλλη θεμελιώδης λειτουργία των συστημάτων HVAC, υπεύθυνη για την εισαγωγή καθαρού αέρα και την απομάκρυνση ρύπων, όπως διοξείδιο του άνθρακα, υγρασία, καπνό και μικροοργανισμούς. Ο αερισμός μπορεί να είναι φυσικός, μέσω παραθύρων και ανοιγμάτων, ή μηχανικός, μέσω συστημάτων ανεμιστήρων και αεραγωγών. Ο αερισμός βελτιώνει την ποιότητα του αέρα και προστατεύει την υγεία των κατοίκων .

Τέλος, ο κλιματισμός είναι η λειτουργία που επιτρέπει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας των εσωτερικών χώρων, κυρίως κατά τους θερμούς μήνες. Τα συστήματα κλιματισμού χρησιμοποιούν ψυκτικά υγρά για να απομακρύνουν τη θερμότητα από τον αέρα και να τον κρυώσουν. Η χρήση κλιματιστικών συστημάτων είναι πλέον διαδεδομένη σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς χώρους, εξασφαλίζοντας συνθήκες άνεσης ανεξαρτήτως των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών .

### **Σύγχρονες Τάσεις και Καινοτομίες στα Συστήματα HVAC**

Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη των συστημάτων HVAC έχει επικεντρωθεί σε τρεις κύριους τομείς: την ενεργειακή απόδοση, την αυτοματοποίηση και την ποιότητα του αέρα. Η αυξανόμενη ζήτηση για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και η ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και λύσεων.

Οι αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης είναι ένα παράδειγμα τεχνολογικής καινοτομίας που έχει γίνει δημοφιλές λόγω της ικανότητάς τους να προσφέρουν αποδοτική θέρμανση και ψύξη με χαμηλό κόστος λειτουργίας. Αυτές οι αντλίες χρησιμοποιούν ένα μικρό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας για να μεταφέρουν θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό, καθιστώντας τις μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης .

Η αυτοματοποίηση και τα έξυπνα συστήματα HVAC αποτελούν επίσης μια βασική τάση στον κλάδο. Με τη χρήση αισθητήρων, συστημάτων ελέγχου και πλατφορμών διαχείρισης κτιρίων, τα σύγχρονα συστήματα HVAC μπορούν να ρυθμίζουν αυτόματα τη λειτουργία τους βάσει των συνθηκών του περιβάλλοντος και των αναγκών των χρηστών. Αυτό μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνει την άνεση, ενώ επιτρέπει τη μακροχρόνια παρακολούθηση και βελτιστοποίηση των συστημάτων .

Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων έχει αποκτήσει αυξημένη προσοχή, ειδικά μετά την πανδημία COVID-19. Προηγμένα συστήματα φιλτραρίσματος, όπως φίλτρα HEPA και τεχνολογίες UV-C, ενσωματώνονται στα συστήματα HVAC για την απομάκρυνση μικροοργανισμών και ρύπων, βελτιώνοντας την ασφάλεια και την υγεία των κατοίκων των κτιρίων .

### **Προκλήσεις και Προοπτικές για τα Συστήματα HVAC**

Παρά τις καινοτομίες, τα συστήματα HVAC αντιμετωπίζουν αρκετές προκλήσεις. Ένα από τα κύρια ζητήματα είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, ιδιαίτερα σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των σύγχρονων συστημάτων απαιτεί εξειδικευμένη γνώση και εκπαίδευση για τους τεχνικούς, γεγονός που μπορεί να αυξήσει το κόστος και το χρόνο συντήρησης .

Η συμμόρφωση με τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς αποτελεί επίσης μια συνεχή πρόκληση. Οι κατασκευαστές πρέπει να επενδύσουν σε έρευνα και ανάπτυξη για να δημιουργήσουν προϊόντα που πληρούν τις νέες απαιτήσεις, ενώ παράλληλα διατηρούν την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των συστημάτων. Η αυξανόμενη ζήτηση για φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα δημιουργεί επιπλέον πίεση για την ανάπτυξη τεχνολογιών που μειώνουν το αποτύπωμα άνθρακα των συστημάτων HVAC .

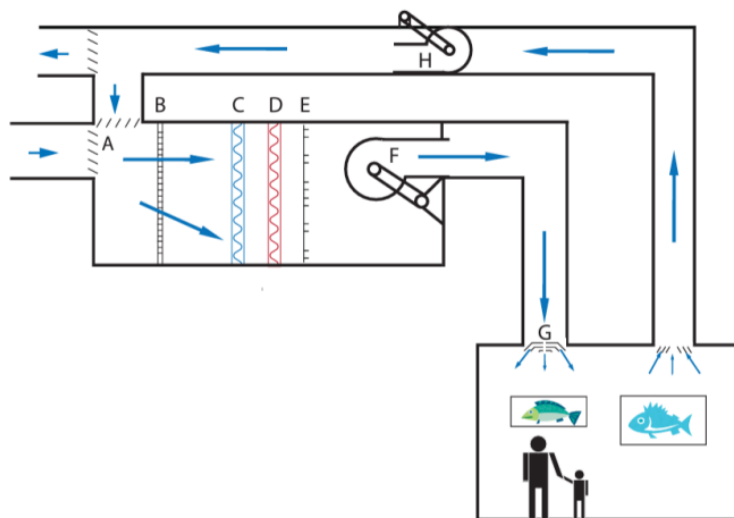
Ωστόσο, οι προοπτικές για τον τομέα των HVAC είναι θετικές. Η τεχνολογική καινοτομία, η αυξημένη ζήτηση για ενεργειακά αποδοτικές λύσεις και η εστίαση στη βιωσιμότητα και την ποιότητα του αέρα θα συνεχίσουν να οδηγούν την ανάπτυξη του κλάδου. Με τη σωστή προσέγγιση και επένδυση, τα συστήματα HVAC μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη δημιουργία πιο άνετων, υγιεινών και φιλικών προς το περιβάλλον εσωτερικών χώρων [4] .

## 2.2 Βασικά συστήματα και λειτουργίες

### 2.2.1 Σύστημα χειρισμού αέρα

#### Components/Layout:

- A: Dampers
- B: Filters
- C: Cooling Coil
- D: Heating Coil
- E: Humidifier
- F: Supply Fan
- G: Diffusers
- H: Return Fan



Εικόνα 6: Μονάδα χειρισμού αέρα διπλού αγωγού

#### 1. Είσοδος Αέρα:

Ο φρέσκος αέρας εισέρχεται από την εξωτερική ατμόσφαιρα και περνά μέσα από τον ρυθμιστή τάμπερ σταθερής παροχής (A), ο οποίος μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να ελέγχει την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται. Ο αποσβεστήρας επιτρέπει τη ρύθμιση του εξωτερικού αέρα, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος.



## **2. Φιλτράρισμα (B):**

Ο αέρας περνά από φίλτρα (Filters, B) για την αφαίρεση σκόνης, αλλεργιογόνων και άλλων ρυπαντικών. Τα φίλτρα διασφαλίζουν ότι ο αέρας που εισέρχεται στη μονάδα είναι καθαρός και κατάλληλος για επεξεργασία.

## **3. Ψύξη (C) και Θέρμανση (D):**

Ο αέρας στη συνέχεια διέρχεται από τον ψυκτικό εναλλάκτη θερμότητας (Cooling Coil, C) όπου ψύχεται εάν χρειάζεται χαμηλότερη θερμοκρασία. Αμέσως μετά, αν χρειαστεί, περνά από τον θερμαντικό εναλλάκτη θερμότητας (Heating Coil, D) για να θερμανθεί. Έτσι, επιτυγχάνεται η προσαρμογή της θερμοκρασίας του αέρα στις απαιτήσεις του χώρου.

## **4. Υγρασία (E):**

Στην επόμενη φάση, ο αέρας περνά από τον υγραντήρα (Humidifier, E). Ο υγραντήρας προσθέτει υγρασία στον αέρα για να διατηρηθεί η σωστή υγρασία στον χώρο, ιδιαίτερα σημαντικό σε περιβάλλοντα που απαιτούν συγκεκριμένα επίπεδα υγρασίας, όπως σε μουσεία ή ενυδρεία.

## **5. Προώθηση του Αέρα (F):**

Ο επεξεργασμένος αέρας ωθείται προς τον χώρο από τον ανεμιστήρα προσαγωγής (Supply Fan, F). Ο ανεμιστήρας διασφαλίζει την απαραίτητη πίεση για τη διανομή του αέρα στους χώρους που εξυπηρετεί η μονάδα.

## **6. Διανομή Αέρα (G):**

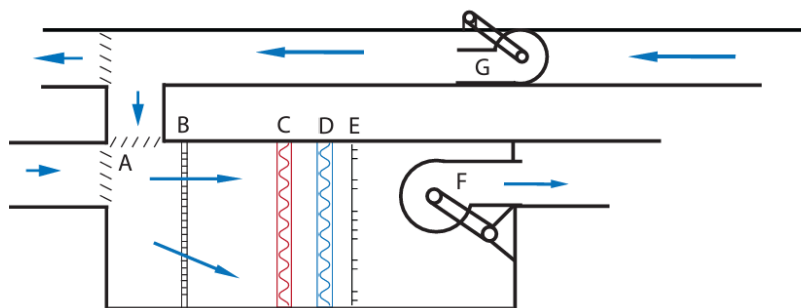
Ο αέρας διανέμεται στους χώρους μέσω των στομιών (Diffusers, G), τα οποία βοηθούν στον ομοιόμορφο καταμερισμό του αέρα στους χώρους. Τα στόμια μπορούν να ρυθμίζουν την ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα που διανέμεται στον χώρο, εξασφαλίζοντας άνετες συνθήκες για τους χρήστες.

## **7. Επιστροφή Αέρα (H):**

Τέλος, ο αέρας από τον χώρο επιστρέφει πίσω στη μονάδα μέσω του ανεμιστήρα επιστροφής (Return Fan, H), και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Ο επιστρεφόμενος αέρας ανακυκλώνεται και αναμειγνύεται με νέο εξωτερικό αέρα, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς μόνο ένα μέρος του αέρα είναι φρέσκος. Η μονάδα φιλτράρει, θερμαίνει, ψύχει και υγραίνει τον αέρα ανάλογα με τις ανάγκες του χώρου. Εξασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα του αέρα για άνεση και ευεξία στους χρήστες. Επίσης πετυχαίνει καλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα όπου με την ανακύκλωση του αέρα και την ελεγχόμενη εισαγωγή φρέσκου αέρα, μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας.[5]

## 2.2.2 Σύστημα θέρμανσης – ψύξης

- A: Dampers
- B: Filters
- C: Heating Coil
- D: Cooling Coil
- E: Humidifier
- F: Supply Fan
- G: Return Fan



Εικόνα 7: Σύστημα θέρμανση – ψύξης

### 1. Είσοδος Αέρα:

Ο αέρας εισέρχεται από την εξωτερική ατμόσφαιρα και περνά μέσα από ρυθμιστές τάμπερ σταθερής παροχής (Dampers, A), οι οποίοι επιτρέπουν τον έλεγχο της ποσότητας του αέρα που θα εισέλθει στο σύστημα. Οι ρυθμιστές τάμπερ ρυθμίζουν την εισροή φρέσκου αέρα, ανάλογα με τις ανάγκες για θέρμανση ή ψύξη.

### 2. Φιλτράρισμα (B):

Ο αέρας στη συνέχεια περνά από φίλτρα (Filters, B), τα οποία αφαιρούν σωματίδια, σκόνη και ρύπους. Αυτό διασφαλίζει ότι ο αέρας που εισέρχεται είναι καθαρός πριν υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία.

### 3. Θέρμανση (C) και Ψύξη (D):

Ο φιλτραρισμένος αέρας κατευθύνεται στη συνέχεια στους εναλλάκτες θερμότητας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, ο αέρας μπορεί:

- Να θερμανθεί: Περνά από τον εναλλάκτη θερμότητας (Heating Coil, C), ο οποίος ζεσταίνει τον αέρα, εφόσον η θερμοκρασία του χώρου πρέπει να αυξηθεί.
- Να ψυχθεί: Περνά από τον εναλλάκτη ψύξης (Cooling Coil, D), που ψύχει τον αέρα, εάν η θερμοκρασία του χώρου πρέπει να μειωθεί.

### 4. Υγρασία (E):

Εάν απαιτείται, ο αέρας περνά από τον υγραντήρα (Humidifier, E), ο οποίος προσθέτει υγρασία. Αυτό είναι σημαντικό για τη διατήρηση των επιθυμητών επιπέδων υγρασίας σε εσωτερικούς χώρους, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα που ο αέρας είναι πιο ξηρός.

## 5. Προώθηση του Αέρα (F):

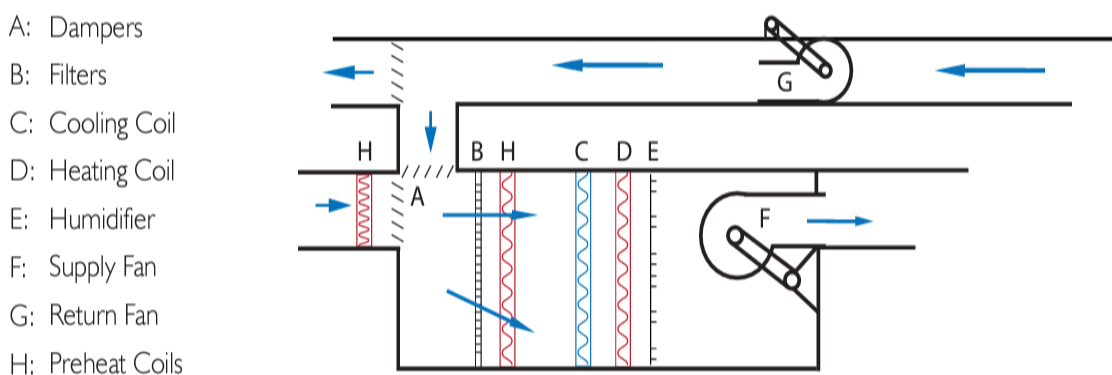
Ο επεξεργασμένος αέρας ωθείται μέσω του ανεμιστήρα προσαγωγής (Supply Fan, F), ο οποίος δημιουργεί την απαραίτητη πίεση για τη μεταφορά του αέρα στους χώρους που εξυπηρετεί το σύστημα.

## 6. Επιστροφή Αέρα (G):

Ο αέρας από τον χώρο επιστρέφει πίσω στη μονάδα μέσω του ανεμιστήρα επιστροφής (Return Fan, G). Ο επιστρεφόμενος αέρας μπορεί να ανακυκλωθεί και να αναμειχθεί με φρέσκο αέρα, εξοικονομώντας ενέργεια. Το σύστημα προσαρμόζει τη θερμοκρασία του αέρα σύμφωνα με τις απαιτήσεις, είτε αυξάνοντας είτε μειώνοντάς την μέσω των εναλλακτών θερμότητας. Ο υγραντήρας βοηθά στη διατήρηση των επιθυμητών επιπέδων υγρασίας, διασφαλίζοντας άνετες συνθήκες για τους χρήστες. Τέλος με την ανακύκλωση του αέρα μέσω του ανεμιστήρα επιστροφής, μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας, καθώς δεν απαιτείται συνεχής ανανέωση του αέρα. Αυτό το σύστημα είναι κατάλληλο για εσωτερικούς χώρους όπου απαιτείται σταθερός έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας, όπως γραφεία, εμπορικά κέντρα ή κατοικίες. Παρέχει άνετες συνθήκες για τους χρήστες, ενώ παράλληλα εξοικονομεί ενέργεια μέσω της ανακύκλωσης του αέρα και του ελέγχου της εισαγωγής φρέσκου αέρα.[5]

### 2.2.3 Σύστημα προθέρμανσης

Η προθέρμανση είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιβάλλοντα με χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, καθώς προλαμβάνει την υπερβολική ψύξη των άλλων εναλλακτών θερμότητας και βοηθά στη διατήρηση σταθερών θερμοκρασιών



Εικόνα 8: Σύστημα προθέρμανσης

### 1. Είσοδος Αέρα:

Ο αέρας εισέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον και περνά μέσω των ρυθμιζόμενων τάμπερ σταθερής παροχής (Dampers, A), οι οποίοι ρυθμίζουν τη ροή του αέρα. Οι αποσβεστήρες ελέγχουν την ποσότητα φρέσκου αέρα που εισέρχεται στο σύστημα, ανάλογα με τις ανάγκες προθέρμανσης.

## **2. Προθέρμανση (H):**

Ο αέρας περνά από τα πηνία προθέρμανσης (Preheat Coils, H). Αυτά τα πηνία είναι σχεδιασμένα να θερμαίνουν τον αέρα αρχικά, ειδικά σε πολύ χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, προκειμένου να αποφευχθεί η ψύξη άλλων εξαρτημάτων του συστήματος. Η προθέρμανση εξασφαλίζει ότι ο αέρας που θα περάσει από τα επόμενα στάδια δεν θα είναι υπερβολικά κρύος.

## **3. Φιλτράρισμα (B):**

Μετά την προθέρμανση, ο αέρας περνά από φίλτρα (Filters, B), που αφαιρούν σωματίδια, σκόνη και άλλους ρύπους. Αυτό διασφαλίζει ότι ο αέρας που θα συνεχίσει προς τα επόμενα στάδια είναι καθαρός.

## **4. Ψύξη (C) και Θέρμανση (D):**

Ο φιλτραρισμένος και προθερμασμένος αέρας προχωρά στους εναλλάκτες θερμότητας για να ρυθμιστεί η θερμοκρασία του:

- Ψύξη: Εάν απαιτείται, περνά από τον εναλλάκτη ψύξης (Cooling Coil, C) για να μειωθεί η θερμοκρασία του.
- Θέρμανση: Εάν απαιτείται υψηλότερη θερμοκρασία, περνά από τον εναλλάκτη θέρμανσης (Heating Coil, D).

## **5. Υγρασία (E):**

Στη συνέχεια, ο αέρας περνά από τον υγραντήρα (Humidifier, E), όπου προστίθεται υγρασία αν χρειάζεται. Αυτό είναι σημαντικό για τη διατήρηση της επιθυμητής υγρασίας, ιδιαίτερα σε ψυχρά κλίματα όπου ο αέρας μπορεί να είναι ξηρός.

## **6. Προώθηση του Αέρα (F):**

Ο επεξεργασμένος αέρας ωθείται από τον ανεμιστήρα προσαγωγής (Supply Fan, F), ο οποίος διασφαλίζει ότι ο αέρας θα φτάσει στους χώρους που εξυπηρετεί το σύστημα.

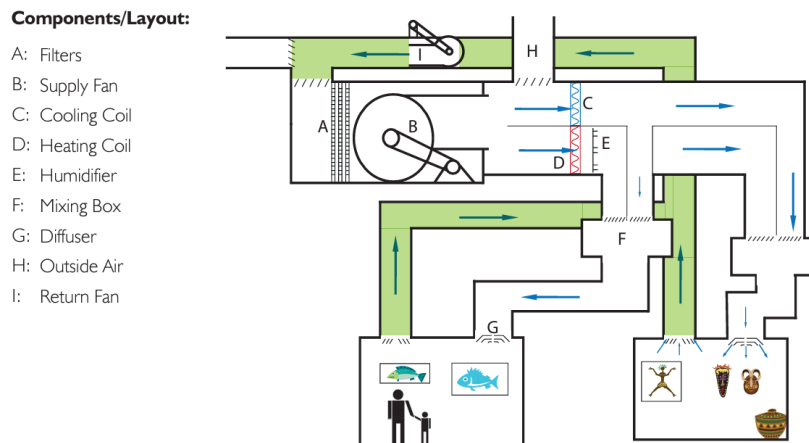
## **7. Επιστροφή Αέρα (G):**

Ο αέρας που δεν έχει χρησιμοποιηθεί επιστρέφει πίσω στο σύστημα μέσω του ανεμιστήρα επιστροφής (Return Fan, G), όπου μπορεί να ανακυκλωθεί και να αναμειχθεί με νέο εξωτερικό αέρα, εξοικονομώντας ενέργεια.

Το σύστημα προθέρμανσης είναι ιδανικό για περιοχές με ψυχρά κλίματα, όπου η εισαγωγή πολύ ψυχρού αέρα μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του κύριου συστήματος θέρμανσης και ψύξης. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως εμπορικά κτίρια, βιομηχανικούς χώρους, και κτίρια όπου απαιτείται σταθερή

θερμοκρασία και υγρασία για τη διασφάλιση της άνεσης των χρηστών. Εξασφαλίζει ότι ο αέρας εισέρχεται στο κύριο σύστημα σε μια θερμοκρασία που δεν προκαλεί προβλήματα στην απόδοση των άλλων εξαρτημάτων. Το προθερμασμένο περιβάλλον βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση, καθώς απαιτείται λιγότερη ενέργεια για τη ρύθμιση της τελικής θερμοκρασίας του αέρα.[5]

## 2.2.4 Μονάδα χειρισμού αέρα διπλού αγωγού



Εικόνα 9: Μονάδα χειρισμού αέρα διπλού αγωγού

### 1. Εισαγωγή Εξωτερικού Αέρα (Outside Air):

Ο αέρας εισέρχεται στη μονάδα από το εξωτερικό περιβάλλον, ο οποίος είναι συνήθως φρέσκος αλλά μπορεί να περιέχει ρύπους και σωματίδια.

### 2. Φίλτρα (A):

Ο αέρας περνά πρώτα από τα φίλτρα (A), όπου αφαιρούνται σωματίδια, σκόνη, γύρη και άλλοι ρύποι. Αυτή η διαδικασία καθαρίζει τον αέρα πριν προχωρήσει στη μονάδα, διασφαλίζοντας ότι ο αέρας που θα περάσει στην ψύξη ή θέρμανση είναι όσο το δυνατόν καθαρότερος.

### 3. Κεντρικός Αγωγός Παροχής (B):

Μετά το φιλτράρισμα, ο αέρας κινείται μέσω του ανεμιστήρα παροχής (B), ο οποίος ρυθμίζει τη ροή του αέρα και τον κατευθύνει είτε προς το στοιχείο ψύξης είτε προς το στοιχείο θέρμανσης.

### 4. Στοιχείο Ψύξης (C):

Αν ο χώρος χρειάζεται κρύο αέρα, τότε μέρος του φιλτραρισμένου αέρα περνάει από το στοιχείο ψύξης (C), όπου το ψυκτικό υγρό απορροφά θερμότητα από τον αέρα, ψύχοντάς τον. Έτσι, η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται πριν περάσει στα επόμενα στάδια.

#### 5. Στοιχείο Θέρμανσης (D):

Αν απαιτείται ζεστός αέρας, τότε μέρος του αέρα κατευθύνεται προς το στοιχείο θέρμανσης (D). Εκεί, το στοιχείο θέρμανσης αυξάνει τη θερμοκρασία του αέρα, θερμαίνοντάς τον ανάλογα με τις ανάγκες του κτιρίου.

#### 6. Υγραντήρας (E):

Μετά τη διαδικασία θέρμανσης ή ψύξης, ο αέρας μπορεί να περάσει από τον υγραντήρα (E) εάν απαιτείται έλεγχος της υγρασίας. Ο υγραντήρας προσθέτει υγρασία στον αέρα, κάτι που είναι σημαντικό για τη διατήρηση ενός άνετου και υγιούς περιβάλλοντος, ειδικά σε ξηρές κλιματικές συνθήκες ή κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

το σημείο αυτό, ο κρύος και ο ζεστός αέρας συνδυάζονται σε συγκεκριμένες αναλογίες στο κιβώτιο ανάμιξης (F). Αυτή η ανάμιξη επιτρέπει την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας πριν ο αέρας διοχετευτεί στον χώρο. Η μονάδα μπορεί να ρυθμίσει την ποσότητα του κρύου και του ζεστού αέρα ώστε να εξασφαλίσει σταθερή θερμοκρασία στους χώρους που εξυπηρετεί.

#### 7. Διανομέας (G):

Ο αναμεμιγμένος αέρας διανέμεται στους χώρους μέσω του διανομέα (G), ο οποίος κατευθύνει τη ροή του αέρα και τον διασπείρει ομοιόμορφα στο χώρο. Αυτό επιτυγχάνει την ισορροπημένη θερμοκρασία και υγρασία στον χώρο που εξυπηρετεί η μονάδα..

#### 8. Εξαερισμός με Εξωτερικό Αέρα (H):

Ο αέρας που δεν χρειάζεται να επανέλθει μπορεί να αποβληθεί έξω ή να ανακυκλωθεί μέσω του αγωγού ανακύκλωσης (I - Return Fan), όπου επιστρέφει στη μονάδα για φιλτράρισμα και επανεπεξεργασία. Η μονάδα μπορεί επίσης να εισάγει περισσότερο εξωτερικό αέρα, εφόσον αυτό είναι απαραίτητο για τον εξαερισμό του χώρου.

#### 9. Αγωγός Ανακύκλωσης Αέρα (I):

Ο αέρας που δεν χρειάζεται μπορεί να επιστραφεί στην μονάδα ή να αποβληθεί, ανάλογα με τις ανάγκες του εξαερισμού. Η μονάδα χειρισμού αέρα διπλού αγωγού είναι ένα εξαιρετικά ευέλικτο σύστημα HVAC που προορίζεται για περιβάλλοντα με υψηλές απαιτήσεις σε εξαερισμό, έλεγχο θερμοκρασίας και υγρασίας. Λόγω της δυνατότητάς της να ρυθμίζει και να διανέμει αέρα σε διάφορες θερμοκρασίες, είναι κατάλληλη για μια για μια ποικιλία εφαρμογών σε μεγάλους και απαιτητικούς χώρους, όπως εμπορικά

κέντρα, ξενοδοχεία, γραφεία και επαγγελματικούς χώρους, νοσοκομεία και κλινικές. Η δυνατότητα ανάμειξης ζεστού και κρύου αέρα επιτρέπει τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στους χώρους, εξασφαλίζοντας άνεση ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες. Ακόμα Χάρη στην ευελιξία του συστήματος διπλού αγωγού, αποφεύγονται ενεργειακές απώλειες, καθώς το σύστημα χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που είναι απαραίτητη για τη θέρμανση ή την ψύξη του αέρα, καθιστώντας το ενεργειακά αποδοτικό.[5]

### 2.3 Εφαρμογές και χρήση σε βιομηχανικά των συστημάτων HVAC

Τα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC) είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία βιομηχανικών εγκαταστάσεων, καθώς διασφαλίζουν τη διατήρηση κατάλληλων περιβαλλοντικών συνθηκών που είναι απαραίτητες για την παραγωγή, τη συντήρηση εξοπλισμού και την ασφάλεια των εργαζομένων. Οι βιομηχανικές εφαρμογές των συστημάτων HVAC είναι πολύπλοκες και απαιτούν την προσαρμογή των συστημάτων σε συγκεκριμένες ανάγκες, ανάλογα με τη φύση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Σε αυτό το κείμενο, θα εξετάσουμε τις διάφορες εφαρμογές των συστημάτων HVAC σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, καθώς και τις προκλήσεις και τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση αυτών των συστημάτων.

#### **Εφαρμογές των Συστημάτων HVAC σε Βιομηχανικά Περιβάλλοντα**

Οι βιομηχανικές εφαρμογές των συστημάτων HVAC διαφέρουν σημαντικά από τις οικιακές ή εμπορικές εφαρμογές λόγω των ειδικών απαιτήσεων που προκύπτουν από τη φύση της βιομηχανικής παραγωγής. Αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας, τον αερισμό των χώρων εργασίας, την απομάκρυνση ρύπων και την προστασία ευαίσθητων εξοπλισμών.

#### **Έλεγχος Θερμοκρασίας και Υγρασίας**

Σε πολλές βιομηχανίες, ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι κρίσιμος για τη διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων. Για παράδειγμα, στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών, η σταθερή θερμοκρασία και η σωστή υγρασία είναι απαραίτητες για την αποθήκευση και την επεξεργασία προϊόντων όπως τα γαλακτοκομικά, τα κρέατα και τα ποτά. Οι αντλίες θερμότητας και τα συστήματα ψύξης παίζουν βασικό ρόλο σε αυτές τις εφαρμογές, καθώς μπορούν να διατηρήσουν τις θερμοκρασίες εντός των απαιτούμενων ορίων, διασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα και την ασφάλεια των προϊόντων.[3]

Στη φαρμακευτική βιομηχανία, ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι εξίσου σημαντικός για τη διατήρηση της σταθερότητας και της δραστηριότητας των φαρμακευτικών προϊόντων. Τα συστήματα HVAC που χρησιμοποιούνται σε φαρμακευτικές εγκαταστάσεις είναι συχνά εξοπλισμένα με φίλτρα HEPA και άλλες τεχνολογίες καθαρισμού αέρα για να διασφαλίσουν ότι ο αέρας είναι απαλλαγμένος από μικροσωματίδια και μικροοργανισμούς που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων.

[10]

## **Αερισμός Χώρων Εργασίας**

Ο αερισμός είναι μια από τις πιο σημαντικές λειτουργίες των συστημάτων HVAC σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Σε πολλές βιομηχανίες, η παραγωγή συνοδεύεται από την έκλυση ρύπων, όπως καπνοί, αέρια, σκόνη και χημικές ουσίες, που μπορεί να είναι επιβλαβείς για την υγεία των εργαζομένων. Τα συστήματα HVAC είναι σχεδιασμένα για να παρέχουν επαρκή αερισμό, ώστε να απομακρύνουν αυτούς τους ρύπους και να εισάγουν καθαρό αέρα στους χώρους εργασίας.[4] Στη μεταλλουργική βιομηχανία, για παράδειγμα, ο αερισμός παίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων. Οι καμίνους και οι μηχανές παραγωγής θερμότητας παράγουν μεγάλες ποσότητες καυσαερίων, τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν γρήγορα και αποτελεσματικά. Οι εγκαταστάσεις αερισμού σε αυτές τις βιομηχανίες είναι εξοπλισμένες με ισχυρούς ανεμιστήρες και δίκτυα αεραγωγών για να διασφαλίσουν ότι οι χώροι παραμένουν καθαροί και ασφαλείς [7]

## **Προστασία Ευαίσθητων Εξοπλισμών**

Σε ορισμένες βιομηχανίες, όπως η ηλεκτρονική και η μικροηλεκτρονική, τα συστήματα HVAC είναι απαραίτητα για την προστασία ευαίσθητων εξοπλισμών από αλλαγές στη θερμοκρασία, την υγρασία και τη συσσώρευση σκόνης. Τα καθαρά δωμάτια (clean rooms) είναι χώροι με ελεγχόμενες συνθήκες αέρα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και μικροεπεξεργαστών. Σε αυτά τα δωμάτια, τα συστήματα HVAC διατηρούν τη θερμοκρασία και την υγρασία σε αυστηρά ελεγχόμενα επίπεδα, ενώ παράλληλα φιλτράρουν τον αέρα για να απομακρύνουν οποιαδήποτε σωματίδια που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στα προϊόντα.[12]

Στη βιομηχανία φαρμάκων και βιοτεχνολογίας, τα καθαρά δωμάτια είναι επίσης κρίσιμα για την παραγωγή φαρμάκων και άλλων βιολογικών προϊόντων. Τα συστήματα HVAC σε αυτά τα περιβάλλοντα είναι σχεδιασμένα για να διασφαλίζουν ότι ο αέρας παραμένει απαλλαγμένος από μικροβιολογικούς ρύπους, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την καθαρότητα και την ασφάλεια των προϊόντων.[3]

## **Τεχνολογίες HVAC στη Βιομηχανία**

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα HVAC για βιομηχανικές εφαρμογές ποικίλλουν ανάλογα με τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής. Ορισμένες από τις πιο κοινές τεχνολογίες περιλαμβάνουν:

### **α) Αντλίες Θερμότητας και Ψύκτες**

Οι αντλίες θερμότητας και οι ψύκτες χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Οι αντλίες θερμότητας είναι ιδιαίτερα αποδοτικές, καθώς μπορούν να μεταφέρουν θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον σε εσωτερικούς χώρους με χαμηλό ενεργειακό κόστος. Οι ψύκτες, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούνται για την ψύξη του αέρα ή του νερού που κυκλοφορεί σε συστήματα κλιματισμού και βιομηχανικές διαδικασίες.[3]



## **β) Συστήματα Φιλτραρίσματος Αέρα**

Τα συστήματα φιλτραρίσματος αέρα είναι απαραίτητα σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου η ποιότητα του αέρα είναι κρίσιμη για την παραγωγή και την υγεία των εργαζομένων. Τα φίλτρα HEPA είναι ικανά να αφαιρούν έως και το 99.97% των σωματιδίων από τον αέρα, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές σε καθαρά δωμάτια και φαρμακευτικές εγκαταστάσεις. Επιπλέον, συστήματα με φίλτρα ενεργού άνθρακα μπορούν να απομακρύνουν χημικές ουσίες και αέρια που μπορεί να είναι επιβλαβή. [10]

## **γ) Συμβατικοί και Προηγμένοι Ανεμιστήρες**

Οι ανεμιστήρες είναι κρίσιμο στοιχείο των συστημάτων HVAC σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, παρέχοντας τον αερισμό που απαιτείται για την απομάκρυνση των ρύπων και την εισαγωγή καθαρού αέρα. Οι συμβατικοί ανεμιστήρες περιλαμβάνουν φυγοκεντρικούς και αξονικούς ανεμιστήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία. Οι EC (Electronically Commutated) ανεμιστήρες είναι μια νεότερη τεχνολογία που προσφέρει υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και ακριβή έλεγχο ταχύτητας, καθιστώντας τους ιδανικούς για βιομηχανικές εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο αέρα.[4]

## **δ) Αυτοματισμοί και Έξυπνα Συστήματα HVAC**

Η ανάπτυξη τεχνολογιών αυτοματισμού και έξυπνων συστημάτων HVAC έχει φέρει σημαντικές βελτιώσεις στη διαχείριση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Με τη χρήση αισθητήρων, συστημάτων ελέγχου και πλατφορμών διαχείρισης κτιρίων (BMS), οι βιομηχανικές επιχειρήσεις μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχουν σε πραγματικό χρόνο τη λειτουργία των συστημάτων HVAC. Αυτό επιτρέπει την άμεση προσαρμογή της λειτουργίας των συστημάτων ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες του περιβάλλοντος, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνοντας την απόδοση.[3]

## **Προκλήσεις και Οφέλη των Συστημάτων HVAC στη Βιομηχανία**

Η χρήση συστημάτων HVAC στη βιομηχανία προσφέρει πολλαπλά οφέλη, αλλά δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Οι κύριες προκλήσεις περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, την πολυπλοκότητα των συστημάτων και την ανάγκη συμμόρφωσης με αυστηρούς κανονισμούς.

### **Οφέλη**

Τα συστήματα HVAC στη βιομηχανία συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, της ασφάλειας των εργαζομένων και της αποδοτικότητας των βιομηχανικών διαδικασιών. Η δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγρασίας επιτρέπει τη διατήρηση σταθερών συνθηκών, κάτι που είναι κρίσιμο για την ποιότητα των προϊόντων σε βιομηχανίες όπως τα τρόφιμα και η φαρμακευτική. Ο αποτελεσματικός αερισμός μειώνει τους κινδύνους για την υγεία των εργαζομένων, ενώ η προστασία των ευαίσθητων εξοπλισμών διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία των παραγωγικών διαδικασιών.[12]

### **Προκλήσεις**

Το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης αποτελεί σημαντική πρόκληση για τις βιομηχανικές επιχειρήσεις. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις απαιτούν σύνθετα συστήματα HVAC, τα οποία είναι ακριβά στην

εγκατάσταση και απαιτούν τακτική συντήρηση για να διατηρηθούν σε άριστη κατάσταση. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των συστημάτων απαιτεί εξειδικευμένη γνώση και εκπαίδευση για τους τεχνικούς, γεγονός που μπορεί να αυξήσει το κόστος και τον χρόνο συντήρησης.[3]

Επίσης, η συμμόρφωση με τους κανονισμούς και τα πρότυπα είναι κρίσιμη για τη βιομηχανία. Οι αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί απαιτούν τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών και πρακτικών, κάτι που μπορεί να αυξήσει το κόστος και να απαιτήσει συνεχή αναπροσαρμογή των συστημάτων. Η ανάγκη για συνεχή βελτίωση και προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις αποτελεί μια συνεχή πρόκληση για τις βιομηχανικές επιχειρήσεις.[7]

Τα συστήματα HVAC αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, παρέχοντας κρίσιμες λειτουργίες που διασφαλίζουν την ποιότητα των προϊόντων, την ασφάλεια των εργαζομένων και την αποδοτικότητα των παραγωγικών διαδικασιών. Παρά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι βιομηχανικές επιχειρήσεις, όπως το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, τα οφέλη από τη χρήση των συστημάτων HVAC υπερτερούν σαφώς. Η συνεχής ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όπως οι EC κινητήρες και τα έξυπνα συστήματα HVAC, προσφέρει νέες δυνατότητες για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Οι βιομηχανίες που επενδύουν σε σύγχρονα συστήματα HVAC μπορούν να επωφεληθούν από τη βελτιωμένη ποιότητα προϊόντων, τη μείωση του κόστους λειτουργίας και την αυξημένη ανταγωνιστικότητα στην αγορά. Η διαρκής εξέλιξη των τεχνολογιών HVAC και η προσαρμογή στις νέες περιβαλλοντικές απαιτήσεις θα συνεχίσουν να αποτελούν βασικούς παράγοντες για τη βιομηχανική ανάπτυξη και τη βιώσιμη λειτουργία των εγκαταστάσεων.

## 2.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ενεργειακή αποδοτικότητα

Τα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC) είναι απαραίτητα για τη διατήρηση άνετων και υγιεινών συνθηκών στους εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, η λειτουργία τους συνδέεται άμεσα με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κυρίως λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και της χρήσης ψυκτικών υγρών που μπορεί να συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Σε αυτό το κείμενο θα εξετάσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συστημάτων HVAC, τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και τις νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται για τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος τους.

### **Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Συστημάτων HVAC**

Η λειτουργία των συστημάτων HVAC έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που περιλαμβάνουν την υψηλή κατανάλωση ενέργειας, την έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και τη χρήση ψυκτικών υγρών με υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential - GWP).

## **Κατανάλωση Ενέργειας και Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα**

Τα συστήματα HVAC αποτελούν μια από τις κύριες πηγές κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια. Σε πολλές περιπτώσεις, η κατανάλωση ενέργειας από τα συστήματα HVAC μπορεί να αντιπροσωπεύει έως και το 50% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου.[3] Αυτή η υψηλή κατανάλωση ενέργειας έχει άμεσες επιπτώσεις στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ιδιαίτερα όταν η ενέργεια προέρχεται από συμβατικές πηγές, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Η έκλυση CO<sub>2</sub> είναι η κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής, και τα κτίρια είναι υπεύθυνα για ένα σημαντικό ποσοστό των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με την International Energy Agency (IEA), τα κτίρια ευθύνονται για το 28% των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> που σχετίζονται με την ενέργεια. [10] Τα συστήματα HVAC συμβάλλουν σημαντικά σε αυτό το ποσοστό, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη για βελτίωση της ενεργειακής τους αποδοτικότητας.[11]

## **Χρήση Ψυκτικών Υγρών και Επιπτώσεις στο Όζον και την Κλιματική Αλλαγή**

Τα ψυκτικά υγρά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα HVAC είναι επίσης σημαντική πηγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Πολλά από τα παραδοσιακά ψυκτικά υγρά, όπως τα χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και τα υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), έχουν υψηλό δυναμικό καταστροφής του στρώματος του όζοντος και συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Αν και η χρήση των CFCs έχει απαγορευτεί από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, τα HCFCs συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες.[11]

Ακόμη και τα νεότερα ψυκτικά υγρά, όπως τα υδροφθοράνθρακες (HFCs), τα οποία αντικατέστησαν τα CFCs και HCFCs, έχουν υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι εκπομπές αυτών των ψυκτικών μπορούν να έχουν μακροχρόνιες επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή, εάν δεν αντιμετωπιστούν κατάλληλα μέσω της ανάπτυξης πιο φιλικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών λύσεων.[11]

## **Βελτίωση της Ενεργειακής Αποδοτικότητας στα Συστήματα HVAC**

Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των συστημάτων HVAC αποτελεί βασική στρατηγική για τη μείωση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Η ενεργειακή αποδοτικότητα μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών, της αναβάθμισης υφιστάμενων συστημάτων και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## **Τεχνολογίες Υψηλής Απόδοσης**

Οι αντλίες θερμότητας είναι μια από τις πιο αποδοτικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στα συστήματα HVAC. Οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν μια μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για να μεταφέρουν θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον σε εσωτερικούς χώρους το χειμώνα και να απομακρύνουν τη θερμότητα το καλοκαίρι. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να είναι έως και 300% πιο αποδοτική σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους θέρμανσης που βασίζονται σε καύση καυσίμων.[3] Επιπλέον, οι EC (Electronically Commutated) κινητήρες είναι μια καινοτόμος τεχνολογία που προσφέρει υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα στα συστήματα HVAC. Οι EC κινητήρες είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενοι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι οποίοι είναι πιο αποδοτικοί από τους παραδοσιακούς κινητήρες

εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπως οι ανεμιστήρες και οι αντλίες, επιτρέποντας την ακριβή ρύθμιση της ταχύτητας και της κατανάλωσης ενέργειας.[4]

### **Αναβάθμιση Υφιστάμενων Συστημάτων**

Η ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων συστημάτων HVAC μπορεί επίσης να συμβάλει σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την αντικατάσταση παλιών, αναποτελεσματικών συστημάτων με νέα, πιο αποδοτικά μοντέλα, καθώς και την εφαρμογή βελτιώσεων όπως η προσθήκη αυτοματισμών και η βελτίωση της μόνωσης των αεραγωγών και των σωληνώσεων.[3]

Σύμφωνα με μελέτες, η αναβάθμιση των συστημάτων HVAC σε κτίρια μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 20% έως 40% [10]. Οι αναβαθμίσεις αυτές δεν είναι μόνο σημαντικές για την μείωση του ενεργειακού κόστους, αλλά και για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος.[3]

### **Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα HVAC είναι μια ακόμη στρατηγική για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση νερού ή χώρων. Επιπλέον, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή σταθερής θερμοκρασίας σε συστήματα θέρμανσης και ψύξης, μειώνοντας την ανάγκη για χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές. [10]

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν συμβάλλει μόνο στη μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας, αλλά και στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, προωθώντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και προστασία του περιβάλλοντος.

### **Νέες Τεχνολογίες και Καινοτομίες στα Συστήματα HVAC**

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και καινοτομιών στα συστήματα HVAC είναι κρίσιμη για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν συστήματα αυτοματισμού, βελτιώσεις στη διαχείριση της ενέργειας και νέες λύσεις για την αντιμετώπιση των ψυκτικών υγρών με υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη.

### **Αυτοματισμοί και Έξυπνα Συστήματα HVAC**

Η ενσωμάτωση αυτοματισμών και έξυπνων συστημάτων διαχείρισης είναι μια από τις πιο σημαντικές καινοτομίες στον τομέα των HVAC. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αισθητήρες και συστήματα ελέγχου για να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τη λειτουργία των συστημάτων HVAC και να προσαρμόζουν τη λειτουργία τους ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη και τις συνθήκες του περιβάλλοντος.[4]

Για παράδειγμα, οι έξυπνοι θερμοστάτες μπορούν να ρυθμίζουν αυτόματα τη θερμοκρασία του χώρου ανάλογα με το πόσο κατειλημμένος είναι ο χώρος, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας όταν δεν χρειάζεται. Επιπλέον, τα συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS) μπορούν να συνδυάζουν τη λειτουργία

των συστημάτων HVAC με άλλες λειτουργίες του κτιρίου, όπως ο φωτισμός και η ασφάλεια, για να επιτύχουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα .[3]

### **Βελτιωμένη Διαχείριση Ενέργειας**

Η βελτίωση της διαχείρισης της ενέργειας στα συστήματα HVAC περιλαμβάνει τη χρήση πιο αποδοτικών τεχνολογιών, όπως οι inverter και οι μετατροπείς συχνότητας, που επιτρέπουν την προσαρμογή της λειτουργίας των συστημάτων ανάλογα με την πραγματική ζήτηση. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας κατά 30% έως 50% σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα . [10] Επιπλέον, η χρήση ενεργειακών αναλύσεων και προσομοιώσεων μπορεί να βοηθήσει τους μηχανικούς και τους διαχειριστές κτιρίων να κατανοήσουν καλύτερα τη συμπεριφορά των συστημάτων HVAC και να εντοπίσουν ευκαιρίες για βελτίωση της αποδοτικότητας. Αυτές οι αναλύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό ενεργειακών απωλειών και την εφαρμογή βελτιώσεων που θα μειώσουν το ενεργειακό κόστος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις .[3]

### **Αντικατάσταση Ψυκτικών Υγρών με Χαμηλό GWP**

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά ζητήματα που αντιμετωπίζει ο τομέας των HVAC είναι η χρήση ψυκτικών υγρών με υψηλό GWP. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, έχουν αναπτυχθεί νέα ψυκτικά υγρά με χαμηλό GWP, τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά ψυκτικά σε υπάρχοντα συστήματα χωρίς να μειωθεί η απόδοση.[11]

Για παράδειγμα, το ψυκτικό R-32 είναι ένα νέο ψυκτικό με πολύ χαμηλότερο GWP σε σχέση με τα παλαιότερα HFCs, και έχει ήδη αρχίσει να χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές HVAC. Επιπλέον, οι ερευνητές συνεχίζουν να αναπτύσσουν νέες λύσεις, όπως ψυκτικά υγρά βασισμένα σε φυσικά αέρια όπως το προπάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα, που έχουν ακόμη χαμηλότερο GWP και δεν καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος .[3]

### **Προκλήσεις και Προοπτικές για την Αειφορία των Συστημάτων HVAC**

Παρά τις σημαντικές εξελίξεις και τις τεχνολογικές καινοτομίες, οι προκλήσεις για την αειφορία των συστημάτων HVAC παραμένουν σημαντικές. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης για ψύξη και θέρμανση, ιδίως σε αναπτυσσόμενες χώρες, αυξάνει την πίεση για την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον συστημάτων.

### **Αύξηση της Ζήτησης για Ψύξη**

Η ζήτηση για ψύξη αυξάνεται ραγδαία σε όλο τον κόσμο, κυρίως λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της ευημερίας στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η IEA προβλέπει ότι η ζήτηση για ψύξη θα τριπλασιαστεί μέχρι το 2050, οδηγώντας σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εάν δεν αναπτυχθούν πιο αποδοτικές λύσεις . [10]

Αυτό δημιουργεί μια σημαντική πρόκληση για τον τομέα των HVAC, καθώς η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα είναι κρίσιμες για την αντιμετώπιση αυτής της αυξανόμενης ζήτησης. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή πιο αποδοτικών συστημάτων ψύξης, όπως οι

ψυκτικοί κύκλοι με συμπίεση ατμού και οι τεχνολογίες απορρόφησης, θα είναι βασικές στρατηγικές για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. [10]

### **Συμμόρφωση με Περιβαλλοντικούς Κανονισμούς**

Οι αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί που ισχύουν σε πολλές χώρες επιβάλλουν τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον ψυκτικών υγρών και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια. Η συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς μπορεί να είναι δαπανηρή και να απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και εξοπλισμό.

Ωστόσο, οι κανονισμοί αυτοί αποτελούν επίσης μια ευκαιρία για την προώθηση της καινοτομίας και την ανάπτυξη πιο βιώσιμων λύσεων στον τομέα των HVAC. Οι κατασκευαστές και οι διαχειριστές κτιρίων πρέπει να συνεργάζονται στενά για να εξασφαλίσουν ότι τα συστήματα HVAC συμμορφώνονται με τις νέες απαιτήσεις και παράλληλα προσφέρουν υψηλή απόδοση και αποδοτικότητα.[11]

Τα συστήματα HVAC είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της άνεσης και της υγιεινής στους εσωτερικούς χώρους, αλλά η λειτουργία τους έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η υψηλή κατανάλωση ενέργειας και η χρήση ψυκτικών υγρών με υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι δύο από τα κύρια περιβαλλοντικά ζητήματα που αντιμετωπίζει ο τομέας των HVAC.

Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι κρίσιμες στρατηγικές για τη μείωση αυτών των επιπτώσεων. Οι νέες τεχνολογίες, όπως οι αντλίες θερμότητας, οι EC κινητήρες και τα έξυπνα συστήματα HVAC, προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Παρά τις προκλήσεις, οι προοπτικές για την αειφορία των συστημάτων HVAC είναι θετικές. Με τη συνεχή ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την προσαρμογή στις νέες περιβαλλοντικές απαιτήσεις, ο τομέας των HVAC μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κτιρίων και στην προστασία του περιβάλλοντος.

## **2.5 Τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των HVAC**

Ο τομέας των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC) έχει γνωρίσει σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις τα τελευταία χρόνια, καθώς οι αυξανόμενες απαιτήσεις για ενεργειακή απόδοση, περιβαλλοντική βιωσιμότητα και βελτιωμένη άνεση στους εσωτερικούς χώρους έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων λύσεων και καινοτομιών. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των HVAC περιλαμβάνουν τη βελτίωση των υφιστάμενων συστημάτων, την εισαγωγή νέων τεχνολογιών ψύξης και θέρμανσης, την ενσωμάτωση αυτοματισμών και έξυπνων συστημάτων, καθώς και την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον ψυκτικών υγρών. Σε αυτό το κείμενο, θα εξετάσουμε τις κυριότερες τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν διαμορφώσει και συνεχίζουν να διαμορφώνουν τον τομέα των HVAC.

### **Εξελίξεις στην Τεχνολογία των Αντλιών Θερμότητας**

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μια από τις πιο αποδοτικές τεχνολογίες στον τομέα των HVAC, καθώς επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον σε εσωτερικούς χώρους με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των αντλιών θερμότητας έχουν επικεντρωθεί στην αύξηση της απόδοσης και της ευελιξίας των συστημάτων αυτών, επιτρέποντας τη χρήση τους σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών.

### **Αντλίες Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης**

Οι αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν αυξημένη ενεργειακή απόδοση, ακόμη και σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες. Οι νέες αντλίες θερμότητας είναι εξοπλισμένες με προηγμένους συμπιεστές και εναλλάκτες θερμότητας, που επιτρέπουν τη λειτουργία τους σε θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν, χωρίς να μειώνεται η απόδοσή τους.[3] Αυτό καθιστά τις αντλίες θερμότητας ιδανικές για χρήση σε περιοχές με κρύο κλίμα, όπου οι παραδοσιακές αντλίες θερμότητας μπορεί να μην είναι αποδοτικές.

### **Υβριδικές Αντλίες Θερμότητας**

Οι υβριδικές αντλίες θερμότητας συνδυάζουν τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης, όπως ένας λέβητας φυσικού αερίου ή πετρελαίου. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την αυτόματη εναλλαγή μεταξύ των δύο συστημάτων, ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες και τις απαιτήσεις θέρμανσης του κτιρίου. Οι υβριδικές αντλίες θερμότητας προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και αποδοτικότητα, καθώς μπορούν να χρησιμοποιούν το πιο οικονομικό και αποδοτικό μέσο θέρμανσης ανάλογα με τις συνθήκες.[10]

### **Καινοτομίες στην Ψύξη και την Κλιματισμό**

Η ψύξη και ο κλιματισμός αποτελούν βασικές λειτουργίες των συστημάτων HVAC, και οι τεχνολογικές εξελίξεις σε αυτούς τους τομείς έχουν επικεντρωθεί στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αύξηση της άνεσης.

### **Εξατμιστική Ψύξη**

Η εξατμιστική ψύξη είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί την εξάτμιση του νερού για τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα. Αυτή η τεχνολογία είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε ξηρά κλίματα, όπου η χαμηλή υγρασία επιτρέπει την αποτελεσματική εξάτμιση του νερού και τη μείωση της θερμοκρασίας. Η εξατμιστική ψύξη καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, καθιστώντας την μια πιο βιώσιμη επιλογή για ψύξη σε πολλές εφαρμογές.[12]

### **Ψυκτικοί Κύκλοι Μεταβλητής Ροής Ψυκτικού (VRF)**

Τα συστήματα VRF (Variable Refrigerant Flow) είναι μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες κλιματισμού που χρησιμοποιούνται σήμερα. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν τον έλεγχο της ροής του ψυκτικού σε πολλαπλές εσωτερικές μονάδες, επιτρέποντας έτσι την ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας σε διαφορετικούς χώρους του κτιρίου. Τα συστήματα VRF προσφέρουν υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα,

καθώς προσαρμόζουν τη λειτουργία τους ανάλογα με τις ανάγκες, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνοντας την άνεση .[3]

### **Χρήση Φυσικών Ψυκτικών Υγρών**

Τα φυσικά ψυκτικά υγρά, όπως το προπάνιο (R-290), το αμμώνιο (R-717) και το διοξείδιο του άνθρακα (R-744), κερδίζουν έδαφος ως φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις στα παραδοσιακά ψυκτικά. Αυτά τα ψυκτικά υγρά έχουν πολύ χαμηλό ή μηδενικό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) και δεν καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος. Η χρήση τους σε συστήματα ψύξης και κλιματισμού μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και προάγει τη βιώσιμη ανάπτυξη.[11]

### **Ενσωμάτωση Αυτοματισμών και Έξυπνων Συστημάτων HVAC**

Η ενσωμάτωση αυτοματισμών και έξυπνων τεχνολογιών στα συστήματα HVAC έχει φέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα και τη διαχείριση της ενέργειας στα κτίρια. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο της λειτουργίας των συστημάτων HVAC και την προσαρμογή τους στις πραγματικές ανάγκες των χρηστών.

### **Έξυπνοι Θερμοστάτες και Αυτοματοποιημένος Έλεγχος**

Οι έξυπνοι θερμοστάτες είναι μια από τις πιο γνωστές και διαδεδομένες εφαρμογές έξυπνων τεχνολογιών στα συστήματα HVAC. Αυτοί οι θερμοστάτες χρησιμοποιούν αισθητήρες και αλγόριθμους για να κατανοούν τις συνήθειες των χρηστών και να ρυθμίζουν αυτόματα τη θερμοκρασία στους εσωτερικούς χώρους, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας όταν οι χώροι δεν χρησιμοποιούνται. Ο αυτοματοποιημένος έλεγχος των συστημάτων HVAC μέσω έξυπνων θερμοστατών μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 10% έως 15% .[4]

### **Συστήματα Διαχείρισης Κτιρίων (BMS)**

Τα Συστήματα Διαχείρισης Κτιρίων (Building Management Systems - BMS) είναι ολοκληρωμένα συστήματα που επιτρέπουν τον κεντρικό έλεγχο και τη διαχείριση όλων των συστημάτων ενός κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων HVAC, φωτισμού, ασφάλειας και πυροπροστασίας. Τα BMS επιτρέπουν την παρακολούθηση και τη ρύθμιση της λειτουργίας των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο, προσαρμόζοντας τη λειτουργία τους ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η χρήση BMS μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτιρίου κατά 20% έως 30%.[3]

### **Ενσωμάτωση Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και Μάθησης Μηχανών (ML)**

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μάθηση μηχανών (ML) βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές στον τομέα των HVAC. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την ανάπτυξη έξυπνων αλγορίθμων που μπορούν να προβλέψουν τις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης και αερισμού ενός κτιρίου με βάση δεδομένα όπως οι καιρικές συνθήκες, η κατανάλωση ενέργειας και οι συνήθειες των χρηστών. Η χρήση AI και ML στα συστήματα HVAC μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των λειτουργικών εξόδων.[12]



## **Φιλικά προς το Περιβάλλον Ψυκτικά Υγρά και Νέες Τεχνολογίες**

Η χρήση ψυκτικών υγρών με χαμηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) αποτελεί σημαντικό ζήτημα για τον τομέα των HVAC, καθώς η χρήση παραδοσιακών ψυκτικών με υψηλό GWP συμβάλλει σημαντικά στην κλιματική αλλαγή. Η ανάπτυξη νέων ψυκτικών υγρών και τεχνολογιών που είναι φιλικές προς το περιβάλλον είναι κρίσιμη για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

### **Ψυκτικά Υγρά Χαμηλού GWP**

Τα ψυκτικά υγρά χαμηλού GWP, όπως το R-32, και το R-290 (προπάνιο), έχουν αναπτυχθεί ως εναλλακτικές λύσεις στα παραδοσιακά HFCs, τα οποία έχουν υψηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αυτά τα νέα ψυκτικά υγρά έχουν σημαντικά χαμηλότερο GWP και είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Η αντικατάσταση των παραδοσιακών ψυκτικών με χαμηλού GWP υγρά μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα συστήματα HVAC.[11]

### **Ανάπτυξη Νέων Τεχνολογιών Συμπύεσης**

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών συμπύεσης που χρησιμοποιούν φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά υγρά είναι επίσης σημαντική για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων HVAC. Οι νέες τεχνολογίες συμπύεσης, όπως οι συμπιεστές με μαγνητικά έδρανα και οι συμπιεστές χωρίς ψήκτρες, προσφέρουν υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα και μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου .[3]

### **Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Βιώσιμη Ανάπτυξη**

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί κεντρικό στόχο για τον τομέα των HVAC, καθώς η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί όχι μόνο σε οικονομικά οφέλη αλλά και σε μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι εξελίξεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων HVAC έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, την αναβάθμιση των υφιστάμενων συστημάτων και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### **Αναβάθμιση Υφιστάμενων Συστημάτων HVAC**

Η αναβάθμιση των υφιστάμενων συστημάτων HVAC είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτό περιλαμβάνει την αντικατάσταση παλιών, αναποτελεσματικών συστημάτων με νέα, πιο αποδοτικά μοντέλα, καθώς και την προσθήκη αυτοματισμών και την εφαρμογή νέων τεχνολογιών διαχείρισης ενέργειας.[3]

### **Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια και η γεωθερμία, στα συστήματα HVAC είναι μια στρατηγική που μπορεί να μειώσει την κατανάλωση συμβατικής ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση του νερού ή του αέρα στα συστήματα HVAC, μειώνοντας την ανάγκη για χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.[10]

### **Βελτίωση της Μόνωσης και της Διαχείρισης Αέρα**

Η βελτίωση της μόνωσης των αεραγωγών και των σωληνώσεων, καθώς και η χρήση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των ενεργειακών απωλειών στα συστήματα HVAC. Η χρήση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας επιτρέπει τη χρήση της θερμότητας που απορρίπτεται από τα συστήματα HVAC για τη θέρμανση ή την ψύξη άλλων περιοχών του κτιρίου, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας.[3]

### **Προκλήσεις και Προοπτικές για τις Τεχνολογίες HVAC**

Παρά τις σημαντικές εξελίξεις, ο τομέας των HVAC αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις, κυρίως λόγω των αυξημένων απαιτήσεων για ενεργειακή αποδοτικότητα και περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

#### **Αύξηση της Ζήτησης για Ψύξη**

Η ζήτηση για ψύξη αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες, κυρίως λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης του βιοτικού επιπέδου σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Η International Energy Agency (IEA) προβλέπει ότι η ζήτηση για ψύξη θα τριπλασιαστεί έως το 2050, οδηγώντας σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. [10] Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και η ανάπτυξη νέων, πιο αποδοτικών συστημάτων ψύξης θα είναι κρίσιμη για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης.

#### **Συμμόρφωση με Περιβαλλοντικούς Κανονισμούς**

Οι αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί που ισχύουν σε πολλές χώρες επιβάλλουν τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον ψυκτικών υγρών και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια. Η συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς μπορεί να είναι δαπανηρή και να απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και εξοπλισμό. Ωστόσο, οι κανονισμοί αυτοί αποτελούν επίσης μια ευκαιρία για την προώθηση της καινοτομίας και την ανάπτυξη πιο βιώσιμων λύσεων στον τομέα των HVAC.[11]

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των HVAC έχουν φέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την άνεση στους εσωτερικούς χώρους. Από τις αντλίες θερμότητας υψηλής απόδοσης και τα συστήματα VRF μέχρι τα έξυπνα συστήματα ελέγχου και τα ψυκτικά υγρά χαμηλού GWP, οι νέες τεχνολογίες προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Παρά τις προκλήσεις, οι προοπτικές για τον τομέα των HVAC είναι θετικές. Η συνεχής ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και η προσαρμογή στις νέες περιβαλλοντικές απαιτήσεις θα συνεχίσουν να οδηγούν την ανάπτυξη του κλάδου, προσφέροντας λύσεις που συμβάλλουν στη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος.

## Κεφάλαιο 3 Βασικές Αρχές και Τεχνολογίες των ανεμιστήρων

### 3.1 Εισαγωγή στους ανεμιστήρες

Οι ανεμιστήρες αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία στα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC). Είναι υπεύθυνοι για την κυκλοφορία του αέρα, τη διανομή θερμότητας και την ψύξη, καθώς και για την απομάκρυνση των ρύπων από τους εσωτερικούς χώρους. Χωρίς την παρουσία και τη σωστή λειτουργία των ανεμιστήρων, τα συστήματα HVAC δεν θα μπορούσαν να επιτύχουν τους στόχους τους όσον αφορά την άνεση, την ποιότητα του αέρα και την ενεργειακή απόδοση. Αυτή η εισαγωγή θα εξετάσει τη σημασία των ανεμιστήρων στα συστήματα HVAC, τους διαφορετικούς τύπους ανεμιστήρων που χρησιμοποιούνται, τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα, καθώς και τις επιπτώσεις τους στην ενεργειακή απόδοση και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

#### **Σημασία των Ανεμιστήρων στα Συστήματα HVAC**

Οι ανεμιστήρες στα συστήματα HVAC είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά του αέρα μέσω των αεραγωγών και την εξασφάλιση της σωστής κυκλοφορίας του σε όλους τους χώρους ενός κτιρίου. Αυτό επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας και του κρύου αέρα, διατηρώντας έτσι σταθερές και άνετες συνθήκες θερμοκρασίας σε όλο το κτίριο. Επιπλέον, οι ανεμιστήρες συμβάλλουν στην απομάκρυνση των ρύπων από τον αέρα, όπως η σκόνη, οι καπνοί, και τα μικροσωματίδια, βελτιώνοντας την ποιότητα του αέρα και προστατεύοντας την υγεία των κατοίκων.[3]

Η λειτουργία των ανεμιστήρων είναι επίσης κρίσιμη για τη σωστή λειτουργία άλλων στοιχείων του συστήματος HVAC, όπως οι λέβητες, οι αντλίες θερμότητας και τα κλιματιστικά. Οι ανεμιστήρες βοηθούν στην αποβολή της θερμότητας από τους λέβητες και τους συμπιεστές, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν τη μεταφορά της θερμής ή ψυχρής ενέργειας στους χώρους όπου είναι απαραίτητη. Χωρίς ανεμιστήρες, η ενεργειακή απόδοση αυτών των συστημάτων θα ήταν σημαντικά μειωμένη, οδηγώντας σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και λειτουργικά κόστη.[12]

#### **Τύποι Ανεμιστήρων στα Συστήματα HVAC**

Οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα HVAC χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: φυγοκεντρικοί και αξονικοί ανεμιστήρες. Κάθε τύπος ανεμιστήρα έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθιστώντας τον κατάλληλο για διαφορετικές εφαρμογές ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος και τις συνθήκες του κτιρίου.

**Φυγοκεντρικοί Ανεμιστήρες:** Μεταφέρουν τον αέρα μέσω φυγοκεντρικής δύναμης, παράγοντας υψηλή πίεση και επιτρέποντας τη μεταφορά του αέρα σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμα και σε δίκτυα αεραγωγών με υψηλή αντίσταση. Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και μεγάλα κτίρια, όπου απαιτείται αυξημένη ροή αέρα

**Αξονικοί Ανεμιστήρες:** Δημιουργούν ροή αέρα με χαμηλή πίεση αλλά υψηλό όγκο, καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές όπου χρειάζεται μεταφορά μεγάλων όγκων αέρα σε μικρές αποστάσεις, όπως

στους ανεμιστήρες εξαγωγής και οροφής. Οι αξονικοί ανεμιστήρες είναι πιο αποδοτικοί σε περιπτώσεις όπου η ποσότητα αέρα είναι προτεραιότητα αντί της πίεσης.

### **Τεχνολογικές Εξελίξεις στους Ανεμιστήρες HVAC**

Οι τεχνολογικές καινοτομίες στους ανεμιστήρες των συστημάτων HVAC εστιάζουν στην ενεργειακή αποδοτικότητα, τη μείωση του θορύβου και την ανθεκτικότητα. Στη συνέχεια σημαντικές τεχνολογίες που έχουν ενσωματωθεί στα σύγχρονα συστήματα περιλαμβάνουν τους κινητήρες EC (Electronically Commutated), τον αεροδυναμικό σχεδιασμό πτερυγίων και τους έξυπνους αυτοματισμούς.

**Κινητήρες EC:** Αυτοί οι ηλεκτρονικά ελεγχόμενοι κινητήρες προσφέρουν υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ταχύτητας του ανεμιστήρα. Αντίθετα με τους παραδοσιακούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, οι EC κινητήρες επιτρέπουν την εξοικονόμηση ενέργειας κατά 30% έως 50% και χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν μεταβαλλόμενη ταχύτητα .

**Αεροδυναμικός Σχεδιασμός Πτερυγίων:** Η βελτίωση του αεροδυναμικού σχεδιασμού των πτερυγίων αυξάνει την αποδοτικότητα των ανεμιστήρων, μειώνοντας τις απώλειες αέρα και ελαττώνοντας το θόρυβο. Αυτές οι βελτιώσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται ησυχία, όπως σε κτίρια γραφείων .

**Έξυπνοι Ανεμιστήρες και Αυτοματισμοί:** Οι σύγχρονοι ανεμιστήρες εξοπλίζονται με αισθητήρες και συστήματα ελέγχου που ρυθμίζουν την ταχύτητα και τη ροή του αέρα με βάση τις ανάγκες του χώρου. Με τη σύνδεσή τους σε συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS), επιτυγχάνεται καλύτερη διαχείριση της ενέργειας και άνεση για τους χρήστες

### **Επιπτώσεις στην Ενεργειακή Αποδοτικότητα και την Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα**

Η ενεργειακή αποδοτικότητα των ανεμιστήρων στα συστήματα HVAC έχει άμεσο αντίκτυπο στη συνολική κατανάλωση ενέργειας και στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός κτιρίου. Οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούν EC κινητήρες και αεροδυναμικά πτερύγια μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας, μειώνοντας έτσι τα λειτουργικά κόστη και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Σύμφωνα με μελέτες, η εφαρμογή ανεμιστήρων υψηλής απόδοσης σε συστήματα HVAC μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 20% έως 40%, ανάλογα με το σύστημα και το μέγεθος του κτιρίου.

Οι ανεμιστήρες αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία για την επιτυχία των συστημάτων HVAC. Με τις τεχνολογικές εξελίξεις και τη βελτιωμένη ενεργειακή αποδοτικότητα, οι ανεμιστήρες συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος και στην ενίσχυση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των κτιρίων, ενώ διασφαλίζουν άνετες συνθήκες για τους εσωτερικούς χώρους. Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών στους ανεμιστήρες, η ενσωμάτωση EC κινητήρων, και η αυτοματοποίηση συμβάλλουν στην επίτευξη βιώσιμων και οικονομικά αποδοτικών κτιρίων.

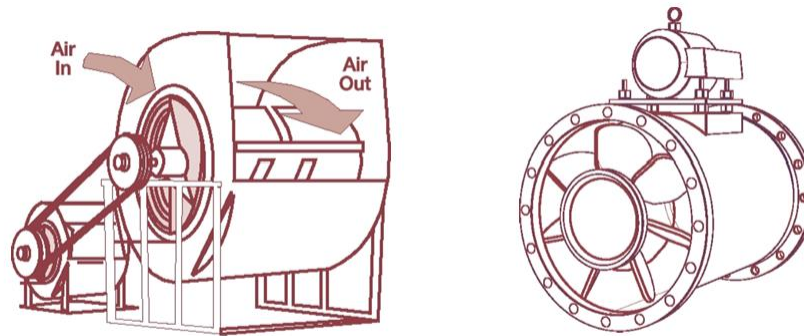
### 3.2 Τύποι ανεμιστήρων και οι αποδόσεις τους

Η επιλογή του ανεμιστήρα και του φυσητήρα εξαρτάται από τον ρυθμό ροής όγκου, την πίεση, τον τύπο του διακινούμενου υλικού, τους περιορισμούς του χώρου και την απόδοση. Η απόδοση των ανεμιστήρων διαφέρει από σχέδιο σε σχέδιο και επίσης από τύπο σε τύπο.

Τύπος ανεμιστήρα	Αποδοτικότητα αιχμής Εύρος
<b>Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες</b>	
Αεροτομή, καμπυλωτή/κλινή προς τα πίσω	79-83
Τροποποιημένη ακτινική	72-79
Ακτινική	69-75
Φυσητήρας πίεσης	58-68
Καμπύλη προς τα εμπρός	60-65
<b>Αξονικός ανεμιστήρας</b>	
Πτερύγιο αξονικό	78-85
Σωλήνας αξονικός	67-72

Πίνακας 1: Αποδόσεις ανεμιστήρων

Το τυπικό εύρος απόδοσης ανεμιστήρων δίνεται στον πίνακα 1. Οι ανεμιστήρες χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες: φυγοκεντρική ροή και αξονική ροή. Στη φυγοκεντρική ροή, η ροή του αέρα αλλάζει κατεύθυνση δύο φορές - μία κατά την είσοδο και μία κατά την έξοδο (καμπύλη προς τα εμπρός, καμπύλη προς τα πίσω ή κεκλιμένη, ακτινική). Στην αξονική ροή, ο αέρας εισέρχεται και εξέρχεται από τον ανεμιστήρα χωρίς αλλαγή κατεύθυνσης (βλέπε εικόνα 10).



Εικόνα 10: Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας (αριστερά), αξονικός (δεξιά)

Οι κυριότεροι τύποι φυγοκεντρικών ανεμιστήρων είναι:

### 1. Ανεμιστήρας με Κεκλιμένα Πτερύγια (Radial ή Centrifugal Fans)

Ο ανεμιστήρας με κεκλιμένα πτερύγια χαρακτηρίζεται από την τοποθέτηση των πτερυγίων κάθετα στον άξονα του ανεμιστήρα, προκαλώντας τη ροή του αέρα να κινείται ακτινωτά από το κέντρο προς την περιφέρεια. Αυτός ο τύπος ανεμιστήρα αναπτύσσει φυγοκεντρική δύναμη, η οποία ωθεί τον αέρα προς τα έξω, δημιουργώντας σημαντική πίεση. Είναι κατάλληλος για εφαρμογές που απαιτούν μέτρια ή υψηλή πίεση, αλλά η ροή αέρα είναι συνήθως περιορισμένη. Ο ανεμιστήρας αυτός αποδίδει καλά σε συστήματα που απαιτούν την κίνηση αέρα σε αεραγωγούς με σχετικά μικρές διαστάσεις ή για γενικό αερισμό σε βιομηχανικούς χώρους. Ιδανικοί για εφαρμογές HVAC, αυτού του τύπου οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται σε συστήματα κλιματισμού ή εξαερισμού με μεσαία ή υψηλή πίεση, για την κυκλοφορία του αέρα σε μεγάλους χώρους ή εγκαταστάσεις.

Λεπίδα πτερυγίου (ακτινική λεπίδα)	Καμπύλη προς τα εμπρός (πολλαπλών πτερυγίων)	Καμπύλη προς τα πίσω
		

Εικόνα 11: Τύποι φυγοκεντρικών ανεμιστήρων

## **2. Ανεμιστήρας με Στρογγυλά Πτερύγια (Forward Curved Fans)**

Αυτός ο τύπος ανεμιστήρα έχει πτερύγια που είναι καμπυλωμένα προς τα εμπρός και τοποθετημένα υπό γωνία μικρότερη από 90°. Η διάταξη αυτή εξασφαλίζει μεγαλύτερη ροή αέρα, αλλά συνήθως με χαμηλότερη πίεση. Οι forward curved fans είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ροή αέρα με χαμηλή πίεση, όπως τα συστήματα κλιματισμού και εξαερισμού σε κτίρια και μικρούς χώρους. Η ενεργειακή τους απόδοση είναι μικρότερη σε σύγκριση με άλλους τύπους φυγοκεντρικών ανεμιστήρων, καθώς η πίεση που δημιουργούν είναι χαμηλότερη, αλλά η ροή αέρα είναι σημαντικά υψηλότερη. Χρησιμοποιούνται συχνά σε μικρές και μεσαίες μονάδες HVAC, σε αεραγωγούς ή οικιακούς ανεμιστήρες που απαιτούν συνεχή και ομοιόμορφη ροή αέρα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις πίεσης.

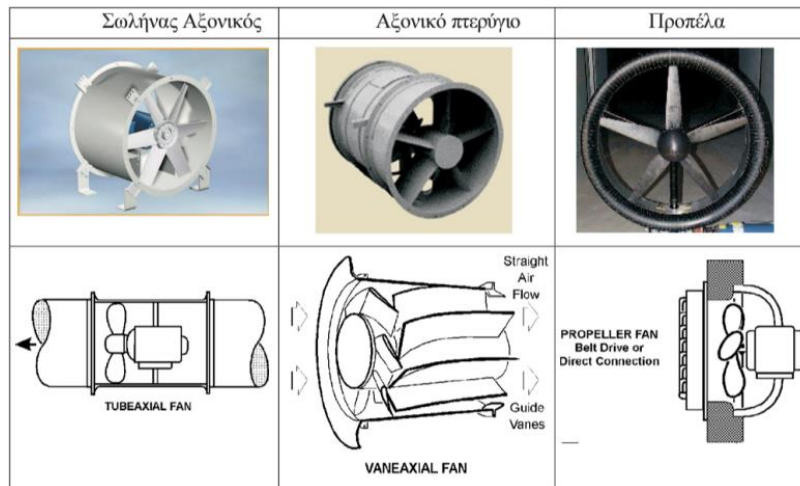
## **3. Ανεμιστήρας με Αντίστροφα Κεκλιμένα Πτερύγια (Backward Curved Fans)**

Οι ανεμιστήρες με αντίστροφα κεκλιμένα πτερύγια χαρακτηρίζονται από τα πτερύγια που είναι καμπυλωμένα προς τα πίσω, δηλαδή αντίθετα από τη φορά περιστροφής του ανεμιστήρα. Αυτός ο σχεδιασμός προσφέρει υψηλότερη αποδοτικότητα σε σύγκριση με τους forward curved fans, κυρίως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή πίεση. Οι backward curved fans είναι ικανοί να διατηρούν σταθερή απόδοση παρά τις μεταβολές στην αντίσταση του συστήματος και είναι ιδανικοί για εφαρμογές με υψηλότερες απαιτήσεις πίεσης, όπως η εξαγωγή καπνού ή η άντληση αέρα από βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Παράγουν υψηλότερη πίεση και είναι πιο αποδοτικοί σε περιβάλλοντα που απαιτούν υψηλότερες αντιστάσεις, ενώ ταυτόχρονα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια για τη δημιουργία της απαιτούμενης πίεσης. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα HVAC υψηλών πιέσεων και σε εφαρμογές βιομηχανικού αερισμού, εξαγωγής καυσαερίων, και επεξεργασίας αέρα.

## **4. Ανεμιστήρας με Πτερύγια Τύπου "Backward Inclined"**

Οι ανεμιστήρες με πτερύγια τύπου "backward inclined" διαθέτουν πτερύγια που είναι κεκλιμένα προς τα πίσω με μικρότερη γωνία από τους backward curved ανεμιστήρες, παρέχοντας μια βελτιστοποιημένη λύση για εφαρμογές υψηλής πίεσης και αντίστασης. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα που απαιτούν υψηλή απόδοση και σταθερότητα σε δυσμενείς συνθήκες, όπως μεγάλα βιομηχανικά συστήματα αερισμού ή εξόρυξης. Αυτοί οι ανεμιστήρες προσφέρουν εξαιρετική ανθεκτικότητα και απόδοση σε συνθήκες με υψηλές αντιστάσεις, διατηρώντας σταθερή λειτουργία και μεγιστοποιώντας την ενεργειακή απόδοση. Ιδανικοί για χρήση σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, συστήματα εξαερισμού σε κτίρια υψηλής πυκνότητας, και εφαρμογές όπου οι απαιτήσεις πίεσης είναι εξαιρετικά υψηλές.

Ένα χαρακτηριστικό είναι ότι η ροή του αέρα τείνει να μειώνεται δραστικά καθώς η πίεση του συστήματος αυξάνεται, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα σε συστήματα μεταφοράς υλικών



Εικόνα 12: Τύποι αξονικών ανεμιστήρων

## 5. Ανεμιστήρας με Πτερύγια Τύπου "Backward Inclined"

Οι ανεμιστήρες με πτερύγια τύπου "backward inclined" διαθέτουν πτερύγια που είναι κεκλιμένα προς τα πίσω με μικρότερη γωνία από τους backward curved ανεμιστήρες, παρέχοντας μια βελτιστοποιημένη λύση για εφαρμογές υψηλής πίεσης και αντίστασης. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα που απαιτούν υψηλή απόδοση και σταθερότητα σε δυσμενείς συνθήκες, όπως μεγάλα βιομηχανικά συστήματα αερισμού ή εξόρυξης. Αυτοί οι ανεμιστήρες προσφέρουν εξαιρετική ανθεκτικότητα και απόδοση σε συνθήκες με υψηλές αντιστάσεις, διατηρώντας σταθερή λειτουργία και μεγιστοποιώντας την ενεργειακή απόδοση. Ιδανικοί για χρήση σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, συστήματα εξαερισμού σε κτίρια υψηλής πυκνότητας, και εφαρμογές όπου οι απαιτήσεις πίεσης είναι εξαιρετικά υψηλές.

Ένα χαρακτηριστικό είναι ότι η ροή του αέρα τείνει να μειώνεται δραστικά καθώς η πίεση του συστήματος αυξάνεται, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα σε συστήματα μεταφοράς υλικών που εξαρτώνται από σταθερό όγκο αέρα. Εξαιτίας αυτού, χρησιμοποιούνται συχνότερα σε εφαρμογές που δεν είναι επιρρεπείς σε απόφραξη.

Οι κυριότεροι τύποι αξονικών ανεμιστήρων είναι:

### 1. Ανεμιστήρες με Στραμμένα Πτερύγια (Axial Flow Fans με Straight Blades)

Αυτοί οι ανεμιστήρες διαθέτουν πτερύγια που είναι τοποθετημένα σε ευθεία γραμμή και παράγουν ροή αέρα κατά μήκος του άξονα περιστροφής. Είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλες ροές αέρα με χαμηλές ή μέτριες πιέσεις. Η απόδοσή τους είναι υψηλή όταν η αντίσταση του συστήματος είναι χαμηλή και η ροή αέρα είναι σημαντική.

Χρήσεις:

- Εξαερισμός κτιρίων
- Συστήματα HVAC σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές



- Συμπληρωματικοί ανεμιστήρες σε συστήματα αεροδυναμικών εγκαταστάσεων (π.χ. αεροδρόμια, στάδια)

## 2. Ανεμιστήρες με Κεκλιμένα Πτερύγια (Axial Flow Fans με Curved Blades)

Αυτοί οι ανεμιστήρες έχουν πτερύγια που είναι καμπυλωμένα (στεφανωμένα) και τοποθετημένα κατά μήκος του άξονα, δημιουργώντας υψηλότερη πίεση από τους straight blade ανεμιστήρες. Η καμπυλωτή τους σχεδίαση επιτρέπει τη δημιουργία μεγαλύτερης πίεσης και ελαχιστοποιεί τις απώλειες λόγω αεροδυναμικής αντίστασης.

Χρήσεις:

- Συστήματα αερισμού με υψηλότερη αντίσταση, όπως μεγάλες βιομηχανικές μονάδες και εξόρυξη
- Συστήματα HVAC με υψηλότερες πιέσεις, όπως σε κεντρικές μονάδες κλιματισμού μεγάλων κτιρίων

## 3. Ανεμιστήρες με Στρεφόμενα Πτερύγια (Variable Pitch Axial Fans)

Οι ανεμιστήρες αυτοί διαθέτουν πτερύγια που μπορούν να μεταβάλλουν την γωνία τους, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος. Η ρύθμιση της γωνίας επιτρέπει την προσαρμογή της απόδοσης του ανεμιστήρα για να προσαρμόζεται σε διαφορετικές συνθήκες ροής και πίεσης.

Χρήσεις:

- Συστήματα κλιματισμού που απαιτούν ευελιξία και ρύθμιση της απόδοσης ανάλογα με την επιβάρυνση ή την εποχή
- Αεροσκάφη και συστήματα αερομεταφορών, όπου η ρύθμιση της απόδοσης είναι κρίσιμη για τις συνθήκες λειτουργίας

## 4. Ανεμιστήρες Εξαερισμού με Στροβιλώδη Πτερύγια (Radial Tip Axial Fans)

Ο τύπος αυτός συνδυάζει τα χαρακτηριστικά του αξονικού ανεμιστήρα με πτερύγια που έχουν ένα πιο ριζοσπαστικό σχήμα στο άκρο (tip), βοηθώντας στη βελτίωση της ροής αέρα και της απόδοσης. Η σχεδίαση αυτή μειώνει τις απώλειες πίεσης και αυξάνει την αποδοτικότητα του συστήματος.

Χρήσεις:

- Συστήματα εξαερισμού και απομάκρυνσης καπνού σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή κτίρια
- Συστήματα αεραγωγών για οικιακές ή εμπορικές εγκαταστάσεις όπου απαιτείται συνδυασμός απόδοσης και πίεσης

Οι αξονικοί ανεμιστήρες γενικά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη ροή αέρα σε χαμηλή ή μέτρια πίεση και είναι συνήθως πιο αποδοτικοί από τους φυγοκεντρικούς σε εφαρμογές με χαμηλότερες αντιστάσεις.

Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες			Ανεμιστήρες αξονικής ροής		
Τύπος	Χαρακτηριστικά	Τυπικές εφαρμογές	Τύπος	Χαρακτηριστικά	Τυπικές εφαρμογές
Ακτινική	Υψηλή πίεση, μεσαία ροή, απόδοση κοντά στους ανεμιστήρες με σωλήνα, η ισχύς αυξάνεται συνεχώς	Διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, κατάλληλες για φορτωμένο με σκόνη, υγρό αέρα/αέρια	Προπέλα	Χαμηλή πίεση, υψηλή ροή, χαμηλή απόδοση, μέγιστη απόδοση κοντά στο σημείο ελεύθερης παροχής αέρα (μηδενική στατική πίεση)	Κυκλοφορία αέρα, εξαερισμός, εξάτμιση
Καμπύλες λεπίδες προς τα εμπρός	Μέση πίεση, υψηλή παροχή, βύθιση στην καμπύλη πίεσης, απόδοση υψηλότερη από τους ακτινικούς ανεμιστήρες, η ισχύς αυξάνεται συνεχώς	HVAC χαμηλής πίεσης, συσκευασμένες μονάδες, κατάλληλες για καθαρό και φορτωμένο με σκόνη αέρα/αέρια	Αξονικός σωλήνας	Μέση πίεση, υψηλή ροή, υψηλότερη απόδοση από τον τύπο έλικας, βύθιση στην καμπύλη πίεσης-ροής πριν από το σημείο μέγιστης πίεσης.	HVAC, φούρνοι ξήρανσης, συστήματα εξάτμισης
Πίσω κυρτές λεπίδες	Υψηλή πίεση, υψηλή ροή, υψηλή απόδοση, η ισχύς μειώνεται καθώς η ροή αυξάνεται πέρα από το σημείο της υψηλότερης απόδοσης	HVAC, διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές ανεμιστήρες εξαναγκασμένου ελκυσμού κ.λπ.	Vane-axial	Υψηλή πίεση, μεσαία ροή, βύθιση στην καμπύλη πίεσης-ροής, η χρήση οδηγών πτερυγίων βελτιώνει την απόδοση.	Εφαρμογές υψηλής πίεσης, συμπεριλαμβανομένων των HVAC συστημάτων.
Τύπος αεροτομής	Ίδιος με τον τύπο με καμπύλη προς τα πίσω, υψηλότερη απόδοση	Το ίδιο με το καμπυλωτό προς τα πίσω, αλλά για εφαρμογές καθαρού αέρα			

Πίνακας 2: Τύποι ανεμιστήρων, χαρακτηριστικά και τυπικές εφαρμογές

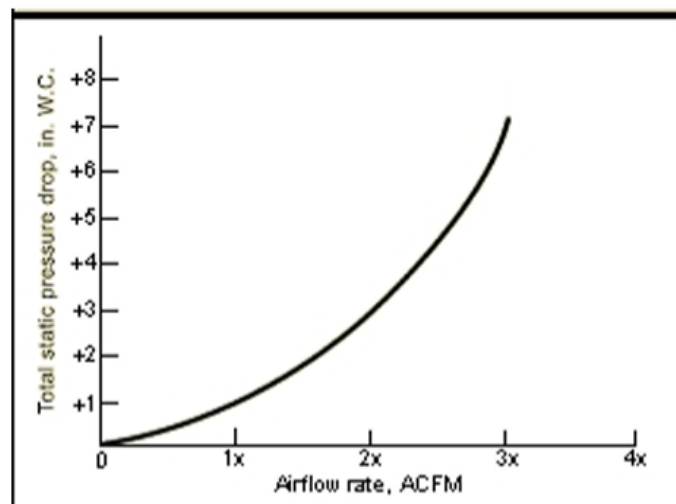
### 3.3 Αξιολόγηση της Απόδοσης των Ανεμιστήρων και Αποδοτική Λειτουργία του Συστήματος

#### Χαρακτηριστικά συστήματος

Ο όρος "πτώση πίεσης σε ένα σύστημα" χρησιμοποιείται όταν αναφέρεται στη στατική πίεση. Η πτώση πίεσης σε ένα σύστημα είναι το άθροισμα των απωλειών στατικής πίεσης στο σύστημα. Η πτώση πίεσης σε ένα σύστημα είναι συνάρτηση της διάταξης των αγωγών, των συλλεκτών, των γωνιών και των πτώσεων πίεσης στον εξοπλισμό – για παράδειγμα, στην πλάτη.

Η πτώση πίεσης σε ένα σύστημα μεταβάλλεται με το τετράγωνο του όγκου του αέρα που ρέει μέσω του συστήματος. Για δεδομένο όγκο αέρα, ο ανεμιστήρας σε ένα σύστημα με στενούς αγωγούς και πολλαπλούς αγκώνες μικρής ακτίνας θα πρέπει να εργαστεί σκληρότερα για να ξεπεράσει μεγαλύτερη πτώση πίεσης από ό,τι σε ένα σύστημα με μεγαλύτερους αγωγούς και ελάχιστο αριθμό στροφών μεγάλης ακτίνας. Οι μεγάλοι στενοί αγωγοί με πολλές καμπύλες και στροφές θα απαιτούν περισσότερη ενέργεια για να τραβήξουν τον αέρα μέσα από αυτούς. Κατά συνέπεια, για δεδομένη ταχύτητα ανεμιστήρα, ο ανεμιστήρας θα είναι σε θέση να τραβήξει λιγότερο αέρα μέσα από αυτό το σύστημα από ό,τι μέσα από ένα κοντό σύστημα χωρίς αγκύλες.

Έτσι, η πτώση πίεσης σε ένα σύστημα αυξάνεται σημαντικά καθώς ο όγκος του αέρα που ρέει μέσα στο σύστημα αυξάνεται – το τετράγωνο της ροής του αέρα. Αντίστροφα, η πτώση πίεσης μειώνεται καθώς μειώνεται η ροή. Για να προσδιοριστεί ο όγκος που θα παράγει ο ανεμιστήρας, είναι επομένως απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της πτώσης πίεσης του συστήματος. Στα υπάρχοντα συστήματα, η πτώση πίεσης μπορεί να μετρηθεί. Σε συστήματα που έχουν σχεδιαστεί, αλλά δεν έχουν κατασκευαστεί, η πτώση πίεσης πρέπει να υπολογιστεί. Συνήθως δημιουργείται μια καμπύλη πτώσης πίεσης του συστήματος (βλ. εικόνα 13) με διάφορες παροχές στον άξονα x και τη σχετική πτώση πίεσης στον άξονα y.

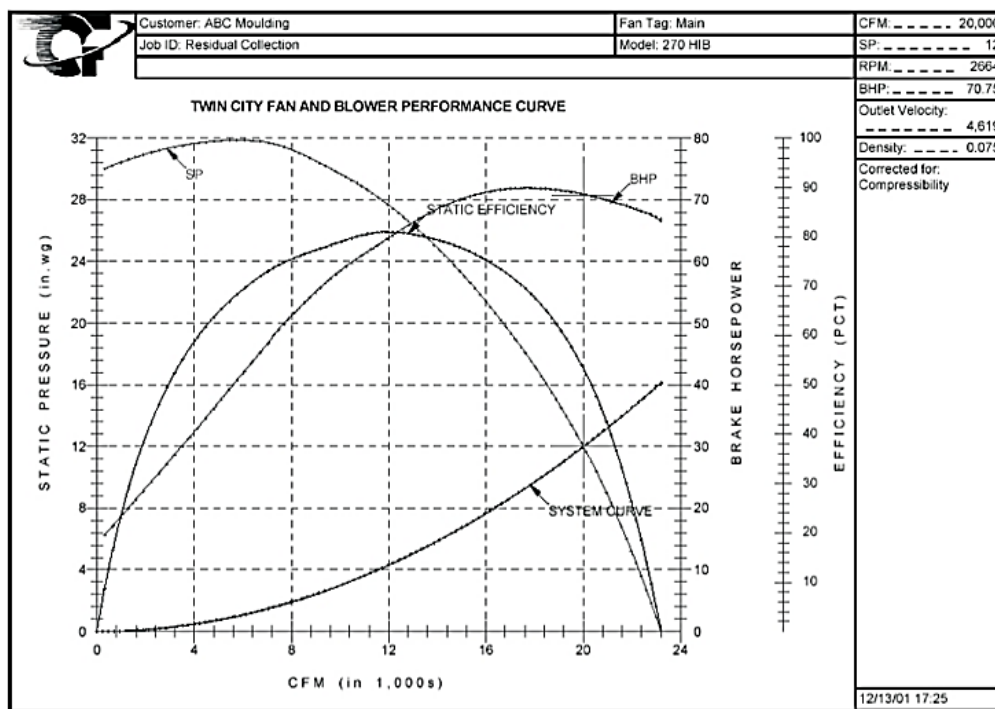


Εικόνα 13: Χαρακτηριστικά συστήματος

### 3.3.1 Χαρακτηριστικά ανεμιστήρα

Τα χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα μπορούν να αναπαρασταθούν με τη μορφή καμπύλων. Οι καμπύλες ανεμιστήρα είναι μια καμπύλες απόδοσης για τον συγκεκριμένο ανεμιστήρα υπό ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών. Οι καμπύλες ανεμιστήρα είναι γραφικές απεικονίσεις ενός αριθμού αλληλένδετων παραμέτρων. Συνήθως αναπτύσσεται μια καμπύλη για ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών που συνήθως περιλαμβάνουν: όγκο ανεμιστήρα, στατική πίεση συστήματος, ταχύτητα ανεμιστήρα και ιπποδύναμη πέδησης που απαιτείται για την κίνηση του ανεμιστήρα υπό τις αναφερόμενες συνθήκες. Ορισμένες καμπύλες ανεμιστήρων περιλαμβάνουν επίσης μια καμπύλη απόδοσης, ώστε ο σχεδιαστής του συστήματος να γνωρίζει σε ποιο σημείο της καμπύλης θα λειτουργεί ο ανεμιστήρας υπό τις επιλεγμένες συνθήκες (βλ. εικόνα 14). Στις πολλές καμπύλες που παρουσιάζονται στο σχήμα, η καμπύλη στατικής πίεσης (SP) σε σχέση με τη ροή είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η τομή της καμπύλης του συστήματος και της καμπύλης στατικής πίεσης ορίζει το σημείο λειτουργίας. Όταν αλλάζει η αντίσταση του συστήματος, αλλάζει και το σημείο λειτουργίας. Αφού καθοριστεί το σημείο λειτουργίας, η απαιτούμενη ισχύς μπορεί να βρεθεί ακολουθώντας μια κάθετη γραμμή που διέρχεται από το σημείο λειτουργίας έως την τομή με την καμπύλη

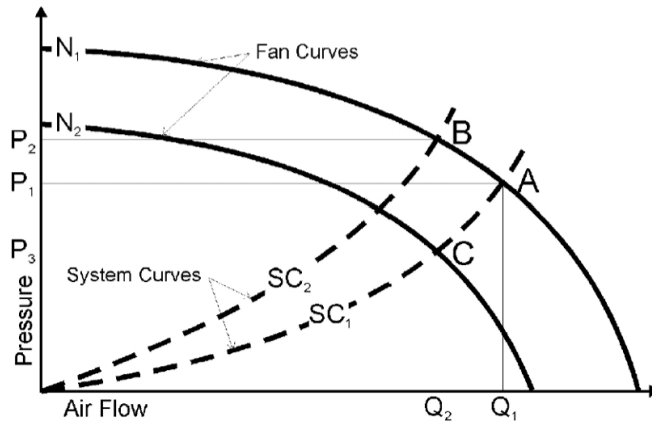
ισχύος (BHP). Μια οριζόντια γραμμή που διέρχεται από την τομή με την καμπύλη ισχύος θα οδηγήσει στην απαιτούμενη ισχύ στον δεξιό κατακόρυφο άξονα. Στις απεικονιζόμενες καμπύλες παρουσιάζεται επίσης η καμπύλη απόδοσης του ανεμιστήρα.



Εικόνα 14: Καμπύλη χαρακτηριστικών ανεμιστήρα ανά κατασκευαστή

Χαρακτηριστικά συστήματος και καμπύλες ανεμιστήρα Σε κάθε σύστημα ανεμιστήρα, η αντίσταση στη ροή του αέρα (πίεση) αυξάνεται όταν αυξάνεται η ροή του αέρα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μεταβάλλεται ως το τετράγωνο της ροής. Η πίεση που απαιτείται από ένα σύστημα σε ένα εύρος ροών μπορεί να προσδιοριστεί και να αναπτυχθεί μια "καμπύλη απόδοσης του συστήματος" (που απεικονίζεται ως SC) (βλ. εικόνα 15). Αυτή η καμπύλη του συστήματος μπορεί στη συνέχεια να σχεδιαστεί στην καμπύλη του ανεμιστήρα για να δείξει το πραγματικό σημείο λειτουργίας του ανεμιστήρα στο "A" όπου οι δύο καμπύλες (N1 και SC1) τέμνονται. Αυτό το σημείο λειτουργίας είναι η παροχή αέρα Q1 που παρέχεται έναντι της πίεσης P.

Ένας ανεμιστήρας λειτουργεί σύμφωνα με μια απόδοση που δίνεται από τον κατασκευαστή για μια συγκεκριμένη ταχύτητα ανεμιστήρα. (Το διάγραμμα επιδόσεων ανεμιστήρα παρουσιάζει καμπύλες επιδόσεων για μια σειρά ταχυτήτων ανεμιστήρα). Στην ταχύτητα του ανεμιστήρα N1, ο ανεμιστήρας λειτουργεί κατά μήκος της καμπύλης απόδοσης N1 όπως φαίνεται στην εικόνα 15.



Εικόνα 15: Καμπύλη συστήματος

Το σημείο λειτουργίας του ανεμιστήρα στο "A" είναι η παροχή ( $Q_1$ ) έναντι της πίεσης ( $P_1$ ). Δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της ροής του αέρα από  $Q_1$  σε  $Q_2$ . Η πρώτη μέθοδος είναι ο περιορισμός της ροής του αέρα με μερικό κλείσιμο ενός αποσβεστήρα στο σύστημα. Αυτή η ενέργεια προκαλεί μια νέα καμπύλη απόδοσης του συστήματος ( $SC_2$ ), όπου η απαιτούμενη πίεση είναι μεγαλύτερη για κάθε δεδομένη ροή αέρα. Ο ανεμιστήρας θα λειτουργεί τώρα στο "B" για να παρέχει τη μειωμένη ροή αέρα  $Q_2$  έναντι υψηλότερης πίεσης  $P_2$ . Η δεύτερη μέθοδος για τη μείωση της ροής του αέρα είναι η μείωση της ταχύτητας από  $N_1$  σε  $N_2$ , διατηρώντας τον αποσβεστήρα πλήρως ανοικτό. Ο ανεμιστήρας θα λειτουργήσει στο "C" για να παρέχει την ίδια ροή αέρα  $Q_2$ , αλλά σε χαμηλότερη πίεση  $P_3$ . Έτσι, η μείωση της ταχύτητας του ανεμιστήρα είναι μια πολύ πιο αποτελεσματική μέθοδος μείωσης της ροής του αέρα, καθώς απαιτείται λιγότερη ισχύς και καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια.

### Νόμοι ανεμιστήρων

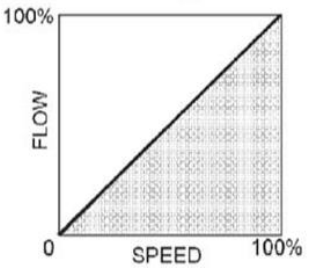
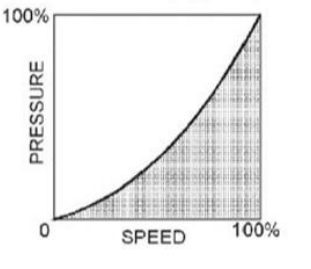
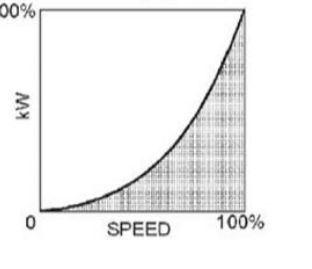
Οι ανεμιστήρες λειτουργούν σύμφωνα με ένα προβλέψιμο σύνολο νόμων σχετικά με την ταχύτητα, την ισχύ και την πίεση. Μια αλλαγή στην ταχύτητα (RPM) οποιουδήποτε ανεμιστήρα θα αλλάξει προβλέψιμα την αύξηση της πίεσης και την ισχύ που απαιτείται για τη λειτουργία του στις νέες RPM.

### 3.4 Κριτήρια σχεδιασμού και επιλογής ανεμιστήρων

Ο ακριβής προσδιορισμός της ροής του αέρα και της απαιτούμενης πίεσης εξόδου είναι πολύ σημαντικές για τη σωστή επιλογή του τύπου και του μεγέθους του ανεμιστήρα. Η απαιτούμενη ροή αέρα εξαρτάται από τις απαιτήσεις της διεργασίας- συνήθως καθορίζεται από τους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας ή από την ποσότητα αέρα καύσης ή καυσαερίων που πρέπει να διακινηθεί. Η απαιτούμενη πίεση του συστήματος είναι συνήθως πιο δύσκολο να υπολογιστεί ή να προβλεφθεί. Θα πρέπει να διενεργείται λεπτομερής ανάλυση για τον προσδιορισμό της πτώσης πίεσης κατά μήκος, των στροφών, των συστολών και των διαστολών στο σύστημα αεραγωγών, της πτώσης πίεσης στα φίλτρα, της πτώσης στις γραμμές διακλάδωσης κ.λπ. Αυτές οι πτώσεις πίεσης θα πρέπει να προστεθούν σε οποιαδήποτε σταθερή πίεση απαιτείται από τη διεργασία (στην περίπτωση των ανεμιστήρων εξαερισμού δεν υπάρχει σταθερή απαίτηση

πίεσης). Συχνά, υιοθετείται μια πολύ συντηρητική προσέγγιση με μεγάλα περιθώρια ασφαλείας, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται υπερμεγέθεις ανεμιστήρες που λειτουργούν με παροχές πολύ χαμηλότερες από τις τιμές σχεδιασμού τους και, κατά συνέπεια, με πολύ χαμηλή απόδοση.

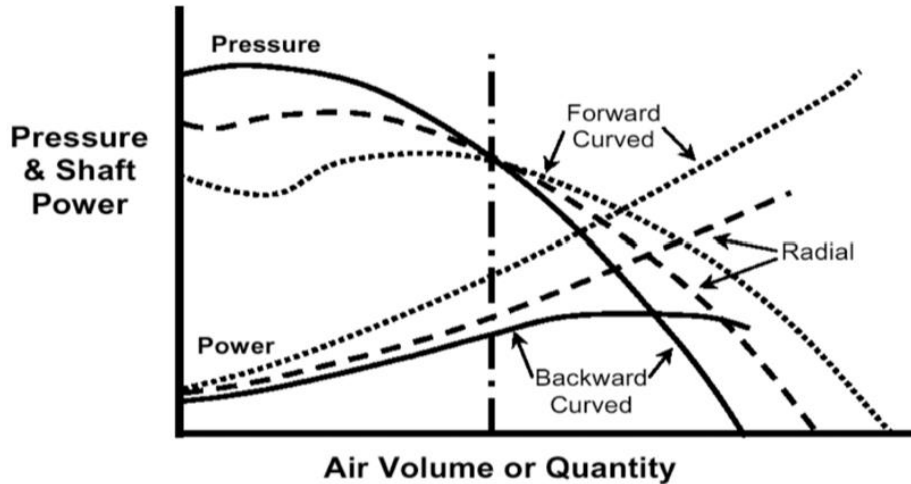
Αφού προσδιοριστούν οι απαιτήσεις ροής και πίεσης του συστήματος, επιλέγεται ο τύπος του ανεμιστήρα και της περωτής. Για καλύτερα αποτελέσματα, οι τιμές πρέπει να λαμβάνονται από τον κατασκευαστή για τους ειδικούς ανεμιστήρες και τις περωτές. Η επιλογή του τύπου του ανεμιστήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται από τα μεγέθη της απαιτούμενης παροχής και της στατικής πίεσης. Για έναν δεδομένο τύπο ανεμιστήρα, η επιλογή της κατάλληλης περωτής εξαρτάται επιπλέον από την ταχύτητα περιστροφής.

Flow $\propto$ Speed	Pressure $\propto$ (Speed) <sup>2</sup>	Power $\propto$ (Speed) <sup>3</sup>
		
$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$	$\frac{SP_1}{SP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$	$\frac{kW_1}{kW_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$
<p><i>Varying the RPM by 10% decreases or increases air delivery by 10%.</i></p>	<p><i>Reducing the RPM by 10% decreases the static pressure by 19% and an increase in RPM by 10% increases the static pressure by 21%</i></p>	<p><i>Reducing the RPM by 10% decreases the power requirement by 27% and an increase in RPM by 10% increases the power requirement by 33%</i></p>

Εικόνα 16 Σχέση ταχύτητας περιστροφής (rpm) με ροή, στατική πίεση και ισχύς σε σύστημα ανεμιστήρων Όπου Q - παροχή, SP - στατική πίεση, kW - ισχύς και N - ταχύτητα (RPM)

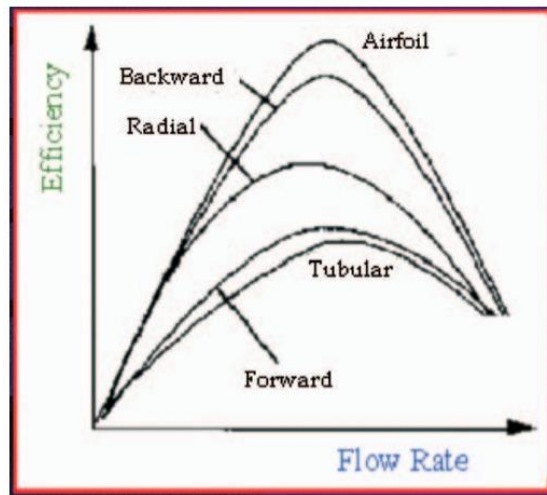
Η ταχύτητα λειτουργίας ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή. Οι μικρές μονάδες υψηλής ταχύτητας είναι γενικά πιο οικονομικές λόγω της υψηλότερης υδραυλικής απόδοσης και του σχετικά χαμηλού κόστους τους. Ωστόσο, σε χαμηλές αναλογίες πίεσης, οι μεγάλες μονάδες χαμηλών στροφών είναι προτιμότερες. Απόδοση και αποδοτικότητα ανεμιστήρα Τυπικές στατικές πιέσεις και απαιτήσεις ισχύος για διάφορους τύπους ανεμιστήρων δίνονται στην εικόνα 16.

Τα χαρακτηριστικά απόδοσης και η αποδοτικότητα του ανεμιστήρα διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του ανεμιστήρα και της περωτής ( Βλέπε εικ. 17). Στην περίπτωση των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων, οι λόγοι πλήμνης προς κορυφή (λόγος της εσωτερικής προς την εξωτερική διάμετρο της περωτής), οι γωνίες κορυφής (γωνία κατά την οποία τα περύγια που καμπυλώνονται προς τα εμπρός ή προς τα πίσω είναι καμπυλωμένα στην κορυφή των περυγίων - στη βάση τα περύγια είναι πάντα προσανατολισμένα προς την κατεύθυνση της ροής) και το πλάτος των περυγίων καθορίζουν την πίεση που αναπτύσσεται από τον ανεμιστήρα.



Εικόνα 17: Στατική πίεση ανεμιστήρα και απαιτήσεις ισχύος για διαφορετικούς ανεμιστήρες

Οι προς τα εμπρός καμπυλωτοί ανεμιστήρες έχουν μεγάλες αναλογίες κέντρου προς άκρη σε σύγκριση με τους προς τα πίσω καμπυλωτούς ανεμιστήρες και παράγουν χαμηλότερη πίεση. Οι ακτινικοί ανεμιστήρες μπορούν να κατασκευαστούν με διαφορετικές αναλογίες φτέρνας προς κορυφή για την παραγωγή διαφορετικών συνθηκών



Εικόνα 18: Χαρακτηριστικά απόδοσης ανεμιστήρα με βάση τους ανεμιστήρες/ πτερωτές

Τόσο στα σημεία σχεδιασμού όσο και στα σημεία εκτός σχεδιασμού, οι ανεμιστήρες με καμπύλη προς τα πίσω παρέχουν την πιο σταθερή λειτουργία. Επίσης, η ισχύς που απαιτείται από τους περισσότερους ανεμιστήρες με οπισθοστρόφο καμπύλη θα μειωθεί σε ροή υψηλότερη από τις τιμές σχεδιασμού. Παρόμοιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση πτερυγίων οδήγησης εισόδου αντί της αντικατάστασης της πτερωτής με διαφορετικές γωνίες κορυφής. Οι ακτινικοί ανεμιστήρες είναι απλοί στην κατασκευή και προτιμώνται για εφαρμογές υψηλής πίεσης. Ωστόσο, οι ανεμιστήρες με καμπύλη προς τα εμπρός είναι λιγότερο αποδοτικοί από τους ανεμιστήρες με καμπύλη προς τα πίσω και η ισχύς αυξάνεται συνεχώς με τη

ροή. Συνεπώς, η λειτουργία τους είναι γενικά ακριβότερη παρά το χαμηλότερο αρχικό κόστος τους. Μεταξύ των σχεδίων φυγοκεντρικών ανεμιστήρων, τα σχέδια αεροτομής παρέχουν την υψηλότερη απόδοση (έως και 10% υψηλότερη από τα οπίσθια καμπυλωτά πτερύγια), αλλά η χρήση τους περιορίζεται σε καθαρό αέρα χωρίς σκόνη.

Οι ανεμιστήρες αξονικής ροής παράγουν χαμηλότερη πίεση από τους φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες και παρουσιάζουν μια πτώση της πίεσης πριν φτάσουν στο σημείο μέγιστης πίεσης. Διατίθενται επίσης ανεμιστήρες αξονικής ροής εξοπλισμένοι με πτερύγια ρυθμιζόμενου/μεταβλητού βήματος για την κάλυψη διαφορετικών απαιτήσεων ροής. Οι ανεμιστήρες τύπου έλικας είναι ικανοί για υψηλούς ρυθμούς ροής σε χαμηλές πιέσεις. Οι ανεμιστήρες τύπου σωλήνα-άξονα έχουν μεσαία πίεση, υψηλή ικανότητα ροής και δεν είναι εξοπλισμένοι με πτερύγια οδήγησης. Οι αξονικοί ανεμιστήρες με πτερύγια είναι εξοπλισμένοι με πτερύγια οδήγησης εισόδου ή εξόδου και χαρακτηρίζονται από υψηλή πίεση, μεσαία ταχύτητα ροής.

Η απόδοση εξαρτάται επίσης από το περίβλημα του ανεμιστήρα και το σχεδιασμό του αγωγού. Τα σχέδια σπειροειδούς περιβλήματος με επαγωγείς, διαχύτες είναι πιο αποδοτικά σε σύγκριση με τα τετράγωνα περιβλήματα. Η πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα είναι μια άλλη σημαντική παράμετρος, καθώς επηρεάζει τόσο τη ροή όγκου όσο και την ικανότητα του ανεμιστήρα να αναπτύσσει πίεση. Οι συνθήκες εισόδου και εξόδου (στροβιλισμός και αναταράξεις που δημιουργούνται από πλέγματα, αποσβεστήρες κ.λπ.) μπορούν να μεταβάλουν σημαντικά τις καμπύλες απόδοσης του ανεμιστήρα από αυτές που παρέχονται από τον κατασκευαστή (οι οποίες αναπτύσσονται υπό ελεγχόμενες συνθήκες). Οι καμπύλες και οι γωνίες στον αγωγό εισόδου ή εξόδου μπορούν να αλλάξουν την ταχύτητα του αέρα, αλλάζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα (η πτώση πίεσης σε αυτά τα στοιχεία αποδίδεται στην αντίσταση του συστήματος).

Όλοι αυτοί οι παράγοντες, που ονομάζονται παράγοντες επίδρασης συστήματος, θα πρέπει, επομένως, να αξιολογούνται προσεκτικά κατά την επιλογή του ανεμιστήρα, δεδομένου ότι θα τροποποιήσουν την καμπύλη απόδοσης του ανεμιστήρα. Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες είναι κατάλληλοι για χαμηλές έως μέτριες ροές σε υψηλές πιέσεις, ενώ οι ανεμιστήρες αξονικής ροής είναι κατάλληλοι για χαμηλές έως υψηλές ροές σε χαμηλές πιέσεις. Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες είναι γενικά ακριβότεροι από τους αξονικούς ανεμιστήρες. Οι τιμές των ανεμιστήρων ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον τύπο της πτερωτής και την τοποθέτηση (απευθείας σύνδεση ή σύνδεση με μάντα, τοποθέτηση στον τοίχο ή στον αγωγό). Μεταξύ των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων, τα σχέδια με αεροτομή και τα πίσω καμπυλωτά πτερύγια τείνουν να είναι κάπως ακριβότερα από τα σχέδια με μπροστινά καμπυλωτά πτερύγια και συνήθως παρέχουν ευνοϊκότερη οικονομία σε βάση κύκλου ζωής. Οι αξιόπιστες συγκρίσεις κόστους είναι δύσκολες, δεδομένου ότι το κόστος ποικίλλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες που αφορούν την εφαρμογή. Μια προσεκτική τεχνική και οικονομική αξιολόγηση των διαθέσιμων επιλογών είναι σημαντική για τον προσδιορισμό του ανεμιστήρα που θα ελαχιστοποιήσει το κόστος του κύκλου ζωής σε κάθε



συγκεκριμένη εφαρμογή. Περιθώριο ασφαλείας Η επιλογή του περιθωρίου ασφαλείας επηρεάζει επίσης την αποδοτική λειτουργία του ανεμιστήρα.

Σε όλες τις περιπτώσεις όπου η ζήτηση αέρα του ανεμιστήρα σχετίζεται με τη λειτουργία διεργασιών ή άλλου εξοπλισμού, το περιθώριο ασφαλείας θα πρέπει να καθορίζεται κατόπιν διαβούλευσης με τον κατασκευαστή του εξοπλισμού διεργασιών. Συνήθως, το περιθώριο ασφαλείας μπορεί να οριστεί περίπου στο 5% πάνω από τη μέγιστη απαιτούμενη παροχή αέρα. Στην περίπτωση των λεβήτων, οι ανεμιστήρες ID - Induced Draft συνιστάται να σχεδιάζονται με περιθώριο ασφαλείας 20% για την παροχή όγκου και 30% για την πίεση. Αντίθετα, οι ανεμιστήρες FD - Forced Draft και οι ανεμιστήρες PA - Primary Air δεν απαιτούν περιθώρια ασφαλείας στη βασική τους λειτουργία. Ωστόσο, για τους ανεμιστήρες FD και PA, συχνά διατηρείται περιθώριο ασφαλείας 10% για τον όγκο παροχής και 20% για την πίεση, ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική κάλυψη των δυναμικών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος

## Κεφάλαιο 4 σύγκριση ηλεκτροκινητήρων

### 4.1 Διαφορές μεταξύ συμβατικών ανεμιστήρων vs EC ανεμιστήρων

Οι ηλεκτροκινητήρες αποτελούν τη ραχοκοκαλιά πολλών βιομηχανικών και οικιακών εφαρμογών, καθώς είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική κίνηση. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου ηλεκτροκινητήρα είναι κρίσιμη για τη βέλτιστη λειτουργία κάθε εφαρμογής, και συνεπώς απαιτεί μια καλή κατανόηση των διαφορετικών τύπων κινητήρων, των χαρακτηριστικών τους, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους. Σε αυτό το κείμενο θα συγκρίνουμε τρεις βασικούς τύπους ηλεκτροκινητήρων: τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) και τους κινητήρες EC. Θα εξετάσουμε τις διαφορές τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, καθώς και τις κατάλληλες εφαρμογές για τον κάθε τύπο.

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) είναι οι πιο διαδεδομένοι τύποι κινητήρων και χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές. Αυτοί οι κινητήρες λειτουργούν με την εφαρμογή εναλλασσόμενου ρεύματος στα τυλίγματα του στάτορα, το οποίο δημιουργεί ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που προκαλεί την περιστροφή του ρότορα.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των AC κινητήρων είναι η απλότητα κατασκευής τους και η χαμηλή συντήρηση που απαιτούν. Οι AC κινητήρες είναι γενικά πιο ανθεκτικοί και αξιόπιστοι, καθώς δεν διαθέτουν ψήκτρες ή συλλέκτες, τα οποία φθείρονται με την πάροδο του χρόνου στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC)

Επιπλέον, οι AC κινητήρες είναι εξαιρετικά αποδοτικοί σε εφαρμογές που απαιτούν σταθερή ταχύτητα και συνεχή λειτουργία. Η υψηλή αποδοτικότητα των AC κινητήρων τους καθιστά ιδανικούς για μεγάλες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως αντλίες, ανεμιστήρες, συμπιεστές και μηχανές επεξεργασίας υλικών.[8]

#### **Μειονεκτήματα των AC Κινητήρων**

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, οι AC κινητήρες έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα είναι η δυσκολία ελέγχου της ταχύτητας και της ροπής τους σε σχέση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC). Οι AC κινητήρες απαιτούν τη χρήση συστημάτων μετατροπής συχνότητας (inverters) για να επιτύχουν ρύθμιση της ταχύτητας, κάτι που προσθέτει πολυπλοκότητα και κόστος στο σύστημα.[4]

#### **Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (DC Motors)**

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα για να λειτουργούν και είναι γνωστοί για την ικανότητά τους να προσφέρουν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής. Αυτοί οι κινητήρες είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεταβλητή ταχύτητα ή ακριβής έλεγχος κίνησης, όπως σε ρομποτικά συστήματα και μηχανές CNC.

#### **Πλεονεκτήματα των DC Κινητήρων**

Το κύριο πλεονέκτημα των DC κινητήρων είναι η ικανότητά τους να παρέχουν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής. Αυτό καθιστά τους DC κινητήρες ιδανικούς για εφαρμογές που απαιτούν μεταβλητή ταχύτητα ή ακριβή έλεγχο κίνησης. Επίσης, οι DC κινητήρες έχουν υψηλή ροπή εκκίνησης, κάτι που τους καθιστά κατάλληλους για εφαρμογές όπου απαιτείται γρήγορη επιτάχυνση.[8]

### **Μειονεκτήματα των DC Κινητήρων**

Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των DC κινητήρων είναι η ανάγκη για τακτική συντήρηση λόγω της παρουσίας ψήκτρων και συλλεκτών, τα οποία φθείρονται με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οδηγεί σε αυξημένα κόστη συντήρησης και μειωμένη αξιοπιστία σε σύγκριση με τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. [7]

Επιπλέον, οι DC κινητήρες είναι λιγότερο αποδοτικοί σε συνεχή λειτουργία σε σχέση με τους AC κινητήρες, κάτι που τους καθιστά λιγότερο κατάλληλους για εφαρμογές όπου απαιτείται συνεχής και σταθερή ταχύτητα .[4]

### **Κινητήρες με Ηλεκτρονική Μεταγωγή (EC Motors)**

Οι κινητήρες με ηλεκτρονική μεταγωγή (Electronically Commutated - EC) είναι ένας υβριδικός τύπος κινητήρα που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των κινητήρων AC και DC. Οι EC κινητήρες είναι ουσιαστικά κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες, που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα και χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή για τη διαχείριση της λειτουργίας τους.

### **Πλεονεκτήματα των EC Κινητήρων**

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των EC κινητήρων είναι η υψηλή ενεργειακή τους αποδοτικότητα. Οι EC κινητήρες μπορούν να επιτύχουν αποδοτικότητα έως και 90%, κάτι που τους καθιστά πολύ πιο αποδοτικούς σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς AC και DC κινητήρες.[4]

Επιπλέον, οι EC κινητήρες προσφέρουν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής, παρόμοια με τους DC κινητήρες, χωρίς την ανάγκη για ψήκτρες και συλλέκτες. Αυτό σημαίνει ότι οι EC κινητήρες απαιτούν λιγότερη συντήρηση και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές όπου η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα είναι κρίσιμες.[8]

### **Μειονεκτήματα των EC Κινητήρων**

Παρά τα πολλά τους πλεονεκτήματα, οι EC κινητήρες έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα είναι το υψηλό αρχικό κόστος τους. Οι EC κινητήρες είναι πιο ακριβοί από τους παραδοσιακούς AC και DC κινητήρες, κάτι που μπορεί να αποθαρρύνει τη χρήση τους σε εφαρμογές όπου το κόστος είναι κρίσιμος παράγοντας. [7]

Επιπλέον, οι EC κινητήρες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του ηλεκτρονικού ελεγκτή. Αν ο ελεγκτής δεν είναι υψηλής ποιότητας, μπορεί να προκύψουν προβλήματα στη λειτουργία του κινητήρα, όπως ασταθής λειτουργία ή ακόμη και βλάβες.[4]

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου κινητήρα εξαρτάται από τις συγκεκριμένες ανάγκες της εφαρμογής. Οι AC κινητήρες είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή ταχύτητα και συνεχή λειτουργία, όπως

οι αντλίες και οι ανεμιστήρες. Η απλότητα κατασκευής και η ανθεκτικότητα των AC κινητήρων τους καθιστά κατάλληλους για βιομηχανικές εφαρμογές όπου η αξιοπιστία και η χαμηλή συντήρηση είναι προτεραιότητες. [7]

Οι DC κινητήρες, από την άλλη πλευρά, είναι πιο κατάλληλοι για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής, όπως τα ρομποτικά συστήματα και οι μηχανές CNC. Η υψηλή ροπή εκκίνησης και η δυνατότητα για ακριβή έλεγχο κίνησης καθιστούν τους DC κινητήρες ιδανικούς για αυτές τις εφαρμογές, παρά τις αυξημένες ανάγκες συντήρησης.[8]

Τέλος, οι EC κινητήρες είναι η καλύτερη επιλογή για εφαρμογές όπου η ενεργειακή αποδοτικότητα και η αξιοπιστία είναι κρίσιμες, όπως στα συστήματα HVAC και σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές. Παρόλο που έχουν υψηλότερο αρχικό κόστος, η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση ενέργειας και η μειωμένη ανάγκη για συντήρηση τους καθιστά ιδιαίτερα αποδοτικούς σε εφαρμογές όπου η διάρκεια ζωής και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας είναι σημαντικοί παράγοντες.[4]

Η επιλογή του κατάλληλου ηλεκτροκινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή είναι κρίσιμη για την επιτυχία της λειτουργίας της. Οι AC, DC και EC κινητήρες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και η επιλογή μεταξύ τους πρέπει να βασίζεται στις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής.

Οι AC κινητήρες προσφέρουν ανθεκτικότητα και αξιοπιστία σε εφαρμογές με σταθερή ταχύτητα και συνεχή λειτουργία, ενώ οι DC κινητήρες είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής. Οι EC κινητήρες, αν και πιο ακριβοί, προσφέρουν την καλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα και αξιοπιστία, καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές όπου η αποδοτικότητα και η διάρκεια ζωής είναι κρίσιμες.

Η τελική απόφαση για την επιλογή του κατάλληλου κινητήρα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες της εφαρμογής, το κόστος, την αξιοπιστία και την ενεργειακή αποδοτικότητα, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη λειτουργία και την οικονομική αποδοτικότητα της εγκατάστασης.

## 4.2 Ταχύτητα έναντι ροπής: Σύγκριση τύπων κινητήρων

Η σχέση μεταξύ ταχύτητας και ροπής είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση και την καταλληλότητα των ηλεκτροκινητήρων για διάφορες εφαρμογές. Η κατανόηση αυτής της σχέσης είναι κρίσιμη για την επιλογή του σωστού τύπου κινητήρα, καθώς η ταχύτητα και η ροπή επηρεάζουν άμεσα την ικανότητα του κινητήρα να εκτελεί τις απαιτούμενες λειτουργίες. Σε αυτό το κείμενο θα συγκρίνουμε τη σχέση ταχύτητας και ροπής για τρεις βασικούς τύπους κινητήρων: τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) και τους κινητήρες με ηλεκτρονική μεταγωγή (EC).

### **Ταχύτητα και Ροπή στους Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC Motors)**

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) είναι από τους πιο διαδεδομένους τύπους κινητήρων, χρησιμοποιούμενοι σε πληθώρα βιομηχανικών και οικιακών εφαρμογών. Η λειτουργία τους βασίζεται στη δημιουργία ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου στο στάτορα, το οποίο προκαλεί την περιστροφή του ρότορα.

### **Σχέση Ταχύτητας και Ροπής στους AC Κινητήρες**

Η σχέση μεταξύ ταχύτητας και ροπής στους AC κινητήρες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του κινητήρα. Οι πιο κοινοί τύποι AC κινητήρων είναι οι κινητήρες επαγωγής και οι σύγχρονοι κινητήρες.

Στους κινητήρες επαγωγής, η ταχύτητα του κινητήρα μειώνεται καθώς αυξάνεται η ροπή που απαιτείται από το φορτίο. Αυτή η μείωση της ταχύτητας οφείλεται στη φύση του φαινομένου της ολίσθησης, όπου η διαφορά μεταξύ της σύγχρονης ταχύτητας του μαγνητικού πεδίου και της πραγματικής ταχύτητας του ρότορα προκαλεί την ανάπτυξη της ροπής. [8] Οι κινητήρες επαγωγής έχουν μια χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας-ροπής, όπου η ροπή αυξάνεται με τη μείωση της ταχύτητας μέχρι να φτάσει σε ένα μέγιστο σημείο, μετά το οποίο η ροπή αρχίζει να μειώνεται.

Στους σύγχρονους κινητήρες, η ταχύτητα είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το φορτίο, καθώς ο ρότορας περιστρέφεται συγχρονισμένα με το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτορα. Η ροπή στους σύγχρονους κινητήρες είναι σταθερή και εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει τον κινητήρα. Αυτοί οι κινητήρες είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή ταχύτητα ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις του φορτίου. [7]

### **Εφαρμογές των AC Κινητήρων**

Οι κινητήρες επαγωγής χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν μεταβλητή ταχύτητα και υψηλή ροπή εκκίνησης, όπως οι αντλίες, οι ανεμιστήρες και οι συμπιεστές. Αντίθετα, οι σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η σταθερή ταχύτητα είναι κρίσιμη, όπως σε μηχανές επεξεργασίας υλικών και σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. [4]

### **Ταχύτητα και Ροπή στους Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (DC Motors)**

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα για να λειτουργούν και είναι γνωστοί για την ικανότητά τους να προσφέρουν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής. Αυτό τους καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλους για εφαρμογές που απαιτούν μεταβλητή ταχύτητα ή ακριβή έλεγχο κίνησης.

### **Σχέση Ταχύτητας και Ροπής στους DC Κινητήρες**

Στους DC κινητήρες, η ταχύτητα και η ροπή έχουν μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση. Αυτό σημαίνει ότι καθώς η ροπή αυξάνεται, η ταχύτητα μειώνεται. Αυτή η σχέση προκύπτει από τη φυσική αρχή ότι η ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα, ενώ η ταχύτητα είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του κινητήρα. [8]

Αυτή η χαρακτηριστική σχέση ταχύτητας-ροπής επιτρέπει στους DC κινητήρες να προσφέρουν υψηλή ροπή εκκίνησης και ακριβή έλεγχο της ταχύτητας. Για παράδειγμα, σε εφαρμογές όπως οι ανυψωτήρες ή

τα ρομποτικά συστήματα, οι DC κινητήρες μπορούν να προσφέρουν υψηλή ροπή κατά την εκκίνηση και στη συνέχεια να μειώνουν την ταχύτητα καθώς αυξάνεται το φορτίο. [7]

### **Εφαρμογές των DC Κινητήρων**

Οι DC κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο κίνησης, όπως τα ρομποτικά συστήματα, οι μηχανές CNC, και τα συστήματα μετάδοσης κίνησης σε οχήματα. Η δυνατότητα των DC κινητήρων να προσφέρουν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής τους καθιστά ιδανικούς για αυτές τις εφαρμογές.[4]

### **Ταχύτητα και Ροπή στους Κινητήρες με Ηλεκτρονική Μεταγωγή (EC Motors)**

Οι κινητήρες με ηλεκτρονική μεταγωγή (EC) είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των AC και DC κινητήρων. Οι EC κινητήρες είναι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες, οι οποίοι λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα και χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή για τη διαχείριση της λειτουργίας τους.

### **Σχέση Ταχύτητας και Ροπής στους EC Κινητήρες**

Η σχέση ταχύτητας και ροπής στους EC κινητήρες είναι παρόμοια με αυτήν των DC κινητήρων, καθώς και εδώ η ταχύτητα μειώνεται καθώς αυξάνεται η ροπή. Ωστόσο, λόγω της ηλεκτρονικής διαχείρισης, οι EC κινητήρες μπορούν να διατηρούν υψηλή αποδοτικότητα σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων και ροπών.[4]

Οι EC κινητήρες προσφέρουν ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής χωρίς την ανάγκη για συντήρηση, καθώς δεν διαθέτουν ψήκτρες και συλλέκτες. Αυτό τους καθιστά ιδιαίτερα αποδοτικούς και αξιόπιστους, ενώ η ικανότητά τους να προσαρμόζουν την ταχύτητα και τη ροπή ανάλογα με τις ανάγκες του φορτίου τους καθιστά ιδανικούς για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και αξιοπιστία.[8]

### **Εφαρμογές των EC Κινητήρων**

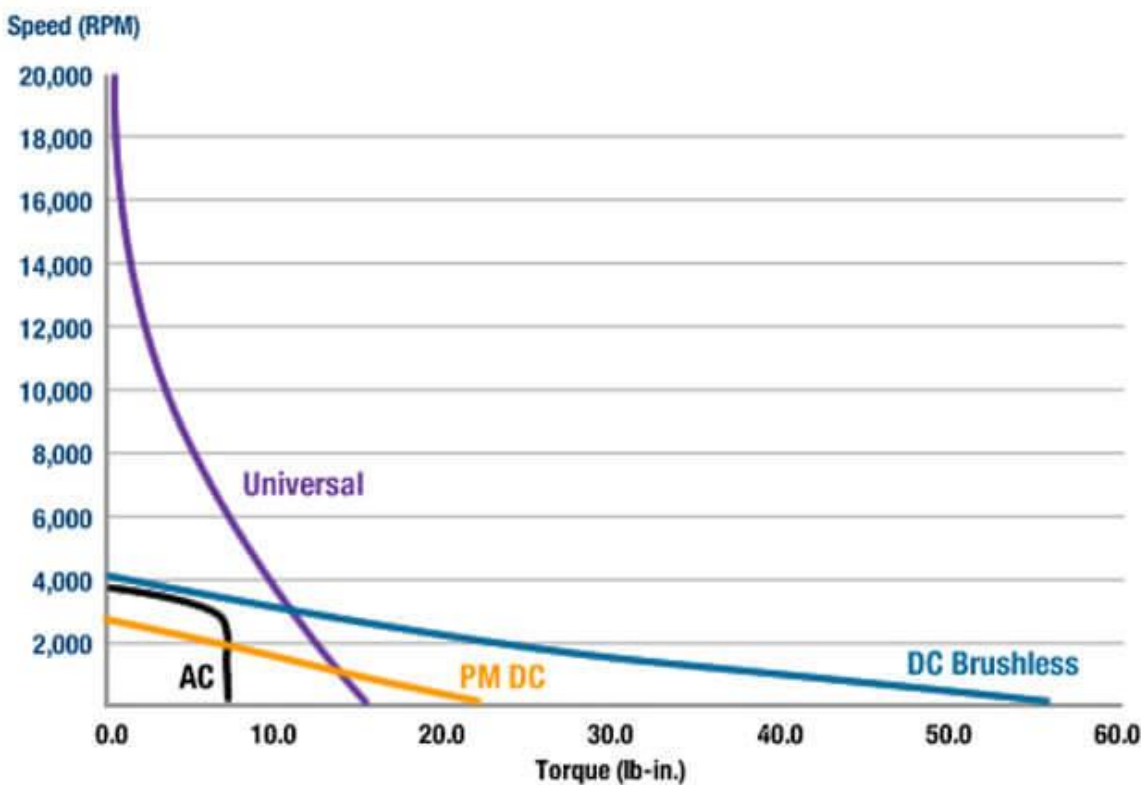
Οι EC κινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπου η ενεργειακή αποδοτικότητα και η αξιοπιστία είναι κρίσιμες. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC), βιομηχανικούς ανεμιστήρες, αντλίες και συστήματα μεταφοράς. Η ικανότητα των EC κινητήρων να προσφέρουν ακριβή έλεγχο ταχύτητας και ροπής χωρίς την ανάγκη για συντήρηση τους καθιστά ιδανικούς για αυτές τις εφαρμογές. [7]

### **Σύγκριση και Επιλογή Κινητήρων**

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου κινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται από τη σχέση ταχύτητας και ροπής που απαιτείται. Οι AC κινητήρες είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή ταχύτητα ή λειτουργία σε συνθήκες χαμηλής ροπής, όπως οι ανεμιστήρες και οι αντλίες. Οι DC κινητήρες είναι ιδανικοί για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο κίνησης και υψηλή ροπή εκκίνησης, όπως τα ρομποτικά συστήματα και οι ανυψωτήρες. Οι EC κινητήρες είναι η καλύτερη επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και αξιόπιστη λειτουργία, όπως τα συστήματα HVAC και οι βιομηχανικές εφαρμογές.[4]

Η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων κινητήρων δείχνει ότι δεν υπάρχει ένας "καλύτερος" κινητήρας για όλες τις εφαρμογές. Η επιλογή του κατάλληλου κινητήρα εξαρτάται από τις συγκεκριμένες ανάγκες της εφαρμογής, τις απαιτήσεις για ταχύτητα και ροπή, καθώς και από άλλους παράγοντες όπως το κόστος, η συντήρηση και η ενεργειακή αποδοτικότητα.

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ ταχύτητας και ροπής στους διαφορετικούς τύπους κινητήρων είναι κρίσιμη για την επιλογή του κατάλληλου κινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι AC κινητήρες προσφέρουν αξιοπιστία και ανθεκτικότητα σε εφαρμογές με σταθερή ταχύτητα, ενώ οι DC κινητήρες προσφέρουν ακριβή έλεγχο κίνησης και υψηλή ροπή εκκίνησης. Οι EC κινητήρες συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των AC και DC κινητήρων, προσφέροντας υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Η τελική επιλογή του κινητήρα πρέπει να βασίζεται στις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής, εξασφαλίζοντας την βέλτιστη απόδοση και την αποδοτικότητα της εγκατάστασης.



Εικόνα 19: Σύγκριση τύπων κινητήρων

MOTORS				
	DC	AC	BRUSHLESS	UNIVERSAL
VOLTAGE	DC 12V 24V 90V 115V FWR 130V 180V	AC 115V 1 ph 230V 1 ph 230V 3 ph  50 and 60 Hz	AC/DC with control 24V 165/115V	AC/DC 12-240V
SPEED	350 - 6,000 rpm	1,200 - 3,400 rpm	2,300 - 3,800 rpm	8,000 - 20,000+ rpm
POWER	0.01 - 0.52 hp	0.01 - 1.11 hp	0.08 - 0.43 hp	up to 2.5 hp
TORQUE	0.6 - 13.5 in-lb	0.07 - 23.1 in-lb	1.6 - 10.8 in-lb	varies
EFFICIENCY	60-70%	40-80%	65-80%	55-70%
LOW NOISE	●●●●○	●●●●○	●●●●●	●○○○○
LOW MAINTENANCE	●●●○○	●●●●●	●●●●●	●○○○○
LIFE	●●●○○	●●●●●	●●●●●	●●○○○
SPEED REGULATION	●●●○○	●●●●○	●●●●●	●○○○○

GEAR MOTORS				
	PARALLEL SHAFT	PLANETARY	RIGHT ANGLE	RIGHT ANGLE PLANETARY
GEARS	spur and helical	spur and helical	worm	spur and bevel
MAX INPUT SPEED	4000 rpm	4000 rpm	2800 rpm	3500 rpm
MAX OUTPUT TORQUE	322 in-lb	1062 in-lb	708 in-lb	885 in-lb
MAX EFFICIENCY	90%	95%	80%	90%
BACK DRIVABILITY	yes	yes	yes (below 30:1 ratio)	yes
GEAR RATIOS	5:1 - 320:1	5:1 - 1000:1	5:1 - 100:1	5:1 - 1000:1

\*Numbers based on optimal gear life at continuous duty

AC CONTROLS										
9 DIGIT NUMBER	AC LINE INPUT			FUSE OR CIRCUIT BREAKER RATING (A)	DRIVE OUTPUT				ENCLOSURES	
	VOLTAGE (V) 50/60 HZ	PHASE (Ø)	MAXIMUM CURRENT (A)		VOLTAGE RANGE (V)	PHASE (Ø)	MAX. CONT. LOAD CURRENT (RMS A/Ø)	MAX. POWER		
750-10-0000	115	1	9.8	15	0-230	3	2.4	1/2	0.37	CHASSIS
	208/230		6.0	10						
750-10-0001	115	1	14.0	20	0-230	3	4.0	1	0.75	CHASSIS
	208/230		10.0	15						
750-10-0002	115	1	14.4	20	0-208/230	3	3.6	1	0.75	NEMA 4X
	208/230		8.1	15						
750-10-0003	115	1	4.0	5	0-230	3	1.0	1/10	0.07	CHASSIS
	208/230		2.5	5						
750-10-0004	115	1	4.0	5	0-230	3	1.0	1/10	0.07	IP50
	208/230		2.5	5						
750-10-0005	115	1	8.8	15	0-230	3	2.2	1/2	0.37	IP20
	208/230		6.0	10			2.4			

BLDC CONTROLS												
9 DIGIT NUMBER	POWER				SPEED CONTROL				FEATURES			ENCLOSURE TYPE
	VOLTAGE (V)		CURRENT (A)		CLOSED LOOP	SPEED POT.	DC SIGNAL	DIGITAL CONTROL	ACCEL / DECEL	BRAKE	INHIBIT	
	AC	DC	CONT.	PEAK								
750-30-0002	—	12-48	7.5	11.3	X	X	0-5V	—	X	X	X	CHASSIS
750-30-0003	—	12-48	7.5	11.3	X	X	0-5V	—	X	X	X	NEMA 4X
750-30-0004	—	12-48	20.0	40.0	X	X	0-6.25V	—	—	—	—	CHASSIS
750-30-0005	—	12-48	20.0	40.0	X	X	0-6.25V	—	—	—	—	NEMA 4X
750-30-0006	—	12-48	8.0	12.0	X	—	—	X	X	X	X	NEMA 4X

Εικόνα 20: Σύγκριση διάφορων τύπων κινητήρων



## 4.2 Συγκριτικά στοιχεία κινητήρων EC με συμβατούς , inverter κλπ. καθώς και για την Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση ηλεκτροκινητήρων EC.

Οι ηλεκτροκινητήρες (EC motors) αποτελούν μία σύγχρονη λύση για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και ακρίβεια στον έλεγχο λειτουργίας, συγκριτικά με τους παραδοσιακούς ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και άλλους τύπους κινητήρων. Η παρούσα ανάλυση εστιάζει στα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και τις εφαρμογές των EC κινητήρων, προκειμένου να αποτιμηθεί η τεχνοοικονομική τους αξία σε σύγκριση με τους AC κινητήρες.

### 1. Αποδοτικότητα Ενέργειας και Βαθμός Απόδοσης

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των EC κινητήρων είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης που μπορεί να φτάσει και το 90%, υπερβαίνοντας τον τυπικό βαθμό απόδοσης των AC κινητήρων που κυμαίνεται μεταξύ 70% και 85% .[4] Οι EC κινητήρες χρησιμοποιούν σύστημα μεταγωγής συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες, αποφεύγοντας έτσι τις ενεργειακές απώλειες λόγω της μηχανικής επαφής μεταξύ ψήκτρων και συλλεκτών. Αυτή η βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας οδηγεί σε μειωμένο κόστος λειτουργίας, καθιστώντας τους EC κινητήρες μια ιδιαίτερα οικονομική επιλογή για μακροχρόνια χρήση.

### 2. Ακρίβεια Ελέγχου Ταχύτητας και Ροπής

Οι EC κινητήρες διαθέτουν ενσωματωμένο ηλεκτρονικό ελεγκτή που επιτρέπει την άμεση ρύθμιση της ταχύτητας και της ροπής χωρίς εξωτερικούς μετατροπείς. Σε σύγκριση, οι AC κινητήρες απαιτούν τη χρήση inverters για την ελεγχόμενη ρύθμιση της ταχύτητας, γεγονός που προσθέτει πολυπλοκότητα και αυξάνει τις απώλειες αποδοτικότητας στο σύστημα . [7] Οι EC κινητήρες προσφέρουν συνεχή και ακριβή έλεγχο, καθιστώντας τους ιδανικούς για εφαρμογές με απαιτήσεις αυξημένης ακρίβειας, όπως τα συστήματα HVAC, οι βιομηχανικοί ανεμιστήρες και οι αντλίες.

### 3. Αξιοπιστία και Κόστος Συντήρησης

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των EC κινητήρων είναι η απουσία μηχανικών τμημάτων που υπόκεινται σε φθορά, όπως οι ψήκτρες. Αυτή η ιδιαιτερότητα μειώνει τις ανάγκες συντήρησης και εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και μακροχρόνια σταθερότητα απόδοσης, σε αντίθεση με τους συμβατικούς DC κινητήρες που απαιτούν τακτική αντικατάσταση ψήκτρων. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του κόστους συντήρησης και η αποφυγή μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας.[8]

### 4. Εφαρμογές και Βελτιστοποίηση Ενεργειακής Χρήσης

Οι EC κινητήρες προσφέρουν δυνατότητες μεταβλητής ταχύτητας και μπορούν να προσαρμοστούν στις εκάστοτε λειτουργικές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, σε συστήματα HVAC, η δυνατότητα προσαρμογής της ταχύτητας του κινητήρα με βάση την απαιτούμενη ζήτηση αέρα ή ψύξης βελτιστοποιεί την ενεργειακή κατανάλωση, μειώνοντας την κατανάλωση κατά τη διάρκεια χαμηλής ζήτησης.[4] Αντίστοιχα, οι AC κινητήρες, ακόμη και με χρήση inverter, παρουσιάζουν μειωμένη αποδοτικότητα λόγω της μετατροπής της συχνότητας και των επιπλέον απωλειών.

## **5. Συγκριτική Αξιολόγηση με Σύγχρονους Κινητήρες και Κινητήρες Inverter**

Σε εφαρμογές που απαιτούν αυξημένη αποδοτικότητα και ευελιξία, οι EC κινητήρες υπερτερούν έναντι των σύγχρονων κινητήρων σταθερής ταχύτητας, οι οποίοι λειτουργούν συγχρονισμένα με το μαγνητικό πεδίο του στάτορα αλλά στερούνται προσαρμοστικότητας. Οι EC κινητήρες, με ενσωματωμένο έλεγχο, μπορούν να μεταβάλλουν τη λειτουργία τους με βάση τις συνθήκες της εφαρμογής, προσφέροντας συνολικά ανώτερη τεχνοοικονομική απόδοση.[8]

Συνοψίζοντας, οι EC κινητήρες αποτελούν μια τεχνολογικά προηγμένη επιλογή που παρέχει υψηλή αποδοτικότητα, αυξημένη ακρίβεια ελέγχου, χαμηλό κόστος συντήρησης και συνολικά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Με βάση τις ανάγκες κάθε εφαρμογής, οι EC κινητήρες μπορούν να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση κόστους και ενεργειακής κατανάλωσης, καθιστώντας τους μια ιδανική επιλογή για τη σύγχρονη βιομηχανική και οικιακή χρήση.

### **Μείωση Εκπομπών CO<sub>2</sub>**

Η χρήση EC κινητήρων μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από μια εγκατάσταση, καθώς η υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα σημαίνει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο ηλεκτρισμού, το οποίο σε πολλές περιοχές βασίζεται σε πηγές ενέργειας με υψηλές εκπομπές άνθρακα. Αυτή η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> συμβάλλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και βοηθά τις επιχειρήσεις να επιτύχουν τους στόχους τους για βιώσιμη ανάπτυξη. [7]

Παρά το υψηλότερο αρχικό κόστος των EC κινητήρων, η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να αντισταθμίσει αυτό το κόστος και να προσφέρει οικονομικά οφέλη στον χρήστη. Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, σε συνδυασμό με τη χαμηλή συντήρηση και τη μακροχρόνια αξιοπιστία, καθιστά τους EC κινητήρες μια από τις πιο οικονομικές επιλογές για πολλές εφαρμογές.[8]

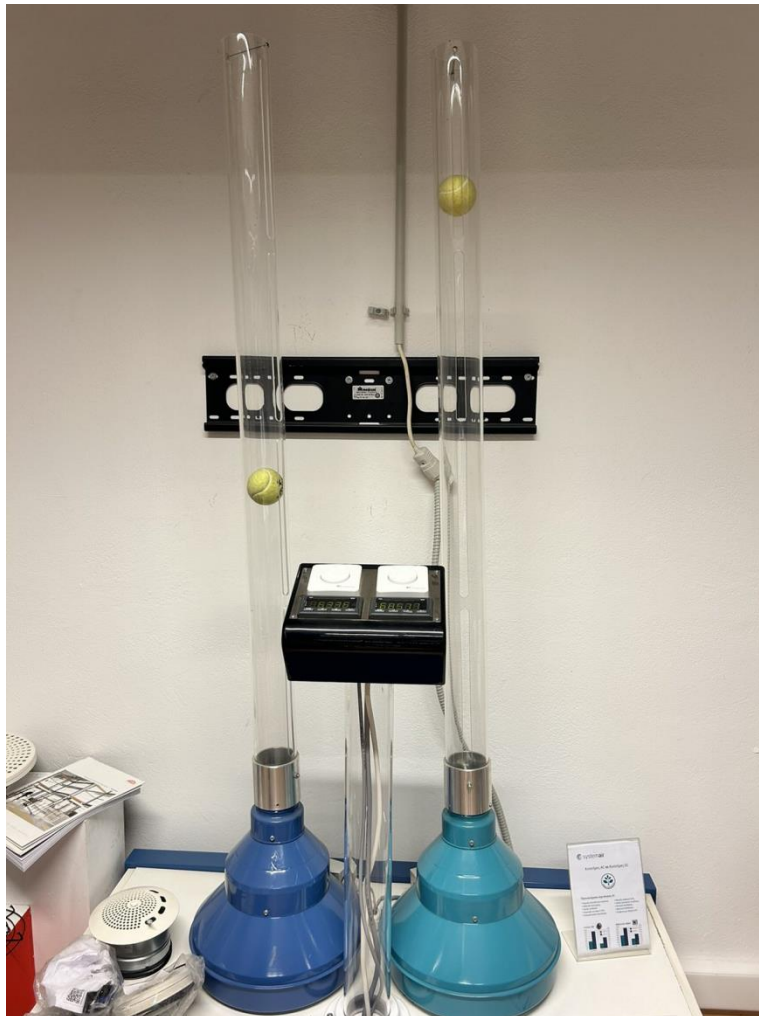
Η σύγκριση των EC κινητήρων με άλλους τύπους κινητήρων, όπως οι συμβατικοί κινητήρες και οι κινητήρες με inverter, δείχνει ότι οι EC κινητήρες προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και την ευκολία ελέγχου. Η υψηλή αποδοτικότητά τους, η ακρίβεια στον έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής, καθώς και η χαμηλή ανάγκη συντήρησης τους καθιστούν ιδανικούς για εφαρμογές όπου η εξοικονόμηση ενέργειας και η βιωσιμότητα είναι προτεραιότητες.

Η χρήση EC κινητήρων μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, μειώνοντας το συνολικό κόστος λειτουργίας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Ενώ το αρχικό κόστος των EC κινητήρων είναι υψηλότερο σε σύγκριση με άλλους κινητήρες, η μακροπρόθεσμη οικονομική εξοικονόμηση και τα περιβαλλοντικά οφέλη τους καθιστούν μια έξυπνη επιλογή για πολλές βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές.

## Κεφάλαιο 5 Παρουσίαση πειραματικής Διατάξεις

Στην εικόνα 20 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη η οποία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Θέρμανσης Ψύξης Κλιματισμού του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα το ένα με AC κινητήρα και το άλλο με τον EC κινητήρα.



Εικόνα 21: Πειραματική διάταξη

## 5.1 Πειραματική σύγκριση AC κινητήρων

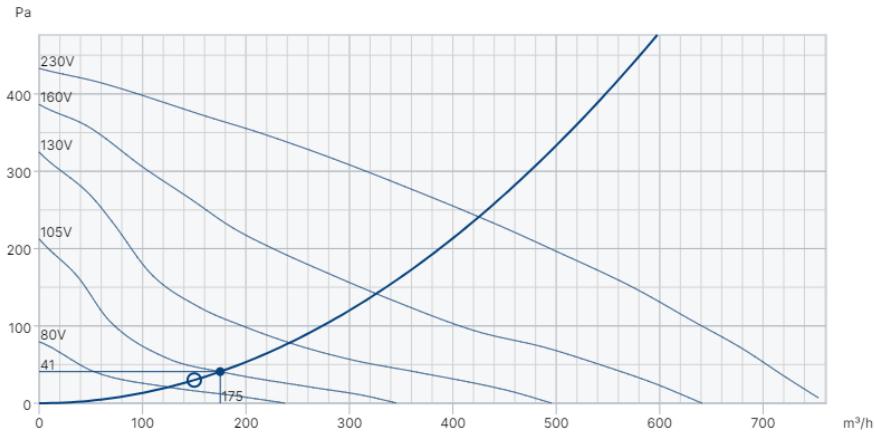
Η σύγκριση των τριών ταχυτήτων έδειξε ότι, καθώς αυξάνεται η ισχύς, η ταχύτητα και η τάση, βελτιώνονται η πίεση και η παροχή αέρα που μπορεί να προσφέρει ο κινητήρας. Κάθε ρύθμιση ταχύτητας παρουσιάζει διαφορετική κατανάλωση ισχύος και ειδική ισχύ ανεμιστήρα (SFP), γεγονός που δείχνει ότι η απόδοση αλλάζει με την ταχύτητα. Οι υψηλότερες ταχύτητες καταναλώνουν συνήθως περισσότερη ενέργεια, αλλά δεν είναι απαραίτητα πιο αποδοτικές όσον αφορά το SFP. Τα επίπεδα θορύβου διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στις συχνότητες και τις ταχύτητες. Οι υψηλότερες ταχύτητες παράγουν περισσότερο θόρυβο, κάτι που μπορεί να επηρεάσει την καταλληλότητά τους σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται ησυχία. Οι καμπύλες απόδοσης δείχνουν ότι στις υψηλότερες ταχύτητες, ο κινητήρας μπορεί να επιτύχει υψηλότερες πιέσεις και ροές αέρα, επεκτείνοντας τις δυνατότητες εφαρμογής του σε απαιτητικές συνθήκες. Ο απαιτούμενο ρεύμα και η τάση ελέγχου διαφέρουν επίσης ανάλογα με την ταχύτητα, κάτι που επηρεάζει τις λειτουργικές απαιτήσεις και το κόστος λειτουργίας

Hydraulic data										
○ Required air flow		150	m <sup>3</sup> /h							
○ Required static pressure		30	Pa							
● Working air flow		175	m <sup>3</sup> /h							
● Working static pressure		41	Pa							
Air density		1.204	kg/m <sup>3</sup>							
Power		35.8	W							
Fan control - RPM		1,061	rpm							
Current		0.35	A							
SFP		0.735	kW/m <sup>3</sup> /s							
Control voltage		105.0	V							
Supply voltage		105	V							
Sound power level										
Acoustic filter		A-filter								
Octave bands		Octave bands								
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Inlet	dB(A)	42	51	43	45	47	38	25	24	54
Outlet	dB(A)	46	46	45	45	47	38	25	23	53
Surrounding	dB(A)	17	11	17	27	28	19	<10	<10	31
Sound pressure level at 3m (20m <sup>2</sup> Sabine)	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	24
Sound pressure level at 3m free field	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	10

Εικόνα 22: Δεδομένα ροής: AC πρώτη ταχύτητα

Ξεκινώντας με την πρώτη ταχύτητα του AC κινητήρα έχει ισχύ 35.8 watt, και 1061 στροφές το λεπτό. Το ρεύμα που καταναλώνει είναι 0.35A και η τάση είναι 105V. Σύμφωνα με την εικόνα 21 και την καμπύλη απόδοσης του κινητήρα αυτού η πίεση είναι 41 Pa και η παροχή που δίνει είναι 175m<sup>3</sup>/h.

### Performance curve



Εικόνα 23: Καμπύλη απόδοσης AC πρώτης ταχύτητας

Στην δεύτερη ταχύτητα ο AC κινητήρας έχει ισχύ 69.1 watt, και 1995 στροφές το λεπτό. Το ρεύμα που καταναλώνει είναι 0.34A και η τάση είναι 160V. Σύμφωνα με την εικόνα 24 και την καμπύλη απόδοσης του κινητήρα αυτού η πίεση είναι 171 Pa και η παροχή που δίνει είναι 275m<sup>3</sup>/h.

#### Hydraulic data

○ Required air flow	270 m <sup>3</sup> /h	▼
○ Required static pressure	165 Pa	▼
● Working air flow	275 m <sup>3</sup> /h	▼
● Working static pressure	171 Pa	▼
Air density	1.204 kg/m <sup>3</sup>	▼
Power	69.1 W	▼
Fan control - RPM	1,995 rpm	▼
Current	0.43 A	▼
SFP	0.906 kW/m <sup>3</sup> /s	▼
Control voltage	160.0 V	▼
Supply voltage	160 V	▼

#### Sound power level

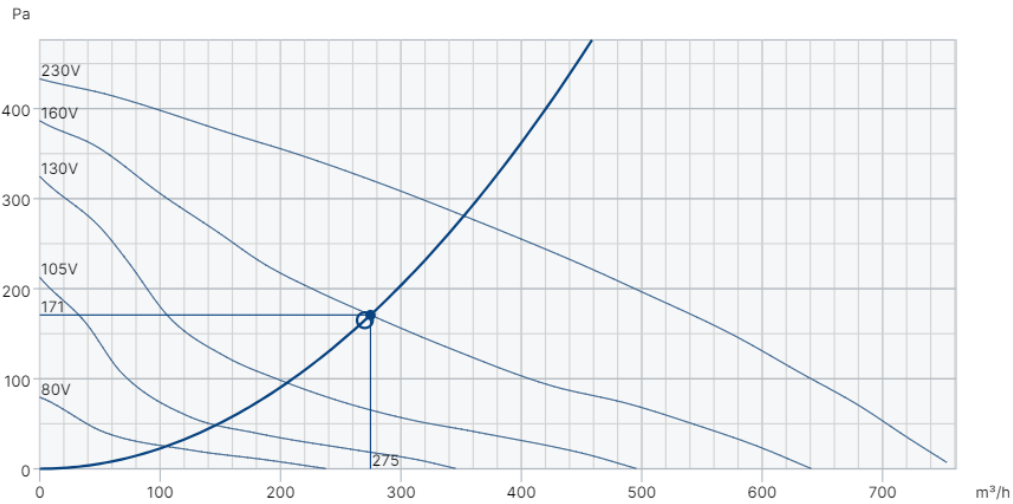
Acoustic filter

Octave bands

		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Inlet	dB(A)	42	59	58	59	57	57	50	40	65
Outlet	dB(A)	46	54	61	58	57	57	50	39	65
Surrounding	dB(A)	14	20	31	40	38	38	31	19	44
Sound pressure level at 3m (20m <sup>2</sup> Sabine)	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	37
Sound pressure level at 3m free field	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	23

Εικόνα 24: Δεδομένα ροής: AC δεύτερης ταχύτητας

## Performance curve



Εικόνα 25: Καμπύλη απόδοσης AC δεύτερης ταχύτητας

### Hydraulic data

○ Required air flow	350 m³/h	▼
○ Required static pressure	275 Pa	▼
● Working air flow	353 m³/h	▼
● Working static pressure	280 Pa	▼
Air density	1.204 kg/m³	▼
Power	98.3 W	▼
Fan control - RPM	2,547 rpm	▼
Current	0.43 A	▼
SFP	1.002 kW/m³/s	▼
Control voltage	230.0 V	▼
Supply voltage	230 V	▼

### Sound power level

Acoustic filter

A-filter ▼

Octave bands

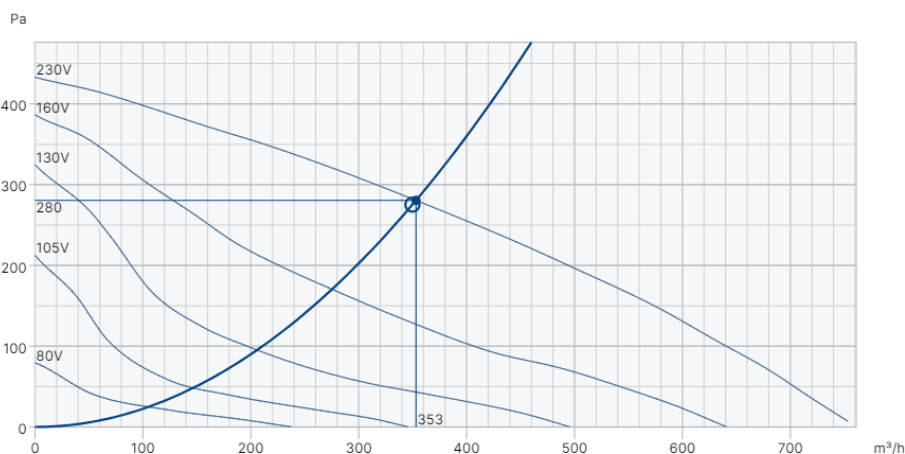
Octave bands ▼

		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Inlet	dB(A)	43	63	62	65	63	62	57	50	70
Outlet	dB(A)	47	58	64	64	63	63	57	49	70
Surrounding	dB(A)	15	24	37	46	44	43	38	29	50
Sound pressure level at 3m (20m² Sabine)	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	43
Sound pressure level at 3m free field	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	29

Εικόνα 26: Δεδομένα ροής : AC τρίτης ταχύτητας

Στην τρίτη ταχύτητα AC κινητήρας έχει ισχύ 98.3 watt, και 2547 στροφές το λεπτό. Το ρεύμα που καταναλώνει είναι 0.43A και η τάση είναι 230V. Σύμφωνα με την εικόνα 26 και την καμπύλη απόδοσης του κινητήρα αυτού η πίεση είναι 280 Pa και η παροχή που δίνει είναι 353m<sup>3</sup>/h.

Performance curve



Εικόνα 27: Καμπύλη απόδοσης AC τρίτης ταχύτητάς

### Πρώτη Ταχύτητα

Η πρώτη ταχύτητα κινητήρα AC έχει ισχύ 35,8 Watt, ταχύτητα 1061 στροφές το λεπτό (RPM), καταναλώνει ρεύμα 0,35 Αμπέρ και λειτουργεί σε τάση 105V. Σύμφωνα με την καμπύλη απόδοσης του κινητήρα, η πίεση που παράγει είναι 41 Pa και η παροχή αέρα είναι 175 m<sup>3</sup>/h.

Αυτή η ταχύτητα έχει τη χαμηλότερη ισχύ και ταχύτητα από τις τρεις. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η σχετικά χαμηλή απόδοση πίεσης και παροχής τον καθιστούν κατάλληλο για εφαρμογές όπου οι απαιτήσεις σε αέρα και πίεση είναι περιορισμένες. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν μικρά συστήματα αερισμού ή εφαρμογές όπου η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι πιο σημαντική από την υψηλή απόδοση.

### Δεύτερη Ταχύτητα

Η δεύτερη ταχύτητα διαθέτει ισχύ 69,1 Watt και λειτουργεί στις 1995 στροφές το λεπτό, με κατανάλωση ρεύματος 0,34 Αμπέρ και τάση 160V. Η πίεση που παράγει είναι 171 Pa, ενώ η παροχή αέρα φτάνει τα 275 m<sup>3</sup>/h.

Είναι ισχυρότερος από τον πρώτο, προσφέροντας σχεδόν διπλάσια ισχύ και σημαντικά υψηλότερη πίεση και παροχή αέρα. Παρά το γεγονός ότι καταναλώνει παρόμοια ποσότητα ρεύματος με τον πρώτο κινητήρα, η αυξημένη τάση και η μεγαλύτερη ταχύτητα του επιτρέπουν να παρέχει υψηλότερη απόδοση. Σε αυτές τις

τιμές ο ανεμιστήρας είναι κατάλληλος για εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη ροή αέρα και υψηλότερη πίεση, όπως σε μεγαλύτερα συστήματα αερισμού ή σε περιβάλλοντα όπου η ανάγκη για αποδοτική μετακίνηση του αέρα είναι πιο κρίσιμη.

### **Τρίτη Ταχύτητα**

Τέλος η τρίτη ταχύτητα AC κινητήρα έχει την υψηλότερη ισχύ, 98,3 Watt, και λειτουργεί στις 2547 στροφές το λεπτό. Καταναλώνει ρεύμα 0,43 Αμπέρ και λειτουργεί σε τάση 230V. Η πίεση που παράγει είναι 280 Pa και η παροχή αέρα φτάνει τα 353 m<sup>3</sup>/h.

Είναι ο πιο ισχυρός από τους τρεις και προσφέρει την υψηλότερη πίεση και παροχή αέρα. Η υψηλότερη κατανάλωση ρεύματος και η μεγαλύτερη τάση υποδεικνύουν ότι είναι σχεδιασμένος για απαιτητικές εφαρμογές όπου η μετακίνηση μεγάλων όγκων αέρα με υψηλή πίεση είναι απαραίτητη. Είναι ιδανικός για βιομηχανικές εφαρμογές ή μεγάλα συστήματα HVAC όπου η απόδοση είναι κρίσιμη και οι απαιτήσεις σε πίεση και παροχή αέρα είναι υψηλές. Η σύγκριση των τριών ταχυτήτων δείχνει ότι, καθώς αυξάνεται η ισχύς, η ταχύτητα και η τάση, βελτιώνονται η πίεση και η παροχή αέρα που μπορεί να προσφέρει ο κινητήρας. Κάθε ρύθμιση ταχύτητας παρουσιάζει διαφορετική κατανάλωση ισχύος και ειδική ισχύ ανεμιστήρα (SFP), γεγονός που δείχνει ότι η απόδοση αλλάζει με την ταχύτητα. Οι υψηλότερες ταχύτητες καταναλώνουν συνήθως περισσότερη ενέργεια, αλλά δεν είναι απαραίτητα πιο αποδοτικές όσον αφορά το SFP. Τα επίπεδα θορύβου διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στις συχνότητες και τις ταχύτητες. Οι υψηλότερες ταχύτητες παράγουν περισσότερο θόρυβο, κάτι που μπορεί να επηρεάσει την καταλληλότητά τους σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται ησυχία. Οι καμπύλες απόδοσης δείχνουν ότι στις υψηλότερες ταχύτητες, ο κινητήρας μπορεί να επιτύχει υψηλότερες πιέσεις και ροές αέρα, επεκτείνοντας τις δυνατότητες εφαρμογής του σε απαιτητικές συνθήκες. Ο απαιτούμενο ρεύμα και η τάση ελέγχου διαφέρουν επίσης ανάλογα με την ταχύτητα, κάτι που επηρεάζει τις λειτουργικές απαιτήσεις και το κόστος λειτουργίας

## **5.2 Σύγκριση EC κινητήρων**

Οι ηλεκτροκινητήρες με ηλεκτρονική μεταγωγή (EC) είναι γνωστοί για την υψηλή τους αποδοτικότητα και την ευελιξία τους στον έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής. Αυτή η σύγκριση θα εξετάσει τρεις διαφορετικούς EC κινητήρες, εστιάζοντας στην ισχύ, την ταχύτητα, την κατανάλωση ρεύματος, την πίεση και την παροχή αέρα, με στόχο να αναδείξει τις διαφορές και τις καταλληλότητές τους για διάφορες εφαρμογές.

Στην πρώτη ταχύτητα ο EC κινητήρας έχει ισχύ 27.5 watt, και 1900 στροφές το λεπτό. Το ρεύμα που καταναλώνει είναι 0.25A και η τάση ελέγχου είναι 7.3V. Σύμφωνα με την εικόνα 29 και την καμπύλη απόδοσης του κινητήρα αυτού η πίεση είναι 200 Pa και η παροχή που δίνει είναι 150m<sup>3</sup>/h.



### Hydraulic data

<input type="radio"/> Required air flow	150 m <sup>3</sup> /h	▼
<input type="radio"/> Required static pressure	200 Pa	▼
<input checked="" type="radio"/> Working air flow	150 m <sup>3</sup> /h	▼
<input checked="" type="radio"/> Working static pressure	200 Pa	▼
Air density	1.204 kg/m <sup>3</sup>	▼
Power	27.5 W	▼
Fan control - RPM	1,900 rpm	▼
Current	0.25 A	▼
SFP	0.659 kW/m <sup>3</sup> /s	▼
Control voltage	7.3 V	▼
Supply voltage	230 V	▼

### Sound power level

Acoustic filter

A-filter ▼

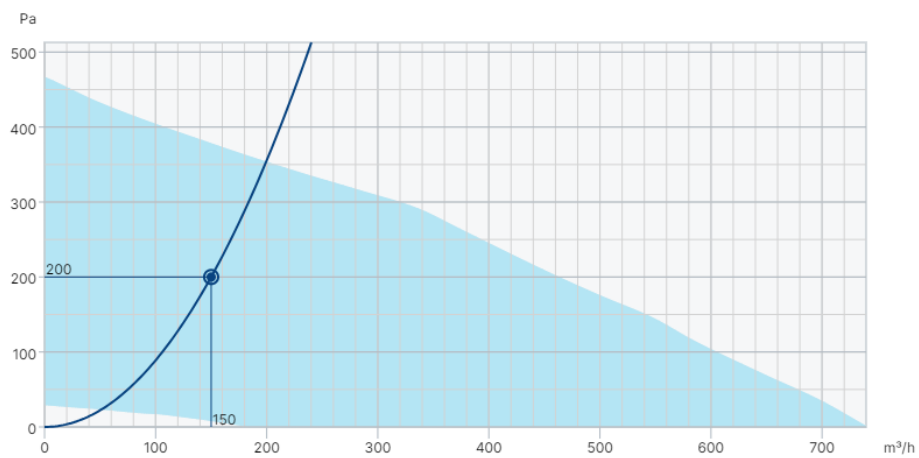
Octave bands

Octave bands ▼

		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Inlet	dB(A)	49	56	60	57	56	54	45	35	64
Outlet	dB(A)	50	55	54	55	54	53	45	36	61
Surrounding	dB(A)	12	20	36	34	36	35	26	14	42
Sound pressure level at 3m (20m <sup>2</sup> Sabine)	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	35
Sound pressure level at 3m free field	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	21

Εικόνα 28: Δεδομένα ροής: EC πρώτης ταχύτητας

### Performance curve



Εικόνα 29: Καμπύλη απόδοσης EC πρώτης ταχύτητας

Έπειτα στην δεύτερη ταχύτητα ο κινητήρας έχει ισχύ 44.2 watt, και 2073 στροφές το λεπτό. Το ρεύμα που καταναλώνει είναι 0.37A και η τάση ελέγχου είναι 8.3V. Σύμφωνα με την εικόνα 31 και την καμπύλη απόδοσης του κινητήρα αυτού η πίεση είναι 200 Pa και η παροχή που δίνει είναι 300m<sup>3</sup>/h.

#### Hydraulic data

○ Required air flow	300 m <sup>3</sup> /h	▼
○ Required static pressure	200 Pa	▼
● Working air flow	300 m <sup>3</sup> /h	▼
● Working static pressure	200 Pa	▼
Air density	1.204 kg/m <sup>3</sup>	▼
Power	44.2 W	▼
Fan control - RPM	2,073 rpm	▼
Current	0.37 A	▼
SFP	0.530 kW/m <sup>3</sup> /s	▼
Control voltage	8.3 V	▼
Supply voltage	230 V	▼

#### Sound power level

Acoustic filter

A-filter ▼

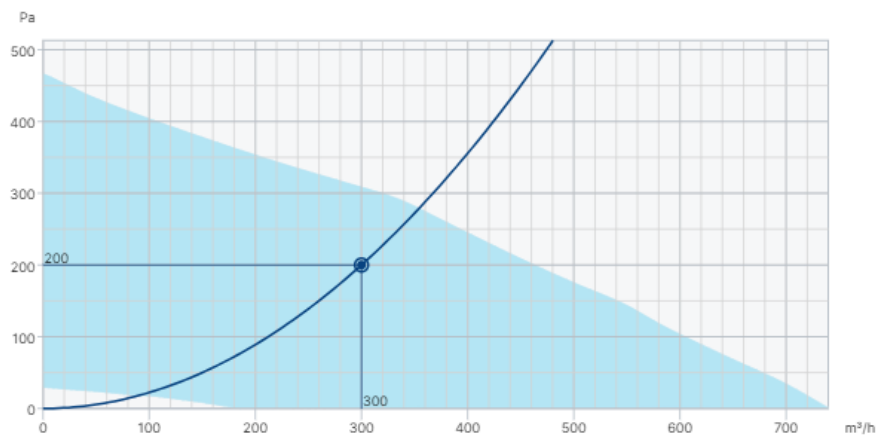
Octave bands

Octave bands ▼

		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Inlet	dB(A)	48	56	61	59	58	56	49	38	66
Outlet	dB(A)	49	57	54	58	55	56	48	38	63
Surrounding	dB(A)	12	19	34	37	38	37	30	18	43
Sound pressure level at 3m (20m <sup>2</sup> Sabine)	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	36
Sound pressure level at 3m free field	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	22

Εικόνα 30: Δεδομένα ροής : EC δεύτερης ταχύτητας

#### Performance curve



Εικόνα 31: Καμπύλη απόδοσης EC δεύτερης ταχύτητας

Η τρίτη ταχύτητά του EC κινητήρα έχει ισχύ 70.4 watt, και 2419 στροφές το λεπτό. Το ρεύμα που καταναλώνει είναι 0.56A και η τάση ελέγχου είναι 9.8V. Σύμφωνα με την εικόνα 33 και την καμπύλη απόδοσης του κινητήρα αυτού η πίεση είναι 200 Pa και η παροχή που δίνει είναι 450m<sup>3</sup>/h.

#### Hydraulic data

○ Required air flow	450 m <sup>3</sup> /h	▼
○ Required static pressure	200 Pa	▼
● Working air flow	450 m <sup>3</sup> /h	▼
● Working static pressure	200 Pa	▼
Air density	1.204 kg/m <sup>3</sup>	▼
Power	70.4 W	▼
Fan control - RPM	2,419 rpm	▼
Current	0.56 A	▼
SFP	0.563 kW/m <sup>3</sup> /s	▼
Control voltage	9.8 V	▼
Supply voltage	230 V	▼

#### Sound power level

Acoustic filter

A-filter ▼

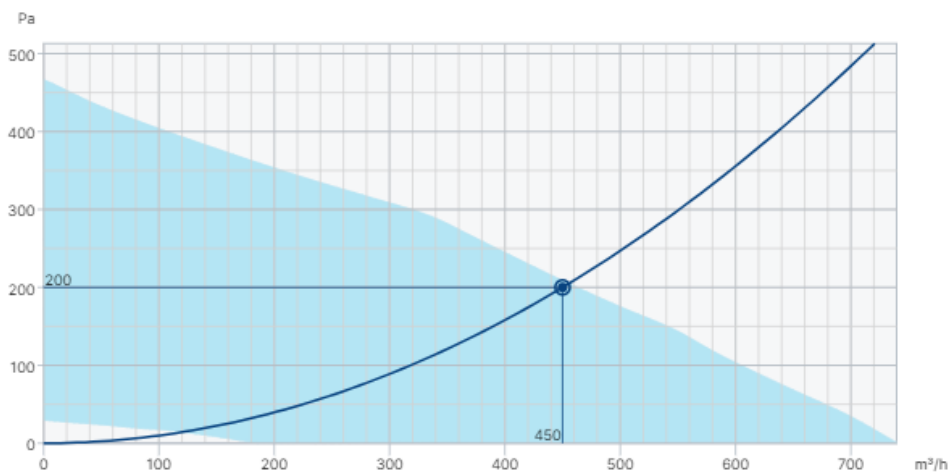
Octave bands

Octave bands ▼

		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Inlet	dB(A)	50	60	64	62	62	61	55	46	69
Outlet	dB(A)	50	60	58	62	59	60	55	45	68
Surrounding	dB(A)	14	24	41	40	42	42	36	26	48
Sound pressure level at 3m (20m <sup>2</sup> Sabine)	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	41
Sound pressure level at 3m free field	dB(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	27

Εικόνα 32: Δεδομένα ροής, EC τρίτης ταχύτητας

#### Performance curve



Εικόνα 33: Καμπύλη απόδοσης EC τρίτης ταχύτητας

### **Πρώτη Ταχύτητα EC**

Στην πρώτη ταχύτητα του EC κινητήρα έχει ισχύ 27,5 Watt και λειτουργεί στις 1900 στροφές το λεπτό (RPM), καταναλώνοντας ρεύμα 0,25 A και ελέγχεται με τάση 7,3V. Η πίεση που παράγει είναι 200 Pa και η παροχή αέρα φτάνει τα 150 m<sup>3</sup>/h.

Σε αυτές τις χαμηλές στροφές ο κινητήρας είναι ο λιγότερο ισχυρός από τους τρεις και προσφέρει τη χαμηλότερη παροχή αέρα. Παρόλα αυτά, η χαμηλή του κατανάλωση ενέργειας και η επαρκής απόδοση πίεσης τον καθιστούν κατάλληλο για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλές παροχές αέρα αλλά χρειάζονται αξιόπιστη πίεση με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών μπορεί να περιλαμβάνουν μικρά συστήματα εξαερισμού ή κλιματισμού, όπου η αποδοτικότητα είναι πιο σημαντική από την παροχή.

### **Δεύτερη Ταχύτητα EC**

Στην δεύτερη ταχύτητα ο EC κινητήρας έχει ισχύ 44,2 Watt και λειτουργεί στις 2073 στροφές το λεπτό, καταναλώνοντας ρεύμα 0,37 A και ελέγχεται με τάση 8,3V. Παράγει την ίδια πίεση με τον πρώτο κινητήρα, 200 Pa, αλλά η παροχή αέρα είναι διπλάσια, φτάνοντας τα 300 m<sup>3</sup>/h.

Σε σύγκριση με τον πρώτο κινητήρα, ο δεύτερος EC κινητήρας προσφέρει μεγαλύτερη παροχή αέρα με σχετικά χαμηλή αύξηση στην κατανάλωση ρεύματος και ισχύος. Αυτός ο κινητήρας είναι πιο κατάλληλος για εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη παροχή αέρα, όπως σε μεγαλύτερα συστήματα εξαερισμού ή κλιματισμού, ενώ εξακολουθεί να διατηρεί υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα. Η ικανότητά του να προσφέρει διπλάσια παροχή αέρα χωρίς σημαντική αύξηση στο κόστος λειτουργίας τον καθιστά πιο αποδοτική επιλογή για μεσαίες εφαρμογές.

### **Τρίτη Ταχύτητα EC**

Στην τρίτη ταχύτητα ο κινητήρας EC είναι ο πιο ισχυρός από τους τρεις, με ισχύ 70,4 Watt και λειτουργεί στις 2419 στροφές το λεπτό. Καταναλώνει ρεύμα 0,56 A και ελέγχεται με τάση 9,8V. Παρόμοια με τους άλλους δύο κινητήρες, η πίεση που παράγει είναι 200 Pa, αλλά η παροχή αέρα είναι η υψηλότερη, φτάνοντας τα 450 m<sup>3</sup>/h.

Στην υψηλή ταχύτητα είναι ο πιο κατάλληλος για απαιτητικές εφαρμογές όπου η υψηλή παροχή αέρα είναι κρίσιμη, όπως σε βιομηχανικά συστήματα εξαερισμού ή μεγάλες εγκαταστάσεις HVAC. Η υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας είναι δικαιολογημένη από την σημαντικά αυξημένη παροχή αέρα, καθιστώντας τον ιδανικό για περιπτώσεις όπου η απόδοση έχει προτεραιότητα έναντι της εξοικονόμησης ενέργειας.

Η σύγκριση αυτών των τριών ταχυτήτων EC κινητήρων δείχνει ότι καθώς αυξάνεται η ισχύς και η ταχύτητα του κινητήρα, βελτιώνεται η παροχή αέρα που μπορεί να προσφέρει, ενώ η πίεση παραμένει σταθερή και στις τρεις περιπτώσεις. Στην πρώτη ταχύτητα ο κινητήρας είναι ιδανικός για εφαρμογές μικρής κλίμακας

με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Στην δεύτερη προσφέρει μια ισορροπία μεταξύ κατανάλωσης και παροχής αέρα, καθιστώντας τον κατάλληλο για μεσαίες εφαρμογές. Ενώ στην τρίτη ταχύτητα ο κινητήρας, με τη μεγαλύτερη παροχή αέρα, είναι καλύτερη επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν μέγιστη απόδοση. Ο EC κινητήρας διατηρεί υψηλή ενεργειακή απόδοση σε όλες τις ταχύτητες. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε χαμηλή και μεσαία ταχύτητα, όπου η κατανάλωση ενέργειας παραμένει σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με έναν αντίστοιχο AC κινητήρα, γεγονός που συμβάλλει στη συνολική μείωση του λειτουργικού κόστους. Στην υψηλή ταχύτητα, η κατανάλωση αυξάνεται αλλά εξακολουθεί να προσφέρει καλύτερη σχέση ισχύος/απόδοσης συγκριτικά με AC τεχνολογία. Σε όλες τις ταχύτητες, ο EC κινητήρας διατηρεί χαμηλότερα επίπεδα θορύβου από έναν αντίστοιχο AC κινητήρα. Αυτό είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται ησυχία και άνεση, όπως σε κτίρια γραφείων, νοσοκομεία ή κατοικίες, αλλά και σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου οι χαμηλότεροι θόρυβοι συμβάλλουν στη βελτίωση των συνθηκών εργασίας.

## Κεφάλαιο 6. Οικονομική ανάλυση

### 6.1 Δεδομένα ανάλυσης

Ωρες λειτουργίας ανά έτος

Ο υπολογισμός των συνολικών ωρών λειτουργίας έγινε ως εξής:

- **Ωρες λειτουργίας ανά ημέρα:** 14 ώρες
- **Ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα:** 6 ημέρες
- **Εβδομάδες λειτουργίας ανά έτος:** 53 εβδομάδες

Η συνολική λειτουργία σε ώρες ανά έτος δίνεται από τον τύπο:

Συνολικές ώρες ανά έτος =  $14 \times 6 \times 53 = 4,452$  ώρες

Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας καθορίστηκε σε:

- **0,14 € ανά kWh**

### 6.2.1 Σύγκριση Ισχύος Κινητήρων και Ενεργειακό Κόστος

Τεχνικές Προδιαγραφές των Κινητήρων

- **Μάρκα:** Systemair
- **Τύπος:**
  - EC Fan: K 200 L EC
  - AC Fan: K 200 L
- **Παροχή αέρα:** 400 m<sup>3</sup>/h
- **Εξωτερική πίεση:** 150 Pa
- **Κατανάλωση Ισχύος:**
  - EC Fan: 48 W
  - AC Fan: 101 W

Υπολογισμός Ενεργειακού Κόστους Ανά Έτος

Για κάθε κινητήρα, το ετήσιο ενεργειακό κόστος υπολογίζεται με τον τύπο:

Ετήσιο Ενεργειακό Κόστος = Ισχύς (kW) × Συνολικές Ωρες Ανά Έτος × Κόστος ανά kWh

#### ➤ **EC FAN**

Ετήσιο Ενεργειακό Κόστος EC =  $0,048 \text{ kW} \times 4,452 \text{ ώρες} \times 0,14 \text{ €} = 29,92 \text{ €}$

#### ➤ **AC FAN**

Ετήσιο Ενεργειακό Κόστος AC =  $0,101 \text{ kW} \times 4,452 \text{ ώρες} \times 0,14 \text{ €} = 62,95 \text{ €}$

Κόστος Εξοπλισμού

Τα κόστη του εξοπλισμού διαφέρουν μεταξύ των δύο κινητήρων:

### **EC Fan:**

- Κόστος ανεμιστήρα: 678 €
- Συνολικό κόστος εξοπλισμού για τον EC κινητήρα 678 € (χωρίς επιπλέον κόστος)

### **AC Fan:**

- Κόστος ανεμιστήρα: 410 €
- Έξτρα κόστος για AC ανεμιστήρα: 134 €
- Συνολικό κόστος: 410 € + 134 € = 544 €

### **Ετήσια εξοικονόμηση κόστους**

Η ετήσια εξοικονόμηση υπολογίζεται ως η διαφορά του συνολικού κόστους μεταξύ των δύο κινητήρων για κάθε έτος. Η διαφορά κόστους είναι αρχικά αρνητική λόγω του υψηλότερου αρχικού κόστους του EC κινητήρα

Η διαφορά στο ετήσιο ενεργειακό κόστος οδηγεί σε ετήσια εξοικονόμηση υπέρ του EC κινητήρα. Η ετήσια εξοικονόμηση υπολογίζεται ως έξης

Εξοικονόμηση Ενέργειας ανά Έτος :  $62,95 - 29,92 = 33,03$  €

Αρχική Διαφορά Κόστους:  $678 - 544 = 134$  €

### **Χρόνος Αποπληρωμής**

Με μια ετήσια εξοικονόμηση 33,03 €, το αρχικό κόστος του EC κινητήρα αποσβένεται σε περίπου:

$$\frac{134\text{€}}{33,03\text{€}} = 4 \text{ χρονια}$$

Έτσι, η απόσβεση του EC κινητήρα πραγματοποιείται στον 4ο χρόνο. Από τον 5ο χρόνο και μετά, ο EC κινητήρας αρχίζει να αποφέρει καθαρή εξοικονόμηση σε σχέση με τον AC κινητήρα.

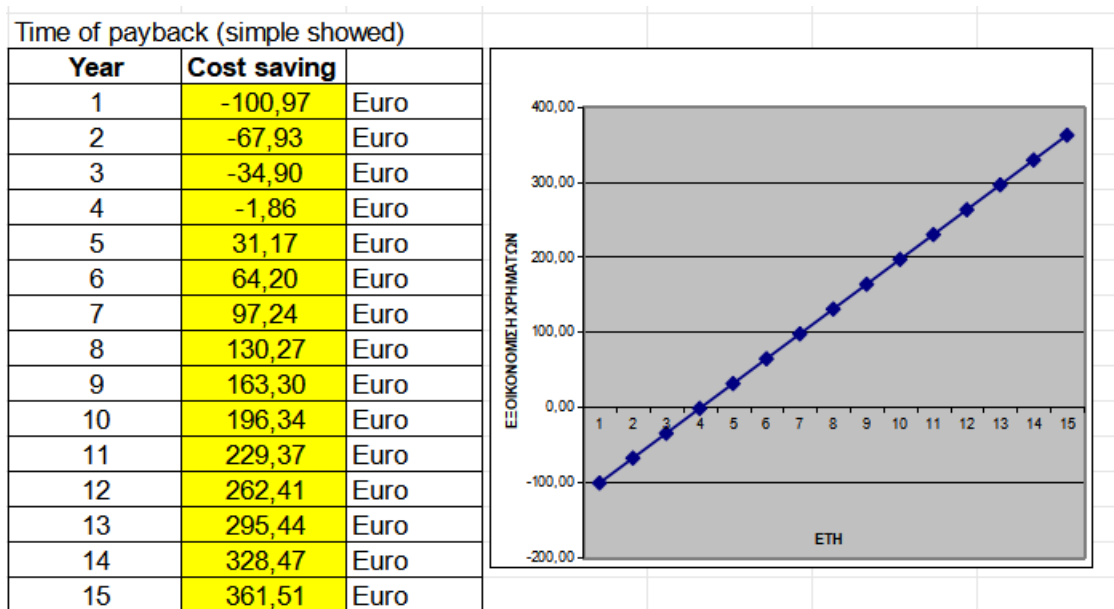
### **Αποπληρωμή και Σωρευτική Εξοικονόμηση**

Στον πίνακα βλέπουμε την ετήσια και σωρευτική εξοικονόμηση κόστους για διάστημα 15 ετών. Η σωρευτική εξοικονόμηση αυξάνεται κάθε χρόνο καθώς τα ετήσια κόστη ενέργειας για τον EC κινητήρα είναι χαμηλότερα.

Υπολογισμοί για την Αποπληρωμή

Αρχικά, το κόστος είναι αρνητικό λόγω του υψηλότερου κόστους αγοράς του EC κινητήρα. Από το 5ο έτος και μετά αρχίζει η θετική εξοικονόμηση, και μετά από περίπου 15 χρόνια η σωρευτική εξοικονόμηση φτάνει τα 361,51 €, όπως φαίνεται στον πίνακα (εικόνα 34).

Η γραφική παράσταση παρουσιάζει αυτήν την σωρευτική εξοικονόμηση σε συνάρτηση με τα έτη και δείχνει την απόδοση του EC κινητήρα σε σχέση με τον AC, καθώς τα κόστη του αντισταθμίζονται πλήρως μετά από μερικά έτη.



Εικόνα 34: Χρόνος απόσβεσης

Έτος (n)	Σωρευτική Εξοικονόμηση (€)
1	$1 \times 33,03 - 268 = -100,97$
2	$2 \times 33,03 - 268 = -67,93$
3	$3 \times 33,03 - 268 = -34,90$
4	$4 \times 33,03 - 268 = -1,86$
5	$5 \times 33,03 - 268 = 31,17$
6	$6 \times 33,03 - 268 = 64,20$
10	$10 \times 33,03 - 268 = 196,34$
15	$15 \times 33,03 - 268 = 361,51$

Εικόνα 35: Εξοικονόμηση σε έτη

### 1. Αρνητική Σωρευτική Εξοικονόμηση (Χρόνια 1-4):

- Στα πρώτα τέσσερα έτη, η σωρευτική εξοικονόμηση είναι αρνητική, καθώς ο EC ανεμιστήρας έχει υψηλότερο αρχικό κόστος κατά 268 € σε σχέση με τον AC ανεμιστήρα.
- Κατά το πρώτο έτος, το κόστος είναι -100,97 €, το οποίο σημαίνει ότι ο χρήστης έχει επιβαρυνθεί με αυτό το ποσό επιπλέον λόγω του υψηλότερου αρχικού κόστους.
- Σταδιακά, η σωρευτική εξοικονόμηση μειώνεται (σε αρνητικές τιμές), λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας του EC ανεμιστήρα, μέχρι να φτάσει το -1,86 € στο τέλος του τέταρτου έτους.



## 2. **Θετική Σωρευτική Εξοικονόμηση (Από το 5ο Έτος και Μετά):**

- Από το πέμπτο έτος και μετά, η σωρευτική εξοικονόμηση γίνεται θετική, δείχνοντας ότι ο EC ανεμιστήρας πλέον προσφέρει οικονομικό όφελος.
- Στο πέμπτο έτος, η εξοικονόμηση είναι 31,17 €, και αυξάνεται διαρκώς κάθε χρόνο λόγω της συνεχιζόμενης εξοικονόμησης ενέργειας (περίπου 33,03 € ανά έτος).

## 3. **Συνεχής Αύξηση Σωρευτικής Εξοικονόμησης (Ετη 6-15):**

- Από το έκτο έτος και μετά, η σωρευτική εξοικονόμηση συνεχίζει να αυξάνεται γραμμικά, φτάνοντας τα 361,51 € στο τέλος του 15ου έτους.
- Η αύξηση είναι σταθερή και υποδεικνύει ότι η απόφαση για χρήση του EC ανεμιστήρα αποφέρει συνεχόμενα οφέλη με την πάροδο των ετών.

## 4. **Γραμμική Τάση στο Διάγραμμα:**

- Το διάγραμμα επιβεβαιώνει την γραμμική τάση της σωρευτικής εξοικονόμησης, καθώς τα σημεία ακολουθούν μια σχεδόν ευθεία γραμμή.
- Η αρχή της γραμμής είναι κάτω από τον άξονα των 0 € και σταδιακά διασχίζει τον άξονα των 0 € (στο πέμπτο έτος), μέχρι να καταλήξει σε θετική εξοικονόμηση.

## 5. **Συνοπτική Παρουσίαση Χρόνου Απόσβεσης:**

- Ο χρόνος απόσβεσης (time of payback) φαίνεται να είναι περίπου στα 4 με 5 χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι ο EC ανεμιστήρας αρχίζει να αποδίδει κέρδος από το πέμπτο έτος και μετά.
- Αυτή η περίοδος απόσβεσης είναι μια σημαντική πληροφορία για την αξιολόγηση της οικονομικής αποδοτικότητας του EC ανεμιστήρα σε σχέση με τον AC ανεμιστήρα.

### 6.2.2 Ανάλυση Κόστους Ζωής (Life Cycle Cost Analysis)

Για να πραγματοποιήσουμε μια Ανάλυση Κόστους Ζωής (Life Cycle Cost Analysis) για τους δύο ανεμιστήρες (EC και AC) βάσει του πίνακα που παρατίθεται, θα υπολογίσουμε το συνολικό κόστος των δύο ανεμιστήρων για ένα χρονικό διάστημα (συνήθως 15 ετών στην περίπτωση μας), λαμβάνοντας υπόψη τόσο το αρχικό κόστος όσο και το κόστος ενέργειας κάθε έτος. Στόχος είναι να προσδιοριστεί ποιος ανεμιστήρας είναι οικονομικά πιο αποδοτικός μακροπρόθεσμα.

#### **Δεδομένα από τον Πίνακα:**

##### 1. Αρχικό Κόστος:

- EC Fan: 678 €
- AC Fan: 410 € για τον ανεμιστήρα + 134 € για τον ελεγκτή (σύνολο: 544 €)

##### 2. Κόστος Ενέργειας ανά Έτος:

- EC Fan: 29,92 €/έτος
- AC Fan: 62,95 €/έτος

3. Χρονική Περίοδος Ανάλυσης: 15 έτη

4. Ετήσια Εξοικονόμηση Κόστους:

$$62,95\text{€} - 29,92\text{€} = 33,03\text{€}$$

### Βήμα 1 :Σωρευτικό Κόστος Ενέργειας σε 15 έτη

· Σωρευτικό Κόστος Ενέργειας (EC Fan)= $29,92\text{€} \times 15 = 448,80\text{€}$

· Σωρευτικό Κόστος Ενέργειας (AC Fan)= $62,95\text{€} \times 15 = 944,25\text{€}$

### Βήμα 2:Συνολικό Κόστος Ζωής για κάθε ανεμιστήρα

· Συνολικό Κόστος Ζωής (EC Fan) =  $678\text{€} + 448,80\text{€} = 1.126,80\text{€}$

· Συνολικό Κόστος Ζωής (AC Fan) = $544\text{€} + 944,25\text{€} = 1.488,25\text{€}$

### Βήμα 3: Διαφορά στο Συνολικό Κόστος Ζωής

Διαφορά Συνολικού Κόστους Ζωής= $1.488,25\text{€} - 1.126,80\text{€} = 361,45\text{€}$

### Πίνακας Ανάλυσης Κόστους Ζωής

Στοιχείο	EC Fan (€)	AC Fan (€)	Διαφορά (€)
Αρχικό Κόστος	678	544	+134
Ετήσιο Κόστος Ενέργειας	29,92	62,95	-33,03
Σωρευτικό Κόστος Ενέργειας (15 έτη)	448,80	944,25	-495,45
Συνολικό Κόστος Ζωής (15 έτη)	1.126,80	1.488,25	-361,45

### Η Ανάλυση Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value - NPV)

Η συγκεκριμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της κερδοφορίας μιας επένδυσης. Για να υπολογίσουμε την NPV, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη το κόστος αρχικής επένδυσης, την ετήσια εξοικονόμηση κόστους και ένα προεξοφλητικό επιτόκιο. Η NPV μάς βοηθά να καθορίσουμε εάν η επιλογή του EC Fan είναι οικονομικά συμφέρουσα σε βάθος χρόνου.

1. Δεδομένα για την Ανάλυση

Αρχικό Κόστος Επένδυσης:

- EC Fan: 678 €
- AC Fan: 544 €

Άρα, η επιπλέον επένδυση για τον EC Fan είναι:

$$\text{Επιπλέον Επένδυση} = 678\text{€} - 544\text{€} = 134\text{€}$$

2. Ετήσια Εξοικονόμηση Κόστους: Η εξοικονόμηση από τη χρήση του EC Fan σε σχέση με τον AC Fan είναι 33,03 € ανά έτος.

3. Χρονική Περίοδος: 15 έτη

4. Προεξοφλητικό Επιτόκιο (Discount Rate) : Υποθέτουμε ένα επιτόκιο 5% για την ανάλυση (μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις οικονομικές συνθήκες).

### Τύπος Υπολογισμού NPV

Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) υπολογίζεται με τον εξής τύπο

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{Ct}{(1+r)^t} - \text{Initial Investment}$$

Όπου :

- Ct = Ετήσια εξοικονόμηση κόστους (33,03 €)
- r = Προεξοφλητικό επιτόκιο (5% ή 0,05)
- t = Έτη (από 1 έως 15)
- Initial Investment = Επιπλέον κόστος για τον EC Fan (134 €)

$$PV \frac{Ct}{(1+r)^t}$$

1ο Έτος :

$$PV1 = \frac{33,03}{(1+0,05)^1} = 31,46€$$

2ο Έτος :

$$PV1 = \frac{33,03}{(1+0,05)^2} = 29,97€$$

3ο Έτος :

$$PV1 = \frac{33,03}{(1+0,05)^3} = 28,54€$$

15ο Έτος :

$$PV1 = \frac{33,03}{(1+0,05)^{15}} = 15,92€$$

### Συνολική Παρούσα Αξία (Σ.ΠΑ) των Ετήσιων Εξοικονομήσεων

Αθροίζοντας όλες τις παρούσες αξίες για τα 15 έτη:

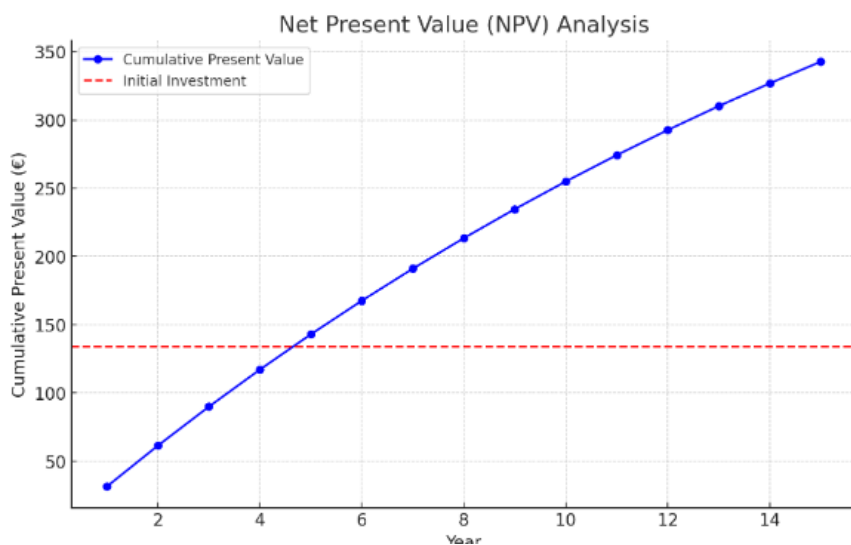
$$\Sigma.ΠΑ = 31,46 + 29,97 + 28,54 + 27,18 + 25,88 + 24,65 + 23,47 + 22,35 + 21,29 + 20,27 + 19,31 + 18,40 + 17,53 + 16,70 + 15,92 = 342,92€$$

### Υπολογισμός NPV

Αφαιρούμε την αρχική επένδυση από τη συνολική παρούσα αξία για να βρούμε την NPV:

$$NPV = \Sigma.ΠΑ - \text{Επιπλέον Επένδυση} = 342,92 - 134 = 208,92€$$

Η **Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)** είναι **208,92 €**, το οποίο είναι θετικό. Αυτό σημαίνει ότι η επένδυση στον EC Fan είναι οικονομικά αποδοτική, καθώς αποφέρει καθαρό κέρδος 208,92 € σε βάθος 15 ετών με προεξοφλητικό επιτόκιο 5%.



Εικόνα 36: Ανάλυση Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) για την Επένδυση σε EC Ανεμιστήρα

Το διάγραμμα δείχνει τη σωρευτική Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) της επένδυσης σε EC ανεμιστήρα για μια περίοδο 15 ετών. Παρατηρούμε ότι η σωρευτική παρούσα αξία αυξάνεται σταθερά κάθε χρόνο, υπερβαίνοντας το αρχικό κόστος επένδυσης περίπου μετά το τέταρτο έτος. Αυτό σημαίνει ότι η επένδυση στον EC ανεμιστήρα όχι μόνο αποσβένει το αρχικό κόστος σε λίγα χρόνια, αλλά στη συνέχεια προσφέρει συνεχή οικονομικά οφέλη, επιτυγχάνοντας θετική οικονομική απόδοση στο μακροπρόθεσμο.

Έτος	Εξοικονόμηση Κόστους (€ / Έτος)	Παρούσα Αξία (€ / Έτος)
1	33,03	31.46
2	33,03	29.96
3	33,03	28.53
4	33,03	27.17
5	33,03	25.88
6	33,03	24.65
7	33,03	23.47
8	33,03	22.36

9	33,03	21.29
10	33,03	20.28
11	33,03	19.31
12	33,03	18.39
13	33,03	17.52
14	33,03	16.68
15	33,03	15.89
Σύνολο	-	342.84
NPV	-	208.84

Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) της επένδυσης στον EC ανεμιστήρα είναι 208.84 €, υποδεικνύοντας ότι η επένδυση αυτή είναι οικονομικά αποδοτική και θα αποφέρει θετικό οικονομικό αποτέλεσμα με την πάροδο των 15 ετών.

## Κεφάλαιο 7. Υπολογισμός Εκπομπών CO<sub>2</sub> και Κόστος Ανθρακικού Αποτυπώματος

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, ιδιαίτερη σημασία αποκτά ο υπολογισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που παράγονται κατά τη λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων. Η εκτίμηση αυτή συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και συμβάλλει στον καθορισμό του ανθρακικού αποτυπώματος της κάθε τεχνολογίας, αναδεικνύοντας τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη από τη μείωση των εκπομπών.

Οι EC (Electronically Commutated) κινητήρες έχουν αναγνωρισθεί ως ενεργειακά αποδοτικότεροι σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς AC (Alternating Current) κινητήρες, καθώς προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση και λιγότερες απώλειες ισχύος, μειώνοντας τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Η μειωμένη κατανάλωση οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και του σχετικού κόστους, καθώς πολλές επιχειρήσεις επιδιώκουν να περιορίσουν το ανθρακικό τους αποτύπωμα λόγω περιβαλλοντικών και κανονιστικών πιέσεων.

Ο υπολογισμός των εκπομπών CO<sub>2</sub> των EC και AC κινητήρων βασίζεται στην ηλεκτρική κατανάλωση κάθε τύπου κινητήρα και τον συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub> της ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος εκφράζεται σε κιλά CO<sub>2</sub> ανά κιλοβατώρα (kWh).

Για να κάνουμε μια συγκριτική ανάλυση εκπομπών CO<sub>2</sub> και κόστους ενέργειας μεταξύ ενός κινητήρα AC (101 W) και ενός EC (48 W) για διάστημα έως 15 ετών, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Ωρες Λειτουργίας

- Συνολικές ώρες λειτουργίας ανά έτος :  
 $8 \text{ ώρες/ημέρα} \times 6 \text{ ημέρες/βδομάδα} \times 52 \text{ εβδομάδες/έτος} = 2496 \text{ ώρες}$
- Για 15 χρόνια :  
 $2496 \text{ ώρες / έτος} \times 15 \text{ χρόνια} = 37.440 \text{ ώρες}$

Κατανάλωση Ενέργειας

### **Κινητήρας AC:**

Ικανότητα: 101 W=0.101 kW

Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (EKE) = 0.101 kW×2496 ώρες = 252.496 kWh/έτος

### **Κινητήρας EC:**

Ικανότητα: 48 W=0.048 kW

Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (EKE) = 0.048 kW×2496 ώρες=119.968 kWh/έτος

Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας για 15 Χρόνια

(σύμφωνα με τη διάρκεια της ανάλυσης της οικονομικής σύγκρισης)

### **Κινητήρας AC:**

$252.496 \text{ kWh/έτος} \times 15 \text{ χρόνια} = 3,787.44 \text{ kWh}$

### **Κινητήρας EC:**

$119.968 \text{ kWh/έτος} \times 15 \text{ χρόνια} = 1,799.52 \text{ kWh}$

## Εκπομπές CO<sub>2</sub>

Ο μέσος συντελεστής εκπομπών CO<sub>2</sub> για την ηλεκτρική ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι περίπου 0.39 kg/kWh (σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας).

### Εκπομπές CO<sub>2</sub> για τον Κινητήρα AC:

$$\text{Συνολικές εκπομπές CO}_2 = 3,787.44 \text{ kWh} \times 0.39 \text{ kg/kWh} = 1,477.1 \text{ kg}$$

### Εκπομπές CO<sub>2</sub> για τον Κινητήρα EC:

$$\text{Συνολικές εκπομπές CO}_2 = 1,799.52 \text{ kWh} \times 0.39 \text{ kg/kWh} = 702.2 \text{ kg}$$

## Ανάλυση Κόστους

Τιμή ενέργειας ανά kWh: 0.14 €

### Κόστος για τον Κινητήρα AC:

$$\text{Συνολικό κόστος} = 3,787.44 \text{ kWh} \times 0.14\text{€/kWh} = 530.25\text{€}$$

### Κόστος για τον Κινητήρα EC:

$$\text{Συνολικό κόστος} = 1,799.52 \text{ kWh} \times 0.14/\text{kWh} = 251.93\text{€}$$

Συγκεντρωτικά θα έχουμε :

### Κινητήρας AC:

Εκπομπές CO<sub>2</sub>: 1,477.1 kg

Κόστος ενέργειας: €530.25

### Κινητήρας EC:

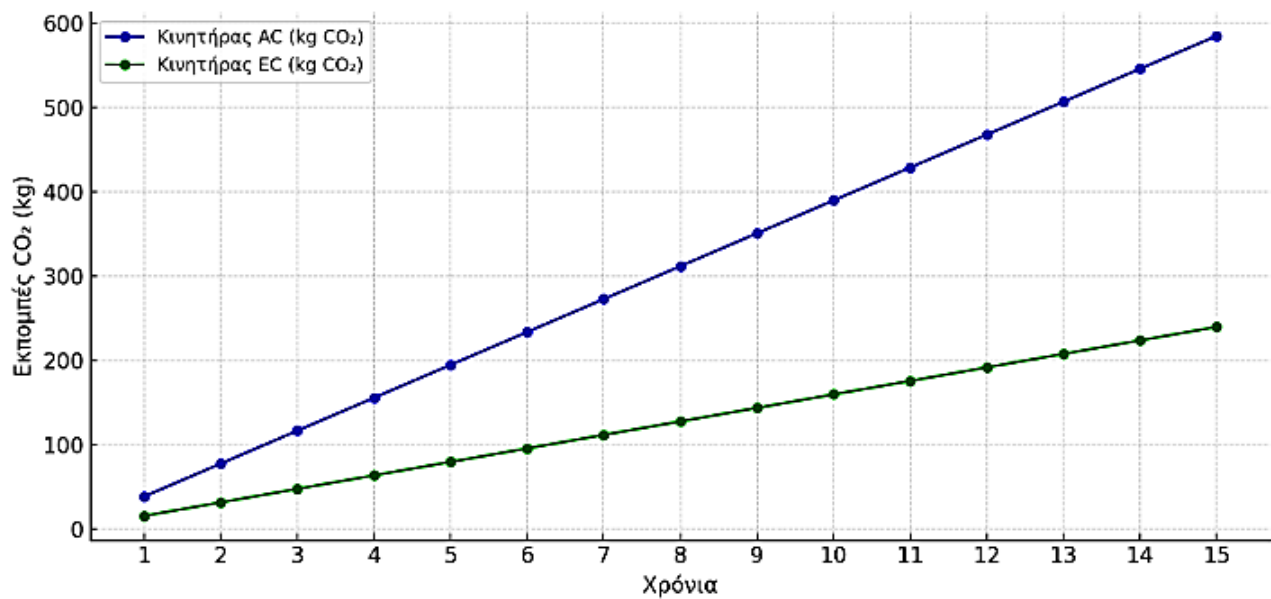
Εκπομπές CO<sub>2</sub>: 702.2 kg

Κόστος ενέργειας: €251.93

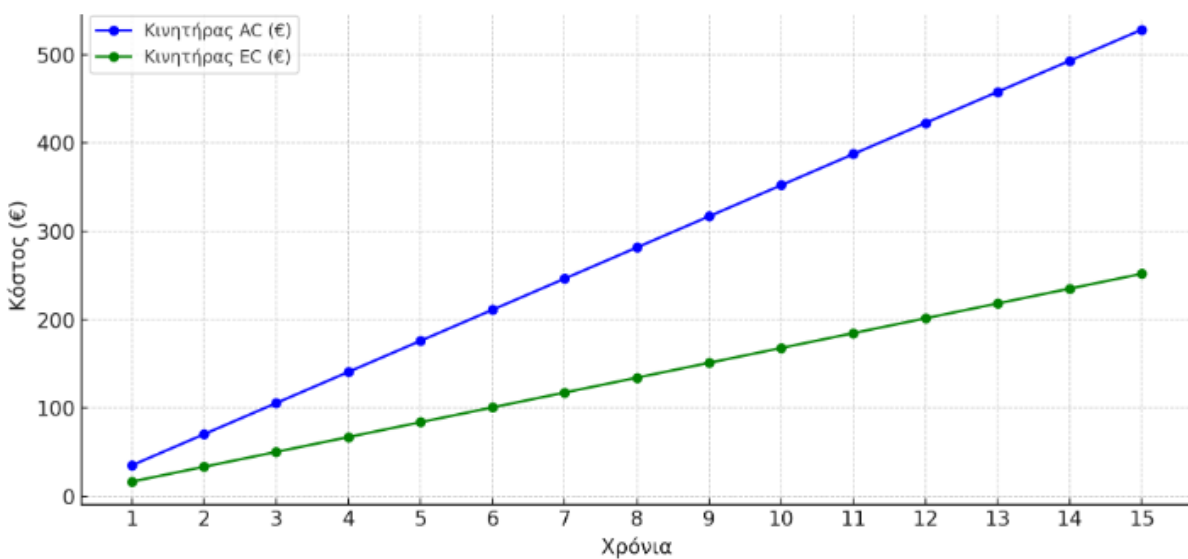
Ακολούθως αναφέρονται τα αποτελέσματα για 1 έως 15 χρόνια:

Έτος	Κινητήρας AC (kg CO <sub>2</sub> )	Κινητήρας EC (kg CO <sub>2</sub> )	Κόστος AC (€)	Κόστος EC (€)
1	39.00	16.00	35.22	16.80
2	78.00	32.00	70.44	33.60
3	117.00	48.00	105.66	50.40
4	156.00	64.00	140.88	67.20
5	195.00	80.00	176.10	84.00
6	234.00	96.00	211.32	100.80
7	273.00	112.00	246.54	117.60
8	312.00	128.00	281.76	134.40
9	351.00	144.00	316.98	151.20

10	390.00	160.00	352.20	168.00
11	429.00	176.00	387.42	184.80
12	468.00	192.00	422.64	201.60
13	507.00	208.00	457.86	218.40
14	546.00	224.00	493.08	235.20
15	585.00	240.00	528.30	252.00



Εικόνα 37: Συγκριτική ανάλυση εκπομπών CO<sub>2</sub> (kg)



Εικόνα 38: Συγκριτική ανάλυση κόστους ενέργειας €



Το διάγραμμα των εκπομπών CO<sub>2</sub> (εικόνα 37), δείχνει ξεκάθαρα ότι ο κινητήρας EC παράγει λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> συγκριτικά με τον κινητήρα AC. Αυτή η διαφορά είναι αισθητή ήδη από τον πρώτο χρόνο και αυξάνεται γραμμικά με τα χρόνια.

Με τη διαφορά εκπομπών να φτάνει περίπου το 50% έως και τα 15 χρόνια, γίνεται σαφές ότι η χρήση του κινητήρα EC συμβάλλει σε ένα μικρότερο ανθρακικό αποτύπωμα για μακροχρόνια λειτουργία σε συστήματα HVAC.

Το δεύτερο διάγραμμα (εικόνα 38), παρουσιάζει το κόστος ενέργειας, το οποίο ακολουθεί την ίδια πορεία με το διάγραμμα των εκπομπών CO<sub>2</sub>, καθώς βασίζεται στην ίδια κατανάλωση ενέργειας.

Παρατηρούμε ότι το κόστος του κινητήρα EC είναι σχεδόν μισό από αυτό του κινητήρα AC, με την ετήσια εξοικονόμηση να είναι σταθερή και να αυξάνεται με τον χρόνο.

Η σημαντική αυτή εξοικονόμηση στο κόστος δείχνει πως, πέρα από την περιβαλλοντική συμβολή, ο κινητήρας EC προσφέρει επίσης οικονομικά οφέλη για μακροχρόνια χρήση.

## Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

Η ανάλυση και σύγκριση των ηλεκτροκινητήρων AC και EC, όπως παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, επιβεβαιώνει τη σημασία της επιλογής του κατάλληλου τύπου κινητήρα, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ενεργειακή αποδοτικότητα, η αξιοπιστία, η συντήρηση, η κατανάλωση ενέργειας, και η δυνατότητα ελέγχου ταχύτητας και ροπής.

### **Σύγκριση AC και EC Κινητήρων**

Οι κινητήρες AC έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για δεκαετίες σε διάφορες εφαρμογές λόγω της απλότητας και της αξιοπιστίας τους. Εντούτοις, η εισαγωγή των EC κινητήρων έχει προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στον τομέα, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες AC.

### **Ενεργειακή Αποδοτικότητα**

Ένα από τα πιο κρίσιμα πλεονεκτήματα των EC κινητήρων είναι η υψηλή ενεργειακή τους αποδοτικότητα. Οι EC κινητήρες, όπως αναλύθηκε, έχουν αποδοτικότητα που μπορεί να φτάσει έως και το 90%, ενώ οι AC κινητήρες κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 70% και 85%. Η υψηλότερη αποδοτικότητα των EC κινητήρων σημαίνει ότι απαιτούν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για να επιτελέσουν την ίδια εργασία με έναν AC κινητήρα, κάτι που οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του λειτουργικού κόστους μακροπρόθεσμα .

### **Έλεγχος Ταχύτητας και Ροπής**

Οι EC κινητήρες παρέχουν εξαιρετική δυνατότητα ελέγχου της ταχύτητας και της ροπής, χάρη στην ενσωματωμένη ηλεκτρονική διαχείριση. Σε αντίθεση με τους AC κινητήρες, οι οποίοι απαιτούν επιπρόσθετες συσκευές όπως inverters για να επιτύχουν μεταβλητή ταχύτητα, οι EC κινητήρες επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο χωρίς την ανάγκη εξωτερικών συσκευών. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τους EC κινητήρες ιδανικούς για εφαρμογές όπως τα συστήματα HVAC, όπου η ακριβής ρύθμιση της ροής του αέρα μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή αποδοτικότητα και την απόδοση του συστήματος .

### **Συντήρηση και Αξιοπιστία**

Οι AC κινητήρες είναι γνωστοί για τη χαμηλή ανάγκη συντήρησής τους, ιδιαίτερα οι επαγωγικοί κινητήρες, οι οποίοι δεν διαθέτουν ψήκτρες ή συλλέκτες που απαιτούν τακτική συντήρηση. Ωστόσο, οι DC κινητήρες με ψήκτρες, που χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο, έχουν μεγαλύτερες ανάγκες συντήρησης και φθοράς.

Αντίθετα, οι EC κινητήρες συνδυάζουν την αξιοπιστία των AC κινητήρων με την ακρίβεια των DC κινητήρων χωρίς τις ανάγκες συντήρησης. Χάρη στην απουσία ψηκτρών και στη χρήση ηλεκτρονικής μεταγωγής, οι EC κινητήρες απαιτούν ελάχιστη έως καθόλου συντήρηση, γεγονός που αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους και μειώνει τα κόστη συντήρησης. Αυτό τους καθιστά εξαιρετικά αξιόπιστους για μακροχρόνια χρήση σε βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές .

## **Εφαρμογές και Καταλληλότητα**

Η επιλογή μεταξύ AC και EC κινητήρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή. Οι AC κινητήρες εξακολουθούν να είναι η πιο οικονομική επιλογή για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή αποδοτικότητα ή ακριβή έλεγχο ταχύτητας ενώ από την άλλη πλευρά, οι EC κινητήρες είναι ιδανικοί για εφαρμογές όπου η ενεργειακή αποδοτικότητα, η ακρίβεια ελέγχου και η αξιοπιστία είναι προτεραιότητες, όπως στα συστήματα HVAC, σε βιομηχανικούς ανεμιστήρες, αντλίες κ.α.

## **Εξοικονόμηση Ενέργειας**

Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους οι EC κινητήρες γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς. Η υψηλή αποδοτικότητα των EC κινητήρων σημαίνει ότι χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια για να εκτελέσουν την ίδια εργασία με έναν AC κινητήρα. Αυτό όχι μόνο μειώνει το κόστος ενέργειας, αλλά συμβάλλει επίσης στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, κάτι που είναι κρίσιμο για τις επιχειρήσεις που προσπαθούν να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Η χρήση EC κινητήρων σε συστήματα HVAC, για παράδειγμα, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, ειδικά σε εφαρμογές όπου η ρύθμιση της ροής του αέρα είναι απαραίτητη.

## **Οικονομικά Οφέλη και Μακροπρόθεσμη Απόδοση**

Παρά το υψηλότερο αρχικό κόστος των EC κινητήρων σε σύγκριση με τους AC κινητήρες, τα μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη είναι εμφανή. Η υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και η χαμηλή συντήρηση οδηγούν σε σημαντική μείωση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας. Οι επιχειρήσεις που επενδύουν σε EC κινητήρες μπορούν να αποκομίσουν τα οφέλη της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας και της μεγαλύτερης αξιοπιστίας, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος και αυξάνοντας την απόδοση της επένδυσής τους.

Επιπλέον, η χρήση EC κινητήρων μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να συμμορφωθούν με τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς και να επιτύχουν τους στόχους βιωσιμότητας, κάτι που αποτελεί ολοένα και πιο σημαντικό κριτήριο στις σημερινές επιχειρηματικές πρακτικές.

Η παρούσα εργασία έχει καταδείξει ότι οι EC κινητήρες υπερέχουν σε πολλούς τομείς σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς AC κινητήρες. Η υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα, ο ακριβής έλεγχος της ταχύτητας και της ροής, η χαμηλή συντήρηση και η αυξημένη αξιοπιστία καθιστούν τους EC κινητήρες την προτιμώμενη επιλογή για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, ιδιαίτερα σε τομείς όπου η ενεργειακή αποδοτικότητα και η βιωσιμότητα είναι κρίσιμες. Παρόλο που οι AC κινητήρες εξακολουθούν να είναι κατάλληλοι για ορισμένες εφαρμογές, κυρίως λόγω του χαμηλού αρχικού τους κόστους και της απλότητας, η συνολική τάση δείχνει μια μετατόπιση προς τους EC κινητήρες.

Η σύγκριση που έγινε μεταξύ των AC και των EC κινητήρων υπογραμμίζει τη σημασία της προσαρμογής της τεχνολογίας στις σύγχρονες ανάγκες. Οι EC κινητήρες, με τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και τη μακροχρόνια οικονομική αποδοτικότητα, αναδεικνύονται ως η πλέον βιώσιμη επιλογή για τις σύγχρονες βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές. Με την τεχνολογική πρόοδο να συνεχίζεται, οι EC

κινητήρες αναμένεται να συνεχίσουν να κερδίζουν έδαφος έναντι των παραδοσιακών κινητήρων, προάγοντας την καινοτομία και τη βιώσιμη ανάπτυξη σε έναν κόσμο που στρέφεται ολοένα και περισσότερο προς τις πράσινες τεχνολογίες και τις ενεργειακά αποδοτικές λύσεις.

## Βιβλιογραφία

- [1] <https://familytreemagazine.com/history/timelines/electric-fans-timeline/>
- [2] <https://www.britannica.com/technology/electric-motor>
- [3] ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2016.
- [4] Haines, Roger W., and C. Lewis HAWEL. HVAC Systems Design Handbook. McGraw-Hill Professional, 2003
- [5] IPI's Methodology for Implementing Sustainable Energy-Saving Strategies in Collections Environments (2017)
- [6] <https://www.groschopp.com/resources/compare-motor-types/>
- [7] Boyce, M. P. Gas Turbine Engineering Handbook. Butterworth-Heinemann, 2011.
- [8] Hughes, Austin, and Bill Drury. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. Newnes, 2013.
- [9] CIBSE Guide B: Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration. Chartered Institution of Building Services Engineers, 2016.
- [10] International Energy Agency (IEA). The Future of Cooling: Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning. 2018.
- [11] United Nations Environment Programme (UNEP). Report of the Technology and Economic Assessment Panel, Volume 1: Decision 5 Task Force Report on Issues Related to Energy Efficiency While Phasing Down Hydrofluorocarbons. 2019.
- [12] Howell, Ronald H., and Harry J. Sauer. \*Principles of Heating
- [13] [Fans · Systemair](#)