



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Π.Ε

---

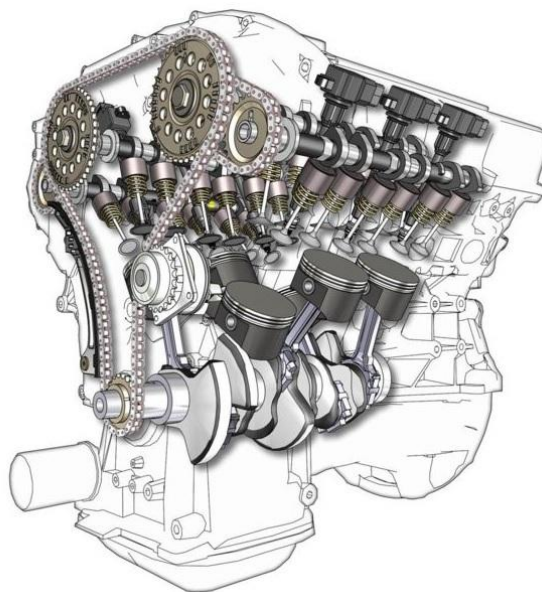
Τηλ: 2610-369278

E-mail: mech-secr@uop.gr

Fax: 2610-369198

---

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ, ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ Μ.Ε.Κ.  
& ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ**

**ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΣ: ΜΑΥΡΙΔΗΣ Π. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2022**

**ΕΓΚΡΙΝΕΤΑΙ**

**Ο ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΜΑΥΡΙΔΗΣ Π. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ©2022**

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία και τα συμπεράσματά της σε οποιαδήποτε μορφή αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου του φοιτητή. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το εν λόγω τμήμα του ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ.

Η έγκριση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

-----  
Ο υποφαινόμενος δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και συγγραφή και ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών. Δηλώνω υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολούθησα την πρέπουσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής. Έχω επίσης αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής. Γνωρίζω ότι η λογοκλοπή μπορεί να επισύρει ποινή ανάκλησης του πτυχίου μου.

Υπογραφή

Χρήστος



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μαυρίδη Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές που μου έδωσε καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας. Επίσης το μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στους γονείς μου, που στάθηκαν στο πλευρό μου σε όλο αυτό το ακαδημαϊκό μου ταξίδι.

## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	9
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ Μ.Ε.Κ. ....	11
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ .....	14
3. ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΞΗ ΜΕΚ.....	17
4. ΧΡΗΣΗ BENZINOKINHTHPΩN .....	19
5. ΧΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩN.....	20
6. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΕΚ.....	22
7. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΕΚ.....	24
8. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ .....	27
9. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ BENZINOKINHTHPΩN .....	28
10. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΩΝ BENZINOKINHTHPΩN .....	30
11. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩN.....	33
12. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩN .....	36
13. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩN.....	38
14. ΤΥΠΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩN.....	40
15. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩN ΜΕ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΕΚ.....	44
16. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ.....	44
17. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	45
18. ΥΒΡΙΔΙΚΑ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ .....	48
19. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΥΣΜΑΤΩΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ PLUG – IN ELECTRIC VEHICLE (PHEV) .....	51
20. ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΒΥΗΟ .....	52
21. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΥΗΟ ΚΑΙ ΒΥΗ.....	54
22. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ .....	54

---

23.	ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ .....	56
24.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΟΝΤΑΣ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ...	58
25.	ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ .....	60
26.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	62
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	64
1.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	65

ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα βασίζονται στον κύκλο Otto και είναι οι πιο δημοφιλείς κινητήρες εσωτερικής καύσης. Καταναλώνουν μια σειρά καυσίμων, όπως βενζίνη, φυσικό αέριο, προπάνιο, βιοαέριο και αέριο χωματερής. Οι περισσότεροι κινητήρες χρησιμοποιούν έναν κύκλο τεσσάρων διαδρομών (τετράχρονοι κινητήρες) ενώ μερικοί χρησιμοποιούν κύκλο δύο διαδρομών (δίχρονοι κινητήρες). Στους κινητήρες αυτούς, το καύσιμο και ο αέρας αναμιγνύονται πριν τροφοδοτηθούν στον κύλινδρο της μηχανής όπου συμπιέζεται το μείγμα και εν συνεχεία αναφλέγονται για να δημιουργήσουν μια ισχύ. Ο λόγος συμπίεσης ενός κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα περιορίζεται από την τάση για το μείγμα καυσίμου-αέρα να αναφλεγεί αυθόρμητα. Το φυσικό αέριο είναι πιο ανθεκτικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί υψηλότερος λόγος συμπίεσης, ο οποίος οδηγεί σε υψηλότερη απόδοση. Οι εκπομπές είναι επίσης σημαντικό θέμα στις σύγχρονες μηχανές.

Η καύση είναι η βασική χημική διαδικασία απελευθέρωσης ενέργειας από μίγμα καυσίμου και αέρα. Σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης (ICE: Internal Combustion Engine), η ανάφλεξη και η καύση του καυσίμου συμβαίνει εντός του ίδιου του κινητήρα, ο οποίος στη συνέχεια μετατρέπει εν μέρει την ενέργεια από την καύση σε εργασία. Ο κινητήρας αποτελείται από έναν σταθερό κύλινδρο και ένα κινούμενο έμβολο. Τα εκτεινόμενα αέρια καύσης ωθούν το έμβολο, το οποίο με τη σειρά του περιστρέφει τον στροφαλοφόρο άξονα και μέσω ενός συστήματος γραναζιών μεταδίδει την περιστροφή στο σύστημα κίνησης, το οποίο κινεί τους τροχούς του οχήματος. Τη σημερινή εποχή κυκλοφορούν κυρίως δύο τύποι κινητήρων εσωτερικής καύσης οι οποίοι είναι οι κινητήρες βενζίνης με ανάφλεξη από σπινθήρα και οι κινητήρες πετρελαίου με ανάφλεξη από συμπίεση. Οι περισσότεροι κινητήρες από αυτούς είναι μηχανές τεσσάρων κύκλων, που σημαίνει το έμβολο χρειάζεται τέσσερις διαδρομές για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος. Ο κύκλος περιλαμβάνει τέσσερις ξεχωριστές διαδικασίες οι οποίες είναι εισαγωγή, συμπίεση, καύση και ισχύ και διαρροή καυσαερίων. Οι κινητήρες βενζίνης με ανάφλεξη από σπινθήρα και οι κινητήρες πετρελαίου ανάφλεξης από συμπίεση διαφέρουν ως προς τον τρόπο τροφοδοσίας και ανάφλεξης του καυσίμου. Σε μια μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα, το καύσιμο αναμειγνύεται με αέρα και στη συνέχεια διοχετεύεται στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εισαγωγής. Αφού το έμβολο συμπιέσει το μίγμα καυσίμου-αέρα, ο σπινθήρας τον αναφλέγει, προκαλώντας καύση. Η διαστολή των αερίων καύσης ωθεί το έμβολο κατά τη διάρκεια της διαδρομής ισχύος. Σε έναν κινητήρα πετρελαίου, μόνο ο αέρας εισάγεται στον κινητήρα και στη συνέχεια

συμπιέζεται. Στη συνέχεια οι εγχυτήρες ψεκάζουν το καύσιμο στον θερμαινόμενο πεπιεσμένο αέρα με κατάλληλο, μετρημένο ρυθμό, προκαλώντας την ανάφλεξή του.

Ένας ακόμα τύπος κινητήρα που κυκλοφορεί είναι ο περιστρεφόμενος κινητήρας εσωτερικής καύσης, ο οποίος διακρίνεται από τριγωνικό στροφέα που λειτουργεί ως έμβολο και ονομάζεται κινητήρας Wankel. Σε αυτόν τον κινητήρα ο ρότορας, με τη μορφή ενός ισόπλευρου τριγώνου, περιστρέφεται με τροχιακή κίνηση σε ειδικά διαμορφωμένο περίβλημα, σχηματίζοντας περιστρεφόμενους θαλάμους καύσης σε σχήμα ημισελήνου μεταξύ των πλευρών του και του καμπυλωτού τοιχώματος του περιβλήματος.

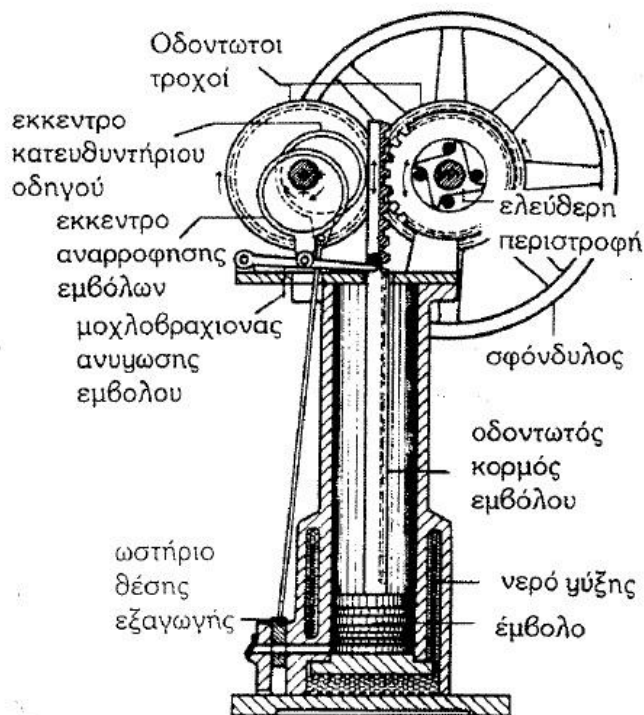
## 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ Μ.Ε.Κ.

Η χρησιμοποίηση μιας θερμικής μηχανής για να παραχθεί έργο, βασίζεται στην υπό συγκεκριμένες συνθήκες μεταφορά θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο, μεταβάλλοντας με αυτό τον τρόπο την ενεργειακή του κατάσταση. Κομμάτι της ενέργειας αυτής αποδίδεται ως μηχανικό έργο ενώ αυτό που απομένει επιστρέφει στο περιβάλλον υπό τη μορφή θερμότητας. Αυτή η μεταφορά θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί είτε εντός του κύριου του κύριου τμήματος της μηχανής είτε σε ανεξάρτητο τμήμα. Αυτό το χαρακτηριστικό της καύσης εντός της μηχανής για την παραγωγή της αναγκαίας θερμότητας, όπου το εργαζόμενο μέσο είναι το καυσαέριο, είναι που διαφοροποιεί της Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) από τις αντίστοιχες εξωτερικής καύσης.

Στις μηχανές εξωτερικής καύσης η παραγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο εργαζόμενο μέσο σε ανεξάρτητο απόρτιο της μηχανής, ενώ τα καυσαέρια αποβάλλονται μέσω διαφορετικής διαδρομής στο περιβάλλον και χωρίς να έρχονται σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο. Κλασικό παράδειγμα μηχανής εξωτερικής καύσης είναι οι ατμομηχανές, οι οποίες μέσω της παραγόμενης θερμότητας στο λέβητα, μετατρέπουν το νερό (εργαζόμενο μέσο) σε ατμό, ο οποίος μεταφέρεται σε κύλινδρο (κύριο απόρτιο της μηχανής). Καθώς εκτονώνεται ο ατμός εντός του κυλίνδρου, μετακινεί ένα έμβολο παράγοντας έτσι το ωφέλιμο έργο της μηχανής. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα η δυναμική των ατμομηχανών είχε ουσιαστικά εξαντληθεί, με αποτέλεσμα να υπάρχουν συνεχώς μεγάλες ανάγκες για ισχυρότερους, μικρότερους, απλούστερους και παράλληλα αποδοτικότερους κινητήρες, οδηγώντας έτσι στην ανάπτυξη των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσεως.

Το πρώτο άτομο που πειραματίστηκε με μια μηχανή εσωτερικής καύσης ήταν ο Ολλανδός φυσικός Christian Huygens, περίπου το 1680. Το 1794 ο Άγγλος Robert Street είχε προτείνει να χρησιμοποιηθούν οι πιέσεις των καυσαερίων από την καύση υγρών καυσίμων, προκειμένου να μετακινηθεί το έμβολο της μηχανής για την παραγωγή έργου, ενώ το 1833 κατασκευάστηκε η πρώτη δίχρονη μηχανή ΜΕΚ από τον Άγγλο W. L. Wright. Παρόλο αυτά δεν δημιουργήθηκε αποτελεσματικός βενζινοκινητήρας μέχρι το 1859, όταν ο Γάλλος μηχανικός JJ Étienne Lenoir δημιούργησε μια διπλής ενέργειας μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα η οποία θα μπορούσε να λειτουργεί αδιαλείπτως. Το 1860 συναρμολογήθηκε η πρώτη ΜΕΚ βιομηχανικής παραγωγής που χρησιμοποιούσε ως καύσιμο το φωταέριο από τον J. J. Etienne Lenoir από το

Λουξεμβούργο. Το 1862 ο Γάλλος επιστήμονας Alphonse Beau de Rochas ενώ κατοχύρωσε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, δεν κατασκεύασε τετράχρονο κινητήρα. Έτσι δεκατέσσερα χρόνια αργότερα, το 1876, όταν ο Nikolaus A. Otto πειραματίστηκε με τη μηχανή του Lenoir, δημιούργησε έναν επιτυχημένο τετράχρονο κινητήρα. Οι αρχές λειτουργίας αυτού του κινητήρα είναι γνωστές ως Κύκλος του Otto αποτέλεσαν τα θεμέλια πάνω στα οποία στηρίζονται, σχεδιάζονται και λειτουργούν μέχρι και σήμερα οι βενζινοκινητήρες. Την ίδια χρονιά επίσης δημιουργήθηκε και ο πρώτος επιτυχημένος δίχρονος κινητήρας από τον Sir Dougald Clerk, σε μορφή που (που απλοποιήθηκε κάπως από την Joseph Day το 1891) παραμένει μέχρι και σήμερα σε χρήση. Ο George Brayton, Αμερικανός μηχανικός, είχε αναπτύξει μια δίχρονη μηχανή κηροζίνης το 1873, αλλά ήταν πολύ μεγάλη και πολύ αργή για να είναι εμπορικά επιτυχής.



**Εικόνα 1: Κινητήρας Otto**

Έπειτα από την καθιέρωση του κινητήρα Otto, οι έρευνες κατευθύνθηκαν προς την εύρεση καλύτερων και αποτελεσματικότερων μεθόδων ανάφλεξης των μειγμάτων καυσίμου – αέρα. Σε μία μέθοδο εφαρμόστηκε μεγάλη συμπίεση του αέρα μέσα στον κύλινδρο, έτσι ώστε να επιτευχθούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Εν συνεχεία το καύσιμο που ψεκαζόταν μέσα στο κύλινδρο αναφλεγόταν αυτοδύναμα εξαιτίας των πολύ υψηλών θερμοκρασιών του αέρα, ενώ η

εκτόνωση των αερίων της καύσης του μείγματος απελευθέρωνε πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας., δημιουργώντας έτσι τους κινητήρες συμπίεσης – ανάφλεξης. Αυτή η ανάπτυξη υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια λειτουργίας αυτών των μηχανών εμφάνισε σοβαρά προβλήματα αντοχής στα υλικά κατασκευής τους. Επιπρόσθετα εξαιτίας των μεγάλων συμπίεσεων του αέρα δημιουργούνταν δυσκολίες ψεκασμού των καυσίμων στον κύλινδρο, εμφανίζοντας προβλήματα αξιοπιστίας.

Το 1894 ο Γερμανός μηχανικός Rudolf Christian Karl Diesel χρησιμοποιώντας υγρά καύσιμα (πετρέλαιο) κατάφερε να λειτουργήσει κινητήρες συμπίεσεως – αναφλέξεως, αυξάνοντας την αξιοπιστία τους. Παράλληλα τους κατέστησε πιο οικονομικούς και περισσότερο αποδοτικούς σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κινητήρες που υπήρχαν εκείνη την εποχή, ενώ κατοχύρωσε την ευρεσιτεχνία του το 1895 στις ΗΠΑ. Σχεδόν μέσα σε 5 χρόνια οι πετρελαιοκινητήρες είχαν μια ευρεία εξάπλωση στην Ευρώπη αλλά μόνο ως κινητήρες σταθερών βάσεων εξαιτίας του τεράστιου όγκου και βάρους τους. Το 1903 εγκαταστάθηκε ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας σε πλοίο και συγκεκριμένα στο ρώσικο Wandal, το 1925 για πρώτη φορά τοποθετήθηκε πετρελαιοκινητήρας σε λεωφορείο και το 1929 τέθηκε σε κυκλοφορία το πρώτο πετρελαιοκίνητο φορτηγό αυτοκίνητο. Εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους τους και του μεγάλου βάρους τους, αυτοί οι κινητήρες δεν μπορούσαν να τοποθετηθούν στα μικρά επιβατικά αυτοκίνητα, παρόλο που η εταιρία Peugeot το 1922 αποπειράθηκε να κατασκευάσει πετρελαιοκίνητο επιβατικό αυτοκίνητο. Το 1927 άρχισε η μαζική παραγωγή εξαρτημάτων και μηχανισμών ψεκασμού πετρελαιοκινητήρων από την εταιρία Bosch. Παράλληλα αποκτώντας άδειες κατασκευής εξαρτημάτων πετρελαιοκινητήρων και σε άλλες χώρες, η εταιρία συνέβαλε στην διάδοση και επικράτηση αυτών των κινητήρων διεθνώς. Το 1936 η εταιρία Mercedes-Benz έβαλε σε παραγωγή ένα μικρό σχετικά, για τα δεδομένα εκείνης της εποχής, πετρελαιοκίνητο επιβατικό αυτοκίνητο.

Τα προβλήματα ταλαντώσεων των εμβολοφόρων παλινδρομικών κινητήρων οδήγησε στην σχεδίαση και ανάπτυξη περιστροφικών κινητήρων ΜΕΚ. Το 1924, ο Γερμανός μηχανικός Felix Wankel δημιούργησε ένα μικρό εργαστήριο στο οποίο ξεκίνησε την έρευνα και την ανάπτυξη ενός κινητήρα που θα μπορούσε να επιτύχει εισαγωγή, συμπίεση, καύση και εξάτμιση, όλα αυτά ενώ περιστρέφονταν. Έπειτα συνεργάστηκε και συνέχισε την έρευνα με το Γερμανικό Αεροναυτικό Ερευνητικό Ίδρυμα κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου πάνω τις περιστροφικές βαλβίδες και κατόπιν το 1951 με μια κορυφαία γερμανική εταιρεία

μοτοσυκλετών, NSU Motorenwerk AG. Το 1954 παρουσίασε τον πιο επιτυχημένο περιστροφικό εμβολοφόρο κινητήρα, από τον οποίο πήρε και το όνομά του (κινητήρας Wankel) και η πρώτη μονάδα ξεκίνησε τις δοκιμές το 1957. Οι κινητήρες Wankel δεν συνάντησαν ευρεία εφαρμογή εξαιτίας ανυπέρβλητων προβλημάτων στεγανοποίησης των θαλάμων, αποτυχία βελτιστοποίησης σχήματος θαλάμου καύσης, υψηλού κόστους κατασκευής, υψηλών καταναλώσεων, υψηλών ρύπων καθώς και υψηλού κόστους συντήρησης. Επιπρόσθετα δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο πετρέλαιο διότι δεν μπορούν να επιτύχουν μεγάλους βαθμούς συμπίεσης. Έτσι εφαρμόστηκαν σε λίγα και ειδικά τύπου αυτοκίνητα καθώς και στην πρόωση μικρού τύπου ελικοφόρων αεροσκαφών.

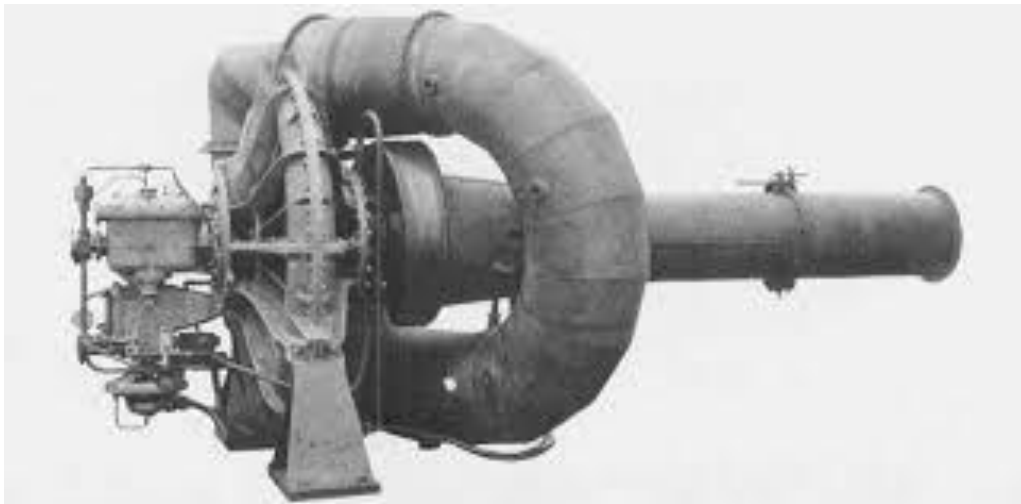
## 2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Οι αεριοστροβίλοι είναι μια άλλη κατηγορία ΜΕΚ πέρα από τους εμβολοφόρους παλινδρομικούς και περιστροφικούς κινητήρες, ενώ αναπτύχθηκαν αρκετά αργότερα. Παρόλο που οι αρχές λειτουργίας τους ήταν γνωστές από τα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα, η κατασκευή τους κατέστη δυνατή τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Οι ελλείψεις γνώσεις των χαρακτηριστικών της ροής, οι χαμηλές αποδόσεις των συμπιεστών και η μη ύπαρξη κατάλληλων μετάλλων με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και καταπονήσεις, έκανε αδύνατη την κατασκευή τους. Το 1791 ο Βρετανός John Barber απέκτησε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αεριοστροβίλο, χωρίς να έχει κατασκευάσει πιθανότατα κάποιου είδους κινητήρα. Το 1872 ο Franz Stolze θα αποκτήσει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αεριοστροβίλο ο οποίος αποτελείται από αξονικό συμπιεστή και στροβίλο πολλών σταδίων, εναλλάκτη θερμότητας και θάλαμο καύσεως. Οι δοκιμές που διεξήγαγε από το 1900 έως το 1904 ήταν ανεπιτυχείς εξαιτίας της χαμηλής απόδοσης του συμπιεστή. Το 1899 ο Charles Gordon Curtis αποκτά το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις ΗΠΑ για σχέδιο αεριοστροβίλου, τα δικαιώματά του οποίου τα πούλησε το 1901 στην εταιρία General Electric. Το 1903 ο Νορβηγός Aegidius Elling κατασκεύασε τον πρώτο αεριοστροβίλο σταθερής πίεσεως και ισχύς 11 ίππων, ενώ ο δεύτερος κινητήρας του έφτασε σε ισχύ 44 ίππων.

Το 1932 η πρωτοπόρος Ελβετική εταιρία Brown-Boveri κατασκεύασε αεριοστροβίλους για παροχή συμπιεσμένου αέρα σε λέβητες, βασιζόμενη σε δοκιμές στροβίλου καυσαερίων που είχε κατασκευαστεί το 1927 από τους Stodola και Schule. Το 1939 η ίδια εταιρία κατασκεύασε τον πρώτο σταθμό παραγωγής ισχύος που κινούνταν με αεριοστροβίλο. Ο σταθμός παρήγαγε ισχύ 4000kW και τοποθετήθηκε στο Neuchatel της Ελβετίας για ενίσχυση της ηλεκτρικής ισχύος σε

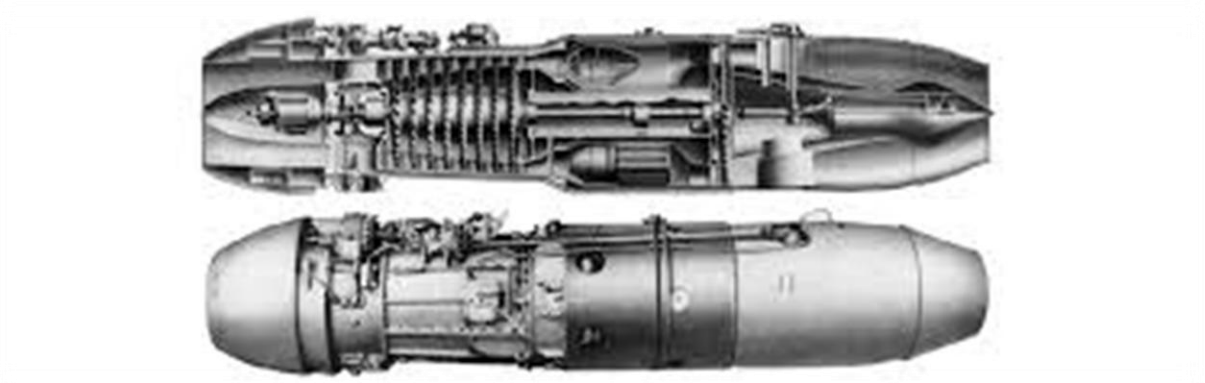
περιόδου αιχμής. Ο αεριοστρόβιλος είχε λόγο συμπίεσης του αεροσυμπιεστή 4.2/1, θερμοκρασία εισόδου καυσαερίων στο στρόβιλο  $550^{\circ}\text{C}$ , απόδοση συμπιεστή 88% και απόδοση στρόβιλου 89%, τιμές ιδιαίτερα υψηλές για εκείνη την εποχή.

Το 1930 ο Βρετανός Frank Whittle αποκτά δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αεριοστρόβιλο πρόωσης αεροσκάφους και το 1936 ιδρύει την εταιρία Power Jets. Σε συνεργασία με την εταιρία British Thomson-Houston κατασκευάζει την ίδια χρονιά αεριοστρόβιλο μονοβάθμιου ακτινικού συμπιεστή κοινού άξονα με μονοβάθμιο στρόβιλο και απλό ενιαίο θάλαμο καύσης.



**Εικόνα 2: Πρώτος αεριοστρόβιλος του Frank Whittle**

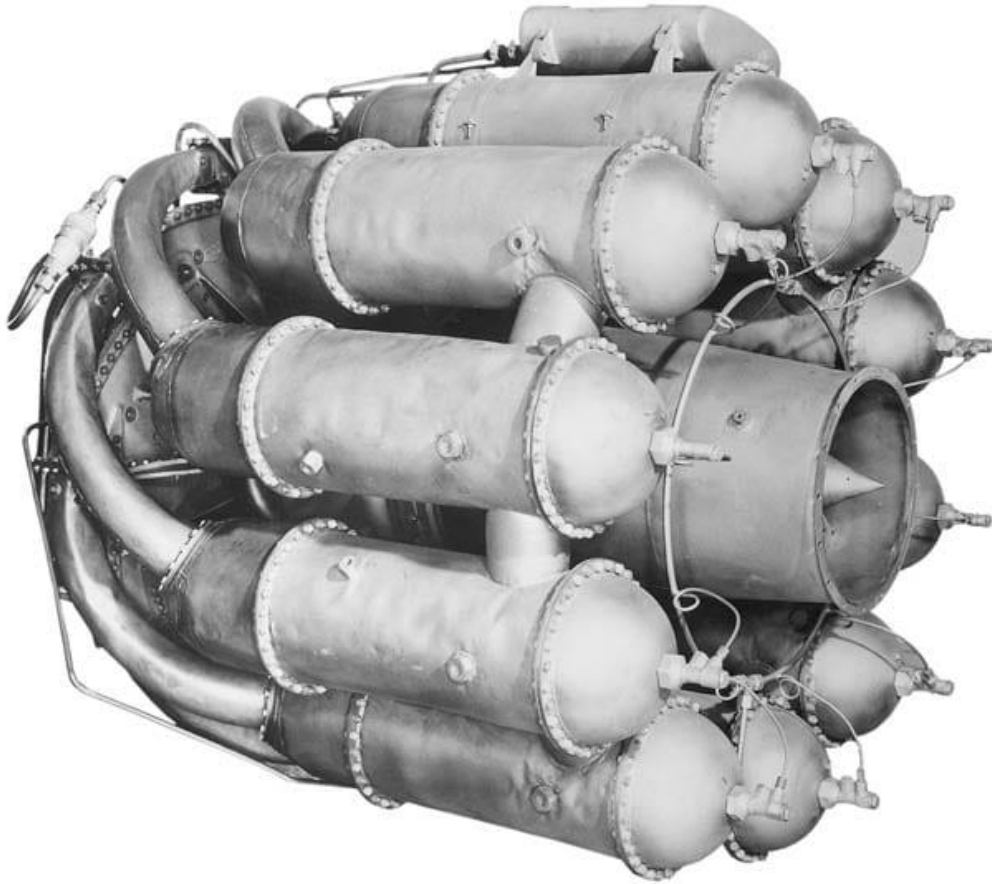
Παράλληλα την ίδια χρονιά οι Βρετανοί Alan Arnold Griffith και Hayne Constant κατασκευάζουν επίσης στην Αγγλία αεροπορικό αεριοστρόβιλο αξονικού συμπιεστή. Το 1935 ο Γερμανός Hans von Ohain αποκτά δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αεροπορικό αεριοστρόβιλο ακτινικού συμπιεστή, το 1936 κατασκευάζει πρωτότυπο κινητήρα επιδείξεως τεχνολογίας και το Μάρτιο του 1937 ξεκινά τις δοκιμές. Το 1938 ο von Ohain δοκιμάζει τον πρώτο αεροπορικό του κινητήρα, τον οποίο τοποθετεί σε αεροσκάφος He-178 και πραγματοποιεί την πρώτη του πτήση στις 27/8/1939. Παράλληλα οι Γερμανικές εταιρίες Junkers και BMW αναπτύσσουν αεριοστρόβιλους με αξονικούς συμπιεστές οι οποίοι είχαν καλύτερη απόδοση με αποτέλεσμα ο κινητήρας Jumo 004 B4 της Junkers να είναι ο μοναδικός σε παραγωγή κινητήρας στη Γερμανία μέχρι το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου.



**Εικόνα 3: Αεριοστρόβιλος Jumo 004 B4**

Στην Αγγλία στις 12/4/1941 πραγματοποιήθηκε με επιτυχία η πρώτη πτήση με τον κινητήρα που κατασκεύασε ο Whittle. Στη συνέχεια η Rolls-Royce αναλαμβάνει την ανάπτυξη και την παραγωγή του κινητήρα του Whittle κατασκευάζοντας το μοντέλο Welland, το μοναδικό αεροπορικό αεριοστρόβιλο παραγωγής στην Αγγλία μέχρι το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου.





**Εικόνα 4: Αεροπορικός αεριοστρόβιλος του Frank Whittle: W1.**

Έπειτα από το 1950 υπήρξε αλματώδης ανάπτυξη των αεριοστρόβιλων, οι οποίοι αρχικά εφαρμόστηκαν στην πρόωση των αεροσκαφών, εκτοπίζοντας τους εμβολοφόρους κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται πλέον μόνο σε μικρά ελικοφόρα αεροσκάφη. Σημαντική εφαρμογή επίσης είχαν οι αεριοστρόβιλοι στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος καθώς και στην κίνηση των πλοίων.

### **3. ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΞΗ ΜΕΚ**

Οι εμβολοφόροι παλινδρομικοί κινητήρες, οι περιστροφικοί κινητήρες και οι αεριοστρόβιλοι (gas turbines) αποτελούν τις τρεις βασικές κατηγορίες των ΜΕΚ.

Οι εμβολοφόροι παλινδρομικοί κινητήρες κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Τρόπος αναφλέξεως καυσίμου:

- Κινητήρες αναφλέξεως με σπινθήρα (κινητήρες Otto ή βενζινοκινητήρες – spark ignition engines)
  - Κινητήρες αναφλέξεως με συμπίεση (κινητήρες Diesel ή πετρελαιοκινητήρες – compression ignition engines)
  - Κινητήρες Semi-Diesel (hot-bulb engines)
2. Αριθμός διαδρομών εμβόλου για την ολοκλήρωση ενός πλήρους κύκλου λειτουργίας: Τετράχρονοι κινητήρες (four-stroke engines) - Δίχρονοι κινητήρες (two-stroke engines).
3. Είδος καυσίμου που χρησιμοποιείται για την λειτουργία των κινητήρων:
- Κινητήρες βαρέως πετρελαίου (μαζούτ).
  - Κινητήρες ελαφρών καυσίμων (βενζίνη – πετρέλαιο).
  - Κινητήρες αερίων καυσίμων.
  - Κινητήρες πολλαπλών καυσίμων (multi fuel engines).
  - Κινητήρες διπλού καυσίμου (dual - fuel).
4. Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής στροφαλοφόρου άξονα:
- Αργόστροφες με ταχύτητες περιστροφής μέχρι 350 rpm (κινητήρες πλοίων).
  - Μεσόστροφες με ταχύτητες περιστροφής μέχρι 1500 rpm (κινητήρες πλοίων, τρένων και ηλεκτροπαραγωγών ζευγών).
  - Πολύστροφες με ταχύτητες περιστροφής μέχρι 5000 rpm (κινητήρες τροχοφόρων)
  - Ταχύστροφες με ταχύτητες περιστροφής μεγαλύτερες των 5000 rpm (κινητήρες νέας τεχνολογίας, αγωνιστικοί κινητήρες).
5. Αριθμός κυλίνδρων:
- μονοκύλινδροι κινητήρες.
  - πολυκύλινδροι κινητήρες.
6. Διάταξη κυλίνδρων: κατακόρυφοι ή εν σειρά κινητήρες, αστεροειδείς κινητήρες, αντιτιθεμένων κυλίνδρων (οριζόντιοι – boxer), κινητήρες τύπου (V) – (W) – (Δ) – (H) – (X), κινητήρες διπλών εμβόλων κ.α.
7. Είδος ψύξης κυλίνδρων:
- υδρόψυκτοι κινητήρες.
  - αερόψυκτοι κινητήρες.
8. Τρόπος σύνδεσης εμβόλου – διωστήρα: κινητήρες με ή χωρίς βάκτρο και ζύγωμα.

9. Τρόποι εισαγωγής, ποσότητες και πιέσεις του αέρα στους κυλίνδρους:
  - ατμοσφαιρικοί κινητήρες (atmospheric-induction engines).
  - υπερπληρούμενοι κινητήρες (super-charged).
10. Τρόποι εγκατάστασης: κινητήρες σταθερών ή μόνιμων βάσεων και κινητήρες κινούμενων φορέων (κινητοί ή φορητοί).
11. Χρήση: κινητήρες οχημάτων, κινητήρες αεροσκαφών, ναυτικούς κινητήρες, βιομηχανικούς κινητήρες (σταθερής βάσεως) κ.λπ.
12. Τρόπος εισαγωγής καυσίμων σε βενζινοκινητήρες:
  - κινητήρες με εξεαριωτήρα (carburetor).
  - κινητήρες με αντλία έγχυσης και εγχυτήρα (injection).
13. Περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα: κινητήρες ορισμένης φοράς περιστροφής (δεξιόστροφοί ή αριστερόστροφοι) και αναστρέψιμοι κινητήρες.
14. Παραγόμενη ισχύς ανά κύλινδρο σε κανονικές στροφές λειτουργίας:
  - Κινητήρες μικρής ισχύος ( $\leq 20$  Ps ).
  - Κινητήρες μέσης ισχύος ( $\leq 200$  Ps ).
  - Κινητήρες μεγάλης ισχύος ( $\geq 200$  Ps).
15. Τρόπος απόδοσης ισχύος:
  - Κινητήρες σταθερών στροφών – μεταβλητού φορτίου.
  - Κινητήρες μεταβλητών στροφών.
16. Είδος θαλάμου καύσης:
  - Κινητήρες ενιαίου θαλάμου
  - Κινητήρες διαιρούμενο θαλάμου

#### **4. ΧΡΗΣΗ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

Οι κινητήρες καυσίμου βενζίνης έχουν ευρεία χρησιμοποίηση στα επιβατικά αυτοκίνητα, στα μοτοποδήλατα - μοτοσικλέτες, στην πρόωση μικρών ναυτικών σκαφών (ταχύπλοων και μη), μικρών ελικοφόρων αεροσκαφών, μικρών ηλεκτρογεννητριών καθώς και γεωργικών μηχανημάτων. Οι βενζινοκινητήρες εξαιτίας της ικανότητας ανάπτυξης μεγαλύτερης ισχύος σε σχέση με ίδιου όγκου πετρελαιοκινητήρες, του μικρού τους βάρους, της ταχύτερης απόκρισης

επιτάχυνσης και των χαμηλά παραγόμενων ρύπων, επικράτησαν στην βιομηχανία αυτοκινήτων. Αντίστοιχα στη βιομηχανία μοτοσικλετών και μοτοποδηλάτων έχουν επικρατήσει ολοκληρωτικά εξαιτίας των υψηλών ισχύων που επιτυγχάνουν με ανάλογες αυξήσεις των στροφών περιστροφής σε σχέση με τα απαιτούμενα μικρά βάρη τους. Τα τελευταία χρόνια οι έρευνες στρέφονται στο να μειωθούν οι παραγόμενοι ρύποι με χρησιμοποίηση καταλυτικών διατάξεων και καύση φτωχών μειγμάτων. Επιπρόσθετοι στόχοι είναι να βελτιωθούν οι αποδόσεις των κινητήρων σε όλα τα φάσματα στροφών λειτουργίας, με τη χρησιμοποίηση κινητήρων πολλαπλών βαλβίδων μεταβλητού χρονισμού, την εφαρμογή άμεσου και έμμεσου ψεκασμού καυσίμων καθώς και την ευρύτερη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών συστημάτων για την βελτιστοποίηση ελέγχου των κινητήρων. Στη ναυσιπλοΐα οι βενζινοκινητήρες εφαρμόζονται στην πρόωση μικρών σκαφών καθώς και σε jet-ski για τις αντλίες πρόωσής τους. Συνήθως χρησιμοποιούνται μικρού βάρους δίχρονοι και τετράχρονοι υδρόψυκτοι κινητήρες με ανοικτά κυκλώματα ψύξεως. Στο γεωργικό τομέα χρησιμοποιούνται κυρίως δίχρονοι κινητήρες ελαφριάς κατασκευής σε μια πληθώρα εργαλείων όπως αλυσοπρίονα, ποτιστικά, ραντιστικά, χορτοκοπτικά κ.λπ. Στην αεροπλοΐα χρησιμοποιούνται πλέον μόνο για την προώθηση μικρών ελικοφόρων αεροσκαφών και μικρών ελικοπτέρων γενικής αεροπορίας. Είναι πολύστροφοι κινητήρες, ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (αεροπορικό καύσιμο), μικρού βάρους, αερόψυκτοι και με ειδικά συστήματα λίπανσης και τροφοδοσίας ώστε να λειτουργούν σε μεγάλα υψόμετρα και σε καταστάσεις ανάστροφων πτήσεων. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως εμβολοφόροι παλινδρομικοί καθώς και περιστροφικοί τύπου Wankel οι οποίοι εφαρμόζονται στην πρόωση υπερελαφρών και τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών. Για παραγωγή μικρών ηλεκτρικών ισχύων γίνεται χρήση βενζινοκίνητων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών τα οποία έχουν μικρό βάρος και μεταφέρονται εύκολα. Εφαρμόζονται σε περιπτώσεις όπου περιοχές δεν καλύπτονται από σταθερό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, σε γεωργικές, οικιακές και οικοδομικές εργασίες κ.λπ.

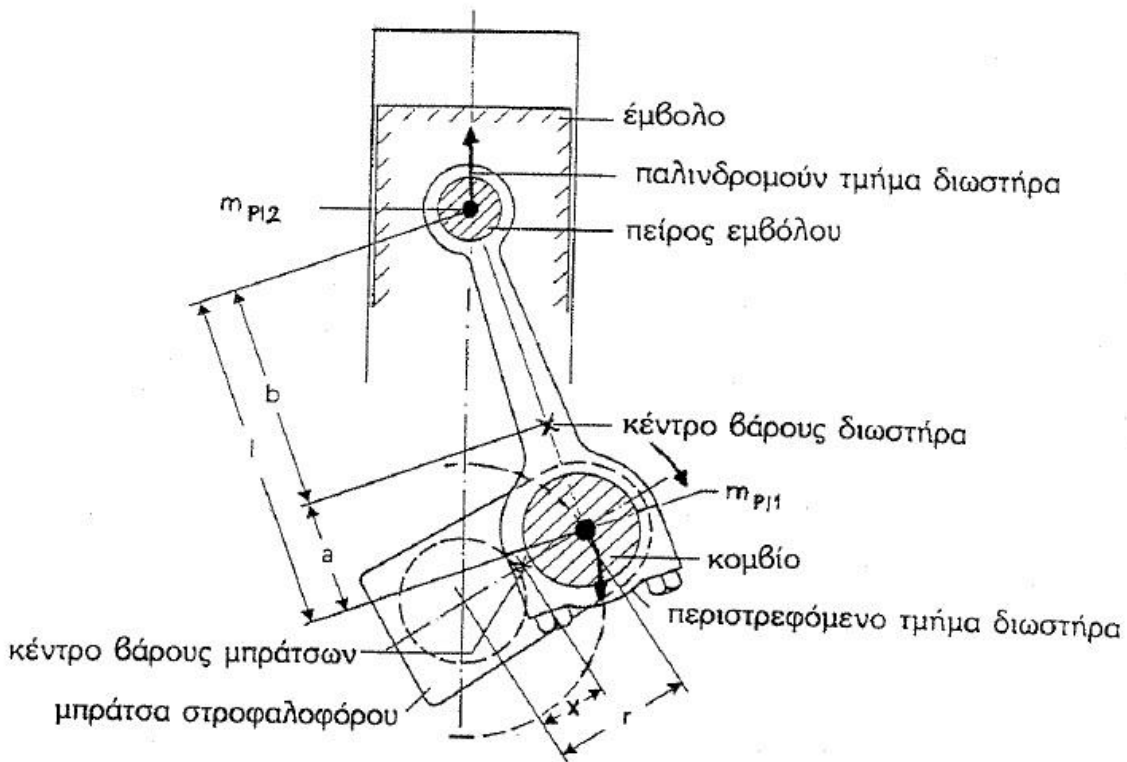
## **5. ΧΡΗΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

Οι κινητήρες πετρελαίου σε σχέση με τη χρήση τους κατηγοριοποιούνται σε κινητήρες αυτοκινήτων, σε κινητήρες βαρέων οχημάτων, σε κινητήρες τρένων, σε ναυτικούς κινητήρες και σε κινητήρες ηλεκτρογεννητριών. Οι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στα φορτηγά αυτοκίνητα και στα μέσα μαζικής μεταφοράς (λεωφορεία). Παράλληλα τα τελευταία

χρόνια αρχίζουν να χρησιμοποιούνται όλο και πιο συχνά και στα επιβατικά αυτοκίνητα λόγω των συνεχών βελτιώσεων στα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους, στην ολόενα και μειούμενη εκπομπή ρύπων τους και στην εξαιρετική οικονομία καυσίμων που έχουν. Εν συγκρίσει με πετρελαιοκινητήρες άλλων εφαρμογών, οι κινητήρες πετρελαίου αυτοκινήτων χαρακτηρίζονται για το μικρό τους βάρος ανά παραγόμενο ίππο, για τον μεγάλο αριθμό στροφών ανά λεπτό (2000 – 5500 rpm), για το ότι δεν παρουσιάζουν κραδασμούς, για το ότι εκκινούν γρήγορα ακόμα σε κρύα περιβάλλοντα, για την χρήση ειδικής ποιότητας καυσίμου (πετρέλαιο κίνησης) καθώς και για τις μειωμένες εκπομπές ρύπων που έχουν. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό αυτών των κινητήρων είναι πως σχεδόν όλοι οι τύποι είναι υπερπληρούμενοι. Όλα τα χωματοουργικά και γεωργικά μηχανήματα λειτουργούν με υπερπληρούμενους πετρελαιοκινητήρες, μεγάλης ισχύος, μεγάλου μεγέθους, μεγάλου βάρους και στιβαρής κατασκευής σε σύγκριση με αυτούς των αυτοκινήτων. Οι κινητήρες πετρελαίου που χρησιμοποιούνται για την προώθηση των τρένων είναι μεσόστροφου τύπου, με σταθερό αριθμό στροφών και φοράς περιστροφής. Δεν προωθούν απ' ευθείας τους κινητήριους τροχούς, αλλά περιστρέφουν γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος). Η γεννήτριες με την σειρά τους παρέχουν ρεύμα σε ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι δίνουν κίνηση στους κινητήριους τροχούς. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης της ισχύος ενέχει αρκετά πλεονεκτήματα διότι δεν χρησιμοποιούνται μηχανικά κιβώτια ταχυτήτων, γίνεται εύκολη αυξομείωση των στροφών, ενώ επιτυγχάνονται μεγάλες ροπές και δυνάμεις έλξεως στις εκκινήσεις των συρμών. Σχεδόν σε όλα τα μέσα ναυσιπλοΐας όπως μικρά σκάφη, μεγάλης χωρητικότητας εμπορικά πλοία, πολεμικά πλοία και συμβατικά αυτοκίνητα, χρησιμοποιούνται υπερπληρούμενοι κινητήρες πετρελαίου. Οι κινητήρες αυτοί είναι διαφόρων τύπων δίχρονοι ή τετράχρονοι, διαφόρων μεγεθών, ισχύος, διατάξεων και σχημάτων. Κινητήρες πετρελαίου χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιστρέφοντας ηλεκτρογεννήτριες. Χαρακτηρίζονται από την μεγάλη τους ισχύ, τους μεγάλους βαθμούς αξιοπιστίας και την οικονομία στη λειτουργία τους, καθώς και ότι λειτουργούν σε σταθερό ρυθμό στροφών έτσι ώστε να επιτυγχάνουν σταθερή συχνότητα ρεύματος. Εφαρμόζονται σε ηλεκτροδοτήσεις νησιών, νοσοκομείων σε καταστάσεις εκτάκτων αναγκών, σε βιομηχανικές μονάδες, σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις, καθώς και στα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πλοίων και συμβατικών υποβρυχίων.

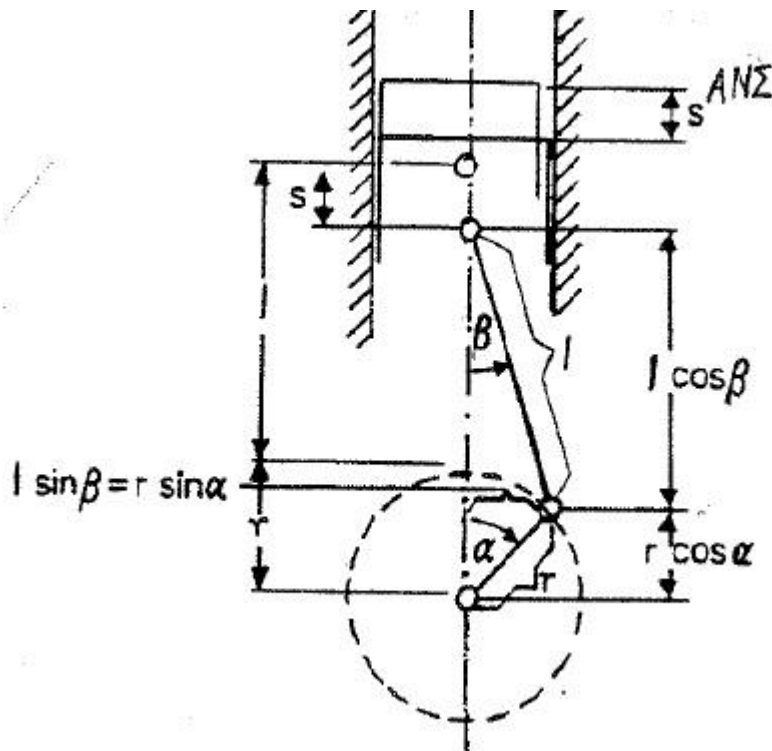
## 6. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΕΚ

Οι εμβολοφόρες παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν σαν αρχή λειτουργίας την εκλύομενη θερμική ενέργεια σε μηχανικό έργο. Η παραγόμενη ενέργεια προκύπτει έπειτα από την καύση του καυσίμου σε έναν ειδικής διαμόρφωσης θάλαμο (θάλαμος καύσης), η οποία εν συνεχεία μετατρέπεται σε μηχανικό έργο μέσω κατάλληλων διατάξεων και μηχανισμών. Εξαιτίας του ότι η θερμική ενέργεια εκλύεται σε κλειστό χώρο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας των καυσαερίων. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται μετατρέπονται σε μηχανικό έργο μεταβάλλοντας ελεγχόμενα τον όγκο του θαλάμου καύσης. Αυτό καθίσταται δυνατό με την κίνηση του εμβόλου (piston) εντός του κυλίνδρου (cylinder) της μηχανής. Η διάταξη της άνω επιφανείας του εμβόλου, τα εσωτερικά τοιχώματα του κυλίνδρου και το πώμα (καπάκι – cylinder head) του κυλίνδρου, ορίζουν το θάλαμο καύσης μέσα στον οποίο καίγεται το καύσιμο. Αυτή η παλινδρομική κίνηση των εμβόλων, από την οποία έχουν πάρει και την χαρακτηριστική ονομασία τους οι κινητήρες, μετατρέπεται σε περιστροφική, μέσω κατάλληλων κινηματικών μηχανισμών. Η πιο απλή μορφή αυτών των μηχανισμών αποτελείται από τον διωστήρα (connecting rod) και τον στρόφαλο, όπου ο τελευταίος αποτελεί τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα (crankshaft). Το άνω άκρο του διωστήρα συνδέεται στο έμβολο μέσω ενός κατάλληλου πείρου. Το κάτω άκρο του διωστήρα συνδέεται στο κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα μέσω κατάλληλου εδράνου. Ο στροφαλοφόρος άξονας στηρίζεται και στα δύο του άκρα στα έδρανα βάσης. Οι δύο ακραίες θέσεις μετακίνησης του εμβόλου λέγονται Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ – Top Dead Center) και Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ – Bottom Dead Center). Οι θέσεις αυτές ορίζονται από την περιστροφική κίνηση και το διπλάσιο της ακτίνας του στροφάλου. Η απόσταση μεταξύ των δύο θέσεων ονομάζεται διαδρομή (stroke) του εμβόλου. Ο δημιουργούμενος όγκος του κυλίνδρου μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων λέγεται όγκος εμβολισμού ( $V_h$ ) και ορίζεται με το γινόμενο του εμβαδού της διατομής του κυλίνδρου επί τη διαδρομή του εμβόλου. Ο περιεχόμενος όγκος του κυλίνδρου μεταξύ της άνω επιφάνειας του εμβόλου στη θέση ΑΝΣ και της κάτω επιφάνειας πώματος λέγεται όγκος θαλάμου καύσης ή επιζήμιος όγκος ( $V_c$ ).



**Εικόνα 5: Παλινδρομικό και περιστρεφόμενο τμήμα διωστήρα.**

Ο κύλινδρος διαθέτει πώμα στο οποίο υπάρχουν κατάλληλοι αγωγοί δια μέσω των οποίων εισέρχεται το μείγμα αέρα-καυσίμου στον κύλινδρο και εξέρχονται τα καυσαέρια της καύσης. Η ροή δια μέσω των αγωγών ρυθμίζεται με κατάλληλα ανοίγματα και κλεισίματα των βαλβίδων (valves), όπου αναλόγως της λειτουργίας τους διαχωρίζονται σε βαλβίδες εισαγωγής (intake valves) και βαλβίδες εξαγωγής (exhaust valves). Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα το καύσιμο εισέρχεται στον κύλινδρο μαζί με τον αέρα εισαγωγής ή με απευθείας ψεκασμό μέσω εγχυτήρα (injection valve) ή με ψεκασμό σε προθάλαμο καύσης. Το έμβολο μετακινείται από τη θέση ΑΝΣ στη θέση ΚΝΣ μέσω του παραγόμενου έργου από την εκτόνωση των καυσαερίων. Εκτός όμως από τη διαδρομή του εμβόλου κατά τη διάρκεια αυτής της εκτόνωσης, οι μετακινήσεις μεταξύ των νεκρών σημείων απαιτούν να καταναλωθεί επιπλέον έργο το οποίο το παρέχει ο σφόνδυλος (flywheel), ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το στροφαλοφόρο άξονα. Ο σφόνδυλος επιστρέφει την ενέργεια που έχει αποθηκεύσει κατά την εκτόνωση των καυσαερίων, μετακινώντας το έμβολο, επιτρέποντας έτσι την διατήρηση των μετακινήσεων μεταξύ των νεκρών σημείων.



**Εικόνα 6: Διαδρομή εμβόλου κινητήρα ΜΕΚ.**

Ο κύκλος λειτουργίας του κινητήρα αποτελείται από την εισαγωγή του μείγματος αέρα-καυσίμου ή του σκέτου αέρα στο κύλινδρο, την συμπίεσή του, την εισαγωγή του καυσίμου, την καύση του, την εκτόνωση των καυσαερίων της καύσης και την εξαγωγή τους εκτός κυλίνδρου. Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα τα παραπάνω στάδια λαμβάνουν μέρος σε δύο ή τέσσερις διαδρομές του εμβόλου (χρόνους) ή διαφορετικά σε μία ή δύο ολοκληρωμένες περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα. Η ολοκλήρωση λοιπόν των διεργασιών ενός κύκλου λειτουργίας σε δύο ή τέσσερις διαδρομές του εμβόλου, χαρακτηρίζουν τους κινητήρες σε δίχρονους και τετράχρονους. Επιπρόσθετα η ισχύς και ο αριθμός στροφών ενός κινητήρα έχει άμεση σχέση με τη ρύθμιση της παροχής του καυσίμου. Έτσι όταν αυξάνεται η ποσότητα καυσίμου, αυξάνονται παράλληλα οι στροφές και η παραγόμενη ισχύς, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν μειώνεται η ποσότητα.

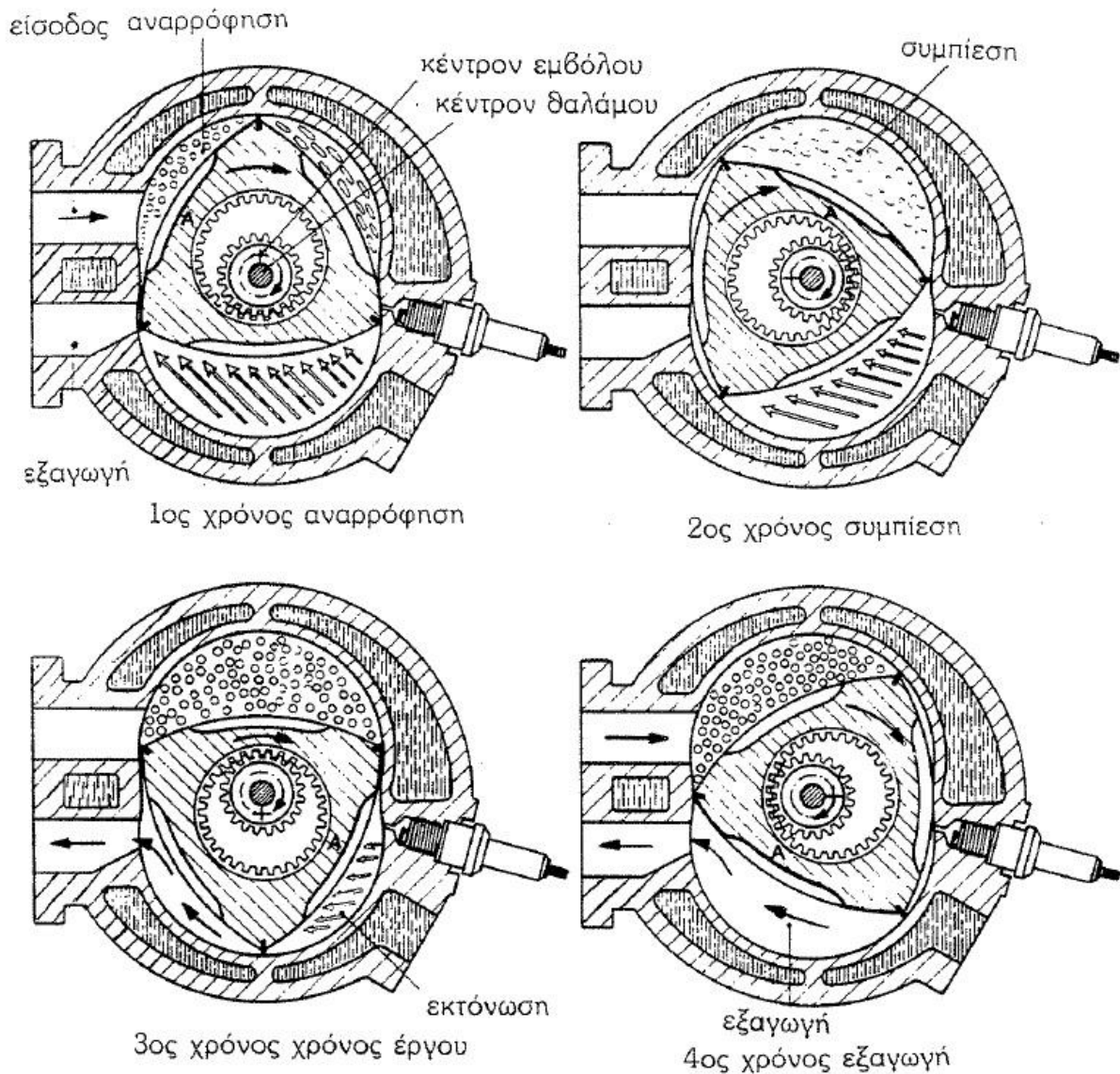
## 7. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΕΚ

Η αρχή λειτουργίας στις εμβολοφόρες περιστροφικές μηχανές εσωτερικής καύσης στηρίζεται επίσης στο παραγόμενο έργο από εκλυόμενη θερμική ενέργεια. Το μείγμα καυσίμου-αέρα



καίγεται σε ένα ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο και η παραγόμενη θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική μέσω κατάλληλων μηχανικών διατάξεων. Πιο συγκεκριμένα στον κινητήρα Wankel το έμβολο έχει τη μορφή καμπυλωμένου τριγωνικού πρίσματος με ενσωματωμένη εσωτερική οδόντωση εμπλεκόμενη έκκεντρα με μικρότερο οδοντωτό τροχό, που είναι σταθερά προσαρμοσμένος στον κινητήρα. Το έμβολο βρίσκεται μέσα σε ένα ελλειψοειδή θάλαμο σχηματίζοντας μεταξύ τους τρία διάκενα και καθώς περιστρέφεται πραγματοποιούνται οι διαδοχικές φάσεις λειτουργίας των ΜΕΚ, δηλαδή εισαγωγή μίγματος καυσίμου-αέρα, συμπίεση, καύση-εκτόνωση και εξαγωγή. Έτσι πραγματοποιούνται ταυτόχρονα τρεις ανεξάρτητοι κύκλοι λειτουργίας σε διαφορετικές φάσεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι κινητήρες να έχουν μια πολύ συμπαγή κατασκευή, μικρό όγκο, μικρό κυβισμό αλλά μεγάλη παραγόμενη ισχύ, ενώ παράλληλα η απουσία παλινδρομούντων μαζών επιφέρει αναστολή των προβλημάτων ταλαντώσεων.

Ο κύκλος λειτουργίας σε ένα κινητήρα Wankel ακολουθεί την παρακάτω σειρά διαδικασιών. Το μείγμα καυσίμου-αέρα, προερχόμενο από έναν εξαερωτήρα, εισέρχεται μέσω αυλού εισαγωγής στους θαλάμους καύσης σε μία από τις ακραίες πλάκες του κελύφους. Το καύσιμο μείγμα ωθούμενο από το τριγωνικό έμβολο ακολουθεί την περιστροφική κίνηση, ενώ τα ελατήρια του τοιχώματος του κυλίνδρου παρέχουν την απαιτούμενη στεγανότητα. Έτσι έπειτα από περιστροφή μερικών μοιρών το μείγμα έχει μεταφερθεί στο στάδιο της πλήρους συμπίεσης. Εκεί θα δεχτεί σπινθηρισμό από αναφλεκτήρα που βρίσκεται σε εσοχή που επικοινωνεί με τους θαλάμους μέσα από ένα στένωμα, στην απέναντι πλευρά του κελύφους. Έπειτα ακολουθεί η καύση του μίγματος και η εκτόνωση των δημιουργούμενων καυσαερίων, καθώς με την περιστροφή του εμβόλου ο όγκος μέσα στον οποίο βρίσκονται μεγαλώνει. Στη συνέχεια τα καυσαέρια αποβάλλονται από τον θάλαμο καύσης δια μέσω της αυλού εξαγωγής, ενώ η περιστροφή συνεχίζεται όσο διατηρείται η καύση.



**Εικόνα 7: Κύκλος λειτουργίας κινητήρα Wankel.**

Το μικρό βάρος και ο μικρός όγκος ανά μονάδα ισχύος, η στρωτή και χωρίς κραδασμούς αθόρυβη λειτουργία του, καθώς και το χαμηλό κόστος κατασκευής του εξαιτίας της μηχανικής του απλότητας, είναι τα βασικότερα προτερήματα του κινητήρα Wankel. Η μη ύπαρξη δυνάμεων αδράνειας από παλινδρομούντα απάρτια καθώς και οι απουσία βαλβίδων, καταστούν δυνατή τη λειτουργία σε ταχύτητες πολύ μεγαλύτερες από ότι στους παλινδρομικούς κινητήρες. Επιπρόσθετα γίνεται αποτελεσματικότερα η εισαγωγή του καύσιμου μείγματος και η εξαγωγή των καυσαερίων, διότι οι αυλοί ανοιγοκλείνουν γρηγορότερα από ότι με τις βαλβίδες, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται μια σχεδόν συνεχής ροή. Η κατανάλωση καυσίμου κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με εκείνα των συμβατικών κινητήρων, δίνοντας τη δυνατότητα αθόρυβης καύσης

και μεγαλύτερο εύρος χρησιμοποίησης καυσίμων. Ο μικρότερος όγκος, το μικρότερο βάρος και το χαμηλό κέντρο βάρους, κάνουν τον κινητήρα Wankel πιο ασφαλή για οχήματα, ενώ τα κινούμενα μέρη του είναι σχεδόν ένα τρίτο λιγότερα σε σχέση με ένα συμβατικό εξακύλινδρο κινητήρα. Παρόλο τα παραπάνω πλεονεκτήματα, η στεγανοποίηση στις κορυφές και οι παρειές του ρότορα, αποτελεί ένα από τα βασικότερα προβλήματα στο σχεδιασμό του κινητήρα.

## 8. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Οι αεριοστρόβιλοι παράγουν την ισχύ τους καίγοντας καύσιμα σε ένα θάλαμο καύσης και χρησιμοποιώντας τα ταχέως ρέοντα αέρια καύσης, κινούν ένα στρόβιλο με τον ίδιο τρόπο που ο ατμός υψηλής πίεσης κινεί έναν ατμοστρόβιλο. Ένας απλός αεριοστρόβιλος αποτελείται από τρία κύρια μέρη έναν συμπιεστή, έναν καυστήρα και έναν στρόβιλο ισχύος. Ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί με βάση την αρχή του θερμοδυναμικού κύκλου του Brayton, όπου ο πεπιεσμένος αέρας αναμειγνύεται με καύσιμο και καίγεται υπό συνθήκες σταθερής πίεσης. Στον κύκλο Brayton οι διαδικασίες συμπίεσης και εκτονώσεως είναι αντιστρεπτές και αδιαβατικές, με άλλα λόγια ισεντροπικές. Οι μεταβολές της κινητικής ενέργειας του στοιχείου που εκτελεί έργο μεταξύ εισόδου και εξόδου από κάθε συνιστώσα του κύκλου είναι αμελητέες, ενώ σε κανένα σημείο του κύκλου δεν εμφανίζονται απώλειες. Το στοιχείο που εκτελεί έργο είναι ιδανικό αέριο το οποίο διατηρεί σταθερή τη σύστασή του εντός του κύκλου. Τέλος δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας εξαιτίας των τριβών στα μηχανικά μέρη του κινητήρα.

Το παραγόμενο θερμό αέριο του επιτρέπεται να διασταλεί μέσω ενός στρόβιλου για την εκτέλεση εργασιών. Η μετάδοση της κίνησης από τον στρόβιλο στον συμπιεστή γίνεται μέσω μίας ή περισσοτέρων ατράκτων που συνδέουν αυτά τα δύο μέρη. Στους αεροπορικούς κινητήρες έπειτα από το στρόβιλο υπάρχει το ακροφύσιο στο οποίο επιταχύνεται η ροή των καυσαερίων, προσδίδοντας την απαραίτητη ώθηση ώστε να κινηθεί το αεροσκάφος. Στους επίγειους και ναυτικούς κινητήρες, αντί για το ακροφύσιο υπάρχει ο στρόβιλος ισχύος ο οποίος μετατρέπει σε μηχανική ισχύ τμήμα της ενέργειας των καυσαερίων που απορροφά.

## 9. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

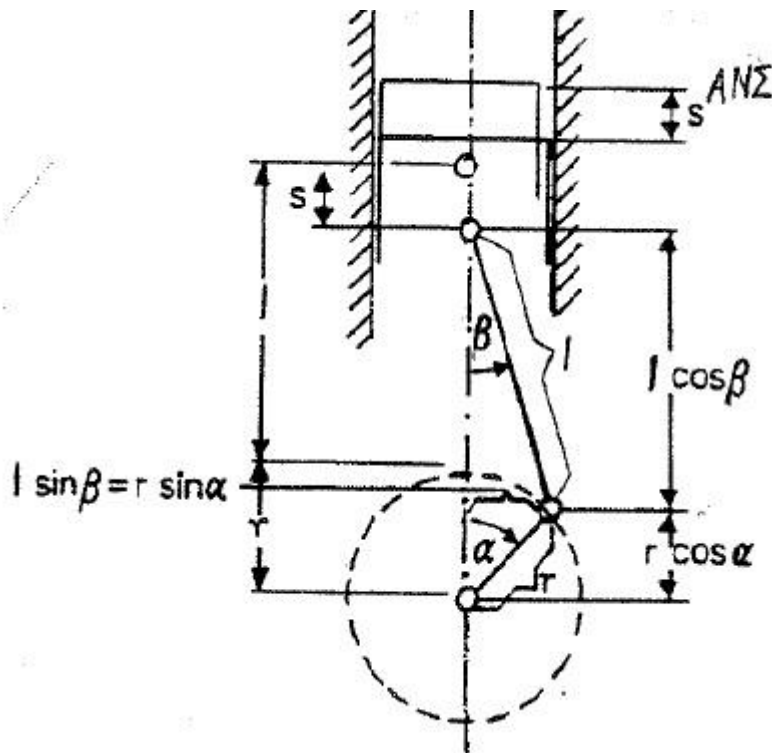
Οι τετράχρονοι βενζινοκινητήρες ολοκληρώνουν τον λειτουργικό κύκλο τους σε τέσσερις χρόνους, δηλαδή σε τέσσερις διαδρομές του εμβόλου ανάμεσα στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ. Στους βενζινοκινητήρες η ανάφλεξη του καύσιμου μείγματος πραγματοποιείται μέσω κατάλληλου ηλεκτρικού σπινθηριστή. Λόγω της μεγάλης πτητικότητάς της η βενζίνη αναμιγνύεται εύκολα με τον αέρα εκτός κυλίνδρου και εν συνεχεία το μείγμα αέρα-καυσίμου εισάγεται εντός του κυλίνδρου. Στους νέας τεχνολογίας βενζινοκινητήρες το μείγμα δημιουργείται εντός του κυλίνδρου με ψεκασμό του καυσίμου. Ένας στοιχειώδης τετράχρονος βενζινοκινητήρας αποτελείται από τον ένα κύλινδρο, όπου στο πάμα του υπάρχει μια βαλβίδα εισαγωγής, μια βαλβίδα εξαγωγής και ένας ηλεκτρικός σπινθηριστής, καθώς και το έμβολο του κυλίνδρου.

Ο πρώτος χρόνος λειτουργίας ενός τετράχρονου βενζινοκινητήρα ονομάζεται εισαγωγή. Το έμβολο είναι στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή και η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει. Ξεκινώντας το έμβολο την διαδρομή από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, ο όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου μεγαλώνει δημιουργώντας μια κατάσταση υποπίεσης. Λόγω υψηλότερης εξωτερικής πίεσης τα καύσιμα μείγμα μπαίνει από την βαλβίδα εισαγωγής στον κύλινδρο, γεμίζοντας τον όγκο που ελευθέρωσε η κάθοδος του εμβόλου. Αυτή είναι μια εξαναγκαστική κίνηση του εμβόλου διότι μέσω του στροφαλοφόρου άξονα και του διωστήρα, άντλησε μηχανική ενέργεια από τον σφόνδυλο. Φθάνοντας το έμβολο στο ΚΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει, το καύσιμο μείγμα έχει καταλάβει όλο τον όγκο του κυλίνδρου και ολοκληρώνεται ο πρώτος χρόνος λειτουργίας του βενζινοκινητήρα.

Ο δεύτερος χρόνος λειτουργίας ονομάζεται συμπίεση όπου το έμβολο είναι στο ΚΝΣ και με τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές στεγανοποιώντας τον κύλινδρο. Κινούμενο το έμβολο από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ μειώνεται ο εσωτερικός όγκος του κυλίνδρου και παράλληλα αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία του καυσίμου μείγματος. Κατά τη φάση της συμπίεσης το έμβολο κινείται μέσω μηχανικής ενέργειας που άντλησε από τον σφόνδυλο. Φθάνοντας το έμβολο στο ΑΝΣ το καύσιμο μείγμα έχει συμπιεστεί μεταξύ πάματος και εμβόλου και έχει ολοκληρωθεί ο δεύτερος χρόνος λειτουργίας του βενζινοκινητήρα.

Ο τρίτος χρόνος λειτουργίας ονομάζεται καύση – εκτόνωση όπου το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές και το καύσιμο μείγμα συμπιεσμένο.

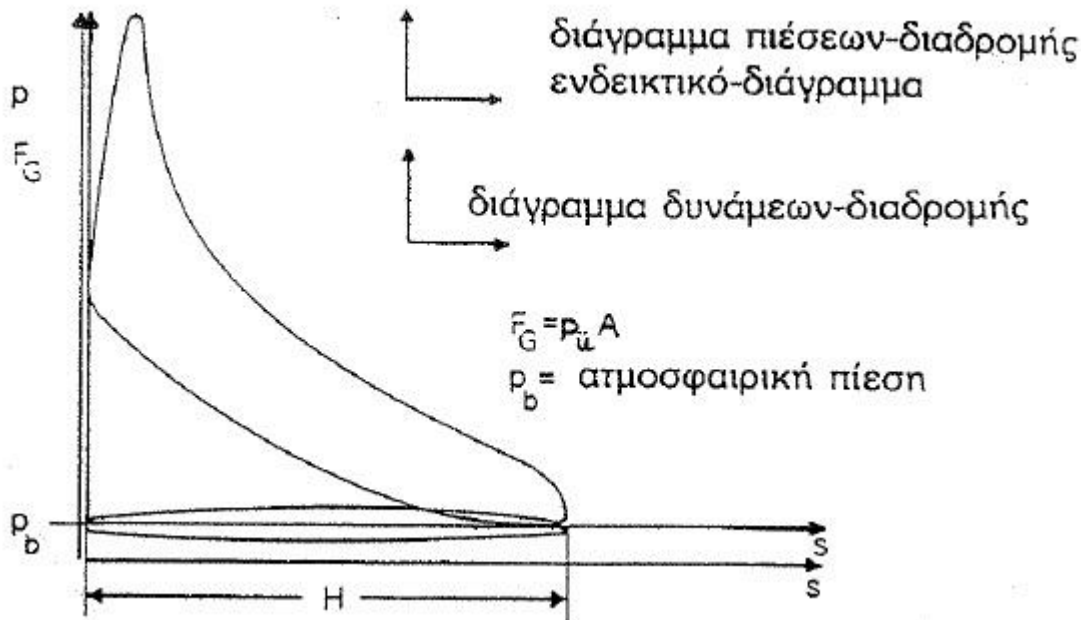
Παρόλο όμως τις καταστάσεις μεγάλης πίεσης και θερμοκρασίας που βρίσκεται το μείγμα αέρα – καυσίμου, δεν είναι τόσο υψηλές ώστε να επέλθει αυτανάφλεξη. Έτσι μέσω δημιουργίας σπινθήρα μεταξύ των ηλεκτροδίων κατάλληλου ηλεκτρικού σπινθηριστή, πυροδοτείται το συμπιεσμένο καύσιμο μείγμα το οποίο καίγεται απελευθερώνοντας μεγάλα ποσά θερμότητας αυξάνοντας τρομερά την πίεση εντός του κυλίνδρου. Οι τεράστια ποσότητα πίεσης σπρώχνει το έμβολο προς το ΚΝΣ το οποίο μεταφέρει την κίνηση στον διωστήρα και εν συνεχεία στο στρόφαλο. Έτσι αυτά τα απάρτια μετατρέπουν την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση. Φθάνοντας το έμβολο στο ΚΝΣ ολοκληρώνεται ο τρίτος χρόνος λειτουργίας ο οποίος είναι το μοναδικό ενεργό κομμάτι των τεσσάρων χρόνων του βενζινοκινητήρα. Κομμάτι αυτής χημικής ενέργειας από την καύση του μείγματος και της εκτόνωσης των καυσαερίων αποθηκεύεται στον σφόνδυλο ενώ το υπόλοιπο δίδεται προς χρήση.



**Εικόνα 8: Διαδρομή εμβόλου κινητήρα ΜΕΚ.**

Ο τέταρτος και ο τελευταίος χρόνος λειτουργίας ονομάζεται εξαγωγή καυσαερίων και με το έμβολο να είναι στο ΚΝΣ. Μόλις ξεκινά την διαδρομή προς το ΑΝΣ ανοίγει μόνο η βαλβίδα εξαγωγής. Λόγω της μεγαλύτερης εσωτερικής πίεσης του κυλίνδρου σε σχέση με την εξωτερική ατμοσφαιρική και της ώθησης από την εξαναγκασμένη κίνηση του εμβόλου από τον σφόνδυλο, τα καυσαέρια απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα δια μέσου του αγωγού εξαγωγής. Φθάνοντας το

έμβολο στο ΑΝΣ ολοκληρώνει την τέταρτη διαδρομή του, ενώ παράλληλα κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τελειώνει και ο τέταρτος χρόνος, ολοκληρώνοντας με αυτό τον τρόπο ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα.

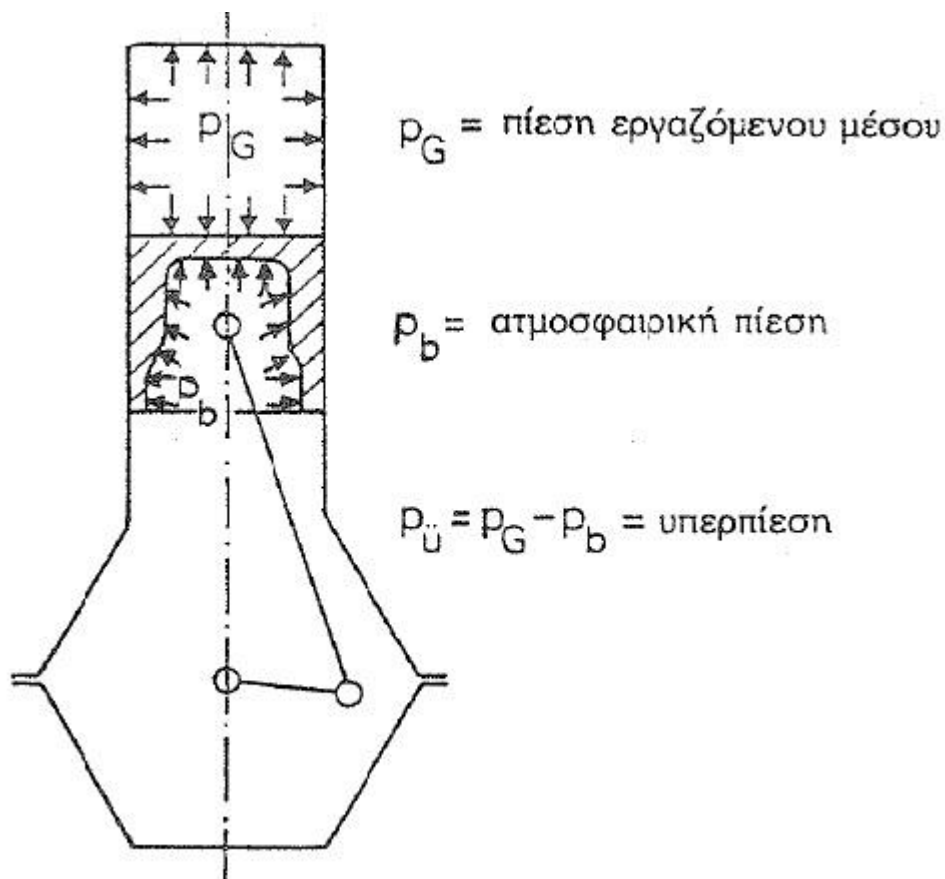


Εικόνα 9: Διάγραμμα δυνάμεων διαδρομής 4χρονου κινητήρα ΜΕΚ.

## 10. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΩΝ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι χρήσεις των δίχρονων βενζινοκινητήρων είναι περιορισμένες και συναντώνται κυρίως σε δίκυκλα, ελαφρά και υπέρ-ελαφρά ελικοφόρα αεροσκάφη καθώς και σε γεωργικές εφαρμογές. Οι δίχρονοι βενζινοκινητήρες πραγματοποιούν τα τέσσερα βασικά βήματα του κύκλου παραγωγής ισχύος (εισαγωγή, συμπίεση, καύση – εκτόνωση, εξαγωγή) σε δύο χρόνους, με το έμβολο να ολοκληρώνει δύο διαδρομές οι οποίες αντιστοιχούν σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Αυτοί οι κινητήρες δεν χρησιμοποιούν βαλβίδες για να ελέγχουν τους αγωγούς εισόδου μείγματος αέρα – καυσίμου και εξόδου των καυσαερίων, οι οποίοι καταλήγουν στα χαμηλά μέρη των τοιχωμάτων του κυλίνδρου και πλησίον του ΚΝΣ. Κατάλληλες οπές εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, επιτρέπουν την επικοινωνία με το εσωτερικό του κυλίνδρου. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των οπών και κατ' επέκταση ο έλεγχος των ροών του μείγματος αέρα – καυσίμου και καυσαερίων, επιτυγχάνεται μέσω της παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου.

Καθώς το έμβολο ανυψώνεται προς το ΑΝΣ για τη συμπίεση, η κάτω πλευρά του δημιουργεί ένα μερικό κενό στο στροφαλοθάλαμο. Μία οπή εισαγωγής κάποιου είδους (οπή τοιχώματος κυλίνδρου ή βαλβίδα περιστρεφόμενου δίσκου) ανοίγει, επιτρέποντας στον αέρα να εισέλθει στο στροφαλοθάλαμο μέσω ενός καρμπυρατέρ. Καθώς το έμβολο πλησιάζει το ΑΝΣ, ένα σπινθήρισμα πυροδοτεί το συμπιεσμένο καύσιμο μείγμα το οποίο καίγεται και η χημική του ενέργεια γίνεται θερμότητα, αυξάνοντας την πίεση σε εκατοντάδες psi. Αυτή η πίεση οδηγεί το έμβολο προς τα κάτω, περιστρέφοντας τον στροφαλοφόρο άξονα. Καθώς το έμβολο συνεχίζει την κίνησή του προς τα κάτω και λίγο πριν το ΚΝΣ, αρχίζει να εκθέτει τις οπές εισαγωγής και εξαγωγής στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Έτσι επιτρέπεται η είσοδος του καύσιμου μείγματος στον κύλινδρο και η παράλληλη έξοδος των καυσαερίων από αυτόν. Αυτή η διαδικασία πλήρωσης του κυλίνδρου, ενώ ταυτόχρονα ωθείται το καυσαέριο που έχει απομείνει από την οπή εξάτμισης, ονομάζεται "σάρωση". Επιστρέφοντας το έμβολο προς το ΑΝΣ, κλείνει διαδοχικά τις οπές εισαγωγής και εξαγωγής, επιτυγχάνοντας τη στεγανοποίηση του κυλίνδρου.



Εικόνα 10: Πίεσεις αερίων στο έμβολο κινητήρα ΜΕΚ.

Οι παλινδρομικές κινήσεις του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο, μεταβάλλουν τον όγκο του στροφαλοθαλάμου. Πιο συγκεκριμένα καθώς το έμβολο κατεβαίνει προς το ΚΝΣ ο όγκος μικραίνει, ενώ όταν το έμβολο ανεβαίνει προ το ΑΝΣ ο όγκος μεγαλώνει. Αυτή η μεταβολή του όγκου του στροφαλοθαλάμου, είναι αντιστρόφως ανάλογη με την μεταβολή της πίεσεώς του, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίησή του σαν μία τύπου αντλία ώστε να εισαχθεί βίαια το καύσιμο μίγμα στον κύλινδρο. Με αυτήν χρησιμοποίηση του στροφαλοθαλάμου εισάγονται δύο επιπλέον φάσεις στον συνολικό κύκλο λειτουργίας του δίχρονου κινητήρα, οι οποίες είναι η προ-εισαγωγή και η προ-συμπίεση, όπου λαμβάνουν χώρα εντός αυτού. Η επικοινωνία του στροφαλοθαλάμου με το περιβάλλον επιτυγχάνεται μέσω του αγωγού και της οπής προεισαγωγής, η οποία εντοπίζεται χαμηλότερα από την οπή εξαγωγής. Η οπή προ-εισαγωγής ανοίγει και κλείνει μέσω της παλινδρομικής κινήσεως του εμβόλου, όπως πραγματοποιείται και στις υπόλοιπες οπές. Μέσω του εσωτερικού αγωγού εισαγωγής που καταλήγει στην οπή εισαγωγής, επιτυγχάνεται η επικοινωνία του στροφαλοθαλάμου με το χώρο καύσεως. Πιο αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας των δίχρονων κινητήρων μπορεί να χωριστεί σε οχτώ κύριες φάσεις.

**Πρώτη Φάση:** Όταν το έμβολο είναι στο ΑΝΣ και ξεκινάει να κατεβαίνει προς το ΚΝΣ εξαιτίας της εκτόνωσης των καυσαερίων, παράλληλα είναι ανοικτή η οπή προ-εισαγωγής του καύσιμου μείγματος στο στροφαλοθάλαμο.

**Δεύτερη Φάση:** Το έμβολο βρίσκεται στη μέση περίπου της διαδρομής προς το ΚΝΣ αποκαλύπτοντας σταδιακά την οπή εξαγωγής των καυσαερίων. Παράλληλα έχει κλείσει την οπή προ-εισαγωγής και έχει ξεκινήσει η προ-συμπίεση του καύσιμου μείγματος μέσα στο στροφαλοθάλαμο.

**Τρίτη Φάση:** Καθώς το έμβολο πλησιάζει το ΚΝΣ αποκαλύπτει σταδιακά την οπή εισαγωγής, από την οποία θα εισαχθεί το προ-συμπιεσμένο καύσιμο μίγμα από τον στροφαλοθάλαμο στον κύλινδρο, ωθώντας παράλληλα τα χαμηλότερα πίεσης καυσαέρια προς την εξαγωγή.

**Τέταρτη Φάση:** Το έμβολο ολοκληρώνει την διαδρομή προς το ΚΝΣ τελειώνοντας τον πρώτο χρόνο λειτουργίας.

**Πέμπτη Φάση:** Το έμβολο ξεκινά την άνοδο προς το ΑΝΣ κλείνοντας αρχικά την οπή εισαγωγής και αρχίζει την συμπίεση του προ-συμπιεσμένου καύσιμου μείγματος.



Έκτη Φάση: Στη συνέχεια το έμβολο κλείνει την οπή εξαγωγής, ενώ παράλληλα συμπιέζει περαιτέρω το προ-συμπιεσμένο καύσιμο μείγμα. Επιπρόσθετα δημιουργείται μια κατάσταση υποπίεσης εντός του στροφαλοθαλάμου καθώς αυξάνεται σταδιακά ο όγκος του.

Έβδομη Φάση: Καθώς το έμβολο συνεχίζει τη διαδρομή του προς το ΑΝΣ αποκαλύπτει σταδιακά της οπή προ-εισαγωγής και αυξάνει περαιτέρω τον όγκο του στροφαλοθαλάμου. Έτσι αρχίζει η σταδιακή εισαγωγή του καύσιμου μείγματος στο στροφαλοθάλαμο εξαιτίας της υποπίεσης που έχει δημιουργήσει η άνοδος του εμβόλου.

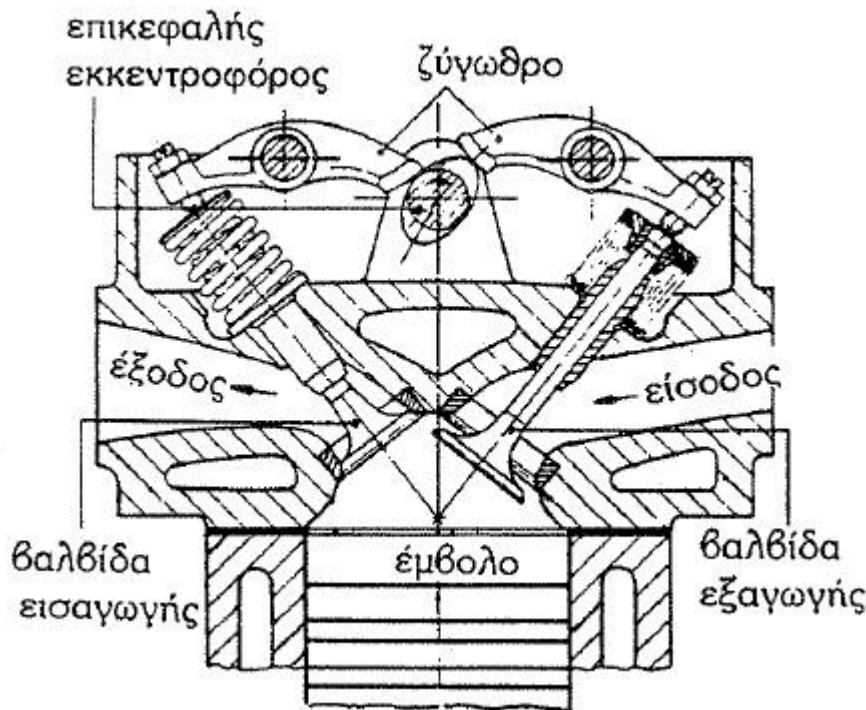
Όγδοη Φάση: Ελάχιστα πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ένας σπινθηρισμός προκαλεί την πυροδότηση του συμπιεσμένου καύσιμου μείγματος και την έναρξη της καύσης του. Το έμβολο φτάνοντας στο ΑΝΣ ολοκληρώνει την δεύτερη διαδρομή του και τον δεύτερο χρόνο λειτουργίας του.

## **11. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

Οι τετράχρονοι πετρελαιοκινητήρες ολοκληρώνουν τον λειτουργικό κύκλο τους σε τέσσερις χρόνους, δηλαδή σε τέσσερις διαδρομές του εμβόλου ανάμεσα στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ. Στους τέσσερις χρόνους του κύκλου λειτουργίας ο στροφαλοφόρος άξονας περιστρέφεται πλήρως δύο φορές δηλαδή  $720^\circ$ . Ένας στοιχειώδης τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας αποτελείται από τον ένα κύλινδρο, όπου στο πάμα του υπάρχει μια βαλβίδα εισαγωγής, μια βαλβίδα εξαγωγής καθώς και το έμβολο του κυλίνδρου.

Ο πρώτος χρόνος λειτουργίας ενός τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα ονομάζεται εισαγωγή, όπου έμβολο είναι στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή και η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει. Ξεκινώντας το έμβολο την διαδρομή από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, ο όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου μεγαλώνει δημιουργώντας μια κατάσταση υποπίεσης. Λόγω υψηλότερης εξωτερικής πίεσης ατμοσφαιρικός αέρας μπαίνει από την βαλβίδα εισαγωγής στον κύλινδρο, γεμίζοντας τον όγκο που ελευθέρωσε η κάθοδος του εμβόλου. Αυτή είναι μια εξαναγκαστική κίνηση του εμβόλου διότι μέσω του στροφαλοφόρου άξονα και του διωστήρα, άντλησε μηχανική ενέργεια από τον σφόνδυλο. Φθάνοντας το έμβολο στο ΚΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει, ο ατμοσφαιρικός έχει καταλάβει όλο τον όγκο του κυλίνδρου και ολοκληρώνεται ο πρώτος χρόνος λειτουργίας του πετρελαιοκινητήρα.

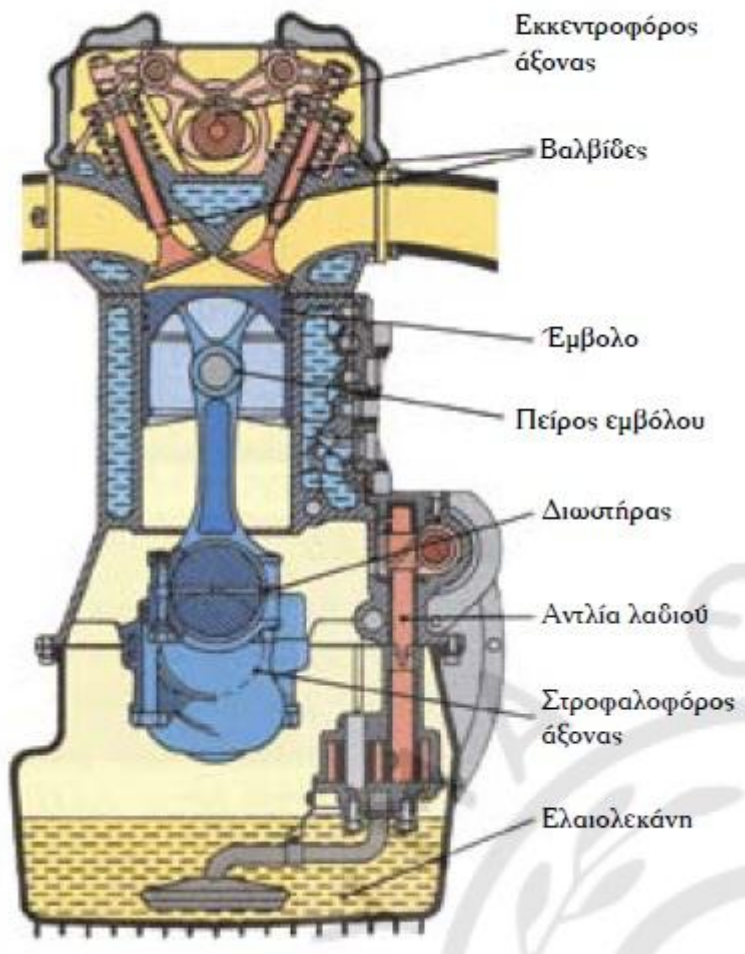
Ο δεύτερος χρόνος λειτουργίας ονομάζεται συμπίεση όπου το έμβολο είναι στο ΚΝΣ και με τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές στεγανοποιώντας τον κύλινδρο. Κινούμενο το έμβολο από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ μειώνεται ο εσωτερικός όγκος του κυλίνδρου αυξάνοντας παράλληλα την πίεση και την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα που έχει εισαχθεί. Κατά τη φάση της συμπίεσης το έμβολο κινείται μέσω μηχανικής ενέργειας που άντλησε από τον σφόνδυλο. Φθάνοντας το έμβολο στο ΑΝΣ ο αέρας έχει συμπιεστεί μεταξύ πώματος και εμβόλου και έχει ολοκληρωθεί ο δεύτερος χρόνος λειτουργίας του βενζινοκινητήρα. Το κλάσμα του αρχικού όγκου προς τον τελικό όγκο του κυλίνδρου κατά την συμπίεση ονομάζεται βαθμός συμπίεσης του κινητήρα.



**Εικόνα 11: Βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κινητήρα ΜΕΚ.**

Ο τρίτος χρόνος λειτουργίας ονομάζεται καύση – εκτόνωση όπου το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές και ο αέρας συμπιεσμένος και σε υψηλή θερμοκρασία. Τότε μέσω εγχυτήρα ψεκάζεται υπό μορφή νέφους πολύ μικρών σταγονιδίων το πετρέλαιο. Αυτή η ανάμιξη του καυσίμου με τον υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας αέρα οδηγεί σε αυτανάφλεξη η οποία πυροδοτεί το μείγμα το οποίο καίγεται απελευθερώνοντας μεγάλα ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τρομερά την πίεση εντός του κυλίνδρου. Οι τεράστια ποσότητα πίεσης σπρώχνει το έμβολο προς το ΚΝΣ το οποίο μεταφέρει την κίνηση στον διωστήρα και εν

συνεχία στο στρόφαλο. Έτσι αυτά τα απάρτια μετατρέπουν την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση. Φθάνοντας το έμβολο στο ΚΝΣ ολοκληρώνεται ο τρίτος χρόνος λειτουργίας ο οποίος είναι το μοναδικό ενεργό κομμάτι των τεσσάρων χρόνων του πετρελαιοκινητήρα όπου παράγεται μηχανικό έργο. Κομμάτι αυτής χημικής ενέργειας από την καύση του μείγματος και της εκτόνωσης των καυσαερίων αποθηκεύεται στον σφόνδυλο ενώ το υπόλοιπο δίδεται προς χρήση.



**Εικόνα 12: Τομή σύγχρονου ΜΕΚ (δεκαετία '90).**

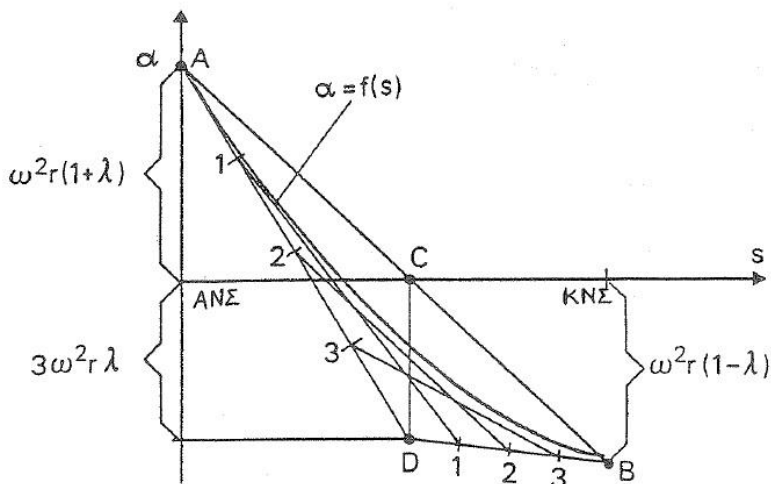
Ο τέταρτος και ο τελευταίος χρόνος λειτουργίας ονομάζεται εξαγωγή καυσαερίων και με το έμβολο να είναι στο ΚΝΣ. Μόλις ξεκινά την διαδρομή προς το ΑΝΣ ανοίγει μόνο η βαλβίδα εξαγωγής. Λόγω της μεγαλύτερης εσωτερικής πίεσης του κυλίνδρου σε σχέση με την εξωτερική ατμοσφαιρική και της ώθησης από την εξαναγκασμένη κίνηση του εμβόλου από τον σφόνδυλο, τα καυσαέρια απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα δια μέσου του αγωγού εξαγωγής. Φθάνοντας το

έμβολο στο ΑΝΣ ολοκληρώνει την τέταρτη διαδρομή του, ενώ παράλληλα κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τελειώνει και ο τέταρτος χρόνος, ολοκληρώνοντας με αυτό τον τρόπο ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα.

## **12. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

Οι δίχρονοι πετρελαιοκινητήρες πραγματοποιούν τα τέσσερα βασικά βήματα του κύκλου παραγωγής ισχύος (εισαγωγή, συμπίεση, καύση – εκτόνωση, εξαγωγή) σε δύο χρόνους, με το έμβολο να ολοκληρώνει δύο διαδρομές οι οποίες αντιστοιχούν σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Αυτοί οι κινητήρες δεν χρησιμοποιούν βαλβίδες για να ελέγχουν τους αγωγούς εισόδου μείγματος αέρα – καυσίμου και εξόδου των καυσαερίων, οι οποίοι καταλήγουν στα χαμηλά μέρη των τοιχωμάτων του κυλίνδρου και πλησίον του ΚΝΣ. Κατάλληλες οπές εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, επιτρέπουν την επικοινωνία με το εσωτερικό του κυλίνδρου. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των οπών και κατ' επέκταση ο έλεγχος των ροών του αέρα και καυσαερίων, επιτυγχάνεται μέσω της παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου. Η μεγάλης ισχύος σύγχρονοι δίχρονοι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούν βαλβίδες εξαγωγής για την απομάκρυνση των καυσαερίων.

Καθώς το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ ο ατμοσφαιρικός αέρας που έχει εισαχθεί στο εσωτερικό του κυλίνδρου είναι σε κατάσταση υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Μέσω εγχυτήρα ψεκάζεται υπό μορφή νέφους πολύ μικρών σταγονιδίων το πετρέλαιο. Αυτή η ανάμιξη του καυσίμου με τον υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας αέρα οδηγεί σε αυτανάφλεξη η οποία πυροδοτεί το μείγμα το οποίο καίγεται απελευθερώνοντας μεγάλα ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τρομερά την πίεση εντός του κυλίνδρου, ωθώντας το έμβολο προς το ΚΝΣ. Το έμβολο με τη σειρά του μεταφέρει την κίνηση στον διωστήρα και εν συνεχεία στο στρόφαλο.



**Εικόνα 13: Γραφική παράσταση Επιτάχυνσης “α” εμβόλου ΜΕΚ.**

Έτσι αυτά τα απάρτια μετατρέπουν την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση. Καθώς το έμβολο διανύει τη διαδρομή προς το ΚΝΣ αποκαλύπτει σταδιακά την οπή εξαγωγής, ξεκινώντας έτσι την εκτόνωση των καυσαερίων στο περιβάλλον. Ο πρώτος χρόνος είναι και το ενεργό κομμάτι του κύκλου όπου παράγεται έργο από τον κινητήρα. Τμήμα αυτής χημικής ενέργειας από την καύση του μείγματος και της εκτόνωσης των καυσαερίων αποθηκεύεται στον σφόνδυλο ενώ το υπόλοιπο δίδεται προς χρήση. Αυτή η διαδρομή του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ αποτελεί και τον πρώτο χρόνο της πρώτης διαδρομής του λειτουργικού κύκλου του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα.

Ο δεύτερος χρόνος της πρώτης διαδρομής ξεκινά με το έμβολο να είναι λίγο πριν το ΚΝΣ και όταν ξεκινά να αποκαλύπτει την οπή εξαγωγής. Καθώς το έμβολο συνεχίζει να κινείται του προς το ΚΝΣ ξεκινά να αποκαλύπτει και την οπή εισαγωγής. Τα καυσαέρια της καύσεως απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα μέσω του αγωγού καυσαερίων εξαιτίας της πολύ υψηλής πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου, ενώ παράλληλα ξεκινά η εισαγωγή αέρα μέσω του αγωγού και της οπής εισαγωγής. Έτσι η απόρριψη καυσαερίων και η εισαγωγή αέρα συνυπάρχουν για κάποιο χρονικό διάστημα.

Ο πρώτος χρόνος της δεύτερης διαδρομής του λειτουργικού κύκλου ξεκινά με το έμβολο να αποκαλύπτει πλήρως την οπή εισαγωγής και να ολοκληρώνεται με το πλήρες κλείσιμό της καθώς το έμβολο έχει ολοκληρώσει την κάθοδο στο ΚΝΣ και έχει ξεκινήσει την άνοδο προς το ΑΝΣ. Ο καινούργιος αέρας που εισέρχεται ωθεί τα εναπομείναντα καυσαέρια προς την εξαγωγή,

καθαρίζοντας το εσωτερικό χώρο του κυλίνδρου όπου θα πραγματοποιηθεί η καύση. Για να κινηθεί το έμβολο από το ΚΝΣ και να ξεκινήσει την διαδρομή προς το ΑΝΣ λαμβάνει κινητική ενέργεια από τον σφόνδυλο.

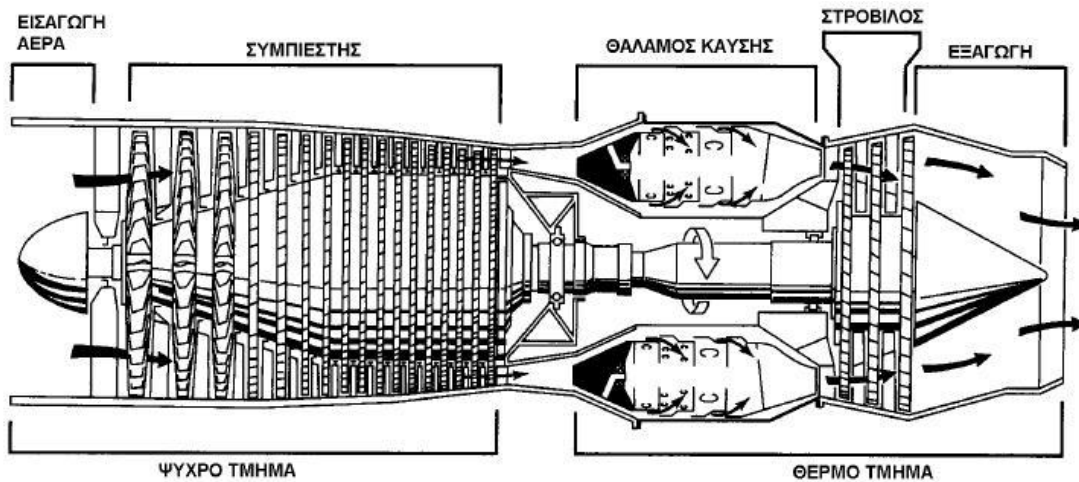
Ο δεύτερος χρόνος της δεύτερης διαδρομής ξεκινά με το έμβολο να έχει κλείσει τελείως και την οπή εξαγωγής, στεγανοποιώντας πλήρως το εσωτερικό του κυλίνδρου. Καθώς το έμβολο πλησιάζει το ΑΝΣ συμπιέζει και ανεβάζει την πίεση και της θερμοκρασία του αέρα που έχει εισαχθεί νωρίτερα. Το κλάσμα του όγκου του κυλίνδρου τη στιγμή που αρχίζει η συμπίεση προς τον τελικό όγκο του κυλίνδρου ονομάζεται ουσιαστικός βαθμός συμπίεσης κινητήρα. Όταν το έμβολο ολοκληρώσει την διαδρομή και φτάσει στο ΑΝΣ ολοκληρώνεται ο λειτουργικός κύκλος του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα.

### 13. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΩΝ

Στους αεριοστρόβιλους η εισαγωγή του αέρα στον συμπιεστή πραγματοποιείται δια μέσου κατάλληλου αεραγωγού. Στα περισσότερα είδη κινητήρων ο συμπιεστής είναι αξονικός με μία ή περισσότερες βαθμίδες συμπίεσεως, ενώ στους μικρούς κινητήρες μπορεί να είναι φυγοκεντρικού τύπου. Κάθε βαθμίδα συμπίεσης αποτελείται μια σειρά κινητών πτερυγίων (ρότορας) και μια σειρά σταθερών πτερυγίων (στάτορας). Οι ρότορες των διαφόρων βαθμίδων είναι συνδεδεμένοι στον άξονα ή στους άξονες του κινητήρα και καθώς περιστρέφονται αυξάνουν και την κινητική ενέργεια του εισερχόμενου αέρα αλλά και την πίεσή του. Εν συνεχεία καθώς ο εισερχόμενος αέρας προσκρούει στον στάτορα ή στους στάτορες του κινητήρα, ένα κομμάτι της κινητικής του ενέργειας μετατρέπεται σε πίεση. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται μια σταδιακή αύξηση της πίεσης του εισερχόμενου αέρα, ο οποίος εξέρχεται του συμπιεστή με τιμές πίεσης και πυκνότητας πολύ μεγαλύτερες από αυτές που είχε στην είσοδο.

Στη συνέχεια ο συμπιεσμένος αέρας κατευθύνεται από τον συμπιεστή προς το θάλαμο καύσης όπου και αναμειγνύεται με καύσιμο το οποίο εγχύεται μέσω κατάλληλων διατάξεων. Παρόλο που λόγω διαφορετικών σχεδιαστικών προσεγγίσεων κάθε κινητήρα, ο θάλαμος καύσης μπορεί να έχει διάφορες μορφές, η βασική μορφοποίησή του είναι ένας διπλός σωλήνας. Στον εξωτερικό σωλήνα που αποτελεί το κέλυφος του θαλάμου, καταλήγει ο συμπιεσμένος αέρας. Στον εσωτερικό σωλήνα που είναι διάτρητος και ονομάζεται φλογοσωλήνας, εισέρχεται ο αέρας

σε στροβιλώδη ροή και εκεί εξελίσσεται η διαδικασία της καύσης. Τα καυσαέρια που προκύπτουν εκτονώνονται από το πίσω άνοιγμα του φλογοσωλήνα. Η καύση του εγχυόμενου καυσίμου γίνεται σε σταθερή πίεση σχεδόν και σε συνεχή παροχή, με αποτέλεσμα να μην ανεβαίνουν σε πολύ μεγάλα επίπεδα οι θερμοκρασίες των καυσαερίων και να κινδυνεύουν να καταστραφούν ο θάλαμος καύσης και ο στρόβιλος.



**Εικόνα 14: Σχηματική τομή αεριοστρόβιλου.**

Έπειτα από το θάλαμο καύσης τα καυσαέρια κατευθύνονται προς τον αξονικής ροής στρόβιλο καυσαερίων, αποτελούμενος από μία ή περισσότερες βαθμίδες. Κάθε βαθμίδα αποτελείται αρχικά από μια σειρά σταθερών πτερυγίων (οδηγία πτερύγια-guide vanes) και μετά από μια σειρά κινητών πτερυγίων (ρότορας). Καθώς τα καυσαέρια προσπίπτουν στα οδηγία πτερύγια επιταχύνουν αποκτώντας περιφερειακή συνιστώσα ταχύτητα (συστροφή) και εν συνεχεία προκαλούν την περιστροφή των πτερυγίων του ρότορα. Τα πτερύγια λόγω της σχεδιάσεώς τους αφαιρούν την συστροφή των καυσαερίων καθώς και μέρος της ενέργειάς τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της ενεργειακής στάθμης των καυσαερίων ανά βαθμίδα στρόβιλου. Στον κινητήρα αντιδράσεως (κινητήρας jet), το μέγεθος της ισχύος των καυσαερίων που απορροφά στο στρόβιλος είναι τόσο όσο χρειάζεται ο συμπιεστής για να λειτουργήσει και να συμπιέσει τον εισερχόμενο αέρα (δεν λαμβάνονται υπόψιν οι μηχανικές απώλειες του άξονα καθώς και η απορρόφηση ισχύος από άλλα βοηθητικά απάρτια).

Παρόλο την απορρόφηση, η ενεργειακή στάθμη των εξερχόμενων καυσαερίων από το στρόβιλο είναι πάρα πολύ υψηλή. Η αξιοποίηση αυτού του ωφέλιμου ενεργειακού φορτίου διαφέρει αναλόγως της χρήσης του αεριοστρόβιλου. Έτσι όταν ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται ως

κινητήρας αεροσκάφους, τα θερμά καυσαέρια κατευθύνονται στο ακροφύσιο του κινητήρα και εκεί επιταχύνονται και φεύγουν στην ατμόσφαιρα με πολύ υψηλές ταχύτητες και τρομερά μεγάλη ορμή. Αυτή η μεταβολή στην ορμή του εργαζόμενου μέσου (αέρας-καυσαέρια) μεταξύ του σημείου εισόδου και του σημείου εξόδου από τον κινητήρα, προκαλεί την κινητήριο δύναμη που ωθεί το αεροσκάφος. Όταν οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται για να παράγουν μηχανικό έργο (ηλεκτρογεννήτρια ή περιστροφή έλικας), τότε τα καυσαέρια περνούν μέσα από δεύτερο στρόβιλο (στρόβιλος ισχύος) και απορροφάται επιπλέον μέρος από την ενεργειακή τους στάθμη, όπου αποδίδεται με τη μορφή μηχανικής ισχύος στον άξονα περιστροφής του κινητήρα. Ανάλογα με τη σχεδιαστική φιλοσοφία του κινητήρα, ο στρόβιλος ισχύος μπορεί να συνδέεται είτε στον ίδιο, είτε σε διαφορετικό άξονα από αυτόν που περιστρέφει τον συμπιεστή. Μετά τη διέλευση από το στρόβιλο ισχύος, τα εκπεμπόμενα καυσαέρια έχουν πίεση ελαφρώς χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής και αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από εκείνη του θαλάμου καύσεως και μέσω κατάλληλων διατάξεων εξέρχονται στην ατμόσφαιρα.

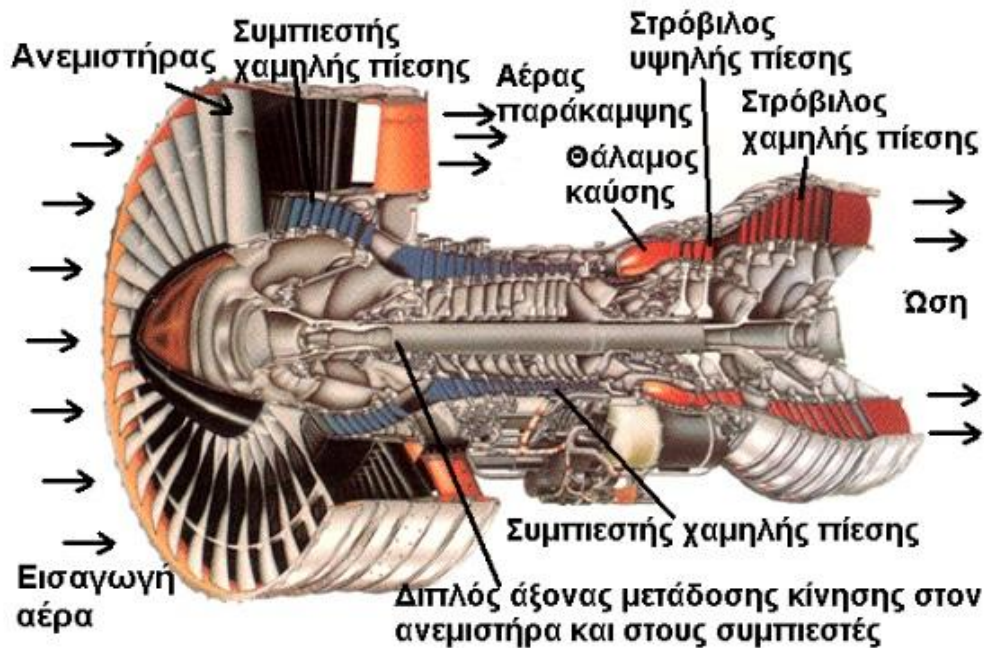
## 14. ΤΥΠΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΑΩΝ

Οι πιο απλοί τύποι αεριοστρόβιλων που εφαρμόζονται στην πρόωση αεροσκαφών είναι στροβιλοαντιδραστήρες απλής ροής απλού τυμπάνου (single spool turbojet engine). Ο εισερχόμενος αέρας συμπιέζεται στον συμπιεστή και εν συνεχεία κατευθύνεται στο θάλαμο καύσης. Από εκεί τα καυσαέρια της χημικής αντίδρασης από την καύση θα εκτονωθούν στο στρόβιλο και στη συνέχεια θα επιταχυνθούν από το ακροφύσιο του κινητήρα και θα απορριφθούν στην ατμόσφαιρα. Το αεροσκάφος θα ωθηθεί από την υψηλή ορμή των καυσαερίων προς την αντίθετη κατεύθυνση εκτόνωσης. Μία άτρακτος ενώνει τον στρόβιλο με τον συμπιεστή ο οποίος για την κίνησή του χρησιμοποιεί ισχύ που απορροφά από την εκτόνωση των καυσαερίων. Αυτού του τύπου οι αεριοστρόβιλοι είναι αποδοτικοί σε υπερηχητικές ταχύτητες πτήσεως.

Ένας άλλος τύπος αεριοστρόβιλων που χρησιμοποιούνται στην πρόωση των αεροσκαφών είναι οι στροβιλοαντιδραστήρες διπλής ροής ή οι παρακαμπτικοί στροβιλοαντιδραστήρες (by-pass turbojet engines) όπως ονομάζονται διαφορετικά και είναι συνήθως διπλού τυμπάνου (δύο αξόνων). Αυτού του τύπου οι κινητήρες διαθέτουν δύο ανεξάρτητους συμπιεστές χαμηλής και υψηλής πίεσης, καθώς και δύο ανεξάρτητους στροβίλους χαμηλής και υψηλής πίεσεως



αντίστοιχα. Ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης δίνει κίνηση στο συμπιεστή χαμηλής πίεσης, ενώ ο στρόβιλος υψηλής πίεσης δίνει κίνηση στο συμπιεστή υψηλής πίεσης δια μέσου μια κοίλης ατράκτου η οποία περιβάλλει την άτρακτο του συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Σε αυτές τις δύο ατράκτους οφείλεται και ο χαρακτηριστική ονομασία διπλού τυμπάνου.

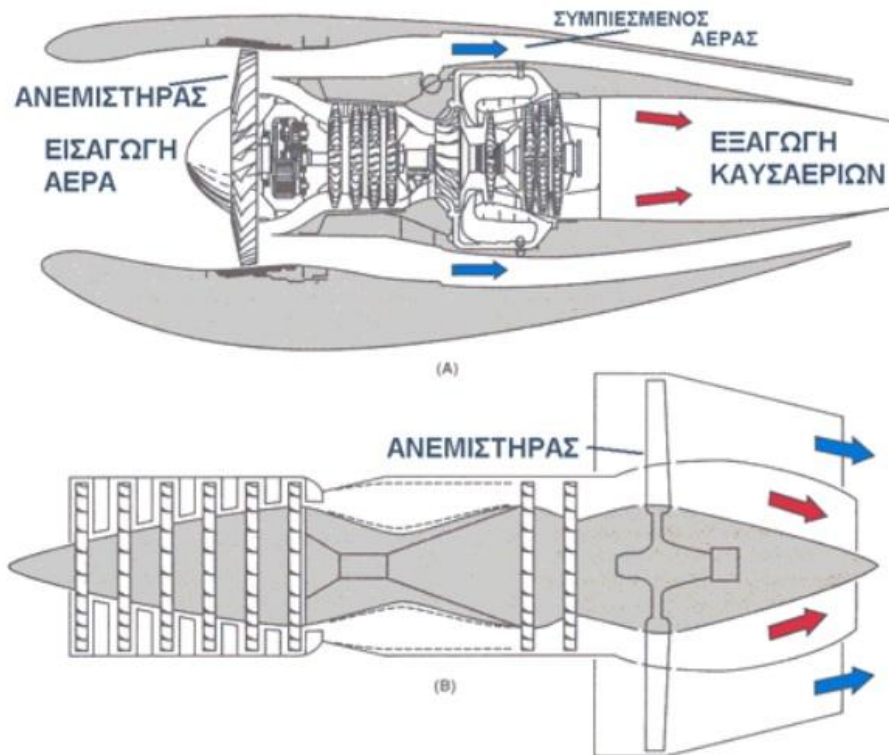


**Εικόνα 15: Στροβιλοαντιδραστήρας διπλής ροής**

Η ονομασία διπλής ροής έχει να κάνει με το ότι τμήμα του εξερχόμενου αέρα από τον συμπιεστή χαμηλής πίεσης δεν καταλήγει στο συμπιεστή υψηλής πίεσης, αλλά διαφεύγει περιφερειακά των αυλού των καυσαερίων, παρακάμπτοντας περιφερειακά τα υπόλοιπα τμήματα του κινητήρα. Κυριότερο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου κινητήρων είναι ο λόγος παράκαμψης (bypass ratio), που ορίζεται ως το κλάσμα της παροχής που παρακάμπτει τον κινητήρα προς την παροχή που περνάει μέσα από το θάλαμο καύσης, ή πιο απλά το κλάσμα του ψυχρού ρεύματος προς το θερμό ρεύμα και οι τιμές του είναι από 2:1 έως 10:1. Κινητήρες με χαμηλούς λόγους παράκαμψης χρησιμοποιούνται κυρίως σε στρατιωτικές εφαρμογές. Οι συγκεκριμένοι τύποι κινητήρων προσφέρουν υψηλότερες αποδόσεις και εξοικονόμηση καυσίμων σε χαμηλές ταχύτητες πλεύσης σε σχέση με τους στροβιλοαντιδραστήρες απλή ροής.

Παραλλαγή των στροβιλοαντιδραστήρων διπλής ροής είναι οι στροβιλοαντιδραστήρες υψηλού λόγου παράκαμψης με ανεμιστήρα (turbofan engines). Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούν έναν ανεμιστήρα, δηλαδή μια βαθμίδα συμπιεστή πολύ μεγάλης εξωτερικής διαμέτρου, πριν τον

συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Σε αυτούς του κινητήρες μία μικρή ποσότητα αέρα κατευθύνεται στον συμπιεστή και στο θάλαμο καύσης, ενώ η μεγαλύτερη ποσότητα του εισερχόμενου αέρα παρακάμπει τελείως τον κινητήρα παρέχοντας και το μεγαλύτερο ποσοστό ώθησης του κινητήρα.

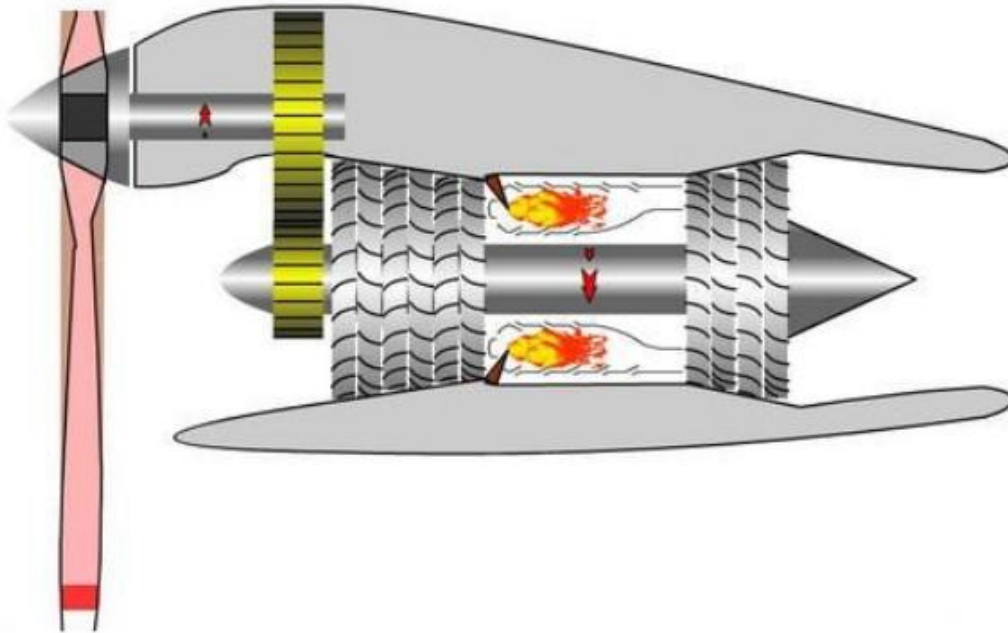


**Εικόνα 16: Στροβιλοαντιδραστήρας υψηλού λόγου παράκαμψης.**

Πιο απλά ο κινητήρας χρησιμοποιείται για την περιστροφή του ανεμιστήρα ο οποίος μοιάζει με έναν έλικα μέσα σε ένα κέλυφος. Οι συγκεκριμένοι τύποι αεριοστροβίλων επιτυγχάνουν λόγους παρακάμψεως που ξεπερνούν τιμές του 5:1 και προωθούν πλέον αποκλειστικά μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη, επιτυγχάνοντας πολύ υψηλές επιδόσεις και εξοικονόμηση καυσίμων σε περιοχές ταχυτήτων λίγο χαμηλότερα από την ταχύτητα του ήχου.

Ένα άλλος τύπος αεριοστροβίλων που εφαρμόζονται στην πρόωση των αεροσκαφών είναι οι ελικοφόροι αεριοστροβίλοι (turbo-propeller engine / turbo prop). Αυτοί οι κινητήρες είναι έτσι σχεδιασμένοι ώστε να απορροφούν τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα από την ενέργεια των καυσαερίων, ώστε να περιστρέφουν μία έλικα πέρα του συμπιεστή. Η ώση αυτών των κινητήρων προέρχεται από την περιστρεφόμενη έλικα και όχι από την εκτόνωση των

καυσαερίων. Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε μεταφορικά, επιβατικά και στρατιωτικά αεροσκάφη χαμηλών ταχυτήτων προσφέροντας οικονομικότερη λειτουργία.



**Εικόνα 17: Ελικοστρόβιλος.**

Οι ίδιες αρχές λειτουργίας που διέπουν τους αεροπορικούς αεριοστρόβιλους ισχύουν και για τους αεριοστρόβιλους που χρησιμοποιούνται σε επίγειες και ναυτικές εφαρμογές με την μόνη διαφορά ότι η προσφερόμενη ισχύς δεν έχει τη μορφή ώσης, αλλά τη μορφή περιστροφής άξονα. Για την επίτευξη της περιστροφικής κίνησης εκμεταλλεύεται πλήρως η παραγόμενη ισχύς των καυσαερίων έτσι ώστε να βρίσκονται στην χαμηλότερη ενεργειακής τους στάθμη την στιγμή της εξόδου τους από τον στρόβιλο. Για να επιτευχθεί αυτό, οι κινητήρες αυτού του τύπου είτε διαθέτουν ανεξάρτητο στρόβιλο καυσαερίων που ονομάζεται ελεύθερος στρόβιλος ισχύος (free power turbine), είτε διαθέτουν επιπλέον βαθμίδες στροβίλου σε κοινό άξονα δίνοντας κίνηση στο συμπιεστή και στον άξονα ισχύος. Η πρώτη σχεδιαστική λύση χρησιμοποιείται για μετατροπές αεροπορικών κινητήρων σε επίγειους, ενώ η λύση εφαρμόζεται στον εξαρχής σχεδιασμό αεριοστρόβιλων παραγωγής ισχύος που προορίζονται για επίγεια χρήση.

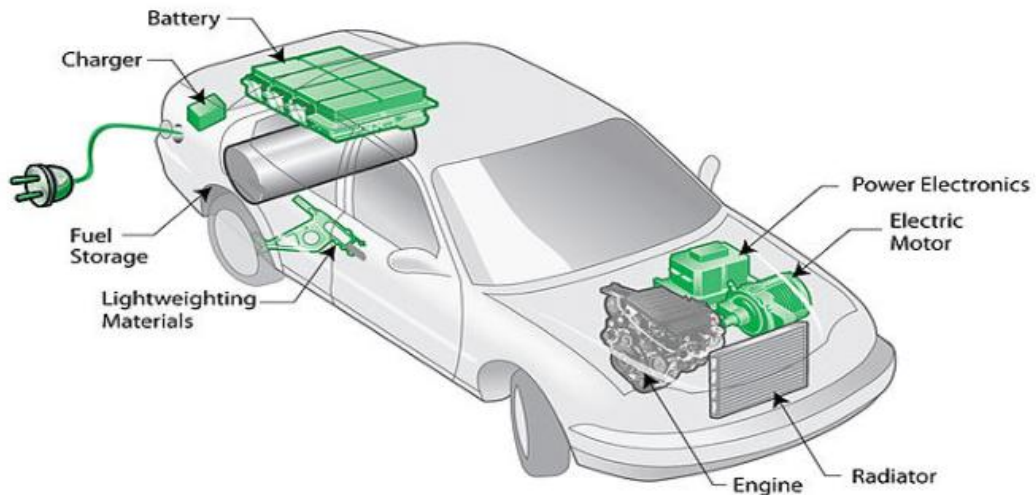
## 15. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΜΕ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ

### ΜΕΚ

Οι αεριοστρόβιλοι είναι θερμικοί κινητήρες εσωτερικής καύσης με διαφορετικές αρχές λειτουργίας από τις εμβολοφόρες ΜΕΚ. Ενώ στους αεριοστρόβιλους λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα διαφορετικές λειτουργίες σε διαφορετικά τμήματα του κινητήρα, καθώς το στοιχείο που εκτελεί έργο διασχίζει τα τμήματα διαδοχικά, στις εμβολοφόρες ΜΕΚ η κάθε φάση των λειτουργικών τους κύκλων, επαναλαμβάνεται μέσω στο συγκεκριμένο χώρο του κυλίνδρου. Στους αεριοστρόβιλους σε διαφορετικό τμήμα του κινητήρα γίνεται η εισαγωγή του αέρα, σε διαφορετικό η συμπίεση, σε διαφορετικό η καύση, σε διαφορετικό η εκτόνωση των καυσαερίων και σε διαφορετικό η απόρριψή τους στο περιβάλλον. Αντίθετα στις εμβολοφόρες ΜΕΚ όλες οι προηγούμενες φάσεις της λειτουργίας λαμβάνουν μέρος εντός του κυλίνδρου και διακοπτόμενα. Στους αεριοστρόβιλους δεν υφίστανται νεκροί χρόνοι κατά τη διάρκεια παραγωγής ισχύος επομένως παράγονται πολύ μεγαλύτερα ποσά ισχύος από παρόμοιου όγκου εμβολοφόρες ΜΕΚ. Στους αεριοστρόβιλους οι καύσεις λαμβάνουν χώρα σε μεγάλη περίσσεια αέρα ενώ στις εμβολοφόρες ΜΕΚ συνήθως πραγματοποιούνται κοντά στη στοιχειομετρική αναλογία αέρα/καυσίμου. Ο θάλαμος καύσης των αεριοστρόβιλων είναι ανοικτός και η πίεση των καυσαερίων παραμένει σχεδόν σταθερή, επομένως κατασκευαστικά ο κινητήρας είναι ελαφρύς με ιδιαίτερες απαιτήσεις σε υλικά ιδιαίτερα ανθεκτικά σε πολύς μεγάλες θερμοκρασίες. Αντίθετα στις εμβολοφόρες ΜΕΚ η πίεση των καυσαερίων είναι πάρα πολύ υψηλή εφόσον η καύση πραγματοποιείται σε κλειστό και στεγανοποιημένο χώρο. Έτσι είναι αναγκαία η κατασκευή των χιτωνίων να είναι ισχυρή, μεγάλου βάρους και με συστήματα ψύξης.

## 16. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ

Γενικά το Ηλεκτρικό Όχημα (Electric Vehicle ή EV ή HO) χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών. Τα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρικούς κινητήρες αντί των μηχανών εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ).



**Εικόνα19 : Ηλεκτρικό Όχημα (Electric Vehicle ή EV ή ΗΟ**

Αντίθετα, τα οχήματα που χρησιμοποιούν και τα δύο (ηλεκτρικές μηχανές και ΜΕΚ) ονομάζονται **υβριδικά οχήματα** και δεν θεωρούνται καθαρά ΗΟ. Τα οχήματα με τις μπαταρίες που μπορούν να φορτιστούν και να χρησιμοποιηθούν χωρίς ΜΕΚ καλούνται «βυσματωτά» ηλεκτρικά οχήματα, και είναι καθαρά ΗΟ, ενώ δεν καταναλώνουν καύσιμα.

Τα ΗΟ είναι στην κατηγορία των αυτοκινήτων που εμφανίστηκαν από τις πρώτες μέρες της αυτοκίνησης και διαθέτουν μεγαλύτερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης από τα περισσότερα αυτοκίνητα με μηχανές εσωτερικής καύσης.

## 17. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα ΗΟ αυτοκίνητα, συγκριτικά με τα βενζινοκίνητα, παρουσιάζουν πολλά εμφανή σημεία υπεροχής, αλλά και σημαντικά μειονεκτήματα:

1. Δεν παράγουν κανέναν είδος ρύπων εξάτμισης.
2. Προκαλούν την ελάχιστη δυνατή ρύπανση σε μακροχρόνια βάση, υπό τον όρο ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρική **ενέργεια** από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπό αυτή την προϋπόθεση, μπορούν να μετριάσουν την παγκόσμια θέρμανση που προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να μειώσουν την εξάρτηση

από το πετρέλαιο.

3. Είναι πιο αθόρυβα από τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης.

4. Επιτυγχάνουν σχεδόν σταθερή ροπή από την ακινησία έως το μέγιστο όριο στροφών λειτουργίας.

5. Έχουν ευχέρεια να λειτουργούν σε πιο υψηλές στροφές από τους βενζινοκινητήρες, συχνά ακόμα και ως τις 14.000 στροφές / λεπτό.

6. Έχουν χαμηλότερο κόστος σε βάθος χρόνου, καθώς δεν επηρεάζονται από την κάθε τόσο αύξηση της τιμής της βενζίνης, αλλά και λόγω του χαμηλότερου κόστους σέρβις και συντήρησης. Τα EV χρειάζονται πολύ λιγότερο σέρβις και συντήρηση, καθώς:

- δεν απαιτούν τις τακτικές αλλαγές λαδιών.
- δεν εκπέμπουν ρύπους, δεν έχουν σύστημα εξαγωγής καυσαερίων και διάταξη εξάτμισης, ούτε σιγαστήρα προ της εξάτμισης, ούτε καταλύτη ή φίλτρο καπνού.
- δεν απαιτούν αντικατάσταση ή έστω συντήρηση σε μηχανικά μέρη, όπως σύστημα ανάφλεξης, πιστόνια, βαλβίδες ή εκκεντροφόρους, διότι στα EV δεν υπάρχουν, ενώ οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν πάνω από 100 κινούμενα μέρη.
- μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να αυτο-φορτίζονται κατά τις επιβραδύνσεις του οχήματος (regenerative braking), βελτιώνοντας έτσι τον δείκτη κατανάλωσης.

Εξίσου όμως προκύπτουν και αρκετά μειονεκτήματα τα οποία παρουσιάζονται εδώ :

- 1) Υψηλές δαπάνες κατασκευής, με αποτέλεσμα την υψηλή τιμή πώλησης.
- 2) Περιορισμένη απόσταση ταξιδιού μεταξύ κάθε επαναφόρτισης της μπαταρίας.

Στο παρελθόν κάθε 100 χιλιόμετρα χρειάζονταν επαναφόρτιση. Ωστόσο, τα πιο σύγχρονα μοντέλα επιτυγχάνουν αυτονομίες που ξεκινούν από 100 έως 120 χιλιόμετρα στα αυτοκίνητα πόλης και φτάνουν στα 250 - 300 χιλιόμετρα ή και παραπάνω, σε αυτοκίνητα μεγάλης ισχύος (Tesla Model S: 430 χλμ). Το σημερινό ρεκόρ ανήκει σε ένα σπορ ηλεκτροκίνητο Tesla Roadster, που κατάφερε να διανύσει 504 χιλιόμετρα (313 μίλια) με μία μόνο φόρτιση, με μέση ταχύτητα 56 χιλιόμετρα/ώρα (35 μίλια/ώρα) και είχε 5 χιλιόμετρα (3 μίλια) ακόμα αυτονομία

όταν έφτασε στον τερματισμό. Το ρεκόρ επετεύχθη στις 27 Οκτωβρίου 2009, κατά τη διάρκεια του παγκόσμιου οικολογικού διαγωνισμού Global Green Challenge, στην Αυστραλία.

3) Μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης, συνήθως 6 ώρες για πλήρη επαναφόρτιση. Ωστόσο, αρκετά σύγχρονα μοντέλα μπορούν να φορτιστούν κατά 80% σε χρόνο λιγότερο της 1 ώρας.

4) Περιορισμένη διάρκεια ζωής μπαταριών, συνήθως 3 - 5 χρόνια. Παρ' όλα αυτά, για το Chevrolet Volt, η General Motors δίνει εγγύηση 8 έτη ή 100.000 μίλια (160.000 χιλιόμετρα) για τις μπαταρίες.

Ιστορικά, η περιορισμένη διάδοση των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων έχει αποδοθεί στα παραπάνω μειονεκτήματα. Επιπλέον, έχουν υπάρξει βάσιμες ενδείξεις ότι οι μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες έχουν, κατά καιρούς, υπονομεύσει τις προσπάθειες παραγωγής αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω του φόβου ότι η συνεπακόλουθη απεξάρτηση από το πετρέλαιο θα έθιγε τα συμφέροντά τους.

Το πλέον τρανταχτό ιστορικό παράδειγμα είναι το General Motors EV1, που είχε κατασκευάσει σε 1.117 αντίτυπα η General Motors από τον Δεκέμβριο του 1996 έως το 1999 και τελικώς κατέληξε σε μαζική ανάκληση και διάλυση στην πρέσα. Η ίδια η General Motors μάλιστα, έχει κατηγορηθεί ότι σκόπιμα αυτο-υπονόμευε τότε το EV1, λόγω των πιέσεων που είχε δεχτεί από τις μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες, κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του πρότζεκτ.

Τα τελευταία χρόνια πάντως, έχει διατεθεί ένας μικρός αριθμός μοντέλων παραγωγής, όπως το σπορ ηλεκτροκίνητο Tesla Roadster, το Tesla Model S, το Nissan Leaf και τα τρίδυμα Mitsubishi i MiEV / Peugeot iOn / Citroën C-Zero, και έχει αναγγελθεί η παραγωγή αρκετών μελλοντικών μοντέλων, όπως το Tesla Model X και το Tesla Model III που κυκλοφόρησαν στα τέλη του 2015 και 2017.

Ακόμα και σήμερα ωστόσο, τα περισσότερα εξακολουθούν να είναι πρωτότυπα, ενώ ορισμένα επίσης, έχουν διατεθεί σε περιορισμένα αντίτυπα και όχι στο ευρύ κοινό. Πρόσφατο παράδειγμα ήταν η ηλεκτροκίνητη έκδοση του Subaru Stella, με μόλις 170 αντίτυπα, τα οποία πουλήθηκαν κυρίως σε εταιρείες ενοικιάσεων και κυβερνητικά στελέχη της Ιαπωνίας, από τα τέλη Ιουλίου 2009 έως τον Μάρτιο του 2010

## 18. ΥΒΡΙΔΙΚΑ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

Μία επίσης ενδιαφέρουσα εκδοχή, είναι και τα λεγόμενα Υβριδικά-Ηλεκτρικά αυτοκίνητα ή ΥΗΑ (Hybrid Electric vehicles). Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν ηλεκτρικό κινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης, αλλά διαφέρουν από τα υβριδικά αυτοκίνητα στην εξής λεπτομέρεια:

- Τα υβριδικά αυτοκίνητα βασίζονται κατά κύριο λόγο στην μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), ενώ η ηλεκτρική μηχανή ενεργοποιείται μόνο σε χαμηλές ταχύτητες μέσα στην πόλη ή συμπληρωματικά με την ΜΕΚ σε έντονη επιτάχυνση, για την παροχή επιπλέον ισχύος.
- Αντίθετα, τα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα λειτουργούν ως καθαρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε σύντομες διαδρομές και χρησιμοποιούν την ΜΕΚ μόνο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όταν απαιτείται αύξηση της αυτονομίας. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το Chevrolet Volt, που λανσαρίστηκε στις ΗΠΑ στα μέσα Δεκεμβρίου του 2010. Με τις μπαταρίες του ηλεκτροκινητήρα (ισχύος 149 hp) σε πλήρη φόρτιση, μπορεί να διανύσει έως και 40 μίλια (64 χλμ), δηλαδή επαρκή απόσταση για τις καθημερινές ανάγκες του 75% των Αμερικανών, που κατά μέσο όρο διανύει 33 μίλια (53 χλμ) την ημέρα. Μετά τα 40 μίλια (64 χλμ), ένας μικρός 4-κύλινδρος κινητήρας βενζίνης 1.4 L της Opel, παράγει ηλεκτρισμό και τροφοδοτεί μία γεννήτρια (ισχύος 71 hp) η οποία δίνει στο Volt αυτονομίες πάνω από 300 μίλια (483 χλμ).

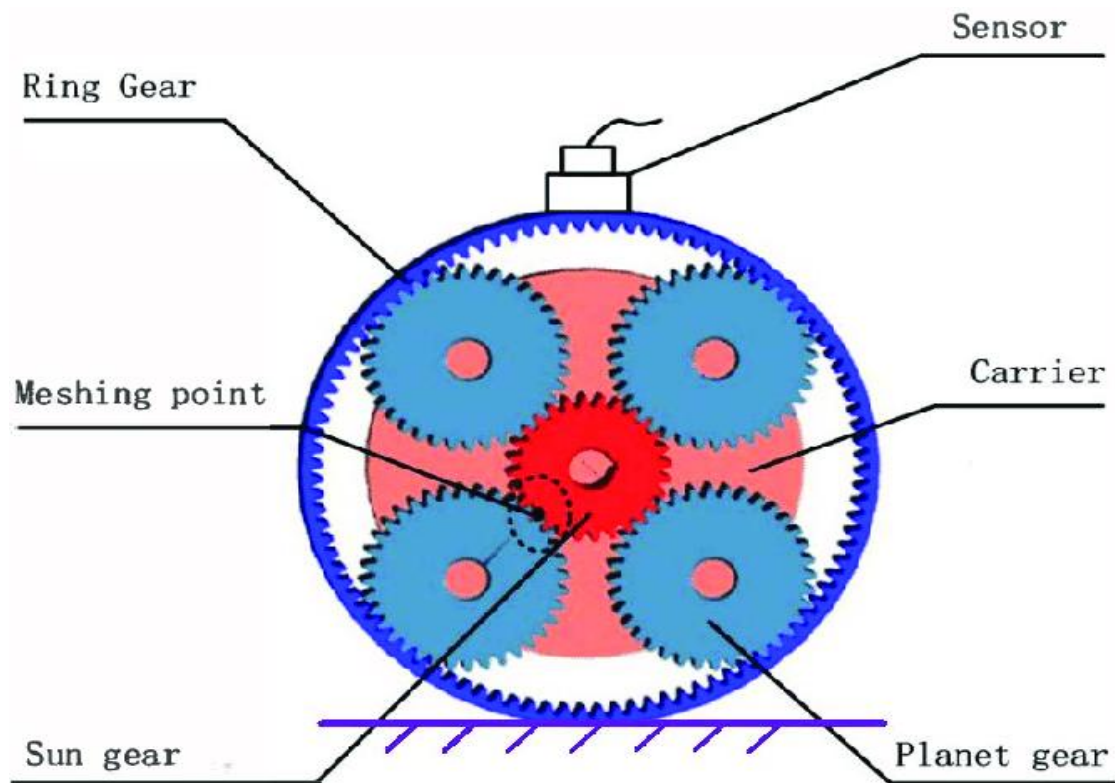
Η Toyota δημιούργησε το πρώτο μοντέλο υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος στον κόσμο που κυκλοφόρησε στην αγορά το 1997, το Prius, που φαίνεται στην εικόνα 19. Οι παγκόσμιες πωλήσεις του Prius ξεπέρασαν τα 1 εκατομμύριο οχήματα το 2009.





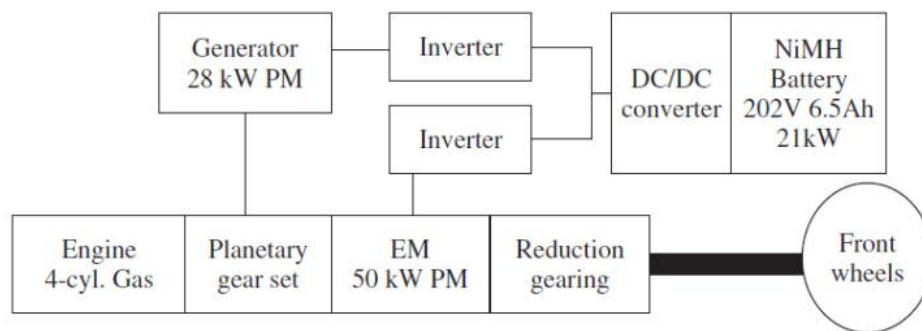
**Εικόνα 19 : Το Toyota Prius****World's first mass-produced hybrid vehicle Toyota Prius NHW10 (1997–2000)**

Χρησιμοποιεί ένα πλανητικό σύστημα γραναζιών για να πραγματοποιήσει συνεχή μεταβλητή μετάδοση. Επομένως, η συμβατική μετάδοση δεν χρειάζεται σε αυτό το σύστημα. Όπως φαίνεται στην εικόνα 20, ο κινητήρας καυσίμου συνδέεται με το φορέα του πλανητικού γραναζιού ενώ η γεννήτρια είναι συνδεδεμένη στον ήλιο (sun gear).

**Εικόνα 20 : Πλανητικό σύστημα γραναζιών**

Η μονάδα κατανομής ισχύος είναι ένα έξυπνο κιβώτιο ταχυτήτων που ενώνει τον κινητήρα καυσίμου, την γεννήτρια και τον ηλεκτροκινητήρα μαζί. Επιτρέπει στο υβριδικό όχημα να λειτουργεί σαν ένα παράλληλο υβριδικό όχημα – ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να τροφοδοτήσει το αυτοκίνητο από μόνος του όπως και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης αλλά μπορούν επίσης να κινήσουν το αυτοκίνητο συνεργαζόμενοι. Η γεννήτρια είναι συνδεδεμένη με το σετ γραναζιών

του ηλίου και ο κινητήρας με τον φορέα των πλανητών. Η ταχύτητα της στεφάνης εξαρτάται από τις τρεις παραμέτρους (πλανήτες ,φορέα πλανητών ,ήλιος ) και έτσι όλες οι μηχανές επί του οχήματος συνεργάζονται αρμονικά για την επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας και ροπής εξόδου.



**Εικόνα 21 : Η διάταξη του κινητήρα της Toyota Prius (EM-PM, Ηλεκτρική μηχανή- Μόνιμου Μαγνήτη)**

Όπως φαίνεται στην εικόνα 21 με την διάταξη του κινητήρα της Toyota Prius οι συστοιχίες των μπαταριών νικελίου χωρητικότητας 6,5 Ah, 21kW φορτίζονται από τη γεννήτρια κατά τη διάρκεια που το όχημα κινείται χωρίς να χρειάζεται μεγάλα ποσά ενέργειας καθώς και από τον κινητήρα πρόωσης σε κατάσταση λειτουργίας γεννήτριας κατά τη διάρκεια της αναγεννητικής πέδησης με ανάκτηση ενέργειας. Ο κινητήρας σβήνει κατά την οδήγηση σε χαμηλή ταχύτητα. Η ίδια τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε στο υβριδικό όχημα του οίκου Camry, του οίκου Highlander και από τα υβριδικά οχήματα του οίκου Lexus. Ωστόσο, τα υβριδικά οχήματα των Highlander και της Lexus προσθέτουν ένα τρίτο μοτέρ στον πίσω τροχό. Έτσι η απόδοση της μετάδοσης της κίνησης, όπως για επιτάχυνση και πέδηση, μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω.

## 19. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΥΣΜΑΤΩΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ PLUG – IN ELECTRIC VEHICLE (PHEV)

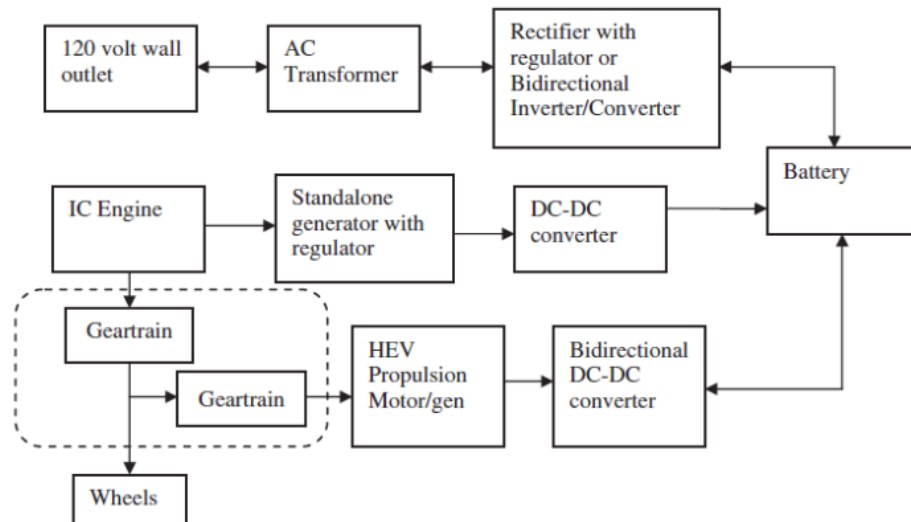
Γιατί βυσματωτά ΥΗΟ;

Το βυσματωτό ΥΗΟ, όπως υποδηλώνει το όνομα, διαφέρει από το ΥΗΟ μόνο από το γεγονός ότι του επιτρέπει στο χρήστη να συνδέσει ένα καλώδιο από το όχημα σε μια ηλεκτρική πρίζα οικιακής χρήσης στο σπίτι ή αλλού για τη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος. Για να επεκταθεί η ευελιξία του συστήματος, είναι επίσης δυνατή η χρήση του κινητήρα και/ή του συστήματος μπαταρίας στο όχημα για την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος και την τροφοδοσία του στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένου ότι το plug-in επιτρέπει μια αυξημένη ποσότητα της εξωτερικής ενέργειας για χρήση στο σύστημα για την οδήγηση του οχήματος, είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί μια μεγαλύτερη μπαταρία απ' ό,τι σε ένα κανονικό ΥΗΟ. Μια μεγαλύτερη μπαταρία δεν αποτελεί απαραίτητο μέρος του ΒΥΗΟ, αλλά έχοντας μια σίγουρα ωφελεί στην οικονομία του καυσίμου και επίσης αυξάνει την εμβέλεια του οχήματος όταν φορτιστεί πλήρως. Στα ΥΗΟ, η χρήση μιας πολύ μεγαλύτερης μπαταρίας μπορεί να μην είναι απαραίτητος η βέλτιστη επιλογή όσον αφορά το σχεδιασμό, καθώς η ΜΕΚ είναι πάντα ικανός να δώσει ενέργεια, όταν η μπαταρία πρέπει να φορτιστεί. Οι άνθρωποι μερικές φορές πιστεύουν ότι μια μεγάλη μπαταρία είναι υποχρεωτική για ένα ΒΥΗΟ, κάτι που μπορεί να μην συμβαίνει. Πόσο μεγάλη μπορεί να είναι η μπαταρία εξαρτάται από τον διαθέσιμο χώρο στο όχημα. Εάν το μέγεθος της μπαταρίας είναι μικρό, τότε τα οφέλη από το ΒΥΗΟ θα είναι σχετικά λιγότερα, ενώ αν το μέγεθος είναι πολύ μεγάλο τότε μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή και θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να επαναφορτιστεί από το σύστημα κοινής ωφέλειας. Να σημειωθεί επίσης ότι ένα οικιακό ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να έχει ορισμένους περιορισμούς ως προς το πόσο ρεύμα μπορεί να παρέχει κατά τη φόρτιση ενός συστήματος μπαταρίας, επομένως απαιτούνται ορισμένες διασφαλίσεις για την προσθήκη αυτή. Επειδή το κόστος της ενέργειας από τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας επί του παρόντος είναι πολύ χαμηλότερο από την τιμή της βενζίνης, αυτό κάνει την χρησιμοποίηση του ΒΥΗΟ οικονομικά συμφέρουσα, όπου είναι δυνατόν.

## 20. ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΒΥΗΟ

Τα ίδια ισχύουν και για ένα ΒΥΗΟ με την μόνη διαφορά είναι ότι τώρα υπάρχει μια επιπλέον υποδοχή σύνδεσης στο όχημα, από όπου μπορεί να τραβηχτεί μια παροχή και έτσι το όχημα να συνδέεται στην πρίζα του δικτύου που υπάρχει στον τοίχο του σπιτιού. Προφανώς, όταν το όχημα είναι συνδεδεμένο σε μια πρίζα του δικτύου, ο ηλεκτροκινητήρας πρόωσης του δεν είναι απαραίτητος και ούτε είναι και η ΜΕΚ, όσον αφορά την περιστροφή των τροχών. Ωστόσο, το όχημα μπορεί να χρειαστεί να τροφοδοτήσει επιπλέον βοηθητικά φορτία (συνήθως φορτία χαμηλής τάσης στα 12 V), το κλιματιστικό (μπορεί επίσης να είναι χαμηλής τάσης), ή τη θέρμανση και μερικά φώτα. Ως εκ τούτου, είναι σκόπιμο να τροφοδοτηθούν τα φορτία αυτά σε χαμηλή τάση.

Εάν είναι απαραίτητη η γρήγορη φόρτιση της μπαταρίας, θα πρέπει επίσης να λειτουργήσει και η ΜΕΚ και να χρησιμοποιήσει ο ηλεκτροκινητήρας πρόωσης ως γεννήτρια εκτός εάν υπάρχει ξεχωριστή γεννήτρια για αυτό το σκοπό. Ανάλογα με το σχήμα που χρησιμοποιείται, απαιτούνται αλλαγές στο σύστημα γραναζιών. Ακόμη και αν και η όλη διαδικασία διασύνδεσης μεταξύ του δικτύου και του συστήματος ΒΥΗΟ είναι απλή σαν αρχή, υπάρχουν αρκετές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως είναι προφανές από την αρχιτεκτονική για ένα τέτοιο όχημα που φαίνεται στην εικόνα 21. Από την εικόνα 21 φαίνεται ότι για να φορτιστεί η μπαταρία, μια αγωγή σύνδεση πηγαίνει κατευθείαν από την πρίζα στην μπαταρία, μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης και ανορθωτή ή συνδυασμός μετατροπέα DC-DC. Αυτή η κατάσταση σχετίζεται άμεσα με το plug-in τμήμα του συστήματος. Το κάτω μέρος του σχεδίου δείχνει ότι η διαδικασία φόρτισης γίνεται ως εξής.



**Εικόνα 22 :** Μια πιθανή αρχιτεκτονική για το plug-in υβριδικό όχημα και τη home outlet διασύνδεση

είτε με την οδήγηση ενός αυτόνομου εναλλάκτη είτε με τη χρήση του ίδιου του μοτέρ σε λειτουργία γεννήτριας, φορτίζοντας τελικά την μπαταρία. Φυσικά, είναι κατανοητό ότι, όταν συνδεθεί το όχημα είναι ακίνητο και οι τροχοί δεν κινούνται. Ακόμα κι αν η διαδικασία που υποδεικνύεται στο κάτω μέρος της εικόνας 21 δεν εμπλέκεται άμεσα με το βύσμα, μια συνολική διαδικασία διαχείρισης ενέργειας πρέπει να συντονίζει τόσο τη διαδικασία βυσμάτωσης όσο και η ΜΕΚ, δεδομένου ότι μπορεί να υπάρξει μια κατάσταση όταν είναι απαραίτητη η γρήγορη φόρτιση και τόσο το plug-in και η ΜΕΚ (σε λειτουργία γεννήτριας) πρέπει να τρέχουν ταυτόχρονα. Τέλος, είναι σημαντική η ένταξη ενός αμφίδρομου μετατροπέα στο τμήμα σύνδεσης του σχήματος. Αυτό καλύπτει τη δυνατότητα ότι στο μέλλον οι κανονισμοί κοινής ωφέλειας μπορούν να επιτρέψουν την τροφοδοσία της ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο από το όχημα, υποθέτοντας ότι έχει αρκετή ισχύ για να το κάνει. Αυτό το ζήτημα δεν είναι άμεσης προτεραιότητας στην αυτοκινητοβιομηχανία επί του παρόντος. Ωστόσο, η πιθανότητα μπορεί να είναι γεγονός που βοηθά το αυτοκίνητο ως γεννήτρια έκτακτης ανάγκης να τροφοδοτεί ένα σπίτι σε περίπτωση που υπάρχει διακοπή ρεύματος του δικτύου.

## 21. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΥΗΟ ΚΑΙ ΒΥΗ

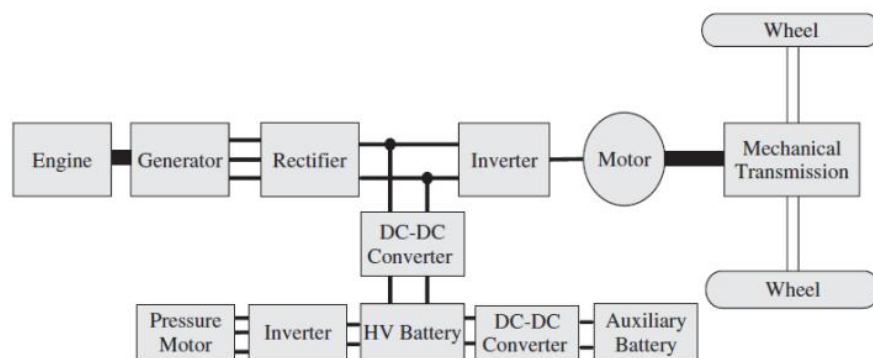
Βασικά η μόνη διαφορά μεταξύ του ΥΗΟ και του ΒΥΗΟ σχετίζεται με την παραπάνω εικόνα 21, όπου η πρίζα τοίχου χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας. Το μέγεθος της μπαταρίας μπορεί να είναι ουσιαστικά διαφορετικό. Επιπλέον, όπως υποδείχθηκε παραπάνω, το σύστημα plug-in πρέπει να συντονίζεται σωστά με την υπόλοιπη διαδικασία φόρτισης και τη συνολική ισχύ διαχείρισης του οχήματος.

## 22. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

### Εισαγωγή

Τα ηλεκτρονικά ισχύος είναι μια από τις τεχνολογίες που επιτρέπουν τη μετάβαση από τα συμβατικά βενζινοκίνητα / πετρελαιοκίνητα οχήματα σε ηλεκτρικά, υβριδικά και οχήματα κυψελών καυσίμου. Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με τα ηλεκτρονικά ισχύος που χρησιμοποιούνται στα ΥΗΟ και στα ΒΥΗΟ. Ωστόσο, η εστίαση του κεφαλαίου αναφέρεται στις τεχνολογίες των ηλεκτρονικών ισχύος στα ΥΗΟ και ΒΥΗΟ. Για να εξηγήσουμε τους τύπους κυκλωμάτων ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται σε ΥΗΟ, χρησιμοποιούμε τη διαμόρφωση ενός τυπικού συστήματος κίνησης ΥΗΟ, όπως φαίνεται στην εικόνα 23. Σε αυτή τη διαμόρφωση, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης (ICE) κινεί μια σύγχρονη τριφασική γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη, της οποίας η έξοδος είναι τριφασική τάση με μεταβλητή συχνότητα και μεταβλητή τάση. Αυτή η έξοδος πρέπει να ανορθωθεί σε τάση συνεχούς ρεύματος (DC). Οι εμπρόσθιοι τροχοί κινούνται από έναν επαγωγικό κινητήρα ο οποίος πρέπει να ελέγχεται από έναν μετατροπέα πηγής τάσης (Voltage Source Inverter ή VSI ) ή έναν μετατροπέα πηγής ρεύματος (Current Source Inverter ή CSI ). Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας είναι συνδεδεμένο στον DC ζυγό, μεταξύ της εξόδου του ανορθωτή και του μετατροπέα. Ωστόσο, υπάρχει ένας αμφίδρομος μετατροπέας DC-DC ο οποίος διαχειρίζεται τη φόρτιση / εκφόρτιση της μπαταρίας, καθώς και τον έλεγχο της τάσης στον DC ζυγό. Στα συμβατικά οχήματα, ο συμπιεστής κλιματισμού (A/C) κινείται από τον κινητήρα μέσω ιμάντα. Σε προηγμένα ΥΗΟ, ο κινητήρας σβήνει πολύ συχνά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των πρότυπων οδήγησης stop-

and-go. Για να έχετε A/C ενώ ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος, χρειάζεται ο συμπιεστής A/C να οδηγείται από έναν ηλεκτροκινητήρα που τροφοδοτείται από την υβριδική μπαταρία. Μπορεί να υπάρχει ηλεκτρική αντλία υδραυλικής πίεσης για τα υδραυλικά συστήματα του οχήματος, όπως π.χ. τα φρένα τριβής, το υδραυλικό τιμόνι και ούτω καθεξής. Ο κινητήρας A/C και ο κινητήρας του συμπιεστή είναι συνήθως κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες με μετατροπέα συχνότητας. Επιπλέον, βοηθητικά εξαρτήματα, όπως προβολείς, υαλοκαθαριστήρες, συστήματα ψυχαγωγίας, θερμαντικά καθίσματα και ούτω καθεξής, τροφοδοτούνται από την βοηθητική μπαταρία των 14V. Τα πιο προηγμένα υβριδικά οχήματα διαθέτουν πλέον εναλλάκτη, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να φορτιστεί η μπαταρία των 14V από την μπαταρία της υψηλής τάσης (HV). Από την άλλη πλευρά, ακόμα και αν υπάρχει ένας εναλλάκτης, όταν ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος, η μπαταρία 14V μπορεί ακόμα να αποφορτίσει γρήγορα χωρίς τη σωστή φόρτιση. Επομένως, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας μετατροπέας DC-DC για να φορτίσετε τη 14V μπαταρία από την υβριδική μπαταρία. Για το BYHO, υπάρχει επίσης ένας φορτιστής μπαταρίας εγκατεστημένος στο όχημα ή στο σταθμό



φόρτισης.

### Εικόνα 23 : Μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται σε ΥΗΟ τοπολογίας σειράς

Παρόλο που υπάρχουν κοινά στοιχεία μεταξύ των μετατροπέων ισχύος που χρησιμοποιούνται στα ΥΗΟ και εκείνων που χρησιμοποιούνται σε άλλες βιομηχανικές, εμπορικές ή οικιακές εφαρμογές, υπάρχουν μερικά μοναδικά χαρακτηριστικά ειδικά για τις εφαρμογές αυτοκινήτων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το ευρύτερο περιβάλλον θερμοκρασίας λειτουργίας (-20 έως 50 °C), αντοχή σε δονήσεις και τραντάγματα, ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, και τη θερμική διαχείριση.

Η εικόνα 24 δείχνει την ενσωματωμένη κύρια ηλεκτρονική μονάδα ισχύος που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του Toyota Highlander HEV. Η ηλεκτρονική μονάδα ισχύος αποτελείται από ένα αμφίδρομο μετατροπέα DC-DC που συνδέει την υβριδική μπαταρία και τον DC ζυγό και τρία κυκλώματα οδήγησης κινητήρα που ελέγχουν τους μπροστινούς και πίσω κινητήρες/γεννήτριες.

Τα θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο σχεδιασμό κυκλωμάτων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ισχύος ΥΗΟ είναι:

- Ηλεκτρολογική σχεδίαση: Περιλαμβάνει τον σχεδιασμό του κύριου κυκλώματος μεταγωγής, σχεδιασμό των κυκλωμάτων του ελεγκτή, βελτιστοποίηση της συχνότητας μεταγωγής των διακοπτικών στοιχείων και υπολογισμός των απωλειών ισχύος.

- Σχεδιασμός αλγορίθμου ελέγχου: Περιλαμβάνει την ανάπτυξη του αλγορίθμου ελέγχου για την επίτευξη της επιθυμητής τάσης, ρεύματος και συχνότητας στην έξοδο και για την δυνατότητα να μπορεί να πραγματοποιήσει το όχημα αμφίδρομη ροή ισχύος όπως απαιτείται.

- Μαγνητική σχεδίαση: Περιλαμβάνει το σχεδιασμό των πηνίων, των μετασχηματιστών και άλλων εξαρτημάτων όπως οι πυκνωτές που χρειάζονται για το φιλτράρισμα, τη μεταγωγή των ημιαγωγών και τις μονάδες οδήγησης των κινητήρων.

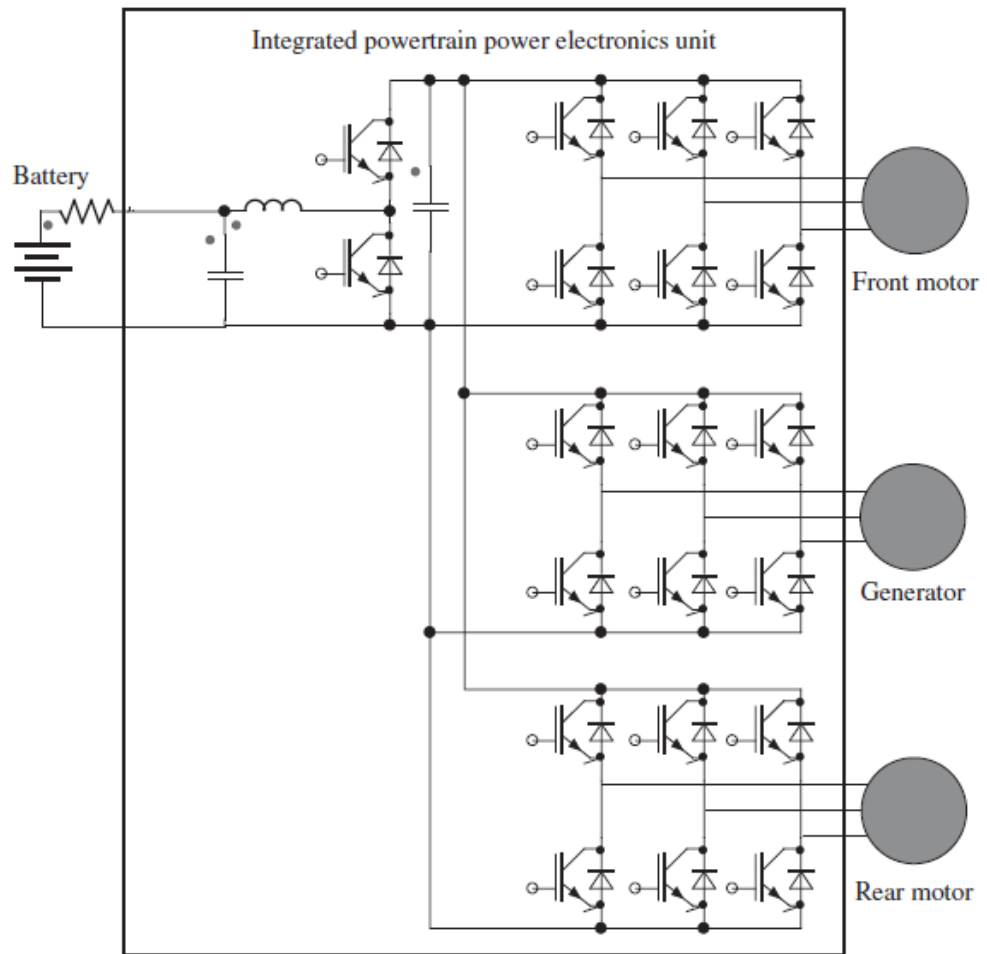
- Σχεδιασμός EMC: Περιλαμβάνει την αντιμετώπιση των προβλημάτων ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής (EMI) την ανάλυση μεταβατικών υπερτάσεων λόγω ανοιγοκλεισίματος διακοπών στα κυκλώματα και τη διάταξη κυκλώματος που ελαχιστοποιεί την παρασιτική αυτεπαγωγή και τις παρασιτικές χωρητικότητες.

- Μηχανική και θερμική σχεδίαση: Περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση των συσκευών όπως τα μαγνητικά εξαρτήματα, τα συστήματα ψύξης (ψύκτρες) έτσι ώστε να έχουν μικρές απώλειες ισχύος. Επίσης ,περιλαμβάνει τον σχεδιασμό του περιβλήματος και την χωροθέτηση των ηλεκτρονικών πλακετών μέσα στη μονάδα.

## 23. ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Σε γενικές γραμμές, τα ηλεκτρονικά ισχύος είναι ένας τομέας που μελετά τους μετατροπείς ισχύος που επεξεργάζονται και ελέγχουν τη ροή ισχύος με ηλεκτρονικά μέσα. Περιλαμβάνει κυρίως τη χρήση και τον έλεγχο





**Σχήμα 24 : Η ενσωματωμένη ηλεκτρονική μονάδα ισχύος για την κίνηση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του υβριδικού όχημα Toyota Highlander.**

των ημιαγωγών ισχύος, όπως οι δίοδοι ισχύος, τα διπολικά τρανζίστορ (IGBTs) και τρανζίστορ πεδίου (MOSFETs). Ένας τυπικός μετατροπέας ισχύος θα αποτελείται από τέσσερα τμήματα: τα κυκλώματα μεταγωγής, τα κυκλώματα φιλτραρίσματος, κυκλώματα ελέγχου και ανατροφοδότησης, και μια προαιρετική διεπαφή χρήστη για την αλλαγή διαφόρων παραμέτρων:

- Τύποι μετατροπέων ισχύος: Οι μετατροπείς ισχύος ταξινομούνται κατά κανόνα ανάλογα με την είσοδο και την έξοδο τους. Δεδομένου ότι η είσοδος και η έξοδος ενός μετατροπέα ισχύος μπορεί να είναι εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ή συνεχές ρεύμα (DC), μπορεί να υπάρχουν τέσσερις τύποι μετατροπέων ισχύος:

- Μετατροπέας DC-DC
- Μετατροπέας DC-AC

- Ανορθωτής AC-DC
- Μετατροπέας AC-AC.

Οι πρώτοι τρεις τύποι μετατροπέων ισχύος χρησιμοποιούνται όλα σε ΥΗΟ. Ο τέταρτος τύπος, AC-AC κυκλομετατροπέας, χρησιμοποιείται μόνο σε συστήματα AC-AC υψηλής ισχύος για τον έλεγχο του μεγέθους της τάσης και της συχνότητας των μεγάλων κινητήρων. Ωστόσο, η AC-AC μετατροπή που περιλαμβάνει ένα κύκλωμα AC-DC και ένα κύκλωμα DC-AC είναι πολύ συνηθισμένη. Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα και το επίπεδο υβριδισμού, ένα ΥΗΟ μπορεί να περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους μετατροπείς ισχύος διαφορετικών τύπων.

- Κύριο κύκλωμα (διακόπτες, περιφερειακά): Το κύριο κύκλωμα αποτελείται από ημιαγωγούς ισχύος και περιφερειακά κυκλώματα. Οι διακόπτες ημιαγωγών ελέγχονται για να λειτουργούν σε μια συχνότητα που κυμαίνεται από λίγα kilohertz έως μερικές δεκάδες kilohertz για εφαρμογές ΥΗΟ. Ανάλογα με το επίπεδο τάσης των συστημάτων, τόσο τα MOSFET όσο και τα IGBT χρησιμοποιούνται σε μετατροπείς ισχύος ΥΗΟ.

- Κύκλωμα φιλτραρίσματος: Οι μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος χρησιμοποιούν συνήθως χαμηλοπερατα φίλτρα LC που φιλτράρουν τις συνιστώσες υψηλής συχνότητας της τάσης εξόδου και αφήνουν τις συνιστώσες χαμηλής συχνότητας ή τις DC συνιστώσες να περνούν στην πλευρά φορτίου.

- Κύκλωμα ελέγχου και ανάδρασης: Ο έλεγχος και η ανατροφοδότηση περιλαμβάνουν συνήθως τη χρήση μικροελεγκτών και αισθητήρων. Οι εφαρμογές του συστήματος κίνησης του ΥΗΟ συνήθως περιλαμβάνουν ανατροφοδότηση για τον έλεγχο της ροπής. Η ανατροφοδότηση του ρεύματος είναι συνήθως απαραίτητη.

## 24. ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΟΝΤΑΣ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΕΞΥΠΙΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

### Εισαγωγή

Ο βασικός τρόπος πρόωσης του αυτοκινήτου είναι ο κινητήρας εσωτερικής καύσης με καύσιμο τη βενζίνη. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών, διάφορες κοινωνικές και διεθνείς πολιτικές και παράγοντες ώθησαν το ενδιαφέρον σε άλλες τεχνολογίες, αλλά ο βενζινοκίνητος

κινητήρας εσωτερική καύσης συνέχισε να κυριαρχεί στο τοπίο του αυτοκινήτου. Ωστόσο, πρόσφατες πολιτικές εντολές έχουν δώσει νέα έμφαση στην πώληση του "οχήματος με μηδενικές εκπομπές ρύπων". Οι ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και την μακροπρόθεσμη ποιότητα του αέρα οδήγησαν στην εντολή μηδενικών εκπομπών που απαιτεί αποτελεσματικά από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να πωλούν αυτοκίνητα που "παράγουν μηδενικές εκπομπές καυσαερίων όλων των ειδών ρύπου υπό όλους τους πιθανούς τρόπους λειτουργίας και τις συνθήκες. Η απαίτηση αυτή αναζωογόνησε το ενδιαφέρον για ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές που πληρούν την εντολή της μηδενικής εξάτμισης. Η παρούσα πτυχιακή εξετάζει μια νέα τεχνολογία που μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των οικονομικών στοιχείων του ηλεκτρικού οχήματος μπαταρίας (battery electric vehicle ή EV). Θα δούμε τη νέα τεχνολογία που αναφέρεται ως όχημα σε δίκτυο (vehicle to grid), ή απλώς V2G, που έχει οφέλη πολύ πιο ευρεία από την απλή εξοικονόμηση χρημάτων με την αγορά ενός οχήματος μπαταρίας.

Το ηλεκτρικό όχημα παράγει μηδενικό καυσαέριο, αλλά ορισμένοι θεωρούν ότι η φόρτιση της μπαταρίας μέσω ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα απλά μετακινεί το πρόβλημα από τα μεμονωμένα οχήματα σε μια κεντρική εγκατάσταση παραγωγής. Ωστόσο, πολλές μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών μεταφορών είναι τέτοια ώστε ακόμη και αν τα ΗΟ αρχικά τροφοδοτούνταν από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αποκλειστικά από τους σημερινούς σχετικά ρυπογόνους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής θα εξακολουθούσαν να μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τα οχήματα που κινούνται με καύσιμο. Η επίδραση που έχει το κάθε όχημα μπαταρίας που βασίζεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για επαναφόρτιση των μπαταριών του είναι σημαντική για το ηλεκτρικό δίκτυο. Κάθε όχημα με μπαταρία αυξάνει τη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος καθώς επίσης υποστηρίζει και το σύστημα διανομής σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ανάλογα με το σύστημα φόρτισης, ένα όχημα με μπαταρία μπορεί να αντιπροσωπεύει τόση ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος όση από ένα νοικοκυριό. Τότε προκύπτει το εξής ερώτημα: Μπορεί το ηλεκτρικό δίκτυο να χειριστεί την αυξημένη ζήτηση ενέργειας από τα ηλεκτρικά οχήματα που βασίζονται σε αυτό για να τα επαναφορτίσει; Το δεύτερο ερώτημα προκύπτει από το πρώτο και είναι περισσότερο το επίκεντρο της μελέτης για τη νέα τεχνολογία V2G. Πώς μπορεί το ηλεκτρικό όχημα να διευκολύνει το ηλεκτρικό δίκτυο; Υπάρχουν ορισμένες ώρες της ημέρας που θα μπορούσαν να είναι οι πλέον κατάλληλες για την αντιμετώπιση της αυξημένης ζήτησης από το ηλεκτρικό όχημα; Τέλος, τι γίνεται αν το

ηλεκτρικό όχημα λειτουργούσε ως ενεργό μέλος του ηλεκτρικού δικτύου, τόσο ως σημείο ζήτησης όσο και ως σημείο παραγωγής; Μπορεί η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος να είναι η πηγή αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που αναζητούμε; Η προσέγγιση της χρήσης του ηλεκτρικού οχήματος σε συνδυασμό με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι επαναστατική. Η παραδοσιακή ανάλυση εξετάζει και τους δύο τομείς ανεξάρτητους ο ένας από τον άλλο. Το ηλεκτρικό δίκτυο φαίνεται να βρίσκεται σε συνεχή αναζήτηση της "καθαρότερης" παραγωγής ενέργειας και του τρόπου αποθήκευσης της για την κάλυψη των χρόνων υψηλής ζήτησης. Εν τω μεταξύ, ο τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας αναζητεί συνεχώς έναν τρόπο να καταστούν οι "καθαρές" τεχνολογίες οικονομικά ανταγωνιστικές σε σχέση με την παραδοσιακή μηχανή εσωτερικής καύσης. Η τεχνολογία V2G είναι ένας τρόπος να έρθουν και οι δύο αυτές επιθυμίες πιο κοντά στην πραγματικότητα.

## 25. ΕΝΣΩΜΑΤΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ

Με την ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων να είναι πιθανή τα επόμενα χρόνια, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και οι ερευνητές έχουν αρχίσει να εξετάζουν τη δυνατότητα να ενσωματώσουν το ηλεκτρικό όχημα ως ενεργειακό πόρο με την βοήθεια του διαδικτύου ως πηγή πληροφοριών. Τα ηλεκτρικά οχήματα για μεγάλο χρονικό διάστημα χρησίμευσαν ως εναλλακτική λύση στην παραδοσιακή μηχανή εσωτερικής καύσης. Η αυξημένη ρύπανση του πλανήτη από τα βενζινοκίνητα οχήματα και η ακόμα περισσότερη ρύπανση που προβλέπεται τα επόμενα χρόνια βάση της πληθυσμιακής έκρηξης που προβλέπεται έχουν οδηγήσει σε αυξημένο ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό όχημα (HO). Ωστόσο, είναι αυτή η εφαρμογή των ηλεκτρικών οχημάτων ως καταναμημένη αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας για το ηλεκτρικό δίκτυο που ενθουσιάζει τόσο τους ερευνητές όσο και τους διαχειριστές δικτύων. Τα ηλεκτρικά οχήματα θα ενσωματωθούν στο δίκτυο μέσω ενός προγράμματος απόκρισης ζήτησης που συμβάλλει στον έλεγχο του προβλήματος της αιχμής της ζήτησης. Οι καταναμημένοι πόροι, οι μπαταρίες εντός των HO, θα λειτουργούν ως πηγή ενέργειας ή ως φορτίο ανάλογα με τα ενεργειακά κατάσταση του δικτύου από το βοηθητικό πρόγραμμα ως μέρος αυτής της μεγαλύτερης έξυπνης προσέγγιση της ζήτησης. Τα προγράμματα απόκρισης ζήτησης έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν πελάτες να συμβάλλουν στη μείωση του ενεργειακού φορτίου κατά τη διάρκεια αιχμής της ζήτησης. Τα περισσότερα προγράμματα απόκρισης ζήτησης προσφέρουν επίσης οικονομικά κίνητρα για τη

μείωση του φορτίου κατά τη διάρκεια αιχμής ζήτησης. Η ιδέα της χρήσης ενός ΗΟ ως ενεργειακό πόρο του δικτύου είναι πολύ απλή. Η τυπική λειτουργία του φόρτιση ενός οχήματος όπως θα κάνατε οποιαδήποτε άλλη συσκευή αναφέρεται ως δίκτυο σε όχημα (Grid to Vehicle ή G2V), ενώ η αντίστροφη ροή από την μπαταρία ονομάζεται όχημα σε δίκτυο (Vehicle to Grid ή V2G). Η απλούστερη λειτουργία του V2G φαντάζεται είναι για παράδειγμα ένα σπίτι παθαίνει μπλακάουτ ενώ ένα ΗΟ είναι συνδεδεμένο. Το ΗΟ, που περιέχει μια μεγάλη μπαταρία, θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως πηγή ενέργειας για το σπίτι και να καλύψει διάφορα βασικά είδη οικιακής χρήσης όπως πχ. τον φωτισμό και το ψυγείο. Υπενθυμίζοντας ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι η συνεχής ροή ενέργειας, η ροή από το ΗΟ μπορεί να αποστέλλεται και έξω από το σπίτι και να χρησιμοποιείται ως πόρος δικτύου σε στιγμές που δεν το χρειάζονται στο σπίτι. Υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα ενσωμάτωσης ΗΟ που απαιτούν διαφορετικά επίπεδα τεχνολογίας, προόδου και κοινωνικούς συμβιβασμούς. Κατ' αρχάς, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να επιλέξουν να αντιμετωπίσουν το ΗΟ σαν μια συσκευή. Αυτό το σενάριο μειώνει τις δυνατότητες του ΗΟ σαν να είναι κάποια οικιακή συσκευή. Μια προσέγγιση, η οποία αντιμετωπίζει το ΗΟ ως οποιαδήποτε άλλη συσκευή, αγνοεί τόσο το μεγαλύτερο φορτίο που προκύπτει από την φόρτιση του ΗΟ και την χωρητικότητα ισχύος της μπαταρίας μέσα στο ίδιο το όχημα. Άλλη πρακτική θα μπορούσε να είναι η "έξυπνη φόρτιση" των οχημάτων. Στο πλαίσιο της "έξυπνης φόρτισης" προκύπτει ένας μεγάλος αριθμός δυνατοτήτων. Κατά κύριο λόγο, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενδέχεται να προγραμματίζουν να φορτίζουν τα ΗΟ σε περιόδους φθηνότερων χρεώσεων ή χαμηλότερης κάτι που κατέστη δυνατό από τα νέα πρότυπα επικοινωνίας. Μια άλλη έξυπνη δυνατότητα από την ενσωμάτωση του ΗΟ είναι ότι ο διαχειριστής απευθείας ή μέσω τρίτου, ενεργοποιεί και απενεργοποιεί τη φόρτιση. Σε αυτό το σενάριο, ο ιδιοκτήτης του ΗΟ παραχωρεί κάποιο έλεγχο της φόρτισης του αυτοκινήτου του. Αυτή η απώλεια έλεγχο θα απαιτεί ενός είδους συμβιβασμό από τον οδηγό, αλλά μια τέτοια προσέγγιση θα έδινε στα ΗΟ τη δυνατότητα να βοηθήσουν στη ρύθμιση της συχνότητας του δικτύου. Τέλος, η πλήρης ενσωμάτωση συνεπάγεται ότι το ΗΟ μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως φορτίο όσο και ως γεννήτρια κατά την βούληση της υπηρεσίας κοινής ωφέλειας. Αυτή η προσέγγιση είναι το κλασικό V2G, με φόρτιση και εκφόρτιση ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες. Για να μεγιστοποιηθούν οι δυνατότητες έξυπνης φόρτισης των ΗΟ, το έξυπνο δίκτυο χρειάζεται τις ακόλουθες δυνατότητες: ισχυρή, αξιόπιστη υποδομή επικοινωνίας από τον διαχειριστή έως το ΗΟ, και προγράμματα δυναμικού ελέγχου ζήτησης που είναι προσαρμοσμένα για τα ΗΟ. Για να εξασφαλιστεί ότι τα προγράμματα δυναμικού ελέγχου

ζήτησης είναι ενσωματωμένα, η υποδομή επικοινωνιών θα πρέπει να λειτουργεί πλήρως. Ένα έξυπνο δίκτυο είναι το κλειδί για την "έξυπνη" φόρτιση των ΗΟ, παρέχοντας την δυνατότητα για τον έλεγχο που απαιτείται για την προστασία των θεμελιωδών μονάδων του δικτύου διανομής, όπως οι μετασχηματιστές, ώστε να μην υπερφορτωθούν από τα ΗΟ και μάλιστα να τους βοηθήσει ακόμα περισσότερο καθώς τα ΗΟ θα λειτουργούν βοηθητικά καλύπτοντας ένα μέρος του φορτίου. Έτσι εξασφαλίζεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά. Με ένα έξυπνο δίκτυο, τα βοηθητικά προγράμματα μπορούν να διαχειριστούν πότε και πώς γίνεται η φόρτιση των ΗΟ κατά την τήρηση των προτιμήσεων των πελατών, έπειτα από συλλογή δεδομένων συγκεκριμένο μετρητών σε ΗΟ. Οι υποδομές προηγμένης μέτρησης είναι συστήματα έξυπνων μετρητών, δικτύων αμφίδρομης επικοινωνίας και συστήματα διαχείρισης δεδομένων που εφαρμόζονται για να επιτρέπουν τη μέτρηση και ανταλλαγή άλλων πληροφοριών μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και των πελατών τους. Αυτή η ανταλλαγή πληροφοριών είναι σπουδαίας χρησιμότητας. Η αξία του ΗΟ ως πηγή ενέργειας του δικτύου δεν ανήκει τόσο στην ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκεται στην διάθεση του διαχειριστή του δικτύου, όσο την ταχεία αξιοποίηση αυτής για την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας των ωρών αιχμής.

## 26. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία αναλύσαμε τους διάφορους τύπους των ηλεκτρικών οχημάτων. Παρουσιάσαμε τις λειτουργίες όχημα προς δίκτυο και δίκτυο προς όχημα και αναλύθηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Ήταν εμφανές το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα που έχει η ενσωμάτωση του ηλεκτρικού οχήματος στο έξυπνο δίκτυο, η αντιμετώπιση δηλαδή των ενεργειακών ζητήσεων αιχμής που μέχρι στιγμής αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στο υπάρχον παραδοσιακό δίκτυο. Χάρη στο παράδειγμα με την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο έξυπνο δίκτυο φάνηκε εμφανέστατα πόσο ευέλικτο κάνει το δίκτυο η εφαρμογή αυτή σε συνδυασμό και με την χρήση ενός στόλου από ηλεκτρικά οχήματα για την αποθήκευση ενέργειας όταν αυτή είναι πλεονάζουσα και επαναχρησιμοποίηση της κατά τις ώρες αιχμής που υπάρχει ενεργειακό έλλειμμα. Με την πρόοδο της τεχνολογίας και με την χρήση πλέον του διαδικτύου είναι σίγουρο ότι τα όποια προβλήματα παρουσιαστούν στα πλαίσια της συνεργασίας των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και του έξυπνου δικτύου θα

αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά. Πολλά είναι τα προβλήματα που αρχίζουν να ξεπερνούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα προκειμένου να καταλάβουν τον κόσμο. Ένα από αυτά είναι το υψηλό κόστος τους, που οφείλεται κυρίως στις μπαταρίες τους, οι οποίες, ωστόσο, όλο και φθηναίνουν. Το 2024, όπως εκτιμούν οι αναλυτές, η τιμή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα φτάσει αυτήν ενός συμβατικού. Ταχύτερα από ό,τι θα περίμενε κανείς, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα γίνονται εξίσου οικονομικά και πρακτικά με τα συμβατικά οχήματα. Οι τιμές για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου πέφτουν και οι τεχνολογικές εξελίξεις βοηθούν ώστε να αυξηθεί το λειτουργικό βεληνεκές του αυτοκινήτου, ενώ περιορίζονται και οι χρόνοι φόρτισης. Ωστόσο, από το μέλλον των ηλεκτρικών αυτοκινήτων λείπουν ακόμα κάποια κομμάτια. Κάποιες σημαντικές πρώτες ύλες εξακολουθούν να σπανίζουν. Δεν υπάρχουν αρκετοί σταθμοί φόρτισης και τα αυτοκίνητα που κινούνται με μπαταρίες εξακολουθούν να κοστίζουν πολύ περισσότερο από τα βενζινοκίνητα οχήματα. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες αποδύονται σε αγώνα προκειμένου να υπερκεράσουν τα προβλήματα. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτή, ως μονάδα διεσπαρμένης αποθήκευσης ενταγμένη σε ένα «ευφυές» δίκτυο, μπορεί αφενός να λειτουργήσει ως συνδετικός κρίκος μεταξύ ΑΠΕ και δικτύου και αφετέρου μπορεί να συμβάλλει κατά τρόπο αξιόπιστο στη μείωση της αιχμής ζήτησης και στη μείωση εκπομπών ρύπων, ενισχύοντας παράλληλα και την αξιοπιστία του δικτύου. Η παραπάνω πρακτική μπορεί να βρει κάλλιστα εφαρμογή στα ελληνικά νησιά και κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα, με εντυπωσιακά αποτελέσματα στη μείωση των εκπομπών, στην αξιοπιστία του δικτύου, αλλά και στην «τσέπη» του πολίτη. Η Πολιτεία είναι αυτή που τώρα θα πρέπει να βοηθήσει προκειμένου να διευκολύνει τη διεύθυνση πράσινων αυτοκινήτων θεσπίζοντας πρόσθετα μέτρα, όπως εφαρμογή προγράμματος απόσυρσης με συνδυασμό επιδοτούμενης αγοράς υβριδικού ή ηλεκτρικού αυτοκινήτου, οργάνωση δημόσιου δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μετατροπή δημόσιων και δημοτικών οχημάτων σε υβριδικά ή αγορά νέων ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς επίσης ειδική τιμολογιακή πολιτική και ελαφρύνσεις για τους κατόχους ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, θα πρέπει να καλλιεργηθούν συνθήκες ευαισθητοποίησης των πολιτών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος και επομένως αναδιάταξης των προτεραιοτήτων τους στον πίνακα των κριτηρίων με τα οποία αποφασίζουν τις αγορές νέων αυτοκινήτων ή τις αποσύρσεις των παλαιών.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι ανακαλύψεις που αλλάζουν τα πάντα είναι εκείνες που έχουν βαθύ κοινωνικό αντίκτυπο. Ανακαλύψεις της σκέψης, της επιστήμης και της τεχνολογίας, οι οποίες, αφού έγιναν σε εργαστήριο ή αλλού τυχαία, βρήκαν τελικά τον δικό τους τρόπο μέσα στην κοινωνία και έγιναν αναπόσπαστο κομμάτι της. Η είσοδός τους στην κοινωνία, η αποδοχή τους ως ανακαλύψεις και στη συνέχεια η χρήση τους, είτε είναι πρακτική είτε εννοιολογική, συνέβαλαν ώστε προχωρήσει η επιστημονική πρόοδος. Από την ιστορία μαθαίνουμε ότι συχνά περνάει ένας καιρός ανάμεσα σε μια ανακάλυψη και την είσοδό της στην κοινωνία. Διακεκριμένα παραδείγματα είναι πάρα πολλά και ένα από αυτά είναι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης. Από τη στιγμή που ανακαλύφθηκαν και ξεκίνησαν να εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς, συνέβαλαν στην επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο των ανθρώπων.

Σήμερα οι ΜΕΚ σε συνδυασμό με την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας κυριαρχούν στις μονάδες παραγωγής διάφορων μορφών ενέργειας και στις μεταφορές, εξαιτίας της υψηλής πυκνότητας ενέργειας των υγρών πετρελαϊκών καυσίμων καθώς και της συνεχούς βελτίωσης της αποδοτικότητας και της μείωσης εκπομπών των κινητήρων. Επιπλέον, η ύπαρξη και οι βελτιώσεις των ΜΕΚ τον 20<sup>ο</sup> αιώνα βοήθησαν να καθοριστεί η μακροζωία τους, η αντοχή τους και να προωθηθεί η αποδοχή τους στην κοινωνία.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. B. Challen, R. Baranescu, Diesel Engine, Reference Book, 2<sup>nd</sup> Edition, Butterworth Heinemann, 1999.
2. C.C. Pounder, Marine Diesel Engines, Butterworth ed., 1973
3. C.F. Taylor, The Internal Combustion Engine in Theory and Practice: Vol. 1, 2<sup>nd</sup> Edition, Revised: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance, The M.I.T. Press, 1998.
4. D. Woodyard, Pounder's Marine Diesel Engines, Butterworth Heineman ed., 1998.
5. H. Cohen, GFC Rogers, HIH Saravanamutto, Gas Turbine Theory, 4<sup>th</sup> Edition, Addison Wesley Longman Ltd, 1996.
6. J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill ed., 1988.
7. L.R.C. Lilly, Diesel Engine, Reference Book, 1<sup>st</sup> Edition, Butterworth, 1986.
8. Robert Bosch GmbH, Automotive Handbook, 4<sup>th</sup> Edition, , 1996.
9. Robert Bosch GmbH, Diesel-Engine management, 2<sup>nd</sup> Edition, 1999.
10. Robert Bosch GmbH, Gasoline-Engine management, 1<sup>st</sup> Edition, 1999.

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

11. Ε. Λόης, Σημειώσεις Θεωρίας και Τεχνικής της Καύσης, Ε.Μ.Π., 1992.
12. Ευθ. Α. Βούσουρας, Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, 1994.
13. Κ. Δ. Παπαηλιού, Κ. Π. Μαθιουδάκης, Κ. Χ. Γιαννάκογλου, Εισαγωγή στις Θερμικές Στροβιλομηχανές, Έκδοση Ε.Μ.Π., 1997.
14. Κωνστ. Δ. Ρακόπουλος, Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Εκδόσεις Φούντας, 2001.
15. Κωνστ. Δ. Ρακόπουλος, Εμβολοφόρες Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, Εκδόσεις Πλαίσιο, 1986.
16. Π. Κούτμος, Εισαγωγή στις Εμβολοφόρες Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1992.
17. Σιγάλας Ν. , Μιγγίρης Π. , (2018), *Ηλεκτροκίνητα οχήματα και έξυπνο δίκτυο (Plug-in electric vehicles and the smart grid)*, Αιγάλεω. Ανακτήθηκε από : <http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/handle/123456789/4815>

