



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

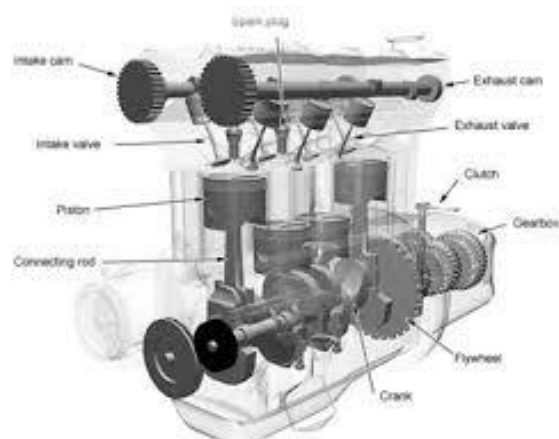
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

1^ο εξάμηνο

Νικήτας Παρασκευόπουλος mnm20001



Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Εισαγωγή	4
1. Δύναμη	5
2. Ροπή	7
3. Ισχύς	9
4. Λειτουργία και τεχνικά μέρη του κινητήρα	11
4.1 Λειτουργία	11
4.2 Τεχνικά Μέρη	14
5. Μελλοντική εξέλιξη του κινητήρα	15
Επίλογος	16
Βιβλιογραφία	17

Περίληψη

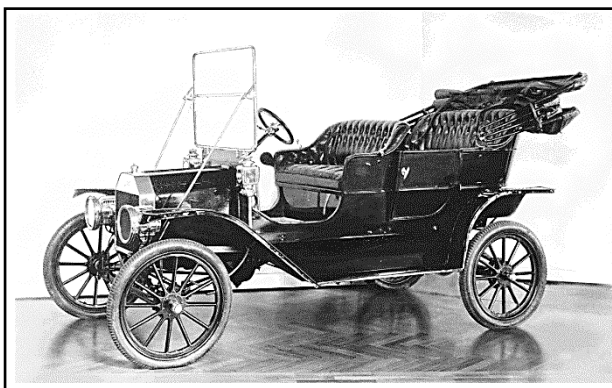
Η εργασία αυτή έχει ως θέμα την φυσική στους κινητήρες εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων. Παρακάτω μελετώνται θεωρητικά και πρακτικά μερικά από τα φυσικά μεγέθη που θέτουν σε κίνηση το όχημα, καθώς και κομμάτι των μηχανολογικών μερών από τα οποία αποτελείται ο κινητήρας. Τέλος, παρουσιάζεται σύντομα η πρόβλεψη του μέλλοντος της αυτοκινητοβιομηχανίας και μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα.

Εισαγωγή

Το αυτοκίνητο όπως το ξέρουμε σήμερα, ή μάλλον μια υπεραπλουστευμένη εκδοχή του, υπάρχει διαθέσιμο στην αγορά ήδη από το 1900. Εκείνη την εποχή βέβαια, αποτελούσε καθαρά μέσο αναψυχής για τις ανώτερες κοινωνικές τάξεις με τον συνολικό αριθμό αυτοκινήτων παγκοσμίως να αγγίζει μόλις τις δέκα χιλιάδες. Η σημασία αυτής της εφεύρεσης δεν άργησε να φανεί όμως. Από το 1920 κιόλας παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στις άδειες κυκλοφορίας και, μόλις 65 χρόνια αργότερα των δέκα χιλιάδων οχημάτων, το 1965 τα αυτοκίνητα σε κυκλοφορία παγκοσμίως είχαν φτάσει τα σχεδόν 180 εκατομμύρια. Σήμερα, ο αριθμός των τροχοφόρων (αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία) στους δρόμους έχει φτάσει περίπου τα 1,32 δισεκατομμύρια, βέβαια, το νούμερο είναι ανακριβές για ευνόητους λόγους.

Στην καρδιά αυτής της τόσο σημαντικής επινόησης βρίσκεται, τις περισσότερες φορές, ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης. Παρόλο που το θέμα της εργασίας περιορίζεται στα επιβατηγά οχήματα, η λογική αυτού του είδους κινητήρα είναι ίδια σε κάθε περίπτωση. Αυτή η κατηγορία κινητήρων όμως περιλαμβάνει αρκετές υποκατηγορίες με βάση ορισμένες παραμέτρους. Ο πρωταρχικός διαχωρισμός τους όμως γίνεται με βάση το είδος καυσίμου, που γίνεται αναλυτικά στο **κεφάλαιο 4**.

Όπως είναι λογικό, η σύνθετη λειτουργία μιας τέτοιας κατασκευής, είτε πρόκειται για κινητήρα πετρελαίου είτε βενζίνης, στηρίζεται σε επιστημονικές βάσεις που εξελίσσονται στο χρόνο.



Εικόνα Ε.1: Ένα από τα πρώτα αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής (Ford - Model T)

1. Δύναμη

Δύναμη ονομάζεται το αίτιο που προκαλεί την μεταβολή της κινητικής κατάστασης ενός σώματος ή την παραμόρφωσή του. Είναι ένα διανυσματικό μέγεθος, το οποίο συμβολίζεται ως $\vec{F}$ και έχει μονάδα μέτρησης, με βάση το διεθνές σύστημα, το Newton (συμβολίζεται N).

Στον κινητήρα ενός αυτοκινήτου ασκούνται πολλές δυνάμεις που προέρχονται από διαφορετικά αίτια. Σε αυτή την εργασία όμως προσοχή δίνεται στην δύναμη που ασκεί το πιστόνι στον στροφαλοφόρο άξονα. Αυτή είναι η βασική δύναμη που κινεί τελικά το όχημα και από το μέτρο της εξαρτάται η ισχύς του κινητήρα και προκαλείται από τον συνδυασμό δύο κυρίως δυνάμεων.

Η μία είναι η δύναμη αερίου, που οφείλεται στην απότομη αύξηση της πίεσης λόγω της ανάφλεξης του μίγματος και ο υπολογισμός της γίνεται με την εφαρμογή του παρακάτω τύπου:

$$F_g = p_{\max} \cdot A$$

Όπου $p_{\max}$ η μέγιστη πίεση που αναπτύσσεται λόγω των αερίων της καύσης και A είναι η επιφάνεια του πιστονιού.

Η δεύτερη δύναμη λέγεται δύναμη αδράνειας και προκαλείται από την παλινδρομική κίνηση του πιστονιού. Προκύπτει με βάση τον τύπο:

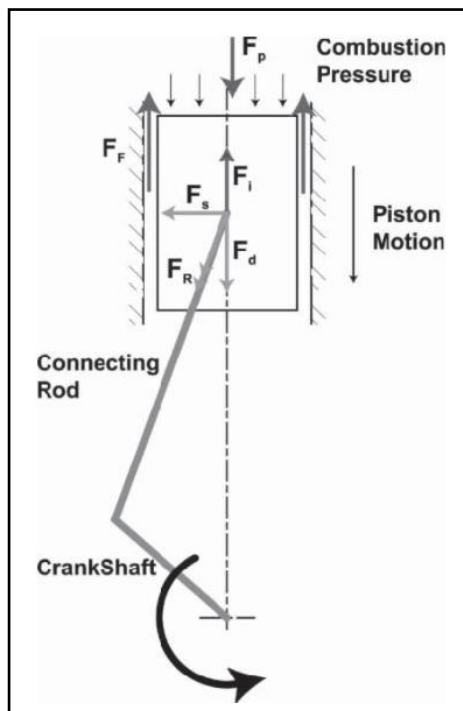
$$F_i = M \cdot a$$

Όπου M η μάζα του πιστονιού και περίπου τα $2/3$ της μάζας του διωστήρα (μπιέλα) και a η επιτάχυνση του.

Η συνολική δύναμη που ασκεί το πιστόνι στον άξονα προκύπτει από το άθροισμα των δύο παραπάνω δυνάμεων:

$$\vec{F}_t = \vec{F}_g + \vec{F}_i$$

Αξίζει να σημειωθεί πως η φορά της δύναμης αδράνειας είναι αντίθετη στη φορά της δύναμης αερίου, καθώς ο ρόλος της είναι να αντιστέκεται στην μεταβολή της κινητικής κατάστασης του σώματος. Αυτό το φαινόμενο εξηγείται από τους νόμους του Νεύτωνα.



Εικόνα 1.1: Οι δυνάμεις που ασκούνται στο πιστόνι και κατ' επέκταση στον άξονα. Στην εικόνα φαίνονται και δυνάμεις οι οποίες θεωρήθηκαν αμελητέες στον παραπάνω υπολογισμό, όπως η τριβή.

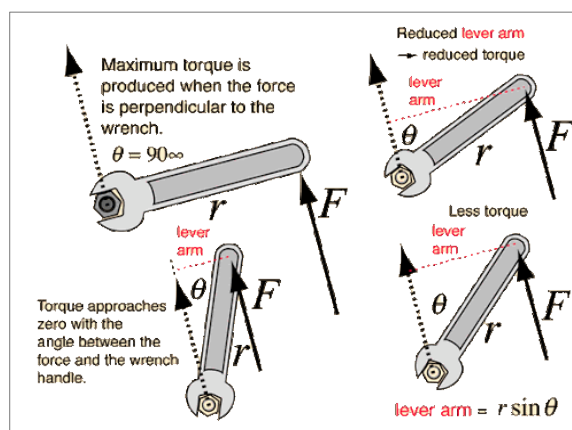
2. Ροπή

Ροπή ονομάζεται το φυσικό μέγεθος που μετρά την τάση μιας δύναμης να περιστρέψει ένα σώμα γύρω από ένα άξονα και συμβολίζεται με $\vec{\tau}$, με μονάδα μέτρησης το $\text{N}\cdot\text{m}$. Η ροπή είναι διανυσματικό μέγεθος και το μέτρο της υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\tau = F \cdot d$$

όπου F η ασκούμενη δύναμη και d η κάθετη απόσταση του άξονα περιστροφής από την ευθεία εφαρμογής της F .

Αυτό σημαίνει, πως ανάλογα με την γωνία που σχηματίζει ο φορέας της δύναμης με την ευθεία που ενώνει τον άξονα περιστροφής με το σημείο εφαρμογής της δύναμης, μεταβάλλεται και το μέτρο της ροπής της δύναμης (εικόνα 2.1).



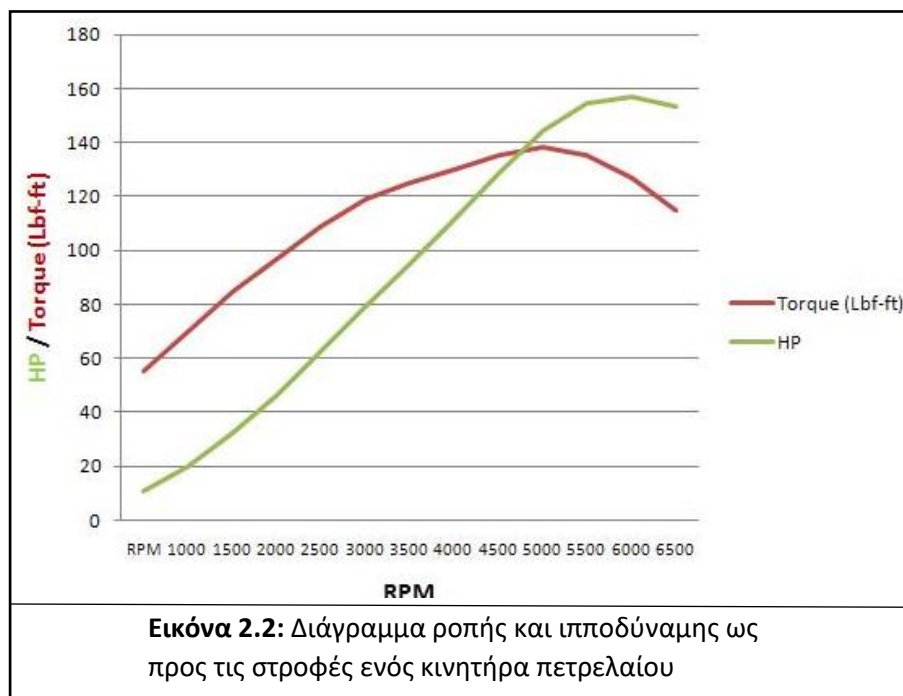
Εικόνα 2.1: Η ροπή που ασκείται σε ένα γαλλικό κλειδί με την δύναμη υπό διαφορετικές γωνίες

Η ροπή στον κινητήρα υπολογίζεται από την δύναμη που ασκεί το πιστόνι στον στροφαλοφόρο άξονα επί την απόσταση του φορέα της από το κέντρο του. Βεβαίως, η ροπή ενός κινητήρα δεν είναι σταθερό μέγεθος, αφού οι συνθήκες λειτουργίας του μεταβάλλονται συνεχώς. Επομένως, ο υπολογισμός της δεν είναι εφικτός με την χρήση του θεωρητικού τύπου που προαναφέρθηκε, καθώς δεν μπορεί να απομονωθεί μια τιμή δύναμης και να προκύψει ακριβές αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά, ο τύπος που θα χρησιμοποιούταν για τον υπολογισμό της ροπής μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή θα ήταν:

$$\tau = F_t \cdot R$$

Όπου F_t η δύναμη που ασκεί το πιστόνι στον άξονα (βλ. **κεφάλαιο 1**) και R η απόσταση φορέα της από το κέντρο του (**εικόνα 1.1**).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται, κατά κανόνα όμως, είναι η κατασκευή ενός διαγράμματος κατανομής της ροπής σε συνάρτηση με τις στροφές του κινητήρα (**εικόνα 2.2**), μέσω ενός υπολογιστή που λαμβάνει δεδομένα από ένα ειδικό δυναμόμετρο, συνδεδεμένο απευθείας με τον άξονα ή με τους τροχούς κίνησης. Οι τιμές στις δύο περιπτώσεις διαφέρουν λόγω απωλειών στο σύστημα μετάδοσης, η μορφή του διαγράμματος όμως παραμένει κοινή. Καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης η πεταλούδα του γκαζιού είναι εντελώς ανοιχτή, ώστε να καταγράφεται η μέγιστη δυνατή τιμή ροπής κάθε φορά. Η υψηλότερη τιμή της ροπής επιτυγχάνεται στην κορυφή της καμπύλης του διαγράμματος και χαρακτηρίζεται ως μέγιστη ροπή στρέψης. Σε αυτό το σημείο ελαχιστοποιείται η ειδική κατανάλωση¹, συνεπώς η λειτουργία του κινητήρα είναι η οικονομικότερη δυνατή. Αξίζει επίσης να σημειωθεί, πως αυτή η τιμή είναι εκείνη που χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές όταν αναφέρονται στην ροπή που παράγει το εκάστοτε μοντέλο και προκύπτει από ένα δυναμόμετρο συνδεδεμένο απευθείας στον στροφαλοφόρο άξονα.



¹ Η κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα πραγματικής ισχύος του κινητήρα

3. Ισχύς

Ισχύς ονομάζεται ο ρυθμός μεταφοράς της ενέργειας και χρησιμοποιείται για την σύγκριση της απόδοσης των μηχανών, εφόσον η μεταφορά ενέργειας γίνεται μέσω του έργου. Σε αυτή την περίπτωση, για να υπολογιστεί η ισχύς χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$P = dW/t$$

Όπου W το παραγόμενο έργο και t ο χρόνος στον οποίο αυτό παράχθηκε. Η μονάδα μέτρησής της είναι τα joule ανά δευτερόλεπτο (J/s) ή το watt (W), σύμφωνα με το διεθνές σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση, η ισχύς που μετριέται είναι στιγμιαία.

Στον κινητήρα, μια εξίσου, ίσως και πιο συνηθισμένη μονάδα μέτρησης της ισχύος είναι η ιπποδύναμη (hp) και ισχύει: $1\text{hp} = 746\text{W}$. Από την σχέση αυτή φαίνεται πως είναι πιο πρακτικό, ακόμα και αν μετρηθεί η ισχύς ενός κινητήρα σε watt, να χρησιμοποιηθεί το κιλοβάτ ($1\text{kW} = 1000\text{W}$).

Η ισχύς και η ροπή ενός μοτέρ αυτοκινήτου είναι δύο μεγέθη τα οποία συναντώνται πολύ συχνά στην ίδια πρόταση, οπότε είναι λογικό να συγχέονται μεταξύ τους. Γνωρίζοντας όμως την σημασία και των δύο εννοιών, η διαφορά μεταξύ τους είναι πλέον σαφής. Η ισχύς περιγράφει ενέργεια, ενώ η ροπή δύναμη (**κεφάλαιο 2**). Τα δύο αυτά μεγέθη όμως, παρότι διαφορετικά συνδέονται μεταξύ τους με την εξής σχέση:

$$P = \tau \cdot \text{rpm}$$

Όπου P η ισχύς με μονάδα μέτρησης τον ίππο, τ η ροπή που δημιουργεί ο κινητήρας, και rpm η στροφές που πραγματοποιεί ο άξονας κατά τη διάρκεια ενός λεπτού. Αυτή η σχέση είναι και ο λόγος που υπολογίζονται μαζί κατά την μέτρηση με δυναμόμετρο. Η ταυτόχρονη μέτρηση των δύο είναι και ο λόγος που στην **εικόνα 2.2** παρουσιάζονται στο ίδιο διάγραμμα οι καμπύλες ροπής και ισχύος. Επίσης, η τιμή της υποδύναμης που χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές για τον προσδιορισμό της ισχύος του κινητήρα του κάθε μοντέλου είναι, όπως και στην περίπτωση της ροπής, αυτή που βρίσκεται στην κορυφή της καμπύλης του διαγράμματος.

4. Λειτουργία και τεχνικά μέρη του κινητήρα

4.1 Λειτουργία:

Τα δύο συνηθέστερα καύσιμα στα αυτοκίνητα είναι η βενζίνη και το πετρέλαιο, γνωστό και ως diesel. Ανάλογα με το καύσιμο, προφανώς, αλλάζει και ο τρόπος λειτουργίας του κινητήρα, με βασική διαφορά τον τρόπο ανάφλεξης του μίγματος αέρα/καυσίμου. Ακολουθούν λοιπόν ο τρόπος λειτουργίας του καθενός και η διαφοροποίηση των δύο, με βάση ένα μοντέλο κινητήρα τεσσάρων χρόνων.

Βενζινοκινητήρας:

Στους βενζινοκινητήρες τον ρόλο της ανάφλεξης αναλαμβάνουν τα μπουζί, τα οποία την προκαλούν μέσω του σπινθήρα που δημιουργούν. Πιο αναλυτικά όμως, οι τέσσερις χρόνοι στην προκειμένη περίπτωση έχουν ως εξής:

1^{ος} χρόνος: η εισαγωγή του αέρα, ξεκινάει από το άνω νεκρό σημείο² του και τελειώνει στο κάτω νεκρό σημείο³. Η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοιχτή και ο αέρας εισέρχεται λόγω της καθοδικής κίνησης του πιστονιού.

2^{ος} χρόνος: η συμπίεση του αέρα και ο ψεκασμός της βενζίνης, ξεκινάει αμέσως μετά τον 1^ο χρόνο, από το κάτω έως το άνω νεκρό σημείο και κατά τις διάρκειά της διαδικασίας είναι κλειστές οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

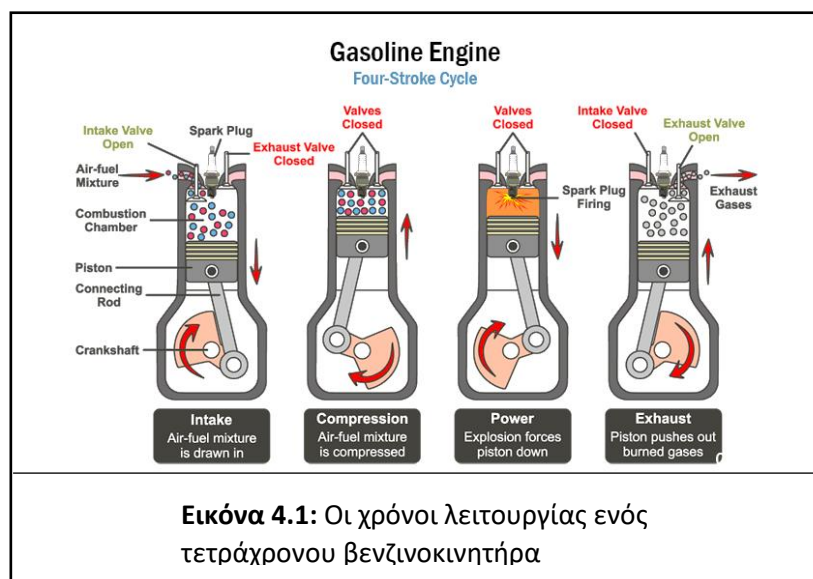
3^{ος} χρόνος: η ανάφλεξη, κατά την οποία, στο άνω νεκρό σημείο το μπουζί παράγει σπινθήρα και από την έκρηξη του μίγματος το πιστόνι μετακινείται βίαια μέχρι το

² Το σημείο όπου το πιστόνι απέχει την μεγαλύτερη απόσταση από τον στροφαλοφόρο άξονα

³ Το σημείο όπου το πιστόνι απέχει την μικρότερη απόσταση από τον στροφαλοφόρο άξονα

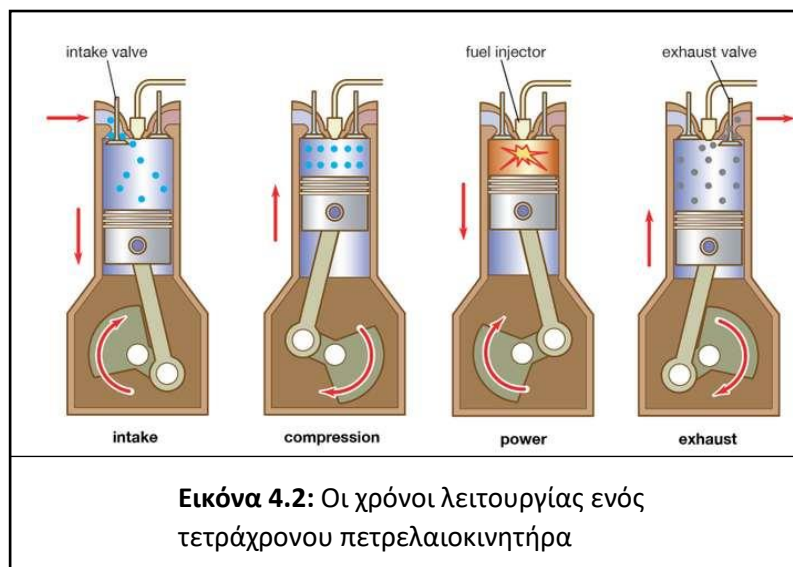
κάτω νεκρό σημείο. Μέσω αυτής της μετατόπισης παράγεται το επιθυμητό για την κίνηση μηχανικό έργο.

4^{ος} χρόνος: η εξαγωγή. Για μια ακόμα φορά το πιστόνι φτάνει ως το άνω νεκρό σημείο και, με την βαλβίδα εξαγωγής ανοιχτή, απωθούνται τα καυσαέρια εκτός του θαλάμου καύσης, ώστε να αρχίσει και πάλι η διαδικασία.



Πετρελαιοκινητήρας:

Σε αυτό το είδος κινητήρα η ανάφλεξη γίνεται μέσω συμπίεσης του αέρα μέχρι να φτάσει σε θερμοκρασία υψηλότερη της αυτανάφλεξης του πετρελαίου. Οι τέσσερις χρόνοι της διαδικασίας είναι σε μεγάλο βαθμό κοινοί με μια βασική διαφορά. Το πετρέλαιο ψεκάζεται υπό πίεση λίγο πριν το άνω νεκρό σημείο, όπου και ξεκινάει η διαδικασία της ανάφλεξης, η οποία όμως συμβαίνει λόγω της ιδιαιτέρως υψηλής συμπίεσης του μίγματος, δεν προκαλείται από σπινθήρα. Όπως και πριν όμως, παράγεται το επιθυμητό έργο λόγω της απότομης μετακίνησης του πιστονιού.



4.2 Τεχνικά Μέρη:

Πιστόνια/Έμβολα: Εκτελεί παλινδρομική κίνηση εντός του κυλίνδρου και δέχεται την πίεση των καυσαερίων.

Διωστήρες («μπιέλες»): Συνδέουν τα πιστόνια με τον άξονα και αποτελούν βασικό αίτιο της μετατροπής της παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική.

Πείρος εμβόλου: Συνδέει το έμβολο με τον διωστήρα.

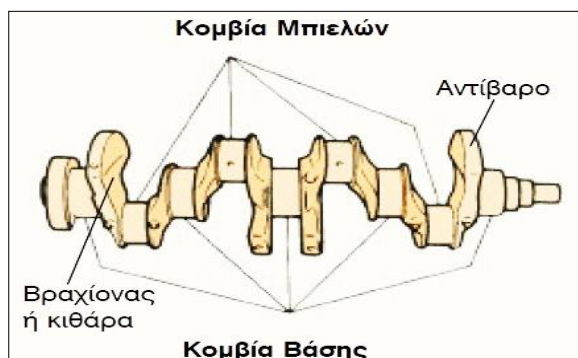
Στροφαλοφόρος άξονας: Σε συνδυασμό με τις μπιέλες μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση σε περιστροφική και την μεταφέρει στα υπόλοιπα μέρη του αυτοκινήτου. Αποτελείται από:

Στροφάλους: Σε αυτούς στηρίζονται οι διωστήρες

Κύρια κομβία βάσης: Σε αυτά στηρίζεται ο ίδιος πάνω στην λεγόμενη θήκη του άξονα.

Βραχίονες: Συνδέουν τους στροφάλους με τα κομβία βάσης

Αξίζει να σημειωθεί πως οι βραχίονες φέρουν αντίβαρα, ώστε ο άξονας να είναι ζυγισμένος, εξασφαλίζοντας έτσι την ομαλή περιστροφή του χωρίς κραδασμούς.



Εικόνα 4.3: Ο στροφαλοφόρος άξονας

5. Μελλοντική εξέλιξη του κινητήρα

Κρίνοντας από την τάση της αγοράς, γίνεται όλο και πιο προφανές πως το μέλλον στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι ο ηλεκτρισμός. Όλο και περισσότερες εταιρείες επενδύουν στην έρευνα των ηλεκτροκινητήρων με βασικά τους κίνητρα το κόστος παραγωγής και την οικολογία, καθώς ένα τέτοιο μοτέρ είναι σημαντικά λιγότερο ρυπογόνο από τον αντίστοιχο κινητήρα εσωτερικής καύσης και ταυτόχρονα πιο φθηνό στην παραγωγή.

Ένας ηλεκτροκινητήρας αποτελείται από τον ρότορα και τον στάτορα. Ο μεν αποτελείται από πηνία, ενώ ο δε από μαγνήτες. Η λειτουργία του βασίζεται στην μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω της δύναμης Laplace. Ο ρότορας διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και, επειδή βρίσκεται εντός του μαγνητικού πεδίου του στάτορα, ασκείται σε αυτόν η προαναφερθείσα δύναμη δημιουργώντας ροπή. Το μέτρο της κινητήριας αυτής δύναμης δίνεται από τον τύπο:

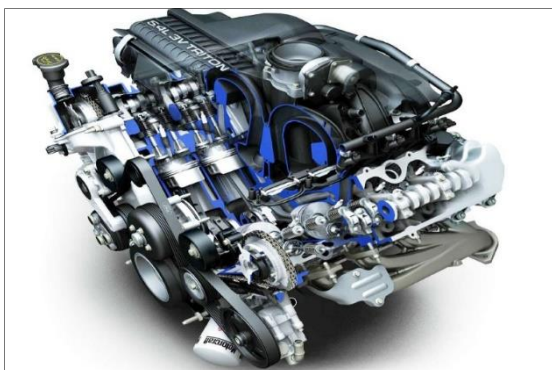
$$F_L = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin\phi$$

Όπου B η ένταση του μαγνητικού πεδίου, I η ένταση του ρεύματος, ℓ το μήκος του αγωγού και ϕ η γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με την διεύθυνση των δυναμικών γραμμών.

Συγκρίνοντας έναν ηλεκτροκινητήρα με έναν τυπικό κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο πρώτος είναι σημαντικά ελαφρύτερος, απλούστερος στην κατασκευή και μικρότερος σε διαστάσεις. Ταυτόχρονα, είναι αποδοτικότερος όσον αφορά την παραγόμενη ισχύ και τις απώλειες λόγω θερμότητας. Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημά του είναι η άμεση παροχή ροπής ανεξαρτήτως στροφών. Στον αντίποδα, το συντριπτικό πλεονέκτημα του βενζινοκινητήρα, τουλάχιστον στην σημερινή εποχή, είναι η αυτονομία του. Ένα αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί παραδοσιακά καύσιμα μπορεί να διανύσει πολύ μεγαλύτερη απόσταση χωρίς να χρειαστεί γέμισμα, σε αντίθεση με ένα σύγχρονο ηλεκτρικό όχημα.

Επίλογος

Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε ένα μικρό μέρος των φυσικών μεγεθών που συντελούν στην λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης, δίνοντας έμφαση στο μηχανολογικό κομμάτι αυτών. Ακόμα, παρουσιάστηκε ο τρόπος λειτουργίας του κινητήρα και ένα ελάχιστο ποσοστό των κομματιών από τα οποία αποτελείται. Το μέλλον αυτού όμως φαίνεται να είναι όλο και πιο σύντομο, καθώς οι ηλεκτροκινητήρες κερδίζουν συνεχώς έδαφος στο εμπόριο. Ωστόσο, και τα δύο ήδη είναι σίγουρα ιδιαίτερα σύνθετα και αξιοθαύμαστα τεχνολογικά επιτεύγματα, παρά τις όποιες διαφορές τους.



Εικόνα T.1: Κινητήρας εσωτερικής καύσης



Εικόνα T.2: Ηλεκτροκινητήρας

Βιβλιογραφία

Ιστοσελίδες:

- <https://www.britannica.com/technology/diesel-engine>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Dead_centre_\(engineering\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dead_centre_(engineering))
- <https://www.carsguide.com.au/car-advice/how-many-cars-are-there-in-the-world-70629>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Four-stroke_engine
- file:///C:/Users/potis/Downloads/24-0022_Michanes-Esoterikis-Kausis-I_G-EPAL_Vivlio-Mathiti.pdf
- <http://iceal.wikidot.com/ropi-strepsis>
- <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU291/%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%99%CE%A3%CE%A7%CE%A5%CE%9F%CE%A3%20%CE%A3%CE%95%20%CE%9C%CE%95%CE%9A.pdf>
- https://www.school-for-champions.com/science/force_inertial.htm#.X_xG9dgzaM8
- <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01305936/document>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_motor
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82
- https://www.caranddriver.gr/electric/arthro/pos_doulevei_ena_ilektriko_aytokinito-7776532/
- https://mixanikose.blogspot.com/2016/02/blog-post_8.html?m=0

Βιβλία:

- Wilfred O., Ezra B., *Επιστημονική Βιβλιοθήκη «ΛΑΪΦ»-ΤΡΟΧΟΙ*, ΛΥΚΕΙΟΣ ΑΠΟΛΛΩΝ Ε.Π.Ε., Ελλάδα 1975
- Serway R., Jewett J., *Φυσική για Επιστήμονες και Μηχανικούς*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2012