

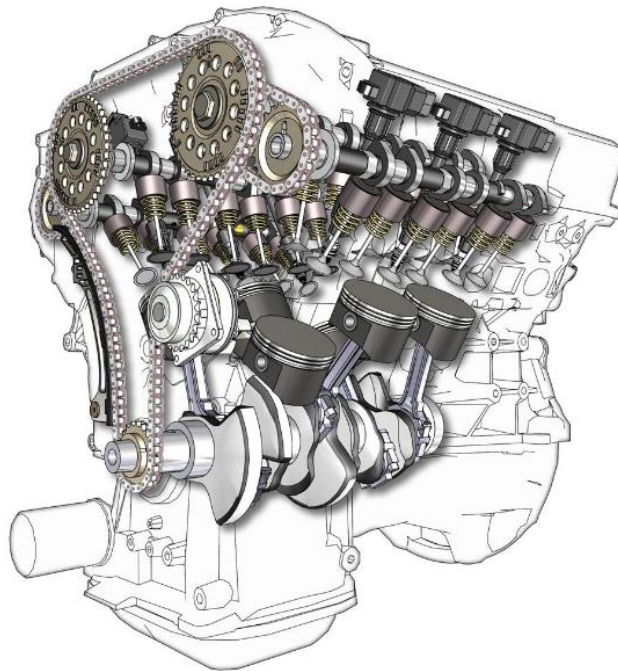
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΜΑΖΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ/ΑΜ:

ΖΥΓΑΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Κ. ΜΑΥΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Τ.Ε.Ι Πατρών και πραγματεύεται τη ζυγοστάθμιση δυνάμεων και ροπών μαζών των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η εργασία ασχολείται με τη ζυγοστάθμιση εμβολοφόρων παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης και συγκεκριμένα εφαρμόζεται ζυγοστάθμιση σε τετράχρονο τετρακύλινδρο κινητήρα.

Η ολοκλήρωση της εργασίας μου οφείλεται είτε άμεσα είτε έμμεσα σε σημαντικά άτομα για εμένα και ορισμένα από τα οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μαυρίδη Κωνσταντίνο για την άψογη και ουσιαστική συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου. Οι επιστημονικές γνώσεις και συμβουλές που μου προσέφερε αποτέλεσαν εφόδια για την υλοποίηση του στόχου μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα, όλους τους καθηγητές του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής
(Ονοματεπώνυμο)

.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα βασικότερα και σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζεται κατά την μελέτη, σχεδιασμό και κατασκευή των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης είναι η αντιμετώπιση των ταλαντώσεων που προκαλεί η λειτουργία τους. Οι ταλαντώσεις αυτές προκαλούν δυναμικά φορτία τόσο στα σημεία πρόσδεσης τους στο όχημα όσο και στους επιμέρους μηχανισμούς που οι ίδιες φέρουν.

Οι εμβολοφόρες παλινδρομικές ΜΕΚ ή εμβολοφόροι κινητήρες είναι οι πιο διαδεδομένες μηχανές παγκοσμίως. Χρησιμοποιούνται στα περισσότερα μέσα μεταφοράς, όπως αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, πλοία, τραίνα, δηλαδή κυρίως στα χερσαία μέσα μεταφοράς. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί και στα πρώτα αεροπλάνα στις αρχές του 20ου αιώνα.

Η λειτουργία των εμβολοφόρων κινητήρων βασίζεται στη μετατροπή της χημικής ενέργειας ενός καυσίμου σε θερμική (καύση), της θερμικής ενέργειας σε παλινδρομική ενός εμβόλου και την παλινδρομική του εμβόλου σε περιστροφική ενός στροφαλοφόρου άξονα. Η παλινδρομική αυτή κίνηση πολλών μερών των μηχανών είναι και αυτή που προκαλεί τις εν λόγω ταλαντώσεις.

Εντούτοις το πρόβλημα είναι σημαντικότερο, όταν η μηχανή δεν έχει ζυγοσταθμιστεί. Η ζυγοστάθμιση είναι άκρως απαραίτητη, καθώς υπάρχει μια πλειάδα μαζών σε διαφορετικά σημεία της μηχανής που εκτελούν οι ίδιες ταλαντώσεις με διαφορετικά πλάτη και συχνότητες και αυτό οδηγεί σε σύνθεση τους στο σώμα του κινητήρα, κάτι που ενδεχομένως να αποδειχθεί καταστροφικό.

Η παρούσα εργασία εξετάζει την διαδικασία της ζυγοστάθμισης των εμβολοφόρων κινητήρων εσωτερικής καύσης. Στο πρώτο κεφάλαιο της παρέχεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των εμβολοφόρων μηχανών. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης, τον τρόπο λειτουργίας τους καθώς και των διαφορετικών τύπων και κατηγοριών. Στο τρίτο κεφάλαιο, εισάγονται οι διαδικασίες ζυγοστάθμισης και τα μαθηματικά μοντέλα που διέπουν αυτές. Στο τέταρτο κεφάλαιο, επιλέγεται μια μηχανή του εξεταζόμενου τύπου και

παραδίδεται μια εφαρμογή των προηγούμενων για την ζυγοστάθμισης της. Η εργασία κλείνει με τα αντίστοιχα συμπεράσματα, καθώς και την βιβλιογραφία.

ABSTRACT

One of the most basic and important problems encountered in the study, design and manufacture of internal combustion engines is to address the vibrations caused by their operation. These oscillations cause dynamic loads both at the engine's attachment points on the vehicle and their individual mechanism parts.

Piston reciprocating engines or piston engines are the most widely used energy systems worldwide, used in most forms of transport such as cars, trucks, buses, ships, trains. Also they have been used in the first airplanes in the early 20th century.

The function of piston engines based on the converting of the chemical energy of a fuel to thermal energy (combustion), of the thermal energy produced to reciprocating energy of a piston, and the reciprocating energy of the piston to rotary energy to the shaft of a crankshaft. This reciprocating movement of several parts of the machines is that which causes these oscillations.

However, the problem is significant when the machine is not balanced after fitting. The balance is a must, as there is a multitude of masses in different parts of the machine producing oscillations with different widths and frequencies, and this leads to their integration inside the engine block, which might prove disastrous.

This paper examines the process of balancing piston internal combustion engine. The first chapter provides an extensive description of piston engines, how they work and the different types and categories. The second chapter of the paper, provides a literature review on the problem of balancing engines, the basic principles of internal combustion piston engines, their mode of operation as well as the different types and categories. The third chapter introduces the balancing procedures and mathematical models that govern them. In the fourth chapter, is selected a machine of the type in question and delivered an application of the above for the balance. The paper ends with respective findings and the literature.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΣΧΗΜΑΤΩΝ – ΠΙΝΑΚΩΝ

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Ο Nicolaus Otto _____	6
Εικόνα 2 Ο τετράχρονος κινητήρας του Nicolaus Otto _____	6
Εικόνα 3 Ο Benz _____	7
Εικόνα 4 Το Benz Velo _____	8
Εικόνα 5 ο Gottlieb Daimler _____	9
Εικόνα 6 Η μοτοσυκλέτα του Daimler _____	11
Εικόνα 7 Ο Ford _____	12
Εικόνα 8 Το Ford Model T _____	13
Εικόνα 9 Ο Rudolf Diesel _____	15
Εικόνα 10 Ο κινητήρας MAN AG _____	17
Εικόνα 11 Διάταξη 4 κυλίνδρων εν σειρά _____	20
Εικόνα 12 Διάταξη 6 κυλίνδρων εν σειρά. _____	21
Εικόνα 13 Σχηματική αναπαράσταση slant κινητήρα _____	23
Εικόνα 14 Τυπικός κινητήρας μπόξερ. _____	25
Εικόνα 15 Τυπικός κινητήρας ακτινικής διάταξης _____	26
Εικόνα 16 Κινητήρας V6 _____	28
Εικόνα 17 Έμβολο κινητήρα εσωτερική κάυσης _____	30
Εικόνα 18 Δαχτυλίδια εμβόλου και η λειτουργία τους _____	33
Εικόνα 19 Στροφαλοφόρος άξονας _____	35
Εικόνα 20 Εκκεντροφόρος άξονας _____	36
Εικόνα 21 Σύστημα ζυγοστάθμισης μονοκύλινδρου κινητήρα _____	51
Εικόνα 22 Αντίβαρο στην προέκταση του στροφάλου για την αντιστάθμιση δυνάμεων από περιστρεφόμενες μάζες _____	57
Εικόνα 23 Στροφαλοφόρος άτρακτος 4-κύλινδρου 4-Χ κινητήρα εν-σειρά διάταξης της BMW με αντίβαρο στην προέκταση κάθε στροφάλου _____	61
Εικόνα 24 Σύστημα αντιστάθμισης με δύο ατράκτους της BMW για την εξουδετέρωση των παλινδρομικών δυνάμεων 2 ^{ης} τάξης _____	66

Εικόνα 25 Άτρακτος αντιστάθμισης της εταιρίας Schaeffler για το σύστημα αντιστάθμισης της εικόνας 24 _____	66
Εικόνα 26 Σύστημα αντιστάθμισης με δύο ατράκτους της Toyota για 4-κύλινδρο κινητήρα με συνολικό όγκο εμβολισμού 2.7 L _____	67

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Κινηματικός μηχανισμός εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου _____	39
Σχήμα 2 Τυπική μορφή ταχύτητας _____	42
Σχήμα 3 Τυπική μορφή επιτάχυνσης _____	43
Σχήμα 4 Αναγωγή του διωστήρα σε δύο μάζες _____	44
Σχήμα 5 Δυνάμεις του κινηματικού μηχανισμού _____	47
Σχήμα 6 Κινηματικός μηχανισμός εμβόλου-βάκτρου, ζυγώματος και ευθυντηρίας 2-Χ ναυτικού κινητήρα _____	48
Σχήμα 7 Αναγωγή της μάζας του στροφάλου στην ακτίνα r _____	50
Σχήμα 8 Σχήμα 1.8 Ποσοστό δυνάμεων 1 ^{ης} και 2 ^{ης} τάξης από παλινδρομούσες μάζες προς την συνολική παλινδρομική δύναμη κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας _____	52
Σχήμα 9 Μεταβολή παλινδρομικών δυνάμεων 1 ^{ης} και 2 ^{ης} τάξης συναρτήσει της γωνίας στροφάλου _____	53
Σχήμα 10 Διανυσματική παράσταση παλινδρομικών δυνάμεων 1 ^{ης} και 2 ^{ης} τάξης _____	54
Σχήμα 11 Διάταξη ζυγοστάθμισης παλινδρομικής δύναμης 1 ^{ης} τάξης _____	55
Σχήμα 12 Διάταξη ζυγοστάθμισης παλινδρομικής δύναμης 2 ^{ης} τάξης _____	56
Σχήμα 13 Διάταξη στροφαλοφόρου ατράκτου 4-κύλινδρου 4-Χ κινητήρα _____	62
Σχήμα 14 Διάγραμμα δυνάμεων 1 ^{ης} τάξης από παλινδρομούσες και περιστρεφόμενες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου _____	62
Σχήμα 15 Συνθήκες ζυγοστάθμισης ροπών 1 ^{ης} τάξης από παλινδρομούσες και περιστρεφόμενες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου κινητήρα _____	63
Σχήμα 16 Συνθήκες ζυγοστάθμισης δυνάμεων 2 ^{ης} τάξης από παλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου κινητήρα _____	64
Σχήμα 17 Συνθήκες ζυγοστάθμισης ροπών 2 ^{ης} τάξης από παλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου κινητήρα _____	64
Σχήμα 18 Διάταξη πλήρους αντιστάθμισης δυνάμεων 2 ^{ης} τάξης από παλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου κινητήρα _____	65
Σχήμα 19 Καμπτικές ροπές λόγω δυνάμεων 1 ^{ης} τάξης από περιστρεφόμενες και παλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου κινητήρα _____	68

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΣΧΗΜΑΤΩΝ – ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
Κατάλογος Εικόνων	vii
Κατάλογος Σχημάτων	viii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	2
1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ 3	
1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ NICOLAUS OTTO	5
1.3 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ KARL BENZ	7
1.4 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ GOTTLIEB DAIMLER	9
1.5 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ HENRY FORD (1863-1947)	12
1.6 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ RUDOLF DIESEL	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	19
2.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	19
2.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΝΤΙΚΡΙΣΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ	24

2.3	ΑΚΤΙΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ.....	26
2.4	ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΣΕ ΣΧΗΜΑ V	27
2.5	ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	29
2.5.1.	Έμβολο	29
2.5.2.	Δαχτυλίδια εμβόλου	31
2.5.3.	Συνδετική ράβδος	34
2.5.4.	Στροφαλοφόρος άξονας	35
2.5.5.	Εκκεντροφόρος άξονας.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΘΕΩΡΙΑ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....		39
3.1.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ.....	39
3.1.1.	Η Μετατόπιση του Εμβόλου	39
3.1.2	Η ταχύτητα του εμβόλου	41
3.1.3	Επιτάχυνση του εμβόλου	42
3.1.4	Η αναγωγή του διωστήρα σε δύο μάζες	43
3.2	ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ	45
3.2.1	Δυνάμεις από τα αέρια στο κύλινδρο	45
3.2.2	Μαζικές δυνάμεις	48
3.2.3	Παλινδρομικές δυνάμεις	49
3.2.4	Περιστρεφόμενες Μαζικές Δυνάμεις	49
3.3	ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΜΑΖΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΜΟΝΟΚΥΛΙΝΔΡΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	51
3.3.1	Παλινδρομική δύναμη 1 ^{ης} τάξης	53
3.3.2	Παλινδρομική δύναμη 2 ^{ης} τάξης	55
3.3.3	Περιστροφική Μαζική Δύναμη.....	57
3.4	ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΜΑΖΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΠΟΛΥΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΦΑΡΜΟΓΗ –ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ ΤΕΤΡΑΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	61
4.1 ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ 1 ^{ΗΣ} ΤΑΞΗΣ	62
4.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΠΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ	63
4.3 ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ 2 ^{ΗΣ} ΤΑΞΗΣ	64
4.4 ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ.....	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως Μηχανή Εσωτερικής Καύσης αναφέρεται η κινητήρια θερμική δύναμη στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής, εξ ου και η ονομασία της, σε αντίθεση με την ατμομηχανή όπου η καύση πραγματοποιείται εκτός της μηχανής και συγκεκριμένα στο λέβητα. Για τις μηχανές αυτές χρησιμοποιείται ευρύτερα το ακρωνύμιο ΜΕΚ.

Ο άνθρωπος πλέον λαμβάνει σχεδόν ως δεδομένες τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Το μόνο που βασικά χρειάζεται να κάνει είναι να αποκτήσει το προσωπικό του όχημα, ή να χρησιμοποιήσει ένα από τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Υπάρχει, ωστόσο, μια ιστορία της ανάπτυξης τους που πρέπει να τονισθεί. Ο συμπαγής, καλά ρυθμισμένος, πανίσχυρος και εκπληκτικά ήσυχος κινητήρας που φαίνεται να γουργουρίζει κάτω από το κάλυμμα του απλά δεν ήταν πάντα το «εξημερωμένο ζώο» που φαίνεται να είναι τώρα. Ήταν θορυβώδης, συνήθιζε να βρυχάται όταν βρισκόταν σε χρήση και ήταν μάλλον ογκώδης. Στην πραγματικότητα, μία από τις πρώτες μηχανές που είχαν συλληφθεί δεν έμοιαζε καθόλου με το τον κινητήρα που γνωρίζουμε τόσο καλά σήμερα.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης ορίζεται ως μία μηχανή στην οποία η χημική ενέργεια του καυσίμου απελευθερώνεται στο εσωτερικό του κινητήρα και χρησιμοποιείται απ' ευθείας ως μηχανικό έργο, σε αντίθεση με μια μηχανή εξωτερικής καύσης στην οποία ένας ξεχωριστός καυστήρας χρησιμοποιείται για να κάψει το καύσιμο. Οι βασικοί τύποι κινητήρων είναι ο Τετράχρονος Κινητήρας, ο Δίχρονος Κινητήρας, ο Κινητήρας Αντιθέτων Εμβόλων και ο Περιστροφικός Κινητήρας Βάνκελ.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στις εμβολοφόρες παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης ενώ στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ζυγοστάθμιση ενός τετράχρονου τετρακύλινδρου κινητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στα τέλη του 1800. Είχε σημαντικό αντίκτυπο στην κοινωνία, και θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές εφευρέσεις του περασμένου αιώνα. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης ήταν το θεμέλιο για την επιτυχή ανάπτυξη πολλών εμπορικών τεχνολογιών. Για παράδειγμα, χάριν σε αυτό το είδος της μηχανής έχει μετατραπεί η βιομηχανία μεταφορών, επιτρέποντας την εφεύρεση και βελτίωση των αυτοκινήτων, φορτηγών, αεροπλάνων και τρένων.

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης μπορούν να παραδώσουν ισχύ στην περιοχή από 0,01 kW έως 20×10^3 kW, ανάλογα με τον κυβισμό τους. Συναγωνίζονται στην αγορά με ηλεκτρικούς κινητήρες, αεριοστρόβιλους και ατμομηχανές. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι στα οχήματα (αυτοκίνητα και φορτηγά), σιδηροδρόμους, πλοία, αεροσκάφη, οικιακή χρήση και σταθερές εγκαταστάσεις. Η συντριπτική πλειοψηφία των μηχανών εσωτερικής καύσης παράγονται για εφαρμογές οχημάτων, απαιτώντας ισχύ εξόδου της τάξεως των 10^2 kW.

Πέραν αυτών, οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν γίνει η κυρίαρχη προνομιακή τεχνολογία κίνησης σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, το 1900 περισσότερα αυτοκίνητα ήταν ατμοκίνητα ή ηλεκτρικά, αλλά από το 1900 τα περισσότερα αυτοκίνητα ήταν εξοπλισμένα με κινητήρες βενζίνης. Από το έτος 2000, στις Ηνωμένες Πολιτείες και μόνο, υπάρχουν περίπου 200 εκατομμύρια μηχανοκίνητα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Το 1900, η ατμομηχανή χρησιμοποιήθηκε για την παροχή ισχύος στα πλοία και τις μηχανές σιδηροδρόμων, σήμερα χρησιμοποιούν πετρελαιοκινητήρες δύο ή τεσσάρων κύκλων. Πριν από το 1950, τα αεροσκάφη στηρίχθηκαν σχεδόν αποκλειστικά στις εμβολοφόρες μηχανές. Σήμερα οι αεριοστρόβιλοι είναι η μονάδα παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλα αεροπλάνα, και οι εμβολοφόροι κινητήρες εξακολουθούν να κυριαρχούν στην αγορά σε μικρά αεροπλάνα. Η υιοθέτηση και η συνεχιζόμενη χρήση του κινητήρα εσωτερικής καύσης σε διάφορα πεδία εφαρμογής έχει προκύψει από το σχετικά χαμηλό κόστος, τον

ευνοϊκό λόγο βάρους ενέργειας, την υψηλή απόδοση, και τη σχετικά απλή λειτουργία καθώς και τα σταθμισμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας.

Τα συστατικά ενός παλινδρομικού εμβολοφόρου κινητήρα εσωτερικής καύσης, μπλοκ, έμβολα, βαλβίδες, στροφαλοφόρος και διωστήρες έχουν παραμείνει ουσιαστικά αμετάβλητα από τα τέλη του '80. Οι κύριες διαφορές μεταξύ ενός σύγχρονου κινητήρα και ενός κατασκευασμένου πριν από 100 χρόνια είναι η θερμική απόδοση και το επίπεδο των εκπομπών. Για πολλά χρόνια, η έρευνα στο κινητήρα εσωτερικής καύσης στόχευε τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης και τη μείωση του θορύβου και των κραδασμών. Κατά συνέπεια, η θερμική αποδοτικότητα έχει αυξηθεί από περίπου 10% σε τιμές τόσο υψηλές όσο 50%. Από το 1970, με την αναγνώριση της σημασίας της ποιότητας του αέρα, υπήρξε επίσης πολλή δουλειά για τη μείωση των εκπομπών από τους κινητήρες. Παρόμοια ήταν και η κατάσταση όσον αφορά στην ζυγοστάθμιση του κινητήρα και την μείωση των ταλαντώσεων λόγω λειτουργίας.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Μια σύντομη περιγραφή της ιστορίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα κύρια σημεία:

- 1680 – Ο Ολλανδός φυσικός, Christian Huygens σχεδιάζει (αλλά ποτέ δεν κατασκεύασε) μια μηχανή εσωτερικής καύσης που επρόκειτο να κινείται με πυρίτιδα.
- 1807 – Ο Francois Isaac de Rivaz της Ελβετίας εφεύρε μια μηχανή εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούσε ένα μίγμα υδρογόνου και οξυγόνου για καύσιμα. Ο Rivaz σχεδίασε ένα αυτοκίνητο για τη μηχανή του, το πρώτο που έκανε χρήση κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, του ήταν μια αποτυχημένη προσπάθεια σχεδιασμού.
- 1824 – Ο Άγγλος μηχανικός, Samuel Brown προσαρμόζει μια παλιά ατμομηχανή Newcomen να καίει φυσικό αέριο, και τη χρησιμοποιεί για να κινήσει εν συντομία ένα όχημα στο λόφο Shooter στο Λονδίνο.
- 1858 – Ο Βελγικής καταγωγής μηχανικός, Jean Joseph Étienne Lenoir εφεύρει και κατοχυρώνει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (1860) ένα διπλής ενέργειας, με ανάφλεξη από ηλεκτρικό σπινθήρα κινητήρα εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται με φυσικό αέριο.

- 1862 – Ο Alphonse Beau de Rochas, ένας Γάλλος πολιτικός μηχανικός, κατοχυρώνει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, αλλά δεν κατασκευάζει ποτέ ένα τετράχρονο κινητήρα (γαλλικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας # 52593, 16 Ιανουαρίου, 1862).
- Το 1863 – Ο Lenoir επισυνάπτει ένα βελτιωμένο κινητήρα (με χρήση πετρελαίου και ένα πρωτόγονο καρμπυρατέρ) σε ένα τρίτροχο όχημα που κατάφερε να ολοκληρώσει ένα ιστορικό πενήντα μιλίων οδικό ταξίδι.
- 1864 – Ο Αυστριακός μηχανικός, Siegfried Marcus, κατασκευάζει ένα κινητήρα ενός κυλίνδρου με ένα αργό καρμπυρατέρ, και τοποθετεί τη μηχανή του σε ένα καλάθι για μετακίνηση 500 ποδιών. Αρκετά χρόνια αργότερα, ο Marcus σχεδίασε ένα όχημα που έτρεξε εν συντομία 10 μίλια/ώρα το οποίο μερικοί ιστορικοί θεωρούν ως το πρόδρομο του σύγχρονου αυτοκινήτου με το να είναι το πρώτο βενζινοκίνητο όχημα του κόσμου.
- 1866 – Οι Γερμανοί μηχανικοί, Eugen Langen και Nikolaus August Otto βελτιώνουν με τα σχέδια Lenoir και de Rochas "και εφευρίσκουν μια πιο αποτελεσματική μηχανή βενζίνης.
- 1873 – Ο George Brayton, ένας Αμερικανός μηχανικός, ανέπτυξε ένα ανεπιτυχή δίχρονο κινητήρα κηροζίνης (χρησιμοποίησε δύο εξωτερικούς κυλίνδρους άντλησης). Ωστόσο, θεωρήθηκε ο πρώτος ασφαλής και πρακτικός κινητήρας πετρελαίου.
- 1876 – Ο Nikolaus August Otto εφευρει και αργότερα κατοχυρώνει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα επιτυχημένο κινητήρα τεσσάρων χρόνων, γνωστό ως «κύκλος Otto».
- 1876 - Η πρώτη επιτυχής δίχρονη μηχανή εφευρέθηκε από τον Sir Dougald Clerk.
- 1883 – Ο Γάλλος μηχανικός, Edouard Delamare-Deboutville, κατασκεύασε ένα μονοκύλινδρο τετράχρονο κινητήρα που χρησιμοποιούσε βενζίνη για σόμπα. Δεν είναι βέβαιο αν πράγματι έφτιαξε ένα αυτοκίνητο, εντούτοις, τα σχέδια του Delamare-Deboutville ήταν πολύ προχωρημένα για την εποχή – μπροστά από τους Daimler και Benz με κάποιους τρόπους, τουλάχιστον στα χαρτιά.
- 1885 – Ο Gottlieb Daimler εφηύρε αυτό που συχνά αναγνωρίζεται ως το πρότυπο του σύγχρονου κινητήρα βενζίνης - με έναν κάθετο κύλινδρο, και με έγχυση βενζίνης μέσω ενός καρμπυρατέρ (κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1887). Ο Daimler κατασκεύασε το πρώτο δίτροχο όχημα το

«Reitwagen» με αυτόν τον κινητήρα και ένα χρόνο αργότερα έφτιαξε το πρώτο τετράτροχο όχημα με κινητήρα στον κόσμο.

- 1886 - Στις 29 Ιανουαρίου, ο Karl Benz έλαβε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (DRP No 37435) για ένα αυτοκίνητο με βενζίνη σαν καύσιμο.
- 1889 – Ο Daimler έφτιαξε ένα βελτιωμένο τετράχρονο κινητήρα με βαλβίδες σχήματος μανιταριού και δύο σχήματος V τοποθετημένους κυλίνδρους.
- 1890 – Ο Wilhelm Maybach κατασκεύασε το πρώτο τετρακύλινδρο, τετράχρονο κινητήρα.

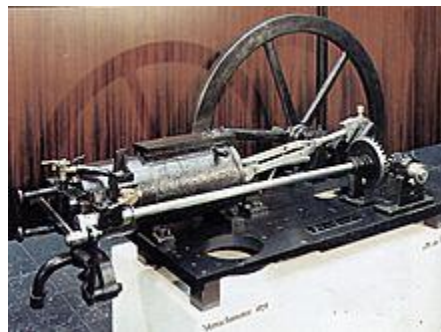
1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ NICOLAUS OTTO

Ένα από τα πιο σημαντικά ορόσημα στο σχεδιασμό του κινητήρα προέρχεται από Nicolaus August Otto ο οποίος το 1876 εφηύρε ένα αποτελεσματικό κινητήρα βενζίνης. Ο Otto κατασκεύασε το πρώτο πρακτικό τετράχρονο κινητήρα εσωτερικής καύσης που ονομάζεται "Otto Cycle Engine", και μόλις ολοκλήρωσε τη μηχανή του, την τοποθέτησε σε μια μοτοσυκλέτα. Οι συνεισφορές του Otto ήταν ιστορικά πολύ σημαντικές, καθώς ήταν ο τετράχρονος κινητήρας του, που είχε υιοθετήθηκε διεθνώς για όλα τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα από τότε και έπειτα. Ο Nicolaus Otto γεννήθηκε στις 14, Ιουνίου 1832 στο Holzhausen, στη Γερμανία. Η πρώτη του εργασία ήταν σαν πωλητής τσάι, καφέ και ζάχαρης. Σύντομα ανέπτυξε ένα ενδιαφέρον για τις νέες τεχνολογίες της εποχής και άρχισε να πειραματίζεται με την κατασκευή τετράχρονων κινητήρων (εμπνευσμένους από του δίχρονους βενζινοκινητήρες εσωτερικής καύσης του Lenoir). Μετά τη συνάντηση του με τον Eugen Langen, έναν τεχνικό και ιδιοκτήτη ενός εργοστασίου ζάχαρης, ο Otto εγκαταλείπει την εργασία του, και το 1864, το δίδυμο ξεκίνα τη πρώτη εταιρεία κατασκευής κινητήρων στον κόσμο, την N.A. Otto & Cie (τώρα DEUTZ AG, Köln). Το 1867, στο ζευγάρι απονεμήθηκε ένα χρυσό μετάλλιο στην Παγκόσμια Έκθεση του Παρισιού για τον ατμοσφαιρικό κινητήρα βενζίνης τους, που κατασκευάστηκε ένα χρόνο νωρίτερα.



Εικόνα 1: Ο Nicolaus Otto

Τον Μάιο του 1876, ο Nicolaus Otto κατασκεύασε το πρώτο πρακτικό τετράχρονο εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης. Συνέχισε να αναπτύσσει τον τετράχρονο κινητήρα του μετά το 1876 και θεώρησε το έργο του τελείωσε μετά την εφεύρεση του πρώτου συστήματος ηλεκτρομαγνητικής ανάφλεξης για την ανάφλεξη χαμηλής τάσης το 1884. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Όθωνα ανατράπηκε το 1886 υπέρ του διπλώματος ευρεσιτεχνίας που χορηγήθηκε στον Alphonse Beau de Roaches για το τετράχρονο κινητήρα του. Ωστόσο, ο Otto έχτισε μια μηχανή που λειτουργούσε, ενώ το σχέδιο του Roaches έμεινε στα χαρτιά. Στις 23 Οκτωβρίου, το 1877, ένα άλλο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα κινητήρα βενζίνης εκδόθηκε από τον Nicolaus Otto, και τους Francis και William Crossley.



Εικόνα 2: Ο τετράχρονος κινητήρας του Nicolaus Otto

1.3 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ KARL BENZ

Το 1885, ο γερμανικός μηχανικός, ο Karl Benz σχεδίασε και κατασκεύασε το πρώτο πρακτικό αυτοκίνητο στον κόσμο που τροφοδοτούταν από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Στις 29 Ιανουαρίου, 1886, ο Benz έλαβε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (DRP No 37435) για ένα αυτοκίνητο με καύσιμο την βενζίνη. Ήταν ένα τρίτροχο, ο Benz έχτισε το πρώτο τετράτροχο αυτοκίνητό του το 1891. Η εταιρία Benz & Cie, που ξεκίνησε από τον εφευρέτη, έγινε ο μεγαλύτερος κατασκευαστής αυτοκινήτων στον κόσμο των το 1900. Ο Benz ήταν ο πρώτος εφευρέτης που ενσωμάτωσε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης και σασί, σχεδιάζοντας και τα δύο μαζί.



Εικόνα 3: Ο Benz

Ο Karl Friedrich Benz γεννήθηκε το 1844 στο Baden Muehlburg, στη Γερμανία (τώρα μέρος της). Ήταν ο γιος οδηγού μηχανής. Ο Benz παρακολούθησε το Πολυτεχνείο της Καρλσρούης. Το 1871, ίδρυσε την πρώτη εταιρεία του με σύντροφό τον August Ritter, το Χυτήριο και Μηχανουργείο προμηθευτή οικοδομικών υλικών.

Ο Benz άρχισε τις εργασίες του σε ένα δίχρονο κινητήρα, με την ελπίδα να βρεί ένα νέο εισόδημα. Έλαβε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του το 1879. Το 1883, ίδρυσε την Benz & Company για την παραγωγή βιομηχανικών κινητήρων

στο Μανχάιμ της Γερμανίας. Στη συνέχεια άρχισε να σχεδιάζει μια αυτοκινούμενη άμαξα με κινητήρα, με τετράχρονο κινητήρα (με βάση το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Otto). Ο Benz σχεδίασε το κινητήρα του (958cc, 0.75hp) και το σώμα για το τρίκυκλο όχημα με ηλεκτρική ανάφλεξη, γρανάζια διαφορικού, και ψύξης με νερό. Το αυτοκίνητο εμφανίστηκε πρώτα στο Mannheim το 1885. Στις 29 Ιανουαρίου, 1886, χορηγήθηκε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το αυτοκίνητο που χρησιμοποιούσε βενζίνη ως καύσιμο (DRP 37435) και τον Ιούλιο, άρχισε η πώληση του αυτοκινήτου του στο κοινό. Το 1893, το Benz Velo έγινε το πρώτο στον κόσμο φθινό και μαζικής παράγωγής αυτοκίνητο.



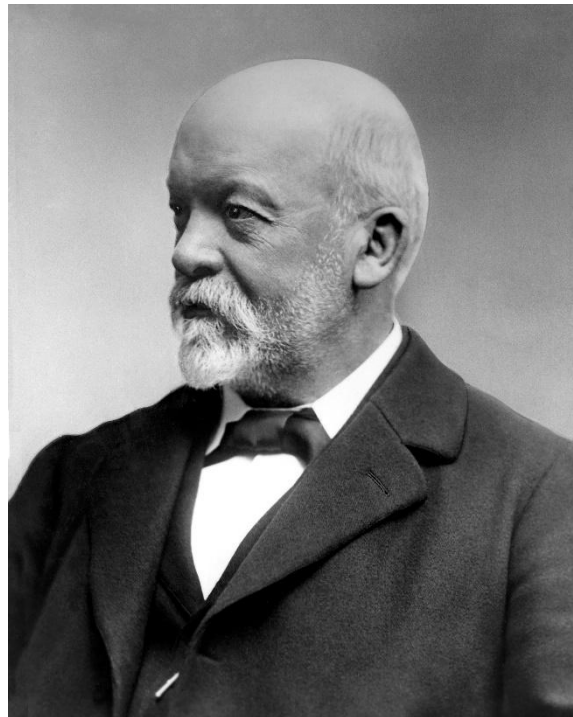
Εικόνα 4: Το Benz Velo

Το 1903, ο Karl Benz αποσύρθηκε από την Benz & Company, τα σχέδιά του ήταν ήδη ξεπερασμένα από τον Gottlieb Daimler. Υπηρέτησε ως μέλος του

εποπτικού συμβουλίου της Daimler-Benz AG από το 1926, όταν ιδρύθηκε η εταιρεία, μέχρι το θάνατό του.

1.4 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ GOTTLIEB DAIMLER

Το 1885, ο Gottlieb Daimler (μαζί με το συνεργάτη του Wilhelm Maybach) πήγε τη μηχανή εσωτερικής καύσης του Otto ένα βήμα περαιτέρω και το κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ότι αναγνωρίζεται γενικά ως το πρότυπο του σύγχρονου βενζινοκινητήρα.



Εικόνα 5: ο Gottlieb Daimler

Ο κινητήρας Daimler-Maybach 1885 ήταν μικρός, ελαφρύς, γρήγορος, χρησιμοποιούσε ένα καρμπυρατέρ έγχυσης βενζίνης, και είχε ένα κατακόρυφο κύλινδρο. Το μέγεθος, η ταχύτητα και η αποτελεσματικότητα της μηχανής επέτρεψε μια επανάσταση στο σχεδιασμό του αυτοκινήτου. Στις 8 Μαρτίου του 1886, ο Daimler πήρε μια ταχυδρομική άμαξα και την προσάρμοσε για να τοποθετηθεί η μηχανή του, σχεδιάζοντας με αυτόν τον τρόπο το πρώτο

τετράτροχο αυτοκίνητο στον κόσμο. Ο Daimler θεωρείται ο πρώτος εφευρέτης που έχει εφεύρει ένα πρακτικό κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Το 1889, ο Daimler επινόησε ένα τετράχρονο κινητήρα δύο κυλίνδρων σχήματος λοξού V, με βαλβίδες σχήμα μανιταριού. Ακριβώς όπως και στην μηχανή του 1876 του Otto, ο νέος κινητήρας του Daimler έθεσε τη βάση για όλους τους κινητήρες αυτοκινήτων και έπειτα. Επίσης το 1889, οι Daimler και Maybach έφτιαξαν το πρώτο τους αυτοκίνητο από το μηδέν, δεν προσάρμοσαν ένα όχημα άλλου σκοπού όπως γινόταν πάντα μέχρι τότε ώστε να φέρει κινητήρα. Η σύνδεση του Daimler και του Otto ήταν άμεση. Ο Daimler εργάστηκε ως τεχνικός διευθυντής της Deutz Gasmotorenfabrik, η οποία ήταν συνιδιοκτησία του Nikolaus Otto το 1872. Υπάρχει κάποια διαμάχη ως προς το ποιος έχτισε την πρώτη μοτοσυκλέτα ο Otto ή ο Daimler. Το νέο αυτοκίνητο του Daimler είχε μια μετάδοση τεσσάρων ταχυτήτων και ταχύτητες των 10 mph. Ο άνθρωπος που πιστώνεται ευρέως ως ο πρωτοπόρος της σύγχρονης αυτοκινητοβιομηχανίας προφανώς δεν ήθελε να οδηγεί και μπορεί ποτέ να μην οδήγησε. Σίγουρα ο Gottlieb Daimler ήταν επιβάτης το 1899 σε ένα τραχύ, κακό ταξίδι με δύσκολες καιρικές συνθήκες που επιτάχυνε τη κατάσταση της υγείας του και συνέβαλε στο θάνατό την άνοιξη του έτους αυτού. Ο Daimler, πρωτοπόρος του σύγχρονου κινητήρα εσωτερικής καύσης, ήταν ένας εργασιομανής πριν εφευρεθεί καν ο όρος. Ένας αδυσώπητος τελειομανής, ο ίδιος και οι συνάδελφοί μπορεί να μην εφηύραν τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, αλλά αυτός σίγουρα τον βελτίωσε. Με το συνεργάτη του Wilhelm Maybach, έφτιαξαν κινητήρες μικρούς, ελαφρύς και πολύστροφους, που κατέστησαν δυνατή την επανάσταση της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ο Daimler ήταν ένας κοσμοπολίτικος άνθρωπος, με καθοριστικό ρόλο στην ίδρυση βιομηχανιών αυτοκινήτων στη Γερμανία, τη Γαλλία και την Αγγλία.



Εικόνα 6: Η μοτοσυκλέτα του Daimler

Βασικές ικανότητες του ήταν οι μηχανές, και δεν τον ένοιαζε αν ήταν για να τροφοδοτούν αυτοκίνητα, σκάφη, τραμ, αντλίες ή αεροσκάφη. Ο Daimler γεννήθηκε στην Schomdorf, στη Γερμανία το 1834. Νωρίς στη μηχανική καριέρα του, ήταν πεπεισμένος ότι οι ατμομηχανές ήταν μια ξεπερασμένη μορφή παραγωγής ενέργειας, και άρχισε την κατασκευή πειραματικών κινητήρων βενζίνης. Ο ίδιος ήταν δύσκολος άνθρωπος και άφησε μια σειρά τεχνικών εταιρειών, επειδή δεν μοιράζονταν το όραμά του ή την ηθική εργασία του.

Σε μία από αυτές συνάντησε τον Maybach, έναν άνθρωπο που τον κατανοούσε. Ο Maybach έγινε ο συνεργάτης του, αχώριστος σύντροφος και αδελφή ψυχή της μηχανικής. Το 1872, ο Daimler εργάστηκε ως τεχνικός διευθυντής της Deutz Gasmotorenfabrik, όπου συνιδιοκτήτης ήταν ο Nikolaus Otto, ένας πρωτοπόρος του τετράχρονου κινητήρα. Ο Daimler συγκεντρώσε μια ομάδα από τους καλύτερους ανθρώπους από όλα τα καταστήματα που είχε εργαστεί στο παρελθόν με τον Maybach στην κορυφή. Επέμεινε στη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και καθιέρωσε ένα σύστημα ελέγχων. Από το 1874, κατασκεύαζε δύο κινητήρες την ημέρα, αλλά ο Daimler ήταν ανικανοποίητος. Ήθελε να δαπανήσει περισσότερα για την έρευνα και την ανάπτυξη, ενώ ο Otto ήθελε να παράγουν περισσότερες μηχανές. Ο Daimler έφυγε. Στο Cannstatt, ο ίδιος και ο Maybach κατοχύρωσαν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το τετράχρονο κινητήρα τους το 1885. Την ίδια χρονιά, δημιούργησαν αυτό που ήταν πιθανώς η πρώτη μοτοσυκλέτα στον κόσμο από το ζευγάρι μιας μηχανής Daimler με ένα ποδήλατο. Το 1886, προσάρμοσαν μια μηχανή σε μια άμαξα. Το 1889, έκαναν σκοπό τους τη παραγωγή αυτοκινήτων και ίδρυσαν την Daimler Motoren Gesellschaft. Δέκα χρόνια αργότερα, ο Maybach σχεδίασε το πρώτο αυτοκίνητο

που ονομάζεται Mercedes, από την κόρη του. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο Daimler πείστηκε από μια ομάδα επενδυτών να αναλάβουν την εταιρεία του. Κατέλαβαν τον έλεγχο της πλειοψηφίας και τελικά τον εκβίασαν στη πώληση των ιδίων του των μετοχών του.

1.5 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ HENRY FORD (1863-1947)

Ο κατασκευαστής αυτοκινήτων Henry Ford γεννήθηκε στις 30 Ιουλίου, 1863, στο αγρόκτημα της οικογένειάς του στο Dearborn, του Μίσιγκαν. Από την εποχή που ήταν ένα νεαρό αγόρι, ο Ford απολάμβανε να ασχολείται μηχανές. Οι γεωργικές εργασίες και μια δουλειά σε ένα μηχανουργείο του Ντιτρόιτ του έδωσαν άφθονες ευκαιρίες για να πειραματιστεί. Αργότερα εργάστηκε ως μερικής απασχόλησης εργαζόμενος για την Εταιρεία κινητήρων Westinghouse.



Εικόνα 7: Ο Ford

Από το 1896, ο Ford είχε κατασκευάσει το πρώτο χωρίς άλογα όχημα μεταφοράς του, το οποίο πούλησε, προκειμένου να χρηματοδοτήσει τις εργασίες για ένα βελτιωμένο μοντέλο. Ο Ford δημιούργησε την Ford Motor Company το

1903, διακηρύσσοντας, «θα χτίσω αυτοκίνητα για το κοινό». Τον Οκτώβριο του 1908 το έκανε, προσφέροντας το Model T για \$ 950. Σε δεκαεννέα χρόνια της παραγωγής του Model T, την τιμή του βυθίστηκε τόσο χαμηλά στα \$ 280. Σχεδόν 15.500.000 πωλήθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες μόνο. Το Model T προαναγγέλλει την έναρξη της εποχής της μηχανοκίνησης. Το αυτοκίνητο εξελίχθηκε από είδος πολυτελείας για την στην ουσιαστική υποδομή μεταφοράς για τον απλό άνθρωπο.



Εικόνα 8: Το Ford Model T

Ο Ford έφερε επανάσταση στην παραγωγή. Από το 1914, στο εργοστάσιο Highland Park του Michigan, χρησιμοποιώντας καινοτόμες τεχνικές παραγωγής, μπορούσε να κατασκευάσει ένα πλήρες σασί κάθε 93 λεπτά. Αυτή ήταν μια εκπληκτική βελτίωση σε σχέση με το προγενέστερο χρόνο παραγωγής που ήταν 728 λεπτά. Χρησιμοποιώντας μια συνεχώς μεταβαλλόμενη γραμμή συναρμολόγησης, υποδιαίρεση της εργασίας, και προσεκτικό συντονισμό των εργασιών, ο Ford πραγματοποίησε τεράστια κέρδη σε παραγωγικότητα. Το 1914, ο Ford άρχισε να πληρώνει τους εργαζομένους του πέντε δολάρια την ημέρα, σχεδόν διπλασιασμός των μισθών που προσφέρονταν από άλλους κατασκευαστές. Έκοψε τη εργάσιμη ημέρα από 9 σε 8 ώρες για να μετατρέψει μια εργάσιμη ημέρα στο εργοστάσιο σε τρεις βάρδιες. Οι τεχνικές μαζικής παραγωγής του Ford θα επιτρέψουν τελικά για την κατασκευή ενός Model T κάθε 24 δευτερόλεπτα. Οι καινοτομίες του τον έκαναν μια διεθνής προσωπικότητα. Το Model T αμετάκλητα άλλαξε την αμερικανική κοινωνία. Καθώς όλο και

περισσότεροι Αμερικανοί κατείχαν αυτοκίνητα, το μοντέλο της αστικοποίησης αλλάζει. Οι Ηνωμένες Πολιτείες είδαν την ανάπτυξη των προαστίων, τη δημιουργία ενός εθνικού συστήματος αυτοκινητόδρομων, και έναν πληθυσμό να μαγεύεται με την πιθανότητα να πάει οπουδήποτε, οποιαδήποτε στιγμή. Ο Ford είδε πολλές από αυτές τις αλλαγές κατά τη διάρκεια της ζωής του, ενώ όλο αυτό το διάστημα προσωπικά λαχταρούσε την αγροτική ζωή της νιότης του.

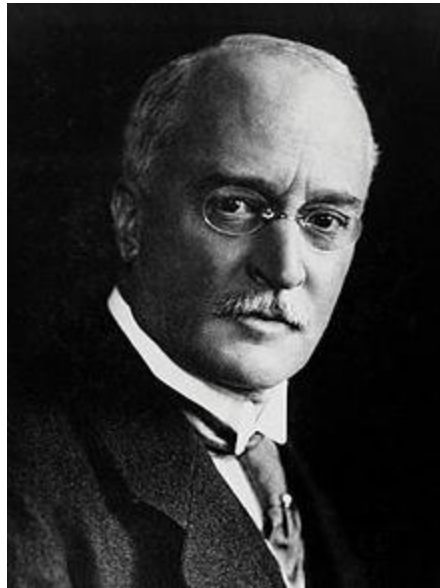
Στα χρόνια πριν από το θάνατό του, στις 7 Απριλίου, 1947, ο Ford έγινε χορηγός την αποκατάσταση στην ειδυλλιακή αγροτική πόλη που ονομάζεται Greenfield Village. Ο Henry Ford κατέστησε δυνατό για το μέσο άτομο να αγοράσει ένα αυτοκίνητο. Με την οικοδόμηση μιας κινούμενης γραμμής συναρμολόγησης στο εργοστάσιο στο Highland Park, Michigan, ο Ford ήταν σε θέση να αυξήσει την παραγωγή του Model T, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος ανά μονάδα δραματικά.

Η Ford Motor Co. δεν ιδρύθηκε μέχρι το 1903, όταν ήταν 40. Το επαναστατικό Model T δεν εισήχθη μέχρι 1908. Αλλά το πρώτο αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε - το "τετράτροχο" το 1896 έδειξαν σημάδια από το απόλυτο μεγαλείο του "Αυτό που ήταν χαρακτηριστικό για το τετράτροχο", έγραψε ο ιστορικός John Rae, "ήταν ότι ήταν το ελαφρύτερο από τα πρωτοπόρα αμερικανικά αυτοκίνητα βενζίνης και μπορεί να υποδεικνύει ότι η Ford είχε ήδη σκεφτεί ένα αυτοκίνητο για το πλήθος". Η Ford δεν ήταν η μόνη αυτοκινητοβιομηχανία πρωτοπόρος με την ιδέα να οικοδομήσει μια χαμηλή τιμή του αυτοκινήτου. Αλλά διέφερε από τους συγχρόνους της σε ένα σημαντικό τρόπο. Οι υπόλοιποι σχεδίαζαν αυτοκίνητα που θα μπορούσαν να κατασκευαστούν φτηνά. Το αποτέλεσμα είναι ελαφριά buggies που δεν άντεχαν στη σκληρή χρήση. Ο Ford σκέφτηκε ότι η πρώτη προϋπόθεση ήταν να καθορίσει τις ιδιότητες που ένα καθολικό αυτοκίνητο πρέπει να διαθέτει και να το σχεδιάσει αναλόγως. Ο Ford σύντομα συνειδητοποίησε ότι το Model T θα έλκυε κάτι περισσότερο από τους Αμερικανούς. Ένα εργοστάσιο στο Μάντσεστερ, Αγγλία, άρχισε να κάνει Model Ts το 1911. Το 1912, ο Ford ταξίδεψε στην Αγγλία για να μιλήσει με τον Percival Perry για το σχηματισμό μιας αγγλικής εταιρείας. Ο Ford δημιούργησε επίσης και εργοστάσια αυτοκινήτων στη Γαλλία, την Ιταλία και τη Γερμανία.

Το 1928, η Ford Βρετανίας σχηματίστηκε. Ο Ford, επίσης, έθεσε προσωπικά τον ακρογωνιαίο λίθο για το εργοστάσιο της Ford στην Κολωνία το 1930.

1.6 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ RUDOLF DIESEL

Ο Rudolf Diesel γεννήθηκε στο Παρίσι το 1858. Οι γονείς του ήταν Βαυαροί μετανάστες. Ο Rudolf Diesel ήταν εκπαιδευμένος στο Πολυτεχνείο του Μονάχου. Μετά την αποφοίτησή του εργάστηκε ως μηχανικός ψυγείων. Ωστόσο, η αληθινή του αγάπη ήταν στο σχεδιασμό κινητήρων. Ο Rudolf Diesel είχε σχεδιάσει πολλές θερμικές μηχανές, συμπεριλαμβανομένου ενός ηλιακού κινητήρα αέρα. Το 1893, δημοσίευσε ένα έγγραφο που περιγράφει ένα κινητήρα με καύση μέσα σε ένα κύλινδρο, τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το 1894, ο ίδιος κατέθεσε αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας για τη νέα εφεύρεσή του, που ονομάστηκε ο κινητήρας ντίζελ. Ο Rudolf Diesel σχεδόν σκοτώθηκε από τη μηχανή του, όταν εξερράγη. Ωστόσο, ο κινητήρας του ήταν ο πρώτος που απέδειξε ότι τα καύσιμα που θα μπορούσαν να αναφλεγούν χωρίς σπινθήρα.

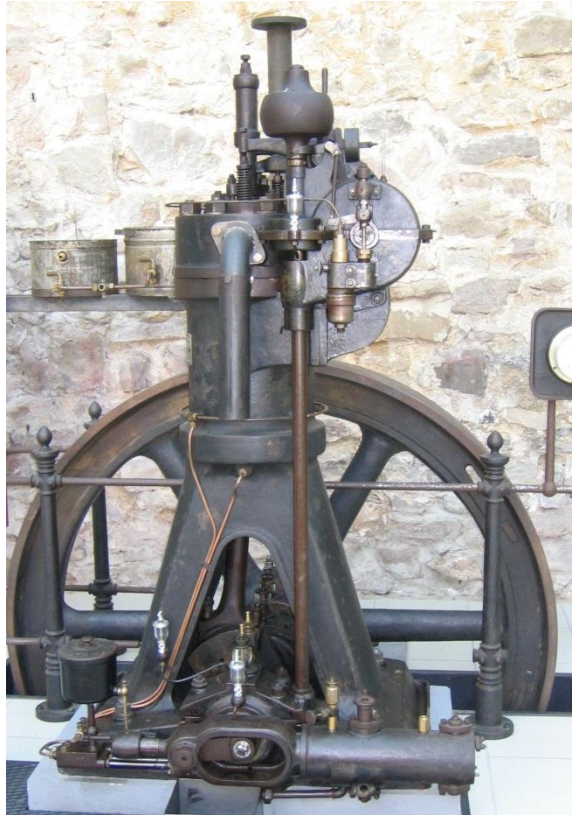


Εικόνα 9: Ο Rudolf Diesel

Λειτουργησε το πρώτο επιτυχημένο κινητήρα του το 1897. Το 1898, στον Rudolf Diesel χορηγήθηκε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας # 608845 για μια "μηχανή εσωτερικής καύσης" τον πετρελαιοκινητήρα Diesel. Ο κινητήρας του σήμερα είναι εκλεπτυσμένος και βελτιωμένες εκδόσεις της αρχικής του ιδέας. Χρησιμοποιούνται συχνά σε υποβρύχια, πλοία, μηχανές και μεγάλα φορτηγά και στα ηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Παρόλο που είναι καλύτερα γνωστός για την εφεύρεση του, την θερμική μηχανή ανάφλεξης με συμπύεση που φέρει το όνομά του, ο Rudolf Diesel ήταν επίσης ένας σεβαστός θερμικός μηχανικός και κοινωνικός θεωρητικός.

Οι εφευρέσεις του Rudolf Diesel έχουν τρία κοινά σημεία: Αφορούν σε μεταφορά θερμότητας από φυσικές μεθόδους ή νόμους, συνεπάγονται σημαντικά με το δημιουργικό μηχανικό σχεδιασμό, και είχαν υποκινηθεί από την ιδέα του εφευρέτη για τις κοινωνιολογικές ανάγκες. Ο Rudolf Diesel αρχικά συνέλαβε τον πετρελαιοκινητήρα ώστε να επιτρέψει σε ανεξάρτητες βιοτέχνιες και τεχνίτες να ανταγωνιστούν τις μεγάλες βιομηχανίες. Στο Άουγκσμπουργκ, στις 10 Αυγούστου, 1893, το κύριο μοντέλο του Rudolf Diesel, ένας ενιαίος κύλινδρος 10 ποδών με βολάν στη βάση του, έτρεξε με την δική του ισχύ για πρώτη φορά. Ο Rudolf Diesel πέρασε δύο ακόμη χρόνια κάνοντας βελτιώσεις και το 1896 κατέδειξε ένα ακόμα μοντέλο με τη θεωρητική απόδοση του 75 τοις εκατό, σε αντίθεση με το δέκα τοις εκατό της αποδοτικότητας της ατμομηχανής. Από το 1898, ο Rudolf Diesel ήταν εκατομμυριούχος. Οι μηχανές του χρησιμοποιήθηκαν για τους αγωγούς τροφοδοσίας, εργοστάσια ηλεκτρικού και νερού, αυτοκίνητα και φορηγά, και θαλάσσια σκάφη, και αμέσως μετά χρησιμοποιήθηκαν στα ορυχεία, πετρελαιοπηγές, στα εργοστάσια, και την υπερωκεάνια ναυτιλία.

Έστησε ένα εργαστήριο στο Παρίσι το 1885, και πήρε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1892. Τον Αύγουστο του 1893 πήγε στο Augsburg της Γερμανίας, όπου έδειξε το πρόδρομο του MAN AG (Maschinenfabrik Augsburg-Nuerenberg) έναν τριών μέτρων μήκους κύλινδρο σιδήρου με ένα έμβολο να οδηγεί ένα σφόνδυλο. Ήταν μια οικονομική θερμοδυναμική μηχανή για να αντικαταστήσει τον κινητήρα ατμού. Ο Diesel τον αποκάλεσε ατμοσφαιρικό κινητήρα βενζίνης, αλλά το όνομα δεν έπιασε. Την παραμονή της Πρωτοχρονιάς του 1896 ο ίδιος περήφανα εμφανίζει μια μηχανή που είχε μια θεωρητική απόδοση των 75,6 τοις εκατό.



Εικόνα 10: Ο κινητήρας MAN AG

Η αυτό ανάφλεξη στις μηχανές ήταν μια αίσθηση του απερχόμενου αιώνα, αν και το όνειρο του Rudolf Diesel να επιτρέψει σε μικρές εταιρίες να αντέξουν τη δύναμη της μεγάλης βιομηχανίας δεν ωριμάσαν. Αντ' αυτού, η μεγάλη βιομηχανία γρήγορα πήρε την ιδέα του ντίζελ, που έγινε πολύ πλούσιος με ποσοστά. Από όλο τον κόσμο χρήματα έρεαν σε αυτόν καθώς οι μηχανές του έγιναν το πρότυπο.

Ο MAN ήταν ο πρώτος, και το 1924, ένα φορτηγό MAN έγινε το πρώτο όχημα που τον χρησιμοποίησε. Ταυτόχρονα η Benz & Cie στη Γερμανία παρουσίασε επίσης ένα φορτηγό ντίζελ, αλλά ο Benz χρησιμοποίησε τον θάλαμο ανάμιξης που ο Daimler-Benz που εφεύρε στη δεκαετία του 1900. Το πρώτο diesel Mercedes-Benz βγήκε στο δρόμο το 1936.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Υπάρχουν δύο κύριοι θερμοδυναμικοί κύκλοι που χρησιμοποιούνται σε μηχανές εσωτερικής καύσης: ο Otto και ο Diesel. Ο κύκλος Otto ονομάζεται από τον Nikolaus Otto (1832 - 1891) ο οποίος ανέπτυξε ένα τεσσάρων χρόνων κινητήρα το 1876. Λέγεται επίσης κινητήρας ανάφλεξης με σπινθήρα (SI), δεδομένου ότι μια σπίθα απαιτείται για να αναφλέγει το μίγμα καυσίμου-αέρα. Ο κινητήρας του κύκλου Diesel είναι επίσης γνωστός ως κινητήρας ανάφλεξης με συμπίεση (CI), αφού το καύσιμο υπόκειται σε αυτόματη ανάφλεξη όταν εγχέεται στο θάλαμο καύσης. Οι κύκλοι Otto και Diesel λειτουργούν είτε σε δίχρονες είτε σε τετράχρονες μηχανές.

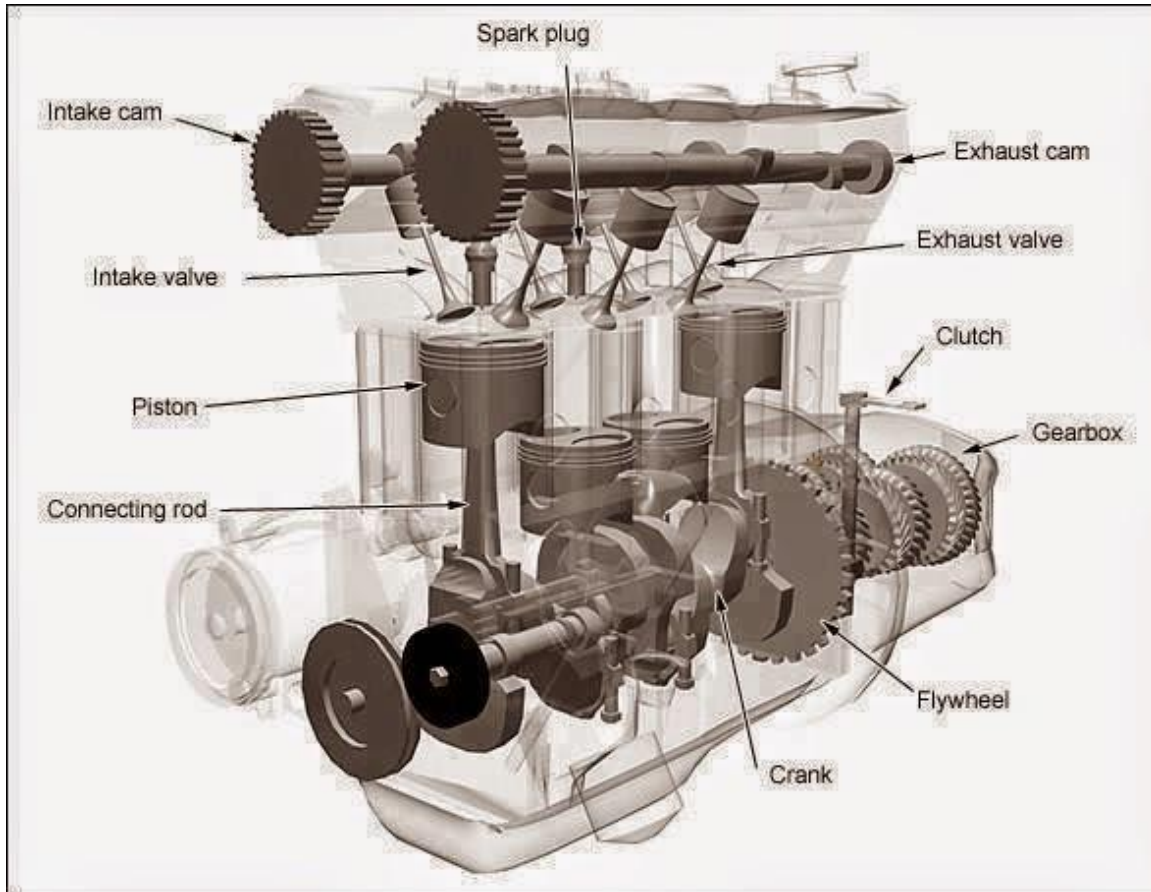
Από την αρχική εφεύρεση της μηχανής εσωτερικής καύσης πολλές γεωμετρικές εμβόλων και κυλίνδρων έχουν σχεδιαστεί. Η επιλογή μιας δεδομένης διάταξης εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων και περιορισμών, όπως η ζυγοστάθμιση του κινητήρα και ο διαθέσιμος όγκος:

- Σε σειρά
- Αντικριστά οριζόντια
- Ακτινικά
- Σχήματος V

2.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Οι κινητήρες με τέσσερις κυλίνδρους σε σειρά ή straight-four κινητήρες είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσης με τέσσερις κυλίνδρους τοποθετημένους σε μια ευθεία γραμμή, ή σε επίπεδο κατά μήκος του στροφαλοθαλάμου. Η ενιαία τράπεζα κυλίνδρων μπορεί να είναι προσανατολισμένη είτε σε κατακόρυφο ή ένα κεκλιμένο επίπεδο με όλα τα έμβολα να οδηγούν ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Όταν είναι υπό κλίση, μερικές φορές ονομάζεται slant four. Σε ένα

γράφημα προδιαγραφών ή όταν χρησιμοποιείται μια συντομογραφία, ένας κινητήρας τέτοιου τύπου αναφέρεται ως I4 ή L4.



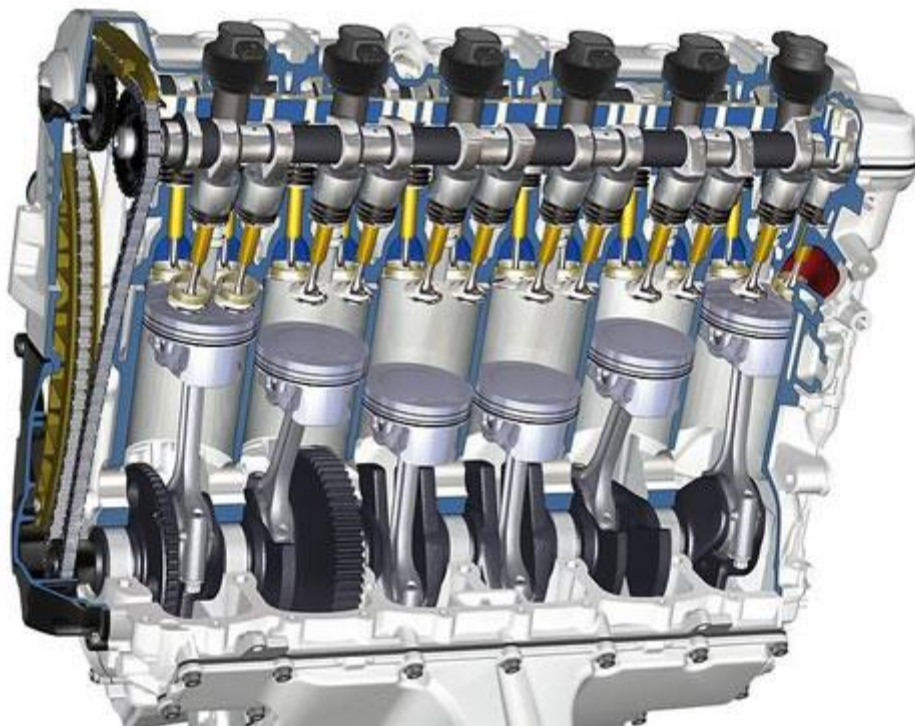
Εικόνα 11: Διάταξη 4 κυλίνδρων εν σειρά

Η διάταξη αυτή είναι σε τέλειο πρωτογενές ισοζυγίο και παρέχει ένα βαθμό μηχανικής απλότητας που το καθιστά δημοφιλές για αυτοκίνητα. Ωστόσο, παρά την απλότητά του, πάσχει από μια δευτερεύουσα ανισορροπία που προκαλεί μικρές δονήσεις σε μικρότερες μηχανές. Αυτές οι δονήσεις γίνονται χειρότερες, καθώς το μέγεθος του κινητήρα και η ισχύς αυξάνονται, τόσο που για πιο ισχυρούς κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερα αυτοκίνητα αυτοί γενικά είναι πιο πολύπλοκα σχέδια με περισσότερους από τέσσερις κυλίνδρους.

Σήμερα, σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές των τετρακύλινδρων κινητήρων για αυτοκίνητα παράγουν τη τετρακύλινδρη σε σειρά διάταξη, με την επίπεδη διάταξη τεσσάρων κυλίνδρων της Subaru να είναι μια αξιοσημείωτη εξαίρεση, και έτσι ο ορισμός τετρακύλινδρος είναι ευρύτερα χρησιμοποιούμενος όρος από τον

τετρακύλινδρο σε σειρά. Οι τέσσερις κύλινδροι σε σειρά είναι η πιο κοινή διαμόρφωση του κινητήρα στα σύγχρονα αυτοκίνητα, ενώ ο V6 είναι ο δεύτερος πιο δημοφιλής. Στα τέλη της δεκαετίας του 2000, με τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να καταβάλλουν προσπάθειες για την αύξηση της αποδοτικότητας των καυσίμων και τη μείωση των εκπομπών, λόγω της υψηλής τιμής του πετρελαίου και της οικονομικής ύφεσης, το ποσοστό των νέων οχημάτων με τετρακύλινδρους κινητήρες έχει αυξηθεί από 30 τοις εκατό έως 47 τοις εκατό μεταξύ 2005 και 2008, ιδιαίτερα σε οχήματα μεσαίου μεγέθους όπου μια μείωση του αριθμού των αγοραστών έχουν επιλέξει την επιλογή V6.

Συνήθως απαντώνται σε διαμορφώσεις τεσσάρων και έξι κυλίνδρων, ο κινητήρας εν σειρά είναι ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης με όλους τους κυλίνδρους ευθυγραμμισμένους σε μια σειρά, χωρίς μετατόπιση.



Εικόνα 12: Διάταξη 6 κυλίνδρων εν σειρά

Ένας κινητήρας εν σειρά είναι πολύ ευκολότερο να παραχθεί από αντίστοιχους ισοδύναμους οριζοντίως αντίθετους ή V-κινητήρες, διότι τόσο η τράπεζα του κυλίνδρου και του στροφαλοφόρου μπορεί να προκύψει από μια μόνο χύτευση, και απαιτεί λιγότερες κυλινδροκεφαλές και εκκεντροφόρους. Οι εν

σειρά κινητήρες είναι επίσης μικρότεροι σε φυσικές διαστάσεις από άλλα σχέδια, όπως οι ακτινικοί, και μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η εν σειρά διαμόρφωση είναι απλούστερη από τους ομολόγους της σε σχήμα V. Έχει ένα έδρανο στήριξης μεταξύ κάθε εμβόλου σε σύγκριση με τους επίπεδους και V κινητήρες που έχουν έδρανα στήριξης μεταξύ κάθε δύο εμβόλων. Αν και οι εξακύλινδροι κινητήρες είναι εγγενώς ισορροπημένοι τα τετρακύλινδρα μοντέλα είναι εγγενώς μη ισορροπημένα και τραχιά, σε αντίθεση με τετρακύλινδρους σε 90 μοίρες και οριζοντίως αντίθετους "μπόξερ" 4 κυλίνδρους.

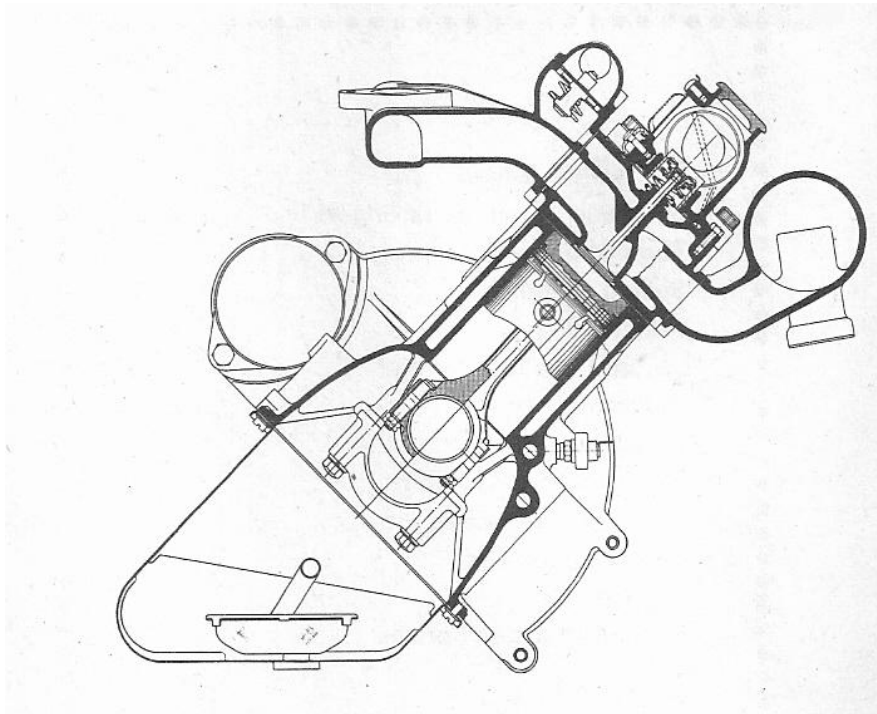
Μια κανονικής έναυσης μηχανή τεσσάρων σε σειρά κυλίνδρων είναι σε πρωτογενές ισοζύγιο επειδή τα έμβολα κινούνται σε ζεύγη, και ένα ζεύγος εμβόλων κινείται πάντα επάνω συγχρόνως με το άλλο ζεύγος που κινείται προς τα κάτω. Ωστόσο, η επιτάχυνση και επιβράδυνση του εμβόλου είναι μεγαλύτερες στο άνω ήμισυ της περιστροφής του στροφαλοφόρου σε σχέση με το κάτω μισό, επειδή οι μπιέλες δεν είναι απείρως μεγάλες, με αποτέλεσμα μια μη ημιτονοειδή κίνηση. Ως αποτέλεσμα, δύο έμβολα πάντα επιταχύνονται ταχύτερα σε μία κατεύθυνση, ενώ για τα άλλα δύο η επιτάχυνση είναι πιο αργή προς την άλλη κατεύθυνση, η οποία οδηγεί σε μια δευτερεύουσα δυναμική ανισορροπία που προκαλεί πάνω-κάτω δόνηση στο διπλάσιο της ταχύτητας του στροφαλοφόρου άξονα. Αυτή η ανισορροπία είναι ανεκτή σε ένα μικρό κινητήρα, χαμηλής μετατόπισης ή διαμόρφωσης χαμηλής ισχύος, αλλά οι δονήσεις τείνουν να επιδεινωθούν με την αύξηση του μεγέθους και της ισχύος.

Ο λόγος για την υψηλότερη ταχύτητα του εμβόλου κατά την περιστροφή 180 ° από τα μέσα του κύκλου στο επάνω νεκρό σημείο, και πίσω στην μέση της διαδρομής, είναι ότι η μικρότερη συμβολή του εμβόλου στη πάνω - κάτω κίνηση από την αλλαγή της γωνίας της μπιέλας, έχει την ίδια κατεύθυνση με την σημαντική συμβολή στην επάνω κίνηση του εμβόλου από την κίνηση του πείρου του στροφάλου. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της περιστροφής 180 ° από τα μέσα του κύκλου στο κάτω νεκρό σημείο, και πίσω στην μέση της διαδρομής, η μικρότερη συμβολή του εμβόλου στην κίνηση από την αλλαγή της γωνίας της μπιέλας έχει την αντίθετη κατεύθυνση της σημαντικής συμβολής του εμβόλου στη κίνηση από τη κίνηση του πείρου στροφάλου.

Οι κινητήρες αυτοί έχουν επίσης ένα πρόβλημα ομαλότητας λόγω του ότι οι χρόνοι ισχύος των εμβόλων δεν συμπίπτουν. Με τέσσερις κυλίνδρους και τέσσερις κύκλους ισχύος για να ολοκληρωθεί ο κύκλος στους τετράχρονους κινητήρες, κάθε έμβολο πρέπει να ολοκληρώσει το κύκλο ισχύος του και να έρθει σε μια πλήρη στάση πριν το επόμενο έμβολο μπορεί να ξεκινήσει ένα κύκλο ισχύος, με αποτέλεσμα μια παύση ανάμεσα σε κάθε κύκλο ισχύος και μια παλλόμενη μετάδοση ισχύος. Σε κινητήρες με περισσότερους κυλίνδρους, οι κινήσεις ισχύος συμπίπτουν, κάτι που τους δίνει μια ομαλότερη μετάδοση της

ισχύος και λιγότερους κραδασμούς. Ως αποτέλεσμα, οι κινητήρες έξι και οκτώ κυλίνδρων χρησιμοποιούνται γενικά σε πιο πολυτελή και ακριβά αυτοκίνητα.

Όταν ένας εν σειρά κινητήρας είναι τοποθετημένος σε γωνία με την κατακόρυφο που ονομάζεται κεκλιμένη μηχανή. Η μηχανή αυτού του τύπου της Chrysler 6 κυλίνδρων χρησιμοποιήθηκε σε πολλά μοντέλα στη δεκαετία του 1960 και του 1970. Η Honda, επίσης, συχνά τοποθετεί τους εν σειρά τετρακύλινδρους και εξακύλινδρους κινητήρες της σε κλίση, όπως στο Honda S2000 και Acura Vigor. Η SAAB χρησιμοποίησε για πρώτη φορά ένα εν σειρά τετρακύλινδρο κινητήρα σε κλίση στις 45 μοίρες για την Saab 99, αλλά οι νεότερες εκδόσεις του κινητήρα ήταν λιγότερο κεκλιμένες.



Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση slant κινητήρα

Δύο βασικοί παράγοντες οδήγησαν στην πρόσφατη πτώση των εξακύλινδρων εν σειρά σε εφαρμογές αυτοκίνησης. Κατ' αρχάς, οι άξονες εξισορρόπησης Lanchester, μια παλιά ιδέα που εισήχθη εκ νέου από τη Mitsubishi στη δεκαετία του 1980 για να ξεπεραστεί η φυσική ανισορροπία του εν σειρά τετρακύλινδρου κινητήρα και γρήγορα υιοθετήθηκε από πολλούς άλλους κατασκευαστές, έχουν κάνει τόσο τον εν σειρά τετρακύλινδρο όσο και τον κινητήρα V6 ομαλότερης λειτουργίας. Η μεγαλύτερη ομαλότητα της διάταξης έξι κυλίνδρων σε σειρά δεν είναι πλέον πλεονέκτημα. Δεύτερον, η κατανάλωση

καυσίμου έγινε πιο σημαντική, καθώς τα αυτοκίνητα έγιναν μικρότερα και απαιτείται να είναι πιο αποδοτικά. Ο κόλπος του κινητήρα ενός σύγχρονου μικρού ή μεσαίου αυτοκινήτου, συνήθως είναι σχεδιασμένος για έναν εν σειρά τετρακύλινδρο, και συχνά δεν έχει χώρο για έναν εν σειρά εξακύλινδρο, αλλά μπορεί να χωρέσει ένα V6 με μικρές μόνο τροποποιήσεις.

Οι εν σειρά εξακύλινδροι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε ορισμένα μοντέλα της BMW, από τη Ford στην Αυστραλία, τη Chevrolet, τη GMC, τη Toyota, τη Suzuki και τη Volvo Cars.

2.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΝΤΙΚΡΙΣΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ

Ένας κινητήρας με τους κυλίνδρους του οριζοντίως αντίθετους είναι μια μηχανή στην οποία οι δύο κεφαλές των κυλίνδρων βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές του στροφαλοφόρου άξονα, με αποτέλεσμα ένα επίπεδο προφίλ. Η Subaru και η Porsche είναι δύο αυτοκινητοβιομηχανίες που χρησιμοποιούν οριζοντίως αντίθετους κινητήρες στα οχήματά τους.

Οι οριζοντίως αντίθετοι κινητήρες προσφέρουν ένα χαμηλό κέντρο βάρους και ως εκ τούτου μια διαμόρφωση κίνησης με καλύτερη σταθερότητα και έλεγχο. Επίσης, είναι πιο φαρδιοί από ό,τι άλλες διαμορφώσεις κινητήρα, παρουσιάζοντας επιπλοκές με την τοποθέτηση του κινητήρα στο χώρο του κινητήρα ενός αυτοκινήτου που έχει το κινητήρα μπροστά. Αυτό το είδος της μηχανής είναι διαδεδομένη στην παραγωγή αεροσκαφών.

Τυπικά, η διάταξη αυτή έχει κυλίνδρους που διατάσσονται σε δύο τράπεζες στην κάθε πλευρά του ενιαίου στροφαλοφόρου και είναι γενικά γνωστή ως μπόξερ.

Οι μπόξερ πήραν το όνομά τους επειδή κάθε ζευγάρι εμβόλων κινείται ταυτόχρονα μέσα και έξω, και όχι εναλλάξ, όπως ο μπόξερ που δείχνει ότι είναι έτοιμος συγκρούοντας τα γάντια του ενάντια του άλλου πριν από έναν αγώνα. Οι κινητήρες μπόξερ έχουν έως οκτώ κυλίνδρους και έχουν αποδειχθεί άκρως επιτυχημένοι σε αυτοκίνητα και με έως και έξι κυλίνδρους σε μοτοσικλές και εξακολουθούν να είναι δημοφιλή για κινητήρες σε ελαφρά αεροσκάφη.



Εικόνα 14: Τυπικός κινητήρας μπόξερ

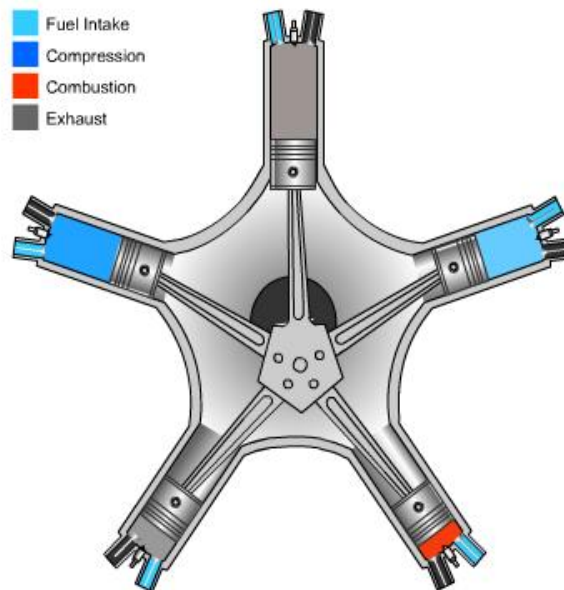
Οι μπόξερ είναι μια από τις μόλις τρεις διατάξεις κυλίνδρων που έχουν μια φυσική δυναμική ισορροπία. Οι άλλοι δύο είναι η εν σειρά εξακύλινδροι και οι V12. Οι κινητήρες μπορεί να λειτουργήσουν πολύ ομαλά και χωρίς ανισορροπία δυνάμεων με ένα τετράχρονο κύκλο και δεν απαιτούν άξονα ισορροπίας ή αντίβαρα στο στροφαλοφόρο άξονα για να ισορροπήσουν το βάρος των παλινδρομικών τμημάτων, τα οποία απαιτούνται σε άλλες συνθέσεις κινητήρων. Ωστόσο, στην περίπτωση των κινητήρων μπόξερ με λιγότερους από έξι κυλίνδρους, οι ασύμμετρες ροπές (ροπή παλινδρομική επίσης γνωστή ως "λικνιζόμενο ζεύγος") είναι αναπόφευκτες, λόγω του ότι τα αντίθετα έμβολα δεν είναι ευθυγραμμισμένα.

Οι μπόξερ κινητήρες (και οι επίπεδες μηχανές γενικά) τείνουν να είναι πιο θορυβώδεις από ό, τι άλλες κοινές μηχανές τόσο για εγγενείς όσο και για άλλους λόγους, καθώς η κίνηση των βαλβίδων δεν αποσβένεται από άλλα εξαρτήματα. Οι μπόξερ δεν χρειάζονται βαρίδια ζυγοστάθμισης στον άξονα του κινητήρα, που άρα θα πρέπει να είναι ελαφρύτερος και να επιταχύνει πιο γρήγορα από τα αλλά αυτοκίνητα, αλλά στην πράξη, χρειάζονται ένα σφόνδυλο που να λειτουργεί ομαλά σε χαμηλές ταχύτητες και αυτό ακυρώνει το πλεονέκτημα. Έχουν μια

χαρακτηριστική ομαλότητα σε όλη την κλίμακα στροφών και προσφέρουν ένα χαμηλό κέντρο βάρους.

2.3 ΑΚΤΙΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ

Η ακτινική μηχανή είναι ένας τύπος διάταξης παλινδρομικού κινητήρα εσωτερικής καύσης στην οποία οι κύλινδροι κατευθύνονται προς τα έξω από ένα κεντρικό στροφαλοφόρο άξονα, όπως οι ακτίνες ενός τροχού. Αυτή η διαμόρφωση χρησιμοποιούταν πολύ συχνά σε μεγάλους κινητήρες αεροσκαφών πριν τα περισσότερα μεγάλα αεροσκάφη αρχίσουν να χρησιμοποιούν στροβιλοκινητήρες.



Εικόνα 15: Τυπικός κινητήρας ακτινικής διάταξης

Σε μία ακτινική μηχανή, τα έμβολα συνδέονται με το στροφαλοφόρο άξονα με ένα συγκρότημα κύριας και αρθρωμένης ράβδου. Ένα έμβολο έχει μια κύρια ράβδο με μια άμεση σύνδεση με το στροφαλοφόρο άξονα. Τα υπόλοιπα έμβολα έχουν σύνδεση των ράβδων του σε δακτυλίους γύρω από την άκρη της κύριας

ράβδου. Οι ακτινικοί τετράχρονοι κινητήρες έχουν πάντα περιττό αριθμό κυλίνδρους ανά σειρά, έτσι ώστε μια συνεπής κάθε άλλου εμβόλου σειρά ανάφλεξης μπορεί να διατηρηθεί, παρέχοντας ομαλή λειτουργία. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μηχανή να εκτελεί δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα για την ολοκλήρωση των τεσσάρων κύκλων, που σημαίνει ότι η σειρά ανάφλεξης είναι 1,3,5,2,4 και πίσω στο κύλινδρο 1 και πάλι από την αρχή. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πάντα ένα κενό δύο εμβόλων μεταξύ του εμβόλου στην κίνηση ώθησης και του επόμενου εμβόλου στην έναυση. Εάν ένας άρτιος αριθμός κυλίνδρων χρησιμοποιούνταν, η σειρά πυροδότησης θα ήταν με 1,3,5,2,4,6 που αφήνει ένα κενό τριών εμβόλων. Αυτό οδηγεί σε μια άνιση σειρά ανάφλεξης εντός της μηχανής, και δεν είναι ιδανική.

Αρχικά οι ακτινωτές μηχανές είχαν μία σειρά κυλίνδρων, αλλά καθώς τα μεγέθη του κινητήρα αυξανόταν, κρίθηκε αναγκαίο για να προστεθούν επιπλέον γραμμές. Η πρώτη γνωστή μηχανή ακτινική διαμόρφωση που χρησιμοποιούσε μια διπλή γραμμή ήταν η «διπλό Λάμδα» από το 1912, που σχεδιάστηκε ως ένα 14κύλινδρος κινητήρας.

Ενώ οι περισσότερες ακτινικές μηχανές έχουν παραχθεί για βενζίνη, υπήρξαν περιπτώσεις ντίζελ κινητήρων. Το Bristol Phoenix του 1928-1932 δοκιμάστηκε με επιτυχία σε αεροσκάφη και η Nordberg Manufacturing Company των ΗΠΑ ανέπτυξε και παρήγαγε σειρά από μεγάλους κινητήρες ντίζελ σ τη δεκαετία του 1940.

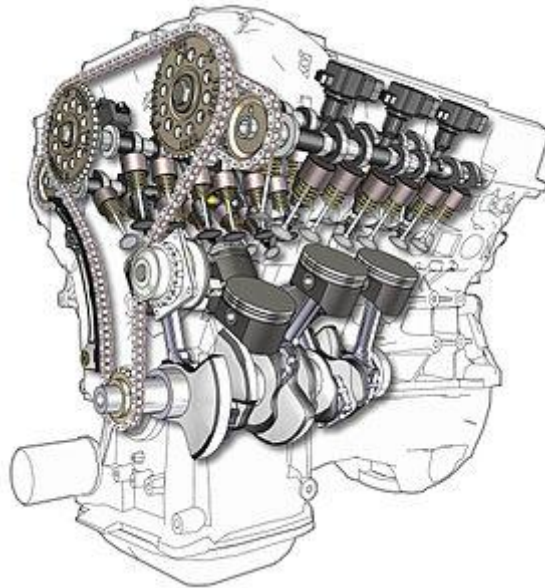
Οι εταιρείες που χτίζουν περιστροφικούς κινητήρες σήμερα είναι η Vedeneyev, η Rotec Engineering, η HCl Aviation και η Verner Motors.

2.4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΣΕ ΣΧΗΜΑ V

Ο κινητήρας V είναι μια κοινή διαμόρφωση για έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Οι κύλινδροι και τα έμβολα ευθυγραμμίζονται σε δύο ξεχωριστά επίπεδα ή «τράπεζες», και φαίνεται να είναι σε μια "V" διάταξη όταν παρατηρούνται κατά μήκος του άξονα του στροφαλοφόρου άξονα. Η διαμόρφωση V γενικά μειώνει το συνολικό μήκος του κινητήρα, το ύψος και το βάρος σε σύγκριση με την αντίστοιχη διαμόρφωση εν σειρά.

Διάφορες γωνίες κυλίνδρων του V χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές μηχανές ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων. Μπορεί να υπάρχουν γωνίες που λειτουργούν καλύτερα από άλλες για τη σταθερότητα. Πολύ στενές γωνίες V συνδυάζουν μερικά από τα πλεονεκτήματα της εν σειρά και V διαμόρφωσης του κινητήρα.

Η πιο κοινή διάταξη των κινητήρων V είναι V6. Είναι μια μηχανή με έξι κυλίνδρους τοποθετημένους στο στροφαλοθάλαμο σε δύο τράπεζες από τρεις κυλίνδρους, συνήθως είτε σε ορθή γωνία ή μια ακριβή γωνία μεταξύ τους, με τα έξι έμβολα οδήγησης σε ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Είναι η δεύτερη πιο κοινή διαμόρφωση κινητήρα στα σύγχρονα αυτοκίνητα μετά την εν σειρά τετρακύλινδρο.



Εικόνα 16: Κινητήρας V6

Η χρήση του γίνεται όλο και πιο συχνή, καθώς ο χώρος που υπάρχει σε σύγχρονα αυτοκίνητα μειώνεται με το χρόνο αλλά υπάρχει αύξηση στις απαιτήσεις ισχύος, και σε μεγάλο βαθμό έχει αντικαταστήσει την εν σειρά εξακύλινδρο, που είναι πολύ μεγάλη για να χωρέσει σε πολλά μοντέρνα διαμερίσματα κινητήρα. Αν και είναι πιο πολύπλοκος και όχι το ίδιο ομαλή, όπως η εν σειρά εξακύλινδρο, ο V6 είναι πιο άκαμπτος για ένα δεδομένο βάρος, περισσότερο συμπαγής και λιγότερο επιρρεπείς σε στρεπτικές δονήσεις στον στροφαλοφόρο άξονα για μία δεδομένη μετατόπιση. Ο κινητήρας V6 έχει ευρέως υιοθετηθεί σε μεσαίου μεγέθους αυτοκίνητα, συχνά ως προαιρετικός κινητήρας, ή ως μια μηχανή βάσης.

Η πιο αποτελεσματική γωνία κυλίνδρων για V6 είναι 60 μοίρες, ελαχιστοποιώντας το μέγεθος και τη δόνηση. Ενώ δεν είναι τόσο καλά ισορροπημένος όσο οι εν σειρά κινητήρες, οι σύγχρονες τεχνικές για το σχεδιασμό και την τοποθέτηση κινητήρων έχουν αποσοβήσει σε μεγάλο βαθμό

τις δονήσεις τους. Σε αντίθεση με τις περισσότερες άλλες γωνίες, οι κινητήρες V6 60 μοιρών μπορούν να γίνουν αποδεκτά ομαλοί χωρίς την ανάγκη αξόνων ισορροπίας.

Οι 90 μοιρών V6 κινητήρες παράγονται συνήθως ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούν τον ίδιο εξοπλισμό παραγωγής που δημιουργήθηκε για να παράγει κινητήρες V8 (που συνήθως έχουν μια γωνία 90 μοιρών). Αν και είναι εύκολο να αντλήσει 90 μοιρών V6 από ένα υπάρχον σχέδιο V8 με απλή κοπή κυλίνδρων του κινητήρα, αυτό τείνει να προκαλεί περισσότερες δονήσεις από τον 60 μοιρών V6.

Οι 120 μοιρών θα μπορούσε να περιγράψουν ως η φυσική γωνία για ένα V6 δεδομένου ότι οι κύλινδροι έχουν ανάφλεξη κάθε 120 μοίρες περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Σε αντίθεση με την διάταξη 60 ή 90 μοιρών, επιτρέπει ζεύγη εμβόλων να μοιραστούν συνδέσμους στρόφαλου σε ένα στροφαλοφόρο άξονα τριών βολών, χωρίς να απαιτείται κάτι επιπλέον. Η 120 μοιρών διάταξη παράγει επίσης μια μηχανή η οποία είναι πάρα πολύ μεγάλη για τα περισσότερα αυτοκίνητα, έτσι ώστε να είναι πιο συχνά χρησιμοποιούμενη σε αγωνιστικά αυτοκίνητα, όταν το αυτοκίνητο είναι σχεδιασμένο γύρω από τον κινητήρα και όχι το αντίστροφο, και οι δονήσεις δεν είναι τόσο σημαντικές.

2.5 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

2.5.1. Έμβολο

Το έμβολο είναι ένα από τα κύρια μέρη του κινητήρα. Σκοπός του είναι να μεταφέρει τη δύναμη από την εκτόνωση του αερίου στον κύλινδρο στον στροφαλοφόρο άξονα μέσω μιας συνδετικής ράβδου.

Δεδομένου ότι το έμβολο είναι το κύριο παλινδρομικό τμήμα του κινητήρα, η κίνηση του δημιουργεί μια ανισορροπία. Αυτή η ανισορροπία εκδηλώνεται γενικά ως δόνηση, η οποία προκαλεί τον κινητήρα να είναι αντιληπτός ως σκληρός. Η τριβή μεταξύ των τοιχωμάτων του κυλίνδρου και των δακτυλίων του εμβόλου τελικά οδηγεί σε φθορά, μειώνοντας την αποτελεσματική ζωή του μηχανισμού. Ο ήχος που παράγεται από μια παλινδρομική μηχανή μπορεί να είναι αφόρητος και, ως αποτέλεσμα, πολλές παλινδρομικές μηχανές βασίζονται σε βαρύ εξοπλισμό καταστολής του θορύβου.

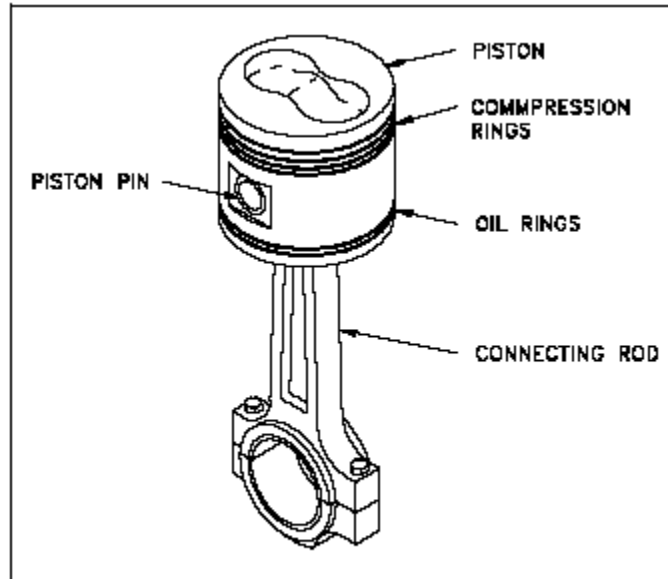


Figure 6 Piston and Piston Rod

Εικόνα 17: Έμβολο κινητήρα εσωτερική καύσης

Για τη μετάδοση της ενέργειας του εμβόλου στο στρόφαλο, το έμβολο είναι συνδεδεμένο με μια συνδετική ράβδο η οποία με τη σειρά της συνδέεται με τον στρόφαλο. Επειδή η γραμμική κίνηση του εμβόλου πρέπει να μετατραπεί σε μία περιστροφική κίνηση του στρόφαλου, ως συνέπεια βιώνεται μηχανική απώλεια. Συνολικά, αυτό οδηγεί σε μία μείωση στη συνολική αποτελεσματικότητα της διαδικασίας καύσης. Η κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα δεν είναι ομαλή, εφόσον η ενέργεια που παρέχεται από το έμβολο δεν είναι συνεχής και είναι παρορμητική στη φύση. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, οι κατασκευαστές ταιριάζουν βαρύς σφονδύλους οι οποίοι παρέχουν διαρκή αδράνεια στο στρόφαλο.

Ορισμένοι κινητήρες είναι επίσης εξοπλισμένοι με άξονες ισορροπίας, και μειώνουν την αστάθεια που δημιουργείται από την κίνηση των εμβόλων. Για την τροφοδότηση του καυσίμου και την αφαίρεση των καυσαερίων από τον κύλινδρο υπάρχει ανάγκη για βαλβίδες και εκκεντροφόρους. Κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων, μηχανικός θόρυβος και δονήσεις μπορεί να δημιουργηθούν.

Τα έμβολα συνήθως κατασκευάζονται από ένα κράμα αλουμινίου χυτό για την άριστη θερμική αγωγιμότητα και την ελαφριά φύση του. Η θερμική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός υλικού να μεταφέρει θερμότητα. Το αλουμίνιο διαστέλλεται όταν θερμαίνεται, και πρέπει να παρέχεται κατάλληλη κάθαρση για να διατηρηθεί ελεύθερη η κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο. Το ανεπαρκές διάκενο μπορεί να προκαλέσει το έμβολο να «κρατήσει» στον

κύλινδρο και το υπερβολικό διάκενο μπορεί να προκαλέσει απώλεια της συμπίεσης και την αύξηση του θορύβου του εμβόλου.

Τα χαρακτηριστικά του εμβόλου περιλαμβάνουν την κεφαλή του εμβόλου, την οπή του εμβόλου, το πείρο του εμβόλου, τα αυλάκια δαχτυλιδιών, και τα δαχτυλίδια του εμβόλου. Η κεφαλή του εμβόλου είναι η κορυφαία επιφάνεια (πιο κοντά στην κεφαλή του κυλίνδρου) του εμβόλου η οποία υποβάλλεται σε τεράστιες δυνάμεις και θερμότητα κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα.

Η οπή του πείρου του εμβόλου είναι μία διαμπερής οπή στην πλευρά του εμβόλου κάθετη προς τη διαδρομή του εμβόλου που δέχεται τον πείρο εμβόλου. Ο πείρος του εμβόλου είναι ένας κοίλος άξονας που συνδέει το μικρό άκρο της συνδετικής ράβδου στο έμβολο. Η φούστα ενός εμβόλου είναι το τμήμα του εμβόλου που βρίσκεται πλησιέστερα προς τον στροφαλοφόρο άξονα και βοηθά την ευθυγράμμιση του εμβόλου καθώς κινείται στον κύλινδρο.

2.5.2. Δαχτυλίδια εμβόλου

Ένα αυλάκι δακτυλίου είναι μια εσοχή που βρίσκεται γύρω από την περίμετρο του εμβόλου που χρησιμοποιείται για να διατηρήσει ένα δαχτυλίδι εμβόλου. Τα εδάφη του δαχτυλιδιού είναι οι δύο παράλληλες επιφάνειες του αύλακος δακτυλίου, το οποίο λειτουργεί ως την επιφάνεια σφράγισης για το δακτύλιο εμβόλου. Ένα δαχτυλίδι εμβόλου είναι ένας επεκτάσιμος σχιστός δακτύλιος που χρησιμοποιείται για να παρέχει μία σφράγιση μεταξύ του εμβόλου και του τοίχματος του κυλίνδρου. Τα ελατήρια των εμβόλων συνήθως κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο. Ο χυτοσίδηρος διατηρεί την ακεραιότητα του αρχικού σχήματος του κάτω από τη θερμότητα, το φορτίο, και άλλες δυναμικές δυνάμεις. Στους εμβολοφόρους κινητήρες, τα δαχτυλίδια σφραγίζουν το θάλαμο καύσης, τη μετάδοση θερμότητας από το έμβολο στο τοίχωμα του κυλίνδρου, και την διαρροή του καυσίμου στο στροφαλοθάλαμο. Το μέγεθος του δαχτυλιδιού και η διαμόρφωση ποικίλει ανάλογα με το σχεδιασμό του κινητήρα και το υλικό του κυλίνδρου.

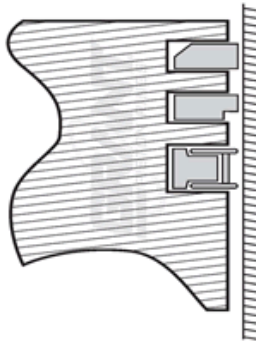
Τα δαχτυλίδια στις εμβολοφόρες μηχανές που χρησιμοποιούνται συνήθως για μικρούς κινητήρες περιλαμβάνουν το δαχτυλίδι συμπίεσης, το δαχτυλίδι καθαριστήρα, και το δαχτυλίδι του πετρελαίου. Ένας δακτύλιος συμπίεσης είναι ο δακτύλιος του εμβόλου που βρίσκεται στο αυλάκι του δακτυλίου που βρίσκεται πλησιέστερα προς την κεφαλή του εμβόλου. Ο δακτύλιος συμπίεσης σφραγίζει τον θάλαμο καύσης από οποιαδήποτε διαρροή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης. Όταν το μίγμα αέρα-καυσίμου αναφλέγεται, η πίεση από τα αέρια της καύσης εφαρμόζεται στη κεφαλή του εμβόλου, αναγκάζοντας το έμβολο να

κινηθεί προς τον στροφαλοφόρο άξονα. Τα πεπιεσμένα αέρια ταξιδεύουν μέσα από το κενό μεταξύ του τοιχώματος του κυλίνδρου και του εμβόλου και στο αυλάκι του δακτυλίου του εμβόλου. Η πίεση του αερίου καύσης πιέζει το ελατήριο εμβόλου έναντι του τοιχώματος του κυλίνδρου ώστε να σχηματίσει ένα σφράγισμα. Η πίεση που εφαρμόζεται στο δακτύλιο εμβόλου είναι περίπου ανάλογη με την πίεση του αερίου καύσης.

Ένα δαχτυλίδι καθαριστήρα είναι το ελατήριο εμβόλου με ένα κωνικό πρόσωπο που βρίσκεται στο αυλάκι του δακτυλίου μεταξύ του δακτυλίου συμπίεσης και το ελατήριο λαδιού. Ο δακτύλιος καθαριστήρα χρησιμοποιείται για να σφραγίσει περαιτέρω το θάλαμο καύσης και να σκουπίζει το τοίχωμα του κυλίνδρου από του πλεονάζον πετρέλαιο. Τα αέρια καύσης που περνούν από το δακτύλιο συμπίεσης σταμάτουν από το δαχτυλίδι του καθαριστήρα.

Ένα ελατήριο λαδιού είναι το δαχτυλίδι έμβολου που βρίσκεται στο αυλάκι του δακτυλίου που βρίσκεται πλησιέστερα προς το στροφαλοθάλαμο. Ο δακτύλιος έλαιου χρησιμοποιείται για να σκουπίσει το υπερβολικό πετρέλαιο από το τοίχωμα του κυλίνδρου κατά την κίνηση του εμβόλου. Η περίσσεια λάδιου επιστρέφει μέσω των ανοιγμάτων του δακτυλίου στην δεξαμενή λαδιού στο μπλοκ του κινητήρα. Δίχρονοι κινητήρες δεν απαιτούν δακτυλίους πετρελαίου λόγω του ότι η λίπανση τροφοδοτείται με ανάμιξη λαδιού στη βενζίνη, και ένα δοχείο λαδιού δεν είναι απαραίτητο.

PISTON RING FUNCTION



What is the Top Compression Ring?

The top compression ring is located in the first ring groove and has the primary function of sealing the combustion gases. It is also the means by which heat is transferred from the piston to the piston walls.

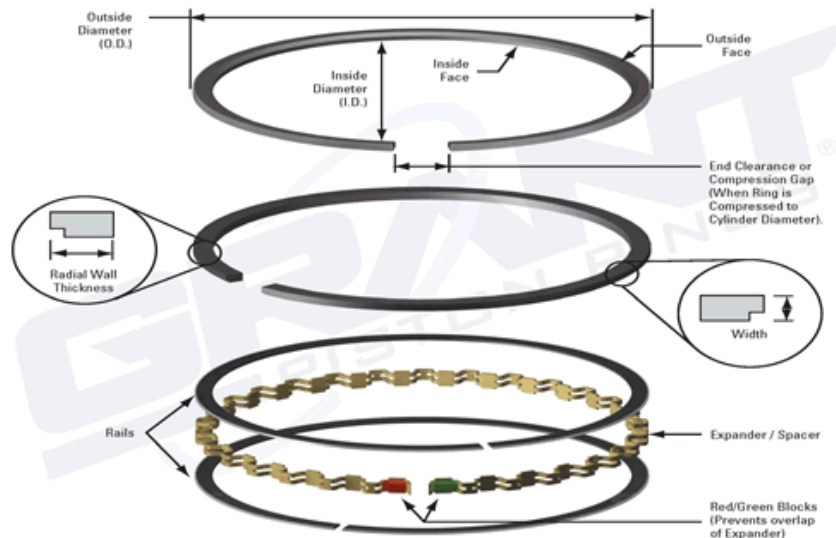
What is the Second or Intermediate Ring?

This ring serves a dual purpose. The second compression ring assists the top compression ring in sealing and heat transfer. It is also used in oil control by shearing the layer of oil left by the oil ring so the top compression ring has enough lubrication.

What is the Oil Control Ring?

The oil control ring is just that, it controls the oil that is splashed onto the cylinder walls from the connecting rod bearing throw-off. The rings scrape the cylinder walls returning the scraped oil back to the crankcase. Oil control rings cannot let oil pass between the face of the ring and the cylinder through the ring gap or pass behind the ring.

Piston Ring Terminology



Εικόνα 18: Δαχτυλίδια εμβόλου και η λειτουργία τους

Τα ελατήρια των εμβόλων σφραγίζουν το θάλαμο καύσης, μεταφέροντας θερμότητα στο τοίχωμα του κυλίνδρου και επιτρέποντας τον έλεγχο της κατανάλωσης πετρελαίου. Ένα δαχτυλίδι εμβόλου σφραγίζει τον θάλαμο καύσης εφαρμόζοντας πίεση. Η εγγενή πίεση είναι η εσωτερική δύναμη του ελατηρίου που επεκτείνει ένα δαχτυλίδι εμβόλων με βάση το σχεδιασμό και τις ιδιότητες του υλικού που χρησιμοποιείται. Η εγγενής πίεση απαιτεί μια σημαντική δύναμη που απαιτείται για τη συμπίεση ενός δαχτυλίου εμβόλου σε μια μικρότερη διάμετρο. Η εγγενή πίεση προσδιορίζεται από τη διαφορά του χωρίς ελατήριο εμβόλου. Το ελεύθερο διάκενο του ελατηρίου εμβόλου είναι η απόσταση μεταξύ των δύο άκρων ενός δαχτυλίου εμβόλου σε ασυμπίεστη κατάσταση. Τυπικά, όσο

μεγαλύτερο είναι το ελεύθερο διάκενο του ελατηρίου εμβόλου, τόσο περισσότερο πιέζεται το ελατήριο εμβόλου.

Ένα δακτυλίδι έμβολου πρέπει να παρέχει ένα προβλέψιμο και θετική ακτινική προσαρμογή μεταξύ του τοιχώματος του κυλίνδρου και την επιφάνεια κύλισης του δακτυλίου εμβόλου για μια αποτελεσματική σφράγιση. Η ακτινική προσαρμογή επιτυγχάνεται με την εγγενή πίεση του δακτυλίου εμβόλου. Ο δακτύλιος του εμβόλου πρέπει επίσης να διατηρεί μια σφραγίδα στα εδάφη του δακτυλίου του εμβόλου.

Εκτός από την εγγενή πίεση, ένα δακτυλίδι εμβόλου σφραγίζει τον θάλαμο καύσης μέσω της εφαρμοσμένης πίεσης. Η εφαρμοζόμενη πίεση είναι η πίεση που ασκείται από τα αέρια καύσης στο δακτύλιο του εμβόλου, προκαλώντας την επέκταση του. Μερικά δακτυλίδια εμβόλων έχουν λοξότμητη άκρη απέναντι από την επιφάνεια κύλισης. Αυτή η λοξοτομημένη ακμή προκαλεί το ελατήριο εμβόλου να στρίψει όταν δεν επηρεάζεται από τις πιέσεις αερίων καύσης.

Το έμβολο λειτουργεί ως το κινητό άκρο του θαλάμου καύσης και πρέπει να αντέχει σε διακυμάνσεις πίεσης, θερμική καταπόνηση, και μηχανική καταπόνηση. Το υλικό και ο σχεδιασμός συμβάλλουν στη συνολική αντοχή και την απόδοση του κινητήρα. Τα περισσότερα έμβολα κατασκευάζονται από χυτό κράμα αλουμινίου.

2.5.3. Συνδετική ράβδος

Η συνδετική ράβδος (μπιέλα) είναι ένας σημαντικός κρίκος στο εσωτερικό του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Συνδέει το έμβολο με τον στροφαλοφόρο άξονα και είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά ενέργειας από το έμβολο στον στροφαλοφόρο άξονα και την αποστολή του στο κιβώτιο ταχυτήτων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι υλικών και μεθόδων παραγωγής που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μπιέλας. Οι πιο κοινός τύποι είναι οι μπιέλες χάλυβα και αλουμινίου. Ο πιο κοινός τύπος των διαδικασιών παραγωγής είναι χύτευση, σφυρηλάτηση και μεταλλουργία από σκόνη.

Η μπιέλα είναι η πιο κοινή αιτία της καταστροφικής βλάβης του κινητήρα. Είναι κάτω από ένα τεράστιο ποσό της πίεσης φορτίου και είναι συχνά ο αποδέκτης ειδικής φροντίδας για να διασφαλιστεί ότι δεν θα αποτυγχάνει πρόωρα. Τα αιχμηρά άκρα τρίβονται ομαλά σε μια προσπάθεια να μειωθεί το μετώπικό στρες επί της ράβδου. Στις περισσότερες εφαρμογές υψηλής απόδοσης, η μπιέλα είναι ισορροπημένη για την πρόληψη των ανεπιθύμητων αρμονικών.

Η πιο κοινή μπιέλα βρεθεί στις μηχανές των οχημάτων παραγωγής είναι μια χυτή ράβδος. Αυτό το είδος της ράβδου έχει δημιουργηθεί από την έκχυση

λιωμένου χάλυβα μέσα σε ένα καλούπι και στη συνέχεια κατεργασία του τελικού προϊόντος. Αυτό το είδος της ράβδου είναι αξιόπιστο για κινητήρες χαμηλότερης ισχύος και είναι η λιγότερο ακριβή στην κατασκευή. Η ράβδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σχεδόν σε κάθε τύπο του κινητήρα, από τη βενζίνη στο ντίζελ, με μεγάλη επιτυχία.

2.5.4. Στροφαλοφόρος άξονας

Ο στροφαλοφόρος άξονας είναι το μέρος του κινητήρα που μετατρέπεται η παλινδρομική γραμμική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφή. Για τη μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφή, ο στροφαλοφόρος έχει κομβία, επιπλέον επιφάνειες στήριξης του οποίου ο άξονας είναι μετατοπισμένη από εκείνη του στροφάλου, στα οποία συνδέονται τα «μεγάλα άκρα» της συνδετικής ράβδου από κάθε κύλινδρο.

Συνήθως συνδέεται με ένα σφόνδυλο, για να μειωθούν οι χαρακτηριστικοί παλμοί της τετράχρονης μηχανής, και μερικές φορές ένα αποσβεστήρα στρέψης ή δόνησης στο απέναντι άκρο, για να μειωθούν οι δονήσεις στρέψεως που συχνά προκαλούνται κατά το μήκος του στροφαλοφόρου άξονα από τους κυλίνδρους που είναι οι πλέον απομακρυσμένοι από το άκρο εξόδου.



Εικόνα 19: Στροφαλοφόρος άξονας

Ο στροφαλοφόρος άξονας του κινητήρα παράγεται από πολύ βαρύ χυτοσίδηρο, στις περισσότερες περιπτώσεις, και στερεό χάλυβα σε πολύ υψηλής απόδοσης κινητήρες. Το ρύγχος του στροφαλοφόρου άξονα πρέπει να γίνει πολύ ισχυρό για να αντέξει την πίεση της τροχαλίας του στροφαλοφόρου.

2.5.5. Εκκεντροφόρος άξονας

Ο εκκεντροφόρος συχνά ονομάζεται "εγκέφαλος" του κινητήρα. Αυτό συμβαίνει επειδή η δουλειά του είναι να ανοίξει και να κλείσει τις βαλβίδες ακριβώς τη σωστή στιγμή κατά τη διάρκεια της περιστροφής του κινητήρα, έτσι ώστε να παραχθεί η μέγιστη ισχύς και η αποτελεσματική απομάκρυνση των καυσαερίων. Ο εκκεντροφόρος οδηγεί το διανομέα για να συγχρονιστούν τα ηλεκτρικά ανάφλεξης με σπινθήρα. Οι εκκεντροφόροι εκτελούν την εργασία τους μέσω έκκεντρων «λοβών» που ενεργοποιούν τις συνιστώσες της κίνησης των βαλβίδων.



Εικόνα 20: Εκκεντροφόρος άξονας

Ο ίδιος ο εκκεντροφόρος σφυρηλατείται από ένα κομμάτι του χάλυβα, στο οποίο κόβονται οι λοβοί. Στις μηχανές μονού εκκεντροφόρου υπάρχουν διπλάσιοι λοβοί, καθώς υπάρχουν κύλινδροι, συν ένα λοβό για την ενεργοποίηση της αντλίας καυσίμου και ένα γρανάζι κίνησης για τον διανομέα. Η οδήγηση του εκκεντροφόρου είναι από το στροφαλοφόρο άξονα, συνήθως μέσω μιας αλυσίδας ή ιμάντα. Ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται πάντα με το ήμισυ rpm του

στροφάλου, λαμβάνοντας δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα για να ολοκληρώσει μια περιστροφή του εκκέντρου, για να ολοκληρώσει έναν κύκλο τεσσάρων χρόνων.

Ο εκκεντροφόρος λειτουργεί τα ωστήρια που με τη σειρά τους λειτουργούν το υπόλοιπο της κίνησης των βαλβίδων. Σε κινητήρες "εναέριος βαλβίδα" τα ωστήρια κινούνται κινούν κοκοράκια που κινούν τη βαλβίδα. Τα ωστήρια μπορεί να είναι διαφόρων τύπων. Οι πιο συνηθισμένοι είναι υδραυλικά και μηχανικά. Τα υδραυλικά ανυψωτικά συμπληρώνουν με λάδι που λειτουργεί ως αμορτισέρ για την εξάλειψη της απώλειας κίνησης της βαλβίδας. Είναι ήσυχα και δεν απαιτούν περιοδική αναπροσαρμογή. Τα μηχανικά ανυψωτικά είναι από στερεό μέταλλο και απαιτούν προγραμματισμένη προσαρμογή για το σωστό διάκενο βαλβίδων. Αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλών rpm.

Η επικάλυψη (Overlap) είναι το σημείο της περιστροφής του στροφάλου, που τόσο η βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ανοικτές ταυτόχρονα. Αυτό συμβαίνει στο τέλος της διαδρομής των καυσαερίων, όταν η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει και η βαλβίδα πρόσληψης ανοίγει. Κατά την περίοδο της επικάλυψης, οι εισαγωγής και εξαγωγής των λιμένων μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Το υλικό του εκκεντροφόρου πρέπει να συνδυάζει έναν ισχυρό άξονα με σκληρούς λοβούς. Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό προς το παρόν είναι χυτοσίδηρος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΘΕΩΡΙΑ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

3.1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

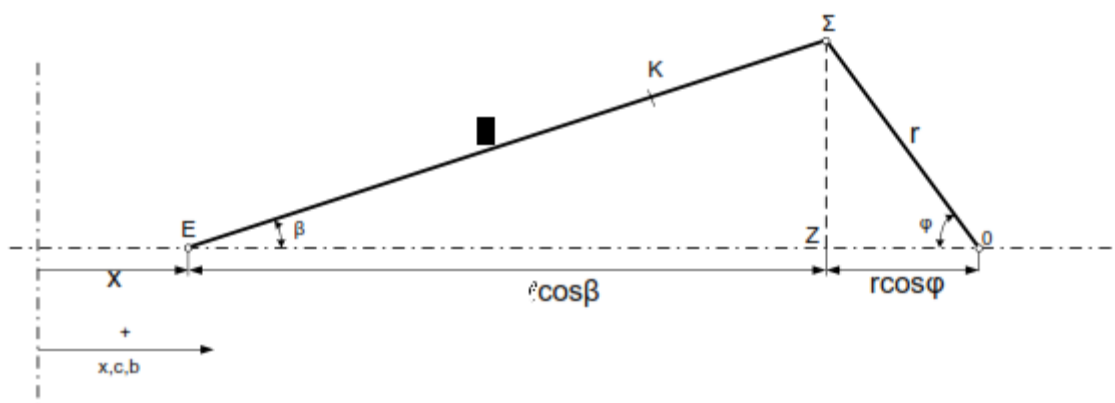
3.1.1. Η Μετατόπιση του Εμβόλου

Για την τυχαία θέση του στροφάλου, που καθορίζεται από τη σχετική γωνία στροφάλου φ , η μετατόπιση του εμβόλου x από το ΑΝΣ, σύμφωνα με το Σχήμα 1, είναι:

$$x = r + \ell - \ell \cos\beta - r \cos\varphi \quad (1)$$

όπου β είναι η γωνία του διωστήρα, r ακτίνα του στροφάλου και ℓ το μήκος του διωστήρα. Από τα ορθογώνια τρίγωνα ΕΣΖ και ΟΣΖ παίρνουμε:

$$(\Sigma Z) = \ell \sin\beta = r \sin\varphi \quad (2)$$



Σχήμα 1: Κινηματικός μηχανισμός εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου

Οπότε θέτοντας $\lambda=r/l$ και εκφράζοντας το $\cos\beta$ σαν σχέση του $\sin\beta$ έχουμε:

$$\sin\beta = \lambda \sin\varphi \text{ και } \cos\beta = \sqrt{(1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi)} \quad (3)$$

Το μέγεθος $\lambda=r/l$ αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος της δυναμικής του κινηματικού μηχανισμού των εμβολοφόρων κινητήρων, με συνήθεις τιμές μεταξύ 1/5 και 1/3. Έτσι, η ακριβής έκφραση για τη μετατόπιση x είναι:

$$x = r(1 - \cos\varphi) + l(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}) \quad (4)$$

Εφόσον $\lambda^2 \sin^2 \varphi < 1$ το υπόρριζο στην προηγούμενη έκφραση, δηλαδή το $\cos\beta$, μπορεί να αναπτυχθεί σύμφωνα με το θεώρημα του διωνύμου, σε σειρά με ισχυρή σύγκλιση ως εξής:

$$\cos\beta = 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \varphi + \frac{1}{8} \lambda^4 \sin^4 \varphi - \frac{1}{16} \lambda^6 \sin^6 \varphi - \frac{5}{128} \lambda^8 \sin^8 \varphi - \dots \quad (5)$$

Τα $\sin^m \varphi$ με m άρτιο μπορούν να εκφρασθούν συναρτήσει όρων συνημιτονικών, γωνίας πολλαπλασίας της φ ως:

$$\begin{aligned} \sin^2 \varphi &= 1/2 - (1/2)\cos 2\varphi \\ \sin^4 \varphi &= 3/8 - (1/2)\cos 2\varphi + (1/8)\cos 4\varphi \\ \sin^6 \varphi &= (5/16) - (15/32)\cos 2\varphi + (3/16)\cos 4\varphi - (1/32)\cos 6\varphi \end{aligned} \quad (6)$$

Άρα η σχέση 4 γίνεται

$$x = r(\alpha_0 + \alpha_1 \cos \varphi + \alpha_2 \cos 2\varphi + \alpha_4 \cos 4\varphi + \dots) \quad (7)$$

όπου

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 1 + \frac{\lambda}{4} + \frac{3\lambda^3}{64} + \frac{5\lambda^5}{256}, \alpha_1 = -1 \\ \alpha_2 &= -\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda^3}{16} - \frac{15\lambda^5}{512}, \alpha_4 = \frac{\lambda^3}{64} + \frac{3\lambda^5}{256} \\ \alpha_6 &= -\frac{\lambda^5}{512} \end{aligned}$$

Από τις σχέσεις αυτές φαίνεται ότι $\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_6 + \dots = 0$, όπως έπρεπε για να ισχύει $x = 0$ στη γωνία $\varphi = 0$.

Έτσι, το x που είναι περιοδική συνάρτηση με συχνότητα την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής, στη σχέση (6) δίνεται αναπτυγμένο σε σειρά Fourier, που αποτελείται από ένα σταθερό όρο και το άθροισμα απείρων αρμονικών συνιστωσών.

Ο δεύτερος όρος στη σχέση (6) δίνει την προβολή της ακτίνας του στροφάλου κατά τον άξονα του κυλίνδρου ενώ οι υπόλοιποι όροι είναι συνάρτηση του λ και οφείλονται στην γωνιακότητα του διωστήρα.

3.1.2 Η ταχύτητα του εμβόλου

Η ταχύτητα του εμβόλου c , προκύπτει με παραγωγή ως προς το χρόνο της διαδρομής του εμβόλου:

$$c = dx / dt = (dx / d\varphi)(d\varphi / dt) \quad (7)$$

Με την προϋπόθεση ότι το στρόφαλο περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα $d\varphi / dt = \omega$, δηλαδή $\varphi = \omega t$, $c = \omega(dx / d\varphi)$.

Έτσι, η ακριβής τιμή της ταχύτητας που προκύπτει από την εξίσωση (1.4) είναι:

$$c = \omega r \sin\varphi (1 + \lambda \cos\varphi / \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2\varphi}) \quad (8)$$

Ενώ από την σχέση (1.6) είναι:

$$c = \omega r (\gamma_1 \sin\varphi + \gamma_2 \sin 2\varphi + \gamma_4 \sin 4\varphi + \dots) \quad (9)$$

όπου

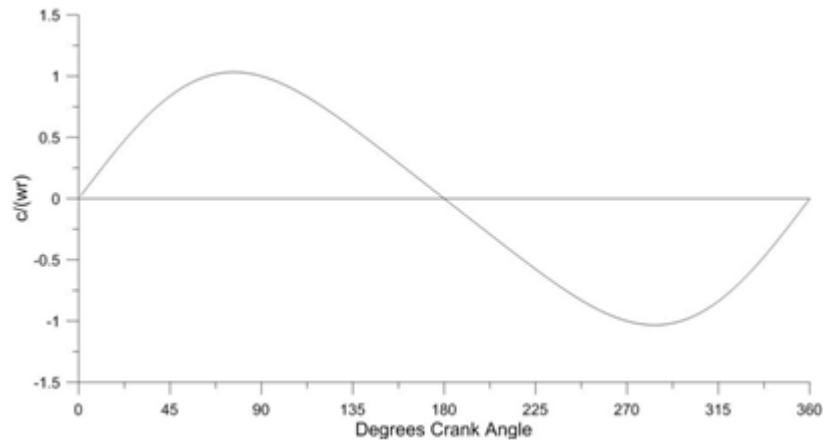
$$\gamma_1 = 1$$

$$\gamma_2 = \lambda / 2 + \lambda^3 / 8 + 15\lambda^5 / 256$$

$$\gamma_4 = -\lambda^3 / 16 - 3\lambda^5 / 64$$

$$\gamma_6 = 3\lambda / 256^5$$

Η σχέση (1.9) δίνει το c αναπτυγμένο σε σειρά Fourier που αποτελείται από άθροισμα απείρων αρμονικών συνιστωσών τάξης 1ης, 2ης, 4ης, 6ης, 8ης, κλπ. Η φορά αναφοράς της ταχύτητας c λαμβάνεται θετική όταν κατευθύνεται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Γραφική παράσταση της ανηγμένης ταχύτητας $c/r\omega$ δίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Τυπική μορφή ταχύτητας

3.1.3 Επιτάχυνση του εμβόλου

Η επιτάχυνση του εμβόλου b προκύπτει με παραγώγιση της ταχύτητας του εμβόλου ως προς το χρόνο. Άρα:

$$b = dc / dt = (dc / d\varphi) * (d\varphi / dt) \quad (10)$$

Με την προϋπόθεση ότι $d\varphi / dt = \omega = \text{σταθ.}$, βρίσκεται η ακριβής τιμή της επιτάχυνσης, που προκύπτει από την σχέση (1.8) ως εξής:

$$b = \omega r^2 \left[\cos \varphi + \lambda (\cos 2\varphi + \lambda^2 \sin^4 \varphi) / (1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi)^{3/2} \right] \quad (11)$$

Ενώ από την σχέση (1.9) προκύπτει:

$$b = \omega r^2 (\beta_1 \cos \varphi + \beta_2 \cos 2\varphi + \beta_4 \cos 4\varphi + \dots) \quad (12)$$

όπου

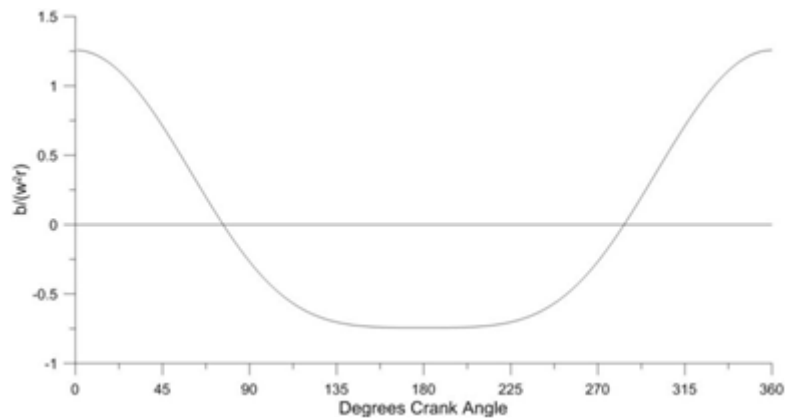
$$\beta_1 = 1$$

$$\beta_2 = \lambda + \lambda^3 / 4 + 15\lambda^5 / 128$$

$$\beta_4 = -\lambda^3 / 4 - 3\lambda^5 / 16$$

$$\beta_6 = 9\lambda^5 / 128$$

Η σχέση (1.12) δίνει την επιτάχυνση αναπτυγμένη σε σειρά Fourier, που αποτελείται από άθροισμα απείρων αρμονικών συνιστωσών τάξης 1^{ης}, 2^{ης}, 4^{ης}, 6^{ης}, 8^{ης}, κλπ. Η φορά αναφοράς της επιτάχυνσης b , λαμβάνεται θετική όταν κατευθύνεται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Γραφική παράσταση της ανηγμένης επιτάχυνσης δίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Τυπική μορφή επιτάχυνσης

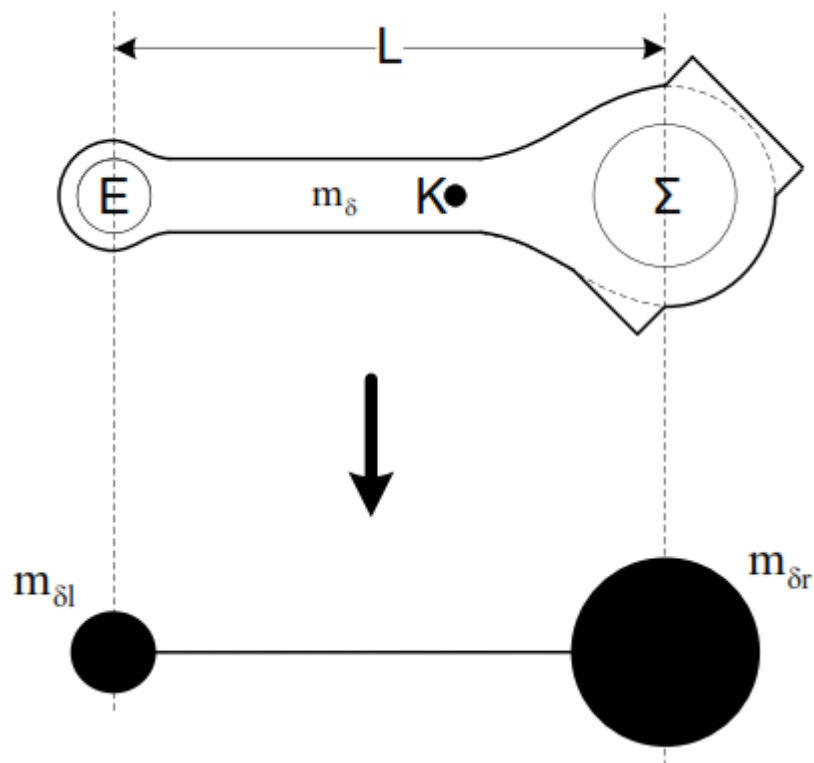
3.1.4 Η αναγωγή του διωστήρα σε δύο μάζες

Ο διωστήρας εκτελεί επίπεδη κίνηση, και είναι γνωστή η κινηματική κατάσταση δύο μόνο σημείων του, του Ε και του Σ (Σχήμα 1). Το Ε έχει την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου, ενώ το Σ διαγράφει κυκλική τροχιά ακτίνας r .

Ο καθορισμός των δυνάμεων αδρανείας του διωστήρα είναι πολύ δύσκολος και αυτό οφείλεται στη σύνθετη κίνηση των διαφόρων σημείων του, εκτός των σημείων Ε και Σ, και στο ότι απαιτείται η γνώση της κατανομής της μάζας του με συνολική τιμή m_δ . Έτσι, αναζητείται ένα δυναμικά ισοδύναμο σύστημα, που έχει δύο μόνο μάζες $m_{\delta 1}$ και $m_{\delta 2}$ συγκεντρωμένες στα σημεία Ε και Σ αντίστοιχα, συνδεδεμένες στερεά μεταξύ τους με αμφιαρθρωτή ράβδο, η οποία μεταβιβάζει δυνάμεις μόνο κατά τον άξονά της.

Για να είναι το σύστημα των δύο αυτών μαζών δυναμικά ισοδύναμο προς το διωστήρα, θα πρέπει να αντιδρά σε σύστημα εξωτερικών δυνάμεων και ροπών ακριβώς όπως και ο διωστήρας, δηλαδή πρέπει να προκύπτει η ίδια επιτάχυνση του Κ.Β. και η ίδια γωνιακή επιτάχυνση του σώματος, ως προς άξονα διερχόμενο από το Κ.Β. και κάθετου στο επίπεδο της κίνησης. Έτσι, οι αναγκαίες συνθήκες για το ισοδύναμο σύστημα είναι:

- Η μάζα του να ισούται με τη μάζα του διωστήρα
- Το κέντρο βάρους του να συμπίπτει με το κέντρο βάρους του διωστήρα
- Η ροπή αδράνειας του ως προς άξονα διερχόμενο από το Κ.Β. και κάθετου στο επίπεδο της κίνησης να ισούται με την αντίστοιχη ροπή αδράνειας του διωστήρα Θ_δ



Σχήμα 4: Αναγωγή του διωστήρα σε δύο μάζες

Οι συνθήκες αυτές εκφράζονται μαθηματικά ως εξής:

$$m_{\delta l} + m_{\delta r} = m_{\delta} \quad (13)$$

$$m_{\delta l}(EK) - m_{\delta r}(\Sigma K) = 0 \quad (14)$$

$$m_{\delta l}(EK)^2 + m_{\delta r}(\Sigma K)^2 = \Theta_{\delta} \quad (15)$$

Φαίνεται ότι η επίλυση των δύο πρώτων εξισώσεων προσδιορίζει τα $m_{δl}$ και $m_{δr}$ που δεν θα ικανοποιούν απαραίτητα και την τρίτη. Έτσι, δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί πλήρης ισοδυναμία. Το δια των δύο πρώτων εξισώσεων καθοριζόμενο "ισοδύναμο" σύστημα θα έχει ροπή αδράνειας:

$$\Theta_{\delta}^* = m_{\delta l} (EK)^2 + m_{\delta r} (\Sigma K)^2 \quad (16)$$

που θα είναι διαφορετική από την Θ_{δ} .

Ωστόσο, στις τεχνικές εφαρμογές λαμβάνεται συνήθως σαν ισοδύναμο σύστημα του διωστήρα, το παραπάνω καθορισμένο "ισοδύναμο" σύστημα των δύο μαζών $m_{\delta l}$ και $m_{\delta r}$, συγκεντρωμένων στα σημεία E και Σ, στερεά συνδεδεμένων μεταξύ τους με αβαρή ράβδο, που προσδιορίζεται από τις σχέσεις (13) και (14). Το σφάλμα που γίνεται με τον τρόπο αυτό είναι εν γένει αμελητέο.

3.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

3.2.1 Δυνάμεις από τα αέρια στο κύλινδρο

Η πίεση των αερίων μέσα στον κύλινδρο μιας εμβολοφόρου Μ.Ε.Κ. μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια κατά την διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας. Η ελάχιστη τιμή της πίεσης των αερίων, είναι περίπου όσο η ατμοσφαιρική πίεση ή η πίεση υπερπλήρωσης σε έναν υπερπληρωμένο κινητήρα, ενώ η μέγιστη τιμή της είναι περίπου 40 με 70 φορές μεγαλύτερη της ελάχιστης.

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα ενός κινητήρα δίνει την τιμή της πίεσης p_g από αέρια, σε κάθε θέση του εμβόλου x και επομένως και για κάθε συνολικό όγκο $V = V_c + Fx$, όπου V_c ο επιζήμιος όγκος και $F = \pi D^2 / 4$ η επιφάνεια του εμβόλου σε κάθε γωνία στροφάλου.

Τα αέρια λόγω της πίεσης p_g ασκούν σύμφωνα και με το Σχήμα 5:

- Δύναμη P_g στο έμβολο κατά τον άξονα του κυλίνδρου με φορά από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ
- Ίση κατά μέτρο δύναμη P_g αλλά με αντίθετη φορά στο κάλυμμα του κυλίνδρου

Σε κάθε χρονική στιγμή το μέτρο της P_g δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_g = \frac{\pi}{4} D^2 p_g = F p_g \quad (17)$$

Ως p_g λαμβάνεται η μανομετρική πίεση για κινητήρες απλής ενέργειας καθώς στην κάτω πλευρά του εμβόλου, τον στροφαλοθάλαμο, ασκείται ατμοσφαιρική πίεση. Την P_g παραλαμβάνει το τοίχωμα του κυλίνδρου μέσω του εμβόλου (δύναμη N_g κάθετη στο τοίχωμα) και ο διωστήρας (δύναμη S), ο οποίος μεταβιβάζει την δύναμη μόνο κατά τον άξονά του.

Επομένως η δύναμη P_g επί του εμβόλου σύμφωνα με το Σχήμα 5 αναλύεται στις ακόλουθες συνιστώσες:

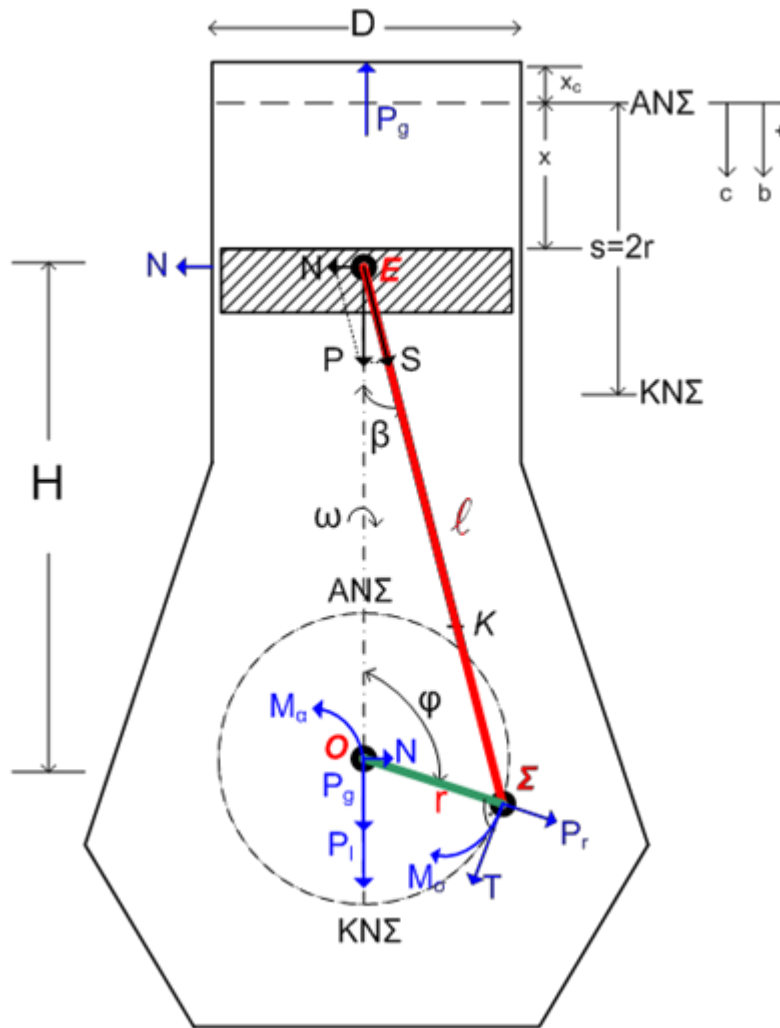
- $N_g = P_g \tan(\beta)$ δύναμη παρειάς κυλίνδρου (18)

- $S = \frac{P_g}{\cos(\beta)}$ δύναμη διωστήρα (19)

Η δύναμη S_g μεταβιβάζεται μέσω του διωστήρα στο κομβίο του στροφάλου. Η αναγωγή της δύναμης S_g στο σημείο 0 (Σχήμα 5), δίνει μια δύναμη ίση προς αυτήν που ασκείται στο έδρανο βάσης καθώς και μια ροπή επί της στροφαλοφόρου ατράκτου, η οποία αποτελεί τη στρεπτική ροπή του κινητήρα. Η S_g στο σημείο Σ αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Την στρεπτική δύναμη στροφάλου T_g , η οποία είναι πάντα κάθετη στο στρόφαλο και την ακτινική δύναμη στροφάλου R_g , η οποία είναι στην διεύθυνση της ακτίνας του στροφάλου. Με βάση το Σχήμα 5 οι εξισώσεις των δύο παραπάνω συνιστωσών είναι:

$$T_g = S_g \sin(\varphi + \beta) = P_g \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos(\beta)} \quad (20)$$

$$R_g = S_g \cos(\varphi + \beta) = P_g \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos(\beta)} \quad (21)$$



Σχήμα 5: Δυνάμεις του κινηματικού μηχανισμού

Επομένως η στρεπτική ροπή είναι

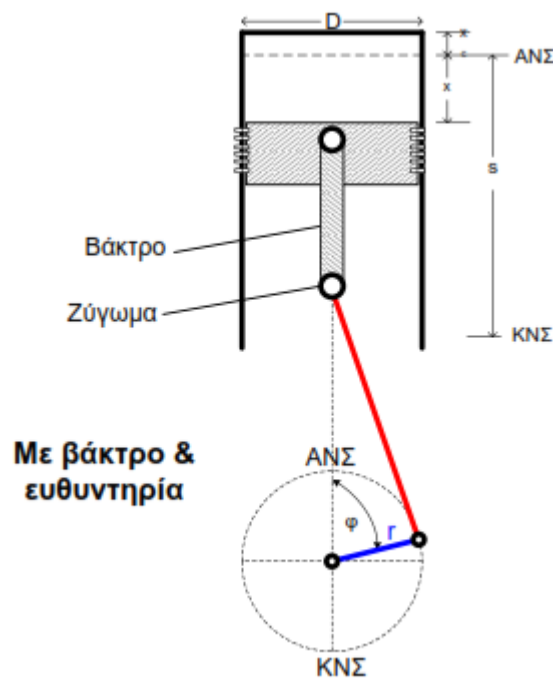
$$M_{\sigma g} = T_g = P_g r \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos(\beta)} \quad (22)$$

Η φορά αναφοράς είναι αυτή της γωνίας φ . Δηλαδή η $M_{\sigma g}$ είναι θετική εάν έχει τη φορά της γωνιακής ταχύτητας ω , βάση της οποίας ορίζεται η φορά της γωνίας φ .

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, φαίνεται ότι πάνω στο κέλυφος ασκούνται οι παρακάτω δυνάμεις, ως αποτέλεσμα της δράσης της πίεσης των αερίων:

- Της P_g στο κάλυμμα της μηχανής
- Της N_g στο τοίχωμα του κυλίνδρου
- Της S_g στο έδρανο βάσης του κινητήρα, η οποία αναλύεται στις συνιστώσες P_g και N_g

Σε μηχανές μεγάλων διαστάσεων με ζύγωμα και βάκτρο (πχ. 2-Χ κινητήρες ναυτικούς ή ηλεκτροπαραγωγής, Σχήμα 6), το ζύγωμα ασκεί δύναμη N_g στο σώμα του κινητήρα μέσω της ευθυντηρίας του.



Σχήμα 6: Κινηματικός μηχανισμός εμβόλου-βάκτρου, ζυγώματος και ευθυντηρίας 2-Χ ναυτικού κινητήρα

3.2.2 Μαζικές δυνάμεις

Οι κινούμενες μάζες του κινηματικού μηχανισμού που εκτελούν παλινδρομική, περιστροφική και μικτή κίνηση προκαλούν τις αναπτυσσόμενες μαζικές δυνάμεις. Στις μάζες που εκτελούν παλινδρομική κίνηση ανήκουν οι μάζες του εμβόλου και των στοιχείων που παλινδρομούν μαζί του, όπως είναι τα ελατήρια στεγανότητας και λίπανσης, ο πείρος του εμβόλου, ενδεχομένως το ζύγωμα και το βάκτρο κλπ. Το σύνολο αυτών των μαζών συμβολίζεται με m_ϵ .

Στις μάζες που εκτελούν περιστροφική κίνηση, ανήκει η μάζα ενός πλήρους στροφάλου, δηλαδή οι βραχίονες, το κομβίο του στροφάλου και βάσης, που κατάλληλα ανηγμένη στην ακτίνα του στροφάλου r συμβολίζεται με m_σ .

Επομένως, προκύπτει ότι όλος ο κινηματικός μηχανισμός μπορεί να αναχθεί σε δύο διακεκριμένες μάζες, από τις οποίες η μια παλινδρομεί και η άλλη περιστρέφεται. Αυτή που παλινδρομεί είναι $m_l = m_\varepsilon + m_{\delta r}$ και αυτή που περιστρέφεται $m_r = m_\sigma + m_{\delta r}$. Άρα διακρίνουμε δύο ειδών μαζικές δυνάμεις:

- Τις οφειλόμενες στις παλινδρομούσες μάζες (δείκτης l)
- Τις οφειλόμενες στις περιστρεφόμενες μάζες (δείκτης r)

3.2.3 Παλινδρομικές δυνάμεις

Η συνολική κινούμενη με τον ρυθμό του εμβόλου παλινδρομούσα μάζα m έχει επιτάχυνση b με φορά αναφοράς αυτήν που σημειώνεται στο Σχήμα 5.

Έτσι, ασκείται στον κινηματικό μηχανισμό λόγω του εμβόλου η παρακάτω δύναμη:

$$P_l = -m_l b = -m_l r \omega^2 \left(\frac{b}{r \omega^2} \right) \quad (23)$$

με σταθερό άξονα του κυλίνδρου, μεταβαλλόμενης όμως φοράς και μεγέθους συναρτήσει της γωνίας φ .

Η P που ασκείται από την m μεταβιβάζεται όπως και η P_g μέχρι την βάση και την θεμελίωση της μηχανής, οπότε προκύπτει μια στρεπτική δύναμη στροφάλου, μια στρεπτική ροπή $M_{\sigma l}$ καθώς και μια ροπή ανατροπής $M_{\sigma} = -M_{\sigma}$.

Άρα, είναι προφανές ότι όλες οι εξισώσεις από (17) έως (22) για την ανάλυση ή αναγωγή της P_g στα διάφορα σημεία του κινηματικού μηχανισμού, ισχύουν και για την P . Μια βασική διαφορά, είναι ότι στην περίπτωση της P , στη θεμελίωση του κινητήρα μεταβιβάζεται εκτός της ροπής ανατροπής δύναμη P

Από την σχέση (23) με ανάλυση προκύπτει ότι η P είναι περιοδική συνάρτηση, με συχνότητα την ταχύτητα περιστροφής (n) της μηχανής ανεξάρτητα από το αν αυτή είναι 2-Χ ή 4-Χ. Προφανώς η μέση τιμή της P για μια πλήρη περιστροφή (από $\varphi=0$ έως $\varphi=2\pi$) είναι μηδενική, εφόσον δεν μπορεί να παράγει έργο σε μια πλήρη περιστροφή.

3.2.4 Περιστρεφόμενες Μαζικές Δυνάμεις

Το σύνολο των περιστρεφόμενων μαζών αποτελούν η περιστρεφόμενη μάζα $m_{\delta r}$ του διωστήρα και η μάζα ενός πλήρους στροφάλου m_σ , που πρέπει να είναι κατάλληλα ανηγμένη στην ακτίνα του στροφάλου. Η μάζα αυτή θεωρείται συγκεντρωμένη στο κομβίο του στροφάλου, δηλαδή στο σημείο Σ στο Σχήμα 5.

Η πραγματική δύναμη που ασκείται στην m_r είναι η κεντρομόλος, επομένως η m_r ασκεί στα έδρανα και στο σώμα της μηχανής την αντίστοιχη φυγόκεντρη δύναμη λόγω δράσης-αντίδρασης και έχει:

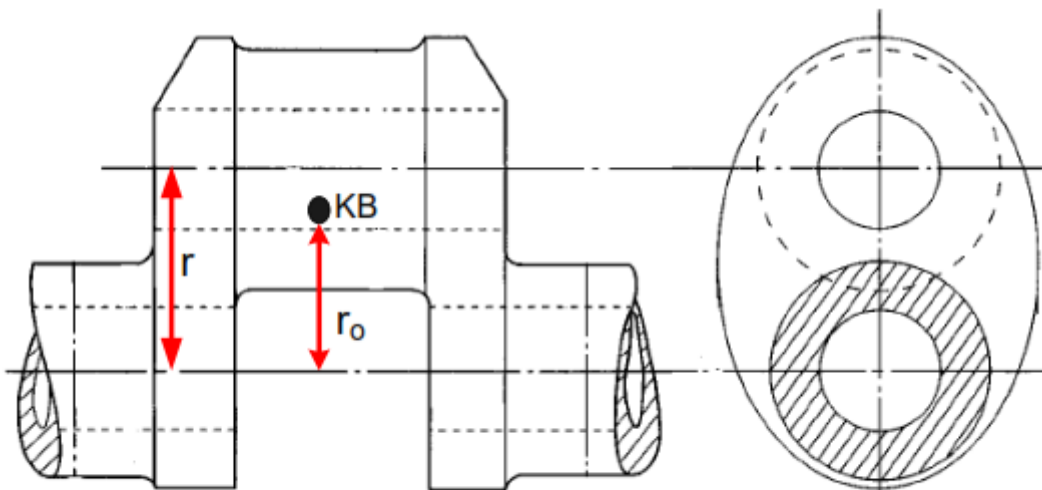
- Μέτρο σταθερό και ίσο με $m_r r \omega^2$, δηλαδή $P_r = m_r r \omega^2$ (25)
- Φορέα περιστρεφόμενο με το στρόφαλο και διεύθυνση την εκάστοτε διεύθυνση αυτού

Με αυτό τον τρόπο, η P_r μεταφέρεται ακέραιη στα έδρανα, το σώμα και την θεμελίωση της μηχανής. Εφόσον είναι συνεχώς κάθετη στην στρεπτική δύναμη δεν επιδρά στην τιμή αυτής.

Η αναγωγή της μάζας του στροφάλου στην ακτίνα r , για τον προσδιορισμό της m_σ γίνεται με βάση την ισότητα των σχετικών φυγόκεντρικών δυνάμεων. Έτσι, αν m_0 είναι η πραγματική μάζα του στροφάλου και r_0 η απόσταση του κέντρου βάρους του από τον άξονα περιστροφής, Σχήμα 7, τότε:

$$P_{\sigma r} = m_{\sigma r} r \omega^2 = m_{\sigma} r \omega^2 \quad (26)$$

$$M_\sigma = m_\sigma r_0 / r \quad (27)$$



Σχήμα 7: Αναγωγή της μάζας του στροφάλου στην ακτίνα r

3.3 ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΜΑΖΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΜΟΝΟΚΥΛΙΝΔΡΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ



Εικόνα 21: Σύστημα ζυγοστάθμισης μονοκύλινδρου κινητήρα

Παρακάτω αναλύεται η ζυγοστάθμιση του μονοκύλινδρου κινητήρα, εικ. 8, βάση του οποίου θα ζυγοσταθμιστούν και οι πολυκύλινδροι κινητήρες με τους οποίους θα ασχοληθούμε παρακάτω.

Η παλινδρομική δύναμη P_1 έχει σταθερή ευθεία ενέργειας στον άξονα του κυλίνδρου και μεταβλητή τιμή που δίνεται από την σχέση (24), με θετική φορά που φαίνεται στο Σχήμα 5.

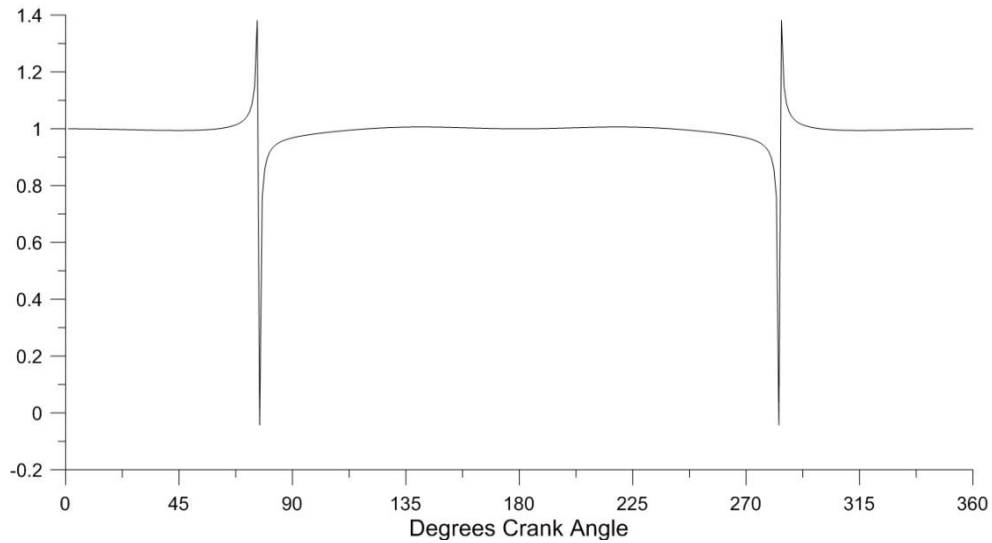
Από τη δύναμη αυτή, επάνω στο κέλυφος και τη θεμελίωση του κινητήρα, ασκούνται:

- Μία ελεύθερη, δηλαδή μια μη ισορροπούμενη μέσα στον κινητήρα, περιοδική μαζική δύναμη P_1 , που αναλυόμενη κατά Fourier, δίνει συνιστώσες συνημιτονικές 1^{ns} , 2^{ns} , 4^{ns} , ... τάξης κατά τη σχέση (24)
- Ένα ζεύγος $M_{σ1} = -M_{στ} = -T_{lr}$ με συνιστώσες ημιτονικές κατά Fourier 1^{ns} , 2^{ns} , 3^{ns} , ... τάξης επίσης ελεύθερο, δηλαδή μη ισορροπούμενο μέσα στον κινητήρα.

Όπως αναφέρθηκε από τις άπειρες αρμονικές συνιστώσες της P_1 , μόνο οι δύο πρώτες έχουν σημαντική τιμή, ενώ οι υπόλοιπες, στις περισσότερες εφαρμογές, μπορούν να αμεληθούν (Σχήμα 8). Έτσι, σύμφωνα με τη σχέση (24) έχουμε τελικά:

$$P_1 = -m_l r \omega^2 (\cos\phi + \lambda \cos 2\phi) \quad (28)$$

ε θετική φορά που φαίνεται στο Σχήμα 5 δηλαδή από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Στο Σχήμα 8 φαίνεται το ποσοστό της σχέσης 28 ως προς την ακριβή σχέση 24.



Σχήμα 8: Ποσοστό δυνάμεων 1^{ης} και 2^{ης} τάξης από παλινδρομούσες μάζες προς την συνολική παλινδρομική δύναμη κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας

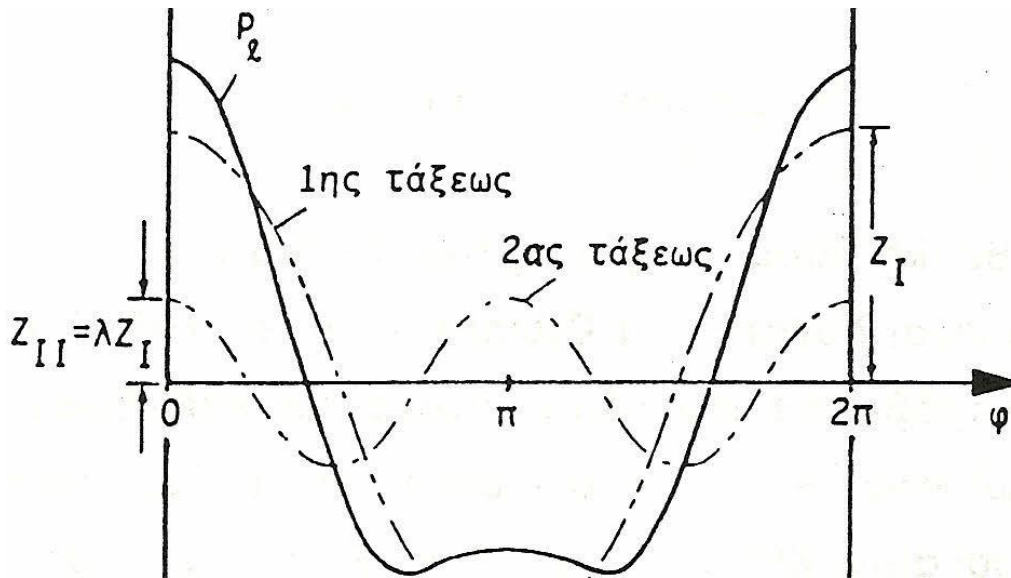
Ειδικά για τη μελέτη της ζυγοστάθμισης της παλινδρομικής δύναμης, θεωρείται θετική φορά από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, οπότε από την σχέση (28) φεύγει το πρόσημο (-) και αυτή γίνεται:

$$P_I = m_I r \omega^2 (\cos\varphi + \lambda \cos 2\varphi) \quad (29)$$

$$P_I = Z_I \cos\varphi + Z_{II} \cos 2\varphi \quad (30)$$

$$\text{Όπου: } Z_I = m_I r \omega^2 \text{ και } Z_{II} = \lambda m_I r \omega^2 \quad (31)$$

Η πρώτη είναι η παλινδρομική δύναμη 1^{ης} τάξης και η δεύτερη η παλινδρομική δύναμη 2^{ης} τάξης όπως φαίνεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9: Μεταβολή παλινδρομικών δυνάμεων 1^{ης} και 2^{ης} τάξης συναρτήσει της γωνίας στροφάλου

3.3.1 Παλινδρομική δύναμη 1^{ης} τάξης

Αυτή αποτελεί τον πρώτο όρο στη σχέση (30) δηλαδή:

$$Z_I \cos \varphi = m_I r \omega^2 \cos \varphi \quad (32)$$

Είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι σε κάθε χρονική στιγμή, δίνεται από την προβολή επάνω στον άξονα του κυλίνδρου διάνυσματος μέτρου $Z_I = m_I r \omega^2$, που σχηματίζει στιγμιαία γωνία φ με τον άξονα αυτόν, δηλαδή το διάνυσμα αυτό θεωρείται ότι βρίσκεται επάνω στην ακτίνα του στροφάλου και περιστρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα ω (Σχήμα 10). Φυσικά το διάνυσμα αυτό δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Παρόλα αυτά η χρήση του βοηθάει πολύ στη μελέτη της μεταβολής της παλινδρομικής δύναμης 1^{ης} τάξης και των δυνατοτήτων αντιστάθμισής της. Αυτό καλείται για συντομία βοηθητικό διάνυσμα 1^{ης} τάξης.

Για την πλήρη εξουδετέρωση της δράσης της παλινδρομικής δύναμης 1^{ης} τάξης χωρίς εμφάνιση προσθέτων δυνάμεων, αρκεί να τοποθετηθούν δύο αντίβαρα μάζας m^a έκαστο σε απόσταση r^a από τον άξονα περιστροφής τους, με στοιχεία $m_a r_a = m_I r / 2$ που έχουν γωνιακή ταχύτητα του στροφάλου ω , αλλά με αντίθετες φορές περιστροφής και διατεταγμένα συμμετρικά προς το μέσο διάμηκες κατακόρυφο επίπεδο του κινητήρα. Όταν ο κύλινδρος είναι στο ΑΝΣ, τα αντίβαρα σφηνώνονται παράλληλα προς τον άξονα του κυλίνδρου. Φυσικά, τα δύο αυτά αντίβαρα θα είναι στερεωμένα σε διαφορετικές ατράκτους, που θα εδράζονται όμως στο κέλυφος της μηχανής. Διάταξη με την οποία επιτυγχάνονται τα παραπάνω φαίνεται στο Σχήμα 11.

Από κάθε αντίβαρο, λόγω της φυγόκεντρης δύναμης $m_a r_a \omega^2 = m_l r \omega^2 / 2$, δημιουργούνται αντιδράσεις στα έδρανα της αντίστοιχης βοηθητικής ατράκτου, με αποτέλεσμα να μεταφέρονται στο κέλυφος της μηχανής.

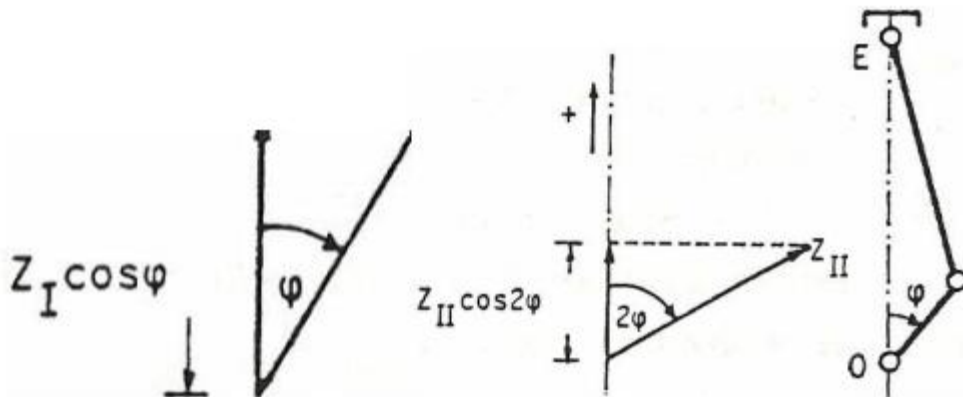
Σημειώνεται ότι τα αντίβαρα αυτά πρέπει να κείνται και επί επιπέδου κάθετου προς τον άξονα της στροφαλοφόρου ατράκτου που περιλαμβάνει τον άξονα του κυλίνδρου, για την αποφυγή δημιουργίας ροπής.

Άρα λοιπόν, οι δύο φυγόκεντρες δυνάμεις κείνται επί του αυτού επιπέδου, το σημείο τομής των ευθειών ενεργείας αυτών, κείται πάντοτε επάνω στον άξονα του κυλίνδρου και δίνουν συνισταμένη επάνω στον άξονα, που με βάση τη σημειούμενη θετική φορά αναφοράς έχει τιμή:

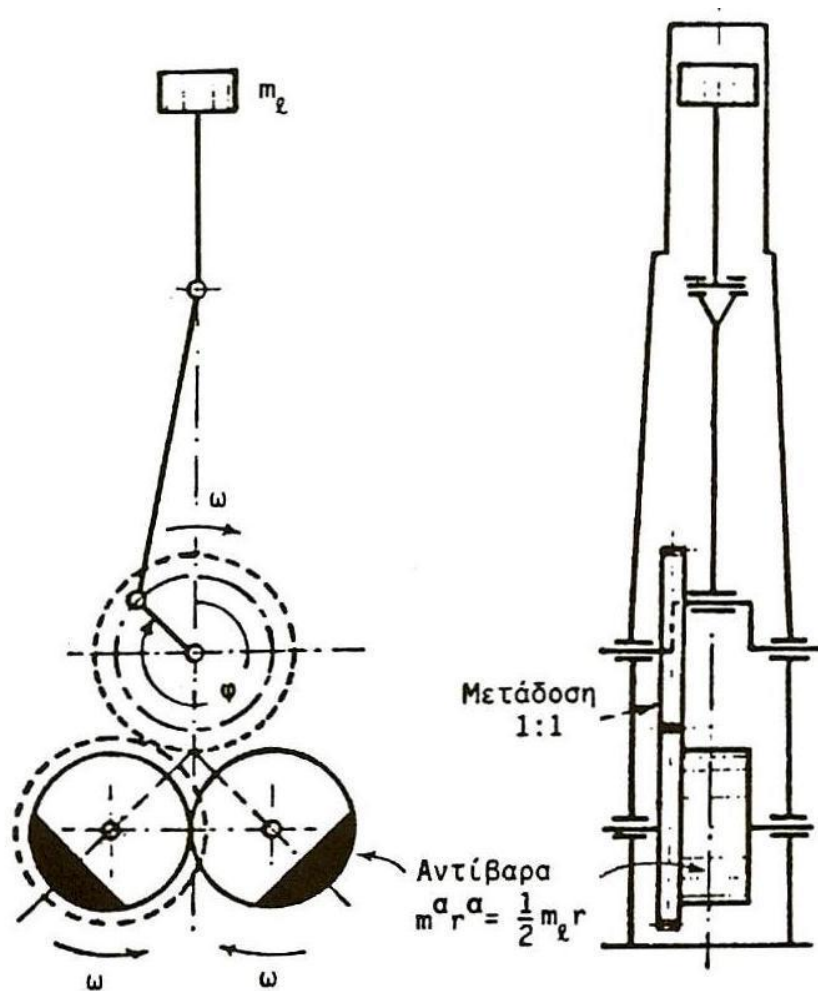
$$-2m_a r_a \omega^2 \cos\varphi = -m_l r \omega^2 \cos\varphi \quad (33)$$

δηλαδή επέρχεται πλήρης αντιστάθμιση της παλινδρομικής δύναμης 1^{ης} τάξης της μηχανής.

Οι διατάξεις αυτές καθώς και οι αντίστοιχες για τις δυνάμεις 2^{ης} τάξης, που θα αναφερθούν στη συνέχεια, σπανίως χρησιμοποιούνται, καθώς είναι περίπλοκες.



Σχήμα 10: Διανυσματική παράσταση παλινδρομικών δυνάμεων 1^{ης} και 2^{ης} τάξης



Σχήμα 11: Διάταξη ζυγοστάθμισης παλινδρομικής δύναμης 1^{ης} τάξης

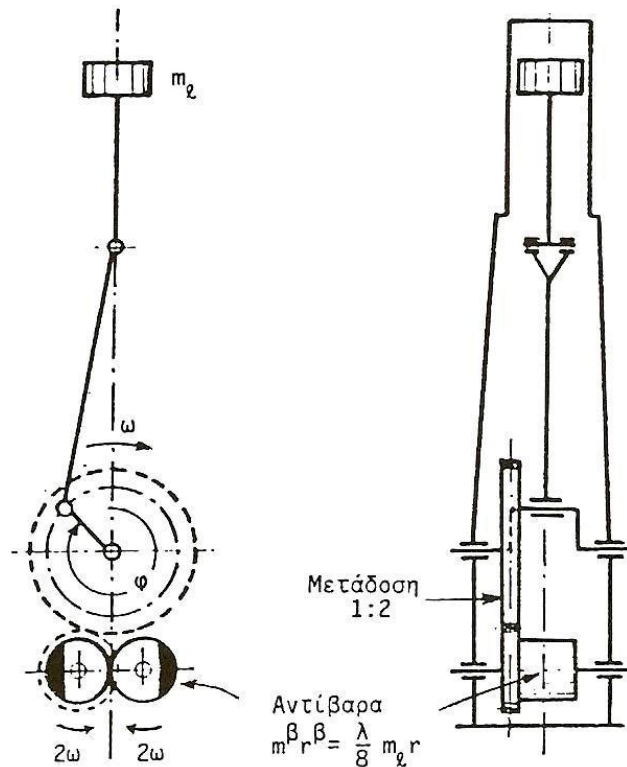
3.3.2 Παλινδρομική δύναμη 2^{ης} τάξης

Αυτή αποτελεί το δεύτερο όρο στη σχέση (30) , δηλαδή

$$Z_{II} \cos 2\varphi = \lambda m_l r \omega^2 \cos 2\varphi \quad (34)$$

με βάση τη νέα θετική φορά αναφοράς που φαίνεται στο Σχήμα 10.

Όπως για την περίπτωση της παλινδρομικής δύναμης 1^{ης} τάξης, αυτή μπορεί να θεωρηθεί σαν προβολή, στον άξονα του κυλίνδρου, διανύσματος μέτρου $Z_{II} = \lambda m_l r \omega^2$ που σχηματίζει στιγμιαία γωνία 2φ με τον άξονα αυτόν, δηλαδή περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα 2ω , Σχήμα 10. Σημειώνεται και πάλι ότι το διάνυσμα αυτό δεν υφίσταται στην πραγματικότητα, αλλά η χρησιμότητά του είναι αντίστοιχη με αυτήν του αντιστοίχου "βοηθητικού" διανύσματος για την παλινδρομική δύναμη πρώτης τάξης. Αυτό αντίστοιχα καλείται βοηθητικό διάνυσμα 2^{ης} τάξης.



Σχήμα 12: Διάταξη ζυγοστάθμισης παλινδρομικής δύναμης 2^{ης} τάξης

Για την πλήρη ζυγοστάθμιση της παλινδρομικής δύναμης 2^{ης} τάξης προκύπτει ότι αυτή είναι δυνατή μέσω κατάλληλης τοποθέτησης δύο συμμετρικών αντίβαρων (Σχήμα 12), καθένα με στοιχεία που πληροί τη σχέση $m^{\beta} r^{\beta} = \lambda m_i r / 8$ σε δύο βοηθητικές ατράκτους που στρέφονται αντίθετα με γωνιακή ταχύτητα 2ω και εδράζονται στο κέλυφος της μηχανής. Σημειώνεται και πάλι, ότι τα αντίβαρα πρέπει να κείνται και επί επιπέδου καθέτου προς τον άξονα της στροφαλοφόρου ατράκτου που περιλαμβάνει τον άξονα του κυλίνδρου, για την αποφυγή δημιουργίας ροπής.

Οι δύο δημιουργούμενες φυγόκεντρες δυνάμεις δίνουν συνισταμένη επάνω στον άξονα, με τιμή :

$$-2m^{\beta} r^{\beta} (2\omega)^2 \cos 2\varphi = -2 \frac{\lambda m_i r}{8} (2\omega)^2 \cos 2\varphi = -\lambda m_i r \omega^2 \cos 2\varphi \quad (35)$$

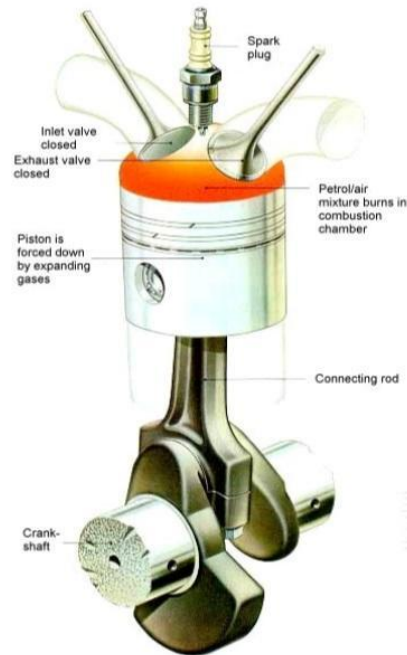
δηλαδή επέρχεται πλήρης αντιστάθμιση της παλινδρομικής δύναμης 2^{ης} τάξης της μηχανής.

3.3.3 Περιστροφική Μαζική Δύναμη

Από τις περιστρεφόμενες μαζικές δυνάμεις ασκείται στη στροφαλοφόρο άτρακτο μία δύναμη με σταθερό μέτρο

$$P_r = m_r r \omega^2 \quad (36)$$

με διεύθυνση πάντοτε αυτήν της ακτίνας του στροφάλου.



Εικόνα 22: Αντίβαρο στην προέκταση του στροφάλου για την αντιστάθμιση δυνάμεων από περιστρεφόμενες μάζες

Η πλήρης αντιστάθμιση της P είναι πάντοτε δυνατή με τη βοήθεια αντίβαρου τοποθετούμενου στην προέκταση της ακτίνας του στροφάλου, Εικ.2, και με στοιχεία m^r , r^r τέτοια ώστε να ισχύει η σχέση:

$$m^r r^r = m^r r \quad (37)$$

όπου m^r η μάζα του αντίβαρου και r^r η απόσταση του Κ.Β. του από τον άξονα περιστροφής.

3.4 ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΜΑΖΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΡΟΠΩΝ ΠΟΛΥΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Στην περίπτωση πολυκύλινδρων κινητήρων, εάν η διάταξη των κυλίνδρων είναι σε σειρά, σε κάθε στρόφαλο εμφανίζονται οι δυνάμεις από τον οικείο κύλινδρο, όπως στο μονοκύλινδρο κινητήρα. Εάν όμως, η διάταξη των κυλίνδρων είναι τέτοια, ώστε σε κάθε στρόφαλο να αρθρώνονται περισσότεροι από έναν διωστήρες (πχ. κινητήρες διάταξης V ή W ή αστεροειδείς), τότε σε κάθε στρόφαλο ασκείται η συνισταμένη από τους σχετικούς κυλίνδρους. Έτσι, στη στροφαλοφόρο άτρακτο δρουν περισσότερες δυνάμεις, που εφαρμόζονται στις θέσεις των στροφάλων. Οι παλινδρομικές δυνάμεις 1^{ης} και 2^{ης} τάξης είναι συνεπίπεδες (μέσο διάμηκες επίπεδο του κινητήρα). Οι περιστροφικές μαζικές δυνάμεις βρίσκονται γενικά σε διαφορετικά επίπεδα, κάθετα στην άτρακτο του κινητήρα στη θέση του αντίστοιχου στροφάλου.

Η αναγωγή των δυνάμεων αυτών σε ένα οποιοδήποτε σημείο θα δώσει μία συνισταμένη δύναμη R και μία συνισταμένη ροπή M, που είναι το τελικό αποτέλεσμα της δράσης των μαζικών δυνάμεων. Αυτές μεταφέρονται στο κέλυφος και τη θεμελίωση της μηχανής. Φυσικά οι R_I και R_{II} έχουν ορισμένη διεύθυνση (άξονας κυλίνδρων) και μεταβλητό μέγεθος, ενώ η R, έχει σταθερό μέτρο και μεταβαλλόμενη διεύθυνση. Αντίστοιχα, ισχύουν για τις ροπές M_I , M_{II} και M_r θεωρώντας τα διανύσματά τους ή καλύτερα αυτά στραμμένα κατά 90^0 , ώστε να "πέσουν" στο επίπεδο ενέργειας των αντιστοίχων δυνάμεων. Τα διανυσματικά διαγράμματα σύνθεσης των Z_I και P_r ή των αντιστοίχων ροπών, προς καθορισμό των R_I, R_r, M_I, M_r είναι ακριβώς τα ίδια, αλλά έχουν διαφορετική σημασία.

Ο προσδιορισμός της συνισταμένης δύναμης και ροπής, λόγω μαζικών δυνάμεων, επιτυγχάνεται με τις γνωστές μεθόδους της Μηχανικής, με τη βοήθεια της διανυσματικής παράστασης (δηλαδή τα βοηθητικά διανύσματα Z_I και Z_{II}) των μαζικών δυνάμεων και ροπών. Για τις ροπές θα θεωρηθούν τα διανύσματά τους στραμμένα κατά 90^0 , ώστε να συμπέσουν στο επίπεδο ενεργείας των αντιστοίχων δυνάμεων, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα τα "βοηθητικά" διανύσματα των αντιστοίχων δυνάμεων. Προφανώς τα "βοηθητικά" διανύσματα των R_I και M_I αποτελούν με διαφορετική κλίμακα τα πραγματικά διανύσματα για τις R_r και M_r αντίστοιχα. Υφίσταται πάντα εσωτερική δράση των μαζικών δυνάμεων στη στροφαλοφόρο άτρακτο και το κέλυφος της μηχανής, οι διατομές των οποίων διαβιβάζουν δυνάμεις και ροπές ακόμη και όταν υπάρχει πλήρης ζυγοστάθμιση, δηλαδή όταν το ολικό αποτέλεσμα των μαζικών δυνάμεων είναι μηδενικό. Τέλος, το μέγιστο της καμπτικής ροπής λόγω των Z_I και P_r εμφανίζεται κατά κύριο λόγο στο μέσο της ατράκτου.

Συγκεκριμένα, όσο αφορά τους κινητήρες σειράς με αριθμό κυλίνδρων z στην πολύ συνηθισμένη περίπτωση των ισοδιαστημάτων αναφλέξεως, η μικρότερη γωνία ε μεταξύ δύο στροφάλων είναι, $\epsilon=360^0/z$ για κάθε 2-Χ κινητήρα και για 4-Χ κινητήρες με περιττό αριθμό κυλίνδρων, ενώ είναι $\epsilon=720^0/z$ για 4-Χ κινητήρες με άρτιο αριθμό κυλίνδρων (εδώ τα στρόφαλα συμπίπτουν ανά δύο).

Έτσι, τα "βοηθητικά" διανύσματα για τις Z_I και Z_{II} και πραγματικών διανυσμάτων για τις P_r (που είναι ίδιοι με τα "βοηθητικά" διανύσματα για τις Z) δίνουν συνισταμένη ίση με το μηδέν (οι αντίστοιχες ροπές δεν είναι κατ' ανάγκην μηδέν), με

εξαίρεση το δίκυλινδρο 2-Χ ή 4-Χ κινητήρα και τον τετρακύλινδρο 4-Χ κινητήρα που έχει ελεύθερες παλινδρομικές δυνάμεις 2^{ης} τάξης .

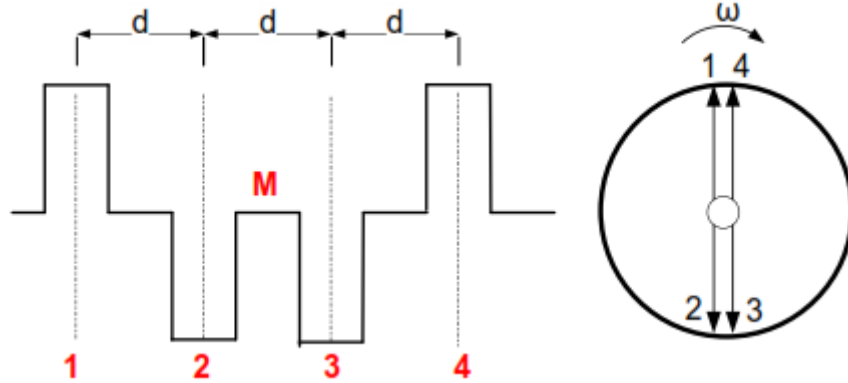
Τυχόν παραμένουσες δυνάμεις ή ροπές 1^{ης} και 2^{ης} τάξης δημιουργούν κραδασμούς στον κινητήρα. Οι κραδασμοί αυτοί είναι σχετικά μικρής έντασης σε μικρού όγκου εμβολισμού κινητήρες. Όσο αυξάνει όμως η ισχύς και ο όγκος εμβολισμού του κινητήρα τόσο και αυτοί μεγαλώνουν. Επιπλέον, οι παραμένουσες δυνάμεις και ροπές επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία του κινητήρα ακόμα και την ισχύ του και το εύρος ταχυτήτων στο οποίο λειτουργεί . Τέλος, ευθύνονται και για την διάρκεια ζωής του κινητήρα καθώς οι κραδασμοί καταπονούν την στροφαλοφόρο άτρακτο και τα ρουλεμάν της μηχανής. Για τον λόγο αυτό, είναι μεγάλης σημασίας η αντιστάθμιση αυτών των ελεύθερων δυνάμεων και ροπών που μπορεί να υπάρχουν, ώστε ο κινητήρας να είναι πλήρως ζυγοσταθμισμένος και ελεύθερος από κραδασμούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΦΑΡΜΟΓΗ -ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ ΤΕΤΡΑΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ



Εικόνα 23: Στροφαλοφόρος άτράκτος 4-κύλινδρου 4-Χ κινητήρα εν-σειρά διάταξης της BMW με αντίβαρο στην προέκταση κάθε στροφάλου

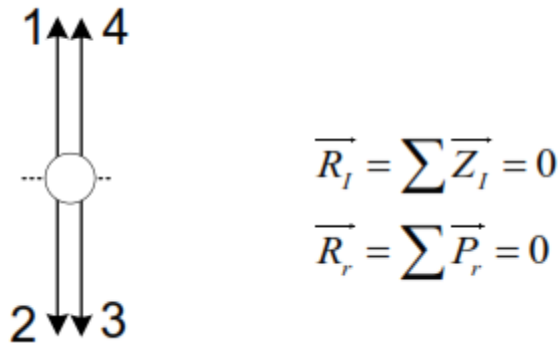
Η μορφή της στροφαλοφόρου ατράκτου φαίνεται στην Εικ. 23. Η διάταξη της στροφαλοφόρου ατράκτου (συμμετρικής μορφής), η φορά περιστροφής (δεξιόστροφη) και η σειρά ανάφλεξης φαίνονται στο Σχήμα 13. Η γωνία σφήνωσης των στροφάλων ϵ είναι ίση με την γωνία ανάφλεξης $\Delta\phi_{\alpha}=720^{\circ}/z=180^{\circ}$. Δοθείσης της διάταξης των στροφάλων στο Σχήμα 13 η σειρά ανάφλεξης είναι: 1-3-4-2.



Σχήμα 13: Διάταξη στροφαλοφόρου ατράκτου 4-κύλινδρου 4-Χ κινητήρα

4.1 ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ 1^{ΗΣ} ΤΑΞΗΣ

Το διάγραμμα των διανυσμάτων της 1^{ης} τάξης φαίνεται στο Σχήμα 14 για την θέση της ατράκτου στην οποία το στρόφαλο του πρώτου κυλίνδρου (1) βρίσκεται στο ΑΝΣ.

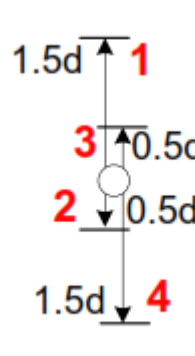


Σχήμα 14: Διάγραμμα δυνάμεων 1^{ης} τάξης από παλινδρομούσες και περιστρεφόμενες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου

Λόγω της συμμετρίας των “βοηθητικών” διανυσμάτων, η συνισταμένη τους είναι μηδενική, δηλαδή $R_l = \sum Z_l = 0$ άρα και η προβολή της στην κοινή

διεύθυνση των αξόνων των κυλίνδρων, δηλαδή η συνισταμένη των $Z_i \cos\phi$ όλων των κυλίνδρων είναι σε κάθε γωνία ϕ μηδενική.

Εξετάζουμε επιπλέον, την πιθανή ύπαρξη συνισταμένης ροπής των δυνάμεων αυτών. Στο Σχήμα 15 φαίνεται το συνιστάμενο διάνυσμα που παριστάνει την ροπή M_i με σημείο αναγωγής το μέσο M του Σχήματος 13.



$$\begin{aligned}
 M_1 &= 1.5Pd \\
 M_2 &= 0.5Pd \\
 M_3 &= -0.5Pd \\
 M_4 &= -1.5Pd \\
 \overline{M}_l &= \sum \overline{Z}_l d = 0 \\
 \overline{M}_r &= \sum \overline{P}_r d = 0
 \end{aligned}$$

Σχήμα 15: Συνθήκες ζυγοστάθμισης ροπών 1^{ης} τάξης από παλινδρομούσες και περιστρεφόμενες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου κινητήρα

Επομένως, η στιγμιαία τιμή της συνισταμένης ροπής κατά την τυχαία γωνία του στροφάλου (1) είναι $M_l=0$

4.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΠΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ

Το σταθερό μέτρο των δυνάμεων αυτών είναι $P = P_r = m_r r \omega^2$.

Τα διανύσματα των Σχημάτων 14 και 15 αντιπροσωπεύουν με ανάλογη κλίμακα τις δυνάμεις αυτές ή τις ροπές τους. Έτσι, είναι:

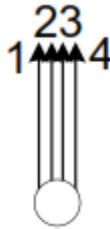
$$R_r = 0$$

$$M_r = 0$$

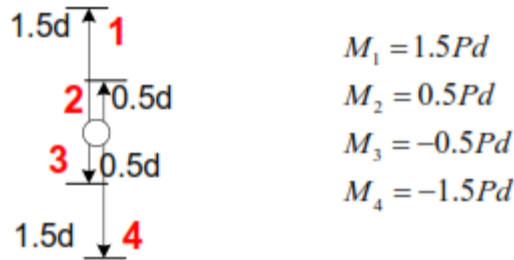
4.3 ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ 2^{ΗΣ} ΤΑΞΗΣ

Με ανάλογο τρόπο με αυτόν των παλινδρομικών δυνάμεων 1^{ης} τάξης σχεδιάζονται τα “βοηθητικά” διαγράμματα για τις δυνάμεις 2^{ης} τάξης και τις ροπές τους στα Σχήματα 16 και 17 αντίστοιχα. Η συνισταμένη δύναμη δεν είναι μηδενική· η προβολή της στην κοινή διεύθυνση των αξόνων των κυλίνδρων, δηλαδή η συνισταμένη των $Z_{II} \cos 2\varphi$ όλων των κυλίνδρων σε κάθε γωνία φ είναι:

$$R_{II}=4Z_{II}\cos(2\varphi)$$



Σχήμα 16: Συνθήκες ζυγοστάθμισης δυνάμεων 2^{ης} τάξης από παλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου κινητήρα

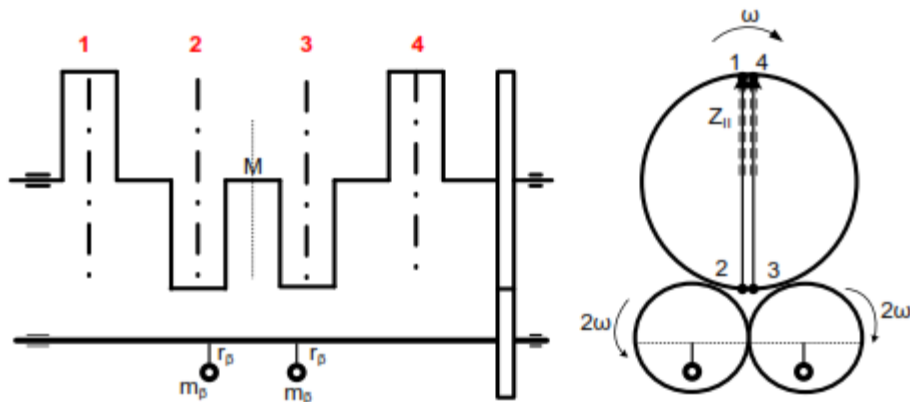


Σχήμα 17: Συνθήκες ζυγοστάθμισης ροπών 2^{ης} τάξης από παλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου τετράχρονου κινητήρα

Ο 4-κύλινδρος 4-Χ κινητήρας είναι ο μοναδικός πολυκύλινδρος εν-σειρά διάταξης με ομοιομορφία ανάφλεξης (πλην του δικύλινδρου) με παραμένουσες δυνάμεις (εν προκειμένω 2^{ης} τάξης). Όσον αφορά τις ροπές, λόγω του ότι η συνισταμένη δύναμη 2^{ης} τάξης είναι διαφορετική του μηδενός, η τιμή για την

αντίστοιχη ροπή εξαρτάται πλέον από το σημείο αναφοράς. Ειδικά όμως για το μέσο M (μέσο της ατράκτου στο Σχήμα 13) προκύπτει σύμφωνα και με το Σχήμα 24 ότι η στιγμιαία τιμή της ροπής αυτής κατά την τυχαία γωνία φ του στροφάλου (1) είναι μηδενική.

Βάση των παραπάνω, είναι εφικτός ο καθορισμός κατάλληλης διάταξης ώστε να αντισταθμιστεί πλήρως η ελεύθερη αυτή δύναμη. Τέτοια διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 18 και συνίσταται από δύο ζεύγη αντίβαρων με στοιχεία m^{β} , r^{β} που τοποθετούνται εκάστου επί μιας εκ των δύο βοηθητικών ατράκτων και στρέφονται με αντίθετη φορά και συμμετρικά με ταχύτητα 2ω . Το κάθε ζεύγος είναι σφηνωμένο υπό γωνία 180° ως προς το στρόφαλο του κυλίνδρου 1, όταν αυτός βρίσκεται στο ΑΝΣ, και είναι τοποθετημένα συμμετρικά του κέντρου M ώστε η αντίστοιχη ροπή που δημιουργούν (ως προς το M) να είναι μηδέν. Θα μπορούσε βέβαια να τοποθετηθεί ένα αντίβαρο, ακριβώς στο σημείο M , αντί των δύο αντίβαρων συμμετρικά του M .

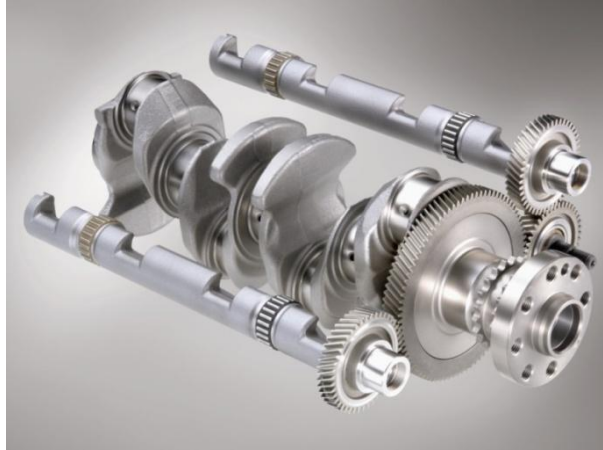


Σχήμα 18: Διάταξη πλήρους αντιστάθμισης δυνάμεων 2^{ης} τάξης αποπαλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου κινητήρα

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τις δυνάμεις 2^{ης} τάξης, στον 4κύλινδρο τετράχρονο κινητήρα παραμένουν και οι δυνάμεις 4^{ης}, 6^{ης} κλπ τάξεων, και μάλιστα και αυτές με μέγεθος τέσσερις φορές του μονοκύλινδρου κινητήρα.

Για να αντισταθμιστούν οι παραμένουσες δυνάμεις 2^{ης} τάξης, ο Βρετανός μηχανικός Frederick Lanchester ήταν ο πρώτος που ανακάλυψε και εφάρμοσε τις ατράκτους αντιστάθμισης του Σχήματος 18. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων για να απαλλαγούν από τις παραμένουσες αυτές δυνάμεις χωρίς την χρήση ατράκτων εξισορρόπησης χρησιμοποιούν εναλλακτικά ενισχυμένα μπλοκ κινητήρα, αποσβεστήρες κραδασμών και ελαφριά έμβολα. Αυτά βοηθούν, αλλά

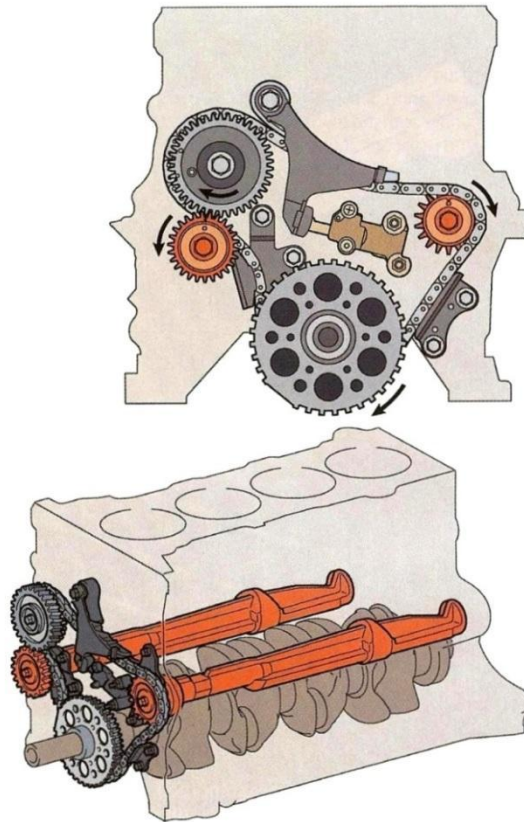
κυρίως για κινητήρες με όγκο εμβολισμού μικρότερο των δύο λίτρων. Για κινητήρες με μεγαλύτερο όγκο εμβολισμού, είναι συχνά απαραίτητη η χρήση ατράκτων αντιστάθμισης. Παρακάτω φαίνονται κάποια τέτοια συστήματα αντιστάθμισης.



Εικόνα 24: Σύστημα αντιστάθμισης με δύο ατράκτους της BMW για την εξουδετέρωση των παλινδρομικών δυνάμεων 2^{ης} τάξης



Εικόνα 25: Άτρακτος αντιστάθμισης της εταιρίας Schaeffler για το σύστημα αντιστάθμισης της εικόνας 24



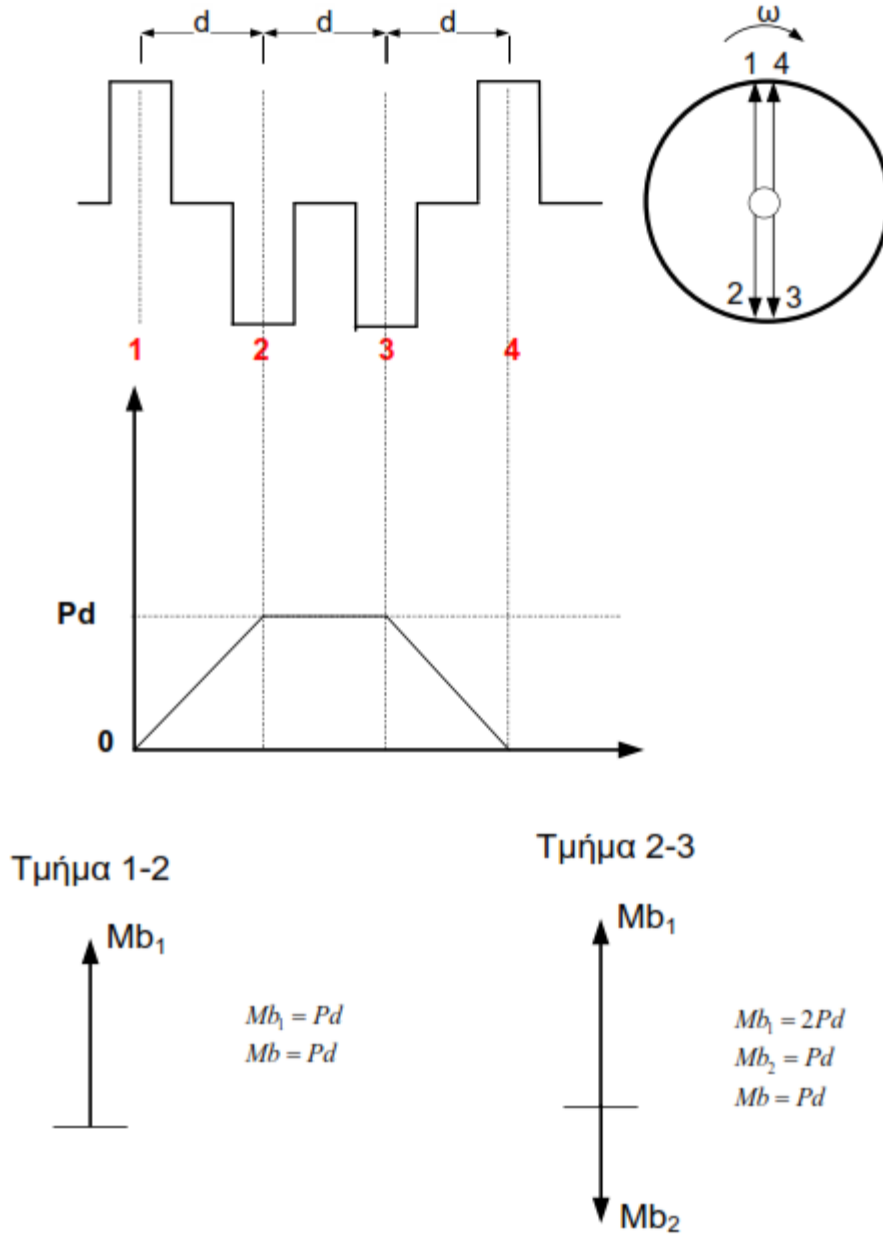
Εικόνα 26: Σύστημα αντιστάθμισης με δύο ατράκτους της Toyota για 4-κύλινδρο κινητήρα με συνολικό όγκο εμβολισμού 2.7 L

4.4 ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ

Η μεταβολή του μέτρου της καμπτικής ροπής κατά μήκος της ατράκτου λόγω των περιστρεφόμενων δυνάμεων, με την προϋπόθεση της έδρασης της στα δύο άκρα της ώστε να κάμπτεται ελεύθερα, δίνεται στο Σχήμα 19. Λόγω συμμετρίας, εξετάζονται στο Σχήμα 3.21 οι καμπτικές ροπές από την αρχή ως το μέσο της ατράκτου. Με την βοήθεια αντίβαρων στην προέκταση όλων των στροφάλων είναι δυνατόν να ελαττωθεί το μέτρο των P_r κατά το επιθυμητό ποσοστό και συνεπώς κατά το ίδιο ποσοστό και οι καμπτικές ροπές.

Λόγω της ομοιότητας των περιστροφικών δυνάμεων με της παλινδρομούσες δυνάμεις 1^{ης} τάξης, για τις καμπτικές ροπές, λόγω παλινδρομουσών μαζών 1^{ης} τάξης ισχύουν παρόμοια με του Σχήματος 19, με

την προϋπόθεση ότι το αντίστοιχο διάγραμμα παριστάνει την μεταβολή της μέγιστης τιμής της καμπτικής ροπής σε κάθε θέση και υπό ανάλογη κλίμακα.



Σχήμα 19: Καμπτικές ροπές λόγω δυνάμεων 1^{ης} τάξης από περιστρεφόμενες καιπαλινδρομούσες μάζες 4-κύλινδρου κινητήρα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε ότι η σπουδαιότητα της ζυγοστάθμισης σε κάθε τύπο μηχανής είναι μεγάλη. Η έλλειψή της επιφέρει αρκετά προβλήματα και βλάβες, που αφορούν την δομική ακεραιότητα της μηχανής καθώς και την αθόρυβη και συγχρονισμένη λειτουργία της.

Ανάλογα με την πολυπλοκότητα της μηχανής το έργο της ζυγοστάθμισης γίνεται ολοένα και πιο δύσκολο και απαιτεί μεγαλύτερη μελέτη. Για παράδειγμα, σε πολυκύλινδρες μηχανές, η μαθηματική και γραφική ανάλυση των μελών της μηχανής και της μηχανής σαν ένα ενιαίο σώμα απαιτεί γνώση ανώτερων μαθηματικών, σε σχέση με τη μελέτη ενός και μόνο μηχανισμού διωστήρα.

Βέβαια, σε πρακτικό επίπεδο η πλειονότητα των μηχανών φέρει άνω του ενός κυλίνδρου. Γι' αυτό το λόγο η αντιμετώπιση των ταλαντώσεων γίνεται και μέσω της σχεδίασης, για παράδειγμα μηχανές τύπου V.

Όπως προαναφέραμε στην εργασία, η ταλάντωση των μηχανών δημιουργείται από διάφορες ανεπιθύμητες ροπές και δυνάμεις, οι οποίες δρουν σε συγκεκριμένες στιγμές. Ο συνηθέστερος τρόπος για να τις εξουδετερώσουμε είναι η προσθαφαίρεση μαζών με σκοπό τη δημιουργία αντίθετων δυνάμεων και ροπών από αυτές της ταλάντωσης στις συγκεκριμένες στιγμές δράσης αυτών.

Άρα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η σωστή ζυγοστάθμιση οποιασδήποτε μηχανής είναι μία από τις σημαντικότερες προϋποθέσεις για την μακροχρόνια και μέγιστη απόδοσή της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενογλωσση

- Colin R. Ferguson (1986), “Internal Combustion Engine Applied Thermosciences” John B. Heywood (1988), “Internal Combustion Engine Fundamentals”
- Richard Stone (1999), “Introduction to Internal Combustion Engines” (3rd edition)
- Charles Fayette Taylor (1985), “The Internal Combustion Engine in the Theory and Practice, Volume 1”
- Charles Fayette Taylor (1985), “The Internal-Combustion Engine in the Theory and Practice, Volume 2”
- J. H. Weaving (1990), “Internal Combustion Engineering”
- Rowland S. Benson (1979), “Internal Combustion Engines, Volume 2”
- Ricardo (1933), “The High-Speed Internal Combustion Engine”

- Lanchester (1914), “Engine Balancing”
- Root (1932), “Dynamics of Engine and Shaft” McVey (1955), “Materials in Engine Design”
- Bauer (1960), “Engine Blocks and their components”
- C.D. Rakopoulos, E.G. Giakoumis (2009) «Diesel engine transient operation», Springer, London.
- K. Mollenhauer, H. Tschöke (2010) «Handbook of Diesel engines», Springer, London.

Ελληνόγλωσση

- Κ. Δ. Ρακόπουλος (1988), «Αρχές εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Εισαγωγή– Λειτουργία– Θερμοδυναμική», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- Κ. Δ. Ρακόπουλος (2000), «Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης II. Εμβάθυνση στην κατασκευή και λειτουργία», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.