

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ  
ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ  
ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Επιβλέπουσα: Μανιάτη Μισέλ

Σπουδαστής: Κατσαράκης Σύλλας Α.Μ 5170



Χειμερινό Εξάμηνο: 2015



## Περιεχόμενα

---

Ευχαριστίες .....	6
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....</b>	<b>9</b>
1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΚ .....	9
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	12
1.3 Κινητήρας Lenoir .....	14
1.4 Βενζινοκινητήρας Otto .....	14
1.5 Πετρελαιοκινητήρας Diesel .....	18
1.6 Ιστορική εξέλιξη τού αυτοκινήτου .....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ 4ΧΡΟΝΗΣ ΚΑΙ 2ΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.....</b>	<b>31</b>
2.1 Θεωρητικό διάγραμμα P-V 4χρονου βενζινοκινητήρα.....	33
2.2 Θεωρητικό διάγραμμα P-V 2χρονου βενζινοκινητήρα .....	34
2.3 Πραγματικό διάγραμμα P-V 4χρονου βενζινοκινητήρα .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΚ.....</b>	<b>37</b>
3.1 Σώμα των κυλίνδρων.....	38
3.2 Κεφαλή κυλίνδρων.....	39
3.3 Έμβολα και τα επιμέρους εξαρτήματά τους .....	40



3.4 Διωστήρας (μπιέλα) .....	44
3.5 Στροφαλοφόρος άξονας.....	45
3.6 Σφόνδυλος (βολάν) .....	47
3.7 Εκκεντροφόρος άξονας .....	49
3.8 Βαλβίδες.....	50
3.9 Ελαιολεκάνη (Κάρτερ) .....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗΣ .....</b>	<b>53</b>
4.1 Turbo ή Στροβιλοσυμπιεστής Καυσαερίου .....	53
4.2 Ελαττώματα χρήσης του turbo (turbochargers) .....	55
4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά των τούρμπο .....	58
4.4 Υπολογισμός Επιλογής Turbo .....	62
4.5 Υπολογισμοί .....	64
4.6 Βαλβίδες Διαφυγής Αέρα Και Καυσαερίων .....	72
4.7 Κρουστική καύση (πειράκια).....	76
4.8 Εναλλάκτης αέρα ή intercooler .....	77
4.9 Μηχανικός και ηλεκτρικός τρόπος υπερπλήρωσης.....	80
4.10 Compressor ή μηχανικός υπερσυμπιεστής .....	81
4.11 Οι Υπερσυμπιεστές Rotrex.....	84
4.12 Χημική υπερτροφοδότηση .....	86
4.13 Εισαγωγή Ram-Air .....	89
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ .....</b>	<b>91</b>



5.1 Συστήματα Πολλαπλής Εισαγωγής Μεταβλητού Μήκους .....	93
5.2 Συσσωρευτής ισχύος και κλαπέτο μεταβολής: .....	97
5.3 Μεταβολή του αυλού εισαγωγής .....	100
5.4 Συστήματα Μεταβλητού Χρονισμού .....	103
5.5 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού Vanos της BMW .....	105
5.6 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού VTEC της Honda.....	106
5.7 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού MIVEC της Mitsubishi .....	107
5.8 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού VVEL της Nissan.....	108
5.9 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού Valvetronic της BMW .....	109
5.10 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού VVTI-i της Toyota .....	111
5.11 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού Valvelift της Audi.....	112
Επίλογος.....	115
Βιβλιογραφία.....	116





## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια την κυρία Μανιάτη Μισέλ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, για την σημαντική βοήθεια και την συμβολή της ώστε να υλοποιηθεί η παρούσα πτυχιακή εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη που είχα όλων αυτών τον καιρό έτσι ώστε να τελειώσω τις σπουδές μου



## Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι τα συστήματα υπερπλήρωσης των μηχανών εσωτερικής καύσης και η μελέτη για την εγκατάσταση ενός από αυτά σε ένα ατμοσφαιρικό κινητήρα. Στην πτυχιακή αυτή θα εξηγηθεί η λειτουργία του κάθε συστήματος υπερπλήρωσης (μηχανικός υπερσυμπιεστής, στροβιλοσυμπιεστής, χημική υπερτροφοδότηση, RAM-Air) και θα κριθεί το καταλληλότερο ή συνδυασμό αυτών σε έναν κινητήρα, ανάλογα με τον τύπο, τον κυβισμό, και τις απαιτήσεις που παρουσιάζονται κατά περίπτωση στο φάσμα των στροφών λειτουργίας του. Η επιλογή του κάθε εξαρτήματος και η συνδεσμολογία τους θα δικαιολογηθεί διαστασιολογικά και λειτουργικά, από άποψη μεταβολής των μεγεθών λειτουργίας με σύγκριση των διαγραμμάτων ιπποδύναμης-ροπής, όσο και από πλευρά αντοχής. Επιπλέον, γίνεται λόγος για το συντονισμό της πολλαπλής εισαγωγής και την απαραίτητη συνεργασία του εκάστοτε συστήματος μεταβλητού χρονισμού με την εγκατάσταση της υπερτροφοδότησης.



## **Abstract**

The object of this thesis is the supercharged internal combustion engine systems and the study of the installation of one of these systems in a conventional naturally aspirated engine.

In this thesis, the function of each supercharge system (mechanical supercharger , turbocharger , supercharger chemical , RAM-Air) will be explained and the best suited or a combination of them to a motor , depending on type , engine capacity and the requirements presented by the range of operating speeds, will be selected.

The choice of each component of the assembly will be justified dimensionally and functionally depending on the variation of the operating characteristics by comparing horsepower - torque diagrams and from side resistance.

In addition, the coordination of manifold-intake system and the necessary cooperation of the respective variable timing system with the installation of the supercharge system, will be mentioned.





## Κεφάλαιο 1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΚ

Οι θερμικές μηχανές είναι το σύνολο των μηχανών στις οποίες η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Στις θερμικές μηχανές, η ενέργεια προέρχεται από τη διεργασία της καύσης, τη χημική αντίδραση δηλαδή κάποιων στοιχείων ή ενώσεων με το οξυγόνο, με εξώθερμη αντίδραση.

Ο χώρος των θερμικών μηχανών στον οποίο γίνεται η αντίδραση της καύσης ονομάζεται γενικά θάλαμος καύσης και οι χημικές ενώσεις που υφίστανται την εξώθερμη αντίδραση οξειδωσης καύσιμα. Είναι προφανές ότι για την πραγματοποίηση της καύσης, εκτός του καυσίμου, απαιτείται και οξυγόνο.

Στην συντριπτική πλειοψηφία των θερμικών μηχανών το απαραίτητο οξυγόνο παρέχεται στο θάλαμο καύσης με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος στην περίπτωση αυτή ονομάζεται αέρας καύσης.

Από τη χημεία της αντίδρασης καύσης μπορεί να προσδιορισθεί η θεωρητικά απαιτούμενη μάζα οξυγόνου ανά μονάδα μάζας του καυσίμου, εφ' όσον είναι γνωστή η στοιχειομετρική ανάλυση του τελευταίου, η περιεκτικότητά του δηλαδή στα διάφορα χημικά στοιχεία που το συνθέτουν.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το οξυγόνο συνηθέστατα παρέχεται στον θάλαμο καύσης με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Δεδομένης λοιπόν της γενικά σταθερής περιεκτικότητας του αέρα σε οξυγόνο, η θεωρητικά απαιτούμενη μάζα οξυγόνου μπορεί να αναχθεί εύκολα σε θεωρητικά απαιτούμενη μάζα αέρα. Για τη μάζα αυτή έχει επικρατήσει ο όρος στοιχειομετρική ποσότητα αέρα,  $\lambda$ , ο οποίος, με βάση τα παραπάνω, εκφράζει την ποσότητα αέρα που θεωρητικά απαιτείται για την πλήρη καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η καύση, στο θάλαμο καύσης αναμιγνύονται οι ποσότητες καυσίμου και αέρα, δημιουργώντας το καύσιμο μίγμα το καύσιμο μίγμα ή αλλιώς γόμωση. Στη δημιουργία του καυσίμου μίγματος είναι δυνατό να συμμετέχει η στοιχειομετρική ποσότητα αέρα, πολύ συχνά όμως η πραγματικότητα είναι διαφορετική και ο αέρας είναι είτε λιγότερος είτε περισσότερος από αυτόν που απαιτείται με βάση την στοιχειομετρία.

Το πηλίκο της μάζας αέρα που συμμετέχει στην καύση προς την στοιχειομετρική μάζα αέρα χαρακτηρίζεται ως ποιότητα μίγματος. Είναι προφανές ότι η ποιότητα μίγματος μπορεί να είναι μικρότερη από τη μονάδα, δηλαδή η μάζα αέρα που συμμετέχει στη δημιουργία του καυσίμου μίγματος να είναι μικρότερη από την στοιχειομετρική, ίση με την μονάδα ή και μεγαλύτερη από αυτήν, δηλαδή να υπάρχει στο μίγμα περισσότερος αέρας από το στοιχειομετρικά απαιτούμενο.



Αντίστοιχα, το καύσιμο μίγμα χαρακτηρίζεται ως πλούσιο, στοιχειομετρικό και φτωχό. Στην περίπτωση του πλούσιου μίγματος ο αέρας είναι λιγότερος από το στοιχειομετρικά απαιτούμενο, ή, με άλλα λόγια, η ποσότητα καυσίμου είναι περισσότερη από αυτήν που στοιχειομετρικά αντιστοιχεί στη μάζα του αέρα. Το μίγμα δηλαδή είναι πλούσιο σε καύσιμο.. Στην περίπτωση αντίθετα του φτωχού μίγματος ο διατιθέμενος αέρας είναι περισσότερος του στοιχειομετρικά απαιτούμενου, δηλαδή το μίγμα είναι φτωχό σε καύσιμο.

Με την καύση, η χημική ενέργεια που είναι δεσμευμένη στο μόριο του καυσίμου απελευθερώνεται και μετατρέπεται σε θερμική, το δε καύσιμο μίγμα (το μίγμα δηλαδή αέρα και καυσίμου) μετατρέπεται σε καυσαέριο, σε ένα μίγμα δηλαδή προϊόντων της χημικής αντίδρασης καύσης κατ' αρχήν αερίων.

Η θερμική ενέργεια που προκύπτει από την αντίδραση καύσης παραλαμβάνεται από το εργαζόμενο σώμα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία ή και η πίεση του. Το εργαζόμενο σώμα μπορεί να είναι είτε το ίδιο το καυσαέριο είτε άλλη ουσία

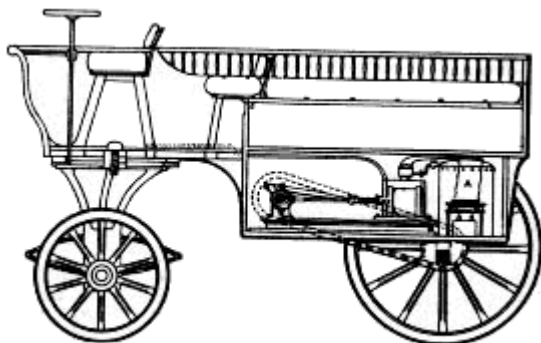
## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Κινητήρες *εσωτερικής καύσης* ονομάζονται εκείνες οι κινητήριες μηχανές που μετατρέπουν την αποθηκευμένη στο καύσιμο χημική ενέργεια *άμεσα* σε κινητική, σε αντιδιαστολή με τις ατμομηχανές, στις οποίες παρέχεται στον ατμό θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας από την (εξωτερική) καύση κάρβουνου, ξύλου κλπ. Η ιδέα του κινητήρα εσωτερικής καύσης ήταν να πυροδοτηθεί ένα μίγμα εύφλεκτων αερίων ή υγρών, το οποίο θα εκρήγνυται μέσα στον κύλινδρο και θα κινεί έτσι ένα έμβολο. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης εξελίχθηκαν σύντομα σε συμπαγείς, ευέλικτες μονάδες, οι οποίες αντικατέστησαν σταδιακά τις ατμομηχανές στις μονάδες παραγωγής και στις ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, αλλά κυρίως στα αυτοκινούμενα μέσα μεταφοράς.

Το σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των κινητήρων (βαθμός αποδόσεως 20-50%), έναντι των ηλεκτροκινητήρων (βαθμός αποδόσεως 60-98%) έγκειται στην εύκολη μεταφορά της δεξαμενής καυσίμου μαζί με το όχημα. Οι ηλεκτροκινητήρες δεν μπορούν να τροφοδοτηθούν σε μικρά και μεσαία οχήματα με ικανοποιητικές ισχύεις, επειδή τα αποθηκευτικά μέσα της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα (αποθηκευμένη ενέργεια προς βάρος). Γι' αυτό οι ηλεκτροκινητήρες ικανής ισχύος χρησιμοποιούνται κυρίως σε παραγωγικές διεργασίες ή σε πολύ μεγάλα οχήματα.



Η εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται με υγρά καύσιμα, έγινε ουσιαστικά σε τρία βήματα, αρχίζοντας με τον Jean-Josef Lenoir, περνώντας από τον Nicolaus Otto και καταλήγοντας καταρχήν στον Rudolf Diesel. Στη δεκαετία του 1930 δηλώθηκε από τον Felix Wankel ως ευρεσιτεχνία ένας νέος βενζινοκινητήρας για οχήματα, διαφορετικής κινηματικής από τους προηγούμενους, με τον οποίο φαίνεται να έχει κλείσει αυτός ο κύκλος. Στη δεκαετία του 1940 αναπτύχθηκαν οι αεριοστροβίλοι εσωτερικής καύσης (jet), με διαφορετική αρχή λειτουργίας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε αεροπλάνα, ενώ οι βενζινοκινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν από τα τέλη του 20ου αιώνα και με αέριο καύσιμο.



**Το όχημα του Lenoir**

**Εικόνα 1: Το όχημα του Lenoir**

Ένα άλλο είδος κινητήρα που παρουσιάστηκε ως ευρεσιτεχνία ήδη από το έτος 1816, είναι δηλαδή ο παλαιότερος κινητήρας εσωτερικής καύσης, αλλά αναπτύχθηκε με αργά βήματα, είναι αυτός που λειτουργεί με υπέρθερμο αέρα (κινητήρας Stirling), ο οποίος είναι οικολογικά ο καλύτερος, μπορεί να αξιοποιήσει οποιοδήποτε καύσιμο, μέχρι και την ηλιακή ενέργεια, αλλά υστερεί έναντι των γνωστών κινητήρων για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους.

### 1.3 Κινητήρας Lenoir

Η πρώτη επιτυχής από τις πολλές παράλληλες προσπάθειες που γίνονταν για την κατασκευή μιας μηχανής εσωτερικής καύσης ήταν αυτή του Γαλλοβέλγου Jean-Josef Etienne Lenoire (Λενουάρ, 1822-1900). Ο Λενουάρ παρουσίασε το έτος 1860 ένα μικρό όχημα, το οποίο κινείτο, ικανοποιητικά για εκείνη την εποχή, με τον κινητήρα του. Μέχρι τότε είχαν παρουσιαστεί μόνο οχήματα με ογκώδη ατμομηχανή, η οποία τα έκανε δυσκίνητα. Ο κινητήρας Λενουάρ αξιοποιούσε ως καύσιμο το φωταέριο, το οποίο εισάγεται στον κύλινδρο αναμεμειγμένο με αέρα στο πρώτο στάδιο λειτουργίας, κατά το πρώτο μισό της διαδρομής του εμβόλου. Το μίγμα αυτό πυροδοτείται με ηλεκτρικό σπινθήρα και ωθεί το έμβολο στο υπόλοιπο κομμάτι της διαδρομής του. Κατά την επιστροφή του εμβόλου, στη μία πλευρά του απωθούνται τα καυσαέρια, ενώ στην άλλη πλευρά επαναλαμβάνεται η διαδικασία εισαγωγής του μίγματος φωταέριο-αέρας. Ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα Λενουάρ ήταν όμως πολύ χαμηλός, πράγμα που δυσκόλεψε την οικονομική αξιοποίησή της.

### 1.4 Βενζινοκινητήρας Otto



Εικόνα 2: Ο Otto

Από τη μηχανή του Λενουάρ ξεκίνησε ο Γερμανός Nikolaus Augustus Otto (Ότο, 1832-1891), με σπουδές σε εμπορικά θέματα, και κατασκεύασε το έτος 1876 ένα τετράχρονο βενζινοκινητήρα. Προηγουμένως, είχε κατασκευάσει ο Ότο με οικονομική στήριξη του E. Langen (Λάνγκεν) ένα λεγόμενο ατμοσφαιρικό κινητήρα με ελεύθερο έμβολο. Το έτος 1867 παρουσιάστηκε αυτός ο κινητήρας στην παγκόσμια έκθεση του Παρισιού και, παρά τη θορυβώδη λειτουργία του, πήρε ένα χρυσό βραβείο, γιατί είχε κατά 60% μειωμένη κατανάλωση καυσίμου.



Έτσι απέκτησε ο Ότο τη φήμη να έχει κατασκευάσει τον πρώτο κινητήρα με ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως. Επιβεβαιώθηκε δε άλλη μια φορά η «αρχή», όπως με την ατμομηχανή κ.ά., να εφευρίσκει ένας Γάλλος μία μηχανή, η οποία να βελτιώνεται και τελειοποιείται από Άγγλους και Γερμανούς ...

Η μεγάλη ζήτηση για τους κινητήρες του Ότο οδήγησε στην ίδρυση από τον Λάνγκεν της ανώνυμης εταιρίας Deutz AG στην Κολωνία, το έτος 1872, η οποία είχε στόχο τη μαζική παραγωγή κινητήρων. Σήμερα αυτή η εταιρία έχει εξελιχθεί σε πρωτοπόρο κατασκευαστή μηχανών κάθε μεγέθους και λειτουργικής αρχής! Υπεύθυνος για τη σχεδίαση ήταν ο Wilhelm Maybach (Μάιμπαχ, ) και για την παραγωγή ο Gottlieb Daimler (Ντάιμλερ, 1834-1900). Το έτος 1874 έφτασε η μηνιαία παραγωγή τους 80 κινητήρες, αλλά στο τέλος του ίδιου έτους προέκυψε εμπορικό πρόβλημα: αυτοί οι κινητήρες με ισχύ περί τα 2 kW (~2,7 PS) δεν ήταν σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες των βιοτεχνιών και μικρών βιομηχανιών. Παράλληλα κυκλοφορούσαν δε κινητήρες Sterling (υπέρθερμου αέρα) οι οποίοι, αν και είχαν μικρότερο βαθμό αποδόσεως, είχαν υψηλότερη σταθερή ισχύ. Αυτοί δε οι κινητήρες δέχονταν ως καύσιμο ξύλα, τύρφη ή κάρβουνο και δεν είχαν εξάρτηση από το φωταέριο.

Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, έπρεπε να βελτιωθεί ο κινητήρας του εργοστασίου Deutz και για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα «Τμήμα Ερευνών», του οποίου τη λειτουργία ανέλαβε ο Ότο. Έτσι έγινε δυνατή η μελέτη για την κατασκευή κινητήρων που είχε διακοπεί από το 1862. Ήδη το έτος 1876 παρουσίασε ο Ότο το «νέο κινητήρα», όπως ονομαζόταν για πολύ καιρό ο τετράχρονος βενζινοκινητήρας, με τον οποίο έκλεισε οριστικά η εποχή των πρώιμων κινητήρων. Κύριο πλεονέκτημα του νέου αυτού κινητήρα ήταν η συμπίεση του μίγματος καύσιμο-αέρας, μια αρχή που δεν άλλαξε μέχρι των ημερών μας, παρά τις πάμπολλες τροποποιήσεις και βελτιώσεις.

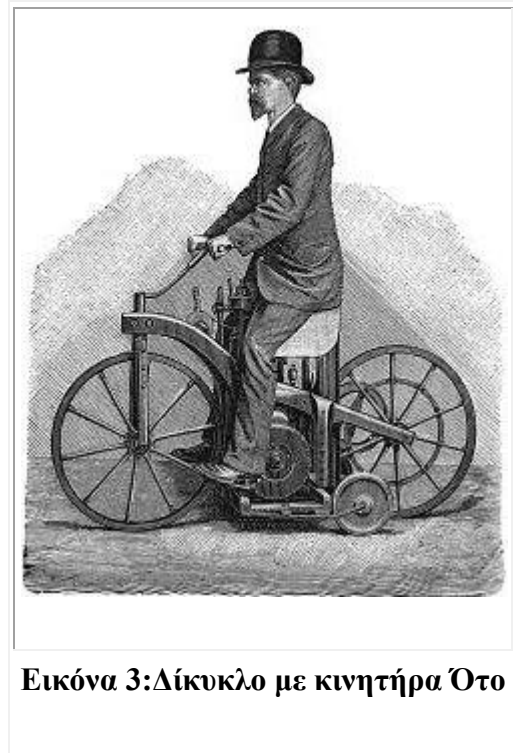
Η περιοδικά επαναλαμβανόμενη διεργασία στον τετράχρονο κινητήρα Ότο είναι η ακόλουθη:

- Ο κύλινδρος γεμίζει με καύσιμο και αέρα,
- το έμβολο συμπιέζει το μίγμα,
- το συμπιεσμένο μίγμα πυροδοτείται (ηλεκτρικός σπινθηριστής, μπουζί), οπότε διαστέλλεται το καιγόμενο μίγμα και απωθεί το έμβολο, παράγοντας έργο,
- τα καυσαέρια εξάγονται από τον κύλινδρο.

Αυτές οι λειτουργίες εκτελούνται σε 4 φάσεις (χρόνους) και γι' αυτό ο κινητήρας ονομάζεται *τετράχρονος*. Μία άλλη εκδοχή του κινητήρα Ότο είναι ο *δίχρονος*, ο οποίος χρησιμοποιείται πλέον μόνο σε πολύ μικρά οχήματα και άλλες μονάδες μικρής ισχύος

Ο Μάιμπαχ που ήταν υπεύθυνος για το σχεδιασμό των κινητήρων στο εργοστάσιο Deutz, βελτίωσε διάφορες τεχνικές λεπτομέρειες αυτού του κινητήρα και ήδη το έτος 1876 τον παρουσίασε στην αγορά με το όνομα Deutz-A-Motor. Η ισχύς του ήταν πάλι περί τα 2 kW, αλλά με καλύτερο βαθμό

αποδόσεως. Το αμέσως επόμενο έτος αυξήθηκε η ισχύς στα 3,5 kW (~5 PS) και η εμπορική επιτυχία του έδωσε τη δυνατότητα για περισσότερες βελτιώσεις. Διάφορες εταιρίες στη Γερμανία και το εξωτερικό έλαβαν άδεια κατασκευής του τετράχρονου κινητήρα κι έτσι διαδόθηκε ταχύτατα η χρήση του σε διάφορες παραγωγικές μηχανές.







Όπως συμβαίνει συχνά με τις μεγάλες ανατροπές, το εργοστάσιο Deutz δεν μπόρεσε να προσαρμοστεί εύκολα στην παραγωγή της νέας μηχανής, γιατί οι εγκαταστάσεις παραγωγής του παλιού κινητήρα Ότο δεν είχαν ακόμα αποσβεστεί. Ο Ντάιμλερ και ο Μάιμπαχ αποχώρησαν κατόπιν αυτού και ίδρυσαν το έτος 1882 μια νέα εταιρία στο Cannstatt, κοντά στη Στουτγκάρδη, όπου άρχισε να παράγεται ο νέος ελαφρύς και πολύστροφος βενζινοκινητήρας με ικανοποιητική ισχύ που ήταν κατάλληλος για οχήματα.

Δύο χρόνια μετά, το έτος 1885, κυκλοφόρησε ένα δίτροχο με τον κινητήρα Ότο και το έτος 1886 κυκλοφόρησαν τα πρώτα οχήματα με κινητήρα με υγρό καύσιμο. Με αυτή την επιτυχία άρχισε να μειώνεται το ενδιαφέρον για τα ατμοκίνητα οχήματα και άρχισε η εποχή των βενζινοκίνητων που διαρκεί, με ένα πλήθος βελτιώσεων και τροποποιήσεων, μέχρι των ημερών μας.

Οι σημερινοί βενζινοκινητήρες για οχήματα έχουν βαθμό αποδόσεως (χημική σε μηχανική ενέργεια) στην περιοχή τιμών 20-30%. Με τις τριβές στα μηχανικά μέρη του οχήματος και των ελαστικών στο έδαφος ο συνολικός βαθμός αποδόσεως ενός οχήματος είναι ακόμα μικρότερος.

## 1.5 Πετρελαιοκινητήρας Diesel

Στον κινητήρα ντήζελ δεν εισάγεται εύφλεκτο μίγμα καυσίμου-αέρα, το οποίο πυροδοτείται, αλλά διαχέεται το καύσιμο με ισχυρό περίσσειμα αέρα, το οποίο συμπυκνώνεται με μια σχέση 25:1 και αυτοαναφλέγεται στη θερμοκρασία των 700-900 °C. Είναι προφανές ότι οι κινητήρες αυτοί πρέπει να αντέχουν σε πολύ υψηλές πιέσεις, πράγμα που στη δεκαετία του 1890 δεν ήταν εύκολο να υλοποιηθεί. Αυτός ο κινητήρας ανακοινώθηκε ως ευρεσιτεχνία το έτος 1892 από το Γερμανό μηχανικό Rudolf Diesel (Ντήζελ, 1858-1913) και μελετήθηκε στα έτη 1893-1897 με χρηματική υποστήριξη της εταιρίας Friedrich Krupp AG. Το 1893 εξεργάγη ένας κινητήρας στο εργαστήριο, λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων λειτουργίας και μόνο τυχαία γλύτωσε ο Ντήζελ το θάνατο.

Το πρώτο λειτουργικά ολοκληρωμένο δείγμα με καλό βαθμό αποδόσεως και εξοικονόμηση καυσίμου, κατασκευάστηκε στο εργοστάσιο της εταιρίας MAN στην πόλη Augsburg της Βαυαρίας. Αργότερα ιδρύθηκαν εργοστάσια σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις για τη μαζική παραγωγή κινητήρων ντήζελ. Το έτος 1908 κατασκευάστηκαν, αφενός ο πρώτος μικρού μεγέθους κινητήρας για ελαφριά οχήματα, αφετέρου το πρώτο όχημα βαρέων μεταφορών και η πρώτη σιδηροδρομική μηχανή έλξης με κινητήρα ντήζελ. Εκτοτε περιορίστηκε η ατμομηχανή σταδιακά σχεδόν αποκλειστικά σε παλιές μονάδες παραγωγής και σε λίγα πλοία. Στο λιμάνι της Νέας Υόρκης ήταν το έτος 1920 μόνο οι μαούνες ακόμα ατμοκίνητες, όλα τα εμπορικά πλοία διέθεταν ήδη κινητήρες ντήζελ.



Κύρια χαρακτηριστικά της λειτουργίας του κινητήρα Ντήζελ είναι:

- Το καύσιμο και ο αέρας αναμιγνύονται στον κύλινδρο,
- Λόγω της υψηλής συμπίεσης υπερθερμαίνεται το καύσιμο μίγμα και αυτοαναφλέγεται,
- Η ισχύς του κινητήρα ρυθμίζεται με την ποσότητα του εισερχόμενου καυσίμου.

Ο Ντήζελ είχε δοκιμάσει κατά τη φάση ανάπτυξης του κινητήρα του διάφορα υγρά καύσιμα, είχε όμως προβλήματα με τις αντλίες που θα διεκπεραίωναν την έκχυση του καυσίμου. Τελικά κατέληξε σε ένα κλάσμα αποστάξεως ορυκτού πετρελαίου, το οποίο ονομάστηκε επίσης ντήζελ, όπως και ο κινητήρας. Με κατάλληλες μετατροπές, ο κινητήρας αυτός είναι δυνατόν να λειτουργήσει και με άλλα υγρά και αέρια καύσιμα, π.χ. με φυτικά έλαια.

Σήμερα χρησιμοποιείται για την εκκίνηση των πετρελαιοκινητήρων, ιδίως σε ψυχρό περιβάλλον, ένα ηλεκτρικά πυρακτωμένο τύλιγμα (περίπου όπως ο αναπτήρας στο αυτοκίνητο) για την εύκολη έναυση και την αποφυγή καυσαερίων. Σε σύγχρονους κινητήρες ντήζελ κυμαίνεται ο βαθμός αποδόσεως (χημική σε μηχανική ενέργεια) στην περιοχή τιμών 15-50%, όπου οι μεγάλες τιμές αφορούν κινητήρες μεγάλης ισχύος (πλοία, τραίνα κλπ.) και οι μικρές τιμές κινητήρες μικρών οχημάτων.

Ο Ντήζελ δεν είχε ποτέ σημαντικά οικονομικά οφέλη από την εφεύρεσή του. Όπως συμβαίνει συχνά σ' αυτές τις υποθέσεις, οι διάφορες εταιρίες που συνέβαλαν στην ανάπτυξη του κινητήρα διεκδικούσαν μερίδιο από τα δικαιώματα του εφευρέτη, με αποτέλεσμα να εξελιχθούν πολύχρονες και πολυέξοδες δίκες, οι οποίες επηρέασαν τη σωματική και την ψυχική υγεία του Ντήζελ.



Ακριβώς, λόγω του καταθλιπτικού χαρακτήρα του, έφυγε ο μεγάλος εφευρέτης με περίεργο τρόπο από τη ζωή. Σε ένα ταξίδι με πλοίο το έτος 1913, από την Αμβέρσα στο Λονδίνο, χάθηκαν τα ίχνη του από το κατάστρωμα. Μετά από μερικές εβδομάδες βρήκαν ψαράδες ένα ταλαιπωρημένο πτώμα να επιπλέει στη φουρτουνιασμένη θάλασσα. Μια και δεν κατάφεραν να περισυλλέξουν το πτώμα, αφαίρεσαν από αυτό και παρέδωσαν στην Ακτοφυλακή δύο δακτυλίδια, τα οποία αποδείχθηκε ότι ανήκαν στον Ντήζελ

### **1.6 Ιστορική εξέλιξη τού αυτοκινήτου**

κατασκευή ατμομηχανών με σταθερή ισχύ και ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως άρχισαν να κατασκευάζονται ατμοκινούμενα οχήματα, μάλιστα από το 1830 περίπου και λεωφορεία. Το μεγάλο βάρος αυτών των οχημάτων, ουσιαστικά της ατμομηχανής τους, αλλά επίσης ο θόρυβος και η καπνιά που δημιουργούσαν, δεν τα έκαναν αποδεκτά από τους πολίτες. Στη δεκαετία του 1880 ήταν όμως διαθέσιμος ο κινητήρας Otto που δημιουργούσε ελπίδες για κατασκευή ελαφριών και ευέλικτων αυτοκινούμενων οχημάτων, για τα οποία καθιερώθηκε στην ελληνική γλώσσα αποκλειστικά ο όρος αυτοκίνητο. Βέβαια, οι λεγόμενοι *ατμοσφαιρικοί κινητήρες* είχαν αρχικά σημαντικό βάρος και το αέριο καύσιμο δεν ήταν παντού διαθέσιμο. Γι' αυτό πολλοί μηχανικοί σε διάφορες χώρες εργάζονταν με στόχο τη βελτίωση αυτού του κινητήρα και την ενσωμάτωσή του σε αυτοκίνητα.

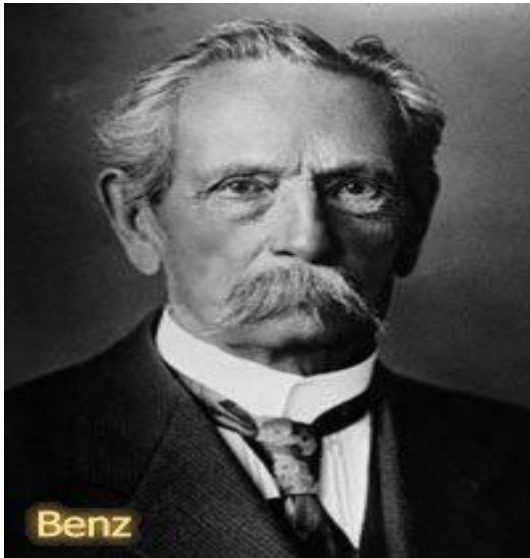


Οι δύο μηχανικοί που συνεργάστηκαν από το 1872 στην εταιρία Deutz των Otto και Langen, ο Gottlieb Daimler (Ντάιμλερ, 1834-1900), ο οποίος ήταν υπεύθυνος για τη διαδικασία παραγωγής των κινητήρων και ο Wilhelm Maybach (Μάιμπαχ, 1846-1929), ο οποίος ήταν επικεφαλής της μελετητικής ομάδας του εργοστασίου, αποχώρησαν από την εταιρία της Κολωνίας και εγκαταστάθηκαν στην πόλη Cannstatt κοντά στη Στουτγκάρδη (σήμερα προάστιο). Εκεί άρχισαν πειραματισμούς για να βελτιώσουν την πυροδότηση του καυσίμου στον κύλινδρο του κινητήρα. Στα πλαίσια αυτών των δοκιμών αποφάσισαν να χρησιμοποιούν ως καύσιμο βενζίνη, την οποία προωθούσε στον κύλινδρο για καύση ένας νέος τύπος *εξαεριοτή* (καρμπιρατέρ). Ο κινητήρας αυτός που ολοκληρώθηκε το έτος 1884 είχε κυβισμό  $500 \text{ cm}^3$  και ισχύ 1 PS.

Το 1885 κατασκεύασαν οι Daimler-Maybach με το βενζινοκινητήρα τους ένα ξύλινο ποδήλατο και το 1886 μια τροποποιημένη αλογοάμαξα. Κύριος στόχος τους ήταν να δείξουν την αποτελεσματική λειτουργία του νέου κινητήρα και να προκαλέσουν παραγγελίες, αλλά τα αποτελέσματα ήταν πενιχρά. Ένα σκάφος με τον ίδιο κινητήρα προκάλεσε όμως αρκετό ενδιαφέρον κι έτσι καλύφθηκε ένα μέρος των εξόδων ανάπτυξης.

Από τη δεκαετία του 1870 κατασκεύαζε ο Carl Benz (Μπεντς, 1844-1929) στο Mannheim δίχρονους κινητήρες με αέριο καύσιμο. Ενθουσιασμένος από τα αποτελέσματα των πειραμάτων και της κατασκευές στο Cannstatt, σχεδίασε ο Μπεντς ένα τρίτροχο όχημα με τετράχρονο κινητήρα, το οποίο είχε σχεδιαστεί εξ υπαρχής έτσι, ώστε να δεχθεί τον κινητήρα, δεν ήταν δηλαδή μια μεταποιημένη άμαξα, αν και δεν διέφερε ουσιαστικά από αυτήν. Η κατασκευή ενός οχήματος με διάφορες τεχνικές λεπτομέρειες δεν ήταν εκείνη την εποχή πια δύσκολη υπόθεση, γιατί υπήρχε τεχνογνωσία πολλών δεκαετιών από την κατασκευή ατμοκίνητων οχημάτων και ποδηλάτων. Έτσι, τα νέα αυτοκίνητα είχαν διαφορετικό στον πίσω άξονα, κατάλληλα φρένα κ.ο.κ.

Παρ' όλες τις τεχνικές βελτιώσεις, τα αυτοκίνητα των Daimler-Maybach και Benz δεν βρήκαν ανταπόκριση στο αγοραστικό κοινό και οι εμπορικές προοπτικές ήταν κακές. Κύριος λόγος ήταν ότι οι κατασκευαστές προσέφεραν ένα «στεγνό» τεχνικό προϊόν, χωρίς τα άχρηστα μεν αλλά απαραίτητα διαφημιστικά παραγεμίσματα που μετατρέπουν ένα ουδέτερο τεχνικό κατασκεύασμα σε απαραίτητο εξάρτημα.



**Εικόνα 4 α: ο Benz**

Αυτή ακριβώς η τεχνική εφαρμόστηκε από τους Γάλλους στη δεκαετία του 1890, όπως είχε εφαρμοστεί εξάλλου παλαιότερα και με το ποδήλατο. Στη

Γαλλία κυριαρχούσαν τα αυτοκίνητα Benz, Pannard & Levasson και Peugeot, τα τελευταία με κινητήρες Daimler. Το έτος 1891 παρουσίασε η εταιρία Pannard & Levasson ένα νέο αυτοκίνητο που έγινε γρήγορα αποδεκτό από τα μέλη της ανώτερης και μέσης οικονομικής και κοινωνικής τάξης. Μέχρι τέλος αυτής της δεκαετίας αυξήθηκαν σημαντικά οι πωλήσεις αυτοκινήτων στη Γαλλία και κάποια εποχή υπήρχαν λίστες προτεραιότητας με πολύμηνη αναμονή των υποψήφιων αγοραστών.



**Εικόνα 4 β: Οι συνεταιίροι Dion και Bouton**



Αυτή η αυξημένη ζήτηση προκάλεσε, όπως ήταν αναμενόμενο, το ενδιαφέρον κι άλλων κατασκευαστών, από τους οποίους η εταιρία Renault απέκτησε γρήγορα μεγάλο μερίδιο στις πωλήσεις και μέχρι τον α' παγκόσμιο πόλεμο βρισκόταν στην κορυφή των γαλλικών εταιριών. Μια άλλη εταιρία που είχε δημιουργηθεί από τον δούκα Albert de Dion (Ντιόν, 1856-1946) και τον Georges Bouton (Μπουτόν, 1847-1938) κατασκεύαζε παράλληλα με τα βενζινοκίνητα οχήματα, ατμομηχανές και βαρέα οχήματα μεταφοράς και έργων υποδομής. Η εταιρία Dion-Bouton έφτασε στην αλλαγή του αιώνα να απασχολεί περί τους 15.000 εργαζόμενους και ήταν εκείνη την εποχή ο μεγαλύτερος κατασκευαστής αυτοκινήτων στον κόσμο.



Στην πρώτη δεκαετία του 20<sup>ου</sup> αιώνα είχε διαθέσει αυτή η εταιρία περί τους 200.000 κινητήρες.

Ο δούκας Ντιόν δεν είχε δραστηριοποιηθεί μόνο ως βιομήχανος αλλά, με τις κοινωνικές και πολιτικές του διασυνδέσεις, επίσης ως οργανωτής και προπαγανδιστής ομίλων φίλων του αυτοκινήτου, οργανωτής αγώνων ταχύτητας και δεξιότητας, ομαδικών εκδρομών φυσιολατρικού και ιστορικού προσανατολισμού κ.ά. Στην Ευρώπη επαναλήφθηκε το κύμα ενθουσιασμού για το νέο μεταφορικό μέσον που είχε προηγηθεί με το ποδήλατο.

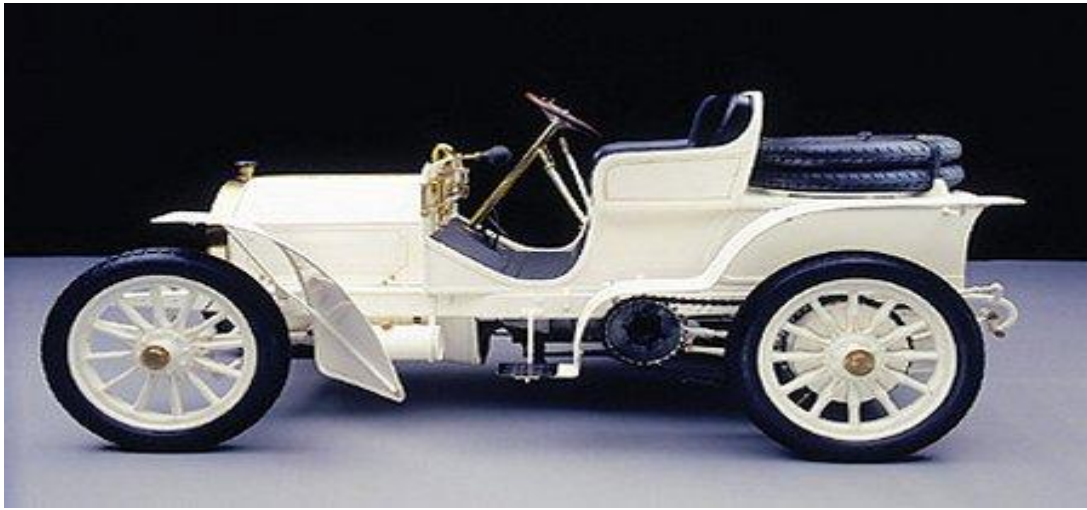
Η εταιρία Peugeot (Πεζώ) ξεκίνησε με το εργοστάσιό της στη Βουργουνδία ως κατασκευάστρια ποδηλάτων και ατμοκίνητων οχημάτων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1880 χρησιμοποίησε τον κινητήρα Daimler και παρήγαγε φθηνά αυτοκίνητα και ποδήλατα με κινητήρα. Η εταιρία Renault (Ρενώ) ιδρύθηκε το 1898 και συναρμολογούσε αρχικά αυτοκίνητα, κυρίως ταξί, τα οποία αποτέλεσαν πρότυπο για όλες τις πόλεις της Ευρώπης και Αμερικής, αλλά και των γαλλικών και αγγλικών αποικιών. Μέχρι το έτος 1907 εξελίχθηκε η Ρενώ στο μεγαλύτερο κατασκευαστή αυτοκινήτων στη Γαλλία με ετήσιες πωλήσεις μέχρι 3.000 ταξί.

Στη Γερμανία εμφανίστηκαν στον κλάδο κατασκευής αυτοκινήτων οι εταιρίες Adler (Άντλερ) και Opel (Όπελ), οι οποίες εισήγαγαν κινητήρες από την Dion-Bouton και αρχικά κατασκεύαζαν ποδήλατα. Το έτος 1902 κατασκεύασε η γερμανική εταιρία Bosch (Μπος) ένα μαγνητικό σύστημα *σπινθηρισμού* υψηλής τάσης για πυροδότηση του καυσίμου στον κύλινδρο των βενζινοκινητήρων. Αυτό το σύστημα υιοθετήθηκε σύντομα από όλους τους κατασκευαστές αυτοκινήτων και μέχρι το έτος 1914 είχαν πουληθεί περίπου 2 εκατομμύρια συστήματα σπινθηρισμού.





Το έτος 1900 σχεδίασε και κατασκεύασε ο Μάιμπαχ για τον Αυστριακό βιομήχανο Emil Jelikek (Γέλινεκ) ένα αγωνιστικό όχημα, με το οποίο ο βιομήχανος θα έπαιρνε μέρος σε αγώνες στη Νίκαια της Γαλλίας. Το αυτοκίνητο αυτό με ισχύ 35 PS και πολλούς τεχνικούς νεωτερισμούς πήρε το όνομα της κόρης του Γέλινεκ, *Mercedes* (Μερτσέντες). Η επιτυχία αυτού του οχήματος στους αγώνες οδήγησε σε πολλές παραγγελίες και ήδη το 1901 κυκλοφόρησε η εταιρία το πρώτο αυτοκίνητο για ευρεία χρήση με το όνομα Mercedes. Αμέσως το επόμενο έτος κυκλοφόρησε ένα νέο αυτοκίνητο με ισχύ 40 PS και έκτοτε ειδικεύεται αυτή η εταιρία στις κατασκευές οχημάτων ανώτερου επιπέδου - παρεμπιπτόντως βγήκε δε κι από τις οικονομικές δυσκολίες, στις οποίες είχε περιέλθει. Το όνομα Mercedes αποτέλεσε έκτοτε σημαντικό εμπορικό όνομα στην παγκόσμια αγορά αυτοκινήτου. Το έτος 1924 ενώθηκαν οι εταιρίες του Daimler και του Benz, οι οποίοι σημειωτέον δεν φαίνεται να είχαν συναντηθεί ποτέ και δημιουργήθηκε έτσι η γνωστή εταιρία Daimler-Benz που μετονομάστηκε το 1998 σε Daimler-Chrysler. Παράλληλα υπάρχει ακόμα η εμπορική ονομασία Mercedes-Benz.



**Εικόνα 5:Το δεύτερο μοντέλο Mercedes που κυκλοφόρησε το έτος 1902.**

Η αυτοκινητοβιομηχανία εξελίχθηκε από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα σε κλάδο με τεράστια σημασία για τις εθνικές οικονομίες. Στον ευρωπαϊκό χώρο επικρατούσαν στους κινητήρες οι Γερμανοί κατασκευαστές, ενώ στα αμαξώματα πρωτοστατούσαν οι Γάλλοι.. Αυτή η γαλλική πρωτοπορία υποχώρησε σταδιακά, αν και η παραγωγή αυξήθηκε, από 40.000 οχήματα το 1907 σε 125.000 το 1913, ενώ οι Βρετανοί είχαν αντίστοιχα 63.500 και 250.000 οχήματα. Στην παγκόσμια κορυφή βρίσκονταν οι αμερικάνικες εταιρίες, από περίπου 140.000 το 1907 σε 1.260.000 οχήματα το 1913. Στην Ελλάδα είχαν χορηγηθεί μέχρι το έτος 1928 περίπου 23.000 άδειες οδήγησης μηχανοκίνητων οχημάτων. Στην Αθήνα υπήρχαν 8.900 οδηγοί, από τους οποίους 83 γυναίκες. Το ίδιο έτος κυκλοφορούσαν στη χώρα μας - όλα εισηγμένα βεβαίως - περί τα 3.000 ήταν ταξί και αγοραία, περίπου 1.100 φορτηγά, 1.000 λεωφορεία, κάπου 150 μοτοσικλέτες και 1.300 ΙΧ.

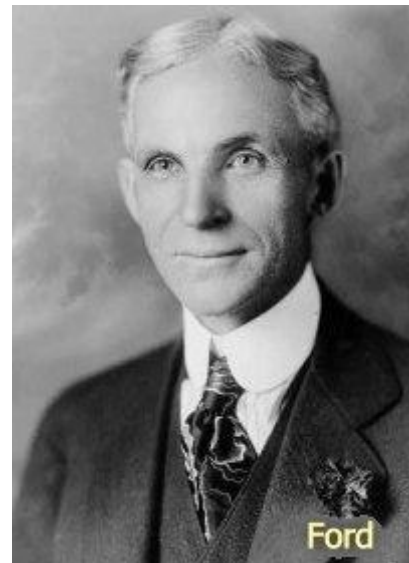
Παράλληλα με τα αυτοκίνητα βενζινοκινητήρα κατασκευάζονταν μέχρι την αλλαγή του αιώνα και μερικά μοντέλα ατμοκινούμενων οχημάτων, αλλά και *ηλεκτροκίνητα*. Τα πρώτα είχαν ακόμα τα αρχικά προβλήματα μεγάλου βάρους, θορύβου και καπνιάς, τα δεύτερα το πρόβλημα των μπαταριών. Γι' αυτό τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα, τα οποία προωθούσαν κυρίως οι εταιρίες προϊόντων ηλεκτρισμού Edison, Siemens κ.ά. αξιοποιήθηκαν για μεταφορές στην πόλη και μέσα σε εργοστάσια. Με τη συνεχή βελτίωση των βενζινοκινητήρων εξαφανίστηκαν όμως οριστικά τα ατμοκίνητα και μειώθηκαν σημαντικά τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα. Στις ΗΠΑ τέθηκαν στα χρόνια μέχρι την αρχή του α' παγκόσμιου πολέμου οι βάσεις για τη μαζική διάδοση του αυτοκινήτου που επακολούθησε κατά την εποχή του μεσοπολέμου. Στην αλλαγή προς τον 20<sup>ο</sup> αιώνα από τα οχήματα που κυκλοφορούσαν στην Αμερική ακόμα περίπου το 40% ήταν ατμοκίνητα, το 38% ηλεκτροκίνητα και μόνο το 22% βενζινοκίνητα. Διάφοροι μηχανικοί κατασκεύαζαν αυτοκίνητα δικής τους επινοήσεως, χρησιμοποιώντας κινητήρες και άλλα εξαρτήματα από λίγες μεγάλες εταιρίες. Αμέσως μετά το 1900 υπήρχαν στις ΗΠΑ αρκετές εκατοντάδες συναρμολογητές, οι οποίοι υλοποιούσαν μια εντυπωσιακή ποικιλία ιδεών.

Με την αύξηση της ζήτησης για τα καλύτερα από αυτά τα αυτοκίνητα άρχισαν οι ομαδοποιήσεις και συνενώσεις κατασκευαστών, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στα προβλήματα της παραγωγής. Έτσι δημιουργήθηκαν σύντομα κέντρα αυτοκινητοβιομηχανίας, όχι στις μεγάλες πόλεις της Ανατολής, αλλά στις εκτεταμένες αγροτικές περιοχές των πολιτειών Michigan και Illinois. Αυτό οφείλεται, αφενός στο γεγονός ότι στις πόλεις είχε δημιουργηθεί μέτωπο πολιτών ενάντια στα αυτοκίνητα τα οποία, εκτός από τη ρύπανση και τους θορύβους, προκαλούσαν και πολλά ατυχήματα λόγω της απουσίας κανόνων κυκλοφορίας, σημάτων τροχαίας, αδειών οδήγησης κλπ.

Οι εφημερίδες της εποχής σιγοντάριζαν την αντιπάθεια των αστών για το νέο μεταφορικό μέσο και περιέγραφαν με εξαντλητικές λεπτομέρειες κάθε ατύχημα που συνέβαινε, ιδίως όταν υπήρχαν νεκροί. Κάτι ανάλογο συμβαίνει στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα με το Internet, όπου πολλά τεχνοφοβικά μέσα ενημέρωσης αναφέρονται σ' αυτό, μόνο όταν προκύψει κάποια ιστορία με τραπεζικές απάτες, υποτιθέμενους σατανιστές, κ.ά. Πέρα από αυτά, οι αγροτικοί πληθυσμοί έδειχναν μεγαλύτερη κινητικότητα από τους αστούς και είχαν ανάγκη να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις στις απέραντες αγροτικές εκτάσεις του Middle West. Βέβαια, αυτοκινητόδρομοι με τη σημερινή έννοια δεν υπήρχαν και μετά από βροχές οι συνήθεις αμαξόδρομοι ήταν εξ ίσου αδιάβατοι για οχήματα και πεζούς. Με αυτή την έννοια, το αυτοκίνητο αποτελούσε μια βελτιωμένη για εκείνη την εποχή αλλά περιπετειώδη και συχνά επικίνδυνη έκδοση της αλογοάμαξας.



**Εικόνα 6: Το αυτοκίνητο Model T της Ford**



**Εικόνα: 7 Ο Ford**

Κάτω από αυτές τις συνθήκες έλαμψε του άστρο του Henry Ford (Φορντ, 1863-1947), ο οποίος στα μέσα της δεκαετίας του 1890 ήταν ένας από τους πολλούς κατασκευαστές αυτοκινήτων. Το 1906 άρχισε το εργοστάσιο του Φορντ να παράγει λίγα μοντέλα σε μεγάλους αριθμούς

Η μεγάλη επιτυχία του οφείλεται στην τυποποίηση των εξαρτημάτων που καθιέρωσε, με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής.



Το έτος 1906 έχει και κάποιο άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό που ευνόησε τη διάδοση των αυτοκινήτων: Ήταν η χρονιά του μεγάλου σεισμού στο *Σαν Φρανσίσκο* κι εκεί φάνηκε η τεράστια σημασία μιας «μηχανικής άμαξας», όταν τα άλογα είχαν σκοτωθεί ή τραυματιστεί μαζί με πάρα πολλούς ανθρώπους ή, ακόμα, πολλά είχαν διαφύγει τρομαγμένα από τους περιέργους προσεισμικούς θορύβους. Οι Αμερικάνοι

άρχισαν να αντιλαμβάνονται, με κατάλληλη προβολή από τις εφημερίδες της εποχής, ότι το αυτοκίνητο ήταν, πέρα από μέσο ψυχαγωγίας και ένα σημαντικό εργαλείο δουλειάς.

Όταν το έτος 1908 άρχισε η εταιρία Ford να κατασκευάζει μόνο έναν τύπο, το *Model T*, η τυποποίηση και ορθολογικοποίηση της παραγωγής έφτασε σε πολύ υψηλό επίπεδο, με αποτέλεσμα να μειωθούν ακόμα περισσότερο το κόστος παραγωγής και η τιμή των αυτοκινήτων. Το μοντέλο αυτό ήταν από τα καλύτερα αυτοκίνητα εκείνης της εποχής και διέθετε κυβισμό  $3.000 \text{ cm}^3$  με ισχύ 24 PS.

Με τα σημαντικά κέρδη από τις πωλήσεις του Model T άνοιξε ο Φορντ το έτος 1910 τη μονάδα παραγωγής Highland Park στο Detroit, η οποία αποτέλεσε το πρότυπο ορθολογικής και τυποποιημένης παραγωγής για πολλές δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Σε συνεργασία με εταιρίες εργαλειομηχανών κατασκευάστηκαν ειδικές μηχανές, οι οποίες εκτελούσαν ένα μοναδικό βήμα παραγωγής, αλλά αυτό με πολύ μεγάλη ακρίβεια, υψηλή ποιότητα προϊόντος και ταχύτητα διεκπεραίωσης. Με ειδικά όργανα μετρήσεως που αναπτύχθηκαν για κάθε εφαρμογή επί τούτου, ελέγχονταν όλα τα εξαρτήματα ως προς την τήρηση των προδιαγραφών και, αν αυτό δεν συνέβαινε, απορρίπτονταν αυτά τα εξαρτήματα, χωρίς καμία δυνατότητα επιδιόρθωσης ή συμπληρωματικής εργασίας.



Με αυτό τον τρόπο κατάφερε η εταιρία Ford να μειώσει μέσα σε 8 χρόνια, από το 1908 μέχρι το 1916, την τιμή του αυτοκινήτου από 850 σε 360 δολάρια, αυξάνοντας την παραγωγή από 6.000 σε 577.000 αυτοκίνητα. Μέχρι το 1940 είχε κατασκευάσει η εταιρία σχεδόν 28 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Η βιομηχανία έπαιρνε πλέον νέες διαστάσεις και μορφές και οι ΗΠΑ κατέκτησαν την πρώτη θέση, την οποία διατηρούν και στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται σε ανάπτυξη όλα τα εξαρτήματα που συναποτελούν ένα σύγχρονο επιβατικό όχημα. Είναι αυτονόητο ότι η παραγωγή έχει ξεφύγει από την αρχική μορφή, όπου ένα εργοστάσιο παράγει όλα τα εξαρτήματα και συναρμολογεί το τελικό αμάξι. Τώρα παράγει ένας μεγάλος αριθμός εξειδικευμένων μονάδων τα κάθε είδους εξαρτήματα, τα οποία συναρμολογούνται στις γραμμές τελικής παραγωγής..

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Θεωρητικός και πραγματικός κύκλος λειτουργίας 4χρονης και 2χρονης μηχανής

Για να καταλάβουμε την λειτουργία των μηχανών θα πρέπει να εξετάσουμε τις πιο σημαντικές αλλαγές καταστάσεις των αερίων

Ένα αέριο χαρακτηρίζεται από την πίεση(**P**),τον όγκο (**V**) και την θερμοκρασία του(**T**).

- Πίεση, ονομάζουμε το πηλίκο της δύναμης που ενεργεί κάθετα και ομοιόμορφα πάνω σε μια επιφάνεια, δια του εμβαδού αυτής της επιφάνειας.

Εκφράζεται δηλαδή από τον τύπο:

**$P=F/A$**  και έχει μονάδες μέτρησης το **πασκάλ (Pa)**, το **μπάρ (bar)**

- Ειδικό όγκο, ονομάζουμε τον όγκο που καταλαμβάνει η μονάδα μάζας του αερίου, και εκφράζεται με την μαθηματική σχέση:  **$v=V/m$** . οι μονάδες μέτρησης του ειδικού όγκου είναι  **$m^3/Kg$** .
- Σχετική θερμοκρασία **T** ονομάζουμε την θερμοκρασία που μετριέται από τους **0oC** και χαρακτηρίζεται ως θετική αν είναι πάνω από το μηδένκαι αρνητική αν είναι κάτω από το μηδέν. μετριέται σε **oC**.
- Απόλυτη θερμοκρασία **T** είναι η θερμοκρασία που μετριέται από το απόλυτο μηδέν (που αντιστοιχεί στους **-273oC**). Το απόλυτο μηδέν είναι η θερμοκρασία στην οποία τα μόρια των σωμάτων δεν κινούνται, η απόλυτη θερμοκρασία είναι πάντοτε θετική.

Μετριέται σε **K** (Kelvin). Ισχύει η σχέση  **$T=t+273$** .

Αλλαγή της κατάστασης ενός αερίου έχουμε όταν ένα από τα στοιχεία του μεταβληθούν είτε είναι η πίεση (**P**), ο όγκος (**V**) ή η θερμοκρασία του(**T**).

Η αλλαγή αυτή περιγράφεται με τα διαγράμματα **P-V** όπου στον κάθετο άξονα μετράμε την πίεση (**P**),και στον οριζόντιο τον όγκο (**V**)όπου μας δείχνουν την αρχική τις μεταβολές που διαδέχεται μέχρι να φτάσει στην τελική κατάσταση του.

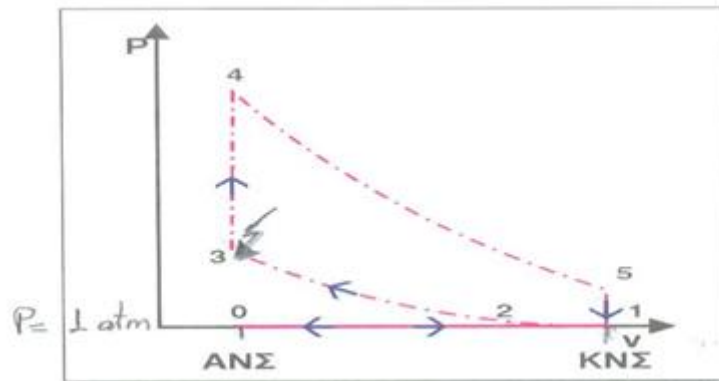


**Θα εξηγήσουμε κάποιες από τις μεταβολές κατάστασης ενός αερίου για να κατανοήσουμε την θεωρητική λειτουργία της βενζινομηχανής:**

- Ισόχωρη (ή ισόογκη). Ονομάζουμε την μεταβολή της κατάστασης του αερίου κατά την οποία παραμένει σταθερός ο ειδικός όγκος και μεταβάλλονται η πίεση και η θερμοκρασία του
  
- Αδιαβατική σημαίνει ότι δεν συναλλάσει θερμότητα με το περιβάλλον.
  
- Ισοβαρής (ή ισόθλιπτη). Ονομάζουμε τη μεταβολή της κατάστασης του αερίου κατά την οποία παραμένει σταθερή η πίεση του αερίου και μεταβάλλονται ο ειδικός όγκος και η θερμοκρασία του



## 2.1 θεωρητικό διάγραμμα P-V 4χρονου βενζινοκινητήρα.



0 ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής στο ANΣ

0-1 ισοβαρής εισαγωγή στο KNΣ

1 κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής στο KNΣ

1-3 αδιαβατική συμπίεση του μείγματος

3 σπινθήρας στο ANΣ

3-4 ισόχωρη καύση του μείγματος

4 τέλος καύσης στο ANΣ

4-5 αδιαβατική εκτόνωση των καυσαερίων

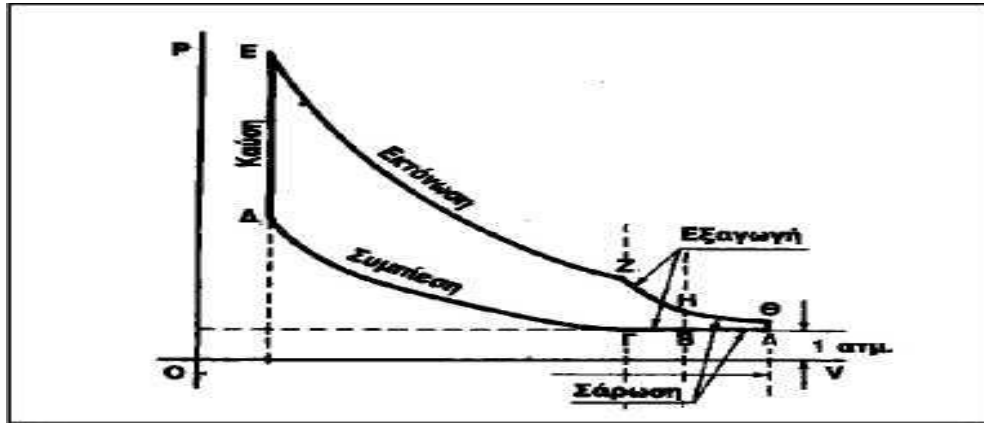
5 ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής στο KNΣ

5-1 ισόχωρη εξαγωγή των καυσαερίων

1-0 ισοβαρής εξαγωγή των καυσαερίων

0 κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής στο ANΣ

## 2.2 Θεωρητικό διάγραμμα P-V 2χρονου βενζινοκινητήρα.



### ΑΝΣ -1<sup>ος</sup> χρόνος

Δ: σπινθήρας και ανάφλεξη του μείγματος στο ΑΝΣ

ΔΕ: ισόχωρη καύση του μείγματος  $V = \text{σταθερός}$

Ε: τέλος καύσης

ΕΖ: αδιαβατική εκτόνωση των καυσαερίων (παρ. έργου)

Ζ: ανοίγει η θυρίδα της εξαγωγής

ΖΗ: εξαγωγή καυσαερίων με πίεση

Η: ανοίγει η θυρίδα της σάρωσης

ΗΘ: εισαγωγή του μείγματος με πίεση από τον στροφαλοθάλαμο και σπρώχνει έξω τα καυσαέρια

ΘΑ: η πίεση μειώνεται στο επίπεδο της ατμοσφαιρικής

### ΑΝΣ -2<sup>ος</sup> χρόνος

ΑΒ: συνέχεια σάρωσης

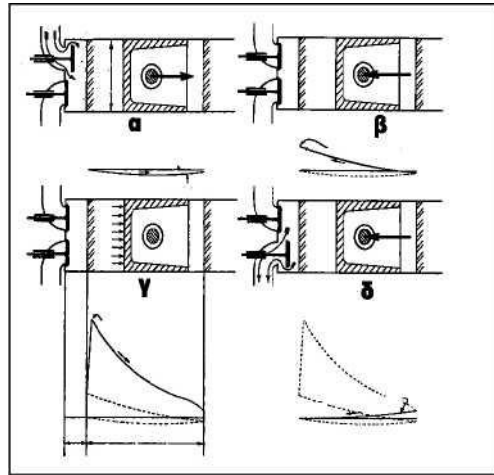
Β: κλείνει η θυρίδα της σάρωσης

ΒΓ: πίεση ίση με την ατμοσφαιρική

Γ: κλείνει η θυρίδα της εξαγωγής

ΓΔ: αδιαβατική συμπίεση μείγματος

### 2.3 Πραγματικό διάγραμμα P-V 4χρονου βενζινοκινητήρα



0 ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής με προπορεία

0-2 εισαγωγή του μείγματος με υποπίεση

2 κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής με βραδυπορεία

2-3 συμπίεση μείγματος

3-4 καύση του μείγματος

4 τέλος καύσης μέγιστη πίεση καυσαερίων

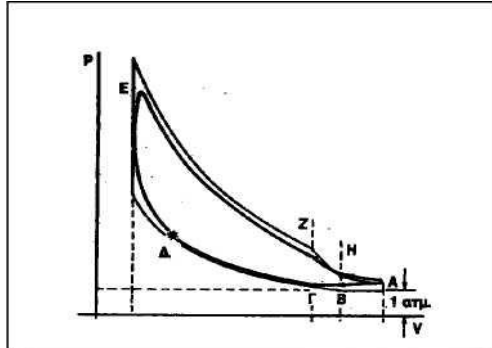
4-5 εκτόνωση των καυσαερίων παράγεται μηχανικό έργο

5-0εξαγωγή των καυσαερίων μεπίεση(μεγαλύτερης της ατμοσφαιρικής)

0 κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής με βραδυπορεία

0-0 επικάλυψη βαλβιδών (για διευκόλυνση της εξαγωγής, πλήρωσης και ψύξης)

## 2.4 Πραγματικό διάγραμμα P-V 2χρονου βενζινοκινητήρα.



Δ' : σπινθήρας με προπορεία

Δ'Ε' : καύση του μείγματος ( έκρηξη ) (όχι ισόχωρη )

Ε' : τέλος καύσης

Ε'Ζ' : εκτόνωση των καυσαερίων ( όχι αδιαβατική )

Ζ' : ανοίγει η θυρίδα της εξαγωγής

ΖΗ : εξαγωγή καυσαερίων με πίεση

Η : ανοίγει η θυρίδα της σάρωσης

ΗΑ' : εισαγωγή του μείγματος με πίεση από τον στροφαλοθάλαμο που σαρώνει τα καυσαέρια

Α' : η πίεση είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής

Α'Β' : συνέχεια σάρωσης

Β' : κλείνει η θυρίδα της σάρωσης

ΒΓ' : το έμβολο ανεβαίνει – χάνεται λίγο μείγμα

Γ' : κλείνει η θυρίδα της εξαγωγής

ΓΔ' : συμπίεση μείγματος ( όχι αδιαβατική )



### Κεφάλαιο 3 Κατασκευαστική διαμόρφωση των ΜΕΚ

Μια μηχανή εσωτερικής καύσης αποτελείται από ένα σύνολο εξαρτημάτων κατάλληλα συναρμολογημένα μεταξύ τους που να είναι σε θέση να μετατρέπουν την θερμική ενέργεια σε μηχανική.

Σκοπός του συστήματος παραγωγής και μετατροπής της κίνησης είναι να δέχεται τα θερμά καυσαέρια που παράγονται από την καύση του καυσίμου και να μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Δηλαδή τα θερμά καυσαέρια εκτονούμενα ωθούν το έμβολο προς το Κ.Ν.Σ. (ευθύγραμμη κίνηση) και στη συνέχεια επειδή το έμβολο συνδέεται με διωστήρα μέσω του πείρου του εμβόλου μεταδίδει την κίνηση στον διωστήρα. Κατόπιν ο διωστήρας παραλαμβάνει την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου, την μετατρέπει σε περιστροφική και την μεταδίδει στον στροφαλοφόρο άξονα. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τα έμβολα, τους διωστήρες και στροφαλοφόρο άξονα.

➤ Τα κύρια μέρη που αποτελούν μια ΜΕΚ είναι:

- Σώμα των κυλίνδρων
- Κεφαλή κυλίνδρων
- Έμβολα (πιστόνια)
- Διωστήρες (μπιέλες)
- Στροφαλοφόρος άξονας
- Σφόνδυλος (βολάν)
- Εκκεντροφόρος άξονας

### 3.1 Σώμα των κυλίνδρων

Σώμα των κυλίνδρων ή μπλοκ ή κορμός ονομάζεται γενικά ο σκελετός της μηχανής, όπου διαμορφώνονται οι κύλινδροι και στερεώνονται σε αυτόν οι άλλοι μηχανισμοί. Είναι μια πολύπλοκη σχετικά κατασκευή που περιλαμβάνει εκτός από τους κυλίνδρους τα:



**Εικόνα 1: Το Σώμα κυλίνδρων**

1. Υδροχιτώνια (θάλαμοι κυκλοφορίας του υγρού ψύξης)
2. Τις βάσεις για τη στήριξη του στροφαλοφόρου (αλλά και του εκκεντροφόρου αν είναι στα πλάγια) άξονα.
3. Μέρος των αγωγών κυκλοφορίας του λαδιού.
4. Το χώρο για την τοποθέτηση των οδοντωτών τροχών χρονισμού.
5. Τις βάσεις για τη στήριξη της ελαιολεκάνης και της αντλίας λαδιού, κ.λ

### 3.2 Κεφαλή κυλίνδρων

Η κεφαλή των κυλίνδρων σχηματίζει το επάνω μέρος του θαλάμου καύσης.

Στερεώνεται με μπουζόνια (αμφυκόχλια) στον κορμό (σώμα) του κινητήρα μαζί με το ενδιάμεσο διμεταλλικό παρέμβασμα (φλάντζα κεφαλής).

Στην κεφαλή είναι τοποθετημένες οι βαλβίδες και ο εκκεντροφόρος άξονας (εάν είναι επί κεφαλής, που στα σύγχρονα μοτέρ κατά 95% είναι), τα ζύγωθρα (κοκοράκια) με τον άξονα των ζυγώθρων, οι αναφλεκτήρες (μπουζί) και οι εγχυτήρες (μπέκ). Επίσης στην κεφαλή των κυλίνδρων υπάρχουν οι οχετοί της εισαγωγής του καυσίμου μίγματος ή του ατμοσφαιρικού αέρα, και οι υδροθάλαμοι εάν η μηχανή είναι υδρόψυκτη (που κατά 99% είναι) ή τα πτερύγια εάν είναι αερόψυκτη.



**Εικόνα 2: Η Κεφαλή των κυλίνδρων**

### 3.3 Έμβολα και τα επιμέρους εξαρτήματα τους

Το έμβολο είναι από τα πιο σημαντικά τμήματα του κινητήρα. Δέχεται το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ενέργειας που παράγεται από την καύση του καυσίμου. Τα αέρια της καύσης εξασκούν πιέσεις στην επιφάνεια του εμβόλου, και έτσι μετατρέπεται η θερμική ενέργεια σε κινητική, η οποία μεταφέρεται από τον διωστήρα στον στροφαλοφόρο άξονα.



**Εικόνα 3: Τα Έμβολα (πιστόνια)**





Επίσης το έμβολο δημιουργεί την απαραίτητη υποπίεση (αναρρόφηση) για την εισαγωγή του καυσίμου μίγματος ή αέρα, και απομακρύνει τα καυσαέρια για να καθαρίσει ο κύλινδρος.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα έμβολο (από πάνω προς τα κάτω) είναι:

- 1)** Η κεφαλή του εμβόλου. Η επάνω επιφάνεια έχει σχήμα επίπεδο, σφαιρικό, κοίλο κ.λ.π. ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Μεταξύ της άνω επιφάνειας του εμβόλου και της κάτω επιφάνειας της κεφαλής των κυλίνδρων σχηματίζεται ο θάλαμος καύσης.
- 2)** Η ζώνη των ελατηρίων. Εδώ υπάρχουν οι αυλακώσεις για την τοποθέτηση των ελατηρίων των εμβόλων.
- 3)** Τα έδρανα του πείρου. Λέγονται και ομφαλοί. Στα σημεία αυτά στερεώνεται ο πείρος και συνδέει το έμβολο με τον διωστήρα.
- 4)** Η ποδιά του εμβόλου. Αυτή μπορεί να είναι κυλινδρική ή κομμένη από τις δύο πλευρές, εκεί όπου δεν καταπονείται το έμβολο από τις τριβές (κάτω από τα έδρανα του πείρου).



### Ελατήρια εμβόλων

Τα έμβολα πρέπει να εφαρμόζουν στεγανά στο εσωτερικό του κυλίνδρου ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να διαφύγουν τα αέρια της καύσης και το καύσιμο μείγμα προς τον στροφαλοθάλαμο, καθώς και το λάδι της λίπανσης στον θάλαμο καύσης. Την στεγανότητα αυτή εξασφαλίζουν τα ελατήρια του εμβόλου. Τα ελατήρια έχουν σχήμα δακτυλιδιού με εξωτερική διάμετρο λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του εμβόλου και είναι κομμένα σε κάποιο σημείο τους. Η τομή γίνεται κάθετα, διαγώνια ή τεθλασμένα. Κατασκευάζονται συνήθως από χυτοσίδηρο υψηλής ποιότητας (φαιό ατσάλι) με καλές ιδιότητες αντοχής και ελαστικότητας, για να μπορούν να ανοίγουν και να τοποθετούνται στο αυλάκι του εμβόλου χωρίς να θραύονται. Τα ελατήρια των εμβόλων διακρίνονται σε ελατήρια συμπίεσης και σε ελατήρια απόξεσης λαδιού.

Τα ελατήρια συμπίεσης έχουν σκοπό να μην επιτρέπουν την διαφυγή των αερίων της καύσης και του καυσίμου μίγματος προς τον στροφαλοθάλαμο. Βρίσκονται επάνω από τα ελατήρια λαδιού και είναι περισσότερα από αυτά. Τα ελατήρια λαδιού δεν επιτρέπουν στο λάδι της λίπανσης να φθάσει στον θάλαμο καύσης, επίσης κατά την κάθοδο του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ αποξέουν το λάδι από τα τοιχώματα του κυλίνδρου προς τον στροφαλοθάλαμο.

### Πείρος εμβόλου

Ο πείρος του εμβόλου έχει προορισμό να συνδέσει το έμβολο με τον διωστήρα. Το σχήμα του είναι κυλινδρικό και εσωτερικά είναι κοίλο. Επειδή ο πείρος καταπονείται πολύ, γιατί μεταφέρει όλες τις δυνάμεις από το έμβολο στον διωστήρα κατά την φάση της εκτόνωσης κατασκευάζεται συνήθως από χρωμονικελιούχο χάλυβα υψηλής αντοχής, με επιφανειακή λείανση για να μειώνονται οι τριβές.



**Εικόνα 4: Τα Ελατήρια και οι Πείροι Εμβόλων**

### 3.4 Διωστήρας (μπιέλα)

Ο προορισμός του διωστήρα είναι να μεταφέρει την κινητική ενέργεια του εμβόλου στον στροφαλοφόρο άξονα κατά τη φάση της εκτόνωσης, και την κινητική ενέργεια από τον στροφαλοφόρο στο έμβολο κατά τις φάσεις της συμπίεσης και της εξαγωγής των καυσαερίων.

Ο διωστήρας αποτελείται από την κεφαλή, τον κορμό και το πόδι. Το ένα άκρο του συνδέεται με τον πείρο του εμβόλου, ενώ το άλλο με τον στροφαλοφόρο άξονα. Και στα δύο άκρα φέρει τριβείς (κουζινέτα) από μαλακό μέταλλο (λευκό μέταλλο, μπρούντζος, κ.λ.π.). Η διατομή του διωστήρα έχει μορφή διπλού ταυ (H) για να δημιουργούνται νευρώσεις και να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αντοχή με μικρότερη μάζα.



**Εικόνα 4: Ο Διωστήρας (μπιέλα)**

Επειδή ο διωστήρας στις φάσεις της εκτόνωσης, συμπίεσης και εξαγωγής καταπονείται σε θλίψη και λυγισμό, ενώ στη φάση της εισαγωγής σε εφελκυσμό, πρέπει να κατασκευάζεται από υλικά που να αντέχουν στις παραπάνω καταπονήσεις.

### 3.5 Στροφαλοφόρος άξονας

Ο στροφαλοφόρος άξονας μετατρέπει (με τη βοήθεια των διωστήρων) την ευθύγραμμη κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική. Έχει χαρακτηριστικό σπαστό σχήμα, αποτελούμενο από διαδοχικά τμήματα σχήματος Π (αγκώνας). Είναι ένα από τα βαρύτερα και ακριβότερα τμήματα του κινητήρα. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα (χρωμονικελιούχο και ανοξειδωτο) αρίστης ποιότητας και υψηλής αντοχής. Αποτελείται από τα κύρια κομβία βάσης (που εδράζονται στα έδρανα βάσης της μηχανής) και τα κομβία των διωστήρων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τους βραχίονες (παρειές, μάγουλα ή κιθάρες). Δύο βραχίονες μαζί με το κομβίο του διωστήρα αποτελούν τον λεγόμενο αγκώνα. Ο αριθμός των αγκώνων ισούται με τον αριθμό των κυλίνδρων, ενώ δεν βρίσκονται τοποθετημένοι στο ίδιο επίπεδο.



**Εικόνα 5:Ο Στροφαλοφόρος άξονας**

Οι βραχίονες του στροφαλοφόρου άξονα φέρουν αντίβαρα για τη ζυγοστάθμιση των έκκεντρων μαζών του στροφαλοφόρου και των παλινδρομώντων μαζών του εμβόλου και του διωστήρα. Τα αντίβαρα μπορεί να κατασκευάζονται σε ενιαίο τμήμα με τους βραχίονες ή να είναι πρόσθετα και να συνδέονται με κοχλίες. Στο άκρο του στροφαλοφόρου άξονα συνδέεται ο σφόνδυλος (βολάν).

Από το στροφαλοφόρο άξονα μέσω οδοντωτών τροχών παίρνουν κίνηση ο εκκεντροφόρος άξονας και διάφοροι βοηθητικοί μηχανισμοί. Στο εσωτερικό του φέρει αγωγούς για την διοχέτευση του ελαίου λίπανσης προς τους κύριους τριβείς βάσης, τους τριβείς των κομβίων των διωστήρων, και μέσω των διωστήρων στα έμβολα (σε ορισμένες μηχανές).



**Εικόνα 6: Το αντίβαρο**

### 3.6 Σφόνδυλος (βολάν)

Ο σφόνδυλος είναι ένας αρκετά βαρύς μεταλλικός δίσκος που αποθηκεύει ενέργεια από τον ωφέλιμο χρόνο της εκτόνωσης των καυσαερίων και την αποδίδει για να πραγματοποιηθούν οι παθητικοί χρόνοι της εισαγωγής, συμπίεσης και εξαγωγής. Η αποθήκευση γίνεται με την αδράνεια της σχετικά μεγάλης μάζας του.

Ο σφόνδυλος εξαιτίας της σχετικά μεγάλης μάζας του όταν αρχίζει να περιστρέφεται απορροφά ένα μέρος από την ενέργεια που δίνει ο χρόνος της εκτόνωσης και παρασύρει με την περιστροφή του το έμβολο για να εκτελέσει και τους υπόλοιπους τρεις χρόνους.

Ο σφόνδυλος είναι τοποθετημένος έξω από τη μηχανή στο πίσω μέρος της και συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα. Ο στροφαλοφόρος και ο σφόνδυλος πρέπει να είναι ζυγοσταθμισμένοι ώστε στις υψηλές στροφές να μην εμφανίζονται μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις λόγω ανομοιομορφίας στην κατανομή της μάζας, πράγμα που προκαλεί κραδασμούς τόσο στροφαλοφόρο και ισχυρή φόρτιση στο στροφαλοφόρο και στα έδρανα. Το μέγεθος του σφονδύλου εξαρτάται από τον αριθμό των κυλίνδρων (μηχανές με μικρό αριθμό κυλίνδρων έχουν μεγάλο σφόνδυλο, και αντίστροφα) και από τους χρόνους της μηχανής (οι δίχρονες μηχανές έχουν μικρότερο σφόνδυλο, και αντίστροφα



**Εικόνα 7: Το Βολάν**



Οι εργασίες που κάνει ο σφόνδυλος εκτός από το να αποθηκεύει ενέργεια είναι:

1. Στην περιφέρεια του φέρει οδοντωτή στεφάνη επάνω στην οποία εμπλέκεται ο εκκινητής (μίζα) για την αρχική εκκίνηση της μηχανής
2. Στην εξωτερική του πλευρά σχηματίζει σχετική κοιλότητα για την τοποθέτηση του συγκροτήματος του συμπλέκτη
3. Βοηθά στην ομαλή περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα



### 3.7 Εκκεντροφόρος άξονας

Ο εκκεντροφόρος είναι ο δεύτερος άξονας της μηχανής ο οποίος παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα, ενός ιμάντα η μίας καδένας (αλυσίδας).

Σκοπός του είναι με τα έκκεντρα (κνώδακες) που φέρει να ανοίγει τις βαλβίδες την κατάλληλη στιγμή στον κατάλληλο κύλινδρο, έτσι ώστε να εισάγεται απαιτούμενο καύσιμο μίγμα μέσα στον κύλινδρο και να εξέρχονται τα καυσαέρια από αυτόν.

Επίσης ο εκκεντροφόρος δίνει κίνηση στην αντλία λαδιού, στην μηχανική αντλία βενζίνης και στον διακόπτη σφύρας (ντιστριπιτέρ) του συστήματος ανάφλεξης. Ο αριθμός των εκκέντρων είναι τόσος όσες είναι και οι βαλβίδες.



**Εικόνα 8:Ο Εκκεντροφόρος**

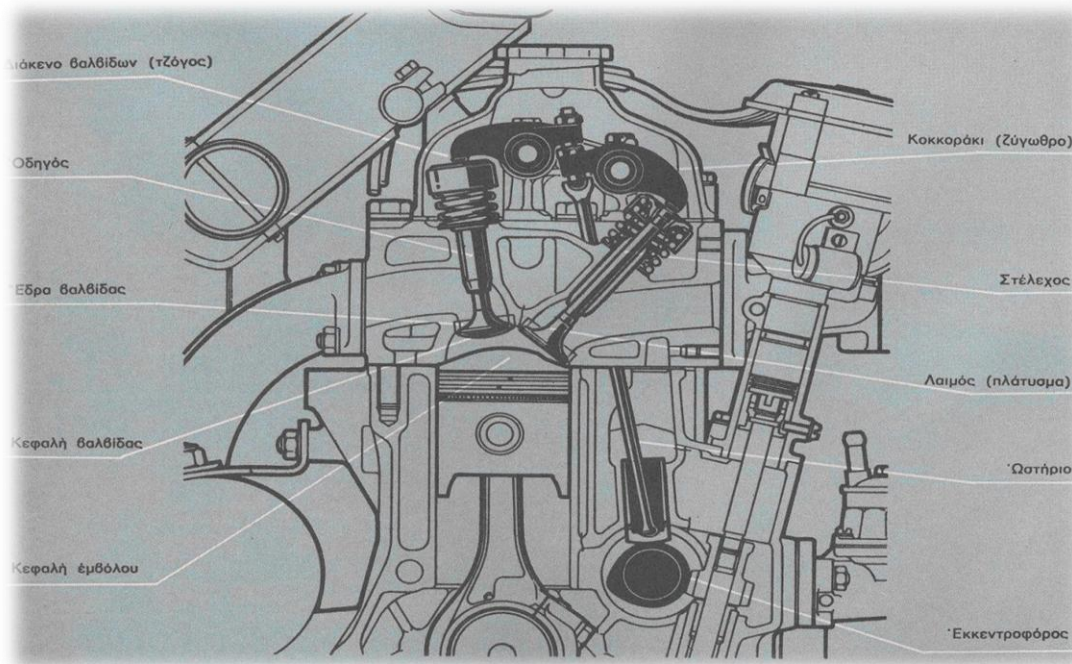
Ο εκκεντροφόρος κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη ή από μαύρο μαλακό χυτοσίδηρο ή από σφυρήλατο χάλυβα υψηλής αντοχής, ανάλογα με τον τύπο και τη χρήση του κινητήρα.

### 3.8 Βαλβίδες

Οι βαλβίδες ανήκουν και αυτές στο σύστημα διανομής καυσίμου. Έχουν προορισμό να ανοίγουν και να κλείνουν την κατάλληλη στιγμή του κύκλου λειτουργίας της μηχανής και στον κατάλληλο κύλινδρο ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή πλήρωση του κυλίνδρου με καύσιμο μίγμα και η εξαγωγή των καυσαερίων.

Μια βαλβίδα αποτελείται από την ουρά, το στέλεχος και την κεφαλή. Επίσης υπάρχουν και η έδρα της βαλβίδας και ο οδηγός της, με τη διαφορά ότι δεν είναι μέρη της βαλβίδας (ανήκουν στην κεφαλή των κυλίνδρων). Έχουν όμως άμεση σχέση μεταξύ τους, και από τη σωστή σχέση λειτουργίας που έχουν εξαρτάται η καλή λειτουργία του συστήματος.

Ο οδηγός έχει σκοπό να εξασφαλίζει την αξονική μόνο κίνηση της βαλβίδας κατά το άνοιγμα και κλείσιμό της. Οι έδρες προορίζονται για να εξασφαλίζουν καλύτερη στεγανότητα κατά το κλείσιμο των βαλβίδων. Οι έδρες των βαλβίδων και οι αντίστοιχες στην κεφαλή των κυλίνδρων πρέπει να έχουν την ίδια κωνικότητα (γωνία  $45^\circ$ ) με μια απόκλιση μέχρι  $2^\circ$ .



**Εικόνα 9: Οι Βαλβίδες**

### 3.9 Ελαιολεκάνη (Κάρτερ)

Η ελαιολεκάνη είναι το τμήμα εκείνο που κλείνει τον κινητήρα στο κάτω μέρος του.

➤ Ο προορισμός της ελαιολεκάνης είναι

1. Να κλείνει και να στεγανοποιεί τον κινητήρα στη βάση του.
2. Να αποθηκεύει την ποσότητα λαδιού που απαιτείται για την λίπανση του κινητήρα.
3. Να ψύχει το λάδι της λίπανσης.

Η ελαιολεκάνη συνήθως είναι κατασκευασμένη από χάλυβα ή από κράμα αλουμινίου στους σύγχρονους βενζινοκινητήρες. Η κατασκευή της γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε ένα σχετικά μικρό τμήμα της να βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο του κινητήρα.

Εκεί συγκεντρώνεται πάντα μια ποσότητα λαδιού ικανή για την λίπανση του κινητήρα.

Επίσης στο σημείο αυτό καταλήγει και η αντλία λαδιού για την αναρρόφηση του λιπαντικού.



**Εικόνα 10: Η Ελαιολεκάνη (Κάρτερ) Αντλία Λαδιού Και Φίλτρο Λαδιού**



Στο χαμηλότερο σημείο της ελαιολεκάνης υπάρχει ένα πώμα (τάπα λαδιού) για την αντικατάσταση του λιπαντικού. Το πώμα της ελαιολεκάνης είναι μαγνητισμένο για να συγκρατεί τα ρινίσματα (γρέζια) που αποκολλώνται από τις τριβόμενες επιφάνειες. Στο εσωτερικό της ελαιολεκάνης υπάρχουν διαφράγματα τα οποία εμποδίζουν τις απότομες μετακινήσεις του λαδιού, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να μείνει η περιοχή στην οποία βρίσκεται η αντλία λαδιού χωρίς λάδι.

Υπάρχουν κινητήρες (δίχρονοι ή αγωνιστικών αυτοκινήτων) όπου ελαιολεκάνη χρησιμεύει μόνο για το κλείσιμο του κινητήρα και όχι ως αποθήκη λαδιού. Μεταξύ της βάσης του κινητήρα και της ελαιολεκάνης παρεμβάλλεται παρέμβυσμα στεγανοποίησης (φλάντζα) από φελλό ή κατάλληλη φλαντζόκολλα σιλικόνης

## Κεφάλαιο 4 Είδη και σκοπός υπερπλήρωσης

Για να αυξηθεί η απόδοση ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης χωρίς να μεταβληθεί η χωρητικότητα των κυλίνδρων γίνεται με το να συμπιέζεται ο αέρας εισαγωγής στους θαλάμους καύσης με το κατάλληλο σύστημα.

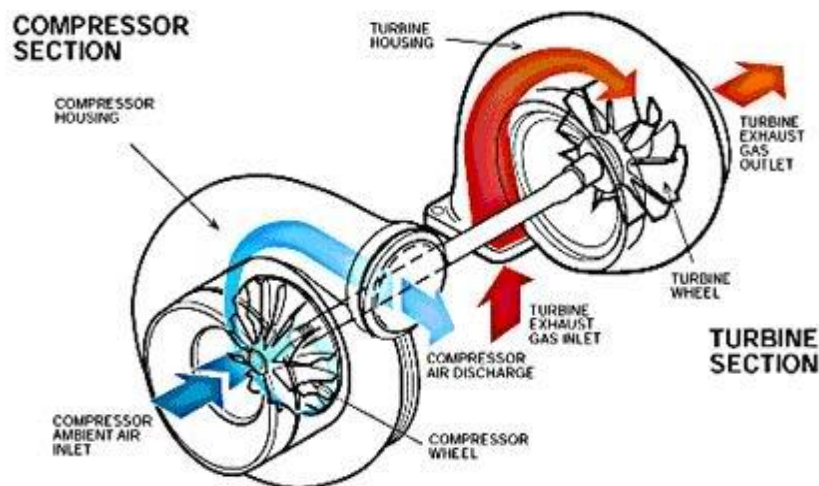
Οι μηχανισμοί αυτοί ονομάστηκαν υπερσυμπιεστές και εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1920 σε αγώνες ταχύτητας και μετέπειτα σε μοντέλα παραγωγής. Από εκείνη την περίοδο, και για αρκετά χρόνια μετά, οι μηχανικοί υπερσυμπιεστές ήταν τα μοναδικά συστήματα που μπορούσαν να στραγγαλίσουν την αναπνοή του κινητήρα και να αυξήσουν σημαντικά την ισχύ και την ροπή του.

### 4.1 Turbo ή Στροβιλοσυμπιεστής Καυσαερίου

Πρόκειται για την εφεύρεση του Ελβετού Alfred J. Buchi. Το συγκεκριμένο σύστημα υπερπλήρωσης στηρίζεται στην εκμετάλλευση της ισχύος των καυσαερίων. Η ισχύς αυτή αντιπροσωπεύει το 35% της παραγόμενης ισχύος ενός κινητήρα, ποσοστό μεγαλύτερο της ωφέλιμης ισχύος (22-28%), ενώ στους ατμοσφαιρικούς κινητήρες συγκαταλέγεται στις απώλειες, δηλαδή ενέργεια που αποβάλλεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας. Βλέπουμε λοιπόν πως ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του turbo είναι πως δεν χρησιμοποιεί ωφέλιμη ενέργεια, ενέργεια δηλαδή του στροφαλοφόρου άξονα, για τη λειτουργία του.

Ας δούμε όμως την αρχιτεκτονική του:

Τα κύρια στοιχεία που απαρτίζουν ένα turbo είναι ο άξονας, το σώμα τα κουζινέτα και τα κελύφη (ή σαλιγκάρια). Το σώμα φέρει τα κουζινέτα τα οποία στηρίζουν τον άξονα και αποτρέπουν τις κάθετες μετακινήσεις του, καθώς επίσης και τα κελύφη εισαγωγής και εξαγωγής. Ο δε άξονας φέρει εκατέρωθεν του τις φτερωτές (πτερύγια) εισαγωγής και εξαγωγής. Το κέλυφος εξαγωγής είναι ένας αεριοστρόβιλος, ενώ το κέλυφος εισαγωγής ένας αεροσυμπιεστής. Πρακτικά, ο αεριοστρόβιλος εκμεταλλεύεται την πίεση του εισερχόμενου σε αυτόν αερίου για να παράγει έργο, ενώ ο αεροσυμπιεστής ασκεί έργο στο εισερχόμενο σε αυτόν αέριο για να του αυξήσει την πίεση. Έτσι, ο αεριοστρόβιλος ρίχνει την πίεση του αερίου και αυξάνει την ταχύτητά του, ενώ ο αεροσυμπιεστής το αντίστροφο. Τούτων όλων λεχθέντων, έχουμε την παρακάτω διαδικασία λειτουργίας του turbo



**Εικόνα 1 : Το Turbo ή Στροβιλοσυμπιεστής Καυσαερίου**

- Το κέλυφος εξαγωγής παραλαμβάνει τα καυσαέρια από τους αυλούς πολλαπλής εξαγωγής του κινητήρα (εκεί που οδηγούνται τα καυσαέρια μετά την εξαγωγή από τον κύλινδρο) και τους αυξάνει την ταχύτητά..
- Στη συνέχεια, η υψηλής ταχύτητας μάζα καυσαερίων 'πέφτει' πάνω στη φτερωτή εξαγωγής, θέτοντας σε κίνηση τον άξονα. Προφανώς, τίθεται σε κίνηση και η φτερωτή εισαγωγής. Πρωταρχικό ρόλο έχει η γεωμετρία της φτερωτής εξαγωγής, καθώς από αυτήν εξαρτάται η βέλτιστη εκμετάλλευση των καυσαερίων.
- Αυτή ρουφάει ατμοσφαιρικό αέρα και τον οδηγεί στο εσωτερικό του κελύφους εισαγωγής, όπου και συμπιέζεται.
  - Εν συνεχεία, ο αέρας εξέρχεται από το κέλυφος και οδηγείται στον κινητήρα. Με αυτόν τον τρόπο, στον αέρα που οι κύλινδροι ρουφάνε ούτως ή αλλιώς, προστέθηκε ο αέρας που ήρθε από το τούρμπο.

#### **4.2 Ελαττώματα χρήσης του turbo (turbochargers)**

##### **Φαινόμενο της χρονικής υστέρησης (turbo lag).**

Ένας συμβατικός στροβιλοσυμπιεστής δεν μπορεί να εκμεταλλευθεί την κινητική ενέργεια των καυσαερίων που είναι σχετικά μικρή στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Όσο πιο μικρή είναι η παροχή καυσαερίων τόσο πιο μικρή είναι η κινητική ενέργεια καθυστερώντας την περιστροφή της τουρμπίνας εμφανίζοντας το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης (turbo lag). Και όσο μεγαλύτερος είναι ο στρόβιλος, τόσο μεγαλύτερο είναι και το lag λόγω της αδράνειας.

Το πρόβλημα λύθηκε με την ιδέα των συστημάτων VTG η οποία είναι και απλή,



**Εικόνα 2: Η VTG (Variable Turbo Geometry)**

γύρω από το στροβιλοσυμπιεστή υπάρχουν εξωτερικά πτερύγια των οποίων η κλίση μεταβάλλεται υδραυλικά ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας από τα καυσαέρια. Συγκεκριμένα, στις χαμηλές στροφές του κινητήρα τα πτερύγια «κλείνουν» μεταξύ τους φράζοντας τον δρόμο στα καυσαέρια. Έτσι, αποκτούν μεγαλύτερη ταχύτητα ροής και γυρνούν πιο γρήγορα τον στροβιλοσυμπιεστή. Όσο οι στροφές αυξάνονται τόσο αυξάνεται και ο όγκος των καυσαερίων. Σταδιακά τα πτερύγια «ανοίγουν» το μεταξύ τους διάκενο επιτρέποντας στα καυσαέρια να περάσουν πιο εύκολα και να μειωθεί η ταχύτητα τους.

Έτσι, η πίεση του στροβιλοσυμπιεστή διατηρείται στα πιο αποδοτικά επίπεδα χωρίς να κινδυνεύει από υπερπίεση.



**Η τεχνολογία των VTG ξεκινά από το 1989** όταν η Honda δούλευε πάνω στο Wing Turbo του Legend χωρίς να καταφέρει να το βγάλει ποτέ στην παραγωγή και η ιαπωνική εταιρία να παραιτηθεί από την υπόθεση της υπερτροφοδότησης. Την ίδια χρονιά η εταιρία Garrett προχώρησε στην παραγωγή ενός συστήματος υπερτροφοδότησης VTG το οποίο εξόπλισε 500 μόλις Shelby CSX (βασισμένα στο Dodge Shadow). Το Peugeot 405 T16 που λανσαρίστηκε το 1992 χρησιμοποιούσε την τουρμπίνα μεταβαλλόμενης γεωμετρίας Garrett VAT25 στον δίλιτρο κινητήρα με ένα εντελώς απλό μηχανισμό που αποτελούνταν από ένα μεγάλο εξωτερικό πτερύγιο.



**Εικόνα 3: Η VNT (Variable Nozzle Technology)**

Η Porsche είναι σήμερα η μοναδική εταιρία που χρησιμοποιεί μεταβαλλόμενης γεωμετρίας υπερτροφοδότες που μπορούν να αντέχουν σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες. Το σύστημα της ονομάζεται VNT (Variable Nozzle Technology) και κατασκευάζεται από την Borg Warner η οποία ισχυρίζεται πως αποτελείται από υλικά που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική ώστε να αντέχει σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες. Εν τέλει το παράδειγμα της δεν το έχει ακολουθήσει κανείς μέχρι τώρα αφού τα διπλά turbo δείχνουν να τα προτιμούν οι περισσότεροι κατασκευαστές.

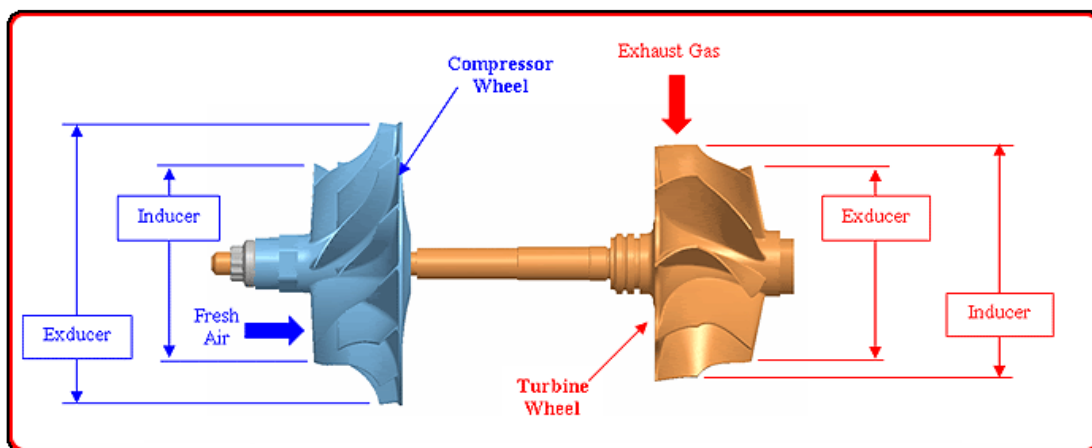
### 4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά των τούρμπο

#### Διάμετρος inducer

Ο inducer είναι το πρώτο νοητό επίπεδο των λεπίδων του συμπιεστή, και το μέγεθός του δίνει μια σχετικά ακριβή ένδειξη για την ισχύ που μπορεί να παράγει ένας συμπιεστής συγκεκριμένης διαμέτρου. Όσο μεγαλύτερη η διάμετρος του inducer τόσο μεγαλύτερη η ροή και επομένως η παραγόμενη ισχύς.

#### Διάμετρος exducer

Πρόκειται για το εξωτερικό άκρο του συμπιεστή, όπου “βρίσκει” ο αέρας πριν βγει από το τούρμπο. Το μέγεθός του σε σχέση με την διάμετρο του inducer είναι σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό της μέγιστης πίεσης που αντέχει να χρησιμοποιήσει ένας συμπιεστής. Όσο μεγαλύτερος exducer, τόσο μεγαλύτερη και η πίεση που μπορεί να παραχθεί.



Εικόνα 4: Ο Στροβίλοσυμπιεστής



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:**

Για παράδειγμα όταν έχουμε έναν στροβιλοσυμπιεστή turbo με τα εξής χαρακτηριστικά:

Incuder2: 53.1[mm]

Exduder2: 71.0 [mm]

Πόση θα είναι η Trim =?

**ΛΥΣΗ:**

$Trim = (exduder^2 / incuder^2) * 100.$

$Trim = (71.0^2 / 53.1^2) * 100 = 56$

### **Wheel trim συμπιεστή**

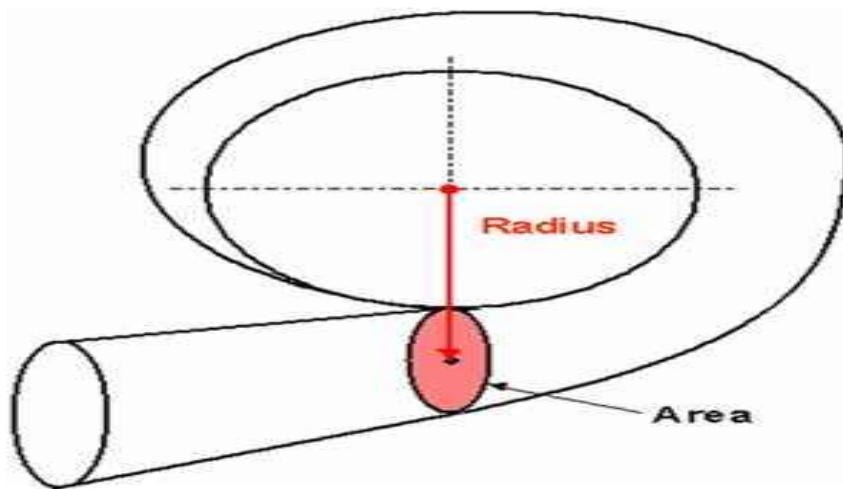
Το wheel trim είναι ο όρος για την διαφορά μεταξύ του μεγέθους του inducer και του exducer – και αυτή η διαφορά στο μέγεθος προκαλεί αρκετά πράγματα να συμβούν.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, όσο μεγαλύτερο το inducer του συμπιεστή, τόσο μεγαλύτερη η ροή που μπορεί να διαχειριστεί ο συμπιεστής. Όμως, όσο μεγαλύτερο το inducer σε σχέση με το exducer τόσο πιο αργή η απόκριση του τούρμπο, αλλά και τόσο μεγαλύτερες οι πιθανότητες να συμβεί το compressor surge, δηλαδή να βγει η τουρμπίνα εκτός χάρτη λειτουργίας και να ρουφάει κενό αντί για αέρα με καταστροφικές συνέπειες για αυτήν.

Από την άλλη, αν αυξηθεί το μέγεθος του exducer χωρίς να αυξηθεί το inducer (δηλαδή, χαμηλότερος αριθμός wheel trim), το τούρμπο θα υστερεί λιγότερο και θα είναι λιγότερο επιρρεπές στο compressor surge. Στην πραγματικότητα όλα τα τούρμπο πρέπει να διαθέτουν την κατάλληλη αναλογία μεταξύ των μεγεθών inducer και exducer, και η αλλαγή του wheel trim συνήθως χρησιμοποιείται για μικρό ρυθμίσεις όμοιων τούρμπο για κάποια συγκεκριμένη χρήση – κάτι ανάλογο με την αλλαγή της αναλογίας A/R στην πλευρά της τουρμπίνας.

## Λόγος $A/R$

Ο λόγος  $A/R$  είναι ένα νούμερο που δείχνει το μέγεθος του κελύφους της τουρμπίνας. Το  $A$  είναι το εμβαδόν της διατομής του κελύφους και το  $R$  είναι η ακτίνα – δηλαδή η απόσταση μεταξύ του κέντρου περιστροφής του άξονα του τούρμπο και του κέντρου της διατομής.



**Σχήμα 5: Ο λόγος  $A/R$ .**

Οι τιμές  $A/R$  εκφράζονται ως ,63, 85, 1,15 κ.λπ.: όσο μεγαλύτερη η τιμή  $A/R$ , τόσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα του κελύφους. Το μεγαλύτερο  $A/R$  σημαίνει ότι η ροή καυσαερίων στην τουρμπίνα είναι μεγαλύτερη – και επομένως η παραγόμενη δύναμη περισσότερη, αλλά εις βάρος της απόκρισης. Ο υπερβολικά μεγάλος  $A/R$  θα αυξήσει τρομερά την υστέρηση, αλλά και υπερβολικά μικρή τιμή  $A/R$  μειώνει την απόδοση στις ψηλές στροφές. Με παρόμοιο τρόπο με το wheel trim του συμπιεστή, τα περισσότερα τούρμπο μπορούν να... οικειοποιηθούν τρεις ή τέσσερις τιμές  $A/R$  για να ρυθμιστούν κατάλληλα για την εκάστοτε χρήση τους. Και τα κελύφη των συμπιεστών διαθέτουν τιμές  $A/R$ : αγνόησέ τις. Ο λόγος  $A/R$  επηρεάζει ελάχιστα την πλευρά της συμπίεσης.



#### 4.4 Υπολογισμός Επιλογής Turbo

Η επιλογή της κατάλληλης τουρμπίνας για κάθε εφαρμογή είναι μια διαδικασία που περνά μέσα από την μελέτη του compressor map, ενός χάρτη που δείχνει την απόδοση της τουρμπίνας σε συνάρτηση με την πίεση (pressure ratio) και την ροή του αέρα (flow rate).

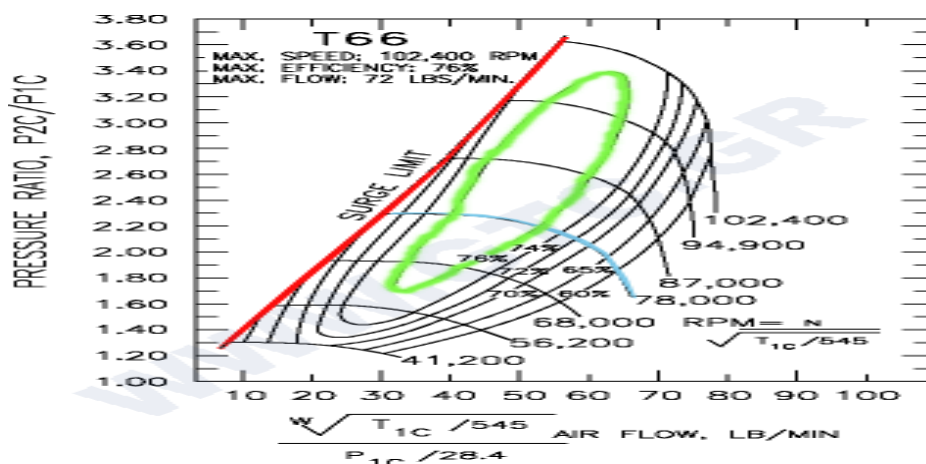
Παρακάτω ακολουθούν δύο παραδείγματα για τον υπολογισμό αυτών των δύο βασικών μεγεθών.

Δίνονται και δύο παραδείγματα για δύο γνωστές τουρμπίνες (KKK K03 & GARETT GT28RS) για τοποθέτηση σε κινητήρα VAG 1.8T.

## Compressor Map

Στο σχεδιάγραμμα Compressor Map παρακάτω βλέπουμε ένα παράδειγμα στο οποίο στον άξονα των X έχουμε το flow rate σε lbs/min και στον άξονα των Y το pressure ratio.

Η κόκκινη καμπύλη λέγεται surge limit και η περιοχή αριστερά από αυτή χαρακτηρίζεται από ασταθή λειτουργία του κομπρέσορα. Ποτέ δεν διαλέγουμε μια τουρμπίνα της οποίας ο compressor map και οι συνθήκες λειτουργίας της δείχνουν ότι θα δουλεύει σε αυτή την περιοχή. Σε υψηλές στροφές περιστροφής υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ακόμη και καταστροφής της τουρμπίνας.



**Σχεδιάγραμμα 6: Compressor Map**

Οι καμπύλες του χάρτη με μπλε χρώμα είναι αυτές που δείχνουν τις στροφές λειτουργίας της τουρμπίνας για κάθε PR και flow-rate και θα πρέπει να προσέξουμε να είναι κάτω από το μέγιστο όριο λειτουργίας που θέτει ο κατασκευαστής.

Οι νησίδες με πράσινο χρώμα, δείχνουν το efficient rate για κάθε περιοχή λειτουργίας. Όσο ξεφεύγουμε από το μέγιστο της απόδοσης (70% εδώ), τόσο η θερμοκρασία του αέρα εξαγωγής είναι μεγαλύτερη (μικρότερη πυκνότητα) και σαν συνέπειες έχουμε την μειωμένη ιπποδύναμη καθώς και τον κίνδυνο καταστροφής της τουρμπίνας από υπερθέρμανση (oil cooking).

#### 4.5 Υπολογισμοί

Σαν Pressure Ratio (PR) ορίζεται ο λόγος:

$$PR = P1 + P2 + ICpd / P2$$

Όπου P1 = Επιθυμητή πίεση σε psi & P2 = Ατμοσφαιρική πίεση σε psi = 14,7 psi. ICpd = πτώση πίεσης λόγω του Intercooler (1.5 psi)

Έτσι στο παράδειγμά μας για τον 1.8T κινητήρα μια πίεση 1 BAR ( 14,7 psi) οδηγεί σε pressure ratio

$$14,7 + 14,7 + 1,5 / 14,7 = 2,1$$

Σημείωση: Για ευκολία στους υπολογισμούς υποθέτουμε σταθερή πίεση σε όλη την κλίμακα στροφών, στην πράξη για να κρατήσουμε την τουρμπίνα σε καλές τιμές efficiency μεταβάλλουμε την πίεση με τις στροφές.

Ο υπολογισμός του flow rate του κινητήρα μας είναι λιγάκι πιο σύνθετος και στις εξισώσεις μπαίνουν παράγοντες

όπως Intake Air Density, compressor inlet temp, corrected compressor inlet pressure.

Για ευκολία στους υπολογισμούς δίνεται η παρακάτω εξίσωση χωρίς να έχει μεγάλη απόκλιση από την αναλυτική:

$$CFM = (L * RPM * VE * PR) / 5660$$

όπου CFM = κυβικά πόδια ανα λεπτό, L = κυλινδρισμός σε λίτρα, RPM = μέγιστος αριθμός στροφών, VE\* = volumetric efficiency, PR = Pressure ratio (Που υπολογίσαμε παραπάνω)



Τιμές VE

2 βαλβιδος κινητήρας = 85%

4 βαλβιδος κινητήρας = 90%

Modified street = 93%

Racing κινητήρας = 105%

Πίσω στο παράδειγμά μας του 1.8T κινητήρα έχουμε:

$$CFM = ( 1,781 * 6000 * 90 * 2,1 ) / 5660 = 357$$

Αυτή είναι η μέγιστη ροή στις 6000 στροφές. Για να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα πάνω στον χάρτη του κομπρέσορα, υπολογίζουμε την ροή ανά 1000 στροφές από τις 2000 έως τις 6000.

Επειδή συνήθως στους χάρτες των κατασκευαστών η ροή δίνεται σε lbs / min η m<sup>3</sup>/sec μετατρέπουμε τα cfm σε lbs/min πολλαπλασιάζοντας με το 0.069 η σε m<sup>3</sup>/sec πολλαπλασιάζοντας με το 0,0004719

Έτσι έχουμε:

RPM	CFM	m <sup>3</sup> / sec	LBS/min
2000	119	0,056	8,22
3000	179	0,084	12,32
4000	238	0,112	16,43
5000	298	0,140	20,54
6000	357	0,169	24,65

**Πίνακας 7: ροής Αέρα**

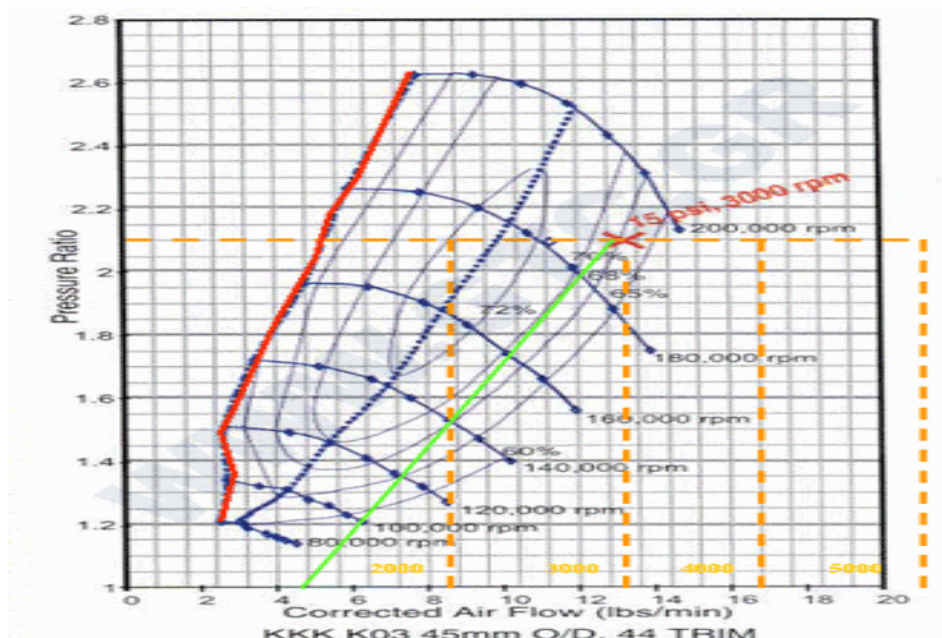
Έχουμε λοιπόν το Pressure Ratio και τις τιμές του Flow Rate σε lbs/min, οπότε σημειώνουμε στο χάρτη τις συντεταγμένες.

Βλέπουμε στην παρακάτω στο σχεδιάγραμμα τον χάρτη της Borg Warner K03 (αυτή που φορούσαν τα VAG πριν το 2000) με τα σημεία πάνω του.

Φαίνεται ότι με πίεση 1. BAR ο compressor έχει καλό efficiency rate μόνο μέχρι τις 3000 περίπου στροφές. Για αυτό και συνήθως οι βελτιωτές ρίχνουν σταδιακά την πίεση μετά τις 3.000 έως τις 6000 στροφές.

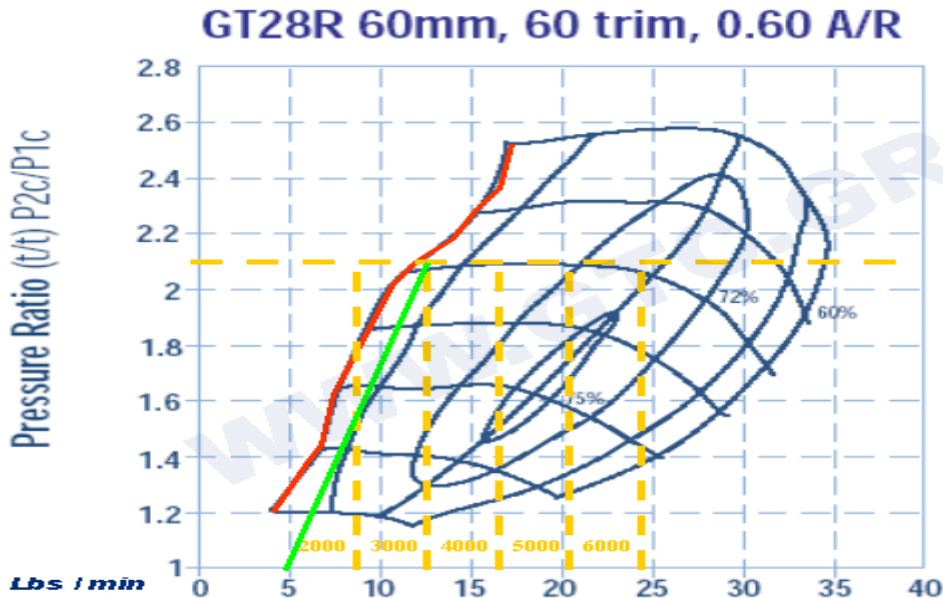
Το να δουλέψουμε την τουρμπίνα από εκεί και πάνω σε μικρότερα efficiency rates, θα σήμαινε ότι θα παρήγαγε υπερβολική θερμότητα.

Πράγμα που σημαίνει ότι ακόμη και εάν παρέμενε μέσα στο όριο στροφών λειτουργίας της, το κέρδος σε ιπποδύναμη θα ήταν ελάχιστο (εάν όχι και αρνητικό) καθώς πέραν της μικρότερης πυκνότητας του αέρα εισαγωγής θα έπρεπε να αντισταθμίσουμε με λιγότερη γωνία καύσεως (κίνδυνος προανάφλεξης) και ίσως ποιο πλούσιο μίγμα (μικρότερη θερμοκρασία καυσαερίων)



**Σχεδιάγραμμα 8: Compressor Map Τουρμπίνας ΚΚΚ Κ03**

Στο αντίστοιχο σχεδιάγραμμα της τουρμπίνας Garrett GT28R όπου φαίνεται ότι δεν έχουμε πρόβλημα να διατηρήσουμε το 1 BAR μέχρι τις 6000 (και παραπάνω) στροφές.



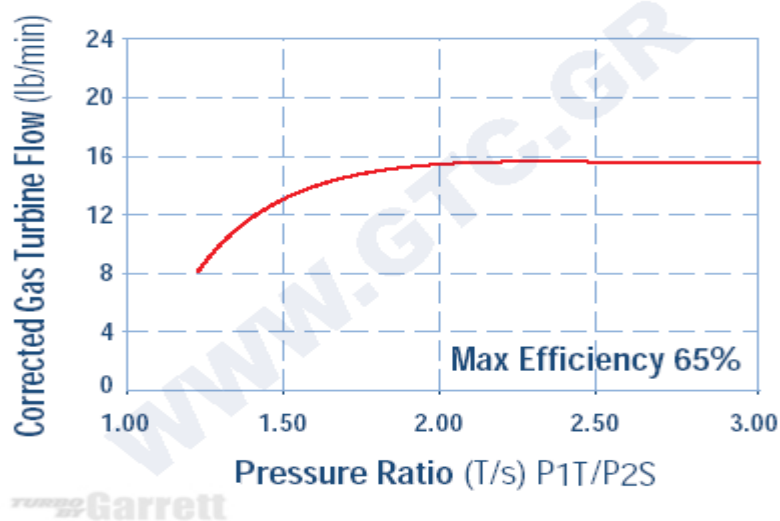
**Σχεδιάγραμμα 9: Compressor Map Τουρμπίνας Garrett GT28R**

Από ότι φαίνεται, στις χαμηλές στροφές, η τουρμπίνα είναι εκτός της σωστής περιοχής του χάρτη, αλλά σε αυτές τις στροφές έτσι και αλλιώς δεν μπορεί να δουλέψει στην επιθυμητή πίεση του 1 BAR. Οι περισσότερες εφαρμογές turbo αποδίδουν το μέγιστο boost στο 50% των μέγιστων στροφών του κινητήρα. Ένας καλός πρακτικός τρόπος να σιγουρευτούμε ότι ο compressor δεν θα δούλεψε εκτός του surge limit (κόκκινη γραμμή) είναι να σημειώσουμε πάνω στο χάρτη αυτό το σημείο ( 3.000 στροφές / 2.1 PR) και μετά πάνω στον άξονα του flow-rate να σημειώσουμε το σημείο που έχουμε 20% του μέγιστου flow ( $24,65 \cdot 0,20 = 4,93$ ).

Στην συνέχεια τραβάμε μια γραμμή που ενώνει αυτά τα σημεία (πράσινη γραμμή), η οποία πρέπει να είναι ολόκληρη δεξιά από το surge limit (κόκκινη γραμμή).

Ο χάρτης που δείχνει την δυνατότητα της τουρμπίνας να ανεβάσει πίεση σε σχέση με την ροή των καυσαερίων είναι το παρακάτω σχεδιάγραμμα πίεσης / ροής καυσαερίων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε σχέση με τον κυβισμό του αυτοκινήτου.

### GT28R, 62 trim, 0.64 A/R



**Σχεδιάγραμμα 10: Πίεσης / Ροής Καυσαερίων**

Είδαμε ότι οι χάρτες του compressor δίνουν τα efficiency rates για διάφορες περιοχές λειτουργίας.

Παρακάτω θα εξηγήσουμε στην πράξη το efficiency rate και τι αποτέλεσμα έχει στην αύξηση της ιπποδύναμης που περιμένουμε ως συνέπεια της αύξησης της πίεσης εισαγωγής

Ο τύπος που δίνει την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στην εξαγωγή του compressor είναι ο εξής:

$$T_o = F * (A_t + 273) * 100 / E$$

Όπου F σταθερά σε συνάρτηση με το Pressure Ratio από τον διπλανό πίνακα , At η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε  $C^0$ , E το Compressor Efficiency Στο παράδειγμά μας λοιπόν για την K03 στις 4000 στροφές (έστω ότι την δουλεύαμε εκεί) έχουμε : Για PR=2.1 το F είναι 0,234, At έστω 20  $C^0$  και E = 51%

Pr = Pressure Ratio F = παράγοντας για τον υπολογισμό της αύξησης θερμοκρασίας εξαγωγής

Pr	F	Pr	F	Pr	F
1.35	0.089	2.25	0.258	3.3	0.402
1.4	0.100	2.3	0.266	3.4	0.414
1.45	0.110	2.35	0.274	3.5	0.426
1.50	0.120	2.4	0.281	3.6	0.437
1.55	0.130	2.45	0.289	3.7	0.448
1.6	0.142	2.5	0.296	3.8	0.459
1.65	0.152	2.55	0.303	3.9	0.470
1.7	0.162	2.6	0.311	4.0	0.480
1.75	0.172	2.65	0.318	4.2	0.501
1.8	0.181	2.7	0.325	4.4	0.521
1.85	0.192	2.75	0.331	4.6	0.540
1.9	0.199	2.8	0.338	4.8	0.559
1.95	0.208	2.85	0.345	5.0	0.577
2.0	0.217	2.9	0.352	5.3	0.603
2.05	0.225	2.95	0.358	5.6	0.628
2.1	0.234	3.0	0.365	5.9	0.653
2.15	0.242	3.1	0.377	6.4	0.691
2.2	0.250	3.2	0.390	7.0	0.735

**Πίνακας 11 Pressure Ratio ,F**

Άρα  $T_0 = 134,5 C^0$  αύξηση θερμοκρασίας εάν το E ήταν 70%, τότε θα είχαμε αύξηση θερμοκρασίας κατά 98  $C^0$  δηλαδή 36,5 C λιγότερο.



Για να έχουμε την πραγματική θερμοκρασία αέρα στην εξαγωγή του compressor προσθέτουμε την αύξηση της θερμοκρασίας στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι έχουμε  $134,5 + 20 = 154,5 \text{ C}$ .

Βλέπουμε ότι με πίεση 1 BAR (διπλασιασμό δηλαδή του όγκου του αέρα που εισέρχεται στην μονάδα του χρόνου) έχουμε θερμοκρασία αέρα  $154,5 \text{ C}$ .

Λογικά ο διπλασιασμός αυτός θα οδηγούσε σε αντίστοιχη αύξηση της ιπποδύναμης, αλλά υπάρχει και ο παράγων πυκνότητα του αέρα, ο οποίος με την άνοδο της θερμοκρασίας μειώνεται

Ας δούμε λοιπόν τι σημαίνει αυτό το ποσοστό μείωσης της πυκνότητας:

$$D = (At + 273) * PR / (To + 273)$$

Όπου D το ποσοστό μείωσης της πυκνότητας, At η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε  $\text{C}^\circ$ , PR Pressure Ratio.

Πίσω στο παράδειγμα, έχουμε  $At=20 \text{ C}^\circ$ ,  $PR=2,1$  οπότε  $D = 1,44$

Δηλαδή ενώ διπλασιάσαμε τον όγκο του αέρα που μπαίνει στον κινητήρα μας, η αύξηση του σε μάζα είναι μόνο 44%.

Άρα σε ένα ατμοσφαιρικό κινητήρα αυτό θα οδηγούσε σε προσδοκώμενη αύξηση ισχύος κατά 44% με την προϋπόθεση ότι μπορούσε να το αντέξει και ότι υπήρχε το κατάλληλο καύσιμο και ρυθμίσεις. Βλέπουμε λοιπόν την σημασία που έχει το Efficiency Rate του Compressor.



Άρα  $T_0 = 134,5 \text{ C}^\circ$  αύξηση θερμοκρασίας εάν το  $E$  ήταν 70%, τότε θα είχαμε αύξηση θερμοκρασίας κατά  $98 \text{ C}^\circ$ . Δηλαδή  $36,5 \text{ C}^\circ$  βαθμούς λιγότερο !

Για να έχουμε την πραγματική θερμοκρασία αέρα στην εξαγωγή του compressor προσθέτουμε την αύξηση της θερμοκρασίας στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι έχουμε  $134,5 + 20 = 154,5 \text{ C}^\circ$ .

Βλέπουμε ότι με πίεση 1 BAR (διπλασιασμό δηλαδή του όγκου του αέρα που εισέρχεται στην μονάδα του χρόνου) έχουμε θερμοκρασία αέρα  $154,5 \text{ C}^\circ$ .

Λογικά ο διπλασιασμός αυτός θα οδηγούσε σε αντίστοιχη αύξηση της ιπποδύναμης, αλλά υπάρχει και ο παράγων πυκνότητα του αέρα, ο οποίος με την άνοδο της θερμοκρασίας μειώνεται.

Ας δούμε λοιπόν τι σημαίνει αυτό το ποσοστό μείωσης της πυκνότητας:

$$D = (A_t + 273 \text{ K}^\circ) * PR / (T_0 + 273 \text{ K}^\circ)$$

Όπου  $D$  το ποσοστό μείωσης της πυκνότητας,  $A_t$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε  $\text{C}^\circ$ ,  $PR$  pressure ratio.

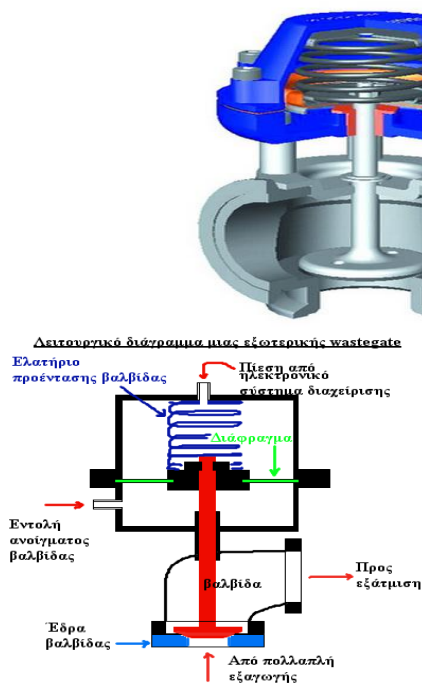
Πίσω στο παράδειγμα, έχουμε  $A_t=20 \text{ C}^\circ$ ,  $PR=2,1$  οπότε  $D = 1,44$  Δηλαδή ενώ διπλασιάσαμε τον όγκο του αέρα που μπαίνει στον κινητήρα μας, η αύξηση του σε μάζα είναι μόνο 44%.

Άρα σε ένα ατμοσφαιρικό κινητήρα αυτό θα οδηγούσε σε προσδοκώμενη αύξηση ισχύος κατά 44% με την προϋπόθεση ότι μπορούσε να το αντέξει και ότι υπήρχε το κατάλληλο καύσιμο και ρυθμίσεις.

Βλέπουμε λοιπόν την σημασία που έχει το efficiency rate του compressor.

#### 4.6 Βαλβίδες Διαφυγής Αέρα Και Καυσαερίων

Όταν ο κινητήρας φτάσει την πίεση για την οποία είναι προορισμένος, τα επιπλέον καυσαέρια που παράγονται, παρακάμπτουν το turbo μέσω της βαλβίδας διαφυγής (**wastegate**).



**Εικόνα 12: Η Βαλβίδα Διαφυγής (wastegate)**

Όταν ο οδηγός αφήσει το γκάτσι, ο αέρας που μένει μέσα στο turbo εκτονώνεται στο περιβάλλον μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης (η γνωστή μας σκάστρα (**blow off valve**))

Η Blow off valve ή αλλιώς σκάστρα, είναι μία βαλβίδα, η οποία τοποθετείται ανάμεσα το turbo και την πεταλούδα του γκαζιού

Η δουλειά της είναι να εκτονώνει τον περισσευούμενο αέρα από το turbo όταν κλείνει η πεταλούδα γκαζιού (όταν αφήνουμε το γκάτσι).





Είναι απαραίτητη στους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες, γιατί χωρίς την ύπαρξη της, θα υπήρχε καταστροφή της φτερωτής του turbo λόγω της επιπλέον πίεσης. Η φτερωτή λόγω της αδράνειας θα συνέχιζε να στέλνει αέρα προς τον κινητήρα, όμως θα έβρισκε την πεταλούδα κλειστή και ο αέρας θα γυρνούσε προς τα πίσω.

## Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες

### Ανοικτού τύπου



**Εικόνα 4.13 Blow off valve**

Χρησιμοποιούνται σε βελτιωμένα αυτοκίνητα (λόγω του ότι είναι απλές στην τοποθέτηση και δεν χρειάζονται πολλές μετατροπές) και παράγουν χαρακτηριστικό ήχο (το χαρακτηριστικό σφύριγμα ή "φτέρνισμα").

Οι ανοικτού τύπου σκάστρες, διώχνουν τον επιπλέον αέρα στην ατμόσφαιρα. Μειονέκτημα τους είναι, ότι μπερδεύουν τον αισθητήρα MAF, ο οποίος αντιλαμβανόμενος την ροή του αέρα προς τον κινητήρα, συνεχίζει να ψεκάζει με καύσιμο τους κυλίνδρους.

Όμως επειδή ο αέρας τελικά διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, δεν γίνεται καύση όλου του καυσίμου και το επιπλέον καύσιμο πηγαίνει στην εξάτμιση. Για αυτό το λόγο βλέπουμε βελτιωμένα αυτοκίνητα να βγάζουν φλόγες από την εξάτμιση.

### Κλειστού τύπου

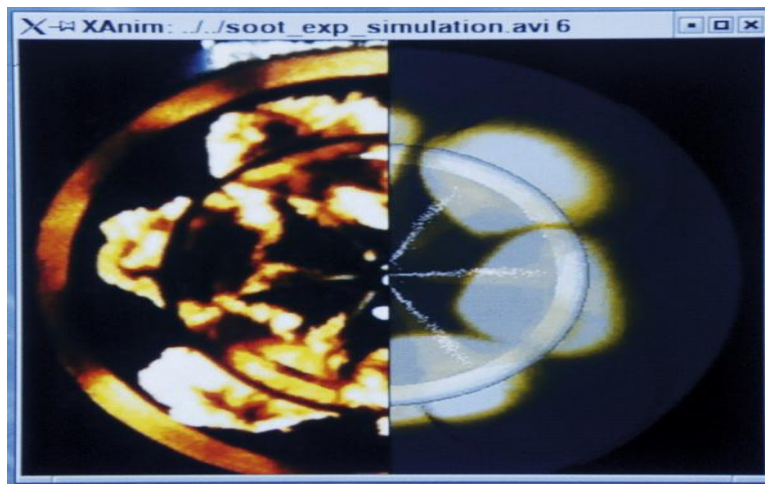


**Εικόνα 4.14: Blow off valve**

Οι κλειστού τύπου σε αντίθεση με τις ανοικτού τύπου, δεν διώχνουν τον αέρα στην ατμόσφαιρα, αλλά τον οδηγούν πίσω από το turbo (πριν την εισαγωγή του). Με αυτόν τον τρόπο, η ροή του αέρα και η πίεση διατηρείται σταθερή, η φτερωτή επιβραδύνει σταδιακά και ο αισθητήρας MAF λειτουργεί κανονικά χωρίς μπερδέματα.

#### 4.7 Κρουστική καύση (πειράκια)

Πρόκειται για ένα φαινόμενο που γίνεται αντιληπτό από εξωτερικούς «μεταλλικούς» ήχους και οφείλεται στην ταχύτερη και βίαιη καύση του μίγματος. Με άλλα λόγια η καύση του μίγματος αέρα/βενζίνης δεν γίνεται ομαλά αλλά απότομα με ρυθμό έκρηξης καθώς η φλόγα μεταδίδεται πολύ πιο γρήγορα.



**Εικόνα 4.15: Η Κρουστική Καύση (πειράκια)**

Συνθήκες που δημιουργούν «πειράκια» είναι η αμόλυβδη με μικρό βαθμό οκτανίων, η κακή ρύθμιση του αβάνς, η λειτουργία του κινητήρα με υπερβολικό φορτίο, η «πειραγμένη» υψηλότερη σγέση συμπίεσης, από την κακή ψύξη των κυλίνδρων κ.α. Πέρα από τον ενοχλητικό ήχο οι συνέπειες της κρουστικής καύσης είναι η μείωση της απόδοσης, η αύξηση της κατανάλωσης και των ρύπων, η υπερθέρμανση του κινητήρα, η φθορά εξαρτημάτων (εμβόλου, μπιέλας, ελατηρίων κ.α.), μέχρι και το τρύπημα του πιστονιού!

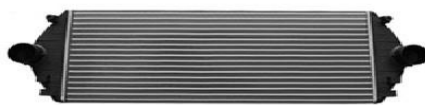
#### 4.8 Εναλλάκτης αέρα ή intercooler

Ο σκοπός του intercooler είναι να καταφέρει να χαμηλώσει την θερμοκρασία του αέρα που πηγαίνει από το turbo προς την πολλαπλή εισαγωγής και τον θάλαμο καύσης . Το intercooler είναι συνήθως φτιαγμένο από αλουμίνιο και αποτελείται από τον πυρήνα και τους συλλέκτες .Ο πυρήνας είναι φτιαγμένος από κυψέλες-διόδους μέσα από τις οποίες περνάει ο αέρας που θέλουμε να ψύξουμε και από στρατζαρισμένα φύλλα αλουμινίου που χρησιμεύουν στην αύξηση της επιφάνειας στην οποία γίνεται η συναλλαγή της θερμότητας.



**Εικόνα 4.16: Οι Κυψέλες-Διόδους**

Οι συλλέκτες είναι οι "τάπες" που παρατηρούμε στα intercooler δεξιά και αριστερά και ο σκοπός τους είναι να διαχέει τον αέρα που έρχεται από το turbo και να τον αναγκάζει να κινηθεί μέσα στον πυρήνα του intercooler ο ένας , και ο άλλος να συλλέγει τον αέρα που πλέον έχει πέσει η θερμοκρασία του και να τον στέλνει προς τον θάλαμο καύσης



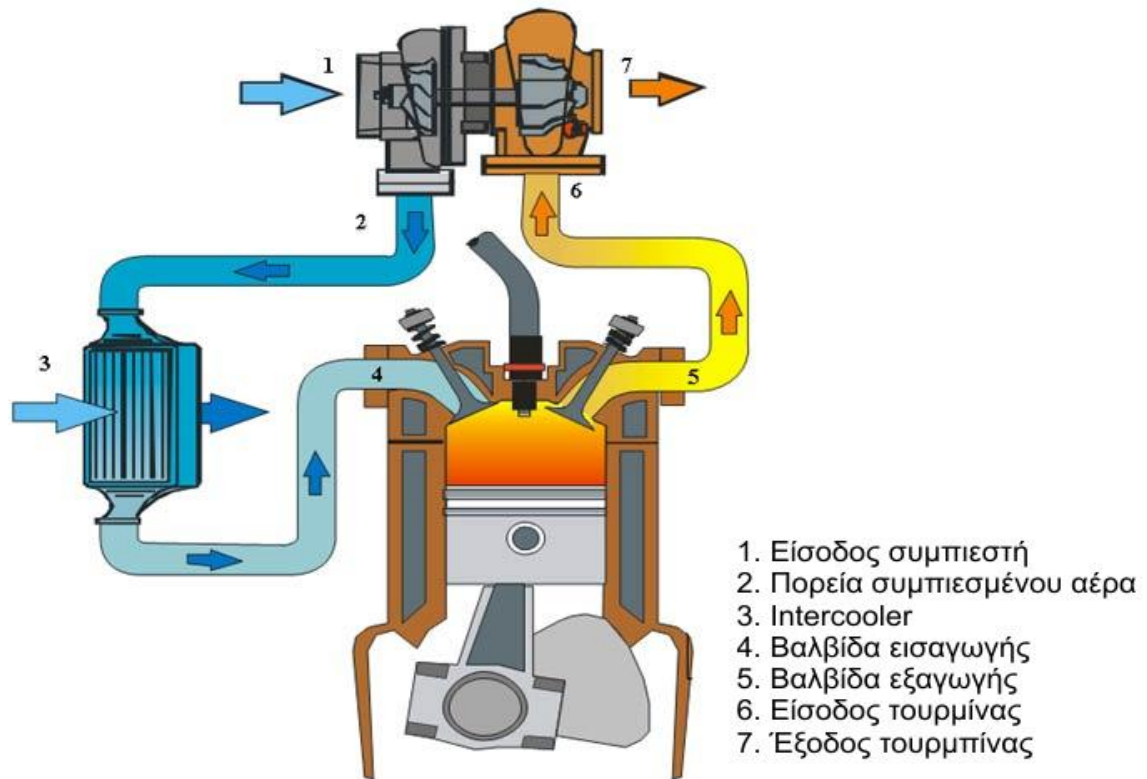
**Εικόνα 4.17: Ο Εναλλάκτης Αέρα**



Ο αέρας που βγαίνει από το turbo έχει μεγάλη θερμοκρασία . Όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία του αέρα , τόσο η πυκνότητά του σε οξυγόνο μικραίνει . Αυτό σημαίνει αυτόματα μικρότερη απόδοση του κινητήρα.

Ο τρόπος λειτουργίας του είναι ο εξής . Ο αέρας που "ρουφάει" το turbo περνάει μέσα από σωληνώσεις και φτάνει στο intercooler . Όσο πιο ομαλές και όσο πιο καλές είναι οι ενώσεις των σωληνώσεων τόσο μικρότερη είναι η πτώση της πίεσης από το turbo άρα καλύτερη απόδοση και απόκριση (λιγότερο turbo-lag) . Στο intercooler ο αέρας θα "υποχρεωθεί" να κινηθεί μέσα από δεκάδες μικρότερες σωληνώσεις (δίοδοι πυρήνα) οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με τα στρατζαρισμένα φύλλα αλουμινίου . Τα στρατζαρισμένα φύλλα αλουμινίου έχουν χαμηλή θερμοκρασία , λόγω του ότι βρίσκονται συνεχώς σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα .

Εκεί έχουμε και μεταφορά θερμότητας από τον υψηλής θερμοκρασίας αέρα από το turbo και τα φύλλα αλουμινίου-εξωτερικού αέρα . Αφού ο υπό πίεση αέρας διανύσει όλη την διαδρομή του πυρήνα θα φτάσει στον άλλο συλλέκτη και θα κινηθεί πάλι μέσα στις σωληνώσεις για να φτάσει πλέον σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία στον θάλαμο καύσης .



**Εικόνα 4.18: Το Κύκλωμα Εναλλάκτη Αέρα**

### Τρόποι τοποθέτησης εναλλάκτη Αέρα

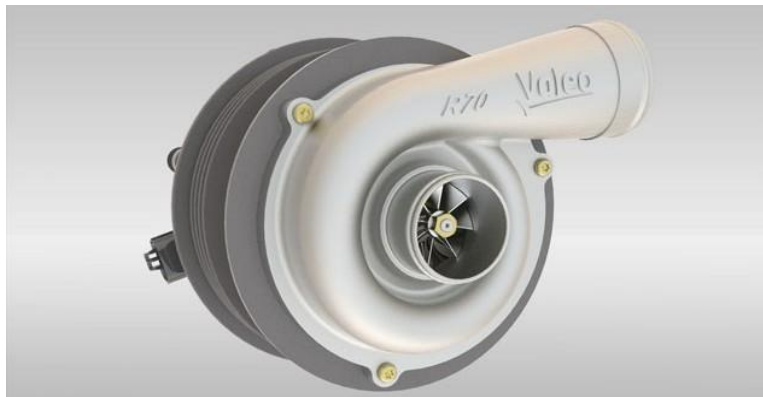
**A.** Τα top mounted. Είναι τοποθετημένα στο πάνω μέρος του κινητήρα και πλεονεκτούν στο γεγονός ότι βρίσκονται πιο κοντά στην εισαγωγή, άρα έχουν και καλύτερο αποτέλεσμα.

**B.** Τα front mounted. Βρίσκονται στο μπροστινό μέρος του κινητήρα. Το μέρος στο οποίο είναι τοποθετημένο το intercooler φυσικά και έχει σημασία. Ωστόσο, σημαντική διαφορά υπάρχει και ανάμεσα σε αυτά που ψύχουν τον αέρα χρησιμοποιώντας νερό (νερού-αέρος) και σε αυτά που χρησιμοποιούν μόνο αέρα (αέρος-αέρος). Η πρώτη περίπτωση είναι πιο αποτελεσματική, όμως κοστίζει πολύ περισσότερο και γι' αυτό θα τη συναντήσουμε σε αυτοκίνητα παραγωγής πολύ υψηλών επιδόσεων και σε αγωνιστικά.

#### 4.9 Μηχανικός και ηλεκτρικός τρόπος υπερπλήρωσης

##### Ηλεκτρικός τρόπος υπερπλήρωσης

Η υπερπλήρωση της μηχανής μπορεί να γίνει με μία συσκευή που εργάζεται ανεξάρτητα από τον κινητήρα όπως είναι ένας ηλεκτροκινητήρας. Έχει το πλεονέκτημα ανεξαρτητοποίησης της τροφοδοσίας από τις χαμηλές κυρίως στροφές του κινητήρα. Έχει ψηλό κόστος, απαιτεί περισσότερα ηλεκτρονικά συστήματα στον χώρο του κινητήρα για τον έλεγχο του επίσης χρειάζεται μεγάλα ποσοστά ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του και γι αυτό χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.



Εικόνα 4.19: Ο Ηλεκτρικός Στροβιλοσυμπιεστής

##### Μηχανικός τρόπος υπερπλήρωσης

Ο υπερπληρωτής είναι συνδεδεμένος μηχανικά (ιμάντες αλυσίδα κτλ) με τον κινητήρα και κινείται από αυτόν.

Ο συμπιεστής μπορεί να είναι περιστροφικός ή φυγοκρνητικός



#### 4.10 Compressor ή μηχανικός υπερσυμπιεστής

Η επινοήση είναι του Ρούντολφ Ντίζελ. Εδώ η φιλοσοφία είναι διαφορετική: ο κομπρέσορας αντλεί την απαιτούμενη για τη λειτουργία του ενέργεια από τον στροφαλοφόρο άξονα, μέσω ενός συστήματος γραναζιών.



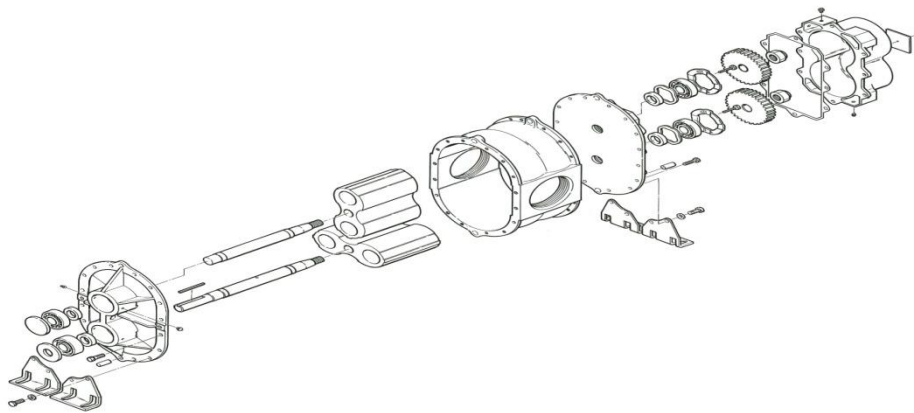
**Εικόνα 4.20: Μηχανικός Υπερσυμπιεστής**

Έτσι, ένα πρώτο σημαντικό μειονέκτημα αυτού του συστήματος υπερπλήρωσης είναι η μείωση της ωφέλιμης ισχύος του κινητήρα, καθώς αποσπάται κινητική ενέργεια από τον στροφαλοφόρο άξονα. Στα μειονεκτήματά του προστίθεται το μεγάλο του μέγεθος το οποίο είναι τρεις με πέντε φορές μεγαλύτερο από ένα τούρμπο για την ίδια εφαρμογή. Επίσης, το σύστημα μετάδοσης ανάμεσα στον στροφαλοφόρο και τον κομπρέσορα αυξάνει την πολυπλοκότητα, άρα και τις μηχανικές απώλειες. Από την άλλη, ο μηχανικός υπερτροφοδότης ζεσταίνει αισθητά λιγότερο τον αέρα σε σχέση με ένα τούρμπο, το οποίο είναι πολύ σημαντικό, καθώς αυξημένη θερμοκρασία σημαίνει μειωμένη πυκνότητα, άρα μειωμένη μάζα που εισέρχεται στον κύλινδρο, δηλαδή ‘κακή’ υπερπλήρωση. Επίσης, ο κομπρέσορας δεν εμφανίζει το φαινόμενο της υστέρησης, καθώς περιστρέφεται μαζί με τον κινητήρα.

### Λειτουργία του μηχανικού υπερσυμπιεστή

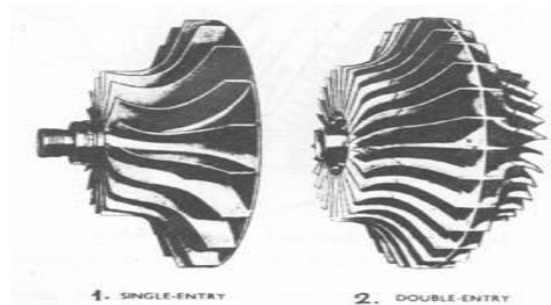
Η κεντρική ιδέα είναι απλή: ο στροφαλοφόρος θέτει σε λειτουργία έναν συμπιεστή, ο οποίος στην είσοδό του παραλαμβάνει ατμοσφαιρικό αέρα και εξάγει αέρα πίεσης μεγαλύτερης της μίας ατμόσφαιρας, ο οποίος στη συνέχεια εισάγεται βεβιασμένα στον κύλινδρο. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες συμπιεστών, ο roots, ο φυγοκεντρικός και ο κοχλιοφόρος:

- Ο roots, είναι εφεύρεση του Άγγλου μηχανικού Τζορτζ Τζόουνς ανήκει στη κατηγορία των περιστροφικών συμπιεστών κι αυτό που κάνει στην ουσία είναι να ωθεί τον αέρα, μέσω μιας διάταξης δύο λοβών. Οι σχέσεις συμπίεσης που επιτυγχάνονται είναι σχετικά μικρές, της τάξης του 1.2, ενώ έχουμε μία αρκετά θορυβώδη λειτουργία, η οποία οφείλεται στη σύγκρουσή του με τον πεπιεσμένο αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα.



**Εικόνα 4.21 :Ο Μηχανικός Υπερσυμπιεστής Roots**

Ο φυγοκεντρικός είναι μια καθαρά αεροδυναμική μηχανή. Ο αέρας αρχικά παρασύρεται από τις φτερωτές του συμπιεστή (οι οποίες τίθενται σε κίνηση μέσω του στροφαλοφόρου, μη ξεχνιόμαστε!) και στη συνέχεια επιβραδύνονται μέσω διαδοχικών αποκλινόντων ακροφύσιων (διαχύτες) με αποτέλεσμα να κερδίζουμε σε πίεση. Στη συνέχεια, ο αέρας διοχετεύεται στον κινητήρα. Ο τύπος αυτός συμπιεστή χρησιμοποιείται σπάνια καθώς παρουσιάζει βέλτιστη λειτουργία στις 30.000-80.000 στροφές ανά λεπτό (rpm).



**Εικόνα 4.22:Ο Φυγοκεντρικός Μηχανικός Υπερσυμπιεστής**

Ο κοχλιοφόρος ανήκει επίσης στην κατηγορία των περιστροφικών συμπιεστών και λειτουργεί όπως ο roots με τη διαφορά ότι οι λοβοί έχουν αντικατασταθεί από δύο παράλληλες έλικες. Στα αρνητικά του, το υψηλό κόστος παραγωγής λόγω της μεγάλης ακρίβειας κατασκευής που απαιτείται. Οι κοχλιοφόροι επιτρέπουν την επίτευξη υψηλών λόγων πιέσεων, ενώ χρησιμοποιούνται περισσότερο σε dragster οχήματα.

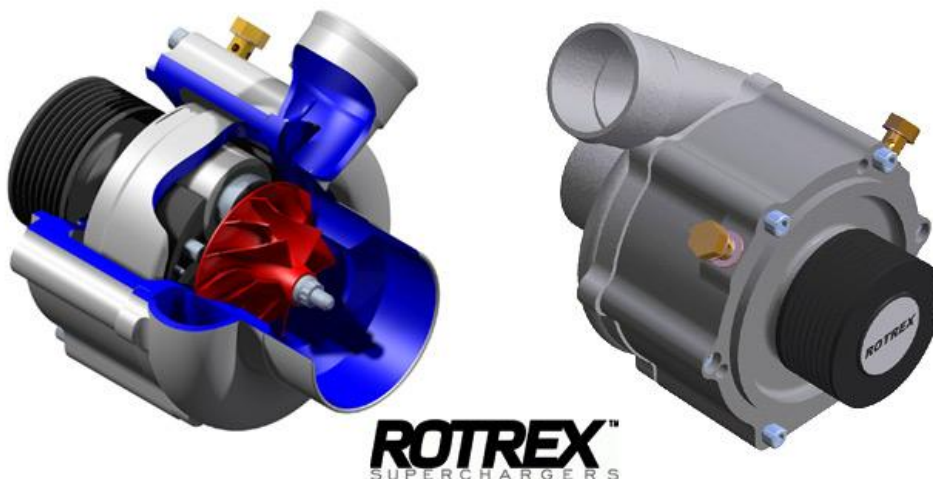


**Εικόνα 4.23:Ο Κοχλιοφόρος μηχανικός υπερσυμπιεστής**

#### 4.11 Οι Υπερσυμπιεστές Rotrex

Οι υπερσυμπιεστές Rotrex βασίζονται σε ένα πατενταρισμένο σύστημα μετάδοσης με «πλανήτες» το οποίο επιτυγχάνει υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Το πατενταρισμένο σύστημα του Rotrex μεταδίδει την κίνηση μέσω δυνάμεων τριβής σε κυκλικά περιστροφικά εξαρτήματα. Το σύστημα βασίζεται σε ένα «ελαστικό δαχτυλίδι» το οποίο έχει την κατάλληλη προ-φόρτιση για να εξασφαλίζει την επαφή των περιμετρικά περιστρεφόμενων «πλανητών» με τον κεντρικό άξονα.

Αυτό το πατενταρισμένο φαινόμενο «ράμπας» αυξάνει την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία όλων των κινουμένων μερών καθώς αυτό-ρυθμίζει την μεταφορά ροπής ανάλογα με το ποσό της ροπής που ασκείται στην είσοδο του συστήματος.



Εικόνα 4.24 : Υπερσυμπιεστές Rotrex



### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ENANTI TURBO**

Απουσία υστέρησης στο πάτημα του γκαζιού (lag)

Χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας

Καμία επέμβαση-τροποποίηση στο σύστημα ψύξης του αυτοκινήτου

Καμία επέμβαση-τροποποίηση στο σύστημα λίπανσης του αυτοκινήτου

Καμία επέμβαση-τροποποίηση στο σύστημα εξαγωγής του αυτοκινήτου

Ευκολία εγκατάστασης

Χαμηλό κόστος

### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ENANTI ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΚΟΜΠΡΕΣΟΡΑ**

Υψηλός βαθμός απόδοσης

Χαμηλή θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα

Η απόδοση δεν πέφτει με την αύξηση των στροφών

Εσωτερική συμπίεση μέσα στον κομπρέσορα, όχι στην πολλαπλή εισαγωγής

Χαμηλές παρασιτικές απώλειες (μηχανολογική απόδοση στο σύστημα μετάδοσης μέχρι και 98%)

Συμπαγείς διαστάσεις - χαμηλό βάρος

Ευκολία εγκατάστασης

Χαμηλό κόστος

### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ENANTI ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΟΜΠΡΕΣΟΡΑ**

Μεγάλη αξιοπιστία και υψηλή αντοχή λόγω της απουσίας γραναζιών

Χαμηλός θόρυβος λόγω της απουσίας γραναζιών

Υψηλότερη απόδοση εξαιτίας του υψηλότερου ρυθμού περιστροφής

Καλύτερη απόδοση στις χαμηλές στροφές

#### 4.12 Χημική υπερτροφοδότηση

##### **Τι είναι το ΝΙΤΡΟ ή σωστότερα Ν<sub>2</sub>Ο:**

Το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) είναι μια χημική ένωση γνωστή και ως το **αέριο που προκαλεί γέλιο**.

Χρησιμοποιείται ως αναισθητικό στην ιατρική, αλλά και στη χημική βιομηχανία και στη βιομηχανία ηλεκτρονικών. Στους κινητήρες εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται ως οξειδωτικός παράγοντας για να αυξήσει την παραγωγή ισχύος, αυξάνοντας ουσιαστικά την ποσότητα καυσίμου, που οδηγείται για καύση, ανά κύκλο λειτουργίας του κινητήρα.

##### **Πως επιτυγχάνει την αύξηση της ισχύος**

Όταν εξατμίζεται, το υποξείδιο του αζώτου απορροφά θερμοκρασία από τον αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα για την καύση. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα, οπότε αυξάνεται η πυκνότητα του. Περισσότερο καύσιμο εισέρχεται για να επιτευχθεί η σωστή αναλογία αέρα καυσίμου. Κατά τη φάση της συμπίεσης όταν η θερμοκρασία αυξάνει το Ν<sub>2</sub>Ο διασπάται σε άζωτο και οξυγόνο. Το επιπλέον αυτό οξυγόνο βοηθά στο να καεί το πολύ πλούσιο μίγμα. Επομένως περισσότερο καύσιμο συνεπάγεται μεγαλύτερη ενέργεια άρα αύξηση στα ενεργειακά χαρακτηριστικά του κινητήρα.

Στο εμπόριο κυκλοφορεί είτε σε υγρή είτε σε ξηρή μορφή και ανάλογα η έγχυση του γίνεται ή στην πολλαπλή εισαγωγής ή απευθείας στον κινητήρα.

Απαιτούνται λοιπόν για την τοποθέτηση του ουσιαστικές παρεμβάσεις σε πολλά σχεδιαστικά και λειτουργικά στοιχεία του αυτοκινήτου. Σημειώνουμε επιπλέον τις απαιτούμενες αλλαγές σε παραμέτρους όπως το αβάνς κλπ, πράγμα που συνεπάγεται αλλαγές και στον ηλεκτρονικό εγκέφαλο του αυτοκινήτου (**ElectronicControlUnit - ECU**)



**Εικόνα 4.25: Τα Κατεστραμμένα ΜέρηΜηχανής**

Όμως η, αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης πέραν των ορίων που έχουν υπολογισθεί από τον κατασκευαστή, έχει συνήθως καταστροφικά αποτελέσματα σε στοιχεία του κινητήρα όπως: **ρωγμές ή ολική καταστροφή σε μπουζί, πιστόνια, μπιέλες και στροφαλοφόρο άξονα.**

Επίσης, τα συστήματα NITRO έχουν κατηγορηθεί πολλές φορές σαν **αιτία εκδήλωσης φωτιάς** στον κινητήρα και στο όχημα.

Πέρα από το κόστος, που ανέρχεται **σε μερικές χιλιάδες ευρώ**, είναι προφανείς και οι κίνδυνοι για την ασφάλεια και τη **σωματική ακεραιότητα** των οδηγών - συνοδηγών και όχι μόνο.

- Μεγάλη πιθανότητα για **καταστροφή του καταλύτη** και του **αισθητήρα λ**, πράγμα που συνεπάγεται ανεξέλεγκτη αύξηση των εκπομπών καυσαερίων για όλους τους επικίνδυνους ρύπους και
- Υπέρμετρη **αύξηση της κατανάλωσης** καυσίμου



**Εικόνα 4.26: Το Εγκατεστημένο Σύστημα Χημικής Υπερτροφοδότησης**



#### 4.13 Εισαγωγή Ram-Air

Η εισαγωγή ram-air χρησιμοποιεί τη δυναμική της πίεσης του αέρα που δημιουργείται από την κίνηση του οχήματος για να αυξηθεί η στατική πίεση του αέρα μέσα από την πολλαπλή εισαγωγής για μία μηχανή εσωτερικής καύσης, επιτρέποντας έτσι μια μεγαλύτερη ροή μάζας μέσα στην μηχανή και, συνεπώς, αύξηση της ισχύος του κινητήρα.

##### Πως λειτουργεί:

Η εισαγωγή ram-air λειτουργεί μειώνοντας την ταχύτητα εισόδου του αέρα με την αύξηση του εμβαδού διατομής του αγωγού εισαγωγής. Όταν η ταχύτητα του αερίου κατεβαίνει η δυναμική πίεση μειώνεται, ενώ η στατική πίεση αυξάνεται. Η αυξημένη στατική πίεση μέσα στον θάλαμο πληρώσεως έχει μια θετική επίδραση στην ισχύ του κινητήρα, τόσο λόγω της ίδιας της πίεσεως και της αυξημένης πυκνότητας του αέρα ότι αυτή η υψηλότερη πίεση δίνει.



Εικόνα 4.27: Το Ram-air



Συστήματα Ram-air χρησιμοποιούνται για οχήματα υψηλών επιδόσεων, πιο συχνά για τις μοτοσικλέτες και τα αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων. Το Ram-air ήταν ένα χαρακτηριστικό για ορισμένα αυτοκίνητα στη δεκαετία του εξήντα, την δεκαετία του εβδομήντα ξεχάστηκε, αλλά πρόσφατα κάνει μια επιστροφή. Το ram-air ενδέχεται να αυξήσει την ογκομετρική απόδοση του κινητήρα, αλλά είναι δύσκολο να συνδυαστεί με καρμπυρατέρ, τα οποία βασίζονται στο φαινόμενο βεντούρι γιατί βάζοντας ένα σύστημα ramair προκαλούμαι πτώση της πίεσης οπότε δημιουργούμε επιπλοκή στην λειτουργία του.



## Κεφάλαιο 5 Συντονισμός Πολλαπλής Εισαγωγής

Τα συστήματα μεταβλητής πολλαπλής εισαγωγής παρουσιάζουν τα τελευταία χρόνια ραγδαία αύξηση στους κινητήρες παραγωγής. Χρησιμοποιούνται ως μέσα βελτίωσης της ροπής στις χαμηλές και μεσαίες στροφές λειτουργίας του κινητήρα χωρίς ωστόσο να επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση του κινητήρα στις υψηλές στροφές λειτουργίας.

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη θεωρία του συντονισμού των αερίων, σύμφωνα με την οποία, όταν ένα αέριο συντονιστεί κατά την είσοδό του σε έναν αγωγό, επιτυγχάνει ελαχιστοποίηση των τριβών άρα μέγιστη ταχύτητα εισόδου.

Την ίδια όμως αρχή χρησιμοποιούν και οι κλασικές πολλαπλές εισαγωγής, οι οποίες όμως είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο συντονισμός του εισερχόμενου αέρα σε μια συγκεκριμένη περιοχή στροφών του κινητήρα.



Έτσι λοιπόν οι σταθερές πολλαπλές εισαγωγής αποτελούν μια συμβιβαστική λύση μεταξύ της απόδοσης στις υψηλές στροφές και της γραμμικής λειτουργίας (ροπή από τις χαμηλές στροφές).

Η καινοτομία λοιπόν που εισάγουν οι μεταβαλλόμενες πολλαπλές εισαγωγής είναι η επίτευξη συντονισμού του αέρα στην εισαγωγή σε μεγαλύτερο ή και όλο το εύρος στροφών λειτουργίας του κινητήρα

Η λειτουργία των συστημάτων αυτών στην πράξη έχει ανάλογα αποτελέσματα με τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού. Η μόνη διαφορά έγκειται στο ότι τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού

βελτιώνουν κυρίως τη μέγιστη απόδοση στις υψηλές στροφές, ενώ τα συστήματα μεταβλητής

πολλαπλής εισαγωγής βελτιώνουν κυρίως τη ροπή στις χαμηλές στροφές.

Ωστόσο τα συστήματα μεταβλητής εισαγωγής είναι αρκετά φθηνότερα των συστημάτων μεταβλητού χρονισμού, καθώς και πιο απλά στην κατασκευή τους. Τα πλεονεκτήματα λοιπόν αυτών των κατασκευών τα έχουν καθιερώσει σαν αξιόπιστες και φθηνές λύσεις βελτίωσης της

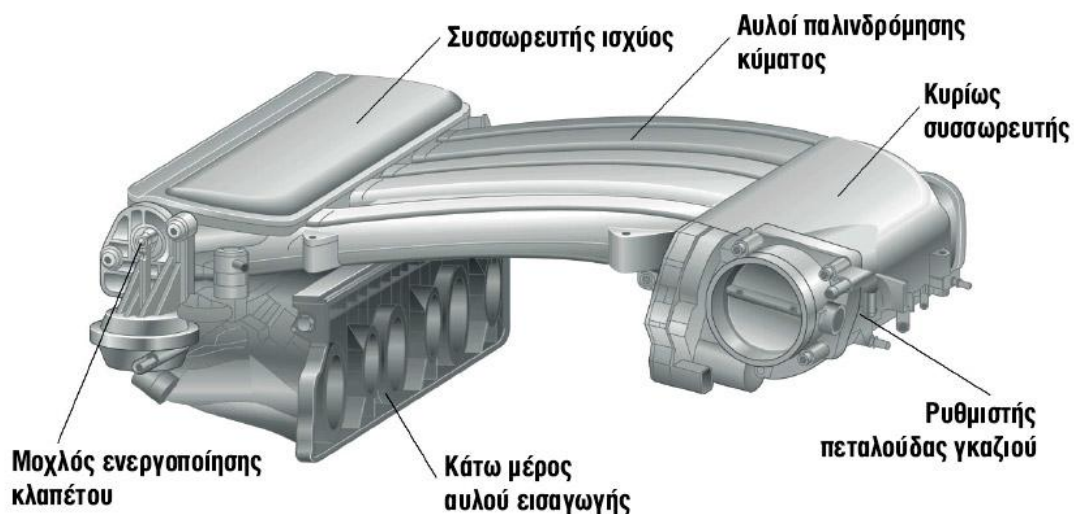
λειτουργίας των σύγχρονων κινητήρων. Παρατηρείται λοιπόν η συχνή τοποθέτησή τους, τόσο σε οικογενειακά οχήματα όσο και σε спор κατασκευές υψηλών επιδόσεων. Τα συστήματα μεταβλητής πολλαπλής εισαγωγής χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τη φιλοσοφία λειτουργίας τους.

Υπάρχουν λοιπόν τα συστήματα πολλαπλής εισαγωγής μεταβλητού μήκους και συστήματα εισαγωγής συντονισμού. Στις παρακάτω παραγράφους ακολουθεί ανάλυση της αρχής λειτουργίας και της κατασκευής του κάθε συστήματος.

## 5.1 Συστήματα Πολλαπλής Εισαγωγής Μεταβλητού Μήκους

Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε κινητήρες μεγάλων οικογενειακών αυτοκινήτων λόγω της απλής και φθηνής κατασκευής τους, αλλά και της σημαντικής βελτίωσης στη ροπή του κινητήρα που επιτυγχάνουν. Οι περισσότεροι κατασκευαστές κινητήρων χρησιμοποιούν τη λύση των διπλών πολλαπλών εισαγωγής.

Έτσι λοιπόν οι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με δυο διατάξεις πολλαπλής εισαγωγής οι οποίες έχουν αυλούς εισαγωγής διαφορετικού μήκους. Η εισαγωγή λοιπόν μες τους μακρύτερους αυλούς χρησιμοποιείται στις χαμηλές στροφές ενώ αυτή με τους κοντούς αυλούς λειτουργεί στις υψηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα.



**Εικόνα 5.1:** στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η Πολλαπλή Εισαγωγή

Στο κάτω μέρος του αυλού έχουν προσαρμοσθεί τα μπεκ και ο διακλαδωτήρας με τον ρυθμιστή πίεσης. Το άνω μέρος του αυλού περιλαμβάνει τους αυλούς παλινδρόμησης του κύματος αέρα, τον συσσωρευτή, το κλαπέτο μεταβολής με τη βαλβίδα υποπίεσης, τον κυρίως συσσωρευτή και την πεταλούδα γκαζιού, που είναι προσαρμοσμένη στον κυρίως συσσωρευτή.



Τα κανάλια εισαγωγής της κυλινδροκεφαλής περνούν από το κάτω μέρος του αυλού προς τους αυλούς παλινδρόμησης του κύματος αέρα στο άνω μέρος του αυλού. Εδώ διαχωρίζονται σε αυλούς θέσης ροπής και αυλούς θέσης ισχύος.

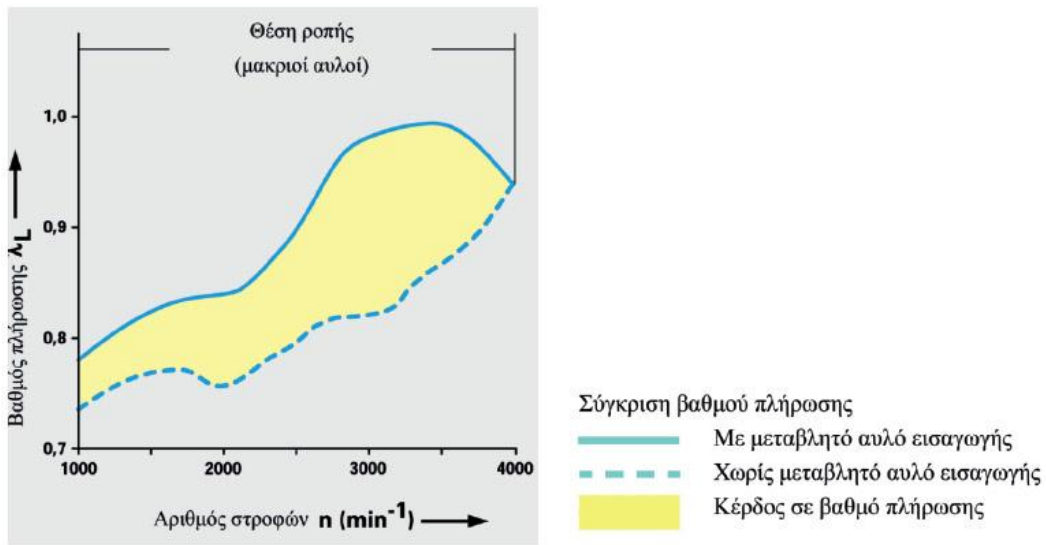
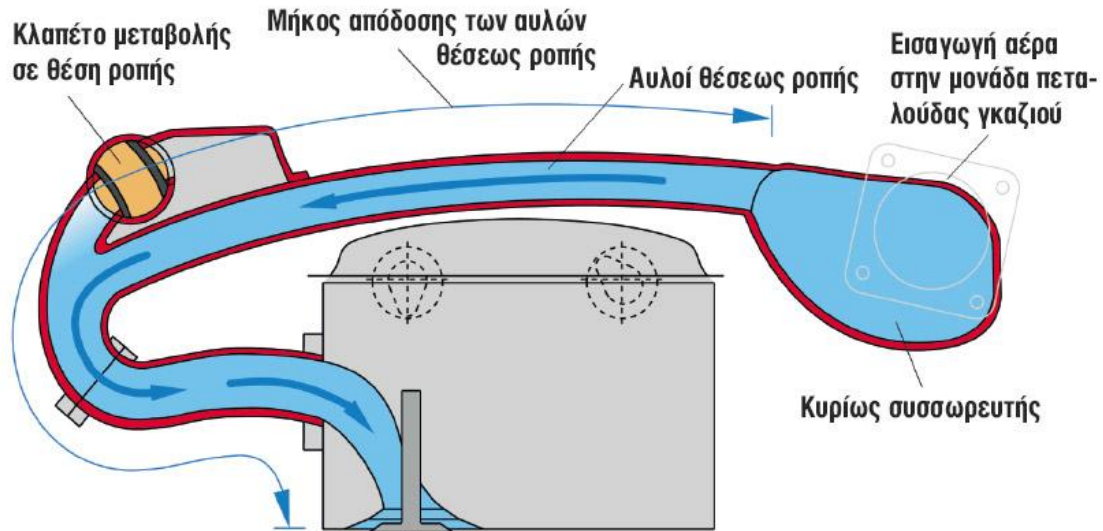
Οι αυλοί θέσεως ροπής περνάνε με ανοικτή καμπή πάνω από την κυλινδροκεφαλή και ενώνονται με τον κυρίως συσσωρευτή.

Οι αυλοί θέσεως ισχύος περνάνε με πιο κλειστή καμπή μπροστά από τους αυλούς ροπής και ενώνονται με τον δεύτερο συσσωρευτή, ο οποίος είναι τοποθετημένος μπροστά από το εμπρόσθιο μέρος των αυλών ροπής.

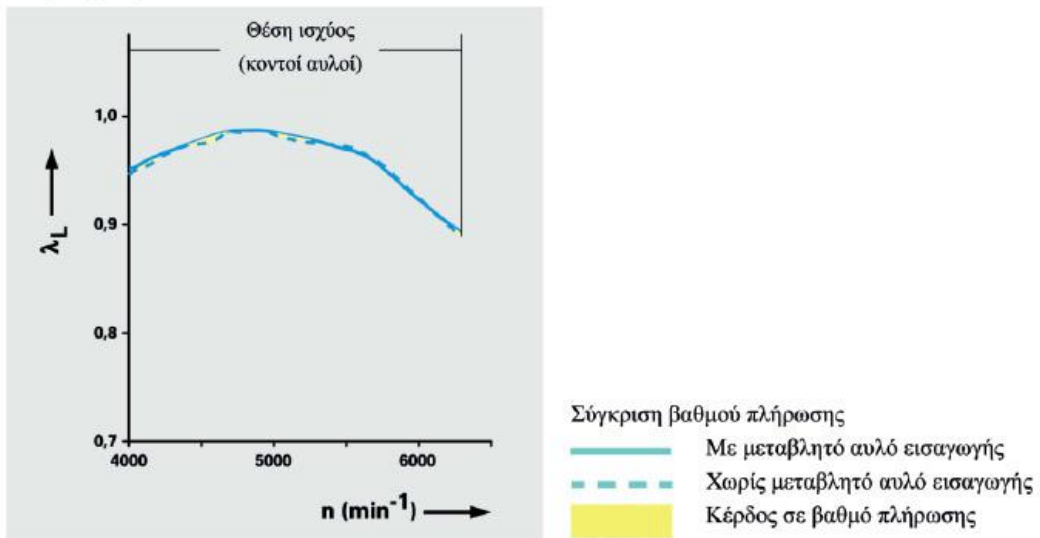
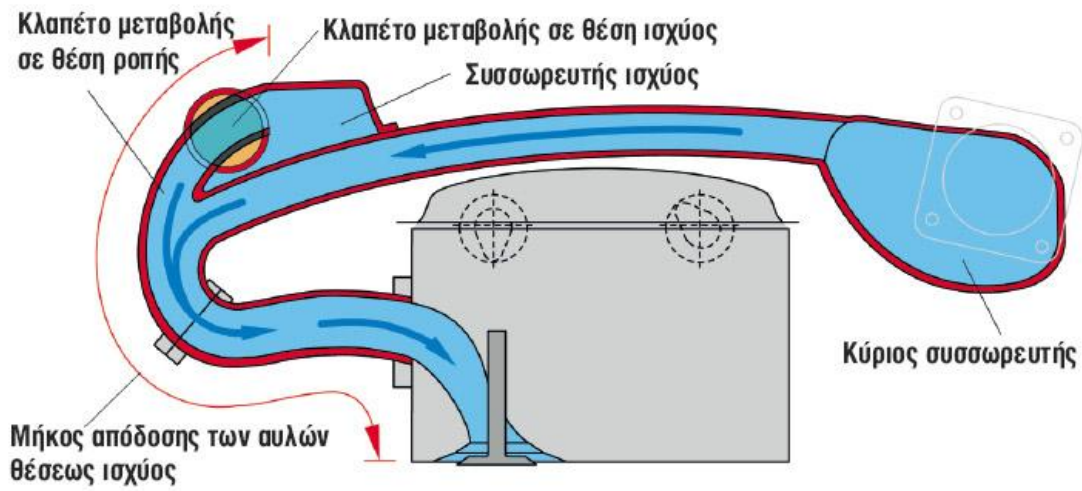
Κάθετα και μέσα στους αυλούς θέσεως ισχύος είναι ενσωματωμένο το κλαπέτο μεταβολής του μήκους. Όταν χρειαστεί ανοίγει τον αυλό ισχύος και μαζί με αυτόν το συσσωρευτή ισχύος.

Σε όλους τους κινητήρες VR ο αυλός εισαγωγής είναι κατασκευασμένος από πλαστικό. Είναι πιο οικονομικό από το χυτό αλουμίνιο, ελαφρύτερο και προσφέρει ακουστικά πλεονεκτήματα.

Αυλός σε θέση ροπής πολλαπλής εισαγωγής του VR6



Εικόνα 5.2: Η Πολλαπλή Εισαγωγής Μακροί Αυλοί



Εικόνα 5.3: Η Πολλαπλή Εισαγωγής Κοντοί Αυλοί



## 5.2 Συσσωρευτής ισχύος και κλαπέτο μεταβολής:

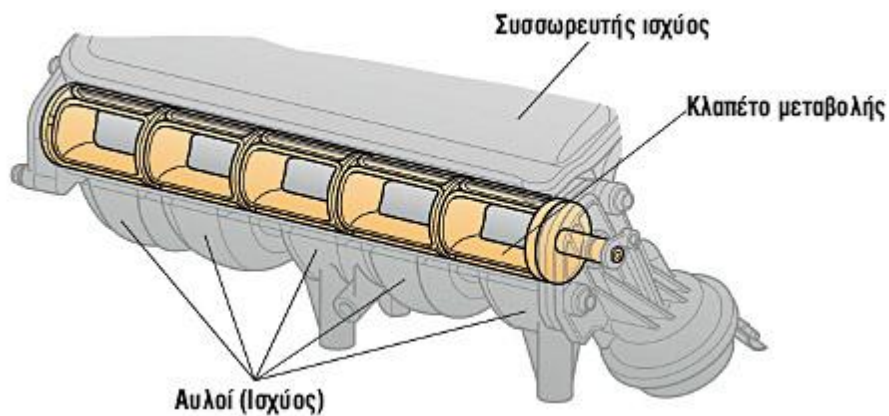
Στο άνω μέρος του αυλού εισαγωγής είναι ενσωματωμένο το κλαπέτο μεταβολής. Αυτό περνάει κάθετα στους αυλούς (ισχύος) όλων των κυλίνδρων. Για κάθε αυλό κυλίνδρου υπάρχει στο κλαπέτο ανεξάρτητη δίοδος (πέραςμα).

Στη θέση ισχύος αυτά τα περάσματα αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των αυλών.

Το κλαπέτο είναι πλαστικό και έχει έδραση ελαστική.

Διαφορετικοί συντελεστές διαστολής αυλού και κλαπέτου καθώς και η εξασφάλιση περιστροφής του κλαπέτου θέτουν υψηλές απαιτήσεις στην κατασκευή.

Μια ακτινική ανοχή του κλαπέτου είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας, αλλά δεν πρέπει να είναι μεγάλη.



Εικόνα 5.4: Ο Συσσωρευτής Ισχύος Και Κλαπέτο Μεταβολής:



## Η πλήρωση του συσσωρευτή ισχύος

### Κλαπέτο κλειστό = Θέση ροπής

Σε όλους τους κυλίνδρους η πλήρωση τροφοδοσίας του αέρα πραγματοποιείται μέσω του αντίστοιχου αυλού ροπής κατευθείαν από τον κυρίως συσσωρευτή.

Ο συσσωρευτής ισχύος είναι για όλους τους κυλίνδρους μπλοκαρισμένος. Δεν επηρεάζει τον βαθμό πλήρωσης των κυλίνδρων.

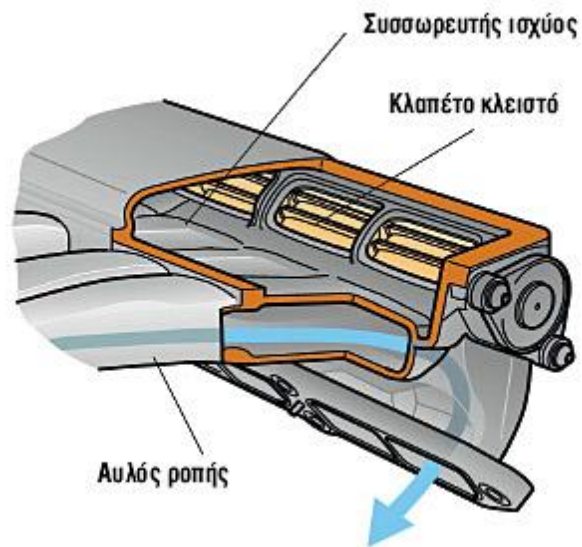
Ο συσσωρευτής ισχύος δεν συσσωρεύει σε αυτή τη θέση αέρα.

### Κλαπέτο ανοικτό = Θέση ισχύος

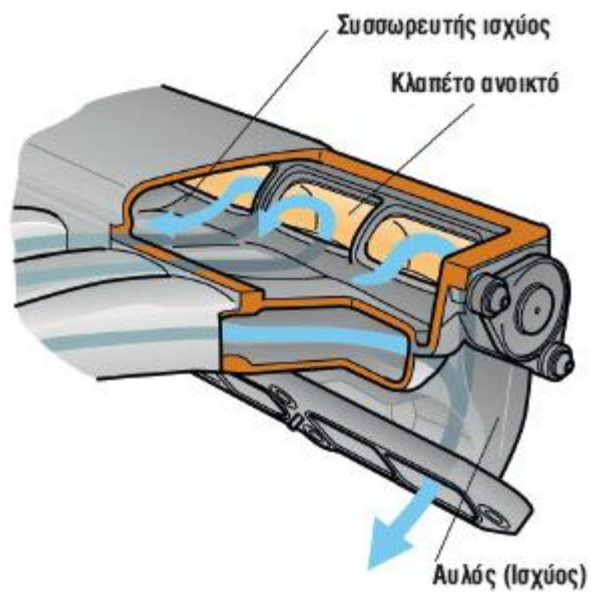
Το κλαπέτο ενώνει με τις διόδους του (μια διόδος για κάθε αυλό) τους αυλούς ισχύος με τον συσσωρευτή ισχύος. Τη στιγμή ακριβώς που ένας κύλινδρος βρίσκεται σε φάση αναρρόφησης, τότε τροφοδοτείται με αέρα από τον δικό του αυλό ισχύος ή και ακόμα από τον αντίστοιχο αυλό ροπής.

Ο συσσωρευτής ισχύος γεμίζει στη θέση ισχύος από τον όγκο αέρα, ο οποίος αντανακλάται από τις κλειστές βαλβίδες εισαγωγής των κυλίνδρων, που δεν αναρροφούν.

Στο χώρο του συσσωρευτή αναπτύσσονται τότε πολύ υψηλές ταχύτητες αερίων. Μια ένωση του κυρίως συσσωρευτή με τον συσσωρευτή ισχύος για την πλήρωση του πρώτου, δεν είναι απαραίτητη λόγω της γενικής κατασκευής αναρρόφησης.



Εικόνα 5.5: Ο Συσσωρευτής Ισχύος Και Κλαπέτο Κλειστό:

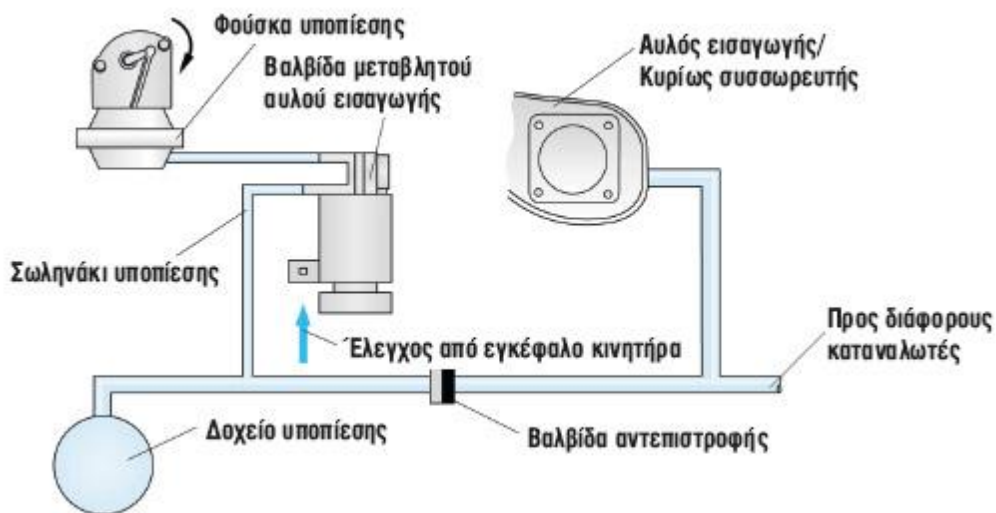


Εικόνα 5.6: Ο Συσσωρευτής Ισχύος Και Κλαπέτο Ανοικτό:

### 5.3 Μεταβολή του αυλού εισαγωγής

Η μεταβολή του αυλού πραγματοποιείται πνευματικά μέσω υποπίεσης. Η πνευματική ενεργοποίηση ελέγχεται από τον εγκέφαλο του κινητήρα μέσω της βαλβίδας μεταβλητού αυλού εισαγωγής (Μαγνητική βαλβίδα).

Η υποπίεση λαμβάνεται από τον κυρίως συσσωρευτή του αυλού εισαγωγής.



**Εικόνα 5.7: Το Κύκλωμα Μεταβολής Αυλού:**

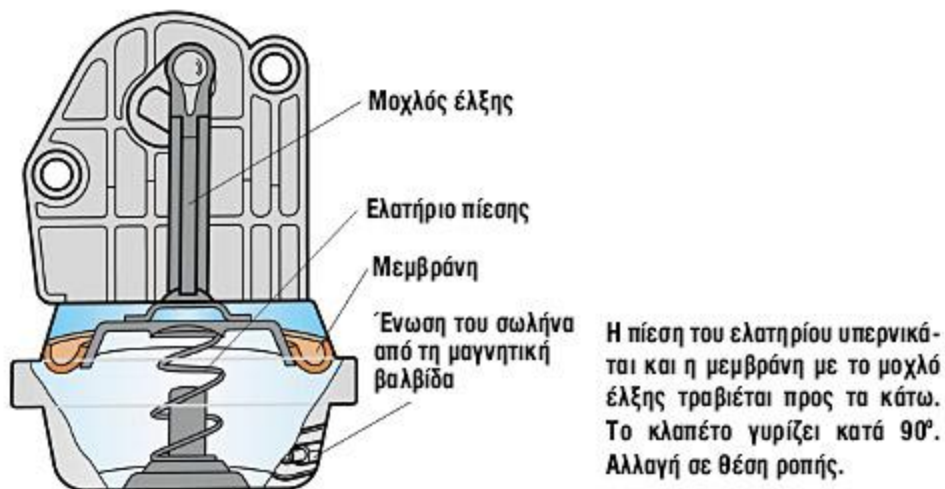
Στη φούσκα υποπίεσης εφαρμόζεται υποπίεση και μια βαλβίδα αντεπιστροφής φροντίζει για την διατήρηση της υποπίεσης.

Το κλαπέτο παραμένει σε θέση ισχύος, όταν ο κινητήρας δεν λειτουργεί και στο ρελαντί, άρα λοιπόν κοντή διαδρομή αναρρόφησης.

Αυτή η θέση διατηρείται από ένα ελατήριο πίεσης που βρίσκεται μέσα στη φούσκα υποπίεσης.

Η βαλβίδα του μεταβλητού αυλού εισαγωγής εμποδίζει την επικοινωνία της υποπίεσης με την φούσκα

Με την ενεργοποίηση της βαλβίδας του μεταβλητού αυλού εισαγωγής απελευθερώνεται η υποπίεση προς την φούσκα υποπίεσης.



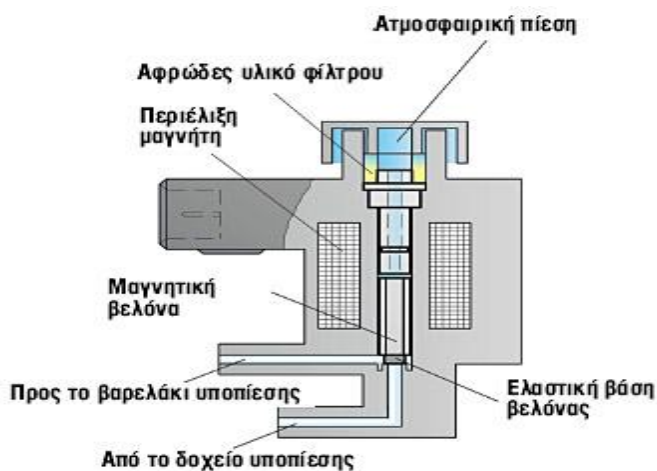
**Εικόνα 5.8: Τα Επιμέρους Εξαρτήματα Της Βαλβίδας**

### Βαλβίδα μεταβλητού αυλού εισαγωγής Λειτουργία

Η βαλβίδα του μεταβλητού αυλού εισαγωγής είναι μαγνητική. Ενεργοποιείται από τον εγκέφαλο του κινητήρα αναλόγως το φορτίο και τον αριθμό στροφών.

Η ατμοσφαιρική πίεση επιδρά στην μαγνητική βελόνα, που αποτελείται η βαλβίδα.

Η ελαστική βάση της βελόνας της βαλβίδας φράζει τη δίοδο της υποπίεσης προς την φούσκα υποπίεσης. Κατά την ενεργοποίηση ανασηκώνεται η βελόνα και ελευθερώνεται το σωληνάκι υποπίεσης.



**Εικόνα 5 9: Η Λειτουργία Βαλβίδας Μεταβλητού Αβλού**

Ένα αφρώδες φίλτρο στην είσοδο της ατμοσφαιρικής πίεσης εμποδίζει την είσοδο ξένων σωματιδίων, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την κίνηση της βαλβίδας.

#### **Λειτουργία ανάγκης**

Εάν χαθεί το σήμα, παραμένει κλειστή η επικοινωνία της υποπίεσης προς τη φούσκα υποπίεσης.

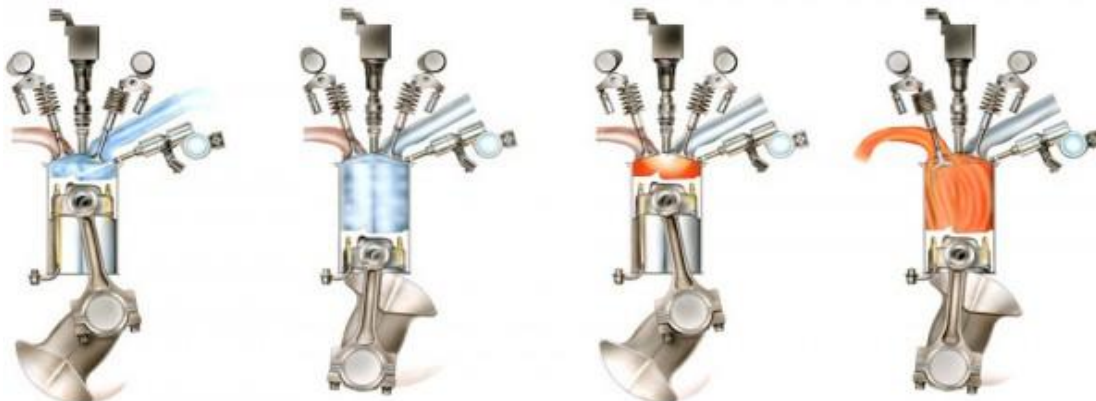
Ο κοντός αυλός παραμένει μόνιμα ανοικτός.

Δεν προβλέπεται εναλλακτική λειτουργία.

#### 5.4 Συστήματα Μεταβλητού Χρονισμού

Στα τέλη της δεκαετίας του '60 ο Giovanni Torazza επινοεί για την Fiat ένα υδραυλικό σύστημα που μεταβάλλει τον χρονισμό και την βύθιση των βαλβίδων. Το 1975 η GM παρουσιάζει ένα παρόμοιο σύστημα για τις βαλβίδες εισαγωγής, στις χαμηλές στροφές, με στόχο την μείωση των εκπομπών ρύπων. Το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με μηχανικό VVT σύστημα ήταν η Alfa Romeo Spider του 1980 με ψεκασμό SPICA. Για να φέρει την επανάσταση η Honda με το CBR400F του 1983 και το περίφημο VTEC που αργότερα πέρασε στα Civic και CRX.

Επίσης τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού σε συνεργασία με την εκάστοτε εγκατάσταση υπερτροφοδότησης έχουν αποφέρει σήμερα μεγάλη επανάσταση στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας προσφέροντας μεγάλη ιπποδύναμη σε λίγα κυβικά και την μείωση στην κατανάλωση του καυσίμου.



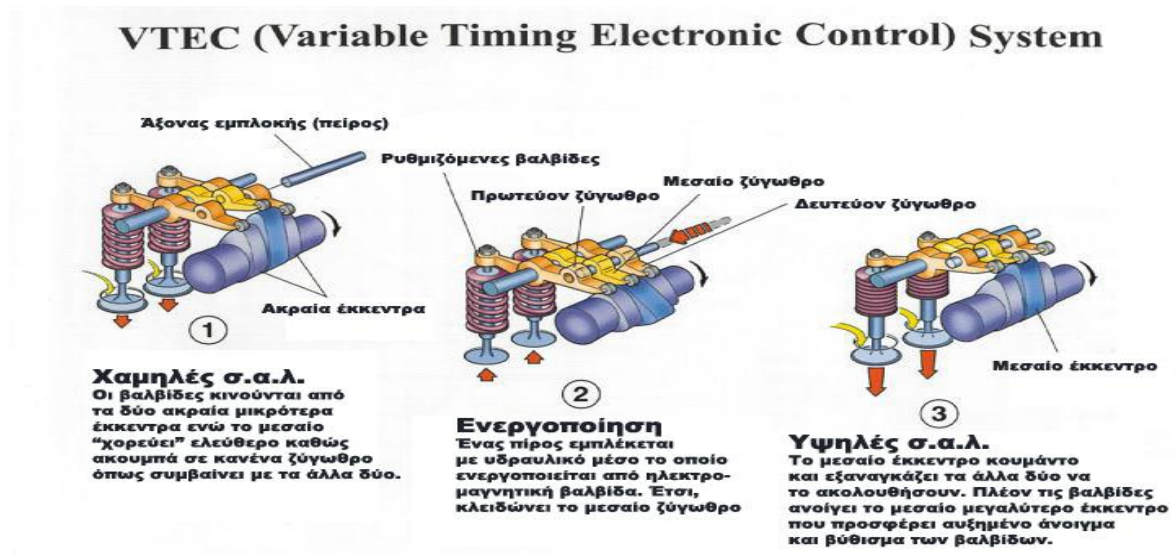
**Εικόνα 5.10 :Το Συστήματα Μεταβλητού Χρονισμού**

Όσο αυξάνονται οι στροφές ενός κινητήρα τόσο η διάρκεια μεταξύ των χρόνων μικραίνει με αποτέλεσμα να μπαίνει όλο και λιγότερο φρέσκος αέρας στους θαλάμους καύσης και να ξεμένουν όλο και περισσότερα καυσαέρια. Μία λύση είναι το πρόωρο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής και το πρόωρο κλείσιμο των βαλβίδων εξαγωγής. Με άλλα λόγια: πως μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση του κινητήρα όσο η βελόνα του στροφόμετρου «ανηφορίζει»; Με επικαλύψεις των βαλβίδων (επικάλυψη ή overlap: όταν και οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής μένουν ταυτόχρονα ανοιχτές).

Στους παλιότερης τεχνολογίας κινητήρες οι μηχανικοί προσάρμοζαν την επικάλυψη ανάλογα με τις προδιαγραφές του οχήματος. Για παράδειγμα, σε ένα φορτηγάκι το overlap είναι μικρότερο για περισσότερη ροπή χαμηλά και άστο να «λαχανιάζει» ψηλά το μοτέρ. Αντίθετα, σε μοντέλα υψηλών επιδόσεων έχουμε μεγαλύτερη επικάλυψη στις υψηλές στροφές με τίμημα την ροπή στις χαμηλές.

Ωστόσο, δεν μπορούν να υπάρξουν οι ίδιοι βαθμοί επικάλυψης στο ίδιο φάσμα στροφών αφού μπορεί να παρουσιαστεί εισροή καυσαερίων προς τη πολλαπλή εισαγωγής ή διαφυγή μίγματος από την βαλβίδα εξαγωγής.

Εδώ, την λύση δίνουν τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού (Variable Valve Timing) που επιτρέπουν την διαφοροποίηση των επικαλύψεων σε διαφορετικές στροφές λειτουργίας του κινητήρα αυξάνοντας την ισχύ και βελτιώνοντας θεαματικά την ροπή. Έτσι, το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων μπορεί να μεταβάλλεται καθώς και η μείωση ή η αύξηση της επικάλυψης.



Εικόνα 5.11: Το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού VTEC



### 5.5 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού Vanos της BMW

Ο απλούστερος και φτηνότερος κατασκευαστικά τρόπος αφορά στην μεταβολή της φάσης (γωνίας) του εκκεντροφόρου εισαγωγής ως προς τον εισαγωγής κατά μερικές δεκάδες μοίρες,

Στο Vanos της BMW η αλλαγή της γωνίας του εκκεντροφόρου επιτυγχάνεται μέσω μίας συναρμογής γραναζιών που εμπλέκονται υδραυλικά και ελέγχονται ηλεκτρονικά (στο Double-Vanos έχουμε μεταβλητό χρονισμό σε όλες τις βαλβίδες). Παρόμοιο χρονισμό με γρανάζια χρησιμοποιεί και η Mercedes-Benz όπως και η Toyota με το γνωστό VVT-i.

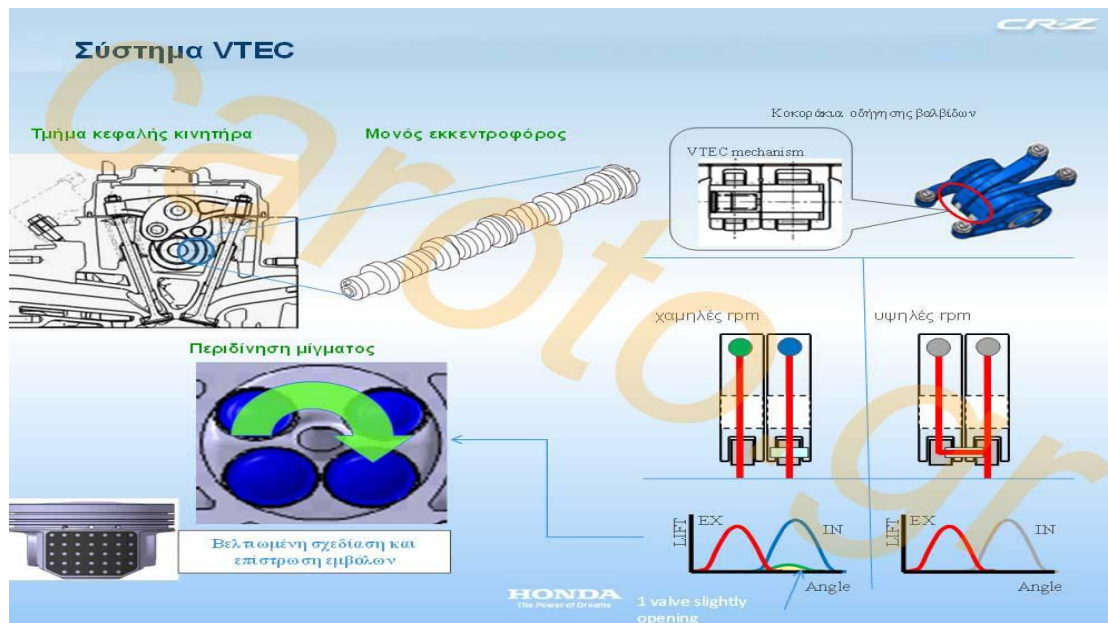


**Εικόνα 5.12: Το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού VVT**

Όμως ο χρονισμός με μεταβολή της γωνίας του εκκεντροφόρου απλά επιτρέπει το πρόωρο ή το καθυστερημένο άνοιγμα των βαλβίδων αλλά δεν μπορεί να μεταβάλλει και την διάρκεια του ανοίγματος/κλεισίματος. Δηλαδή αν έχουμε πρόωρο άνοιγμα θα έχουμε και πρόωρο κλείσιμο. Παραμένει ο φτηνότερος κατασκευαστικά τρόπος VVT

## 5.6 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού VTEC της Honda.

Ένας, πιο πολύπλοκος και πιο ακριβός, τρόπος μεταβλητού χρονισμού αφορά σε ένα μηχανισμό που αλλάζει απευθείας τον χρονισμό των βαλβίδων, όπως συμβαίνει στο VTEC της Honda. Σε κάθε εκκεντροφόρο υπάρχουν δύο σει από έγκεντρα με διαφορετικό προφίλ που κινούν ζύγωθρα για να μεταβάλλουν τον χρονισμό των βαλβίδων

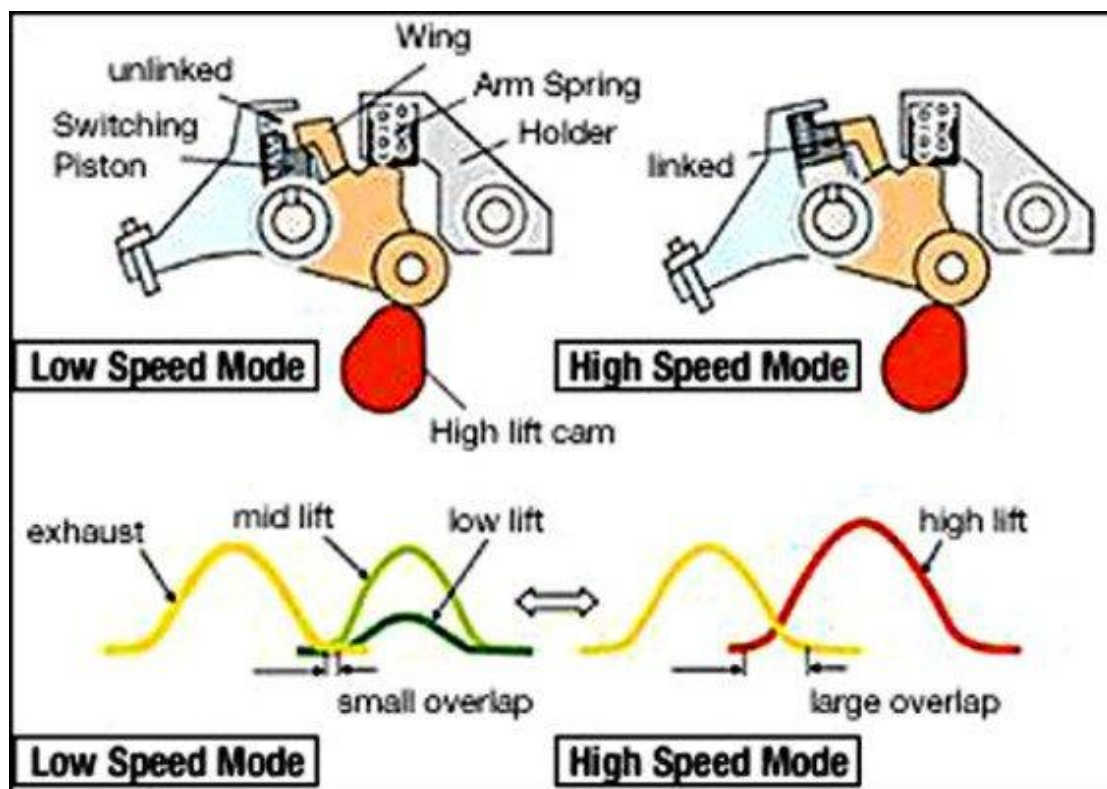


**Εικόνα 5.13: Το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού VTEC**

Το σύστημα VTEC έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει την διάρκεια και το βύθισμα των βαλβίδων προκειμένου ο χρήστης να έχει στην διάθεσή του διαφορετικής απόδοσης χαρακτηριστικά στις χαμηλές-μεσαίες και υψηλές στροφές του κινητήρα.

### 5.7 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού MIVEC της Mitsubishi

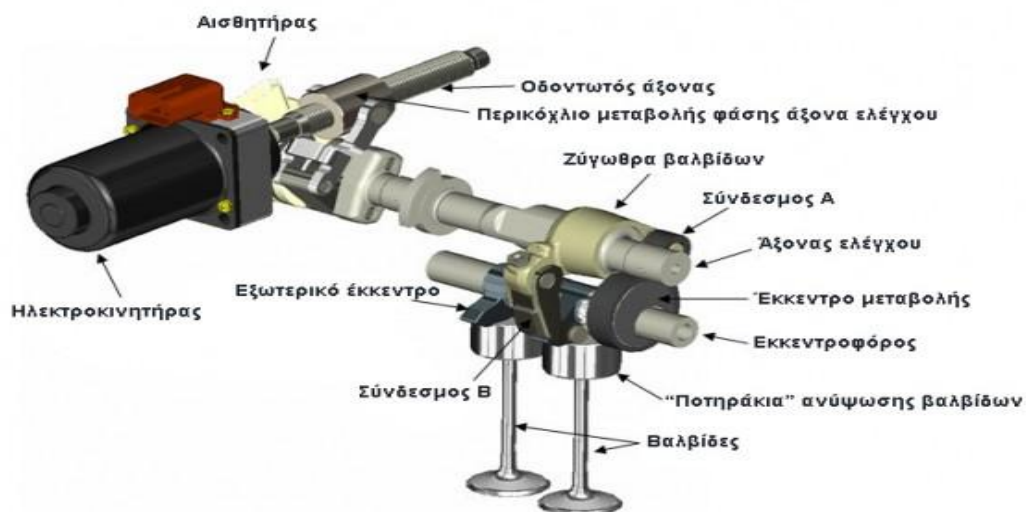
Σύστημα μεταβλητού χρονισμού MIVEC της Mitsubishi (Mitsubishi Innovative Valve and Lift Electronic Control System). Στο MIVEC υπάρχει ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα εναλλαγή δύο έκκεντρων με διαφορετικό προφίλ.



Εικόνα 5.14 : Το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού MIVEC

## 5.8 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού VVEL της Nissan

Σύστημα μεταβλητού χρονισμού VVEL από την Nissan το οποίο συνδυάζει το ήδη υπάρχον σύστημα C-VTC (μεταβλητού χρονισμού) της Nissan με μία συναρμογή από ένα άξονα με δύο έγκεντρα που εφάπτονται πάνω σε ένα σύνδεσμο. Στην εικόνα παρακάτω υπάρχει ένας ηλεκτροκινητήρας ο οποίος μεταβάλλει την φάση (την γωνία) του άξονα. Ενώ οι συμβατικοί κινητήρες χρησιμοποιούν την γνωστή πεταλούδα το VVEL κάνει την ίδια δουλειά απευθείας αλλάζοντας με αυτό τον τρόπο την βύθιση των βαλβίδων εισαγωγής.



**Εικόνα 5.15:στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού VVEL**

Η Nissan με το σύστημα VVEL κατάφερε να αυξήσει και να μοιράσει την ροπή του κινητήρα σε μεγαλύτερο εύρος στροφών, εξασφαλίζει μειωμένη κατανάλωση καυσίμου ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να μειωθούν μέχρι και 10%.

Το VVEL εμφανίστηκε για πρώτη φορά στον κινητήρα που τοποθετείται στο Infiniti G37 .

### 5.9 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού Valvetronic της BMW

Σύστημα μεταβλητού χρονισμού από την BMW (Valvetronic) Στους συμβατικούς βενζινοκινητήρες, η ισχύς και οι στροφές του κινητήρα ελέγχονται από μια πεταλούδα η οποία ανοιγοκλείνει συνεχώς. Αν και το σύστημα είναι απλό οι απώλειες ενέργειας είναι αρκετά μεγάλες. Όταν η πεταλούδα κλείνει, η αναρρόφηση που δημιουργείται από το κάθε έμβολο καθώς αυτό προσπαθεί να τραβήξει αέρα, αναγκάζει το κινητήρα να λειτουργεί κάτω από μερική υποπίεση δυσκολεύοντας το έργο του.



**Εικόνα 5.16: Το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού (Valvetronic)**

Στο Valvetronic ο εκκεντροφόρος δεν εφάπτεται άμεσα με τα ζύγωθρα των βαλβίδων αφού παρεμβάλλεται ένας μοχλός. Το κάτω μέρος του μοχλού ακουμπά πάνω στα ζύγωθρα ενώ το πάνω μέρος εφάπτεται με έναν έκκεντρο άξονα ο οποίος παίρνει κίνηση από τον ηλεκτροκινητήρα και λειτουργεί σαν τρίτος εκκεντροφόρος.



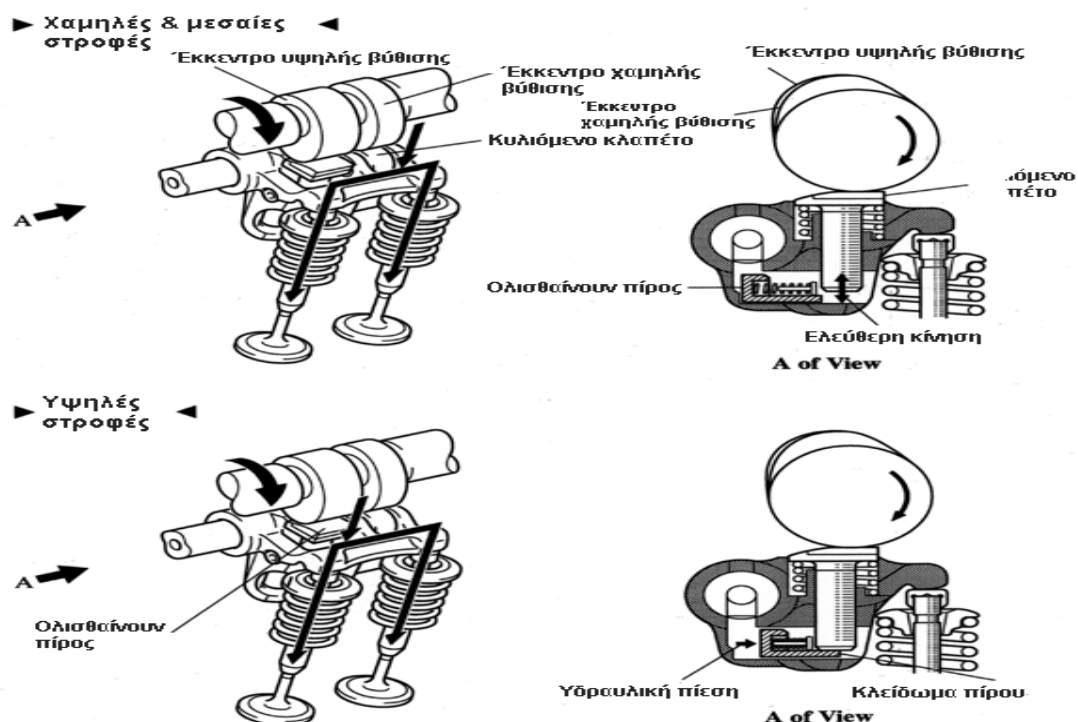
Όταν ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται ο μοχλός κινείται σαν εκκρεμές. Επίσης ο ηλεκτροκινητήρας κινεί τον έκκεντρο άξονα μέσω ενός γραναζιού μεταβάλλοντας την γωνία της συνολικής συναρμογής. Η οριζόντια κίνηση μετατρέπεται σε κάθετη εξαιτίας της γεωμετρίας της βάσης του μοχλού η οποία ολισθαίνει πάνω στο ζύγωθρο. Έτσι η βαλβίδα ανυψώνεται και βυθίζεται κατά 9.7 mm σε μόλις 300 μsec.

Ολόκληρο το σύστημα ελέγχεται από ένα ξεχωριστό επεξεργαστή (στα 40 Mz, 32bit) από την ECU λαμβάνοντας τις βασικές πληροφορίες από το πάτημα του πεντάλ του γκαζιού. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό μερικό φορτίο το ύψος της βύθισης των βαλβίδων κυμαίνεται από 0.5-2 mm. Το καύσιμο εισέρχεται με μεγάλη ταχύτητα λόγω της στενότητας του ανοίγματος με αποτέλεσμα το μίγμα να είναι ομοιόμορφο βοηθώντας στην ομαλή απόδοση του κινητήρα ειδικά όταν αυτός είναι ψυχρός.

Το παραπάνω συγκαταλέγεται στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του Valvetronic μαζί με την άμεση απόκριση στο πάτημα του γκαζιού. Επιπλέον υπάρχει και το σύστημα Double Vanos το οποίο μεταβάλλει τον χρονισμό των βαλβίδων δίνοντας κλίση στους εκκεντροφόρους εισαγωγής και εξαγωγής κατά 60° σε σχέση με τον στροφαλοφόρο. Με τον συνδυασμό των δυο συστημάτων οι απώλειες ενέργειας μειώνονται μειώνοντας την κατανάλωση

### 5.10 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού VVTL-i της Toyota

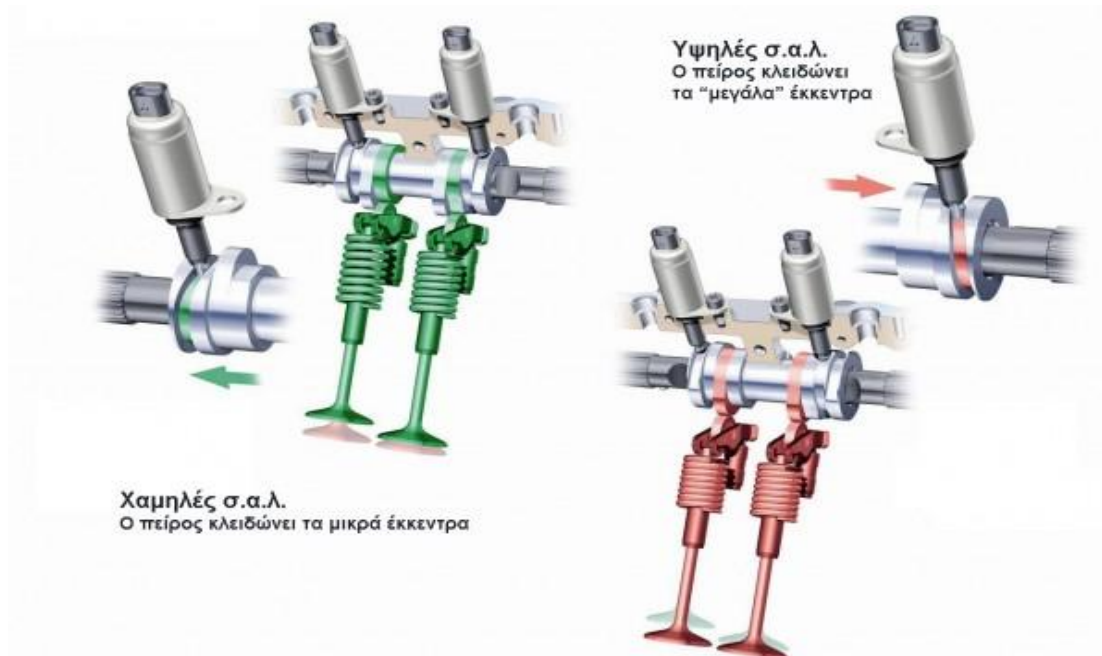
Το σύστημα VVTL-i της Toyota μία σφήνα κλειδώνει το κοκοράκι που αφήνει την βαλβίδα να βυθιστεί πιο ψηλά στις υψηλές στροφές λειτουργίας. Στις χαμηλές στροφές λειτουργίας (μέχρι τις 6.000 σ.α.λ.) το μικρό και αργό έκκεντρο κινεί το κλαπέτο που ενεργοποιεί τις βαλβίδες, ενώ το μεγάλο έκκεντρο περιστρέφεται ελεύθερα χωρίς να επηρεάζει την κίνησή τους. Πάνω από τις 6.000σ.α.λ. -και μέχρι τις 8.200σ.α.λ.- ένας αισθητήρας τοποθετημένος στον εκκεντροφόρο δίνει εντολή στην ηλεκτρονική μονάδα να αυξήσει την υδραυλική πίεση, ωθώντας ένα ωστήριο να ασφαλίσει το κλαπέτο που κινεί τις βαλβίδες με το μεγάλο έκκεντρο. Η διαδρομή βύθισης αυξάνεται, επιτρέποντας την εισαγωγή αυξημένου σε όγκο μείγματος και παράλληλα την εξαγωγή μεγαλύτερου όγκου καυσαερίων.



Εικόνα 5.17: Το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού VVTL-i

### 5.11 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού Valvelift της Audi

Ένα σχετικά νεότερο σύστημα VVT με βύθιση είναι το Valvelift της Audi που είναι απλούστερο από το i-VTEC και από το VVTL-i καθώς δεν χρησιμοποιεί υδραυλικά κόλπα ή σετ με έκκεντρα. Μεταλλικοί πείροι κατά μία έννοια «κλειδώνουν» τη διαδρομή των ειδικά διαμορφωμένων έκκεντρων και τα υποχρεώνουν να διαγράψουν μεγαλύτερη ή μικρότερη τροχιά, μεταβάλλοντας με αυτό τον τρόπο τη βύθιση των βαλβίδων.



**Εικόνα 5.18: Η Μεταβαλλόμενη Βύθιση από την Audi**

Το σύστημα της Audi είναι λιγάκι πιο απλό στην λειτουργία του και δεν χρησιμοποιεί επιπλέον έκκεντρα όπως αυτό της Honda. Όπως φαίνεται στο σχήμα, έξι μεταλλικοί πείροι κατά μία έννοια κλειδώνουν" τη διαδρομή των ειδικά διαμορφωμένων έκκεντρων και τα υποχρεώνουν να διαγράψουν μεγαλύτερη ή μικρότερη τροχιά, μεταβάλλοντας με αυτό τον τρόπο τη βύθιση των βαλβίδων.





Οι πείροι ενεργοποιούνται από ηλεκτρομαγνητικούς μηχανισμούς και βυθίζονται κατά 4mm ενώ κάθε ζευγάρι αντιστοιχεί σε κάθε ένα από τα τρία έκκεντρα. Κάθε έκκεντρο φέρει δύο προφίλ βύθισης, μεγάλο και μικρή. Στην φάση με υψηλό φορτίο (με κόκκινο στο διάγραμμα το "γρήγορο" έκκεντρο) το βύθισμα των βαλβίδων αυξάνεται στα 11 mm ενώ με μερικό φορτίο (με πράσινο το "αργό" έκκεντρο) το βύθισμα αλλάζει στα 2 mm για την μία βαλβίδα εισαγωγής και στα 5,7 mm για την άλλη (για να δημιουργείται καλύτερη περιδίνηση του αέρα λόγω διαφοράς πίεσης). Η αλλαγή από την μία φάση βύθισης στην άλλη πραγματοποιείται από τις 700 σ.α.λ. μέχρι τις 4.000 σ.α.λ. προσθέτοντας έτσι επιπλέον ισχύ και καταναλώνοντας ακριβώς όσο καύσιμο χρειάζεται.

Ακόμη ένα σύστημα μεταβλητού χρονισμού είναι το Valvematic της Toyota που προσφέρει αύξηση της ισχύος (έως 10%), μείωση της κατανάλωσης (5-10%) αλλά είναι πιο κόμπακτ και απλό δομικά από ότι τα Valvetronic και VVEL. Στο σύνολο του το Valvematic απαρτίζεται από έναν πρόσθετο άξονα που βρίσκεται ανάμεσα στους εκκεντροφόρους εισαγωγής και εξαγωγής, τον μηχανισμό που υποβοηθά στην μεταβολή της βύθισης και βρίσκεται από την μεριά του βολάν καθώς και το διπλό VVTi που βοηθάει κυρίως στις χαμηλές στροφές.



**Εικόνα 5.19 : Το Σύστημα Μεταβλητού Χρονισμού VVT-i**



## Επίλογος

Στην πτυχιακή αυτή εξηγήθηκε η λειτουργία του κάθε συστήματος υπερπλήρωσης(μηχανικός υπερσυμπιεστής, (στροβιλοσυμπιεστής, χημική υπερτροφοδότηση, RAM-Air) μηχανών εσωτερικής καύσης πώς το καθένα επηρεάζει την λειτουργία του κινητήρα με διαγράμματα απόδοσης ανάλογα με το εύρος στροφών λειτουργίας και πως γίνεται η επιλογή του ανάλογα με τις ανάγκες λειτουργίας, τον τύπο, τον κυβισμό, και τις απαιτήσεις που παρουσιάζονται κατά περίπτωση



## **Βιβλιογραφία**

**Μηχανές Εσωτερικής Καύσης 1 Αγερίδης Γεώργιος Καραμπύλας Πέτρος Ρώσης Κυριάκος**

**Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Εισαγωγή Στη Λειτουργία Και Τη Χρήση Νικόλαος Α Κυριάκης**

**<http://modern-writers.com/>**

**[http://krekisd.blogspot.gr/2011/03/blog-post\\_05.html](http://krekisd.blogspot.gr/2011/03/blog-post_05.html)**

**[http://users.ntua.gr/koronaki/THERMAL\\_ENGINES\\_FINAL.pdf](http://users.ntua.gr/koronaki/THERMAL_ENGINES_FINAL.pdf)**

**<http://www.bmw-motorsport.gr>**

**<http://www.caroto.gr/>**

**<http://www.autotriti.gr>**

**<http://envthink.blogspot.gr/2012/03/nitro-n2o.html>**

**<http://www.rotrex.gr/>**