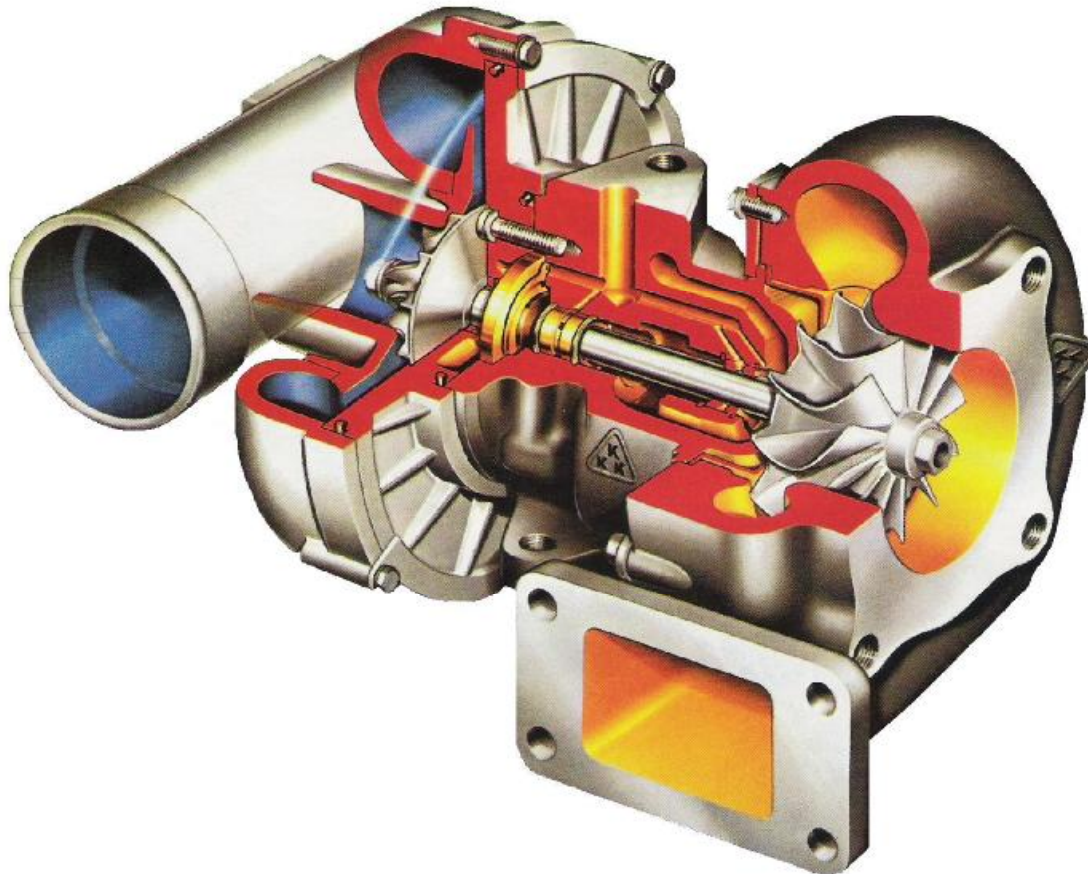


**ΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:

ΚΟΥΣΟΥΛΑΣ ΠΕΤΡΟΣ
ΞΕΝΟΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ
ΤΕΡΖΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΜΠΑΚΡΟΖΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ - 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ :Ιστορική αναδρομή των υπερσυμπιεστών

σελ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:Στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης

I) Γενικά

- § 1.1 Θερμοδυναμική απόδοση σελ 2
- § 1.2 Ογκομετρική απόδοση σελ 2
- § 1.3 Υπερτροφοδότες: μηχανικοί υπερσυμπιεστές και στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης σελ 3
- § 1.4 Στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης – Turbochargers σελ 3
- § 1.5 Η ανατομία ενός στροβιλοσυμπιεστή σελ 5
- § 1.6 Κατασκευή και έδραση του άξονα σελ 7
- § 1.7 Στεγανοποίηση του στροβιλοσυμπιεστή σελ 13
- § 1.8 Λίπανση και ψύξη σελ 15
- § 1.9 Κέλυφος στροβιλοσυμπιεστή σελ 17
- § 1.10 Χάρτες απόδοσης σελ 26
- § 1.11 Πλεονεκτήματα στροβιλοσυμπιεστή έναντι μηχανικού υπερσυμπιεστή σελ 28
- § 1.12 Κριτήρια επιλογής στροβιλοσυμπιεστή σελ 28
- § 1.13 Επισκευή και αναβάθμιση σελ 31
- § 1.14 Οπτικός και μετρητικός έλεγχος σελ 31
- § 1.15 Ζυγοστάθμιση – VSR σελ 32
- § 1.16 Εσωτερική αναβάθμιση σελ 34
- § 1.17 Intercoolers σελ 36
- § 1.18 Υπολογισμοί για τα intercooler σελ 38
- § 1.19 Ψυγεία λαδιού σελ 41
- § 1.20 Συστήματα ψεκασμού νερού (water injection systems) σελ 42
- § 1.21 Σκάστρες – βαλβίδες εκτόνωσης σελ 43
- § 1.22 Anti – lag systems σελ 45
- § 1.23 Wastegates σελ 46

II) Ρύθμιση του κινητήρα

- § 1.24 Καύσιμο και ανάφλεξη σελ 47
- § 1.25 Λόγος λάμδα (λ) σελ 47
- § 1.26 Μέτρηση λόγου λάμδα σελ 48
- § 1.27 Τρόποι ρύθμισης της αναλογίας καυσίμου – αέρα σελ 49
- § 1.28 Αντοχή μερών κινητήρα κατά την υπερτροφοδότηση σελ 56
- § 1.29 Υλικά κατασκευής στροβιλοσυμπιεστή σελ 59
- § 1.30 Περιπτώσεις αστοχίας στροβιλοσυμπιεστή σελ 60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μηχανικοί υπερτροφοδότες (κομπρέσορες)

- § 2.1 Ιστορικά σελ 66
- § 2.2 Μηχανικοί υπερτροφοδότες σελ 66
- § 2.3 Τι προσφέρουν σελ 67
- § 2.4 Βασική λειτουργία σελ 68
 - I. Τύπος Roots σελ 68
 - II. Φυγοκεντρικός συμπιεστής σελ 72
 - III. Κοχλιοφόρος συμπιεστής σελ 73
 - IV. Υπερσυμπιεστής G-Charger σελ 75
 - V. Υπερσυμπιεστής κυμάτων πίεσης (Comprex) σελ 76
- § 2.5 Μετατροπή ατμοσφαιρικού κινητήρα σε μηχανικά υπερτροφοδοτούμενο σελ 78
 - I. Οι εφαρμογές σελ 78
 - II. Οι διατάξεις σελ 79
 - III. Το κιτ σελ 79
- § 2.6 Παραγωγή και ρύθμιση της πίεσης σελ 82
- § 2.7 Σχέση συμπίεσης σελ 85
- § 2.8 Θερμοκρασία και πίεση συμπιεσμένου αέρα σελ 85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ηλεκτρικός υπερσυμπιεστής

σελ 90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Άλλες διατάξεις

- § 4.1 Σύστημα TSI σελ 95
 - I. Κύκλος Atkinson σε σχέση με τον κύκλο Otto σελ 95
 - II. Έλεγχος μέσω υπερπλήρωσης σελ 97
 - III. Η λύση Twincharger σελ 98
 - IV. Επιλογή μεγεθών σελ 99
 - V. Σύστημα διαχείρισης ροής σελ 103
- § 4.2 Σύστημα Turbocompound σελ 105
 - I. Λειτουργία σύγχρονου Turbocompound κινητήρα σελ 108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ειδικές διατάξεις

- § 5.1 Turbopac σελ 112
- § 5.2 Dynacharger σελ 114
- § 5.3 Hydracharger σελ 115
- § 5.4 SuperGen σελ 116
- § 5.5 Οι δυο ακραίες φάσεις της λειτουργίας του SuperGen σελ 118
- § 5.6 VTES και eBooster σελ 121

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Υβριδικά συστήματα

- § 6.1 Υβριδικά συστήματα σελ 124
- § 6.2 Επιλογή μεγέθους στροβιλοσυμπιεστή σελ 124
- § 6.3 Διατάξεις VATN, VNT, VG σελ 125

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

σελ 128

Περίληψη

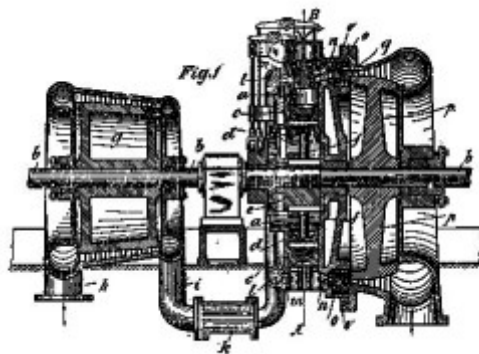
Στην παρακάτω πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την έννοια της υπερτροφοδότησης, δηλαδή, την αύξηση της παροχής του μίγματος καύσεως (κυρίως αέρα) μιας εμβολοφόρου μηχανής σε σχέση με την εργοστασιακή της παροχή, καθώς και την επαναχρησιμοποίηση των καυσαερίων της.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι διαφορετικοί τύποι, διατάξεις και συσκευές, με τις οποίες επιτυγχάνουμε την υπερτροφοδότηση. Χωρίζονται σε στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης, μηχανικούς υπερτροφοδότες, ηλεκτρικούς υπερσυμπιεστές, μερικές υβριδικές διατάξεις και σε κάποιες ειδικότερες διατάξεις και συνδεσμολογίες που συνδυάζουν διάφορους τύπους υπερτροφοδότησης. Η κύρια διαφορά μεταξύ των διαφόρων τύπων είναι ο τρόπος με τον οποίο παίρνουν την κίνησή τους. Οι στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης κινούνται με την βοήθεια των καυσαερίων, οι μηχανικοί υπερτροφοδότες, οι οποίοι χωρίζονται στους συμπιεστές Roots, στους φυγοκεντρικούς και στους κοχλιοφόρους συμπιεστές, κινούνται με την βοήθεια του στροφαλοφόρου άξονα της μηχανής και οι ηλεκτρικοί υπερσυμπιεστές κινούνται με την βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα.

Ιστορική αναδρομή των υπερσυμπιεστών

Η ιστορία των στροβιλοσυμπιεστών ξεκίνησε με σκοπό την καλύτερη παροχή αέρα στις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Οι πρώτες έρευνες έγιναν από τους Gofflieb Daimler και Rudolf Diesel κατά την περίοδο 1885 – 1896 για την αύξηση της εξόδου ισχύος και τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου των μηχανών από επανασυμπίεση του αέρα καύσης.

Μεταξύ 1909 και 1912 ο Ελβετός αρχιμηχανικός Alfred Buchi του τμήματος ανάπτυξης των αδερφών Sulzer ήταν ο πρώτος που κατάφερε να υπερσυμπιέσει με επιτυχία τα αέρια εξάτμισης και πέτυχε μια αύξηση της ισχύος πάνω από 40%. Το 1915 πρότεινε το πρώτο πρωτότυπο ενός πετρελαιοκίνητου υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα.



Οι πρώτες εφαρμογές στροβιλοσυμπιεστή γίνονται αρχικά σε μεγάλες μηχανές θαλάσσης. Στα αυτοκίνητα η υπερτροφοδότηση αρχίζει στις μηχανές φορτηγών προκειμένου να μπορούν να κινούνται αποτελεσματικότερα στα ορεινά περάσματα όπου το μεγάλο υψόμετρο και η αραιή ατμόσφαιρα έκαναν τους κινητήρες να καταναλώνουν μεγάλα ποσά καυσίμου λόγω της μικρής τους παροχής σε αέρα. Το 1938 η Swiss Machine Works Saurer κατασκεύασε τον πρώτο υπερσυμπιεστή για κινητήρα φορτηγού.

Ταυτόχρονα υπερσυμπιεστές άρχισαν να χρησιμοποιούνται στα μαχητικά αεροσκάφη του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου (ηλεκτρικοί υπερτροφοδότες), προκειμένου να αντιμετωπίσουν την μείωση της πυκνότητας του αέρα σε συνάρτηση με το ύψος πτήσης, καθώς και την μείωση του βάρους του κινητήρα σε σχέση με την ισχύ που απέδιδε και ταυτόχρονα να λειτουργεί σε όσο το δυνατόν χαμηλότερες στροφές για λόγους αξιοπιστίας κατά την πτήση και ειδικότερα κατά τις αερομαχίες.

Στην Αμερική το 1962 – 1963 τοποθετούνται στροβιλοσυμπιεστές στα επιβατικά αυτοκίνητα της Chevrolet και της LDS – mobile.

Οι στροβιλοσυμπιεστές έγιναν ευρέως γνωστοί στο κοινό τη δεκαετία του 1970, όταν και χρησιμοποιήθηκαν στα αγωνιστικά μονοθέσια της Formula-1 (Williams Renault). Τα πρώτα ευρωπαϊκά επιβατικά αυτοκίνητα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν στροβιλοσυμπιεστές, ήταν της Mercedes-Benz 300 SD το 1978 και του Golf Turbodiesel της VW το 1981.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΣΤΡΟΒΙΛΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

§1.1 Θερμοδυναμική απόδοση

Σκοπός του κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμική ενέργεια, και στη συνέχεια σε κινητική ενέργεια, δηλαδή σε ωφέλιμο μηχανικό έργο.

Οι κινητήρες θα είχαν 100% θερμοδυναμική απόδοση δηλαδή θα μετέτρεπαν σε ωφέλιμο έργο όλη την ενέργεια που περιέχουν τα καταναλισκόμενα καύσιμα.

Στη πράξη μόνο το 22 – 28% της ενέργειας από την καύση της βενζίνης μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Η υπόλοιπη θερμική ενέργεια αποτελεί απώλειες οι οποίες διαμοιράζονται σε ίσες περίπου αναλογίες:

α) στο σύστημα ψύξης και

β) στα καυσαέρια που διοχετεύονται στο περιβάλλον.

Η βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα έγκειται στο περιορισμό των θερμικών απωλειών του, είτε μειώνοντας τις τριβές είτε με την εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας.

§1.2 Ογκομετρική απόδοση

Κανένας ατμοσφαιρικός κινητήρας δεν μπορεί να πληρώσει τους κυλίνδρους του εξολοκλήρου με φρέσκο μίγμα σε κάθε κύκλο λειτουργίας του. Αυτό οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- Στο σχεδιασμό του συστήματος εισαγωγής και εξαγωγής,
- Στις τριβές του αέρα κατά την ροή του στην εισαγωγή,
- Στο σχεδιασμό της κυλινδροκεφαλής και του θαλάμου καύσης,
- Στο χρονισμό των βαλβίδων.

Επομένως η ογκομετρική απόδοση ενός σύγχρονου κινητήρα παραγωγής φτάνει το 80 – 85%. Στην πράξη, ένας ατμοσφαιρικός κινητήρας χωρητικότητας 2 λίτρων αποδίδει την ισχύ που βάσει της θεωρίας (δηλαδή με ογκομετρική απόδοση 100%) θα απέδιδε ένας ίδιος κινητήρας χωρητικότητας 1,6 λίτρων. Εκμεταλλευόμενοι τις αρχές της ρευστομηχανικής και της αεροδυναμικής μπορούμε σε ορισμένες περιπτώσεις να προσεγγίσουμε ή και να ξεπεράσουμε το 100% της ογκομετρικής απόδοσης σε ένα ατμοσφαιρικό κινητήρα, αλλά σε περιορισμένο φάσμα ρυθμού περιστροφής και σε συνθήκες λειτουργίας που καμία σχέση δεν έχουν με τις καθημερινές μας μετακινήσεις. Στα πρώτα της βήματα η υπερτροφοδότηση αποσκοπούσε στην αποκατάσταση του 100% της ογκομετρικής απόδοσης των Μ.Ε.Κ. (Μηχανών Εσωτερικής Καύσης), αλλά σύντομα οι σχεδιαστές το χρησιμοποίησαν ως ένα μέσο υπερκυβισμού των κινητήρων τους.

§1.3 Υπερτροφοδότες :

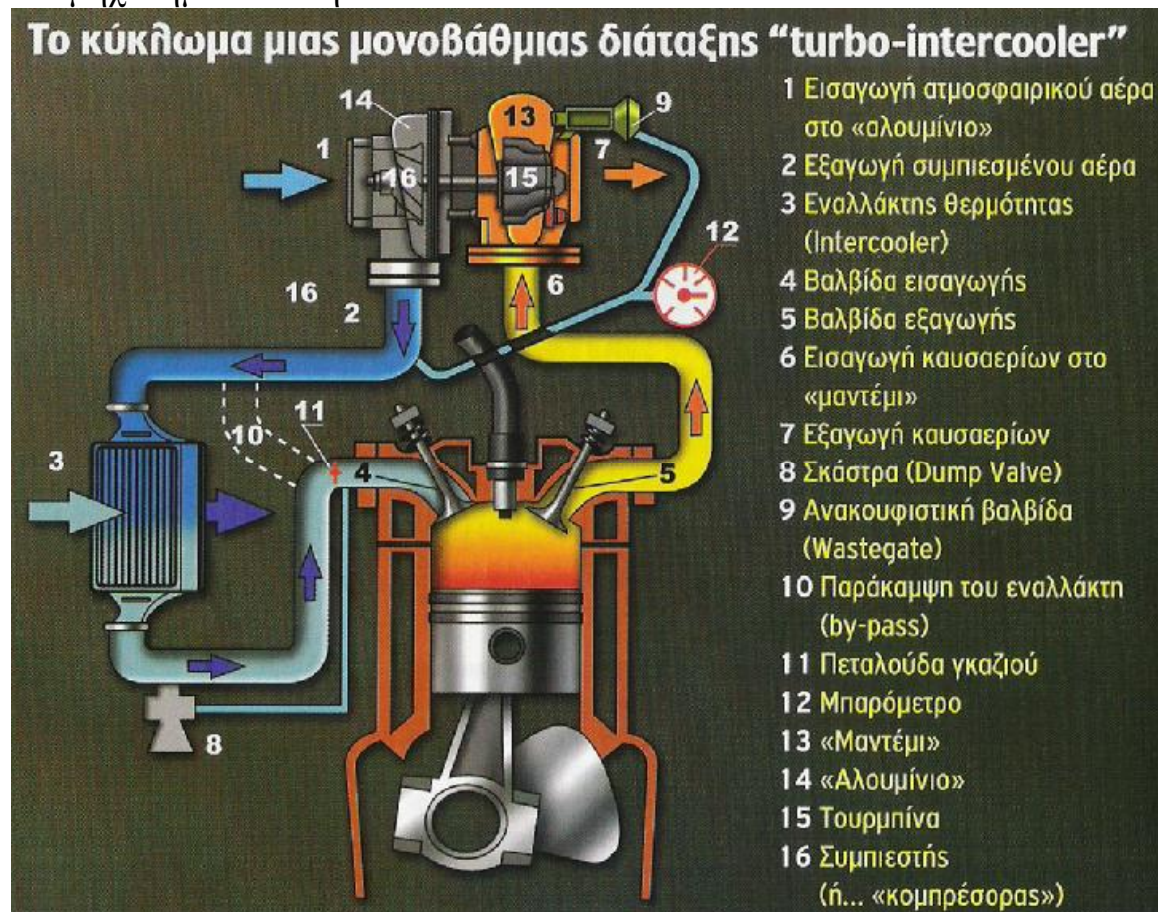
Μηχανικοί υπερσυμπιεστές και στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης

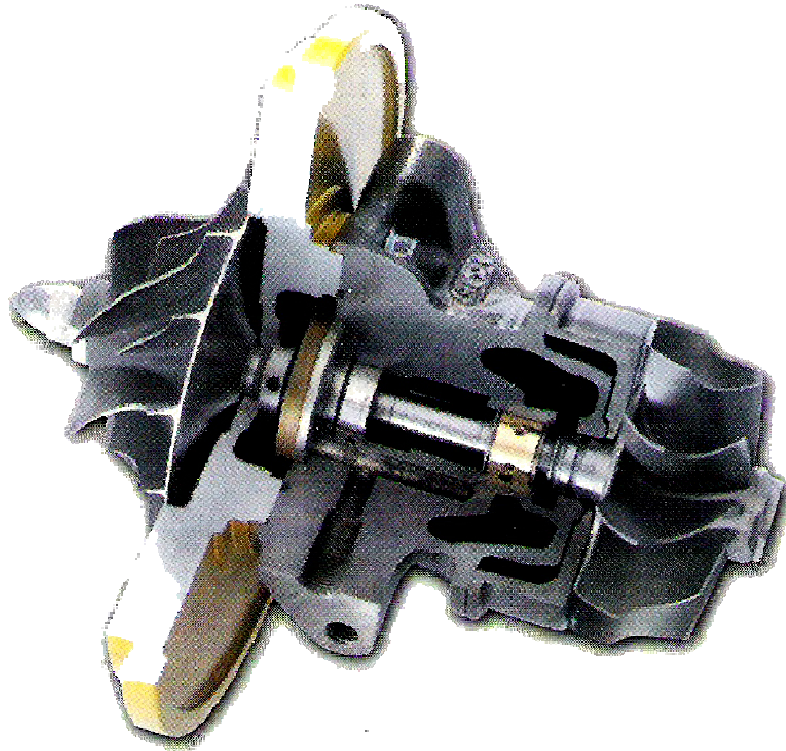
Η βασική αρχή της υπερτροφοδότησης είναι η παροχή αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα, με μάζα ίση ή μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να αντλήσει μόνος του από το περιβάλλον.

Στην ουσία, οι υπερτροφοδότες είναι αντλίες που συμπιέζουν αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα. Οι αντλίες αυτές μπορούν να κινούνται είτε από το στροφαλοφόρο άξονα μέσω ιμάντων, γραναζιών κ.τ.λ. (μηχανικοί υπερσυμπιεστές – κομπρέσορες), είτε να παίρνουν κίνηση από τα καυσαέρια του κινητήρα (στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης – τούρμπο).

§1.4 Στροβιλοσυμπιεστές εξάτμισης – Turbochargers

Το turbocharger ή στροβιλοσυμπιεστής είναι η ευφυής επινόηση του Ελβετού μηχανικού Dr. Alfred J. Buchi, εν έτει 1909. Έφερε την επανάσταση στη βιομηχανία κινητήρων, με πρώτες εφαρμογές στους αεροπορικούς και βιομηχανικούς κινητήρες. Η αξιοπιστία και τα πλεονεκτήματα του στροβιλοσυμπιεστή σε σχέση με τους κομπρέσορες οδήγησε στην καθιέρωσή του στην αυτοκινητοβιομηχανία, αρχικά στους πετρελαιοκινητήρες φορτηγών και μηχανημάτων στη δεκαετία του 50.





Τομή Turbo με ρουλεμάνάτο άξονα και θρος 360 μοιρών (Turbonetics)

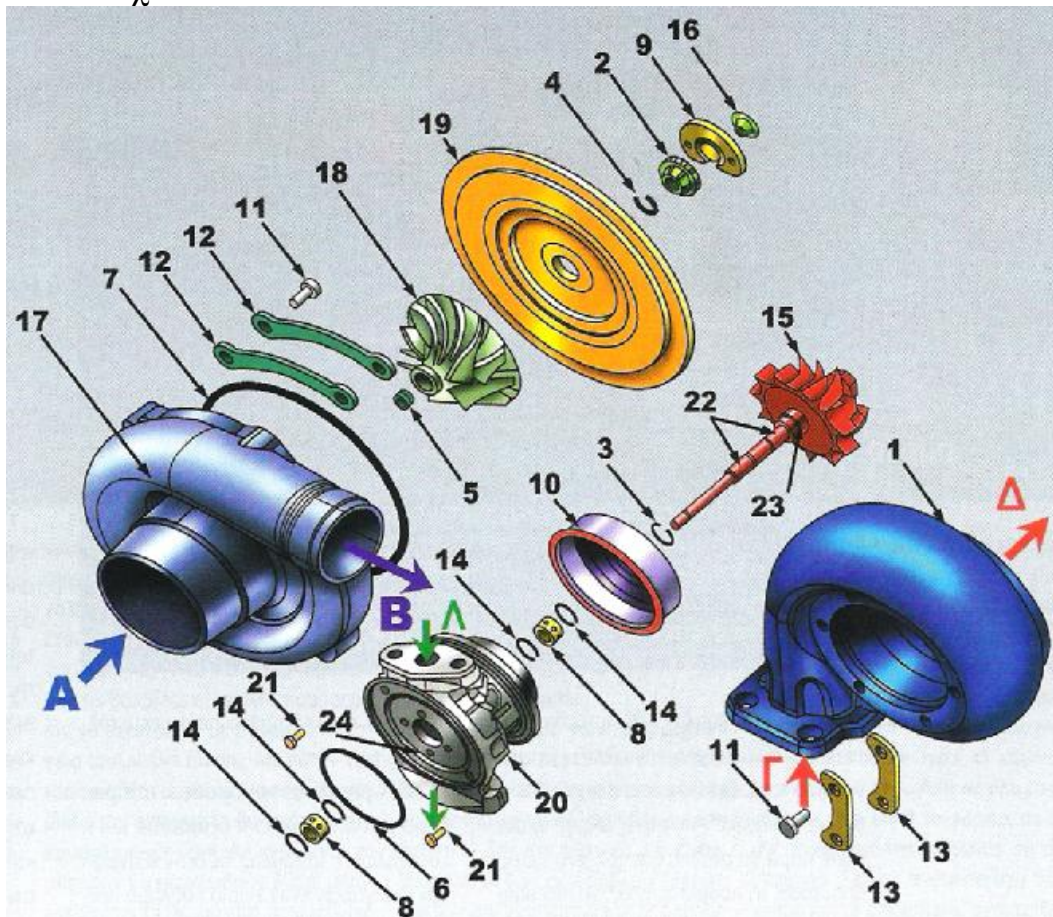


Το κύριο πλεονέκτημα του στροβιλοσυμπιεστή είναι ότι δεν καταναλώνει ενέργεια από τον κινητήρα για την κίνηση του. Κινητήρια δύναμη είναι η θερμότητα των καυσαερίων καθώς και η κινητική και ηχητική τους ενέργεια. Με άλλα λόγια, το 35% της χαμένης ισχύος ενός κινητήρα (αυτό που αποβάλλεται μέσω των καυσαερίων και ισοδυναμεί με ισχύ μεγαλύτερη ακόμα και από εκείνη που παράγει ο κινητήρας) μπορεί να χρησιμοποιηθεί, σε ένα βαθμό, για την κίνηση του στροβιλοσυμπιεστή, λαμβάνοντας υπόψη ότι στα καθημερινά αυτοκίνητα ο άξονας του στροβιλοσυμπιεστή μεταφέρει ισχύ

σχεδόν ίση με το 20% της ισχύος του κινητήρα μας, ποσό που μπορεί να φτάσει και το 100% αυτής της ισχύος σε αγωνιστικούς κινητήρες. Σε μερικές ακόμα περιπτώσεις, όπως εφαρμογές σε μεγάλους ναυτικούς κινητήρες ισχύος δεκάδων χιλιάδων ίππων, ο άξονας μεταφέρει στην φτερωτή εισαγωγής ισχύ της τάξεως των 5.000 Ps.

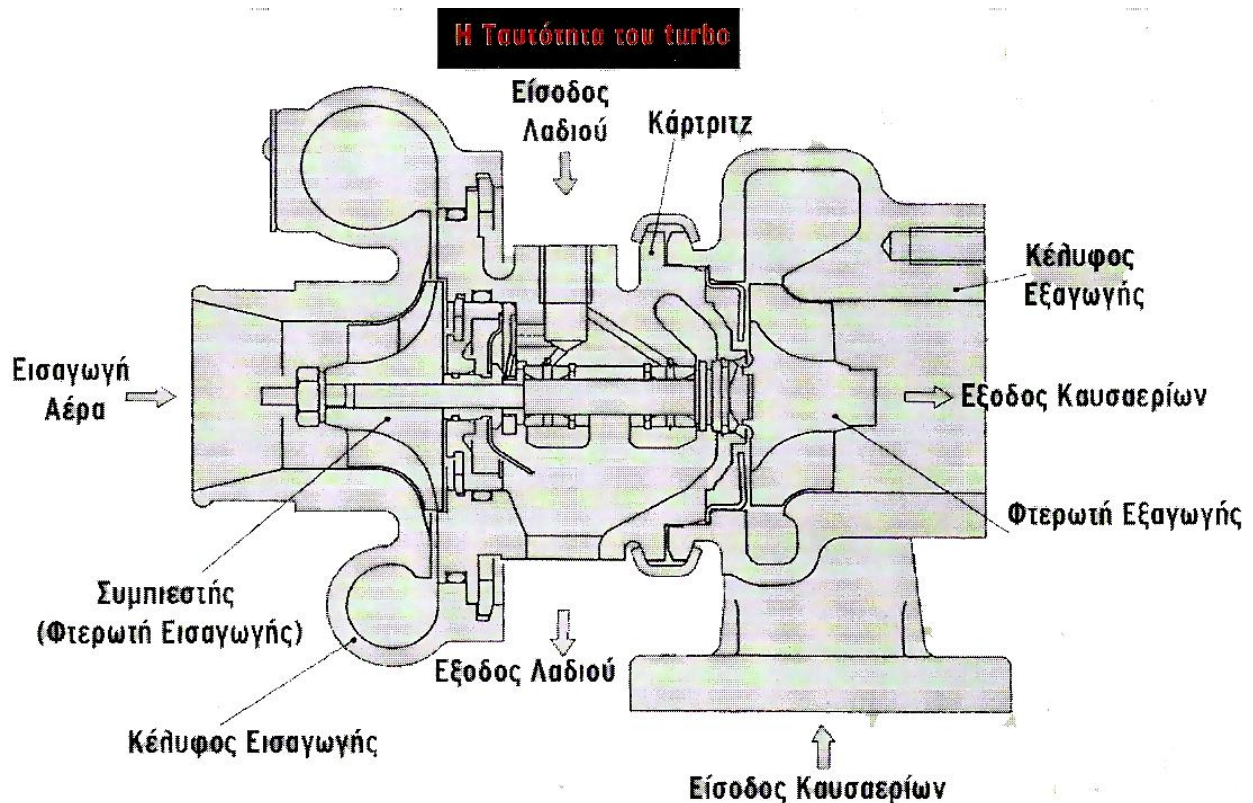
§1.5 Η ανατομία ενός στροβιλοσυμπιεστή

Όλοι οι στροβιλοσυμπιεστές αποτελούνται από κάποια κοινά εξαρτήματα. Ανάλογα με την εφαρμογή και τον τύπο του στροβιλοσυμπιεστή, έχουμε παραλλαγές ως προς την στήριξη του άξονα, την μορφή των φτερωτών, τα περιφερειακά συστήματα ελέγχου του στροβιλοσυμπιεστή κ.τ.λ. Παρακάτω εμφανίζονται τα μέρη ενός στροβιλοσυμπιεστή και οι ονομασίες τους στον αντίστοιχο πίνακα.



1	Μαντεμένιο κέλυφος	7	O-Ring	13	Λαμάκια	19	Πλάκα ή backplate
2	Φυγοκεντρικό κολάρο	8	‘πλευστά’ δαχτυλίδια	14	Ασφάλειες	20	Σώμα ή cartridge
3	Ελατήριο	9	Θροστ ή	15	Φτερωτή	21	Πείροι ή

			ωστικό τριβέα		τουρμπίνας		κοχλίες Άλεν
4	Ελατήριο	10	Θερμική ασπίδα	16	Ωστική ροδέλα	22	πατούρες
5	Περικόχλιο	11	Κοχλίες	17	Αλουμινένιο κέλυφος	23	Εγκοπή πατούρας
6	O-Ring	12	Λαμάκια	18	Συμπιεστή	24	Θυρίδα



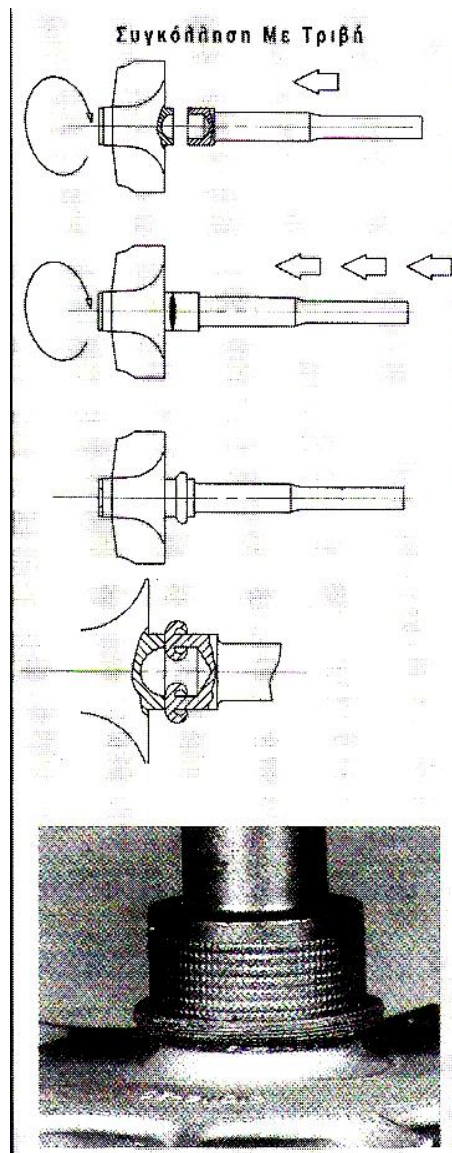
Σε γενικές γραμμές ο στροβιλοσυμπιεστής αποτελείται από τα εξής μέρη:

- **Άξονας:** Φέρει τις φτερωτές αποτελώντας το κυρίως μέρος του στροβιλοσυμπιεστή.
- **Φτερωτές:** Η φτερωτή εξαγωγής (ή στρόβιλος, τουρμπίνα, turbine wheel) βρίσκεται μέσα στο κέλυφος εξαγωγής και μετατρέπει την ενέργεια των καυσαερίων σε περιστροφή του άξονα.
Η φτερωτή εισαγωγής (ή συμπιεστής, compressor wheel), που βρίσκεται μέσα στο κέλυφος εισαγωγής και στηρίζεται στην άλλη μεριά του άξονα του στροβιλοσυμπιεστή, συμπιέζει τον αέρα προς την εισαγωγή του κινητήρα.
- **Σώμα (cartridge - 'κάρτριτζ'):** Περιέχει τα κουζινέτα του άξονα (bearings) που τον στηρίζουν κατά την περιστροφή του. Επίσης περιλαμβάνει τους αγωγούς και τις κοιλότητες λίπανσης και ψύξης του στροβιλοσυμπιεστή, και στηρίζει τα κελύφη εισαγωγής και εξαγωγής.

- **Κουζινέτα (bearings):** Εδράζουν τον άξονα, του επιτρέπουν να περιστρέφεται σε ταχύτητες που φτάνουν μέχρι τις 200.000 rpm (για μικρό στροβιλοσυμπιεστή) και αποτρέπουν τις εγκάρσιες μετακινήσεις του παραλαμβάνοντας τις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την συμπίεση του αέρα.
- **Κέλυφος εισαγωγής ('σαλιγκάρι'):** Οδηγεί τις αέριες μάζες στο συμπιεστή, ο οποίος μεταβάλλει την πίεση και την ταχύτητά τους.
- **Κέλυφος εξαγωγής (μαντέμι):** Επιταχύνει τη ροή των καυσαερίων που προσκρούουν στη φτερωτή εξαγωγής για να κινήσουν τον άξονα. Συνήθως περιλαμβάνει τη βαλβίδα διαφυγής (wastegate), μια διάταξη που εκτρέπει την ροή των καυσαερίων από τη φτερωτή εξαγωγής και τα οδηγεί κατευθείαν στην εξάτμιση, ώστε να περιορίζεται η ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοσυμπιεστή και να σταθεροποιείται η πίεση υπερπλήρωσης στα επιθυμητά επίπεδα.

§1.6 Κατασκευή και έδραση του άξονα

Ένας στροβιλοσυμπιεστής προϋποθέτει μεγάλες κατασκευαστικές ακρίβειες και ειδικές σχεδιαστικές μεθόδους, προκειμένου να εξασφαλίζεται η μακροζωία και η αξιοπιστία του μηχανισμού λόγω τις δυνατότητάς του να ξεπερνά τις 200.000 rpm. Ζωτικής σημασίας για την μακροζωία και την αξιοπιστία ενός στροβιλοσυμπιεστή είναι η κατασκευή και έδραση του άξονα. Τα καυσαέρια ενός βενζινοκινητήρα φτάνουν στη φτερωτή εξαγωγής με θερμοκρασίες που ενίοτε ξεπερνούν τους 1.100 °C (περίπου στους 900 °C το μαντέμι πυρακτώνεται). Με τις ταχύτητες που περιστρέφονται, οι φτερωτές δέχονται υψηλές καταπονήσεις λόγω της κεντρομόλου δύναμης που ασκείται στα μόρια του υλικού τους. Για την αποφυγή αστοχίας του υλικού, είναι κατασκευασμένες από πυρίμαχα κράματα μετάλλων υψηλής τεχνολογίας. Τα τελευταία χρόνια οι κατασκευαστές πειραματίζονται με συνθετικά και κεραμικά υλικά, ωστόσο η παραγωγή τέτοιων στροβιλοσυμπιεστών δεν έχει γενικευθεί, λόγω του κόστους και της περιορισμένης διάρκειας ζωής τους.



Ο άξονας του στροβιλοσυμπιεστή αποτελεί ενιαίο κομμάτι με τη φτερωτή εξαγωγής και συνήθως είναι κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό. Η κατεργασία του γίνεται με εργαλειομηχανές μεγάλης ακρίβειας και με πολύ μικρές κατασκευαστικές ανοχές και ζυγοσταθμίζεται σε υψηλές ταχύτητες μαζί με τη φτερωτή εισαγωγής. Ο άξονας διαθέτει ειδικές διαμορφώσεις για την έδραση του και ένα σπείρωμα στην άκρη του για την στήριξη του συμπιεστή. Ο συμπιεστής συνήθως κατασκευάζεται από κράματα αλουμινίου διότι υπόκειται σε μικρότερες θερμικές καταπονήσεις απ' ότι ο συμπιεστής. Παρόλα αυτά είναι πιο επιρρεπής σε μηχανικές ζημιές που προκαλούνται από την είσοδο ακαθαρσιών, θραυσμάτων και ξένων σωμάτων στο στροβιλοσυμπιεστή. Γι' αυτό η προστασία του στροβιλοσυμπιεστή με κατάλληλα φίλτρα αέρα είναι υψίστης σημασίας. Πολλές βλάβες του στροβιλοσυμπιεστή προκαλούνται από καταστροφή της φτερωτής εισαγωγής. Τα ξένα σώματα την παραμορφώνουν ή την σπάνε. Έτσι χάνεται η ζυγοστάθμιση του συνόλου, με πιθανά αποτελέσματα της μείωσης της απόδοσης του στροβιλοσυμπιεστή ή ακόμα και την ολική καταστροφή του. Σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται εναλλακτικά υλικά

για την κατασκευή του στροβιλοσυμπιεστή. Το σώμα ('κάρτριτζ') μπορεί να κατασκευάζεται από αλουμίνιο αντί για μαντέμι. Η φτερωτή εξαγωγής μπορεί να κατασκευάζεται από πλαστικά διαστημικής τεχνολογίας ή από κεραμικά υλικά. Από τιτάνιο κατασκευάζεται ορισμένες φορές ο άξονας. Σκοπός είναι η εξοικονόμηση βάρους στο συγκρότημα άξονα – φτερωτών, για μικρότερη αδράνεια περιστροφής και μικρότερο spool-up time(για να ανεβάσει στροφές ο στροβιλοσυμπιεστής πιο γρήγορα προκειμένου να μειώνεται το turbo lag). Ωστόσο αυτές οι τεχνολογίες παρουσιάζουν ακόμα και σήμερα σοβαρά προβλήματα αξιοπιστίας, καθώς συχνά καταστρέφονται από τις υψηλές θερμοκρασίες και τις πιέσεις, ο άξονας και η φτερωτή εξαγωγής. Μερικές από αυτές τις περιπτώσεις είναι λόγω των διαφορετικών συντελεστών διαστολής τους και της μειωμένης αντοχής τους σε μηχανικές καταπονήσεις. Στην εξελικτική πορεία του στροβιλοσυμπιεστή, όταν ακόμη χρησιμοποιούνταν μόνο σε μεγάλους ντιζελοκινητήρες, εφαρμόστηκαν διάφοροι τύποι του άξονα με ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν) και κουζινέτα. Μεταξύ τους διέφεραν ως προς τις διαστάσεις τους και τη χωροταξία των διατάξεων, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του στροβιλοσυμπιεστή (αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, ταχύτητες περιστροφής κ.τ.λ.). ωστόσο οι στροβιλοσυμπιεστές για εφαρμογή σε κινητήρες αυτοκινήτων έγιναν μικρότερα και πιο πολύστροφα, οπότε οι σχεδιαστές στροβιλοσυμπιεστών αναθεώρησαν τις μεθόδους τους. Σήμερα οι στροβιλοσυμπιεστές αυτοκινήτων ακολουθούν σε γενικές γραμμές τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

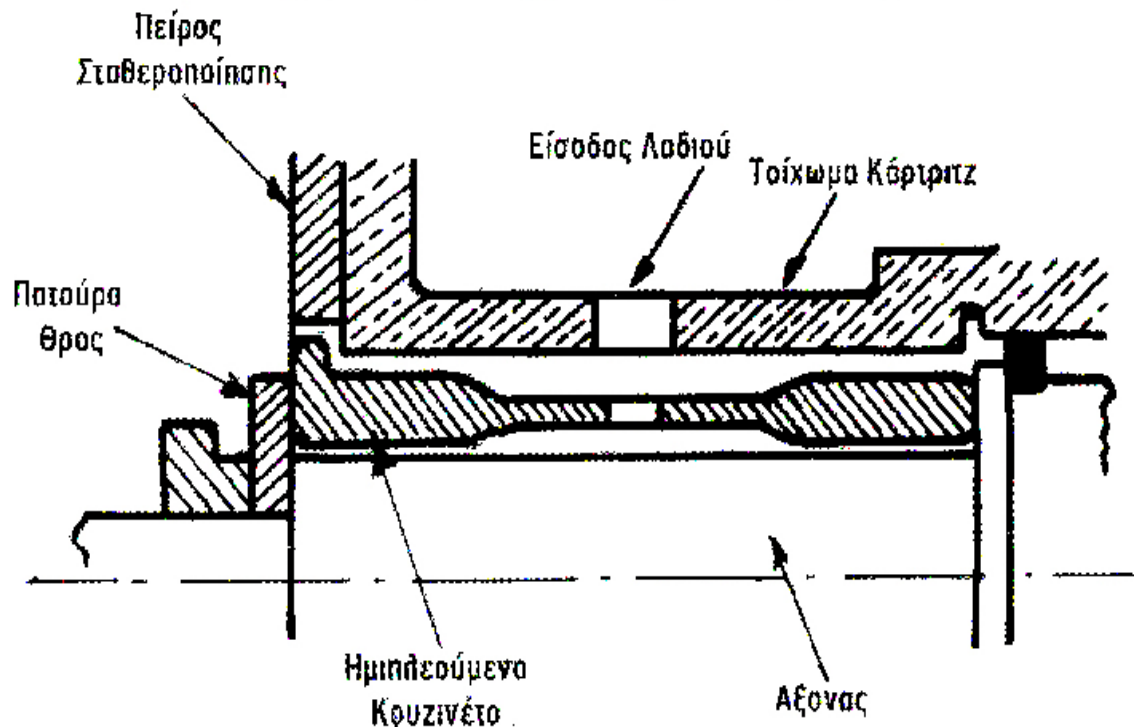
- **Τα έδρανα του άξονα:** Βρίσκονται στο κάρτριτζ, ανάμεσα στις φτερωτές εισαγωγής και εξαγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις (συμβατικοί στροβιλοσυμπιεστές χαμηλού κόστους και μέσης απόδοσης), ο άξονας εδράζεται σε κουζινέτα που λιπαίνονται με υδροδυναμική λίπανση από το κυρίως κύκλωμα λίπανσης του κινητήρα. Δηλαδή ο κινητήρας παρέχει λάδι (συνήθως σε πιέσεις 0,5 – 1,5 bar) στο κάρτριτζ, το οποίο διαθέτει ειδικές κοιλότητες και αυλακώσεις για την λίπανση των εδράνων. Τα έδρανα και ο άξονας είναι σχεδιασμένα με ανοχές τέτοιες, ώστε ο άξονας να καλύπτεται από ένα λεπτό φιλμ λαδιού. Τα κουζινέτα είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο (για εφαρμογές όπου δεν αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες) ή από κράματα ορείχαλκου, εμπλουτισμένα με μόλυβδο ή επικαλυμμένα με αλουμίνιο, μόλυβδο ή λευκομέταλλα.
- **Κουζινέτα (bearings): α)** Τα σταθερά κουζινέτα (πρεσσαριστά στο κάρτριτζ) ήταν απλά στην κατασκευή και χαμηλού κόστους, χωρίς ανθεκτικότητα στους συντονισμούς του άξονα στις υψηλές ταχύτητες. Όταν ο άξονας έφτανε την κρίσιμη ταχύτητά του (κάθε άξονας σε κάποιες ταχύτητες αρχίζει να ταλαντεύεται ως διαπασών), ή όταν χανόταν η ζυγοστάθμιση του στροφείου (ή ρότορα, το σύμπλεγμα άξονα και φτερωτών), ο άξονας εμφάνιζε

κραδασμούς με αποτέλεσμα το κέντρο περιστροφής του να μετακινείται συνεχώς μέσα στις ανοχές για την λίπανσή του και το σύνολο να χτυπάει στα κουζινέτα. Παρόλο που ο άξονας είναι βαμμένος (υπόκειται σε επιφανειακή σκλήρυνση) στα σημεία έδρασης του, οι φθορές με αυτό το σύστημα είναι αναπόφευκτες και η διάρκεια ζωής του στροβιλοσυμπιεστή περιορισμένη.

β) Λύση στο πρόβλημα δόθηκε μερικώς με την εφαρμογή των πλεούμενων κουζινέτων (full floating bearings). Τα κουζινέτα πλέον δεν είναι πακτωμένα στο κάρτριτζ, αλλά έχουν και αυτά ανοχές. Έτσι το λιπαντικό κυκλοφορεί μεταξύ άξονα – κουζινέτων και μεταξύ κουζινέτων – κάρτριτζ. Τα κουζινέτα περιστρέφονται με ταχύτητες που μπορεί να φτάσουν το 50% αυτής του άξονα, παρασυρόμενα από τις υδροδυναμικές τριβές του λιπαντικού. Με αυτό τον τρόπο το κουζινέτο λειτουργεί ως αμορτισέρ μετατρέποντας του συντονισμούς του στροφείου σε πλευρικές κινήσεις που τις αποσβένει μέσα στο λιπαντικό. Αυτή η μέθοδος προϋποθέτει περίπλοκες διαμορφώσεις στο κάρτριτζ και ειδική κατεργασία του, ενώ συχνά το υλικό κατασκευής του είναι σίδηρος ή μαντέμι για να αντέχει τη φθορά από την τριβή των κουζινέτων πάνω του.

γ) Μία άλλη παραλλαγή της έδρασης με κουζινέτα είναι τα ημιπλεούμενα (semi-floating bearings), τα οποία είναι στηριγμένα με πύρους ώστε να μην περιστρέφονται, αλλά διατηρούν τη δυνατότητα να κινούνται κάθετα προς τον άξονα για να μειώνουν τους κραδασμούς και τα κρουστικά φορτία.

Η διάταξη έδρασης με ημιπλευρούμενο κουζινέτο σε τομή



δ) Η τελευταία παραλλαγή είναι τα κουζινέτα θρός (thrust bearings). Πρόκειται για ένα δίσκο κατασκευασμένο από κράματα ανάλογα με αυτά των κουζινέτων. Παραλαμβάνει τα αξονικά φορτία του στροφείου ώστε να μην κινδυνεύουν οι φτερωτές να έρθουν σε επαφή με τα κελύφη τους. Οι επιφάνειές του λιπαίνονται και αυτές υδροδυναμικά, διαθέτουν ειδικές αυλακώσεις και οπές για την κίνηση του λιπαντικού. Επίσης εφαρμόζονται νέες τεχνικές έδρασης με μειωμένες τριβές, όπως με έδρανα αέρος (ο άξονας αιωρείται σε ένα στρώμα αέρα που εξασφαλίζει μια ειδική αεραντλία) και με μαγνητικά έδρανα.

Οι παραπάνω τεχνικές λόγω της πολυπλοκότητάς τους, του βάρους τους και του μεγάλου όγκου κατασκευής τους προς το παρόν αποτρέπουν την χρήση τους σε στροβιλοσυμπιεστές αυτοκινήτων.

- **Ένσφαιροι τριβείς - Ρουλεμάν (ball bearings):** Με την πάροδο των χρόνων, την εξέλιξη της μεταλλουργίας και της κατασκευής ένσφαιρων τριβέων κατέστη δυνατή η χρήση τους σε πολύστροφους στροβιλοσυμπιεστές υψηλών θερμοκρασιών. Το βασικό πλεονέκτημα των ένσφαιρων τριβέων σε σχέση με τα κουζινέτα είναι οι μειωμένες τριβές και οι πολύ μικρότερες ανοχές. Έτσι αυξάνεται η ευστροφία και η πολυστροφία του στροβιλοσυμπιεστή και μειώνονται οι απαιτούμενες ανοχές μεταξύ φτερωτών και κελυφών, γεγονός που μειώνει τις απώλειες πίεσης και αυξάνει την απόδοση του στροβιλοσυμπιεστή. Η κατασκευή του ένσφαιρου τριβέα έκανε το κουζινέτο θρός περιττό, καθώς οι

ράγες στις οποίες κινούνται τα σφαιρίδια προσφέρουν και αξονική στήριξη στο στροφείο. Επίσης, ο ένσφαιρος τριβέας δεν απαιτεί συνεχή παροχή λαδιού υπό πίεση για την λίπανση του, πατά μόνο ένα λεπτό σπρέι λαδιού. Έτσι εξαλείφονται πολλά από τα προβλήματα στεγανοποίησης του στροβιλοσυμπιεστή και κατανάλωσης λαδιού από αυτό, ενώ οι υδροδυναμικές τριβές μειώνονται και οι εσωτερικές απώλειες ισχύος του στροβιλοσυμπιεστή περιορίζονται. Ένας στροβιλοσυμπιεστής με ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμανάτος) έχει μεγαλύτερο ρελαντί (idle speed) από ένα συμβατικό προσφέροντας μειωμένο χρόνο ανάληψης ωφέλιμης ταχύτητας λειτουργίας (spool-up time) στο πάτημα του γκαζιού. Επομένως οι στροβιλοσυμπιεστές αυτοί εμφανίζουν λιγότερο το ανεπιθύμητο φαινόμενο της υστέρησης (turbo lag). Συγκρινόμενοι με τους συμβατικούς στροβιλοσυμπιεστές με ολόδια χαρακτηριστικά, ο ένσφαιρος στροβιλοσυμπιεστής εμφανίζει 75% μικρότερες εσωτερικές απώλειες ισχύος λόγω μειωμένων τριβών του άξονα. Ακόμη και σε ταχύτητα περιστροφής 150.000 rpm, η αξονική μετατόπιση του στροφείου είναι 0,025 mm για τον ένσφαιρο, ενώ 0.13 – 0.25 mm για το συμβατικό με ημιπλευρούμενα κουζινέτα, δηλαδή 5 έως 10 φορές μεγαλύτερη. Λόγω της ανάγκης αυξημένης αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες, οι ένσφαιροι τριβείς για στροβιλοσυμπιεστές έχουν υψηλό κόστος. Επίσης απαιτούν την ύπαρξη υγρόψυκτου κάρτριτζ για την αύξηση της μακροζωίας τους με αποτέλεσμα να ανεβαίνει το κόστος ακόμα περισσότερο. Οι κατασκευαστές στρέφονται προς τα κεραμικά υλικά για την κατασκευή των σφαιριδίων του ρουλεμάν, ώστε να εξαλείψουν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην εξαγωγή. Προς το παρόν, για λόγους αξιοπιστίας και μακροζωίας, οι κατασκευαστές ‘ρουλεμανάτων’ στροβιλοσυμπιεστών χρησιμοποιούν κεραμικό ρουλεμάν μόνο στη πλευρά του συμπιεστή και διατηρούν το κλασικό κουζινέτο στη πλευρά του στροβίλου. Επίσης, ενσωματώνουν και ένα κουζινέτο θρός για να μειώνει τις αξονικές καταπονήσεις του ρουλεμάν. (Το κουζινέτο θρός συνεργάζεται στενά με ένα εξάρτημα που ονομάζεται φλίνγκερ το οποίο λειτουργεί ως εξής: περικλείει τις παράλληλες επιφάνειες τριβής του θρός και κοντράρει επάνω τους, ώστε να μην μετακινείται αξονικά ο ρότορας υπό την πίεση των καυσαερίων και του συμπιεσμένου αέρα. Όλα αυτά γίνονται με την μεσολάβηση ενός φιλμ λιπαντικού που αποτρέπει την απευθείας επαφή του φλίνγκερ με το θρός. Επίσης το φλίνγκερ είναι το εξάρτημα που είναι αρμόδιο για τη δυναμική στεγανοποίηση του λαδιού του στροβιλοσυμπιεστή, φέροντας τις ακτινικές ροπές που

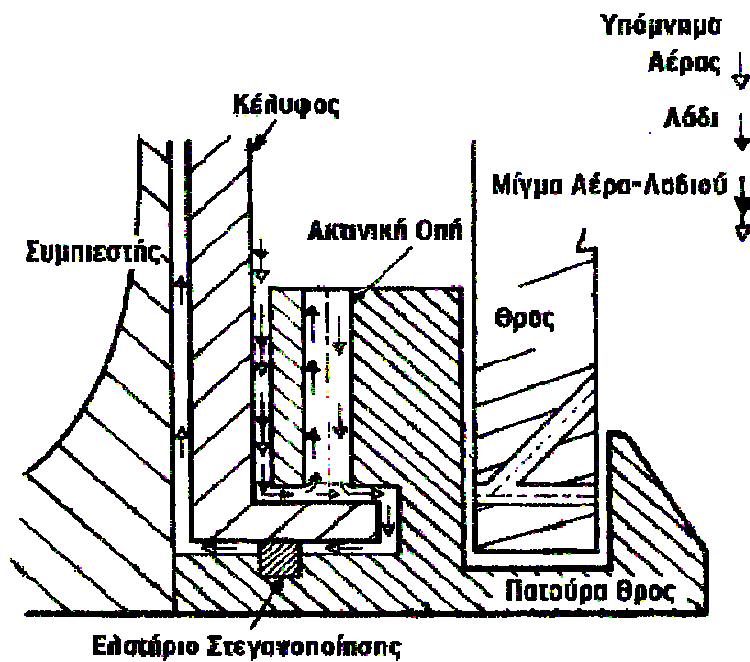
φυγοκεντρίζουν το λάδι πριν αυτό φτάσει στα ελατήρια στεγανοποίησης.

§1.7 Στεγανοποίηση του στροβιλοσυμπιεστή

Κατά καιρούς στους στροβιλοσυμπιεστές έχουν εφαρμοστεί διάφορες μέθοδοι για τον περιορισμό των διαρροών του λαδιού προς τα κελύφη και τις διαρροές αερίων προς το κάρτριτζ. Όμως η ιδιομορφία των στροβιλοσυμπιεστών για βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων (υψηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες λειτουργίας) έχει οδηγήσει στην καθιέρωση εξειδικευμένων διατάξεων. Η πιο συνηθισμένη λύση είναι η τοποθέτηση στα κελύφη ελατηρίων ίδιων με αυτά που χρησιμοποιούνται στα έμβολα για την στεγανοποίηση των αερίων αλλά με διαστάσεις ανάλογες του άξονα του στροβιλοσυμπιεστή. Το ελατήριο σχεδόν εφαρμόζει στο άξονα χωρίς να τον ακουμπάει, και αφήνει πολύ μικρά περιθώρια διαφυγής στα αέρια και το λάδι.

Στην εξαγωγή επικρατούν σχεδόν πάντα συνθήκες υψηλής πίεσης λόγω των καυσαερίων. Μια μικρή ποσότητα καυσαερίων (που εισέρχεται από το κέλυφος στο κάρτριτζ) ακολουθεί το λιπαντικό προς το κάρτερ και στη συνέχεια ακολουθεί την ίδια πορεία με τις αναθυμιάσεις του, προς την εισαγωγή του κινητήρα.

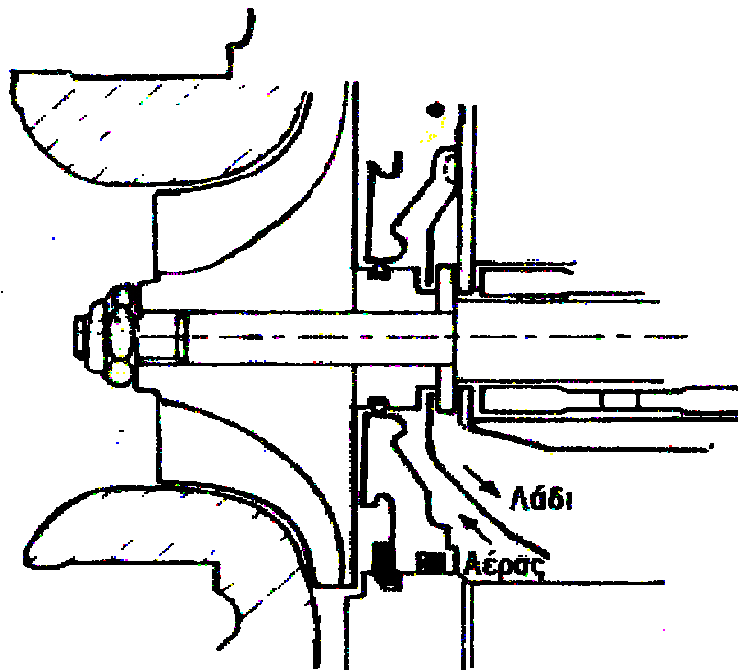
Στη μεριά του συμπιεστή η κατάσταση περιπλέκεται επειδή επικρατούν συνθήκες υποπίεσης είτε λόγω της μικρής πίεσης του στροβιλοσυμπιεστή στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα, ή εξαιτίας της κλειστής πεταλούδας στο άφημα του γκαζιού (σε εφαρμογές με καρμπιρατέρ υποπίεσης), ή λόγω των ρευμάτων του αέρα μεταξύ φτερωτής εισαγωγής και κελύφους. Στην προκειμένη περίπτωση το λιπαντικό αναρροφάται μαζί με καυσαέρια προς το συμπιεστή και καίγεται από το κινητήρα. Οι κατασκευαστές έχουν δώσει διάφορες λύσεις που προσφέρουν ικανοποιητική στεγανότητα. Μία από αυτές είναι η προσθήκη στο κάρτριτζ ενός ελάσματος κοντά στο στεγανοποιητικό ελατήριο, το οποίο διαχωρίζει το λιπαντικό από τον αέρα και το οδηγεί πίσω στα κουζινέτα. Η άλλη αποδοτική πρακτική ονομάζεται δυναμική στεγανοποίηση (dynamic oil seal) και την πρωτοεφάρμοσε ο κατασκευαστής στροβιλοσυμπιεστών Garrett. Εδώ η πατούρα του άξονα για το θρόο είναι διάτρητη ακτινικά ώστε όταν φτάσει σε αυτό το σημείο το μίγμα αερίων και λιπαντικού, το λάδι (που είναι βαρύτερο) παρασύρεται από την φυγόκεντρο δύναμη και διαχωρίζεται από τα αέρια, οδηγούμενο μέσα από τις τρύπες προς το εσωτερικό του κάρτριτζ.



Οι δύο βασικοί τύποι στεγανοποίησης.

Επάνω βλέπετε τη διάταξη δυναμικής στεγανοποίησης, όπου το περιστρεφόμενο δακτυλίδι με τις ακτινικές οπές φυγοκεντρίζει το λιπαντικό, επιτρέποντας μόνο στο αέριο να φτάσει στο συμπιεστή.

Στο κάτω σχεδιάγραμμα διακρίνεται το έλασμα που είναι τοποθετημένο δίπλα στο κουζινέτο στη μεριά του συμπιεστή και εμποδίζει το λιπαντικό να καταλήξει στη φτερωτή



Κατά καιρούς δοκιμάστηκε και ένα άλλο είδος στεγανοποίησης, με δακτύλιους από γραφίτη που εφάπτονται στον άξονα με τη βοήθεια προφορτισμένων ελατηρίων στο κέλυφος. Η στεγανοποίηση σε αυτή τη περίπτωση είναι σχεδόν τέλεια, ωστόσο οι τριβές είναι μεγάλες και περιορίζουν την ευστροφία του στροβιλοσυμπιεστή και γι' αυτό η μέθοδος δεν έχει διαδοθεί.

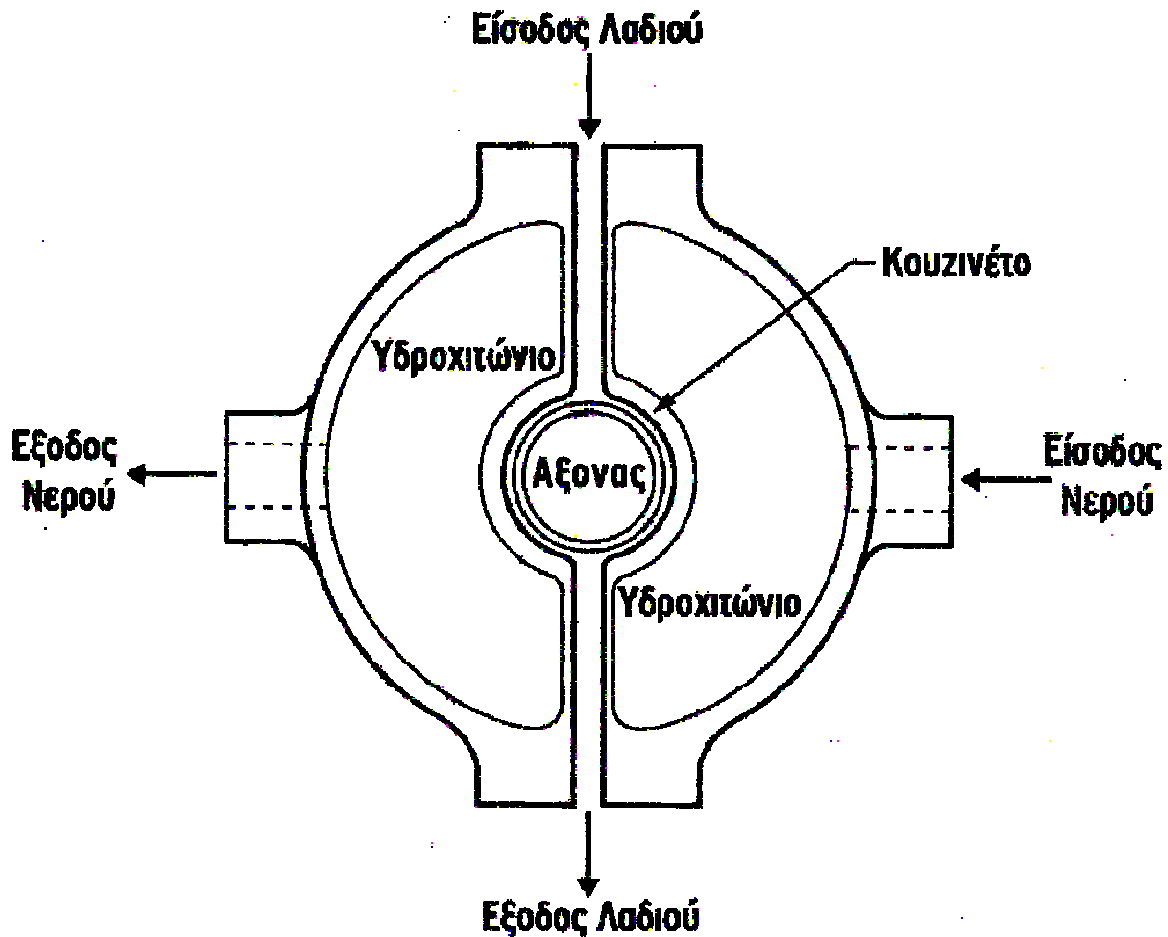
§1.8 Λίπανση και ψύξη

Η λίπανση των εδράνων και η διαχείριση των θερμικών φορτίων είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες για την σωστή λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή. Για να εξασφαλίζεται η μακροζωία και η απόδοση του στροβιλοσυμπιεστή, ο κινητήρας πρέπει να παρέχει μια ποσότητα λιπαντικού σε αυτόν το οποίο περνώντας από τα έδρανα αναμειγνύεται με τα καυσαέρια και τον συμπιεσμένο αέρα που διαρρέουν προς το κάρτριτζ, σχηματίζοντας αφρό. Το άφρισμα του λιπαντικού γίνεται εντονότερο λόγω της ταλάντωσης του άξονα στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής του, κατά την λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή υπό φορτίο.

Επειδή ο αφρός είναι συχνά παχύρρευστος (και επειδή στην έξοδο του στροβιλοσυμπιεστή το λιπαντικό έχει χάσει την αρχική του πίεση, επομένως η μόνη δύναμη που το οδηγεί πίσω στο κάρτερ είναι η δύναμη της βαρύτητας), ο αγωγός εξόδου του λαδιού από το κάρτριτζ έχει πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις απ' ό,τι ο αγωγός εισόδου. Ο αγωγός επιστροφής λαδιού καταλήγει σε τέτοιο σημείο στο κάρτερ ώστε η ροή του να είναι ελεύθερη και να μην εμποδίζεται από την στάθμη του λαδιού (με συνέπεια το φράξιμο του στροβιλοσυμπιεστή και την απώλεια λαδιού προς τις φτερωτές με επακόλουθο την κατανάλωσή του). Συνεπώς πρέπει η στάθμη του λαδιού να μην υπερβαίνει το μέγιστο σημείο της.

Το λιπαντικό εκτός από την λίπανση των εδράνων είναι επιφορτισμένο με την ψύξη του άξονα και του κάρτριτζ. Το λάδι υποβάλλεται σε υψηλές θερμικές καταπονήσεις που αλλοιώνουν την σύστασή του. Γι' αυτό οι κατασκευαστές υπερτροφοδοτούμενων κινητήρων συνιστούν τη χρήση συνθετικών λιπαντικών, που είναι ανθεκτικότερα στις μεγάλες διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας τους και στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Επίσης συχνά εξοπλίζουν τους κινητήρες τους με ψυγεία λαδιού για να αποφεύγουν την αποσύνθεση του λιπαντικού. Συνεπώς μια ελλιπής ή προβληματική λίπανση προκαλεί την καταστροφή του στροβιλοσυμπιεστή. Οι υψηλές θερμοκρασίες στη μεριά του μαντεμένιου στροβίλου, τα λιπαντικά ακατάλληλης ποιότητας καθώς και η κακή χρήση του κινητήρα προκαλούν τη δημιουργία στερεών καταλοίπων (coke) στα κουζινέτα, τα οποία μπορεί να φράξουν τους αγωγούς λαδιού του στροβιλοσυμπιεστή με αποτέλεσμα την καταστροφή του. Γι' αυτό μετά από παρατεταμένη χρήση υπό φορτίο ενδείκνυται η λειτουργία του κινητήρα στο ρελαντί πριν το σβήσιμό του, ώστε η κυκλοφορία του λιπαντικού να κρυώνει το κάρτριτζ και να αποφεύγεται η αποκρυστάλλωση του λιπαντικού.

Σε ακριβές ή εξεζητημένες εφαρμογές η ψύξη του στροβιλοσυμπιεστή και η προστασία του από την στερεοποίηση του λιπαντικού ενισχύεται με την ψύξη του κάρτριτζ από το ψυκτικό υγρό του κινητήρα. Ένας ειδικός θάλαμος στον οποίο κυκλοφορεί νερό περικλείει τα έδρανα και απάγει μεγάλο μέρος της θερμότητάς τους.



Τομή ενός υγρόψυκτου κάρτριτζ: το ενσωματωμένο υδροχιτώνιο είναι συνδεδεμένο με το κύκλωμα ψύξης ώστε να απάγει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που μεταφέρεται από τη θερμή πλευρά του turbo στα κουζινέτα. Έτσι το λιπαντικό προφυλάσσεται από την υπερθέρμανση και την αποκρυστάλλωσή του (καρβούνισμα)

Το κύκλωμα ψύξης είναι σχεδιασμένο ώστε ακόμα και μετά το σβήσιμο του κινητήρα να κυκλοφορεί νερό μέσα στον στροβιλοσυμπιεστή, σύμφωνα με το φαινόμενο του θερμοσίφωνου (όπου η αρχή λειτουργίας του είναι ότι το ψυχρό νερό είναι πυκνότερο από το θερμό και κατεβαίνει προς τα χαμηλότερα σημεία ενός κυκλώματος).

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός στροβιλοσυμπιεστή είναι:

1. Διάμετρος φτερωτών
2. Trim φτερωτών
3. Ροϊκή ικανότητα
4. Βαθμός απόδοσης
5. Μέγιστη πίεση λειτουργίας
6. Διάμετρος εξόδου κελυφών
7. Λόγος A/R κελυφών
8. Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής
9. Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας

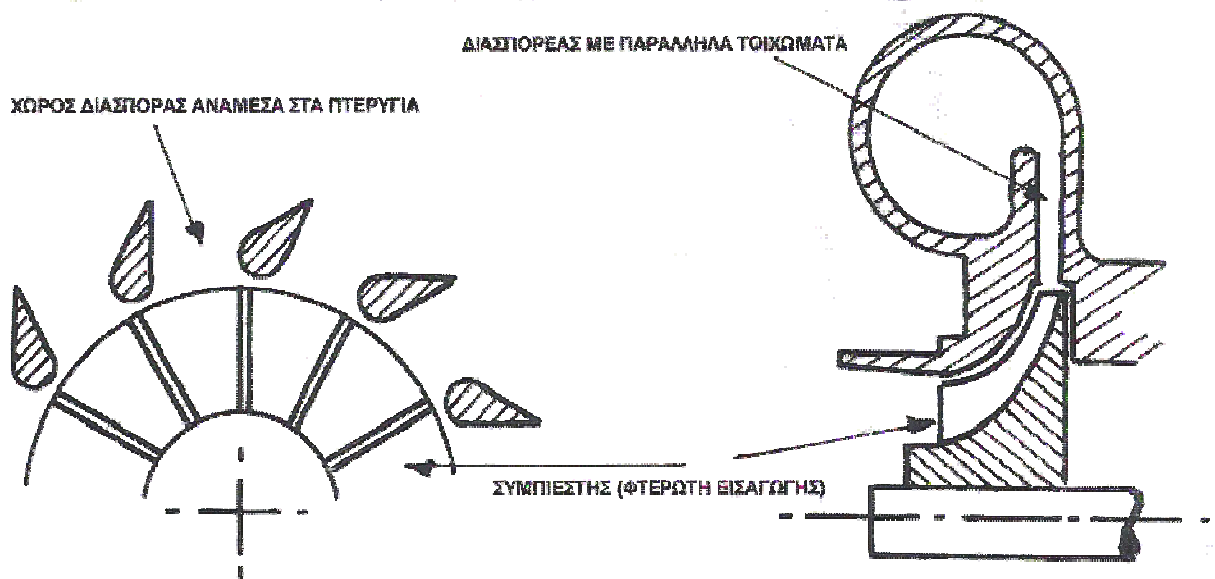
Τα παραπάνω βασικά χαρακτηριστικά αναλύονται ως εξής:

§1.9 Κέλυφος Στροβιλοσυμπιεστή

Ο ρόλος του κελύφους είναι να συλλέγει τα αέρια και στη συνέχεια να μεταβάλλει τη πίεση και τη ροή τους όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Κέλυφος εισαγωγής: παραλαμβάνει τον ατμοσφαιρικό αέρα, οδηγώντας τον στο συμπιεστή (φτερωτή εισαγωγής). Καθώς ο αέρας φτάνει στην άκρη του συμπιεστή (μάτι), η πίεση του πέφτει και η ταχύτητά του αυξάνεται ανάλογα. Τα πτερύγια του συμπιεστή στροβιλίζουν τον αέρα, ενώ αυξάνουν και τη κινητική του ενέργεια. Καθώς ο αέρας φτάνει στην περιφέρεια του συμπιεστή (compressor tip), η πίεση και η ταχύτητά του έχουν αυξηθεί εξαιτίας της επιτάχυνσης που δέχθηκε από τα πτερύγια και της αυξημένης του κινητικής ενέργειας. Η ταχύτητα με την οποία ο αέρας φεύγει από το συμπιεστή φτάνει και συχνά ξεπερνάει αυτήν του ήχου.

Αναγκαστικά ο αέρας πρέπει να επιβραδυνθεί και η αυξημένη του κινητική ενέργεια να μετατραπεί σε ωφέλιμη άνοδο της πίεσής του, προτού αυτός διοχετευτεί στον κινητήρα. Αυτή τη λειτουργία επιτελεί ο διασπορέας (diffuser), ένα άλλο εξάρτημα ενσωματωμένο στο κέλυφος. Αρχικά ο διασπορέας του στροβιλοσυμπιεστή αποτελείτο από μια σειρά αποκλινόντων ακροφυσίων (nozzles), τα οποία επιβράδυναν τον αέρα εκτονώνοντας τον (αυξάνοντας τον όγκο του). Στη συνέχεια τα ακροφύσια αντικαταστάθηκαν από ένα δακτύλιο με λεπίδες ή πτερύγια, που σχημάτιζαν τους κατάλληλους αυλούς για την εκτόνωση του αέρα.



Σύγκριση διασπορέα με και χωρίς πτερύγια. Αριστερά διακρίνεται ο διασπορέας με πτερύγια, όπου μια σειρά κεκλιμένων πτερυγίων περιβάλλει το συμπιεστή. Ο χώρος ανάμεσα στα πτερύγια δημιουργεί τα αποκλίνοντα περάσματα διασποράς του αέρα. Δεξιά βλέπουμε το διασπορέα χωρίς πτερύγια, όπου τα τοιχώματα του κελύφους σχηματίζουν το χώρο διασποράς

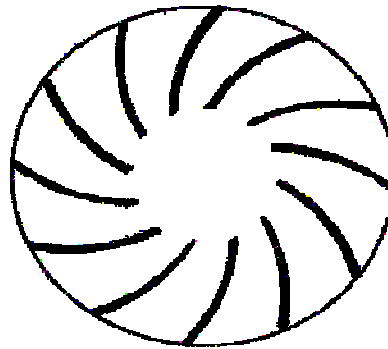
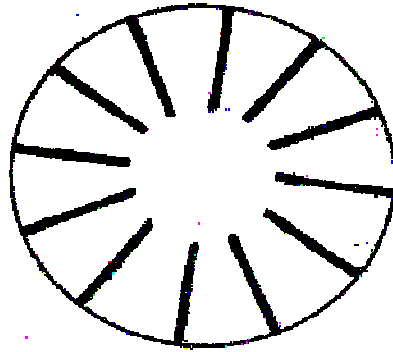
Ωστόσο, η απλούστερη μορφή διασπορέα, που χρησιμοποιείται κατά κόρον σήμερα στους βενζινοκινητήρες, είναι αυτοί χωρίς πτερύγια. Το κέλυφος είναι κατάλληλα διαμορφωμένο γύρω από τη φτερωτή και σχηματίζει ένα στενό πέρασμα ανάμεσα στα τοιχώματά του. Τα τοιχώματα είναι παράλληλα, και όσο ο αέρας απομακρύνεται από το κέντρο της φτερωτής, τόσο ο όγκος που περικλείεται ανάμεσα στα τοιχώματα αυξάνει και η ταχύτητα του αέρα επιβραδύνεται. Στη συνέχεια διοχετεύεται στο συλλέκτη του κελύφους, δηλαδή το σωληνοειδές τμήμα του, περιμετρικά της φτερωτής. Εκεί σταθεροποιείται η πίεση και η ροή του, μέχρι να φτάσει στην έξοδο του κελύφους κατευθυνόμενος προς τον κινητήρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα τοιχώματα του διασπορέα μπορεί να είναι σχηματισμένα έτσι, ώστε η αύξηση του περικλειόμενου όγκου να μην είναι γραμμική.

Ο διασπορέας χωρίς πτερύγια είναι πολύ διαδεδομένος στις αυτοκινητιστικές εφαρμογές χάρη στο μεγάλο εύρος λειτουργίας του, το χαμηλό του κόστος και την καλή του συμπεριφορά έναντι της διάβρωσης και της φθοράς. Το μειονέκτημα του είναι η πολύ μικρότερη άνοδος της πίεσης, σε σύγκριση με ένα διασπορέα (ανάλογης διαμέτρου) με πτερύγια.

Κέλυφος εξαγωγής (μαντέμι): συλλέγει τα καυσαέρια (όπως αυτά έρχονται από την πολλαπλή εξαγωγής), αυξάνει την ταχύτητα τους και τα στροβιλίζει, κατευθύνοντας τα στη φτερωτή εξαγωγής, την οποία θέτουν σε κίνηση. Η λειτουργία του είναι παρόμοια με το κέλυφος εισαγωγής, μόνο που γίνεται αντίστροφα. Δηλαδή αντί να περιέχει μια κινούμενη φτερωτή και να εκμεταλλεύεται την επιτάχυνση του αέρα που αυτή προκαλεί, το κέλυφος επιταχύνει τα αέρια (που παραλαμβάνει από την πολλαπλή εξαγωγής) και τα στροβιλίζει (αντί να σταθεροποιεί τη ροή τους), ώστε να τα διοχετεύσει πάνω

στη φτερωτή εξαγωγής και να την περιστρέψει, καθιστώντας την κινητήρια. Το ακροφύσιο του κελύφους εξαγωγής είναι αντιστρόφως ομόλογος του διασπορέα, και είναι το μέρος του μαντεμιού που προκαλεί το στροβιλισμό των καυσαερίων. Στις αυτοκινητιστικούς στροβιλοσυμπιεστές, για λόγους κατασκευής και κόστους, δε χρειάζεται το ακροφύσιο να έχει πτερύγια, καθώς τα καυσαέρια κινούνται ήδη με μεγάλη ταχύτητα στη έξοδο της πολλαπλής εξαγωγής. Η μικρή επιπλέον απαιτούμενη επιτάχυνση των καυσαερίων που θα κινήσουν τη φτερωτή εξασφαλίζεται με την κατάλληλη διαμόρφωση του θαλάμου του κελύφους εξαγωγής, δηλαδή με τη σταδιακή μείωση της ακτίνας του θαλάμου περιμετρικά της φτερωτής.

Φτερωτή εισαγωγής (συμπιεστής): κάθε συμπιεστής έχει ένα συγκεκριμένο συνδυασμό παραγόμενης πίεσης και ροής, στον οποίο παρουσιάζει τη μέγιστη απόδοση του.



Οι δύο τύποι συμπιεστών: Με ευθεία και κυρτά πτερύγια. Με ευθεία πτερύγια επιπυχνώνουμε μεγαλύτερες αποδόσεις, αλλά σε περιορισμένο εύρος στροφών. Παράλληλα υπάρχει ο κίνδυνος συσσώρευσης ακαθαρσιών. Από την άλλη, οι συμπιεστές με κυρτά πτερύγια έχουν μικρότερη μηχανική αντοχή και λειτουργούν σε μικρότερους λόγους πίεσης

Η απόδοση του συμπιεστή (compressor efficiency) είναι ένα ποσοστιαίο μέγεθος, το οποίο προκύπτει από τη σύγκριση δυο θερμοκρασιών: της πραγματικής θερμοκρασίας του συμπιεσμένου αέρα στην έξοδο του στροβιλοσυμπιεστή, και της ιδανικής θερμοκρασίας που θα περιμέναμε να έχει

(βάσει των αρχών της θερμοδυναμικής που προβλέπουν ότι για συγκεκριμένη άνοδο της πίεσης θα πρέπει να ανέβει ανάλογα και η θερμοκρασία του αέρα). Δηλαδή η απόδοση του συμπιεστή δείχνει πόσο καλά η φτερωτή συμπεριφέρεται στη πράξη εν συγκρίσει με το πώς θα έπρεπε να συμπεριφέρεται βάσει της θερμοδυναμικής. Οι περισσότεροι στροβιλοσυμπιεστές παρουσιάζουν μέγιστες αποδόσεις της τάξεως του 75% περίπου. Κάθε κατασκευαστής στροβιλοσυμπιεστή διαθέτει τους χάρτες απόδοσης (efficiency maps) για κάθε τύπο συμπιεστή που κατασκευάζει. Αυτοί οι χάρτες απεικονίζουν την απόδοση του συμπιεστή για συγκεκριμένη πίεση και ροή, βοηθώντας μας να κάνουμε τη καταλληλότερη επιλογή για τις ανάγκες του κινητήρα μας.

Trim: είναι ένας παράγοντας που έχει να κάνει με τη γεωμετρία της φτερωτής εισαγωγής. Κάθε φτερωτή εισαγωγής έχει δυο βασικές διαμέτρους, τη μικρή διάμετρο στην είσοδο του αέρα και τη μεγάλη διάμετρο στη βάση της φτερωτής, απ' όπου ο αέρας διαφεύγει προς το διασπορέα. Οι διάμετροι δεν είναι τυχαίες, και παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση του στροβιλοσυμπιεστή. Το trim είναι ένας αριθμός, ο οποίος προκύπτει από την ύψωση στο τετράγωνο του πηλίκου της μικρής διαμέτρου προς τη μεγάλη και το πολλαπλασιασμό του πηλίκου αυτού επί της εκατό ($\text{trim} = (d/D)^2 * 100$). Παράδειγμα: έστω ένας συμπιεστής με μικρή διάμετρο $d=35\text{mm}$ και μεγάλη διάμετρο $D=50\text{mm}$.

$$\text{Trim} = (35/50)^2 * 100 = 0,49 * 100 = 49 \text{ Trim}$$

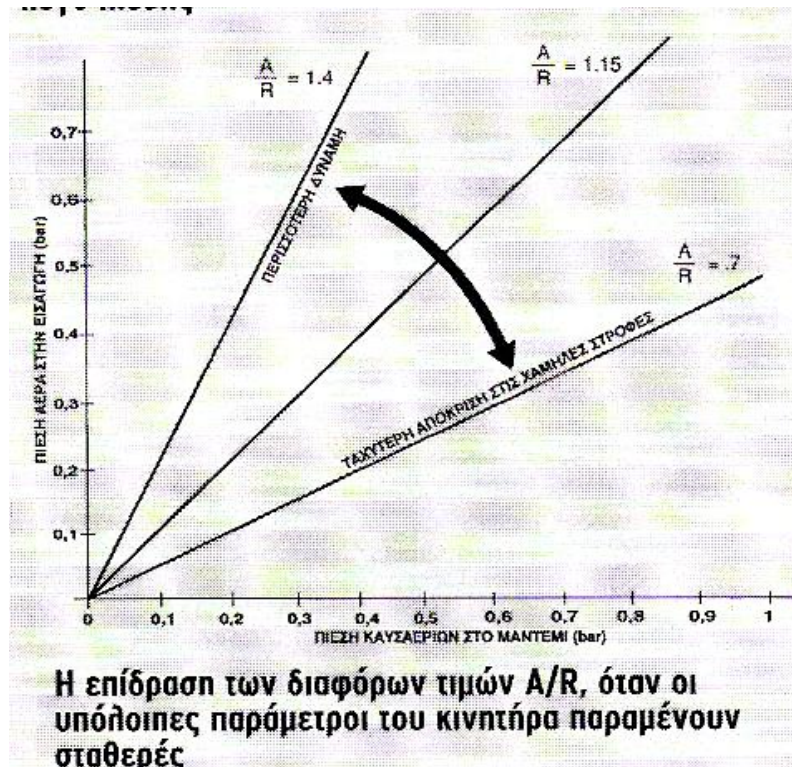
Όσο μεγαλύτερο είναι το Trim τόσο μεγαλύτερη είναι η παροχή του συμπιεστή και το εύρος λειτουργίας του. Όμως, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που απαιτείται για την περιστροφή του, δηλαδή τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να παράγει η τουρμπίνα. Για παράδειγμα ένας συμπιεστής με Trim=55 έχει 10% παραπάνω παροχή από έναν με Trim=50 με την ίδια εξωτερική διάμετρο, αλλά απαιτεί ανάλογα μεγαλύτερη ροπή στρέψης του άξονα για να κινηθεί στην ίδια ταχύτητα με το μικρό συμπιεστή. Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν μεγαλύτερους συμπιεστές με μεγαλύτερο Trim εφόσον η τουρμπίνα έχει την ικανότητα, δηλαδή είναι αρκετά μεγάλη, ώστε ο στροβιλοσυμπιεστής να αποκτήσει μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας και να παράγει πίεση από χαμηλότερους ρυθμούς περιστροφής, μειώνοντας στις περισσότερες περιπτώσεις το turbo lag (καθυστέρηση απόκρισης) και αυξάνοντας την απόδοση του κινητήρα, αφού ένας συμπιεστής με μεγαλύτερο Trim συχνά έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης απ' ότι ένας με μικρότερο Trim, για τον ίδιο λόγο πίεσης.

Φτερωτή εξαγωγής (τουρμπίνα): ο σκοπός για τον οποίο προορίζεται ένας στροβιλοσυμπιεστής (είδος κινητήρα, στροφές μέγιστης απόδοσης κ.τ.λ.) καθορίζει το μέγεθος της τουρμπίνας που θα χρησιμοποιηθεί κατά περίπτωση. Υπάρχουν δυο κριτήρια γι' αυτήν την επιλογή, η βασική διάμετρος της τουρμπίνας και ο λόγος A/R. Το μέγεθος αντικατοπτρίζει την ικανότητα της

τουρμπίνας να περιστρέφει τον άξονα με τέτοια ροπή και ταχύτητα ώστε ο συμπιεστής να μπορεί να μας δώσει την απαιτούμενη πίεση και ροή. Συνεπώς, οι μεγαλύτερες τουρμπίνες παράγουν μεγαλύτερη δύναμη στον άξονα (άρα ισχύ στον κινητήρα) απ' ό,τι οι μικρότερες. Για λόγους απλούστευσης των υπολογισμών το μέγεθος της τουρμπίνας μπορεί γενικά να προκύψει από τη διάμετρο της εξόδου των καυσαερίων στο μαντέμι η οποία αποτελεί μια λογική αναπαράσταση της ροϊκής ικανότητας της τουρμπίνας. Η γραφική παράσταση του μεγέθους προς το ροή (σε κυβικά πόδια ανά λεπτό) δείχνει πως συμπεριφέρονται τα εκάστοτε μεγέθη.

Ο λόγος A/R (Area / Radius) : ενώ το μέγεθος προσδιορίζει τη ροϊκή ικανότητα μιας τουρμπίνας, και κατ' επέκταση όλου του στροβιλοσυμπιεστή, ο λόγος A/R είναι μια μέθοδος για ακριβέστερη παραμετροποίηση της εκάστοτε τουρμπίνας.

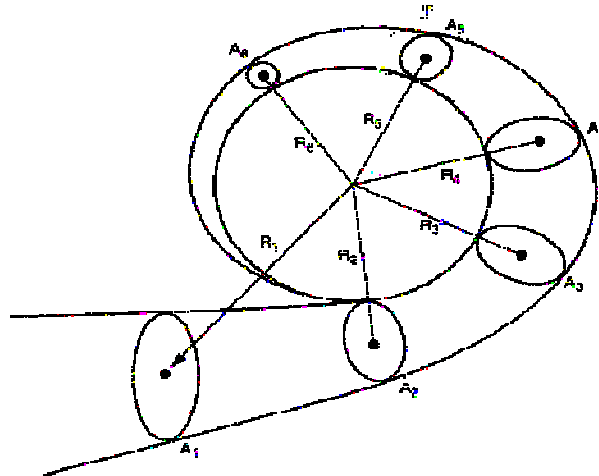
Για να αντιληφθείτε ευκολότερα την ιδέα του λόγου A/R, φανταστείτε το κέλυφος εξαγωγής ως ένα κώνο τυλιγμένο γύρω από τον άξονα, ώστε να μοιάζει με σαλιγκάρι. Ξετυλίξτε τον κώνο και κόψτε τη μύτη του σε μικρή απόσταση από την άκρη. Η τρύπα στο τέλος του κώνου είναι η επιφάνεια εκτόνωσης (discharge area). Η επιφάνεια αυτής της τρύπας είναι η παράμετρος A του λόγου A/R.



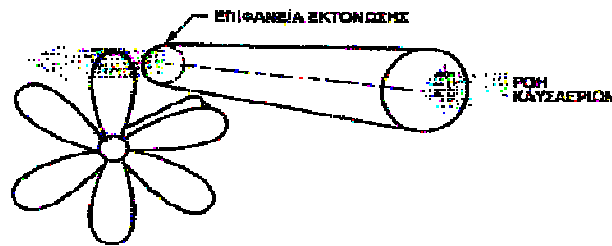
Το μέγεθος αυτής της τρύπας είναι σημαντικό, και καθορίζει την ταχύτητα με την οποία τα καυσαέρια εξέρχονται από το θάλαμο εξαγωγής και προσκρούουν στις λεπίδες της τουρμπίνας. Για οποιαδήποτε δεδομένη ροή καυσαερίων, μια μικρή επιφάνεια εκτόνωσης θα προκαλεί την ταχύτερη κίνησή τους απ' ό,τι μια μεγαλύτερη. Συνεπώς, αυτή η ταχύτητα των καυσαερίων είναι βασικός

παράγοντας ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοσυμπιεστή. Ωστόσο πρέπει πάντα να έχουμε υπόψη ότι η επιφάνεια εκτόνωσης είναι και ο καθοριστικός παράγων της πίεσης που δημιουργεί ο στροβιλοσυμπιεστής στην εξαγωγή (backpressure), μια παρενέργεια που ευθύνεται και για την επιστροφή καυσαερίων στο θάλαμο καύσης.

Το R του λόγου A/R είναι η απόσταση από το κέντρο της τομής του κώνου ως το κέντρο του άξονα της τουρμπίνας. Όλα τα A, διαιρούμενα από τα αντίστοιχα τους R θα δώσουν το ίδιο πηλίκο, δηλαδή $Area / Radius = \text{σταθερό}$. Η ακτίνα R έχει και αυτή σημαίνοντα ρόλο στη ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής και στη ροπή που παραλαμβάνει ο άξονας. Είναι προφανές ότι ένα μικρότερο R θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοσυμπιεστή, ενώ ένα μεγαλύτερο R θα έχει μικρότερη αλλά με μεγαλύτερη ροπή στρέψης ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτεροι συμπιεστές όπου αυτό κρίνεται σκόπιμο.



Αυτό το σχεδιάγραμμα θα σας βοηθήσει να κατανοήσετε ευκολότερα τι είναι ο λόγος A/R...

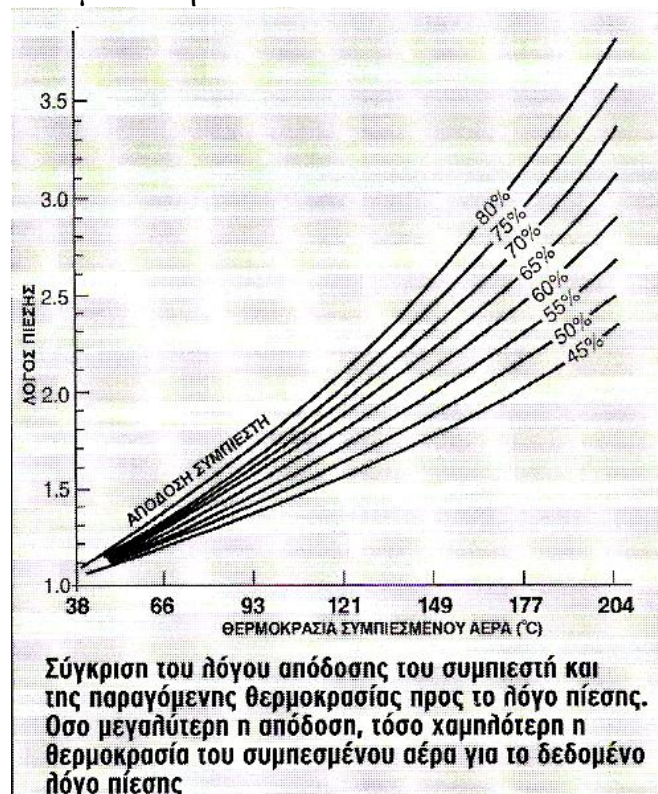


Όσο μικραίνει η επιφάνεια διασποράς (άρα και ο λόγος A/R), τόσο αυξάνεται η ταχύτητα πρόσκρουσης των καυσαερίων πάνω στην τουρμπίνα, αλλά αυξάνεται και η πίεση στην εξαγωγή του κινητήρα

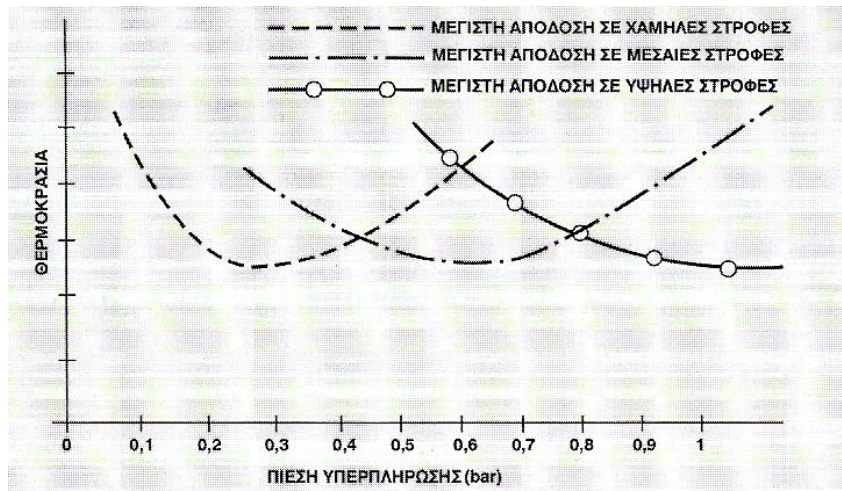
Παρόλα αυτά στη πράξη αυτό που διαφοροποιούν στους στροβίλους τους οι κατασκευαστές στροβιλοσυμπιεστών προκειμένου να διευρύνουν τη γκάμα των προϊόντων τους, είναι η επιφάνεια εκτόνωσης A και όχι η ακτίνα R.

Λόγος πίεσης : είναι η συνολική απόλυτη πίεση που παράγεται από το στροβιλοσυμπιεστή, διαιρούμενη με την ατμοσφαιρική πίεση στη συγκεκριμένη γεωγραφική θέση. Η απόλυτη πίεση είναι η πίεση πάνω από το απόλυτο κενό. Το απόλυτο κενό σημαίνει μηδενική απόλυτη πίεση (0 bar), ενώ η ατμοσφαιρική πίεση ισοδυναμεί με ένα bar απόλυτης πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας. Έτσι, για 0,2 bar πίεσης υπερπλήρωσης η απόλυτη πίεση στην εισαγωγή είναι 1,2 bar, για 0,5 bar πίεσης υπερπλήρωσης είναι 1,5 bar και ούτω καθεξής. Δηλαδή η απόλυτη πίεση είναι η ένδειξη του μπαρομέτρου της εισαγωγής συν ένα bar ακόμα.

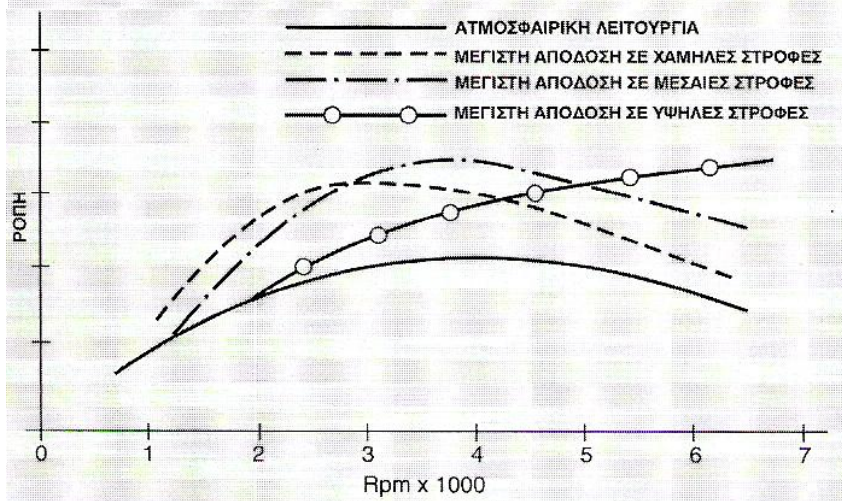
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο λόγος πίεσης είναι ένα ηλίκο της απόλυτης πίεσης στην έξοδο του στροβιλοσυμπιεστή προς την ατμοσφαιρική πίεση του συγκεκριμένου περιβάλλοντος, και αντικατοπτρίζει πόσο ανέβηκε η πίεση σε σχέση με την ατμοσφαιρική. Η άνοδος της πίεσης είναι, εν μέρει, και το μέγεθος που μας δίνει πόσο περισσότερος αέρας μπαίνει στον κινητήρα με τη χρήση του στροβιλοσυμπιεστή.



Έτσι μία πίεση υπερπλήρωσης του 0,5 bar μας δίνει λόγο πίεσης 1,5, δηλαδή η πίεση ισοδυναμεί με 1,5 φορά την ατμοσφαιρική πίεση. Άρα ο κινητήρας προσλαμβάνει 50% παραπάνω αέρα και θεωρητικά θα πρέπει να αποδώσει 50% παραπάνω ισχύ.

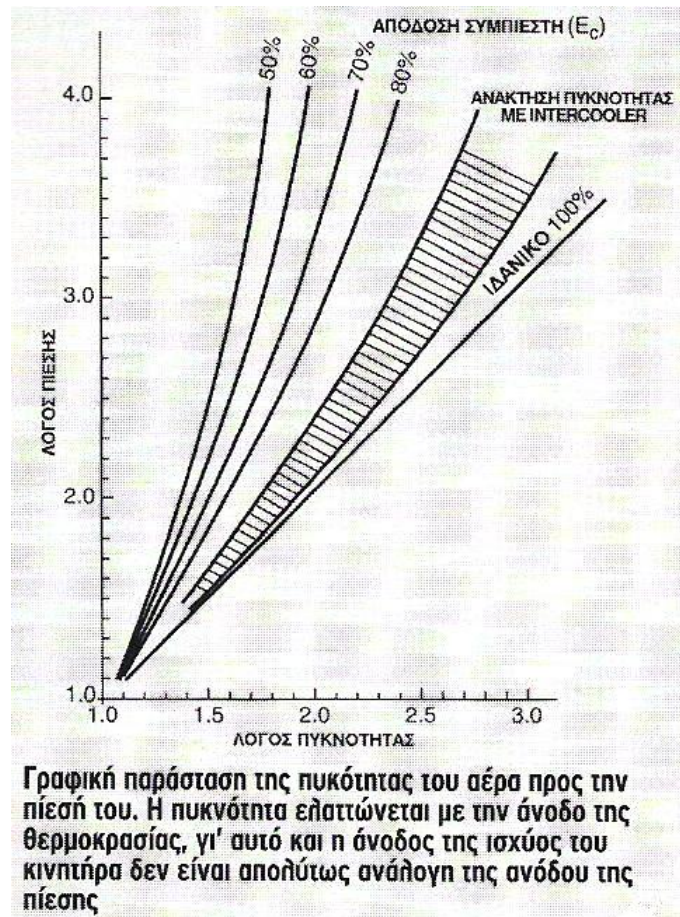


Με μικρό turbo η μέγιστη απόδοση κορυφώνεται νωρίς στην κλίμακα των στροφών του κινητήρα, και η θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής ανεβαίνει υπερβολικά όσο πλησιάζουμε στα κόκκινα. Έτσι, για την επίτευξη μεγάλων ιπποδυνάμεων χωρίς υψηλά θερμικά φορτία στην εισαγωγή, η επιλογή ενός μεγάλου turbo αποτελεί τη μόνη λύση...



Σε όσο υψηλότερους ρυθμούς περιστροφής του κινητήρα εμφανίζεται το σημείο της μέγιστης απόδοσης του συμπιεστή, τόσο χαμηλότερες θερμοκρασίες παρουσιάζονται στο συμπιεσμένο αέρα. Ο ψυχρός αέρας είναι πυκνότερος και συντελεί στην κορύφωση της ροπής στους υψηλούς ρυθμούς περιστροφής

Λόγος πυκνότητας : η επιπλέον ισχύς που παράγεται με την υπερτροφοδότηση είναι άμεση συνάρτηση της τελικής πυκνότητας του αέρα που καταναλώνει ο κινητήρας, δηλαδή ο αριθμός των μορίων αέρα που είναι συγκεντρωμένα σε κάθε μονάδα όγκου. Η πυκνότητα του αέρα είναι το πιο πολύπαθο φυσικό μέγεθος σε ένα σύστημα στροβίλοσυμπιεστή. Καθώς ο συμπιεστής συμπιέζει μεταξύ τους τα μόρια του αέρα, η πυκνότητα του αέρα δεν ανεβαίνει στον ίδιο βαθμό με τη θερμοκρασία και την πίεση του.



Πολλοί παράγοντες ευθύνονται γι' αυτό το φαινόμενο, και κυρίως ο λόγος απόδοσης του συμπιεστή. Ωστόσο η χρήση intercooler, αποδοτικών συμπιεστών και εξεζητημένων κελυφών σε συνδυασμό με κατάλληλα επιλεγμένες τουρμπίνες και λόγους A/R τείνει να ταυτίσει το λόγο πυκνότητας με το λόγο πίεσης, χωρίς φυσικά να το καταφέρνει ποτέ.

Ροή αέρα : η ροή του αέρα μέσα από έναν κινητήρα αναφέρεται συνήθως ως κυβικά πόδια ανά λεπτό (f^3 / min) στην ατμοσφαιρική πίεση. Ο τεχνικός σωστός όρος, αλλά σπάνια χρησιμοποιούμενος, είναι η μέτρηση της μάζας του αέρα και όχι του όγκου του, σε λίμπρες ανά λεπτό (lb / min).

Για να υπολογίσουμε την κατανάλωση αέρα ενός κινητήρα που λειτουργεί σε ατμοσφαιρική πίεση (δηλαδή χωρίς στροβιλοσυμπιεστή ή με το στροβιλοσυμπιεστή να μην παράγει πίεση) αρκεί να υπολογίσουμε το γινόμενο του συνολικού κυλινδρισμού του κινητήρα σε κυβικές ίντσες (in^3) επί το μέγιστο ρυθμό περιστροφής του ανά λεπτό (rpm) επί την ογκομετρική του απόδοση (E_v) επί 0,5 (επειδή οι τετράχρονοι κινητήρες γεμίζουν τους κυλίνδρους τους κάθε δεύτερη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα) και να διαιρέσει όλο αυτόν το γινόμενο προς 1728, το οποίο μετατρέπει τις κυβικές ίντσες σε κυβικά πόδια. Μια κυβική ίντσα είναι 16,39 κυβικά εκατοστά.

Έχοντας προσδιορίσει την κατανάλωση αέρα του κινητήρα μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ροή από τον στροβιλοσυμπιεστή, βάση της

πίεσης υπερπλήρωσης με την οποία θα λειτουργήσει ο κινητήρας. Αυτό επιτυγχάνεται, αγνοώντας τον παράγοντα της ογκομετρικής απόδοσης του κινητήρα και πολλαπλασιάζοντας τη βασική κατανάλωση με τον επιθυμητό λόγο πίεσης.

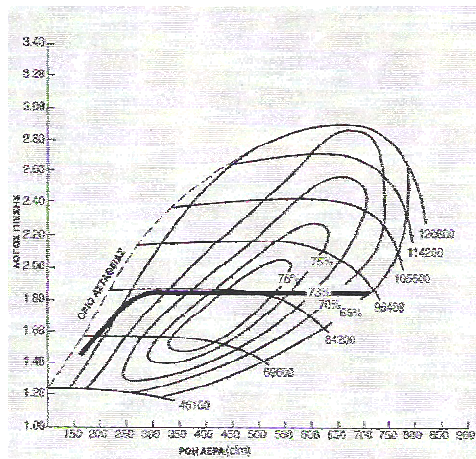
Για παράδειγμα, αν έχουμε ένα κινητήρα ο οποίος έχει βασική κατανάλωση $250 \text{ f}^3 / \text{min}$ και θέλουμε να έχει πίεση υπερπλήρωσης $0,8 \text{ bar}$, ο λόγος πίεσης θα είναι $1,8$ και η τελική κατανάλωση θα είναι $250 * 1,8 = 450 \text{ f}^3 / \text{min}$.

§1.10 Χάρτες απόδοσης

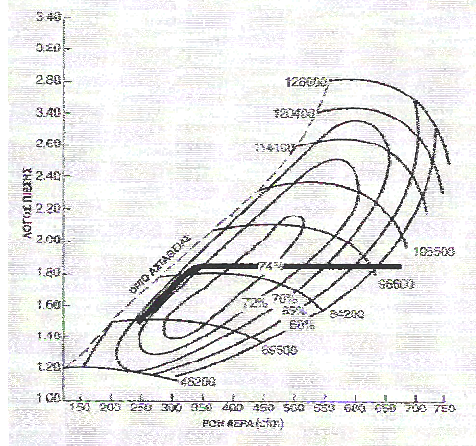
Ένας χάρτης απόδοσης περιλαμβάνει μερικές ελλείψεις διαγραμμαμένες σε ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ροή του αέρα (σε f^3 / min ή lb / min) και στον κατακόρυφο ο λόγος πίεσης. Πάνω στις ελλείψεις αναγράφονται κάποια ποσοστά, δηλαδή οι αντίστοιχοι ρυθμοί απόδοσης που αντιπροσωπεύει η κάθε καμπύλη, και κάποιοι αριθμοί που αντιπροσωπεύουν το ρυθμό περιστροφής του ρότορα υπό τις αντίστοιχες συνθήκες.

Στο αριστερό μέρος του χάρτη οι καμπύλες αναφέρονται σε συνθήκες χαμηλής ροής, δηλαδή σε χαμηλές στροφές κινητήρα. Η ακραία αριστερή διακεκομμένη καμπύλη προσδιορίζει το όριο ασταθούς ροής (surge limit), το οποίο προέρχεται από τη πολύ χαμηλή ροή στην είσοδο του στροβιλοσυμπιεστή. Το όριο ασταθούς ροής είναι το σημείο όπου η φτερωτή εισαγωγής αδυνατεί να τραβήξει αέρα και περιστρέφεται στο κενό (φαινόμενο σπηλαιώσης). Οι μεσαίες καμπύλες εμφανίζουν τη μέγιστη απόδοση του συμπιεστή, ενώ οι δεξιές αναφέρονται σε καταστάσεις πολύ υψηλής ροής, οι οποίες εμφανίζονται δυναμικά κατά τη λειτουργία του κινητήρα.

Στους χάρτες που παραθέτουμε έχουμε διαγράψει μια υποθετική καμπύλη που αναφέρεται στο ακόλουθο παράδειγμα: Έστω ότι έχουμε έναν κινητήρα που καταναλώνει $743 \text{ f}^3 / \text{min}$ στις 5.500 rpm με λόγο πίεσης $1,8$. θέλουμε η ελάχιστη απόδοση του συμπιεστή να είναι της τάξεως του 60% , έχοντας στην διάθεση μας δύο διαφορετικούς συμπιεστές που θέλουμε να συγκρίνουμε, ώστε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ποιος είναι ο καταλληλότερος. Για να το επιτύχουμε αυτό, εργαζόμαστε ως εξής: σε κάθε καμπύλη μαρκάρουμε το ένα σημείο το οποίο να αντιστοιχεί σε λόγο πίεσης $1,8$ το οποίο αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ροή του συμπιεστή σε αυτό το λόγο πίεσης και την αντίστοιχη απόδοση του. Στο πρώτο διάγραμμα, ενός συμπιεστή Turbonetics 60-1, η γραμμή φτάνει στην καμπύλη με απόδοση 65% , ενώ στο δεύτερο, ενός Turbonetics H-3, ξεπερνά κατά πολύ την καμπύλη του 60% και φτάνει σε ένα σημείο με απόδοση ίσως χαμηλότερη από 55% . Συμπεραίνουμε πως ο 60-1 είναι προτιμότερος για την εφαρμογή μας, εφόσον μας ενδιαφέρει η υψηλή απόδοση σε όλο το φάσμα των στροφών.



Ο επάνω χάρτης απόδοσης αναφέρεται στο συμπιεστή 60-1 και ο κάτω στον H-3. Βλέπετε καθαρά πως για τις ανάγκες μας, σύμφωνα με τη γραμμή που έχουμε διαγράψει, ο 60-1 είναι ο καταλληλότερος με ελάχιστη απόδοση περίπου 65%



Ωστόσο πρέπει να εξεταστούν και τα χαρακτηριστικά ασταθούς λειτουργίας του συμπιεστή προτού καταλήξουμε σε κάποια επιλογή. Για να το επιτύχουμε αυτό ακολουθούμε την παρακάτω σχετικά απλή μέθοδο: Αποφασίζουμε σε πόσες στροφές θέλουμε να επιτυγχάνουμε το μέγιστο λόγο πίεσης, και υπολογίζουμε τα ανάλογα f^3 / min , τα οποία και σημειώνουμε στο χάρτη. Για το παράδειγμα μας, αν θέσουμε ως στροφές μέγιστης πίεσης το μέσο του πεδίου των στροφών μέγιστης λειτουργίας, δηλαδή τις 2.750 rpm, θα έχουμε μία ροή $371 f^3 / \text{min}$ σε λόγο πίεσης 1,8. από αυτό το σημείο διαγράφουμε μία γραμμή μέχρι το 20% της μέγιστης ροής του κινητήρα (149

f^3 / min στο παράδειγμα μας) με λόγο πίεσης 1. η γραμμή αυτή πρέπει οπωσδήποτε να βρίσκεται δεξιότερα της γραμμής ασταθούς λειτουργίας. Ορισμένοι χάρτες δεν αναφέρουν το surge limit, οπότε σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορούμε να θεωρήσουμε ως όριο την αριστερότερη γραμμή. Στο παράδειγμα μας, και στις δύο περιπτώσεις κινούμαστε δεξιότερα του ορίου ασταθούς λειτουργίας, οπότε και παραμένουμε στην επιλογή του 60-1.

§1.11 Πλεονεκτήματα στροβιλοσυμπιεστή έναντι μηχανικού υπερσυμπιεστή (κομπρέσορα)

Το κύριο πλεονέκτημα του στροβιλοσυμπιεστή είναι ότι κινείται εκμεταλλευόμενος ένα μέρος της ενέργειας των καυσαερίων, το οποίο σε έναν ατμοσφαιρικό ή μηχανικά υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα μοιραία χάνεται ανεκμετάλλευτο προς το περιβάλλον. Ο κομπρέσορας όμως κινείται από το στρόφαλο, που σημαίνει ότι απορροφά μέρος της κινητικής του ενέργειας. Άρα ένα μέρος από την επιπλέον δύναμη που προσφέρει αναλώνεται στην ίδια του την κίνηση. Εν μέρει τι ίδιο συμβαίνει και στον στροβιλοσυμπιεστή, και το φαινόμενο είναι πιο έντονο όσο μειώνεται το μέγεθος του και το A/R της τουρμπίνας. Ο λόγος είναι ότι η ύπαρξη του στροβιλοσυμπιεστή στην εξαγωγή αυξάνει σημαντικά το backpressure εμποδίζοντας την τέλεια πλήρωση των κυλίνδρων, και έτσι μειώνοντας την πραγματική απόδοση του κινητήρα σε σχέση με την ιδανική που θα προσέφερε αυτή καθαυτή η αύξηση της πίεσης στην εισαγωγή. Και μάλιστα όσο ανεβαίνει η πίεση του στροβιλοσυμπιεστή τόσο αυξάνεται και το backpressure.

Ένας τυπικός κομπρέσορας είναι πολύ πιο ογκώδης και βαρύτες από ένα στροβιλοσυμπιεστή για την αντίστοιχη εφαρμογή, με την τάξη μεγέθους να είναι συνήθως τριπλάσια ως πενταπλάσια για τον κομπρέσορα. Αυτό δημιουργεί χωροταξικά προβλήματα και αυξάνει τη δυσκολία προσαρμογής του στον κινητήρα. Επίσης ο κομπρέσορας χρειάζεται ένα μηχανισμό κίνησης. Συνήθως επιστρατεύεται ιμάντας, οδοντωτός ή Poly-V. Φυσικά χρειάζονται οι ανάλογες τροχαλίες ή γρανάζια, εντατήρες για τον ιμάντα, βοηθητικές τροχαλίες και ούτω καθεξής. Αυτό σημαίνει ότι το βάρος, ο όγκος και οι μηχανικές απώλειες της εγκατάστασης αυξάνονται κι άλλο. Το ίδιο ισχύει και για το θόρυβο λειτουργίας, ο οποίος προκαλείται από το μηχανισμό κίνησης σε συνδυασμό με τους αεροδυναμικούς θορύβους στο εσωτερικό του κομπρέσορα. Αυτά τα δύο μαζί προκαλούν το χαρακτηριστικό βουητό (υπόκωφο σφύριγμα) που παράγει ένας κομπρέσορας.

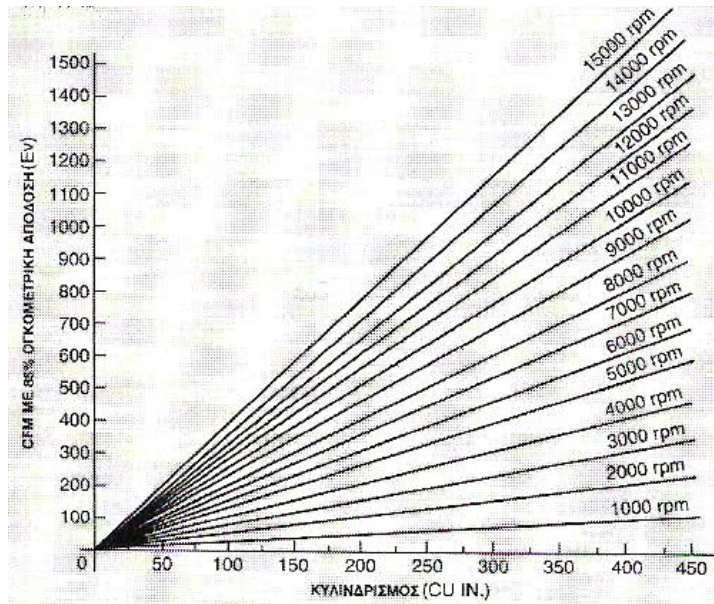
§1.12 Κριτήρια επιλογής στροβιλοσυμπιεστή

Τα κριτήρια για την επιλογή είναι η απόκριση του κινητήρα, η αναμενόμενη ισχύς και το ωφέλιμο πεδίο στροφών του. Συνήθως είναι εύκολο να συνδυάσουμε την ισχύ στις χαμηλές και μεσαίες στροφές ή τις μεσαίες και υψηλές, χωρίς πολλές απώλειες στην καθυστέρηση της απόκρισης, αντίσταση στη ροή των καυσαερίων και ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών. Υπάρχουν όμως δυσκολίες εάν επιθυμούμε να συνδυάσουμε όλα τα παραπάνω με ένα στροβιλοσυμπιεστή. Οι παράγοντες προς επιλογή είναι η διάμετρος της εξόδου του κελύφους εξαγωγής και οι διαθέσιμες επιλογές του λόγου A/R. Ο βασικός κανόνας είναι ότι όσο μικρότερη είναι η τουρμπίνα τόσο πιο γρήγορα αυξάνει πίεση και τόσο μικρότερη καθυστέρηση στην απόκριση παρουσιάζει. Αν

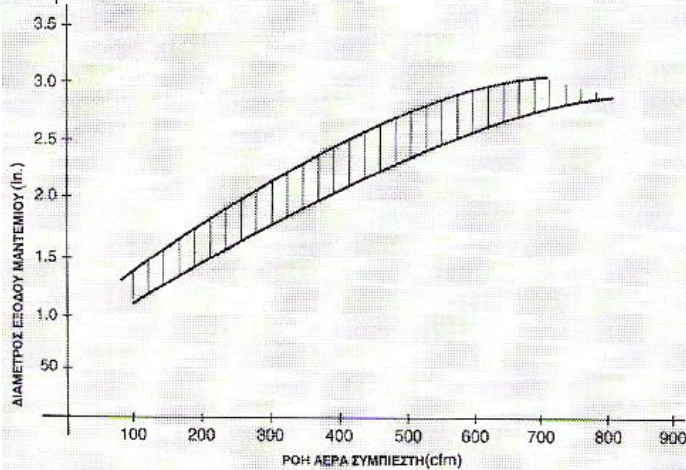
θέλουμε να περιορίσουμε την καθυστέρηση στην απόκριση επιλέγουμε μικρό λόγο A/R προσέχοντας την φτερωτή εξαγωγή να μην είναι πολύ μικρή ώστε να αποφύγουμε τυχόν 'φράξιμο' στην εισαγωγή του κινητήρα. Κάνοντας μετρήσεις της πίεσης στην πολλαπλή εισαγωγής και εξαγωγής μπορούμε να κρίνουμε εάν ο λόγος A/R είναι μικρός ή μεγάλος. Για να επιτύχουμε γρήγορη απόκριση και σωστή λειτουργία του κινητήρα, πρέπει η μέγιστη πίεση στο κέλυφος εξαγωγής να είναι μικρότερη από το διπλάσιο της μέγιστης πίεσης στην εισαγωγή του κινητήρα.

Επίσης υπάρχουν άλλες δύο παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, τα πεδία θερμοκρασίας και στροφών λειτουργίας που προδιαγράφει ο κατασκευαστής για την επιλογή του στροβιλοσυμπιεστή. Υπάρχει περίπτωση ο κινητήρας να αναπτύξει θερμοκρασίες πέρα από την αντοχή του στροβιλοσυμπιεστή ή να το περιστρέψει τόσο γρήγορα ώστε να καταστραφεί. Υπάρχει επίσης και το ενδεχόμενο να μην μπορεί να το περιστρέψει αρκετά γρήγορα ώστε να αποδώσει τα αναμενόμενα. Με τη βοήθεια πινάκων μπορούμε να αποφύγουμε τις παραπάνω ανεπιθύμητες περιπτώσεις.

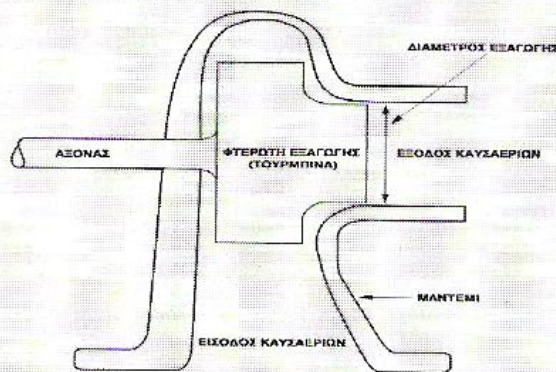
Παρακάτω παραθέτονται μερικές γραφικές παραστάσεις για την βοήθεια επιλογής στροβιλοσυμπιεστή.



Το παραπάνω γράφημα θα σας βοηθήσει να υπολογίσετε εύκολα τη βασική κατανάλωση του κινητήρα σας σε αέρα, αρκεί να μετατρέψετε τη χωρητικότητά του σε κυβικές ίντσες



Και έτσι θα υπολογίσετε χοντρικά την απαιτούμενη διάμετρο στο μαντέμι για να κινήσετε το συμπιεστή της παροχής που χρειάζεστε...



...ενώ εδώ βλέπετε για ποια ακριβώς διάμετρο μιλάμε

§1.13 Επισκευή και αναβάθμιση

Έχοντας αφαιρέσει το στροβιλοσυμπιεστή από τον κινητήρα, πρώτο μας μέλημα είναι ο σχολαστικός καθαρισμός όλων των εξαρτημάτων του στροβιλοσυμπιεστή, προκειμένου να αξιολογηθεί η κατάσταση τους και να ελεγχθεί η συμβατότητα τους με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Ο καθαρισμός του σώματος γίνεται αφήνοντας το για μερικά λεπτά μέσα σε ειδικό καθαριστικό, σαν αυτό που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εξαιρωτήρα (καρμπιρατέρ). Έτσι μαλακώνουν οι ανθρακώσεις από το λάδι του κινητήρα και απομακρύνονται τα περισσότερα ξένα σώματα από τις φωλιές των ένσφαιρων τριβών (ρούλμαν) και τις εσωτερικές πατούρες. Στη συνέχεια, υποβάλλουμε σε υαλοβολή το σώμα μαζί με τον άξονα (του οποίου το στέλεχος μονώνουμε ώστε να μην το καταστρέψουμε), το κέλυφος και τη φτερωτή του συμπιεστή. Πρόκειται για μια διαδικασία όμοια με την παραδοσιακή αμμοβολή, η οποία όμως είναι πιο ήπια με τις επιφάνειες και ενδείκνυται για μικρά και ευαίσθητα εξαρτήματα μεγάλης ακριβείας. Μια ειδική μηχανή δημιουργεί μια ελεγχόμενη θύελλα αέρα και λεπτής σκόνης γυαλιού, η οποία στο πέρασμα της πάνω από τις επιφάνειες αφαιρεί κάθε ξένο σώμα (κατάλοιπα καύσης, ανθρακώσεις και στερεοποιημένες αναθυμιάσεις λιπαντικού). Με υαλοβολή καθαρίζονται και όλα τα σχετικά εξαρτήματα του στροβιλοσυμπιεστή (ρακόρ, σωληνάκια, wastegate, κ.τ.λ.).

Με ανάλογο τρόπο, αλλά με σφαιριδιοβολή (χρησιμοποιούνται μικροσκοπικά σφαιρίδια οξειδίων του αργιλίου), καθαρίζεται η φτερωτή εξαγωγής (στρόβιλος) το οποίο φέρει πολύ πιο σκληρές και επίμονες ακαθαρσίες. Στη συνέχεια, καθαρίζουμε τα εξαρτήματα σχολαστικά με υγρό καθαριστικό και πεπιεσμένο αέρα, ώστε εξαλειφθεί ο κίνδυνος εισόδου στο κινητήρα καταλοίπων από την υαλοβολή ή τη σφαιριδιοβολή.

§1.14 Οπτικός και μετρητικός έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος είναι ο πρώτος κατά σειρά που πραγματοποιείται, εφόσον όλα τα εξαρτήματα έχουν καθαριστεί, και αφορά στην ύπαρξη μικρορωγμών στις φτερωτές και ζημιές στην επιφάνεια του στελέχους από έλλειψη λίπανσης. Εάν διαπιστωθούν τυχόν μικρορωγμές ή ζημιές οι οποίες έχουν δημιουργηθεί από την επαφή με τα κελύφη ή με ξένα σώματα, τότε τα εξαρτήματα αυτά δεν μπορούν να επισκευαστούν και συνεπώς αντικαθίστανται με καινούργια. Εκτός αυτών, ελέγχουμε και τα κελύφη του στροβίλου και του συμπιεστή για τυχόν σημάδια από επαφή τους με τις φτερωτές ή ξένα σώματα και ειδικότερα στο κέλυφος του στροβίλου αναζητούμε ρωγμές. Μεγάλη προσοχή δίνουμε στη βαλβίδα του wastegate και την έδρα της, για ρωγμές και ανωμαλίες που προκαλούν απώλεια στεγανότητας και διαρροή καυσαερίων. Επίσης ελέγχουμε

το μηχανικό της μέρος, δηλαδή το βραχίονα της βαλβίδας και τις αρθρώσεις του, για τυχόν εμπλοκές στη κίνηση λόγω φθοράς ή ανθρακώσεις. Στη συνέχεια με το μικρόμετρο ελέγχουμε τις επιφάνειες τριβής στο στέλεχος του άξονα. Εάν αυτές βρίσκονται εκτός λειτουργικών ορίων (βάσει του εγχειριδίου του κατασκευαστή του στροβίλοσυμπιεστή), τότε ο άξονας υπόκειται στη διαδικασία του ρεκτιφιέ και χρησιμοποιούνται παχύτερα (oversize) έδρανα ολισθήσεως (κουζινέτα). Αυτό βέβαια εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλους στροβίλοσυμπιεστές πετρελαιοκινητήρων των οποίων οι κατασκευαστές διαθέτουν παχύτερα έδρανα ολισθήσεως. Έπειτα κεντράρουμε τον άξονα σε τόρνο και με το μετρητικό ρολόι που είναι προσαρμοσμένο στον εργαλειοδέτη εξετάζουμε την εκκεντρότητα του άξονα σε διάφορα σημεία. Έτσι μπορούμε να διαπιστώσουμε αν έχει μονόπλευρες φθορές ή αν έχει στραβώσει. Εάν ο άξονας είναι στραβός, πράγμα που επηρεάζει τη ζυγοστάθμιση του και φθείρει πρόωρα τα έδρανα ολισθήσεως και τα θρός, υπάρχει τρόπος να ισιώσει και να επανέλθει στις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Εκτός από τον άξονα μετράμε και το σώμα, στο σημείο που εδράζονται τα έδρανα ολισθήσεως, τα οποία λόγω του παραπάνω τζόγου που προέρχεται από την προχωρημένη φθορά μπορεί να καταλήξει στην καταστροφή τους με αποτέλεσμα όλο το σώμα να θέλει αντικατάσταση ή σε περιπτώσεις μεγάλων στροβίλοσυμπιεστών να πρέπει να γίνει ρεκτιφιέ στις φωλιές και να χρησιμοποιηθούν ανάλογα έδρανα ολισθήσεως.

§1.15 Ζυγοστάθμιση - VSR

Στη συνέχεια είναι η διαδικασία της ζυγοστάθμισης του συνόλου άξονα – κομπρέσορα, δηλαδή του ρότορα. Αρχικά, και πριν την αποσυναρμολόγηση του κάρτριτζ, μαρκάρουμε τη θέση του κομπρέσορα ως προς τον άξονα. Αυτό γίνεται για να έχουμε μια όσο το δυνατόν καλύτερη ζυγοστάθμιση σε σχέση με αυτή του κατασκευαστή. Για μια επιτυχημένη ζυγοστάθμιση του κομπρέσορα πρέπει αυτός να τοποθετηθεί στο ειδικό μηχάνημα ζυγοστάθμισης ρότορα. Εκεί τοποθετείται ο άξονας που περιστρέφεται στις 3000 με 3500 rpm. Ένα φωτοκύτταρο ανιχνεύει τα σημάδια που έχουμε βάλει στον κομπρέσορα τα οποία χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για τη ζυγοστάθμιση. Ενώ περιστρέφεται ο ρότορας, στις οθόνες του μηχανήματος βλέπουμε τη γωνία (που σχηματίζεται βάσει των σημείων αναφοράς) της φτερωτής όπου πρέπει να αφαιρεθεί το απαιτούμενο βάρος μετάλλου για την ζυγοστάθμιση. Επίσης η μύτη της φτερωτής έχει μια ποσότητα μετάλλου η οποία προορίζεται για την σταδιακή της αφαίρεση κατά τη ζυγοστάθμιση του συνόλου κάρτριτζ – άξονα – φτερωτών, με τη βοήθεια του μηχανήματος VSR το οποίο αναλύεται παρακάτω.

Στη συνέχεια, εφόσον έχουμε ολοκληρώσει το πρώτο στάδιο της ζυγοστάθμισης, συναρμολογούμε το στροβίλοσυμπιεστή έχοντας ένα πλήρες κιτ επισκευής από τον κατασκευαστή. Το κιτ αυτό περιλαμβάνει: καινούργια έδρανα ολισθήσεως, ελατήρια στεγανοποίησης, θρός και ασφάλειες, καθώς και

διάφορες φλάντζες, καινούργιο φλίνγκερ, βίδες, παξιμάδια φτερωτής, λιπαντικό, σιλικονούχο κόλλα και κόλλα σπειρωμάτων. Κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης, καθοριστικό ρόλο παίζει η λίπανση όλων των κινούμενων μερών με άφθονο και καλής ποιότητας λάδι, (εφόσον δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί η διαδικασία του μηχανήματος VSR), επειδή θα είναι η μοναδική λίπανση του στροβιλοσυμπιεστή όταν τοποθετηθεί επάνω στον κινητήρα έως ότου ανεβάσει την απαιτούμενη πίεση λαδιού. Αρχικά συναρμολογούμε τα έδρανα ολισθήσεως και τοποθετούμε τις ασφάλειές τους που περιορίζουν την παράλληλη (προς τον άξονα του στροβιλοσυμπιεστή) κίνηση τους. Συναρμολογούμε το πλακάκι του αλουμινίου (backplate) και την καμπάνα στη πλευρά της εξαγωγής. Στη συνέχεια περνάμε τον άξονα και ελέγχουμε τη σωστή συναρμογή του μέχρι τώρα συνόλου και την ελευθερία κίνησης. Ακολουθούν η τοποθέτηση του φλίνγκερ, του θρός και του πλακιδίου και σφίγγονται οι σχετικές βίδες.

Το σημείο το οποίο θέλει μεγάλη προσοχή είναι η τοποθέτηση του συμπιεστή, αφενός για την σωστή αντιστοίχιση των σημείων αναφοράς της ζυγοστάθμισης αφετέρου γιατί κατά το σφίξιμο και την αποσυναρμολόγηση είναι πολύ εύκολο να στραβώσει ο άξονας. Υπάρχει ένας ειδικός τρόπος με τον οποίο κοντράρουμε τον άξονα στο σφίξιμο: βάζουμε στη μέγγενη μια ειδική βάση με κατάλληλες υποδοχές, μέσα στις οποίες μπαίνουν τα πτερύγια του στροβίλου. Τοποθετούμε το σώμα με τον άξονα στη βάση αυτή, συναρμολογούμε τον συμπιεστή και σφίγγουμε το παξιμάδι στη προδιαγεγραμμένη από τον κατασκευαστή ροπή σύσφιξης, χρησιμοποιώντας πάντα ροπόκλειδο.

Έχοντας ένα πλήρες κάρτριτζ, δηλαδή το σώμα του στροβιλοσυμπιεστή μαζί με το ρότορα και τα κουζινέτα θρός, δένουμε τον άξονα στον τόρνο και εφάπτουμε την ακμή του μετρητικού ρολογιού στο backplate. Περιστρέφουμε τον άξονα σε χαμηλή ταχύτητα, κρατώντας το σώμα για να μην παρασυρθεί και περιστραφεί. Ο παλμός της βελόνας του ρολογιού μας δείχνει εκ νέου την εκκεντρότητα του άξονα, μην τυχόν έχει στραβώσει στο σφίξιμο. Σταματάμε τον τόρνο και κινούμε με το χέρι ακτινικά το κάρτριτζ (κάθετα στον άξονα) ώστε το ρολόι να μας δείχνει τις ακτινικές ανοχές τις οποίες συγκρίνουμε με αυτές του κατασκευαστή. Εάν δεν υπάρχουν τότε η συναρμολόγηση δεν έχει γίνει σωστά λόγω κακού κεντραρίσματος εξαρτημάτων ή τυχόν ακαθαρσιών. Εάν οι ανοχές είναι πολύ μεγάλες, τότε δεν έχει γίνει σωστό μέτρημα πριν τη συναρμολόγηση και κάποια διάσταση ήταν ήδη εκτός προδιαγραφών. Επίσης μετατοπίζουμε το ρολόι, ώστε να μετράει τις αξονικές ανοχές (παράλληλα με τον άξονα του στροβιλοσυμπιεστή). Έτσι επιτυγχάνουμε τον έλεγχο της συναρμογής καθώς και τη λειτουργικότητα του συνόλου θρός – φλίνγκερ, κινώντας το κάρτριτζ αξονικά.

Έχοντας ολοκληρώσει όλα τα παραπάνω στάδια του ποιοτικού ελέγχου, προχωρούμε στη διαδικασία της δυναμικής ζυγοστάθμισης του κάρτριτζ στο μηχάνημα VSR (vibration sorting) ή διαχωρισμός κραδασμών. Πρόκειται για ένα μηχάνημα δυναμικής ζυγοστάθμισης του κάρτριτζ, δηλαδή του

συναρμολογημένου στροβιλοσυμπιεστή χωρίς τα κελύφη του. Το VSR προσφέρει ζυγοστάθμιση μεγάλης ακρίβειας, περιστρέφοντας τον στροβιλοσυμπιεστή σε ταχύτητες από 100.000 έως 200.000 rpm ανάλογα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και όπως προκύπτει από τα χαρακτηριστικά του, δηλαδή τη διάμετρο του άξονα και των φτερωτών. Το VSR παρέχει στο στροβιλοσυμπιεστή ειδικό λάδι για την λίπανσή του και τον έλεγχο στεγανότητάς του, στη προδιαγραφόμενη πίεση και παροχή. Παράλληλα παρέχει πεπιεσμένο αέρα στο στρόβιλο, ο οποίος θέτει σε κίνηση το ρότορα . Ειδικοί αισθητήρες μετρούν την ταχύτητα του αέρα και του ρότορα, την πίεση του λαδιού και του αέρα σε μαντέμι και αλουμίνιο και κυρίως τις ακτινικές επιταχύνσεις που προκαλούνται από την έλλειψη ζυγοστάθμισης. Αυτές μετρώνται σε G το μέγεθος που χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση της βαρύτητας. Το VSR απεικονίζει γραφικά στη οθόνη του το διάγραμμα ζυγοστάθμισης του στροβιλοσυμπιεστή σε όλη την κλίμακα των στροφών. Στη συνέχεια, ανατρέχοντας στη βάση δεδομένων του, συγκρίνει τα αποτελέσματα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και μας πληροφορεί πόσο αζυγοστάθμιστος είναι ο ρότορας και από ποιο σημείο στη περιφέρεια του αντίβαρου (του μετάλλου στη μύτη του κομπρέσορα) πρέπει να αφαιρέσει συγκεκριμένη ποσότητα μετάλλου. Οι εργοστασιακές προδιαγραφές συνήθως αποδέχονται επιταχύνσεις της τάξεως των 2 με 2,5 G στο μέγιστο ρυθμό περιστροφής και μεγαλύτερες τιμές στις ενδιάμεσες στροφές. Για μικρότερους στροβιλοσυμπιεστές τα νούμερα αυτά είναι πολύ μεγαλύτερα, καθώς είναι πολύ δύσκολη η ακριβής ζυγοστάθμισή τους, λόγω των μικρών διαστάσεων, των πολύ λεπτών απαιτούμενων επεμβάσεων και του πολύ υψηλού ρυθμού περιστροφής τους που μπορεί να φτάσει τις 180.000 rpm.

Αφού ολοκληρώσουμε τη διαδικασία του VSR, τοποθετούμε τις βοηθητικές σωληνώσεις , τα κελύφη του στροβίλου και του συμπιεστή καθώς και τον ρυθμιστή πίεσης (wastegate). Επειδή το wastegate είναι πολύ κρίσιμο για την λειτουργία και την αξιοπιστία του στροβιλοσυμπιεστή και του κινητήρα, ελέγχουμε σχολαστικά τη λειτουργικότητά του. Με την ειδική αντλία και το μετρητικό ρολόι ελέγχουμε την έκταση του άξονα του (actuator) σε συγκεκριμένες πιέσεις και τη συγκρίνουμε με τις προδιαγραφές. Εάν δεν συμπίπτουν τότε το wastegate πρέπει να αντικατασταθεί με ένα νέο.

§1.16 Εσωτερική Αναβάθμιση

Από το service ενός στροβιλοσυμπιεστή μπορούμε να βελτιώσουμε το εσωτερικό του. Στόχος είναι η αύξηση της αντοχής, της αξιοπιστίας καθώς και της ροϊκής, ογκομετρικής και θερμοδυναμικής απόδοσης. Για να επιτύχουμε τα παραπάνω κάνουμε τα εξής: αναβαθμίζουμε το κουζινέτο θρός, αναδιαμορφώνουμε τον άξονα και το κέλυφος του συμπιεστή με τη βοήθεια των διεργασιών cutback και reprofiling αντιστοίχως.

Η αναβάθμιση στο θρός έγκειται με την τοποθέτηση ενός θρός 360°. τα εργοστασιακά θρός στους περισσότερους στροβιλοσυμπιεστές είναι ένας δίσκος, από τον οποίο λείπει ένα εγκάρσιο κομμάτι. Αυτό το κενό προσφέρει μεγάλη κατασκευαστική ευκολία αλλά και μεγάλη μείωση του κόστους, επειδή διευκολύνει τη συναρμολόγηση και επιτρέπει τη χρήση μονοκόμματου φλίνγκερ που ενσωματώνει και τις δύο επιφάνειες τριβής στο ίδιο εξάρτημα. Ένα θρός 360° δεν έχει κενό στην επιφάνειά του, η οποία αυτομάτως γίνεται μεγαλύτερη και υπόκειται σε μικρότερες καταπονήσεις, παρουσιάζοντας μεγαλύτερη αντοχή, μακροζωία και αξιοπιστία. Παρόλα αυτά, απαιτεί την τροποποίηση ή την εκ νέου κατασκευή του φλίνγκερ, το οποίο πλέον είναι διαιρούμενο για να μπορεί να συναρμολογηθεί και να λειτουργήσει. Τα κιτ θρός 360° περιλαμβάνουν θρός και φλίνγκερ. Η χρήση αναβαθμισμένου θρός επιτρέπει στον στροβιλοσυμπιεστή να λειτουργήσει αξιόπιστα σε μεγαλύτερους λόγους πίεσης, χωρίς τον κίνδυνο να υποχωρήσει το φιλμ λαδιού και να έρθει σε άμεση επαφή το θρός με το φλίνγκερ. Στους στροβιλοσυμπιεστές που από κατασκευής τους είναι εξοπλισμένοι με θρός 360° η αναβάθμιση έγκειται στη χρήση ειδικά σχεδιασμένων θρός εμπορίου και φλίνγκερ ώστε η επιφάνεια τριβής να είναι μεγαλύτερη. Οι διαμορφώσεις λίπανσης στο σώμα του πρέπει να βελτιστοποιούν τη ροή του λιπαντικού και να ευνοούν τη διατήρηση ενός ανθεκτικού φιλμ. Επίσης ένα αναβαθμισμένο θρός εξασφαλίζει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στον στροβιλοσυμπιεστή.

Οι διεργασίες cutback και reprofiling είναι αναδιαμορφώσεις του άξονα και του κελύφους του συμπιεστή αντίστοιχα, για μεγαλύτερη και πιο απρόσκοπτη ροή των αερίων. Η διεργασία cutback του άξονα είναι η αφαίρεση μετάλλου από τις από τις άκρες των πτερυγίων της φτερωτής εξαγωγής στον άξονα του στροβιλοσυμπιεστή. Το μέγεθος της διαμόρφωσης μετριέται σε μοίρες, οι οποίες εκφράζουν τη γωνία που έχει το νέο επίπεδο που σχηματίζουν οι αναδιαμορφωμένες άκρες των πτερυγίων σε σχέση με το αρχικό. Με τη διεργασία cutback αυξάνεται το διάκενο ανάμεσα στις άκρες των πτερυγίων, απ' όπου περνούν τα καυσαέρια οδηγούμενα προς την έξοδο του στροβίλου. Είναι απαραίτητη διαδικασία όταν θέλουμε να αυξήσουμε την ισχύ ενός υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα ή όταν τοποθετούμε εκ των υστέρων έναν στροβιλοσυμπιεστή σε ένα κινητήρα που θα αποδώσει μεγαλύτερη ισχύ από εκείνη για την οποία είχε σχεδιαστεί ο χρησιμοποιούμενος στροβιλοσυμπιεστής. Επειδή θα έχουμε μεγαλύτερη ισχύ, αυτό συνεπάγεται με μεγαλύτερη ποσότητα παραγόμενων καυσαερίων, δεδομένης της μεγαλύτερης ποσότητας καταναλισκόμενου καυσίμου μίγματος. Αν τα πτερύγια του στροβίλου εμπόδιζαν τη ροή των επιπλέον καυσαερίων, ο στροβίλος θα είχε μια επιπλέον αντίσταση και επίσης θα ανέβαινε το backpressure πριν το στροβιλοσυμπιεστή, με δυσμενής έως και καταστροφικές συνέπειες (πτώση της απόδοσης και μεγάλες υπερθερμάνσεις).

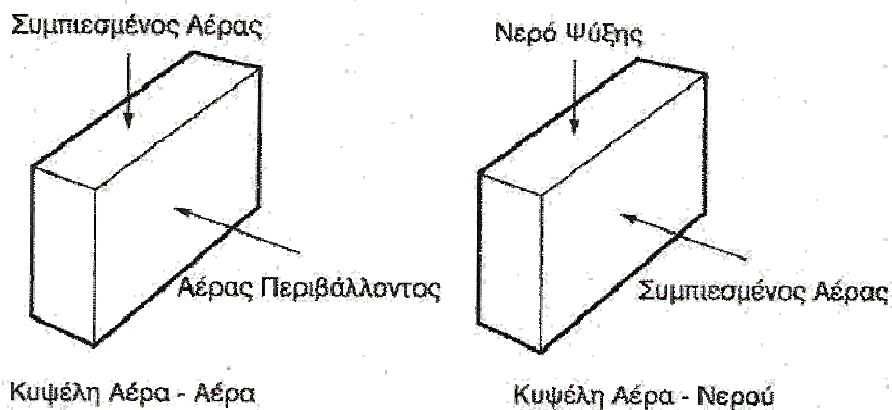
Το reprofiling είναι η μηχανουργική κατεργασία του κελύφους συμπίεσης για την αναδιαμόρφωσή του και την απελευθέρωση της ροής του εισερχομένου και

του συμπιεσμένου αέρα. Στο reprofiling του κελύφους συμπίεσης διανοίγεται η είσοδος και η έξοδος του αέρα, αναδιαμορφώνονται διάφορες γωνίες και γυαλίζονται τα περάσματα του αέρα στον διασπορέα (όπου αυτό είναι δυνατόν). Σε πολλές περιπτώσεις το κέλυφος συμπίεσης έχει περίσσεια μετάλλου και προσφέρεται για εκτεταμένη αφαίρεση του, ώστε να μπορεί στον στροβιλοσυμπιεστή να προσαρμοστεί ένα κομπρέσορα με μεγαλύτερο trim ή ένα trim μεγαλύτερης διαμέτρου. Αυτή η αλλαγή είναι απλή στη διεκπεραίωση αλλά για να γίνει σωστά και για να αποδώσει με επιτυχία, πρέπει να τηρηθεί μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία επειδή δεν αρκεί απλώς να τοποθετηθεί ένας μεγαλύτερος συμπιεστής. Η ακριβής συσχέτιση διάστασης και trim, σε συνδυασμό με τη σωστή επιλογή του λόγου A/R του κελύφους του συμπιεστή, θα προσφέρει άνετη και άμεση περιστροφή του στροβιλοσυμπιεστή και θα διασφαλίσει την ικανοποίηση των απαιτήσεών μας για πίεση και ροή. Με τη βοήθεια διάφορων προγραμμάτων μπορούμε να εξομοιώσουμε σε έναν υπολογιστή τους διάφορους συνδυασμούς που θα ορίσουμε, δίνοντας μας χρήσιμες και σχετικά αξιόπιστες θεωρητικές πληροφορίες. Για να εξακριβώσουμε τα παραπάνω χρησιμοποιούμε ένα ειδικό ροόμετρο που αποτελεί εξάρτημα ορισμένων μηχανημάτων VSR το οποίο μας δίνει με μεγάλη ακρίβεια το αποτέλεσμα της αύξησης της διατομής κατά τη διαδικασία της ζυγοστάθμισης, κατά την οποία εξομοιώνεται η λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή σε πραγματικές συνθήκες.

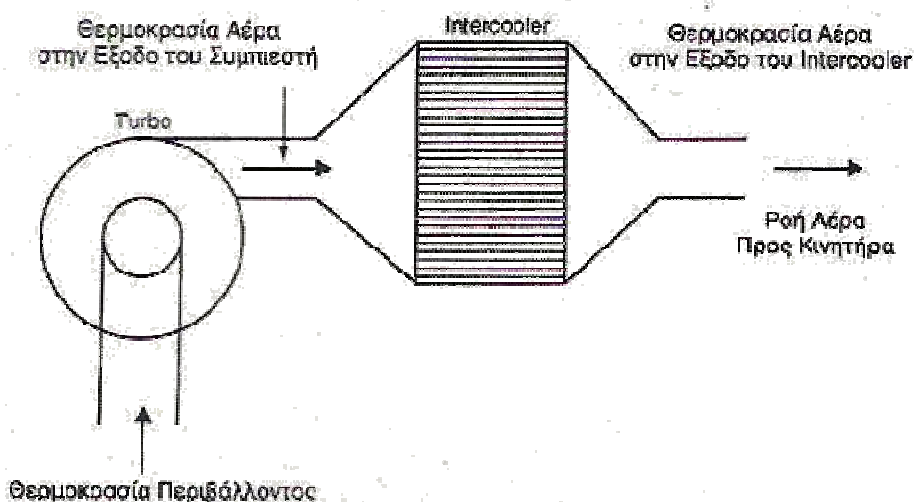
§1.17 Intercoolers

Αναγκαία και βασική προϋπόθεση για την εγκατάσταση ενός στροβιλοσυμπιεστή είναι η χρήση intercooler (ψυγείο αέρος – αέρος). Το intercooler ψύχει τον αέρα που συμπιέζει ο στροβιλοσυμπιεστής πριν μπει στην εισαγωγή του κινητήρα. Η σημασία του είναι σημαντική επειδή χωρίς αυτό είναι ανέφικτη η σωστή λειτουργία με πιέσεις άνω των 0,5 bar, αφού ανεβαίνουν δραματικά οι θερμοκρασίες στο θάλαμο καύσης, καταπονείται ο κινητήρας, μειώνεται η απόδοση του και στις περισσότερες περιπτώσεις προκαλούνται κύματα προανάφλεξης. Από την άλλη το intercooler πρέπει να είναι ειδικά μελετημένο για την κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή, ώστε να ψύχει επαρκώς τον αέρα και να μην εμποδίζει τη ροή του στο κύκλωμα, επιφέροντας πτώση της πίεσης στην έξοδο του.

Υπάρχουν μόνο δυο είδη intercooler τα οποία είναι : τα αέρος – αέρος και τα αέρος – νερού.

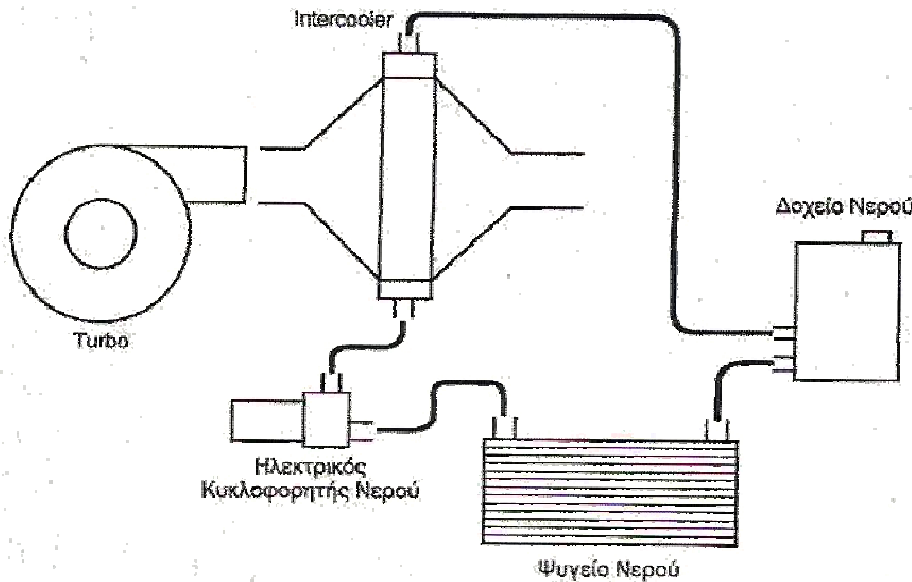


Στα αέρος – αέρος, ο αέρας του κινητήρα ψύχεται μέσω του αέρα του περιβάλλοντος. Πρόκειται για την πιο κλασική περίπτωση που συνδυάζει μικρό κόστος με σχετικά ικανοποιητικούς βαθμούς απόδοσης. Για να είναι όσο το πιο δυνατόν αποδοτικό, χρειάζεται προσοχή στην εγκατάσταση του ώστε να αερίζεται επαρκώς. Επίσης σπουδαίο ρόλο παίζουν οι διαστάσεις του, ο αριθμός και το μήκος των κυψελών του (επειδή επηρεάζουν άμεσα την ψυκτική τους ικανότητα) και ο εσωτερικός του όγκος. Καλό θα ήταν να μην τοποθετούμε ένα μεγάλο σε διαστάσεις intercooler γιατί θα έχουμε και την ανάλογη καθυστέρηση στην απόκριση, για το λόγο ότι εκτός από τον όγκο της πολλαπλής εισαγωγής και των σωληνώσεων του στροβιλοσυμπιεστή, θα πρέπει να γεμίσει με πεπιεσμένο αέρα πριν αρχίσει η διαδικασία της υπερπλήρωσης. Έτσι, ο χρόνος που χρειάζεται το intercooler μέχρι να βρεθεί υπό πίεση το περιεχόμενό του αθροίζεται στο συνολικό χρόνο καθυστέρησης της απόκρισης (lag time).



Σε αγωνιστικές εφαρμογές ή λόγω περιορισμένου χώρου, χρησιμοποιούνται intercoolers αέρος – νερού. Επειδή το ψυκτικό μέσο (νερό) έχει πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα (που συχνά είναι ήδη ζεστός και αραιός λόγω της θερμοκρασίας στο χώρο του κινητήρα), αυτά τα intercoolers (water intercoolers – chargecoolers) έχουν πολύ μεγάλο βαθμό απόδοσης, δηλαδή ψύχουν πολύ καλύτερα τον αέρα από τα intercoolers αέρος – αέρος.

Επίσης δεν χρειάζονται μεγάλο περιεχόμενο όγκο για να είναι αποδοτικά, και περιορίζουν με τη σειρά τους την συνολική καθυστέρηση στην απόκριση. Το νερό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα με αυτόνομη αντλία ψύχεται σε δικό του ψυγείο, σαν εκείνο του κινητήρα. Τέτοια intercoolers έχουν υψηλό κόστος και δεν προτιμούνται από κατασκευαστές και βελτιωτές παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.



Υπάρχει βέβαια συνδυασμός των δύο τύπων, δηλαδή intercoolers δύο σταδίων (αέρος – αέρος και αέρος – νερού) τα οποία χρησιμοποιούνταν μόνο στα Ford Sierra RS 500 και Ford Escort Cosworth.

§1.18 Υπολογισμοί για τα intercooler

Μερικά βασικά μεγέθη για το intercooler είναι τα εξής:

1. Μεταβολή πυκνότητας εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα,
2. Συντελεστής απόδοσης του intercooler,
3. Καθυστέρηση στην απόκριση (lag) λόγω intercooler,
4. Πτώση πίεσης.

Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται ως εξής:

1. **Μεταβολή πυκνότητας:** βάση αυτού του μεγέθους καταλαβαίνουμε πόσο πιο πυκνός θα είναι ο αέρας στην εισαγωγή του κινητήρα αφού αυτός ψυχθεί από το intercooler.

Μεταβολή πυκνότητας εισερχόμενου αέρα =

$$= \frac{\text{Αρχική απόλυτη θερμοκρασία}}{\text{Τελική απόλυτη θερμοκρασία}} - 1$$

Η απόλυτη θερμοκρασία είναι σε βαθμούς Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) ή σε βαθμούς Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Έστω ότι έχουμε στην έξοδο του στροβιλοσυμπιεστή αέρα θερμοκρασίας 150°C και το intercooler τον ψύχει στους 80°C στην έξοδο του. Ο παραπάνω τύπος θα έχει ως εξής:

Μεταβολή πυκνότητας εισερχόμενου αέρα =

$$= \frac{150 + 273}{80 + 273} - 1 =$$

$$= \frac{423}{353} - 1 = 0,2 * 100 \% = 20 \%$$

2. Συντελεστής απόδοσης: είναι το κύριο κριτήριο για την επιλογή ενός intercooler το οποίο συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή του.

$$\text{Βαθμός απόδοσης} = \frac{\Theta \text{ εισόδου intercooler} - \Theta \text{ εξόδου intercooler}}{\Theta \text{ εισόδου intercooler} - \Theta \text{ περιβάλλοντος}} =$$

Έστω ότι έχουμε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C στην είσοδο του στροβιλοσυμπιεστή, θερμοκρασία εισόδου intercooler 120°C , και θερμοκρασία εξόδου intercooler 60°C . Οπότε :

$$\text{Βαθμός απόδοσης} = \frac{120 - 60}{120 - 20} = \frac{60}{100} = 0.6 * 100\% = 60\%$$

Για να διαλέξουμε το καταλληλότερο για την εφαρμογή μας intercooler, αν έχουμε στη διάθεσή μας διαφορετικά μοντέλα με διαφορετικό συντελεστή απόδοσης, αρκεί να ξέρουμε τις θερμοκρασίες που αναπτύσσει ο στροβιλοσυμπιεστής και το βαθμό απόδοσης του intercooler, και κατόπιν να προσδιορίσουμε τη θερμοκρασία που θα έχει ο αέρας όταν θα εξέρχεται από αυτό. Συγκρίνοντας τη θερμοκρασία του με την επιθυμητή και συνυπολογίζοντας πρακτικούς παράγοντες (όπως η πτώση πίεσης που προκαλεί το εκάστοτε μοντέλο, την αντίστασή του, τις διαστάσεις του κ.τ.λ.), και καταλήγουμε στο intercooler που είναι ιδανικό για την περίπτωση μας.

3. Υπολογισμός του turbo lag λόγω του intercooler: όσο πιο μεγάλο είναι ένα intercooler, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του όπως επίσης και το turbo lag. Πρέπει όμως πάντα να προσέχουμε το εξής: αν αυξήσουμε κατά 10% τον όγκο ενός intercooler το οποίο έχει απόδοση 70%, η αύξηση της απόδοσης του θα προέρχεται από την μείωση του ποσοστού θερμότητας που δεν καταφέρνει να αποβάλλει το intercooler. Αυτό σημαίνει ότι το 10% θα αφαιρεθεί από το 30% που υπολείπεται η απόδοση του intercooler σε σχέση με την ιδανική (100%), οπότε η απόδοση θα έχει ως εξής: $70\% + (30\% * 10\%) = 70\% + 3\% = 73\%$. Από αυτό προκύπτει πως η αύξηση της απόδοσης ενός intercooler δεν είναι γραμμικός ανάλογη της αύξησης του όγκου του, αντίθετα με την αύξηση του lag. Γι' αυτό το μέγεθος ενός intercooler πρέπει να έχει λογικές διαστάσεις και χωρητικότητες.

$$\text{Lag λόγω intercooler} = \frac{\text{Κυβισμός κινητήρα}}{\text{Ροή εισερχομένου αέρα στη μονάδα του χρόνου}} * \text{λόγος πίεσης}$$

Έστω ένας κινητήρας με πίεση υπερπλήρωσης 1 bar, στις 4000 rpm. Ο λόγος πίεσης θα είναι 2 (1 bar η ατμοσφαιρική πίεση και άλλο 1 bar η πίεση υπερπλήρωσης), ο όγκος του intercooler είναι 5000 cc και η παροχή αέρα σ' αυτές τις στροφές θα είναι 2000 lit / min. Οπότε :

$$\text{Lag λόγω intercooler} = \frac{5000 \text{ cc}}{2000 \text{ lit / min}} * \frac{60 \text{ sec / min}}{1000 \text{ cc / lit}} * 2 =$$

$$\text{Lag λόγω intercooler} = 0,3 \text{ sec}$$

4. Πτώση πίεσης: όλα τα intercoolers παρουσιάζουν αντίσταση κατά τη ροή του αέρα διαμέσου των κυψελών τους, με αποτέλεσμα την πτώση της πίεσης του συμπιεσμένου αέρα, όταν αυτός εξέρχεται από το intercooler. Ωστόσο αυτή η πτώση πίεσης αντισταθμίζεται και καθίσταται αμελητέα λόγω της αύξησης της πυκνότητας του αέρα που συνεπάγεται η ψύξη του με τη χρήση intercooler. Θα υπολογίσουμε την πτώση πίεσης αρχικά σε ένα αυτοκίνητο που δεν έχει intercooler και τοποθετείται εκ των υστέρων, και στη συνέχεια αντικαθιστώντας ένα intercooler με δεδομένη τιμή πτώσης πίεσης με ένα άλλο που να έχει απόδοση ίδιου βαθμού, αλλά να είναι ροϊκά καλύτερο, ώστε να ρίχνει λιγότερο την πίεση στην έξοδο του. Έτσι θα εξάγουμε το ποσοστό βελτίωσης της απόδοσης του κινητήρα που συνεπάγεται αυτή η αλλαγή. Έστω ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 0,97 bar

και η πίεση υπερπλήρωσης στην εισαγωγή του intercooler είναι 0,82 bar, ενώ στην έξοδο του 0,77 bar. Η ποσοστιαία απώλεια πίεσης υπολογίζεται ως εξής:

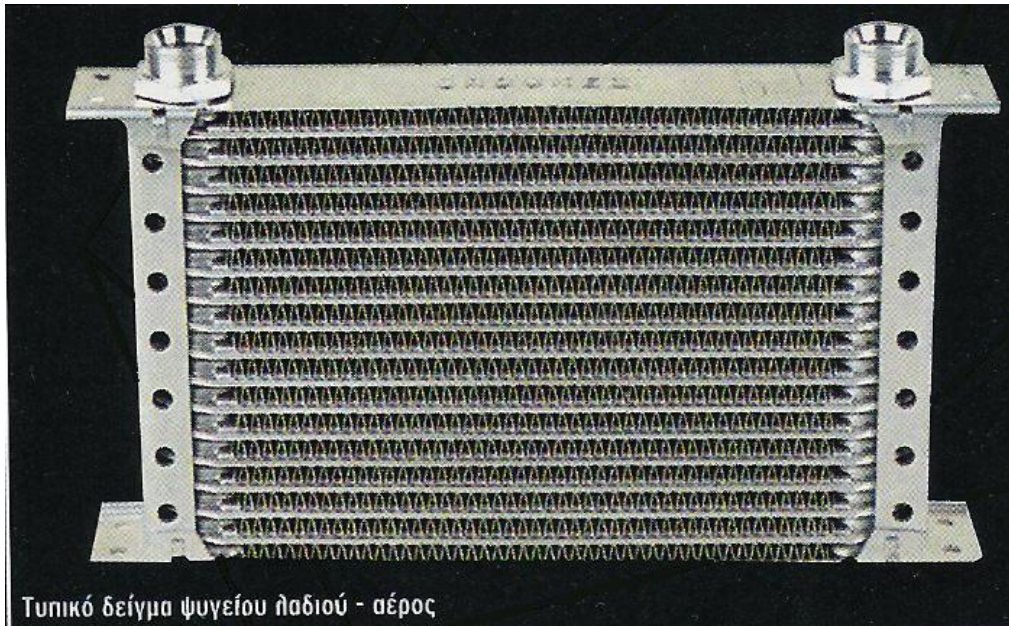
$$\begin{aligned} \text{Πτώση \%} &= 1 - \frac{\text{P απόλυτη εξαγωγή}}{\text{P απόλυτη εισαγωγή}} * 100\% = \\ &= 1 - \frac{0,97 + 0,77}{0,97 + 0,82} * 100\% = 1 - \frac{1,74}{1,79} * 100\% = 3\% \end{aligned}$$

Έστω ότι αντικαταστήσαμε το παραπάνω intercooler '1' με ένα άλλο intercooler '2' που εμφανίζει μικρότερη πτώση πίεσης στην εξαγωγή του, και η πίεση τελικά λαμβάνει την τιμή 1,77 bar.

$$\begin{aligned} \text{Βελτίωση \%} &= 1 - \frac{\text{P απόλυτη εξόδου intercooler '1'}}{\text{P απόλυτη εισόδου intercooler '2'}} * 100\% = \\ \text{Βελτίωση \%} &= 1 - \frac{1,74}{1,77} * 100\% = 2\% \end{aligned}$$

§1.19 Ψυγεία Λαδιού

Το λιπαντικό ενός υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα υποφέρει, λόγω των αυξημένων καταπονήσεων και των θερμικών φορτίων που συνεπάγεται το έργο της λίπανσης και ψύξης του υπερσυμπιεστή. Γι' αυτό συχνά η θερμοκρασία του ανεβαίνει υπερβολικά με αποτέλεσμα να μην μπορεί να δημιουργήσει ένα ανθεκτικό προστατευτικό φιλμ στις τριβόμενες επιφάνειες και να γίνεται ανεπαρκής η λιπαντική ικανότητα. Όπως και με τα intercoolers υπάρχουν δύο τύποι: λαδιού – αέρος και λαδιού – νερού. Τα αέρος ψύχονται όπως και τα intercoolers, ενώ τα νερού ψύχονται μέσω του ψυκτικού υγρού του κινητήρα. Τα τελευταία εξασφαλίζουν το πλεονέκτημα της σχεδόν ίσης θερμοκρασίας λαδιού και ψυκτικού ανά πάσα στιγμή, ενώ όταν ο κινητήρας είναι κρύος ζεσταίνουν το λάδι ταχύτερα.



Τυπικό δείγμα ψυγείου λαδιού - αέρος

Η προσαρμογή ενός ψυγείου λαδιού είναι σχετικά εύκολη υπόθεση, αφού προσφέρονται συνήθως ως ολοκληρωμένα κιτ με σωληνώσεις, ψυγείο και αντάπτορα, ο οποίος βιδώνει μεταξύ μπλοκ κινητήρα και φίλτρου λαδιού και εκτρέπει το λάδι στο ψυγείο προτού περάσει από το φίλτρο και διοχετευτεί στο κυρίως κύκλωμα λίπανσης. Μερικοί αντάπτορες διαθέτουν και θερμοστάτη, ειδικά όταν πρόκειται για ψυγεία λαδιού αέρος, ώστε να μην ψύχεται υπερβολικά το λάδι και χάνει πάλι τις ιδιότητές του.

§1.20 Water Injection Systems (Συστήματα ψεκασμού νερού)

Ο ψεκασμός νερού σε υπερτροφοδοτούμενα και ατμοσφαιρικά αυτοκίνητα ξεκινάει από τις αρχές του αιώνα μας και φτάνει στο απόγειο της και κυρίως στη δεκαετία όπου τα αυτοκίνητα της Formula 1 χρησιμοποιούσαν υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες. Έπειτα υιοθετήθηκε σε συμβατικά αυτοκίνητα όπως το Saab 900, Bentley turbo R κ.τ.λ.

Το νερό έχει την ιδιότητα να απορροφά μεγάλα ποσά θερμότητας καθώς εξαερώνεται, με αποτέλεσμα να ρίχνει τη θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και των καυσαερίων. Αν και αυτό φαίνεται να έρχεται σε αντιπαράθεση με την αύξηση της ισχύος, στη πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ψεκασμός νερού αποτρέπει την προανάφλεξη, συμπληρώνει το έργο του intercooler και δίνει τη δυνατότητα στον κινητήρα να λειτουργεί με περισσότερο αβάνς στην ανάφλεξη και μεγαλύτερες πιέσεις υπερπλήρωσης. Επίσης προστατεύει το θάλαμο καύσης, τα έμβολα, την κυλινδροκεφαλή και τον στροβιλοσυμπιεστή από καταστροφικές υπερθερμάνσεις.

Ένα water injection system αποτελείται από μια αντλία υψηλής πίεσης, ένα δοχείο νερού, ένα μπεκ, τις απαραίτητες σωληνώσεις και καλωδιώσεις και μια πιεσοστατική βαλβίδα ή ένα map sensor για την ενεργοποίηση της αντλίας. Τα

μοντέλα που δουλεύουν με map sensor έχουν μονάδα διαχείρισης κινητήρα (management) για τον ψεκασμό του νερού, το οποίο προσαρμόζει τη ψεκαζόμενη ποσότητα νερού ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα (πίεση υπερπλήρωσης, διάφορες θερμοκρασίες, ρυθμός περιστροφής κ.τ.λ.).

§1.21 Σκάστρες ή βαλβίδες εκτόνωσης ή dump valves ή blow off valves

Ο ρόλος της σκάστρας είναι πολύ σημαντικός γιατί ο αέρας που περιέχεται στο κύκλωμα εισαγωγής, από το στροβιλοσυμπιεστή μέχρι τη πεταλούδα του γκαζιού, εξακολουθεί να συμπιέζεται γιατί ο στρόβιλος περιστρέφεται ταχύτατα λόγω της αδράνειας του. Όλος αυτός ο αέρας δεν μπορεί να πάει πουθενά, για τον λόγο ότι η διαδρομή του είναι κλειστή από την πεταλούδα του γκαζιού. Το αποτέλεσμα είναι να ανεβαίνει κατακόρυφα η πίεση υπερπλήρωσης (συχνά λαμβάνει τιμές πολλαπλάσιες τις πίεσης με την οποία δουλεύει ο κινητήρας) σε αυτό το τμήμα του κινητήρα και ο εγκλωβισμένος αέρας να φρενάρει απότομα τον ρότορα του στροβιλοσυμπιεστή. Η κατάσταση αυτή εκτονώνεται όταν ξαναπατήσουμε έστω και λίγο το γκάζι, ή όταν ο αέρας διοχετευτεί σιγά - σιγά στο κινητήρα μέσω του ελάχιστου ανοίγματος που έχει η πεταλούδα στο ρελαντί. Όταν ένας στροβιλοσυμπιεστής βρεθεί να λειτουργεί έστω και για μερικά δευτερόλεπτα σε πίεση πολλαπλάσια της προδιαγραφόμενης τότε το θρός παθαίνει μεγάλη καταστροφή. Αυτή η αυξημένη πίεση ασκεί τεράστιες αξονικές δυνάμεις στο συμπιεστή, συχνά διαρρηγνύοντας το λιπαντικό φιλμ στην επιφάνεια του θρός. Επίσης η απότομη επιβράδυνση του ρότορα προκαλεί την ανάπτυξη ροπών στρέψης, οι οποίες είναι τεράστιες για τον άξονα. Οι ροπές αυτές καταπονούν το κρίσιμο αυτό εξάρτημα και συχνά προκαλούν την αστοχία του (σπάσιμο – κόψιμο του άξονα ή της φτερωτής εξαγωγής ανάλογα με την περίπτωση). Ακόμα κατά την απότομη αυτή επιβράδυνση δημιουργούνται κραδασμοί που καταπονούν και τα έδρανα ολισθήσεως του στροβιλοσυμπιεστή. Προς αποφυγή όλων των παραπάνω χρησιμοποιείται η σκάστρα. Πρόκειται για μια βαλβίδα η οποία συνδέεται σε κάποιο σημείο των σωληνώσεων πίεσης του στροβιλοσυμπιεστή πριν ή μετά το intercooler (για να λειτουργήσει πιο σωστά η σκάστρα θα ήταν προτιμότερο να τοποθετηθεί μετά το intercooler για να μην καταπονείται από τις υψηλές θερμοκρασίες του αέρα και για να τον εκτονώνει πιο γρήγορα, καθώς βρίσκεται πιο κοντά στην πεταλούδα), και παίρνει και ένα σήμα πίεσης μετά την πεταλούδα.



Στο εσωτερικό της έχει ένα διάφραγμα – μεμβράνη ή ένα έμβολο – ζεύγος εμβόλων, καθώς και ένα ελατήριο για την επαναφορά τους. Όταν ο κινητήρας υπερτροφοδοτείται και ανεβάζει πίεση, η μεμβράνη ή το έμβολο κλείνει τη βαλβίδα, υπό τη δύναμη του ελατηρίου και της πίεσης στην εισαγωγή. Όταν κλείσει η πεταλούδα αφενός αυξάνεται η πίεση πριν από αυτή (προς τη μεριά του στροβιλοσυμπιεστή) αφετέρου μειώνεται μετά από αυτή (προς την εισαγωγή του κινητήρα), η διαφορά πίεσης υπερνικά τη δύναμη του ελατηρίου και η σκάστρα ανοίγει. Τότε, ακούγεται ο χαρακτηριστικός ήχος, και ο επιπλέον αέρας που ο στροβιλοσυμπιεστής συμπιέζει λόγω αδράνειας αφήνεται να διαρρεύσει στο περιβάλλον. Οπότε η υποπίεση στην εισαγωγή είναι μεγάλη, δηλαδή κυρίως στο ρελαντί, οι σκάστρες μονού εμβόλου ή διαφράγματος – μεμβράνης συχνά έχουν την τάση να ανοίγουν και να αφήνουν αφιltrάριστο αέρα που δεν έχει μετρηθεί από το Air Flow Meter (AFM) να μπαίνει στον κινητήρα. Αυτό προκαλεί άρρυθμη λειτουργία καθώς και ζημιές στον κινητήρα. Επίσης σε ορισμένους κινητήρες το management δυσλειτουργεί κάθε φορά που ανοίγει η σκάστρα γιατί ο αέρας που διοχετεύεται στο περιβάλλον έχει ήδη μετρηθεί από το AFM και κατά συνέπεια, αν δεν εισέλθει στον κινητήρα διαταράσσεται η σύσταση του μίγματος και εμφανίζονται προβλήματα στη λειτουργία και κυρίως στο ρελαντί. Γι' αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν οι σκάστρες κλειστού τύπου ή ανακύκλωσης οι οποίες διοχετεύουν τον εκτονωμένο αέρα πίσω στο φίλτρο αέρος ή την είσοδο αέρα του AFM. Ακόμα υπάρχουν και οι σκάστρες διπλού εμβόλου στις οποίες το ένα τους έμβολο εμποδίζει το άνοιγμα της υπό συνθήκες υποπίεσης για να μην δυσλειτουργεί ο εγκέφαλος του κινητήρα και το άλλο έμβολο εκτονώνει τον αέρα όποτε αυτό απαιτείται.

Η χρήση της σκάστρας είναι ζωτικής σημασίας γιατί εάν δεν χρησιμοποιηθεί στο σύστημα, θα εμφανιστεί απότομο φρενάρισμα στον στροβιλοσυμπιεστή και η σχεδόν πλήρης ακινητοποίησή του για μερικά δευτερόλεπτα το πολύ δεν το ωφελούν, (αφού ότι και να γίνει, ακόμα και στο ρελαντί ο στροβιλοσυμπιεστής περιστρέφεται με μερικές χιλιάδες rpm). Οι αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την επιβράδυνση του, καθώς και οι ακτινικές σε συνδυασμό με τα κρουστικά φορτία σε φθαρμένους στροβιλοσυμπιεστές είναι πιο καταστροφικές απ' ό,τι οι μερικές στροφές παραπάνω που θα πάρει ο

στροβιλοσυμπιεστής με χρήση σκάστρας και μάλιστα χωρίς φορτίο, αφού ο αέρας που τείνει να συμπιέσει ο στροβιλοσυμπιεστής διαρρέει έξω από το κύκλωμα υπερπλήρωσης. Επίσης τα κουζινέτα έδρασης του ρότορα δεν φθείρονται όσο και να λειτουργεί ο στροβιλοσυμπιεστής εφόσον δεν ξεπερνιέται η προδιαγραφόμενη πίεση υπερπλήρωσης, η ταχύτητα περιστροφής, η ροπή στρέψης του άξονα, με προϋπόθεση ο στροβιλοσυμπιεστής να είναι ζυγοσταθμισμένος, να λιπαίνεται και να ψύχεται επαρκώς. Η σκάστρα δεν αναιρεί αυτές τις προϋποθέσεις, παρά μόνο αν είναι ελαττωματική ή έχει υποστεί βλάβη (συνήθως λόγω σκισμένης μεμβράνης) οπότε χάνει αέρα καθώς είναι κλειστή, δηλαδή με το γκάτζι πατημένο. Τότε μόνο μπορεί να προκληθεί ζημιά στον στροβιλοσυμπιεστή, που αναγκαστικά δουλεύει σε υψηλότερους ρυθμούς περιστροφής και λόγους πίεσης προκειμένου να αναπληρώσει την διαρροή.

Πέραν τούτου, η σκάστρα βοηθάει στον περιορισμό του turbo lag, ασχέτως αν θεωρητικά πιστεύεται πως η έξοδος του αέρα από το σύστημα και η επαναφορά του στην ατμοσφαιρική πίεση, αυξάνει το lag, αφού ο στροβιλοσυμπιεστής θα πρέπει να αναπληρώσει αυτόν τον αέρα. Όμως η πίεση στο κύκλωμα θα πέσει ραγδαία μόλις ξαναπατηθεί το γκάτζι, αφού ένας μεγάλος όγκος του κυκλώματος της εισαγωγής (plenum και πολλαπλή εισαγωγής, μαζί με τους αυλούς στην κυλινδροκεφαλή) που θα βρίσκεται μέχρι εκείνη την στιγμή σε υποπίεση, θα γεμίσει με τον εγκλωβισμένο αέρα, οπότε η πίεση σε όλο το κύκλωμα θα εξισορροπηθεί. Παράλληλα ο φρεναρισμένος ρότορας του στροβιλοσυμπιεστή θα χρειαστεί κάποιο χρόνο για να ανακτήσει την ωφέλιμη ταχύτητά του (spool up time), οπότε όλη αυτή η καθυστέρηση μεταφράζεται σε lag του στροβιλοσυμπιεστή. Με την σκάστρα όμως, ενώ η πίεση πέφτει περίπου στα επίπεδα που θα έπεφτε μετά το πάτημα του γκαζιού σε ένα κινητήρα χωρίς σκάστρα, έχουμε λιγότερο lag επειδή ο στροβιλοσυμπιεστής ήδη περιστρέφεται κοντά στην ωφέλιμη του ταχύτητα, οπότε ανεβάζει πίεση πολύ πιο γρήγορα και άμεσα.

§1.22 Anti – lag systems

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει η κινητήρια δύναμη του στροβιλοσυμπιεστή είναι τα καυσαέρια. Όταν εμείς αφήνουμε το γκάτζι τότε σταματάει η παροχή καυσίμου στον κινητήρα, επομένως η παροχή καυσαερίων ελαχιστοποιείται στον στροβιλοσυμπιεστή. Για να αποφύγουμε το παραπάνω ανεπιθύμητο αποτέλεσμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα σύστημα παραγωγής καυσαερίων το οποίο ονομάζεται anti – lag system.

Το anti – lag το οποίο συνήθως ενεργοποιείται από τον οδηγό με ειδικό διακόπτη αποτελεί μέρος του προγράμματος μερικών ακριβών μονάδων διαχείρισης κινητήρα ή διατίθεται ως παράλληλο σύστημα ελέγχου το οποίο συνδέεται σειριακά με τη μονάδα διαχείρισης του κινητήρα, φροντίζει άμεση απόκριση του στροβιλοσυμπιεστή αφού τροφοδοτηθεί με υπέρθερμα

καυσαέρια, ώστε να συνεχίσει να περιστρέφεται. Τροφοδοτεί με άκαυστο μίγμα το οποίο αναφλέγεται – εκρήγνυται στην πολλαπλή εξαγωγή και στο στρόβιλο, περιστρέφοντας όλον τον στροβιλοσυμπιεστή. Στη πράξη αυτό μεταφράζεται σε βραδυπορία της ανάφλεξης μέχρι $30^{\circ} - 40^{\circ}$, και σε εμπλουτισμό του μίγματος. Έτσι το μίγμα καίγεται ατελώς στο θάλαμο καύσης και ένα μεγάλο ποσοστό του βγαίνει άκαυστο στην πολλαπλή εξαγωγή. Εκεί συνεχίζει να καίγεται καθώς έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα του συστήματος εξαγωγής και του στροβίλου που βρίσκονται σε θερμοκρασίες της τάξεως των 900°C . Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τη μεγάλη θερμική και μηχανική καταπόνηση της πολλαπλής εξαγωγής και του στροβιλοσυμπιεστή αφού οι θερμοκρασίες θα φτάσουν την δεδομένη στιγμή τους 1100°C . Προς αποφυγή των παραπάνω ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων, καλό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί ένας αναβαθμισμένος στροβιλοσυμπιεστής καθώς και μία πολλαπλή εξαγωγή.

§1.23 Wastegates (βαλβίδες εκφόρτισης ή βαλβίδες διαφυγής)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την λειτουργία του wastegate, πρόκειται για μια προρυθμισμένη βαλβίδα που σταθεροποιεί σε κάποια ορισμένη τιμή την πίεση υπερπλήρωσης. Όμως πολλές φορές οι απαιτήσεις μας είναι μεγαλύτερες από τις προδιαγραφές των εργοστασιακών wastegates. Είτε πρόκειται απλώς για μια αύξηση της πίεσης υπερπλήρωσης χωρίς τη χρήση boost controllers ή bleed valves, είτε επειδή θέλουμε ένα ανώτερο σε ποιότητα και αξιοπιστία εξάρτημα, υπάρχουν στο εμπόριο διάφορες επιλογές για να καλύψουν τις ανάγκες μας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα εξωτερικά wastegates, γιατί το κέλυφος του στροβίλου δεν διαθέτει θυρίδα παράκαμψης των καυσαερίων, για την σταθεροποίηση της ταχύτητάς της. Ωστόσο στην πολλαπλή εξαγωγή τοποθετείται ένα εξωτερικό wastegate το οποίο με ξεχωριστό σωλήνα εξαγωγής οδηγεί στο περιβάλλον την περίσσεια καυσαερίων ώστε να μην περιστραφεί πάνω από τα αποδεκτά όρια στροφών του ο στροβιλοσυμπιεστής. Τα εξωτερικά wastegates χρησιμοποιούνται σε υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες μεγάλης ισχύος, τα οποία είναι αξιόπιστα και ανθεκτικά σε υψηλές θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις.

Ρύθμιση του κινητήρα Turbo

§1.24 Καύσιμο και ανάφλεξη

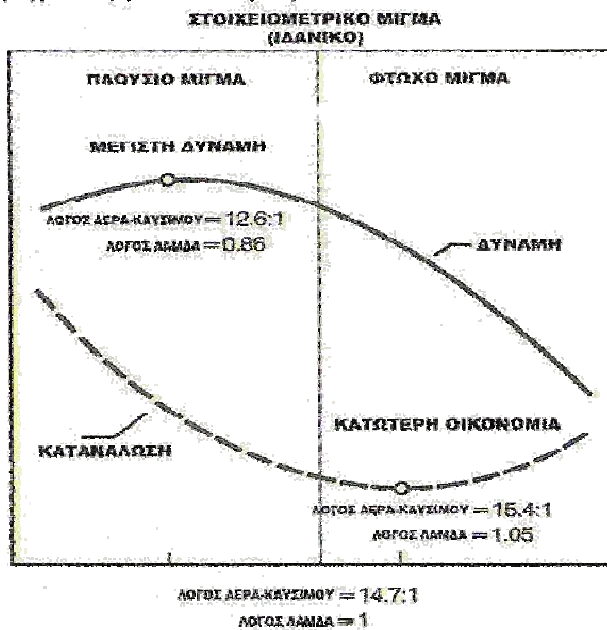
Η μετατροπή ενός κινητήρα με τη μέθοδο της υπερτροφοδότησης χρησιμοποιώντας στροβιλοσυμπιεστή εξάτμισης δεν περιορίζεται στη μηχανική βελτίωση η οποία έχει αναλυθεί προηγουμένως. Το κυριότερο στάδιο είναι η ρύθμιση του κινητήρα με βάση τις νέες παραμέτρους λειτουργίας του. Η βασική αρχή της υπερτροφοδότησης είναι η εισαγωγή όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ποσοτήτων μάζας αέρα υπό πίεση στους θαλάμους καύσης με στόχο την ισχυρότερη καύση η οποία επιφέρει μεγαλύτερη μέση πίεση στο έμβολο. Έτσι το άμεσο αποτέλεσμα είναι η αυξημένη ροπή και κατ' επέκταση η αυξημένη ιπποδύναμη. Σύμφωνα με την μέθοδο της υπερτροφοδότησης, εισέρχονται μεγαλύτερες μάζες αέρα στους θαλάμους καύσης, οπότε χρειαζόμαστε την ανάλογη τροφοδοσία με καύσιμο ούτως ώστε να καταλήξουμε στην στοιχειομετρική αναλογία η οποία είναι 14,7 μέρη αέρα με 1 μέρος καυσίμου (14,7 : 1). Στην πραγματικότητα όμως έχει αποδειχτεί ότι οι υπερτροφοδοτούμενοι κινητήρες όταν λειτουργούν με υψηλές πιέσεις υπερπλήρωσης ή με υψηλούς λόγους συμπίεσης η στοιχειομετρική αναλογία αέρα – καυσίμου δεν είναι 14,7: 1 , αλλά λίγο μικρότερη (12,5 – 13,5 : 1). Αυτό σημαίνει ότι έχουμε πλουσιότερο μίγμα το οποίο μας εξασφαλίζει ψύξη του θαλάμου καύσης έτσι ώστε να αποφεύγονται τυχόν προαναφλέξεις (πυράκια). Η δεύτερη σημαντική παράμετρος που αφορά τη ρύθμιση του κινητήρα είναι ο έλεγχος της ανάφλεξης σε σχέση με τις νέες παραμέτρους που επικρατούν στο θάλαμο καύσης. Για την επιτυχία μίας μετατροπής πρέπει να έχουμε σωστό συγχρονισμό την στιγμή που ο αναφλεκτήρας θα μας δώσει τον απαιτούμενο σπινθήρα για την ανάφλεξη του μίγματος. Ο παραπάνω συγχρονισμός είναι αρκετά πολύπλοκος γιατί στο θάλαμο καύσης επικρατούν μεγάλες πιέσεις. Έτσι γίνεται επιτακτική η ανάγκη για την ύπαρξη ενός ηλεκτρονικού συστήματος η οποία θα διαχειρίζεται τις νέες παραμέτρους (πίεση στροβιλοσυμπιεστή, αυξημένη ροή εισερχόμενου αέρα) για να πετύχουμε τη σωστή και ομοιογενή λειτουργία του κινητήρα σε όλες τις συνθήκες ρυθμίζοντας δύο βασικές παραμέτρους:

- Το καύσιμο,
- Την ανάφλεξη

§1.25 Λόγος λάμδα (λ)

Η υπερτροφοδότηση ενός κινητήρα απαιτεί σωστό έλεγχο της αναλογίας καυσίμου αέρα, η οποία αποτελεί και την βασικότερη παράμετρο για τη σωστή λειτουργία. Για να πετύχουμε ομαλή, αποδοτική αλλά και αξιόπιστη λειτουργία ενός υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα ο οποίος έχει μετατραπεί από

ατμοσφαιρικό, πρέπει να προσαρμόσουμε το καύσιμο για μερικό φορτίο (ο στροβιλοσυμπιεστής δεν λειτουργεί στην ονομαστική πίεση υπερπλήρωσης) για αναλογία με αέρα 14,7 : 1. Επίσης θα πρέπει να διατηρήσουμε λόγους λάμδα μεταξύ 12,5 – 13 : 1, για πλήρες φορτίο (μέγιστη πίεση υπερπλήρωσης). Η χρήση πλουσιότερου μίγματος με αναλογίες κοντά στο 12 : 1, αντί της θεωρητικά ιδανικής για τους βενζινοκινητήρες 14,7 : 1, γίνεται γιατί σ' αυτή την ιδανική αναλογία τα θερμικά φορτία της καύσης δεν είναι τα λιγότερα δυνατά παρ' ότι γίνεται σχεδόν τέλεια καύση.



Παρατηρούμε τις κομπύλες μέγιστης ιπποδύναμης και ελάχιστης κατανάλωσης και συμπεραίνουμε ότι για να πετύχουμε την απόλυτη δύναμη πρέπει να γίνει θυσία στον τομέα της κατανάλωσης.

Αυτός είναι και ο βασικότερος λόγος χρησιμοποίησης μικρών λόγων αναλογίας καυσίμου – αέρα (πλούσιο μίγμα). Κατά την εξαέρωση της παραπάνω ποσότητας του καυσίμου, απάγεται θερμότητα, η οποία βοηθά στη διατήρηση χαμηλότερων θερμοκρασιών στο θάλαμο καύσης η οποία είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αξιοπιστία και την παραμονή των θερμοκρασιών σε λογικά επίπεδα. Ο δεύτερος βασικός λόγος που επιδιώκουμε αναλογίες αέρα – καυσίμου επιπέδου 12,5 : 1 και 13 : 1 είναι η καλύτερη θερμοδυναμική απόδοση της καύσης που λαμβάνει χώρα με αποτέλεσμα τη μέγιστη απόδοση, κάτι που προκύπτει πειραματικά και απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

§1.26 Μέτρηση λόγου λάμδα

Ο ασφαλέστερος τρόπος για την μέτρηση του λόγου λάμδα είναι η εκμετάλλευση του εργοστασιακού αισθητήρα λάμδα, με την προσθήκη σε

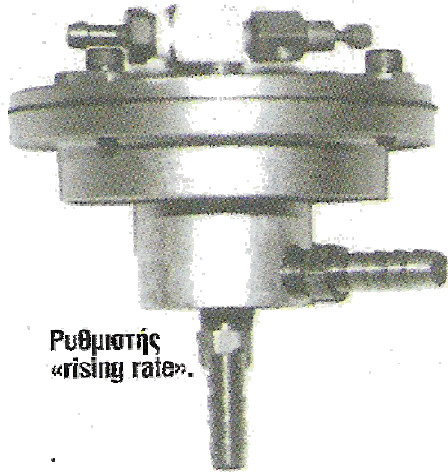
παράλληλη σύνδεση ενός ειδικού οργάνου μέτρησης λάμδα, το οποίο εξασφαλίζει σε πραγματικό (σχεδόν) χρόνο τη παρακολούθηση της αναλογίας καυσίμου.



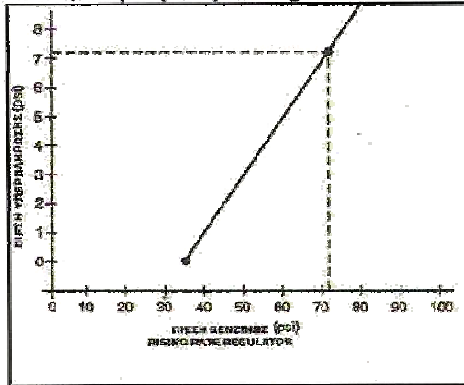
Κατά την πραγματοποίηση της μέτρησης στην περίπτωση που λειτουργεί ο κινητήρας με πλήρες φορτίο, τότε το όργανο αυτό πρέπει να δείχνει τον επιθυμητό λόγο ο οποίος είναι $12,5 : 1$. Στην περίπτωση του μερικού φορτίου το όργανο πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ ανώτατου και κατώτατου ορίου (πλούσιο και φτωχό μίγμα), που σημαίνει ότι ο λόγος λ διορθώνεται μέσω της μονάδας διαχείρισης κινητήρα (management) και η μέση αναλογία αέρα – καυσίμου είναι στο επιθυμητό $14,7 : 1$. Επίσης μια πολύ σημαντική παράμετρος στη σωστή ρύθμιση του κινητήρα είναι η θερμοκρασία των καυσαερίων πριν τον στροβιλοσυμπιεστή. Αυτή μετριέται με τη χρήση ειδικού πυρομέτρου η οποία πολλές φορές ξεπερνά τους $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, προσέχοντας πάντα ότι υπάρχει μία μικρή καθυστέρηση στη μέτρηση πράγμα που δυσκολεύει τη ρύθμιση του κινητήρα.

§1.27 Τρόποι ρύθμισης της αναλογίας καυσίμου – αέρα σε κινητήρα που μετατράπηκε σε υπερτροφοδοτούμενο και διαθέτει ηλεκτρονικό ψεκασμό.

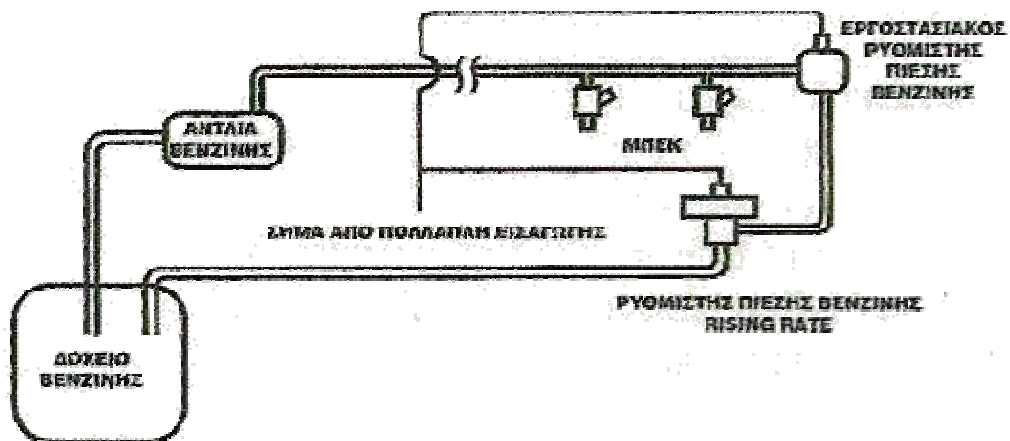
1. Πρώτη μέθοδος για εμπλουτισμό του μίγματος είναι η αύξηση της πίεσης της βενζίνης. Με την προσθήκη ενός απλού ρυθμιστή πίεσης βενζίνης μπορούμε να πετύχουμε σωστή ρύθμιση στην κατάσταση πλήρους φορτίου αλλά δεν μπορούμε να αποφύγουμε το υπερβολικά πλούσιο μίγμα σε καταστάσεις μερικού φορτίου. Επιπλέον κάτι τέτοιο επιβαρύνει υπερβολικά την αντλία βενζίνης η οποία δεν μπορεί να λειτουργήσει για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε πιέσεις των 5 bar έχοντας παράλληλα μεγάλη παροχή. Γι' αυτό τον λόγο, εφόσον η αντλία βενζίνης είναι ισχυρή, έχουν κατασκευαστεί οι ειδικοί ρυθμιστές rising rate, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να αυξάνουν με λογαριθμικό τρόπο την πίεση της βενζίνης σε σχέση με την πίεση υπερπλήρωσης.



Εδώ βλέπουμε την μεταβολή της πίεσης της βενζίνης σε σχέση με την πίεση του τμήτο, σε ρυθμιστή «rising rate».

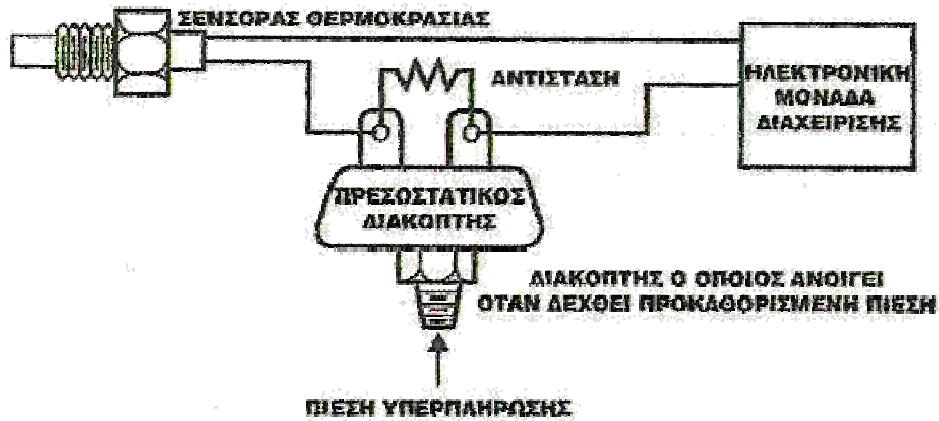


Δηλαδή μπορούμε να έχουμε πίεση στο ρελαντί (υποπίεση 0,6 bar) της τάξης των 2,5 bar και σε πίεση υπερπλήρωσης 0,5 bar να έχουμε πίεση βενζίνης κοντά στα 5 bar. Βέβαια κάτι τέτοιο καταπονεί ιδιαίτερα τα σωληνάκια βενζίνης και τους εγχυτήρες (μπεκ).



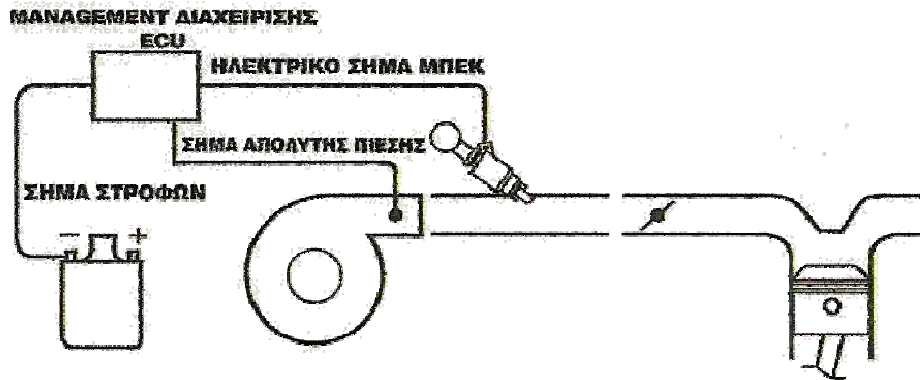
Αυτή η λύση ακολουθείται σε περιπτώσεις μικρών πιέσεων (έως 0,6 bar) καθώς και σε περιπτώσεις που ο επαναπρογραμματισμός της μονάδας διαχείρισης κινητήρα είναι πολύ δύσκολος ή αδύνατος.

- Ένας δεύτερος απλός και πρόχειρος τρόπος στο να λειτουργήσουν αυτοκίνητα με ηλεκτρονικό ψεκασμό jetronic παλαιού τύπου (αναλογικός δεν έχει πρόγραμμα) αλλά πάλι σε πολύ μικρές πιέσεις μέχρι 0,5 bar είναι η παράκαμψη του αισθητήρα θερμοκρασίας με αντίσταση, η οποία θα λειτουργεί μόνο σε κατάσταση πίεσης.

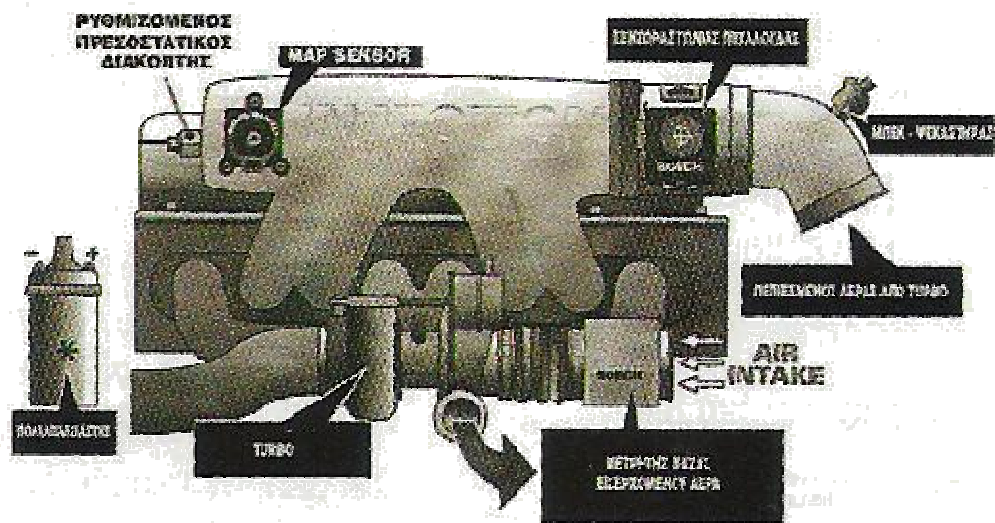


Αυτό θέλει μεγάλη προσοχή για το αν όντως αυξάνεται ο χρόνος του ψεκασμού στους εγχυτήρες. Εάν αυτή η μέθοδος ενεργοποιεί το υπάρχον εργοστασιακό εγχυτήρα ψυχρής εκκίνησης, τότε πρέπει να αποφευχθεί αυτή η μέθοδος λόγω ενδεχόμενης κακής διασποράς της βενζίνης στους κυλίνδρους.

3. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος για τη ρύθμιση ενός υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα είναι η προσθήκη ενός ακόμη (5^{ου}) εγχυτήρα, το οποίο είθισται να ψεκάζει πριν την εισαγωγή. Η λύση αυτή προτιμάται με σκοπό την τροφοδοσία με καύσιμο για επίτευξη λόγου λ κοντά στο 12,5 : 1 , προσέχοντας πάντα τη σωστή τοποθέτηση του εγχυτήρα.

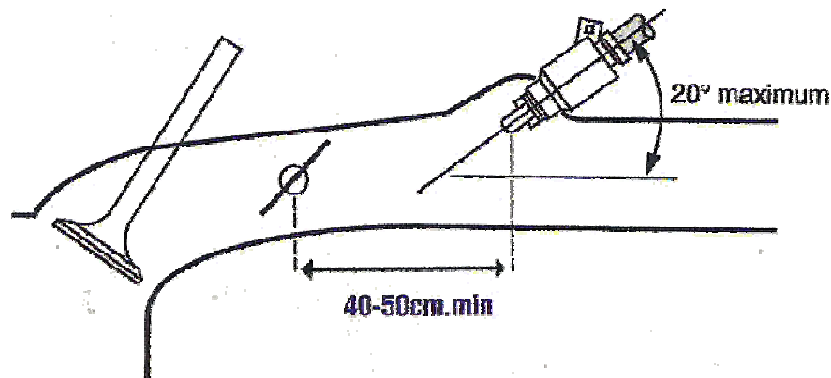


Χρησιμοποιώντας τον 5^ο εγχυτήρα ίσως δεν μπορεί να τροφοδοτήσει με σωστή ποσότητα καυσίμου τον κινητήρα κάτω απ' όλες τις συνθήκες πίεσης και στροφών περιστροφής. Δηλαδή σε κάποιες στροφές ο κινητήρας θα έχει έλλειψη καυσίμου και σε κάποιες άλλες θα έχει παραπάνω από το κανονικό. Γι' αυτό το λόγο είναι σχεδόν επιβεβλημένη η χρήση μιας μικρής αναλογικής ή ψηφιακής μονάδας διαχείρισης ελέγχου, η οποία λαμβάνοντας τις παραμέτρους πίεσης (από ειδικό map sensor) και στροφών θα καθορίζει την ακριβή ποσότητα καυσίμου σε όλες τις λειτουργικές συνθήκες, καλύπτοντας όλες τις καινούργιες ανάγκες του κινητήρα για καύσιμο.

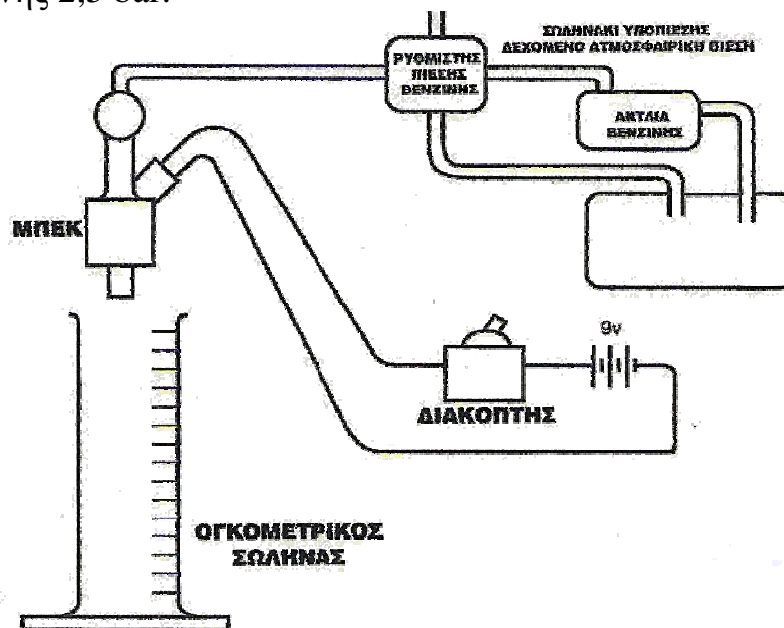


Καθοριστική είναι η θέση αυτού του επιπλέον εγχυτήρα σε σχέση με την εισαγωγή. Αυτό συμβαίνει διότι η πλήρης εξαέρωση της βενζίνης πολλές φορές δεν έχει πραγματοποιηθεί πριν το μίγμα βενζίνης (5^{ος} εγχυτήρας) – αέρα εισέλθει στην πολλαπλή εισαγωγής και έτσι λόγω αδράνειας και ταχύτητας των σταγονιδίων, δημιουργείται η τάση αυτά να κατευθυνθούν στους κυλίνδρους που ευνοούν την ευθύγραμμη κίνηση. Έτσι γίνεται αντιληπτή η αρνητική συμβολή της αδράνειας στη λειτουργία του 5^{ου} εγχυτήρα. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η όσο το δυνατόν απομακρυσμένη τοποθέτηση του από την πεταλούδα εισαγωγής. Ο 5^{ος} εγχυτήρας μπορεί να τοποθετηθεί αμέσως μετά το intercooler και τουλάχιστον 40 – 50 cm πριν την πεταλούδα εισαγωγής, έτσι ώστε να γίνεται πλήρης εξαέρωση πριν την είσοδο στους αυλούς εισαγωγής. Όλα αυτά γίνονται για να τροφοδοτηθούν όλοι οι κύλινδροι με ίση ποσότητα καυσίμου. Έχει παρατηρηθεί σε κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν 5^ο εγχυτήρα κοντά στην εισαγωγή, αν λιώσει κάποιο έμβολο λόγω φτωχού μίγματος, τότε αυτό κατά 90% είναι το πλησιέστερο στην πεταλούδα εισαγωγής. Επίσης πρέπει να προσέχουμε τα εξής:

- Χρησιμοποιούμε την πίεση της γραμμής (fuel rail) που έρχεται η βενζίνη από την αντλία.
- Ο εγχυτήρας τοποθετείται με μέγιστη γωνία στην μπεκιάρα 20° στο σωλήνα σύνδεσης του intercooler με την εισαγωγή.



- Προσέχουμε την ωμική αντίσταση του χρησιμοποιούμενου εγχυτήρα καθώς αυτό μπορεί να είναι από 2,7Ω μέχρι και 16Ω, ελέγχοντας την καταλληλότητα της εξόδου από τη μονάδα διαχείρισης του 5^{ου} εγχυτήρα για τη σωστή λειτουργία του.
- Γνωρίζουμε από πριν ή μετράμε την παροχή του εγχυτήρα σε όγκο βενζίνης ανά μονάδα χρόνου. Αυτό μπορεί να γίνει είτε βρίσκοντας στοιχεία από τον κατασκευαστή είτε μετρώντας την παροχή με έναν απλό σχετικά τρόπο. Προμηθευόμαστε έναν ογκομετρικό δοκιμαστικό σωλήνα μιας αντλίας βενζίνης (χρησιμοποιώντας το ήδη υπάρχον κύκλωμα του αυτοκινήτου) με μία διακλάδωση σχήματος T με σταθερή πίεση (αφού ρυθμιστεί κατάλληλα) βενζίνης 2,5 bar.



Τότε τροφοδοτούμε για ένα χρονικό διάστημα 10 sec και αμέσως μετρώντας τον όγκο βενζίνης στον ογκομετρικό σωλήνα, πολλαπλασιάζουμε επί 6 παίρνοντας έτσι την παροχή του εγχυτήρα.

cm³ ή ml ή lbs

$$\frac{\text{min}}{\text{h}} = \text{min} * 10,5$$

4. Ο τέταρτος και ίσως σωστότερος τρόπος από πλευρά κόστους – αποτελέσματος είναι ο επαναπρογραμματισμός της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου του κινητήρα όταν αυτό είναι εφικτό, έτσι ώστε να γίνει εναρμόνιση του χρόνου ψεκασμού (duty cycle) στις νέες συνθήκες. Εδώ θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων εγχυτήρων το οποίο μπορεί να μην επαρκεί από πλευράς παροχής. Βρίσκοντας το αποτέλεσμα της παροχής, κρίνουμε με βάση την πιο κάτω σχέση την καταλληλότητα ή όχι των εγχυτήρων που θα χρησιμοποιηθούν.

$$\text{Παροχή εγχυτήρων} : \frac{\text{ml}}{\text{min}} = \frac{\text{Ζητούμενη ισχύς} * 5,775}{\text{Σύνολο εγχυτήρων}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{Ζητούμενη ισχύς} = \frac{(\text{ml} / \text{min}) * \text{Σύνολο εγχυτήρων}}{5,775}$$

Με αυτή τη σχέση λοιπόν μπορούμε να υπολογίσουμε για το αν έχουμε κατάλληλους εγχυτήρες για την εφαρμογή μας. Σε περίπτωση που αλλάξουμε τους εγχυτήρες με μεγαλύτερους, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε όμοια από πλευράς διαστάσεων και με ίδια ωμική αντίσταση. Είναι γνωστό εξάλλου ότι 3 είναι οι μέθοδοι για να αυξήσουμε την ποσότητα του καυσίμου σε ένα κινητήρα:

- Αύξηση πίεσης βενζίνης, η οποία όμως δεν αυξάνει αναλογικά την παροχή σε καύσιμο.
- Αλλαγή στο μέγεθος των εγχυτήρων, με αυτή τη μέθοδο αυξάνεται αναλογικά η παροχή καυσίμου στο κινητήρα.
- Με την αύξηση του χρόνου ψεκασμού, ο οποίος εκφράζεται σε m/sec και αυξάνει σχεδόν αναλογικά την ποσότητα σε καύσιμο.

*** Συνοπτική θεωρία:**

Σε κάθε δυο πλήρης περιστροφές του στροφαλοφόρου και μία του εκκεντροφόρου άξονα συμπληρώνεται ένας κύκλος λειτουργίας ενός τετράχρονου κινητήρα. Έτσι σε κάθε δύο πλήρης περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα ο κάθε εγχυτήρας ψεκάζει μία φορά.

Δηλαδή εάν έχουμε ρελαντί 600 rpm αυτό σημαίνει ότι έχουμε 10 στροφές του στροφαλοφόρου άξονα το δευτερόλεπτο ή πέντε ολόκληρους κύκλους λειτουργίας (πέντε περιστροφές του εκκεντροφόρου) του τετράχρονου κινητήρα ανά δευτερόλεπτο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε δευτερόλεπτο έχουμε πέντε ψεκασμούς σε κάθε εγχυτήρα του κινητήρα ή ένα ψεκασμό ανά 1/5 του δευτερολέπτου (δηλαδή ένα ψεκασμό κάθε 200 m/sec). Αυτή είναι και η περίοδος λειτουργίας του κινητήρα και συνεπώς ψεκασμού των εγχυτήρων. Η περίοδος αυτή όσο ο αριθμός περιστροφής του κινητήρα αυξάνεται (rpm) τόσο αυτή μικραίνει, καθώς είναι δύο μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα. Έτσι σε ένα κινητήρα που έχει μέγιστο αριθμό περιστροφής τις 8000 rpm η περίοδος περιστροφής του και άρα η περίοδος λειτουργίας των εγχυτήρων του είναι 15 m/sec. Αν συνυπολογίσουμε ότι το μέγιστο επιτρεπτό duty cycle (ποσοστό χρόνου λειτουργίας) ενός εγχυτήρα είναι 85 – 90%, συμπεραίνουμε ότι ο μέγιστος χρόνος ψεκασμού που μπορούμε να έχουμε σε αυτές τις στροφές δεν υπερβαίνει τα 13 m/sec. Οπότε καταλήγουμε ότι όσο πιο μεγάλους αριθμούς περιστροφής έχουμε τόσο μεγαλύτερους εγχυτήρες σε παροχή πρέπει να χρησιμοποιούμε. Βέβαια θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι ένας κινητήρας χρησιμοποιεί το μέγιστο χρόνο ψεκασμού στις μεσαίες στροφές λειτουργίας του και κυρίως στις στροφές που εμφανίζεται η μέγιστη ροπή του κινητήρα, όπου έχουμε και τη μέγιστη θερμοδυναμική του απόδοση.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό τεχνικό θέμα που τίθεται στην περίπτωση της ρύθμισης της εργοστασιακής μονάδας διαχείρισης ελέγχου (management) είναι η δυνατότητα να μπορεί να πάρει πληροφορίες για την επιπρόσθετη μάζα αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα λόγω της λειτουργίας του στροβιλοσυμπιεστή. Για να επιτευχθεί αυτό υπάρχουν οι παρακάτω δύο τρόποι:

- Να χρησιμοποιεί air flow meter (αισθητήρας μέτρησης ροής αέρα) το οποίο μπορεί να βοηθήσει την μονάδα διαχείρισης να αντιληφθεί την επιπρόσθετη πίεση.
- Ο δεύτερος τρόπος είναι η ανάγνωση της απόλυτης πίεσης στην πολλαπλή εισαγωγής. Βέβαια στα ατμοσφαιρικά αυτοκίνητα εκτός από τον περιοριστή πίεσης που μπορεί να συναντήσει κανείς, χρησιμοποιούνται ειδικοί αισθητήρες για ατμοσφαιρικούς κινητήρες (map sensors) δηλαδή αισθητήρες απόλυτης πίεσης οι οποίοι διαβάζουν από 1 έως 1,2 bar απόλυτης πίεσης.

5. Ένας πέμπτος τρόπος προσαρμογής του καυσίμου είναι η χρήση δύο εγχυτήρων σε κάθε κύλινδρο. Διατηρούμε δηλαδή τους τέσσερις εργοστασιακούς (εάν είναι τετρακύλινδρος ο κινητήρας) εγχυτήρες, οι οποίοι εξακολουθούν να ελέγχονται από την μονάδα διαχείρισης ελέγχου αυτοκινήτου και προσθέτουμε άλλους τέσσερις ακριβώς πίσω από τους

πρώτους, με διάταξη δύο εγχυτήρες σε κάθε αυλό εισαγωγής. Έτσι αποφεύγουμε την ανισομερή κατανομή της βενζίνης που συνήθως έχουμε με την χρήση ενός 5^{ου} εγχυτήρα καθώς η βενζίνη οδηγείται απευθείας στον κύλινδρο για τον οποίο προορίζεται. Οι τέσσερις αυτοί εγχυτήρες θα ξεκινήσουν να ψεκάζουν όλοι μαζί μόλις η πίεση ξεπεράσει την ατμοσφαιρική και τότε ο ακριβής χρονισμός του ψεκασμού δεν παίζει κανένα ρόλο.

§1.28 Αντοχή μερών κινητήρα κατά την υπερτροφοδότηση

Μπλοκ : Το μπλοκ είναι το μόνο ίσως από τα εξαρτήματα του κινητήρα, το οποίο είναι πολύ δύσκολο να παρουσιάσει πρόβλημα κατά την υπερτροφοδότηση, ανεξάρτητα από το αν είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο ή χυτοσίδηρο. Το μπλοκ καλό είναι να διαθέτει μπεκ ψεκασμού λαδιού στην κάτω πλευρά των εμβόλων, διότι έτσι βοηθά στην αποβολή της θερμότητας που απορροφούν τα έμβολα από τον θάλαμο καύσης.

Κυλινδροκεφαλή: Η κυλινδροκεφαλή είναι επίσης δύσκολο να μας δημιουργήσει προβλήματα, αν η ρύθμιση του κινητήρα μας είναι «αυτή» και δεν απαιτούμε ακραίες ιπποδυνάμεις. Αυτό που παίζει μεγάλο ρόλο είναι η θέση του μπουζί στον θάλαμο καύσης, καθώς όσο πιο κεντρική είναι η τοποθέτησή του και όσο πιο συμμετρικός είναι ο θάλαμος καύσης, τόσο αποφεύγουμε την πιθανότητα προανάφλεξης. Επίσης η κυλινδροκεφαλή δε θα πρέπει να έχει γωνίες στους θαλάμους καύσης γιατί αυτές πυρακτώνονται κατά την καύση του μίγματος, με αποτέλεσμα την αυτανάφλεξη στους αμέσως επόμενους κύκλους λειτουργίας του κινητήρα.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε κινητήρες από τους οποίους αναμένουμε αποδόσεις άνω των 150-170 ίππων ανά 1000cc (ειδική ιπποδύναμη), προτείνεται η χρήση ατσάλινων μπουζονιών και περικοχλίων με κοντό βήμα σπειρώματος και ατσάλινες ροδέλες. Αυτό προτείνεται διότι οι παραδοσιακοί κοχλίες δε χρησιμοποιούν το 100% του βάθους του σπειρώματος του μπλοκ, με αποτέλεσμα σε μεγάλες πιέσεις και ιπποδυνάμεις, να έχουμε φαινόμενα στιγμιαίας αποκόλλησης της κυλινδροκεφαλής από το μπλοκ με συνέπεια το κάψιμο της φλάντζας.

Φλάντζα κεφαλής : Οι εργοστασιακές φλάντζες τις περισσότερες φορές μας καλύπτουν απόλυτα, αν οι ιπποδυνάμεις που επιθυμούμε δεν υπερβαίνουν τα 200 ps/1000cc.

Πρώτιστο ρόλο στην αντοχή της φλάντζας της κεφαλής παίζει το σφίξιμο στους κοχλίες ή στα περικόχλια που στηρίζουν την κεφαλή στο μπλοκ του κινητήρα. Ανάλογα με τον τύπο μέχρι και 20-30% παραπάνω.

Μεγάλο ρόλο παίζει επίσης η ευθύτητα που έχουν ο δυο επιφάνειες του μπλοκ και της κεφαλής, καθώς και η σειρά με την οποία σφίγγουν οι κοχλίες. Το σφίξιμο του καπακιού ποτέ δε γίνεται με μια κίνηση. Πάντα σφίγγουμε σταδιακά ένα-ένα κοχλία, πρώτα κατά το ήμισυ της συνολικής ροπής που θα

χρησιμοποιήσουμε και μετά τελειώνουμε με το τελικό στάδιο που προτείνει ο κατασκευαστής.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ενίσχυση της στήριξης της φλάντζας με τελικό στόχο την αποφυγή του καψίματός της. Δύο από αυτές τις μεθόδους υλοποιούνται σκάβοντας ένα συμμετρικό κυκλικό λούκι γύρω από τον κύλινδρο και, ή τοποθετούμε ατσάλινο σύρμα έτσι ώστε να εξέχει κατά το 1/3 του πάχους της φλάντζας ή αφήνουμε το λούκι κενό έτσι ώστε να εισχωρήσει η φλάντζα κατά το σφίξιμο του καπακιού και κλειδώσει μηχανικά, απαγορεύοντας την υποχώρησή της από την υπερπίεση.

Στροφαλοφόρος άξονας: Ο στροφαλοφόρος άξονας είναι ίσως το μοναδικό μέρος του κινητήρα μαζί με το μπλοκ, το οποίο δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση του στροφαλοφόρου άξονα είναι να έχει μηδενική φθορά στα κομβία των μπιελών και τις βάσεις του μπλοκ. Καλό είναι να ζυγίζεται και να μετριέται στο αρμόδιο μηχανουργείο και αν είναι δυνατόν να ζυγοσταθμίζεται με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Η ζυγοστάθμιση βοηθά στην ελαχιστοποίηση των κραδασμών και των συντονισμών στους υψηλούς ρυθμούς περιστροφής (άνω των 6500rpm). Έτσι τα μέταλλα του στροφάλου καταπονούνται λιγότερο, σημειώνοντας μικρότερη φθορά.

Τρόμπα λαδιού – παροχή λαδιού: Ένας υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας, εκτός της ανάγκης για λίπανση του εαυτού του, πρέπει να παρέχει λάδι αρκετό και ικανό για να λιπώνει τον υπερτροφοδότη του. Έτσι έχουμε αυξημένες απαιτήσεις παροχής λαδιού από την αντλία λαδιού. Βέβαια, η διαφορά αυτή στην παροχή δεν είναι άνω του 10%, πράγμα που σημαίνει ότι μια υγιής και καινούργια τρόμπα λαδιού, μας δίνει τη δυνατότητα να τροφοδοτήσουμε με λάδι το στροβιλοσυμπιεστή χωρίς να αντιμετωπίσουμε επικίνδυνη πτώση πίεσης λαδιού στο ρελαντί.

Η παροχή λαδιού προς το στροβιλοσυμπιεστή γίνεται συνήθως από τον σένσορα πίεσης λαδιού, ο οποίος ξεβιδώνεται και τοποθετείται ειδικός διακλαδωτήρας, ο οποίος μεταφέρει μεσώ σωλήνα υψηλής πίεσης, (τεφλόν ή βιομηχανικού τύπου σωλήνα πεπιεσμένου λαδιού) το λάδι.

Στην περίπτωση της υπερβολικής παροχής λαδιού, στο στροβιλοσυμπιεστή έχουμε φαινόμενα εισροής λαδιού, είτε στην εισαγωγή είτε στην εξαγωγή.

Η επιστροφή του λαδιού πρέπει να γίνεται με χρήση αρκετά φαρδύ σωλήνα ειδικής σύστασης με ίδια εσωτερική διάμετρο ή και μεγαλύτερη από την εξαγωγή λαδιού του στροβιλοσυμπιεστή. Ο σωλήνας αυτός δεν πρέπει να τσακίζει και πρέπει να οδηγείται στο υψηλότερο σημείο του καρτερ.

Το υλικό του σωλήνα περιστροφής θα πρέπει να είναι ειδικό για αυτή τη χρήση (σωληνάκι σιλικόνης), καθώς η χρήση οποιουδήποτε απλού σωλήνα έχει σαν αποτέλεσμα την αλλοίωσή του και το σταδιακό τρύπημά του με καταστροφικές συνέπειες για όλο τον κινητήρα και το ττροβιλοσυμπιεστή.

Διωστήρες (μπιέλες) : Οι μπιέλες είναι τα εξαρτήματα που μεταφέρουν στον στροφαλοφόρο άξονα τη δύναμη που ασκούν τα αέρια στα έμβολα. Έτσι

μετατρέπεται η ευθύγραμμη περιοδική κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική και μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε. Οι μπιέλες θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικές, κατασκευασμένες από ατσάλι ή χυτοσίδηρο και με σωστή μηχανική σχεδίαση. Δυστυχώς δεν είναι κάτι που μπορούμε να πειραματιζόμαστε στη διάρκεια των δοκιμών, καθώς πιθανή αστοχία τους (λύγισμα και σπάσιμο), σημαίνει την ολική καταστροφή του κινητήρα. Έτσι προτείνεται η χρήση των ανθεκτικότερων μπιελών, ανάλογα πάντα από τις απαιτήσεις ροπής και δύναμης που επιθυμούμε. Προτείνεται το ζύγισμα των μπιελών, με στόχο το ισόποσο βάρος όλων των μπιελών. Έτσι αποφεύγουμε ανισόποσες αδρανειακές δυνάμεις στον στροφαλοφόρο άξονα και κατά συνέπεια μηδενίζουμε τους κραδασμούς.

Εμβολα ή πιστόνια: Ερχόμαστε τώρα στο σημαντικότερο ίσως κομμάτι των εσωτερικών μετατροπών ενός κινητήρα προκειμένου να γίνει υπερτροφοδοτούμενος. Το έμβολο είναι ένα μεταλλικό εξάρτημα κατασκευασμένο κατά κόρον από κράματα αλουμινίου και σε σχήμα ανάποδου ποτηριού το οποίο αναλαμβάνει δύο ρόλους :

1. Να “στεγανοποιήσει” τον κύλινδρο εκμεταλλεζόμενο έτσι την πίεση των αερίων προϊόντων της καύσης. Αυτό πετυχαίνει με τη χρήση των ελατηρίων που διαθέτει.
2. Να μεταφέρει την πίεση των προϊόντων της καύσης (καυσαέριο) στη μπιέλα (διωστήρα) και αυτή με τη σειρά της στο στροφαλοφόρο άξονα. Η μηχανική σύνδεση της μπιέλας με το έμβολο γίνεται με το λεγόμενο «πείρο».

Το έμβολο, όπως μπορεί εύκολα να καταλάβει κανείς, είναι το εξάρτημα που δέχεται τη μεγαλύτερη καταπόνηση και φθορά από τη λειτουργία του κινητήρα. Στους turbo κινητήρες επειδή οι πιέσεις του καυσαερίου είναι πολύ υψηλότερες των αντίστοιχων ατμοσφαιρικών, καθώς πολύ ψηλότερες είναι και οι θερμοκρασίες στο θάλαμο καύσης, η πρώτη και συνηθέστερη «απώλεια» που μπορεί να έχει κανείς, έχει να κάνει με το λεγόμενο «σπάσιμο των λουκιών», τα οποία στηρίζουν μηχανικά το πρώτο και το δεύτερο ελατήριο συμπίεσης. Έτσι λοιπόν ένα «τουρμπάτο» έμβολο θα πρέπει να έχει ικανό πάχος στην περιοχή των λουκιών, έτσι ώστε να αποφεύγεται το σπάσιμό τους. Για τους ίδιους λόγους επιβάλλεται η χρήση σφυρήλατων πιστονιών από ειδικά κράματα αλουμινίου και όχι απλών χυτών αλουμινένιων πιστονιών. Τα σφυρήλατα πιστόνια έχουν και αυτά με τη σειρά τους ποιότητες και εξειδικευμένα κατασκευασμένα ανάλογα με τη χρήση τους. Στους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες, έμβολα με ισχυρό οπλισμό στο πείρο, καθώς και αρκετά κωνικό στο πάνω μέρος, προς αποφυγή της υπερβολικής διαστολής του τμήματος που βρίσκεται στο θάλαμο καύσης με καταστροφικές συνέπειες. Οι ανοχές που επιλέγουμε για τα ενισχυμένα έμβολα είναι κάπως μεγαλύτερες από τα ατμοσφαιρικά. Για παράδειγμα αν σε ένα ατμοσφαιρικό έμβολο έχουμε ανοχή της τάξης των 3-6/100mm στο ίδιο αλλά σε «τουρμπάτη» έκδοση, καλό είναι να έχουμε 6-10/100mm (ανάλογα με την σχεδίαση εμβόλου και κινητήρα). Επίσης κάποιοι εξελιγμένοι βελτιωτές στο εξωτερικό χρησιμοποιούν ειδικές

θερμομονωτικές επικαλύψεις από κεραμικά υλικά για να απομονώνουν τα μεγάλα θερμικά φορτία από σώμα των εμβόλων.

Πάντως τα εργοστασιακά έμβολα σε πολλά αυτοκίνητα αντέχουν αρκετά για να λειτουργήσει ένας κινητήρας σε πίεση 0,5-0,8bar (+30-70% αύξηση σε ροπή και ιπποδύναμη). Τέτοια έμβολα έχουν συνήθως Γερμανικά και μερικά Ιαπωνικά και Ιταλικά αυτοκίνητα.

§1.29 Υλικά κατασκευής στροβιλοσυμπιεστή

Πριν μερικά χρόνια το κέλυφος του στροβιλοσυμπιεστή κατασκευαζόταν από χυτοσίδηρο με περιεκτικότητα 20%-30% σε νικέλιο (Ni). Προτεινόταν για περιπτώσεις όπου ο κινητήρας επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί σε συνεχείς υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις όπως στα φορτηγά αγωνιστικά οχήματα και στα αεροσκάφη.

Επίσης προτεινόταν για χρήση σε θαλάσσιες μηχανές λόγω της μεγάλης του αντοχής στην οξείδωση.

Το μεγάλο κόστος του νικελίου απαγόρευσε τη χρήση του σε στροβιλοσυμπιεστές πετρελαιοκινητήρων και μικρών επιβατικών οχημάτων. Για πολλά χρόνια για αυτές τις χρήσεις χρησιμοποιούταν ένα είδος χυτοσιδήρου παρόμοιου με αυτόν που χρησιμοποιούνταν για πολλαπλές εξαγωγής. Το υλικό αυτό απέδωσε καλά μέχρι το 1960 όπου η τιμή ενός είδους ελαφρού χάλυβα έφτασε να είναι σχεδόν ίδια με του φαιού χυτοσιδήρου. Τα περισσότερα κελύφη στροβιλοσυμπιεστών τώρα κατασκευάζονται από αυτό το υλικό όχι μόνο γιατί έχει καλές μηχανικές ιδιότητες αλλά και γιατί μπορεί να συγκολληθεί δίνοντας πολύ μεγαλύτερη ασφάλεια από ότι ο φαιός χυτοσίδηρος.

Επίσης παλαιότερα η περωτή της τουρμπίνας και ο άξονάς της ήταν δύο διαφορετικά κομμάτια όπου βιδώνονταν το ένα πάνω στο άλλο. Το σύστημα αυτό ήταν πολυέξοδο και χρονοβόρο. Αργότερα τα δύο κομμάτια άρχισαν να συγκολλούνται με διάφορων ειδών συγκολλήσεις. Στις μέρες μας ή είναι δύο κομμάτια όπου συγκολλούνται με τη λεγόμενη «συγκόλληση τριβής» ή η περωτή και ο άξονας χύνονται στο ίδιο καλούπι και δίνουν ένα ενιαίο κομμάτι.

Τα υλικά κατασκευής της περωτής της τουρμπίνας στο πέρασμα του χρόνου ήταν πολλά. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται stellite 31, stellite 152-1, 19-9dl και τα πιο γνωστά gmr 235 & inko 713c με μεγάλη περιεκτικότητα σε νικέλιο.

Όσο αφορά τους άξονες κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο με σκληρότητα Rockwell g 60 για χρήση ένσφαιρων τριβέων και Rockwell g 35 για χρήση κουζινέτων.

§1.30 Περιπτώσεις αστοχίας του στροβιλοσυμπιεστή

Οι περισσότερες βλάβες και ζημιές που παρουσιάζουν οι στροβιλοσυμπιεστές οφείλονται σε σφάλματα του χρήστη ή του τεχνικού, αφού ο εξονυχιστικός τεχνικός και ποιοτικός έλεγχος που περνούν οι στροβιλοσυμπιεστές σε κάθε στάδιο της παραγωγής τους, καθώς και οι πολύ μεγάλες κατασκευαστικές ακρίβειες τους, δεν αφήνουν περιθώρια κατασκευαστικού λάθους. Οι περισσότερες αστοχίες ενός στροβιλοσυμπιεστή οφείλονται στους εξής παράγοντες:

λίπανση, εισροή ξένων σωμάτων, λόγος πίεσης, θερμοκρασία και πίεση καυσαερίων, υπερβολικά υψηλές στροφές περιστροφής του άξονα, ζυγοστάθμιση, κακή λειτουργία περιφερειακών συστημάτων, κακή χρήση. Στη συνέχεια αναλύονται οι παραπάνω παράγοντες:

Λίπανση: ζωτικής σημασίας για την σωστή λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή και την αποφυγή καταστροφής του είναι η ποσότητα, η ποιότητα αλλά και η καθαρότητα του λιπαντικού. Οι πολύ μικρές λειτουργικές ανοχές του στροβιλοσυμπιεστή, σε συνδυασμό με τις μεγάλες θερμοκρασίες, ταχύτητες και πιέσεις λειτουργίας καθιστούν ουσιαστική την ύπαρξη ενός συνεχούς και ανθεκτικού φιλμ λιπαντικού με ιδανικές ιδιότητες ανάμεσα στις τριβόμενες επιφάνειες. Γι' αυτό το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να φροντίσουμε στον υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα είναι η χρήση κορυφαίας ποιότητας συνθετικών λαδιών τα οποία προσφέρουν υψηλή σταθερότητα και προστασία σε ακραίες συνθήκες. Η συχνή αλλαγή τους και η επαρκής ποσότητάς τους στο κάρτερ επιβάλλεται. Το ίδιο συμβαίνει και με το φίλτρο λαδιού. Επίσης θα πρέπει όλα τα συστήματα που εμπλέκονται στην διανομή και την κυκλοφορία του λαδιού να είναι σε άψογη κατάσταση. Μια πτώση πίεσης της πίεσης λαδιού σε κάποια στροφή είτε εξαιτίας κακού σχεδιασμού του κάρτερ ή χαμηλής στάθμης του λαδιού, μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή των τριβέων ολισθήσεως λόγω μη λίπανσής τους. Το ίδιο ισχύει και με μία φθαρμένη αντλία λαδιού η οποία αργεί να σηκώσει πίεση κατά το ξεκίνημα του κινητήρα ή για ακατάλληλο λιπαντικό το οποίο είναι πολύ παχύρρευστο στις χαμηλές θερμοκρασίες ή μικραίνει κατά πολύ το ιξώδες του στις υψηλές θερμοκρασίες αφήνοντας απροστάτευτο τον στροβιλοσυμπιεστή. Επίσης ο σωλήνας επιστροφής του λαδιού από τον στροβιλοσυμπιεστή προς το κάρτερ εάν είναι φραγμένος ή τσακισμένος, το λιπαντικό δεν μπορεί να επιστρέψει στο κάρτερ και πλημμυρίζει το κάρτριτζ, με αποτέλεσμα διαρροές σε εισαγωγή και εξαγωγή. Ανάλογης σημασίας είναι ο σωλήνας παροχής λαδιού. Αν η διάμετρος του είναι μικρή τότε ο στροβιλοσυμπιεστής δεν θα τροφοδοτείται με την επαρκή ποσότητα λαδιού ενώ σε αντίθετη περίπτωση θα έχει περίσσεια λαδιού. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι οι αναθυμιάσεις του κάρτερ. Σε περίπτωση που η πίεση του ανεβαίνει υπερβολικά επειδή τα ελατήρια των εμβόλων δεν στεγανοποιούν επαρκώς τους θαλάμους καύσης, διότι ο σωλήνας των αναθυμιάσεων είναι φραγμένος και οι αναθυμιάσεις προσπαθούν να διαφύγουν

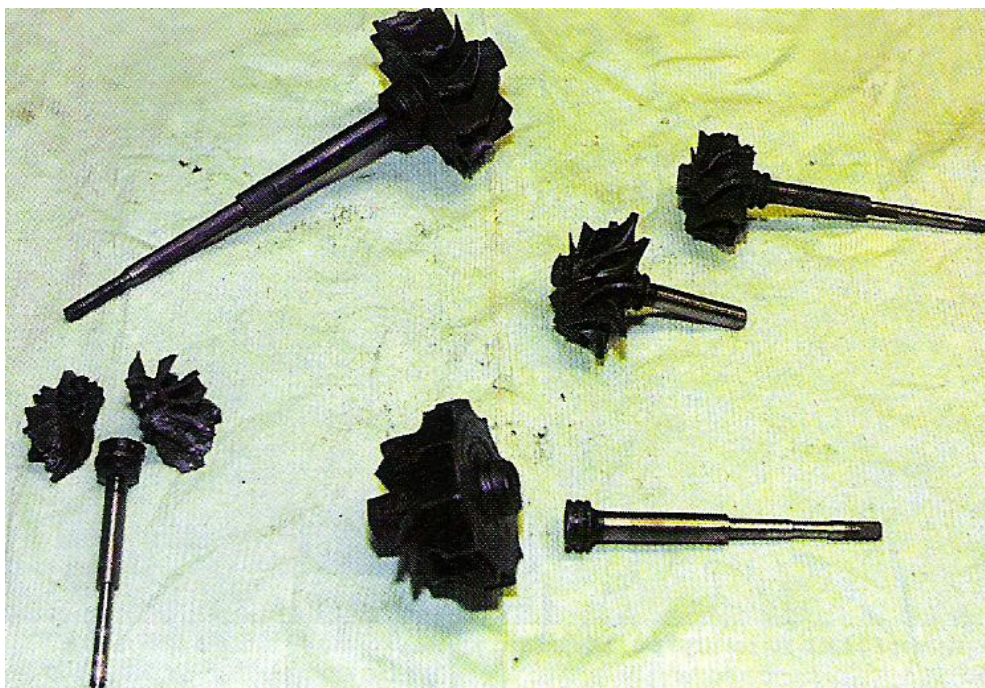
από το κάρτερ μέσω του σωλήνα επιστροφής λαδιού του στροβιλοσυμπιεστή. Έτσι τα αέρια διασπούν το φιλμ λαδιού στους τριβείς ολίσθησης του στροβιλοσυμπιεστή και η καταστροφή του είναι αναπόφευκτη. Τέλος η κακή στεγανότητα των υδροχιτωνίων σε κινητήρες που είναι φτιαγμένοι από αλουμίνιο, η κακή στεγανότητα και το κάψιμο της φλάντζας της κυλινδροκεφαλής ή η εμφάνιση ρηγμάτων στην κυλινδροκεφαλή, επιτρέπουν την εισροή ψυκτικού υγρού στο λάδι με αποτέλεσμα την ανάμιξή τους.

Εισροή ξένων σωμάτων: ο οποιοσδήποτε ρύπος στο περιβάλλον του στροβιλοσυμπιεστή είναι ζημιογόνος. Ακαθαρσίες στο λάδι από κορεσμένο φίλτρο λαδιού, από ανθράκωση του ίδιου του λαδιού ή από πλημμελή καθαρισμό του μοτέρ (στο μπλοκ ή στο καπάκι από ρινίσματα σιδήρου, άμμο) κατά τη διάρκεια μίας επισκευής ή βελτίωσης, καταστρέφουν αυτομάτως τον στροβιλοσυμπιεστή. Ξένα σώματα όμως δεν προσβάλλουν μόνο τον άξονα και τα κουζινέτα. Ένα ακατάλληλο, βρώμικο ή και ανύπαρκτο (sic) φίλτρο αέρα ή φιλτροχοάνη μπορεί να καταστρέψει έναν κομπρέσορα, αφού και το παραμικρό σκληρό σώμα που θα προσκρούσει πάνω στη φτερωτή καθώς αυτή περιστρέφεται με αρκετές χιλιάδες στροφές, μπορεί να την καταστρέψει.



Εξίσου κινδυνεύουν και οι τουρμπίνες, κυρίως κατά την αστοχία ενός μοτέρ (θραύσματα βαλβίδων και ελατηρίων εμβόλων, ακίδες σπινθηριστών κ.λπ) και από συσσωματώματα κάπνας που αποκολλώνται από τους θαλάμους καύσης και την πολλαπλή εξαγωγή.

Λόγος πίεσης – Υψηλή περιστροφή άξονα: η αλόγιστη άνοδος του λόγου πίεσης κυρίως καταστρέφει το θεός, ειδικά αν δεν είναι προορισμένο για τις πιέσεις στις οποίες λειτουργούμε τον κινητήρα. Επίσης η αυξημένη ποσότητα και θερμοκρασία καυσαερίων μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στον άξονα. Η εκτός προδιαγραφών άνοδος της ταχύτητας περιστροφής του, φθείρει πρόωρα τα κουζινέτα και φέρνει στην επιφάνεια τυχόν ατέλειες στην ζυγοστάθμιση του ρότορα.

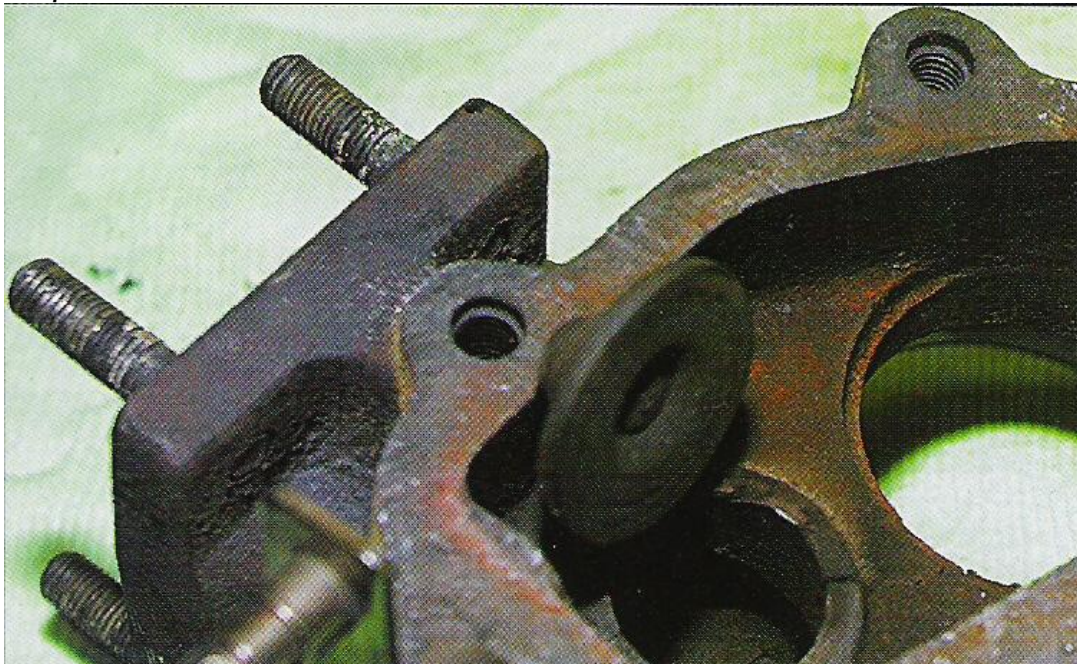


Υπερθέρμανση: υπερθέρμανση έχουμε όταν σβήσουμε απότομα τον κινητήρα χωρίς να τον αφήσουμε λίγο να λειτουργήσει χωρίς φορτίο (ρελαντί) για να κρυώσει ο στροβιλοσυμπιεστής. Συνεπώς μεγάλο ποσό θερμότητας πηγαίνει στο στροβιλοσυμπιεστή και κυρίως στον άξονά του. Εκεί υπερθερμαίνει το λάδι που ακουμπά επάνω του και δημιουργούνται ανθρακώσεις. Έτσι όταν εκκινήσουμε ξανά τον κινητήρα καταστρέφονται τα κουζινέτα.

Επίσης όταν ο στροβιλοσυμπιεστής δεχθεί πολύ θερμά καυσαέρια λόγω κακής ρύθμισης του κινητήρα από διαρροή καυσαερίων και αέρα ή περιορισμού στην ελεύθερη ροή τους και από βουλωμένο φίλτρο αέρα, θα παρουσιαστεί υπερθέρμανση με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ρήγματα στο σώμα του στροβίλου, φθορά στα κουζινέτα και στα ελατήρια του εμβόλου του άξονα. Λεπτομερέστερα τα κουζινέτα αποχρωματίζονται (μαυρίζουν) στην εξωτερική τους διάμετρο χωρίς να αποκλείεται και η περίπτωση ύπαρξης χαραγών. Αυτά συμβαίνουν σε μεγαλύτερο βαθμό στα κουζινέτα του στροβίλου. Το αξονικό κουζινέτο παρουσιάζει συνήθως μικρότερες ζημιές. Ο άξονας αποχρωματίζεται, καταστρέφονται τα ελατήρια του εμβόλου από την μεριά του στροβίλου με άμεσο επακόλουθο την καταστροφή των αυλακιών των ελατηρίων και εμφανίζεται υπερβολική φθορά στο κυρίως σώμα των εδράνων στο αντίστοιχο σημείο. Όσον αφορά τον τροχό του στροβίλου, αυτός δεν παρουσιάζει σχεδόν καμία ζημία εκτός από ακραίες περιπτώσεις όπου παρουσιάζεται κάπνα στα πτερύγια. Στο σώμα του στροβίλου από την υπερθέρμανση εμφανίζονται ξεφλουδίσματα, ρήγματα και μπορεί να καεί το μπροστινό τμήμα της προεξοχής που συγκρατεί τη φλάντζα της εισαγωγής του στροβίλου, με αποτέλεσμα τη στρέβλωση και καταστροφή της φλάντζας. Ο συμπιεστής και το καπάκι του επειδή σε όλες τις περιπτώσεις δέχεται μικρότερες θερμοκρασίες λόγω της ψύξης που δημιουργεί ο εισερχόμενος αέρας δεν παρουσιάζει συνήθως ζημιές.

Αποζυγοστάθμιση: εάν δεν είναι σωστά ζυγοσταθμισμένος ο στροβιλοσυμπιεστής ή αν δεν είναι σωστά ευθυγραμμισμένα τα διάφορα τμήματά του, τότε θα προκληθούν κραδασμοί στο κάρτριτζ. Οι κραδασμοί επιβαρύνουν τα κουζινέτα με κρουστικά φορτία και προκαλούν τη βίαιη επαφή τους με τις φωλιές τους, διασπώντας το λιπαντικό φιλμ. Εάν συμβεί κάτι τέτοιο, θα παρατηρηθούν φθορές και γυαλισμάτα στην εξωτερική επιφάνεια, στο εσωτερικό της οπής και στην εξωτερική άκρη του κουζινέτου. Στα αξονικά κουζινέτα θα υπάρξουν τριβές πιο πολύ στην εξωτερική διάμετρο προς το αντίστοιχο αξονικό δαχτυλίδι το οποίο πιθανόν να είναι εμποτισμένο με ορείχαλκο (σημάδι υπερθέρμανσης). Γυαλισμένο από την τριβή, εμποτισμένο με ορείχαλκο και με χαραγές μπορεί να είναι το σώμα των εδράνων, ενώ ακόμα και το αυλάκι του ελατηρίου του εμβόλου μπορεί να έχει φθορές. Τέλος χαραγές θα παρουσιαστούν και στους τροχούς του στροβίλου και του συμπιεστή.

Κακή λειτουργία περιφερειακών συστημάτων: αρκετές βλάβες ευθύνονται σε δυσλειτουργίες των περιφερειακών συστημάτων. Το wastegate μπορεί να ανοίγει πρόωρα, μειώνοντας την πίεση υπερπλήρωσης και συνεπώς την απόδοση του κινητήρα, ή μπορεί να ανοίγει καθυστερημένα έως καθόλου, αυξάνοντας υπερβολικά την πίεση και προκαλώντας άνοδο της θερμοκρασίας καυσαερίων.



Από φθαρμένες ή κολλημένες σκάστρες, γερασμένα κολάρα και μη στεγανά intercooler εμφανίζονται διαρροές με αποτέλεσμα την απώλεια πίεσης. Συνεπώς ο στροβιλοσυμπιεστής λειτουργεί συνεχώς αφού πρέπει να αναπληρώνει τον αέρα που διαφεύγει από το σύστημα της εισαγωγής. Οι απώλειες πίεσης συχνά δεν ανιχνεύονται δια της ακουστικής μεθόδου και ο απλούστερος τρόπος είναι η χρήση ενός μπαρομέτρου και ενός αναλυτή λόγου λ.

Η παρεμπόδιση της ροής του αέρα προς την εισαγωγή του στροβιλοσυμπιεστή προκαλεί την προσέγγιση του surge limit του κομπρέσορα (πατινάρισμα). Η

μεγάλη υποπίεση που προκαλούν δαιδαλώδης ή ανεπαρκούς διατομής σωληνώσεις πριν το στροβιλοσυμπιεστή, καθώς και φραγμένα φίλτρα αέρα, προκαλούν ουσιαστικά τη λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή σε κενό αέρος, με επακόλουθη αύξηση του ρυθμού περιστροφής του.

Η εξάτμιση μπορεί εύκολα να καταστρέψει ένα στροβιλοσυμπιεστή. Εάν έχει μικρή διατομή, δημιουργεί περιττό backpressure στην εξαγωγή, καταπονώντας το θρος και φρενάροντας τη φτερωτή. Επίσης συντελεί στην άνοδο της θερμοκρασίας των καυσαερίων. Απεναντίας, η πολύ μεγάλη εξάτμιση εξαλείφει το backpressure, το οποίο (σε λογικές τιμές) είναι απαραίτητο για την στεγανοποίηση του στροβιλοσυμπιεστή. Όταν πάψει να υπάρχει backpressure (κυρίως στο ρελαντί) σημειώνονται απώλειες λαδιού στην εξαγωγή με αποτέλεσμα την εμφάνιση καπνού.

Κακή χρήση: η τακτική αλλαγή και χρήση λιπαντικού κορυφαίας ποιότητας προστατεύει τα κουζινέτα και το θρος και αυξάνει τη διάρκεια ζωής του στροβιλοσυμπιεστή.

Η σωστή χρήση του κινητήρα όσο το λιπαντικό είναι κρύο είναι αυτονόητη διότι η θερμοκρασία του λαδιού δεν αυξάνεται ανάλογα με του ψυκτικού υγρού του κινητήρα, για την οποία έχουμε πληροφόρηση απ' το θερμόμετρο στο ταμπλό. Συχνά χρειάζονται αρκετά παραπάνω χιλιόμετρα μέχρι να φτάσει το λάδι στην θερμοκρασία λειτουργίας του (τουλάχιστον 75°C), ώστε να τον προστατεύει επαρκώς. Επίσης μετά από κάθε διαδρομή πρέπει ο κινητήρας να λειτουργεί στο ρελαντί τουλάχιστον 2 – 3 λεπτά, ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του κάρτριτζ ενώ κυκλοφορεί μέσα του λάδι. Αν δεν γίνει αυτό, η υψηλή θερμοκρασία του στροβιλοσυμπιεστή 'καίει' τα κουζινέτα, ενώ το λάδι που πλέον δεν κυκλοφορεί μέσα στο κάρτριτζ ώστε να ανανεώνεται και να απορροφά μέρος του θερμικού του φορτίου, μετατρέπεται σε σκληρή ανθράκωση. Η ανθράκωση αυτή κατακάθεται σιγά-σιγά στον άξονα και τα κουζινέτα, περιορίζοντας τη ροή του λιπαντικού, ενώ από ένα σημείο και μετά θρυμματίζεται, προσβάλλει τις τριβόμενες επιφάνειες και τις καταστρέφει. Τέλος πρέπει να τηρούνται οι οδηγίες σε ότι αφορά στην πίεση υπερπλήρωσης και κάθε άλλη ιδιαιτερότητα του κινητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΕΣ
(ΚΟΜΠΡΕΣΣΟΡΕΣ)

Κομπρέσορες (μηχανικοί υπερτροφοδότες)

§2.1 Ιστορικά

Οι στροβιλοσυμπιεστές στις μέρες μας είναι η πιο διαδεδομένη μορφή υπερτροφοδότησης κινητήρων, αν και η αρχαιότερη και αποδοτικότερη μορφή υπερτροφοδότησης είναι οι μηχανικοί υπερτροφοδότες.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που υπήρχε στην ιστορία των κινητήρων εσωτερικής καύσης ήταν και εξακολουθεί να είναι η αύξηση της απόδοσης και της ισχύος τους σε συνδυασμό με την μείωση των διαστάσεων και του βάρους τους. Γι' αυτόν τον λόγο οδηγηθήκαμε στην εφαρμογή της υπερτροφοδότησης ή αλλιώς βεβιασμένης εισαγωγής αέρα στον κινητήρα (forced induction), από την εποχή που εφευρέθηκαν οι μηχανές εσωτερικής καύσης (M.E.K.).

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι να αυξήσουμε την ισχύ ενός κινητήρα και κινούνται και οι δύο γύρω από ένα και μοναδικό στόχο, ο οποίος είναι η καύση περισσότερου καυσίμου στη μονάδα του χρόνου. Ο πρώτος τρόπος είναι να αυξήσουμε τον κυβισμό του κινητήρα και ο δεύτερος τον ρυθμό περιστροφής του. Πριν από 100 χρόνια οι κινητήρες ήταν ούτως η άλλως μεγάλοι (απ' όλες τις απόψεις), βαριοί και αργόστροφοι. Οπότε έπρεπε να βρεθεί κάποιος άλλος τρόπος να αυξηθεί η ισχύς χωρίς να μεγαλώσουν οι κινητήρες ή να χρειαστεί τεράστια και πολυδάπανη εξέλιξή τους. Ο Rudolf Diesel ήταν ο μηχανικός που πριν από 106 χρόνια πατεντάρισε την χρήση ενός υπερτροφοδότη προσαρμοσμένου σε έναν πετρελαιοκινητήρα του. Αυτό που σκέφτηκε ήταν πως αν κατάφερνε να δώσει περισσότερο αέρα στον κινητήρα απ' όσον μπορεί να εισάγει από μόνος του, θα μπορούσε να κάψει περισσότερο καύσιμο σαν να είχε μεγαλύτερο κυβισμό συνεπώς θα παρήγαγε μεγαλύτερη ισχύ. Οπότε η λύση θα ήταν να βάλει στην εισαγωγή μια μεγάλη αντλία η οποία θα έδινε στον κινητήρα αέρα με πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.

§2.2 Μηχανικοί υπερτροφοδότες

Η υπερτροφοδότηση βασίζεται στην συμπίεση του αέρα με μια αεραντλία προτού αυτός εισέλθει υπό πίεση στον κινητήρα. Οι αντλίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την συμπίεση του αέρα είναι πάρα πολλές, στην ουσία χιλιάδες παραλλαγές, και ο πρώτος που προσπάθησε να τις κατηγοριοποιήσει συστηματικά ήταν ο Felix Wankel. Στις αυτοκινητιστικές εφαρμογές ωστόσο έχουν επικρατήσει τρεις τύποι:

Ο τύπου Roots ο οποίος είναι και ο αρχαιότερος, ο φυγοκεντρικός που στην ουσία είναι ένας πολύ μεγάλος στροβιλοσυμπιεστής κινούμενος από τον στροφαλοφόρο αντί από τα καυσαέρια του κινητήρα και τέλος ο κοχλιοφόρος που είναι ένας από τους πιο αποδοτικούς αλλά συγχρόνως και ο ακριβότερος. Η ιστορία του κοχλιοφόρου ξεκινά από τα μεγάλα βιομηχανικά κομπρεσέρ,

χρησιμοποιείται ευρέως σε αγώνες dragster, καθώς και σε ορισμένα βαρέα μηχανήματα. Ο συμπιεστής τύπου Roots χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα από μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες και κυρίως την Mercedes. Οι φυγοκεντρικοί κομπρέσορες έχουν εξελιχθεί πάρα πολύ και χρησιμοποιούνται ευρέως. Διάφοροι κατασκευαστές όπως η Volkswagen έχουν χρησιμοποιήσει μηχανικό υπερσυμπιεστή γνωστό ως G-lader το οποίο τοποθετήθηκε στο Polo G40, Golf και Corrado G60.

Σχόλιο: Ο συγκεκριμένος μηχανικός υπερσυμπιεστής σταμάτησε να χρησιμοποιείται από την VW και αντικαταστάθηκε από τον στροβιλοσυμπιεστή, αν και είναι ένας πολύ αποδοτικός τύπος κομπρέσορα. Παρότι είναι μία καινούργια ανακάλυψη στο χώρο της αυτοκίνησης, βασίζεται σε μια παλιά ευρεσιτεχνία του 1905 την οποία κατοχύρωσε ο Γάλλος L. Creux. Η ονομασία του προέρχεται από τον παλλόμενο σπειροειδή ρότορα του ο οποίος έχει σχήμα G και κινείται έκκεντρα μέσα σε μια σταθερή σπείρα με αντίστοιχο σχήμα. Ο ρότορας πάλλεται με τη βοήθεια ενός εκκεντροφόρου στο κέντρο του, ο οποίος παραλαμβάνει την κίνηση του στροφαλοφόρου μέσω ιμάντα (τύπου Poly-V). Ο ρότορας πάλλεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής να ανοιγοκλείνουν την κατάλληλη στιγμή καθώς ο όγκος μεταξύ των σταθερών και κινούμενων σπειρών μεταβάλλεται ανάλογα. Ο G-Lader έχει δύο σετ σπειρών, μια σταθερή σε κάθε μισό του κελύφους του και μια σε κάθε μεριά του ρότορα που δεν λειτουργεί συγχρονισμένα προκειμένου η παροχή του αέρα να είναι ομαλή, με μικρή παλμικότητα και μεγάλο όγκο. Η τελευταία έκδοση του G-Lader, γνωστή ως G40, δίνει μέγιστη πίεση 0,72 bar, στις 10.200 rpm και με παροχή 96 lt/min.

§2.3 Τι προσφέρει ένας κομπρέσορας

Παρά την πολύπλοκη σχεδίαση του, ο κομπρέσορας συνιστά την πιο απλή μέθοδο υπερτροφοδότησης. Ο λόγος είναι ότι ο κομπρέσορας είναι απευθείας, και συνήθως μονίμως, συνδεδεμένος με τον στροφαλοφόρο του κινητήρα. Σε πολλές σύγχρονες εφαρμογές χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρομαγνητικός συμπλέκτης (όμοιο με αυτόν που διαθέτουν τα κομπρεσέρ των κλιματιστικών) ή έναν φυγοκεντρικό, ώστε ο κομπρέσορας να μη λειτουργεί στο ρελαντί ή όταν αφήνουμε το γκάζι. Παρ' όλα αυτά σε γενικές γραμμές περιστρέφεται μαζί με τον κινητήρα και η ταχύτητα περιστροφής του αυξομειώνεται ακριβώς όσο και του κινητήρα. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση υπερπλήρωσης είναι σχεδόν σταθερή υπό όλες τις συνθήκες. Εννοούμε σχεδόν γιατί όπως και κάθε αεραντλία ή ένας στροβιλοσυμπιεστής, έτσι και ο κομπρέσορας έχει ένα συγκεκριμένο εύρος λειτουργίας όπου παρουσιάζει την μέγιστη απόδοση του. Ωστόσο οι αποκλίσεις από αυτή τη μέγιστη τιμή είναι πολύ μικρότερες απ' ότι σε ένα στροβιλοσυμπιεστή. Γι' αυτό ο κομπρέσορας δεν εμφανίζει σχεδόν καθόλου καθυστέρηση στην απόκριση (lag) και αν αυτή η καθυστέρηση υπάρχει είναι πολύ μικρότερης έκτασης και έντασης απ' ότι σε οποιαδήποτε εγκατάσταση

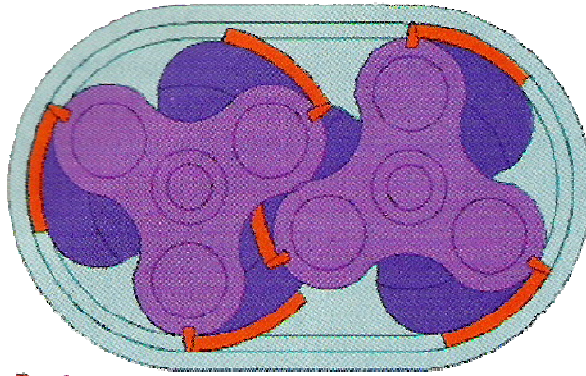
στροβιλοσυμπιεστή. Ένας κομπρέσορας διευκολύνει πολύ το σχεδιασμό του υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα, αφού έχει λιγότερες απαιτήσεις λίπανσης και ψύξης σε σχέση με έναν στροβιλοσυμπιεστή και δεν δημιουργεί προβλήματα θερμοκρασιών στην εξαγωγή του κινητήρα. Επίσης είναι λιγότερο ευπαθής από ένα στροβιλοσυμπιεστή, γιατί η ταχύτητα περιστροφής του σπάνια ξεπερνά το διπλάσιο αυτής του κινητήρα σε αντίθεση με ένα στροβιλοσυμπιεστή που ξεπερνά τις 120.000 – 150.000 rpm. Το γεγονός ότι υπάρχει σταθερή πίεση υπερπλήρωσης διευκολύνει το έργο της μονάδας διαχείρισης ελέγχου κινητήρα. Ένας κινητήρας ο οποίος είναι εφοδιασμένος με κομπρέσορα είναι σχεδόν όσο γραμμικός θα ήταν ένας ατμοσφαιρικός πολύ μεγαλύτερου κυβισμού. Το διάγραμμα ροπής είναι αρκετά γραμμικό το οποίο μεταφράζεται σε φιλικότερη και ομαλότερη συμπεριφορά του αυτοκινήτου, και αρκετά συχνά σε περισσότερο έλεγχο των κινητήριων τροχών και καλύτερη οδηγική συμπεριφορά. Συνήθως οι κομπρέσορες ζεσταίνουν λιγότερο το συμπιεσμένο αέρα, αφενός γιατί δεν έχουν επαφή με τα καυσαέρια αφετέρου γιατί δεν διατρέχουν τον κίνδυνο να λειτουργήσουν σε περιοχές πολύ μειωμένης απόδοσης (κάτω από 65%). Επίσης έχει την ιδιότητα να ρυθμίζεται η ταχύτητα περιστροφής του στα επίπεδα που θα μας δώσουν την επιθυμητή πίεση υπερπλήρωσης (κατάλληλος εσωτερικός όγκος συμπίεσης).

§2.4 Βασική λειτουργία

Θα αναφερθούμε στην αρχή λειτουργίας και τα βασικά στοιχεία κατασκευής των τριών κύριων ειδών κομπρέσορα που προαναφέραμε, για να μπορέσουμε κατόπιν να μελετήσουμε τις εφαρμογές και τις δυνατότητές τους.

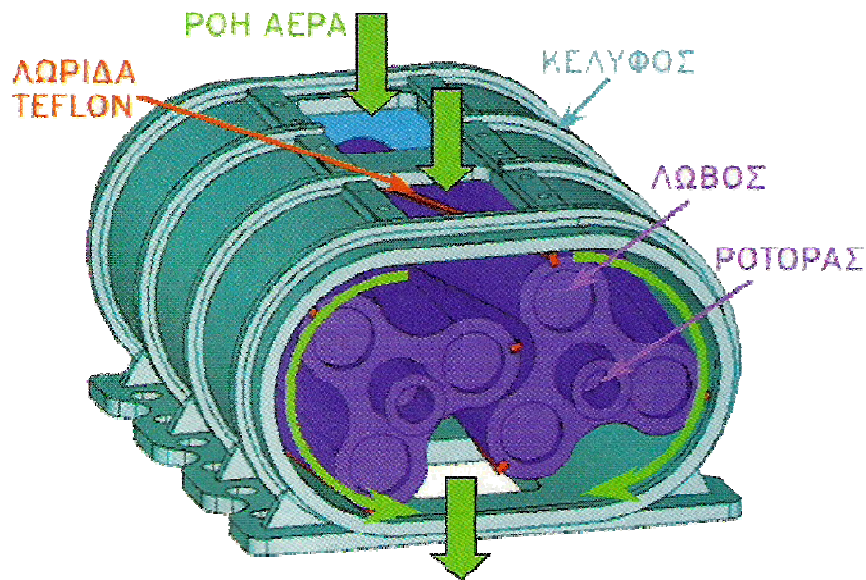
I) Κομπρέσορας τύπου Roots

Η ύπαρξη του χρονολογείται από το 1848 με εφευρέτη του τον George Jones από το Birmingham της Αγγλίας. Ο Jones ανακάλυψε ένα φυσερό (blower). Ο όρος 'blower' είναι ο πλέον κατάλληλος, αφού ο Roots δεν συμπιέζει τον αέρα στο εσωτερικό του, απλά διοχετεύει περισσότερη μάζα αέρα στον κινητήρα απ' όση θα μπορούσε να αντλήσει μόνος του και έτσι αυξάνεται η πίεση στην εισαγωγή του κινητήρα.



Η αρχή λειτουργίας του Roots

Ο αέρας παγιδεύεται ανάμεσα στους περιστρεφόμενους λοβούς και το εξωτερικό κέλυφος και κινείται περιμετρικά από την εισαγωγή προς την εξαγωγή. Το διάγραμμα δείχνει την παραλλαγή με τρεις λοβούς οι οποίοι εμπλέκονται μεταξύ τους υπό γωνία για λιγότερο θόρυβο και πιο ομαλή ροή του αέρα στην εξαγωγή του κομπρέσορα. Οι στεγανοποιητικές λωρίδες Teflon στις ακμές των λοβών αυξάνουν την απόδοση μειώνοντας τις διαρροές αέρα μέσα από τα διάκενα μεταξύ ροτόρων και κελύφους

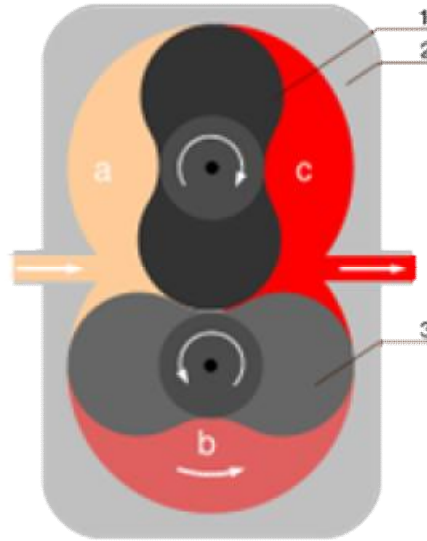


Η λειτουργία του βασίζεται σε δυο ρότορες που ο καθένας τους έχει δυο λοβούς που εμπλέκονται μεταξύ τους. Η εταιρεία P.H. & F.M. Roots με έδρα το Connersville της Indiana το 1866 τελειοποίησε την εφεύρεση του Jones την οποία εκμεταλλεύτηκε εμπορικά με αποτέλεσμα να μείνει στην ιστορία ο συγκεκριμένος κομπρέσορας με το όνομα της.

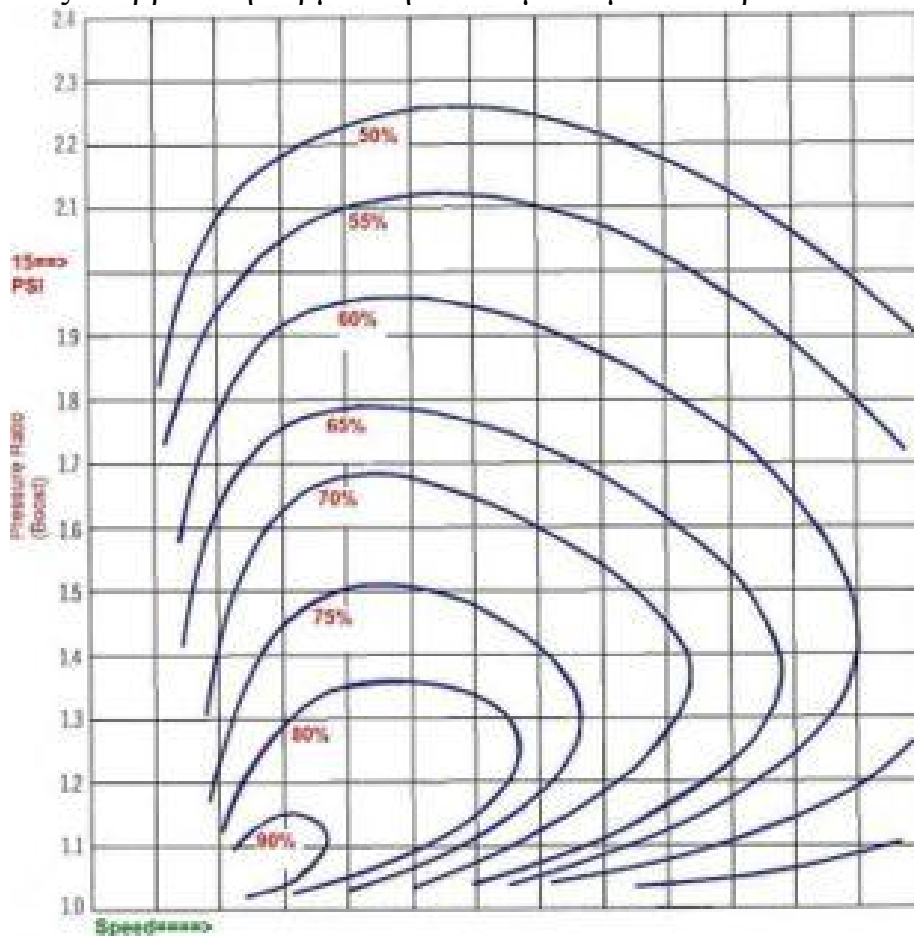
Ο Roots είναι ο πιο διαδεδομένος και γνωστός τύπος μηχανικού υπερτροφοδότη και παρέμεινε στην κορυφή μέχρι την ανακάλυψη των στροβιλοσυμπιεστών.

Έχει χρησιμοποιηθεί σε κάθε είδους δίχρονους και τετράχρονους βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες, σε βιομηχανικούς αεροσυμπιεστές και για την συμπίεση του θαλάμου των επιβατών σε αεροσκάφη. Το κύριο χαρακτηριστικό που τον έκανε τόσο διαδεδομένο είναι ότι εξασφαλίζει επαρκή παροχή αέρα σε ένα μεγάλο εύρος ταχύτητας περιστροφής. Οι δύο ρότορες δεν έρχονται σε επαφή αλλά είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους έσω εξωτερικών γραναζιών σε κάθε ρότορα. Ο αέρας μπαίνει στον κομπρέσορα από την θυρίδα εισαγωγής, οι ρότορες τον εγκλωβίζουν και τον κινούν προς το εσωτερικό του

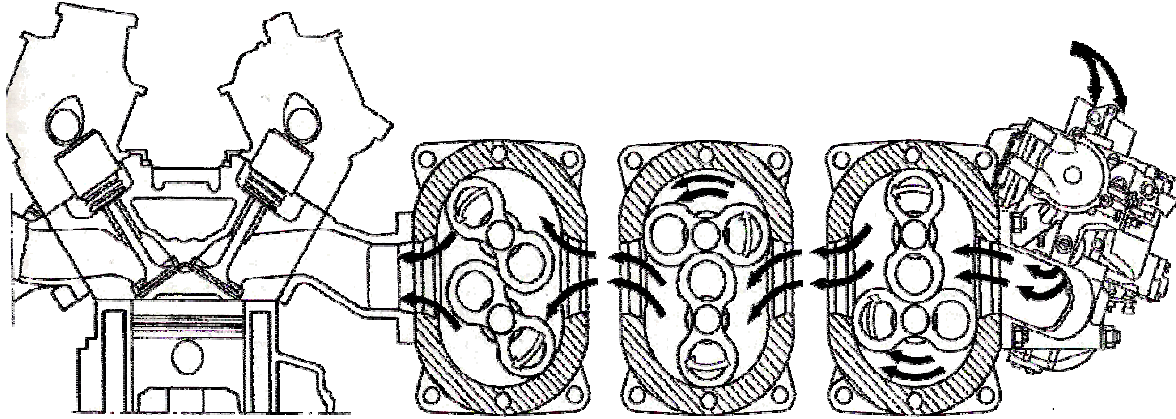
κελύφους, και στο τέλος τον σπρώχνουν στη θυρίδα εξαγωγής που είναι συνδεδεμένη με την εισαγωγή του κινητήρα.



Η εκτόνωση του αέρα υπό πίεση στην εισαγωγή του κινητήρα δημιουργεί μία ζώνη στροβίλισμού στη θυρίδα εξαγωγής. Αυτός είναι ο κύριος λόγος της χαμηλής απόδοσης του Roots, η οποία μπορεί να πέσει και κάτω από το 50% προκαλώντας υπερβολική θέρμανση του συμπιεσμένου αέρα.



Τα μοναδικά τριβόμενα μέρη του Roots είναι τα γρανάζια του, τα οποία κινούνται μέσα σε δικό τους θάλαμο λίπανσης και έτσι περιορίζονται δραστικά οι μηχανικές απώλειες του μηχανισμού. Η βασική σχεδίαση του Roots είναι ότι είχε ρότορες με δύο λοβούς, αλλά διάφορες παραλλαγές με τρεις και τέσσερις λοβούς είναι αρκετά διαδεδομένες σε μία προσπάθεια αύξησης της απόδοσής του. Η διαδρομή των λοβών είναι ως επί το πλείστον κυκλική, αλλά υπάρχουν διάφορες εκδόσεις με ωσειδή ή ακόμα και πιο πολύπλοκα σχήματα.

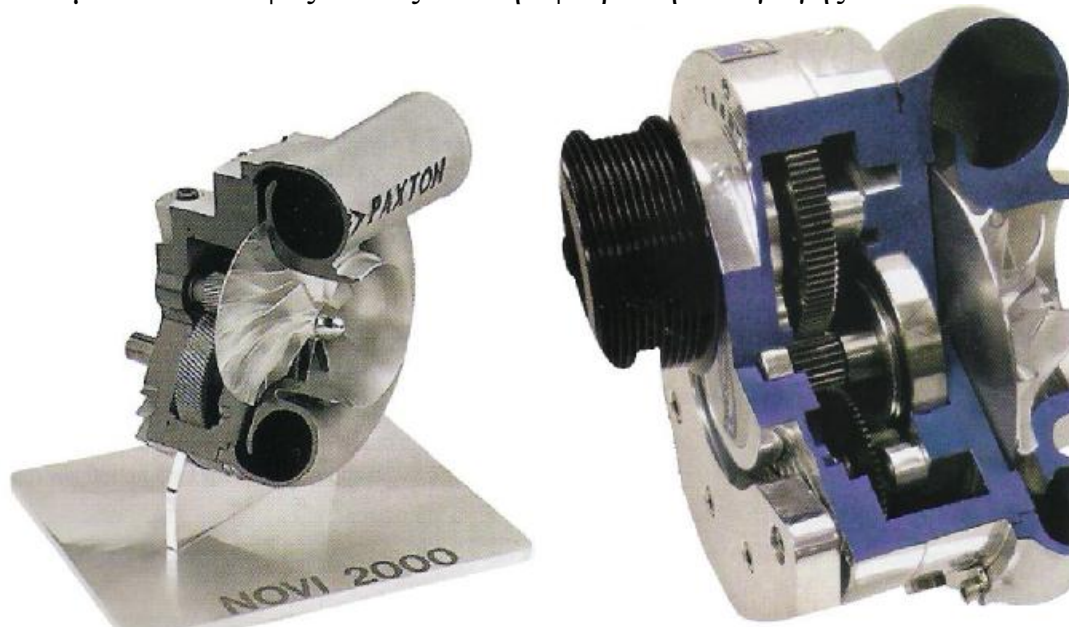


Ένα νεότερο δείγμα της εφαρμογής του Roots στη μαζική παραγωγή ήταν η Landia Beta 400 λίτρων των αεροών του Ήπ. Εδώ βλέπουμε τις φάσεις συμπύεσης του μείγματος στην εισαγωγή του κινητήρα

Η πίεση τείνει να αυξάνει ελαφρώς σε συνάρτηση με την ταχύτητα περιστροφής, καθώς οι διαρροές και η ανακύκλωση του αέρα γύρω από - και ανάμεσα - στους ρότορες περιορίζονται. Συνεπώς η ογκομετρική απόδοση εμφανίζει μία ανοδική τάση συναρτήσει της ταχύτητας αλλά αυτό δεν μας απασχολεί τόσο αφού το κύριο ευεργέτημα του κομπρέσορα είναι η αύξηση της ροπής στις πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Ο Roots δεν ενδείκνυται για πολύ υψηλούς λόγους πίεσης πάνω από 1,5 bar, εξαιτίας των προαναφερθέντων διαρροών. Ο συμπιεστής Roots έχει έναν πολύ χαρακτηριστικό θόρυβο που προκαλείται από την παλλόμενη ροή του αέρα στην έξοδο του και την σύγκρουσή του με τον πεπιεσμένο αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα. Γι' αυτό η General Motors είχε την ιδέα να χρησιμοποιήσει ελικοειδής ρότορες για να εξομαλύνει τη ροή του αέρα για να μειώσει το θόρυβο. Μια εναλλακτική πρόταση που απλουστεύει την κατασκευή και μειώνει το κόστος της, είναι η διαμόρφωση των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής σε σχήμα δέλτα (Δ) ή η χωροταξίας τους υπό γωνία ως προς τον διαμήκη άξονα του κομπρέσορα. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευθύς ρότορες με ανάλογα αποτελέσματα. Σε μια περαιτέρω προσπάθεια αύξησης της απόδοσης του Roots, με πάροδο του χρόνου μειώθηκαν πολύ τα διάκενα ρότορα - ρότορα και ρότορα - κελύφους. Ακόμη τοποθετήθηκαν λεπτές λωρίδες τεφλόν στις ακμές των ροτόρων, οι οποίες επιτρέπουν ακόμα μικρότερα διάκενα χωρίς κίνδυνο καταστροφής του συνόλου.

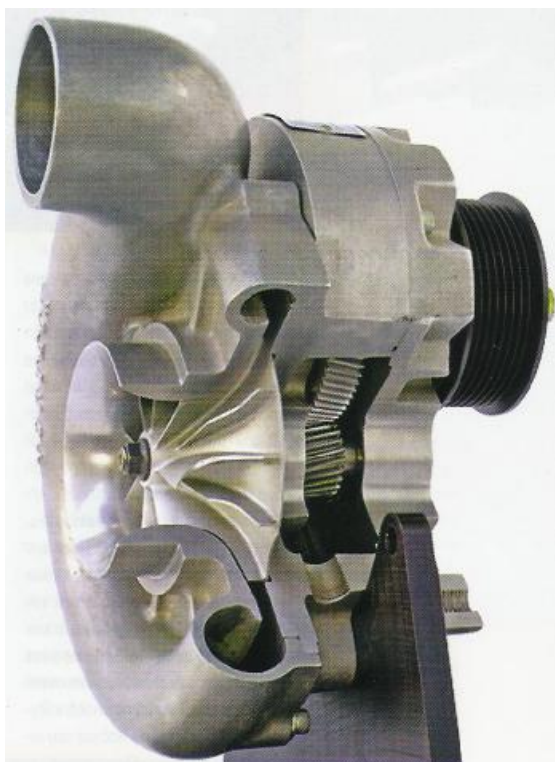
II) Φυγοκεντρικός συμπιεστής

Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής μοιάζει πολύ με έναν στροβιλοσυμπιεστή. Στην ουσία είναι ένας κομμένος στροβιλοσυμπιεστής που έχουμε κρατήσει μόνο το αλουμινένιο κέλυφος καθώς και την φτερωτή εισαγωγής.



Η φτερωτή αναρροφά αέρα από το στόμιο εισαγωγής. Ο αέρας παρασύρεται από τα περύγια και καθώς κινείται προς την εξωτερική περιφέρεια της φτερωτής η ταχύτητα του αυξάνεται κατά πολύ. Από την φτερωτή ο αέρας περνά μέσα από ένα σύνολο αποκλινόντων ακροφυσίων που είναι τοποθετημένα γύρω από το συμπιεστή. Αυτά επιβραδύνουν τον αέρα, αυξάνοντας την πίεση του καθώς τον διοχετεύουν στον συλλέκτη, δηλαδή τη φτερωτή εισαγωγής. Από εκεί ο αέρας διοχετεύεται προς την εισαγωγή του κινητήρα.

Ο άξονας της φτερωτής κινείται από τον κινητήρα, συνήθως με ιμάντα. Για να μπορέσει να είναι αποδοτικός ο συμπιεστής αυτού του τύπου, η φτερωτή πρέπει να κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Επειδή η έδραση του άξονα γίνεται με ρουλεμάν και η κίνηση με ιμάντα, ενώ η στεγανοποίησή τους με κανονικές τσιμούχες, η ταχύτητα περιστροφής του κομπρέσορα δεν μπορεί στα επίπεδα του στροβιλοσυμπιεστή. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται συμπιεστές με πολύ μεγάλο μέγεθος, συνήθως 3 - 5 φορές μεγαλύτερο από αυτό που θα είχε ένας στροβιλοσυμπιεστής για την ίδια εφαρμογή, και περιστρέφονται με ταχύτητα τετραπλάσια ή πενταπλάσια του κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται ενσωματώνοντας έναν πολλαπλασιαστή στροφών, γνωστό ως 'gearbox', στο σώμα του κομπρέσορα.



Αυτός παραλαμβάνει την κίνηση από τον μάντα, αυξάνει τις στροφές και κινεί τον άξονα του κομπρέσορα.

Όπως ισχύει και με έναν στροβιλοσυμπιεστή, η φτερωτή του κομπρέσορα θα πρέπει να επιλέγεται κατόπιν μελέτης ώστε να εξασφαλίζει αρκετή παροχή και πίεση χωρίς να πέφτει σημαντικά η απόδοσή του. Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές καταναλώνουν μικρά ποσά ενέργειας για την κίνησή τους, σε σχέση με τους άλλους, λιγότερο διαδεδομένους τύπους. Επίσης είναι πολύ αξιόπιστοι, και πιο συμπαγείς σε μέγεθος και βάρος από τους Roots.

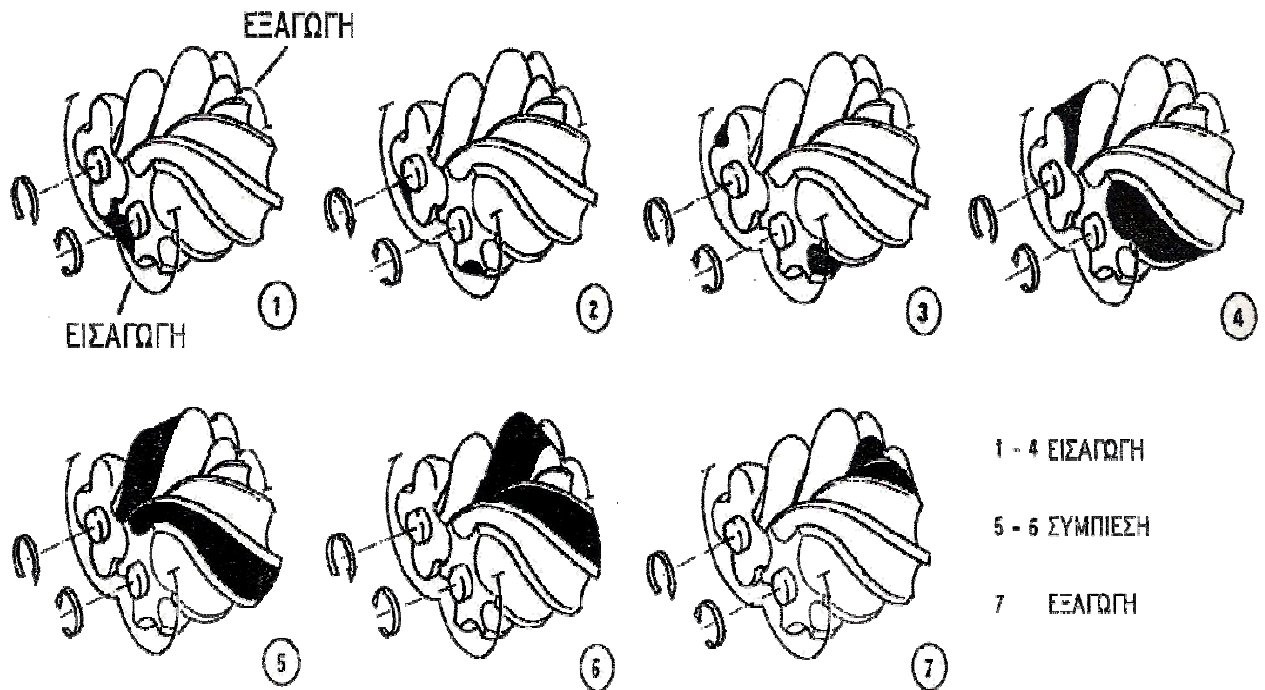
III) Κοχλιοφόροι συμπιεστές

Αυτού του τύπου οι συμπιεστές είναι πολύ συμπαγείς, καταναλώνουν μικρά ποσά ενέργειας και έχουν πολύ μεγάλη απόδοση επειδή η ροή του αέρα στην έξοδο δεν εμφανίζει ταλαντώσεις. Ο τύπος αυτός συμπιεστή χρησιμοποιείται σε αγωνιστικούς κινητήρες λόγω της κατακόρυφης αύξησης της ισχύς και λόγω της ευρείας διάδοσής τους, λύθηκαν προβλήματα ψύξης και αξιοπιστίας.



Η βασική ιδέα είναι η περιστροφή ελίκων (κοχλιών) μέσα σε έναν περιορισμένο χώρο. Η περιστροφή του κοχλία παρασύρει τον αέρα και τον ωθεί προς την έξοδο όπως ακριβώς κάνει και ο Roots. Αυτή η ιδέα αποτέλεσε την βάση εξέλιξης πολλών κοχλιοφόρων συμπιεστών. Ένας από τους πιο γνωστούς και αποδοτικούς είναι ο συμπιεστής που σχεδίασε ο Ελβετός μηχανικός Lysholm, ο οποίος χρησιμοποιεί δύο εμπλεκόμενους κοχλίες. Οι συμπιεστές Lysholm κατασκευάζονται από πολλούς κατασκευαστές και έχουν ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογής στη βιομηχανία. Το κόστος κατασκευής είναι μεγάλο επειδή οι κοχλίες πρέπει να είναι κατεργασμένοι με πολύ μεγάλη ακρίβεια για να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα μεταξύ τους. Με δεδομένο ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο μέσο στεγανοποίησης (εξαιρέση αποτελούν οι βιομηχανικοί αεροσυμπιεστές όπου ο συμπιεζόμενος αέρας αναμιγνύεται με λάδι, το οποίο δρα ως μέσο στεγανοποίησης και στη συνέχεια διαχωρίζεται από τον αέρα με ειδικές συσκευές), η κατασκευαστική ακρίβεια είναι καθοριστικός παράγοντας για την απόδοση του ξηρού συμπιεστή που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα. Ενώ εκ πρώτης όψεως ο κοχλιοφόρος συμπιεστής σχεδόν μοιάζει με τον Roots, η σημαντική του διαφοροποίηση είναι ότι οι κοχλίες είναι διαφορετικοί μεταξύ τους. Ο αρσενικός κοχλίας έχει τέσσερις λοβούς και ο θηλυκός έχει έξι αυλούς.

Οι κοχλίες κινούνται μέσω γραναζιών, όπως στον Roots, αλλά με σχέση μετάδοσης 6:4 μεταξύ αρσενικού και θηλυκού. Όπως φαίνεται και από το σχετικό διάγραμμα, το αποτέλεσμα αυτής της διάταξης είναι πως ο όγκος του αέρα που εγκλωβίζεται μεταξύ λοβού και αυλού συμπιέζεται ταυτόχρονα με την προώθηση του προς την έξοδο του συμπιεστή.

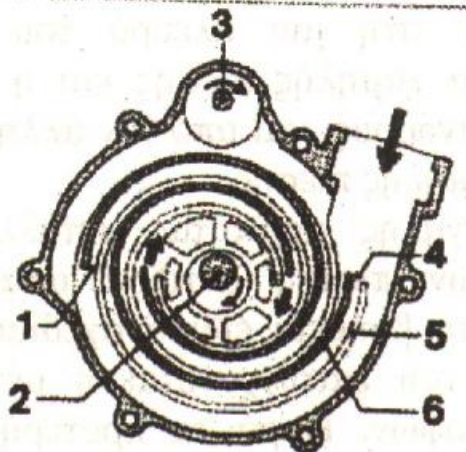


Η αρχή λειτουργίας του κοκλιωτού συμπιεστή τύπου Αίσκαλημ

Οι δύο κοκλίες περιστρέφονται σε διαφορετική ταχύτητα μεταξύ τους. Στο επικινιζόμενο παράδειγμα, ο αρσενικός κοκλιάς έχει τέσσερις λοβούς και ο θηλυκός έχει έξι αυλακούς. Είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με γρανάζιο, με σχέση μετάδοσης 6:4. Η σχετική κίνηση μεταξύ των κοκλιών μεταφέρει τον ελεύθερο χώρο κατά μήκος τους, και ο αέρας συμπιέζεται καθώς προχωρά από την είσοδο του συμπιεστή προς την έξοδό του.

IV) Ο υπερσυμπιεστής G- CHARGER

Ο G-Charger είναι ένας σπειροειδής μηχανικός υπερσυμπιεστής και ονομάζεται έτσι λόγω του σχήματός του. Αποτελείται από ένα σπειροειδές κέλυφος, μέσα στο οποίο περιστρέφεται παράκεντρα ένα ελικοειδές στοιχείο, φροντίζοντας για την επιτάχυνση και συμπίεση του αέρα εισαγωγής, ενώ από την κίνηση του τελευταίου καθορίζεται το άνοιγμα ή το κλείσιμο της θυρίδας εξαγωγής του συμπιεσμένου αέρα. Η κίνηση μεταδίδεται με ιμάντα από τον στροφαλοφόρο άξονα σε έναν πρόσθετο άξονα, ο οποίος με τη σειρά του κινεί το ελικοειδές στοιχείο.



Είσοδος αέρα στον πρώτο χώρο συμπίεσης

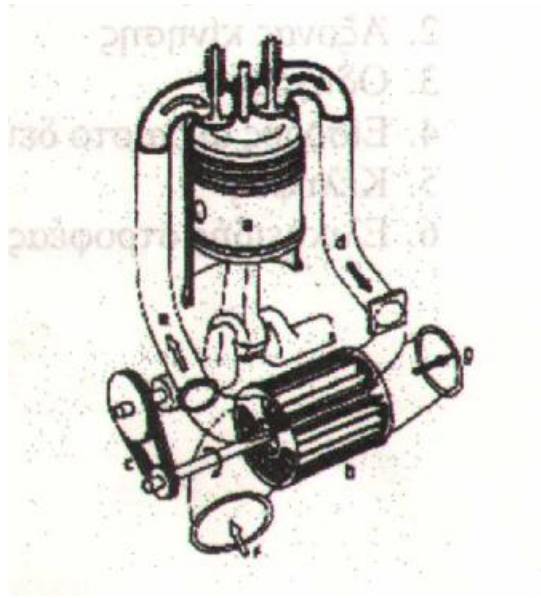
1. Άξονας κίνησης
2. Οδηγός
3. Είσοδος αέρα στο δεύτερο χώρο συμπίεσης
4. Κέλυφος
5. Ελικοειδής στροφέας

V) Υπερσυμπιεστής κυμάτων πίεσης (COMPREX)

Ένας ακόμα μηχανικός υπερσυμπιεστής, που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, είναι ο συμπιεστής κυμάτων πίεσης ή Comprex, ο οποίος δοκιμάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '80 από τις Mazda και Opel (σε κινητήρες ντίζελ) και από τη Ferrari (στη φόρμουλα 1). Στην ουσία πρόκειται για μια θερμοδυναμική συσκευή, στην οποία η ενέργεια που περιέχεται στα καυσαέρια μεταδίδεται στον αέρα εισαγωγής.

Η ανταλλαγή ενέργειας πραγματοποιείται στον πυρήνα ενός ρότορα που παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα μέσω μιάντα και μάλιστα με την ταχύτητα του ήχου. Ο ρότορας είναι τοποθετημένος μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής του κινητήρα, με τέτοιο τρόπο ώστε στη μια πλευρά του να υπάρχει εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα χαμηλής πίεσης και η εξαγωγή συμπιεσμένου αέρα προς τους κυλίνδρους, και από την άλλη η εξαγωγή καυσαερίων υψηλής και αέρα χαμηλής πίεσης.

Λόγω της μεγάλης ταχύτητας ανταλλαγής της ενέργειας, ο συμπιεστής κυμάτων πίεσης αντιδρά ακαριαία και έχει άμεση απόκριση, ενώ με τη βοήθεια ειδικά σχεδιασμένων πτερυγίων στην εξωτερική πλευρά του επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση σε ένα μεγάλο φάσμα στροφών. Παρά τα προτερήματα που προσφέρει ο Comprex, δεν κατάφερε να φθάσει ποτέ το στάδιο παραγωγής, μένοντας γνωστός μόνο σαν ένας από τους πολλούς πειραματισμούς της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ίσως, βέβαια στο μέλλον να αναζωπυρωθεί το ενδιαφέρον των κατασκευαστών και να έχουμε εξελίξεις σε αυτό το θέμα.



COMPREX : ΜΗΧΑΝΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΠΙΕΣΗΣ

- a. Μηχανή
- b. Στροφείο
- c. Ιμάντας κινήσεως
- d. Υψηλής πίεσεως καυσαέριο
- e. Αέρας υψηλής πίεσεως
- f. Αέρας χαμηλής πίεσεως
- g. Χαμηλής πίεσεως καυσαέριο

§2.5 Μετατροπή ατμοσφαιρικού κινητήρα σε μηχανικά υπερτροφοδοτούμενο (κομπρέσορας)

Οι κομπρέσορες άργησαν να διαδοθούν λόγω της μεγάλης έλλειψης ανθρώπων που να γνωρίζουν το αντικείμενο αλλά και να είναι διατεθειμένοι να επενδύσουν σ' αυτό. Δηλαδή λίγοι είναι αυτοί που διατίθενται να ασχοληθούν με μετατροπές που μπορούν να προσφέρουν ισχύ, ενώ ασχολούνται με άλλες που παίρνουν πίσω ένα μέρος της (στροβιλοσυμπιεστές). Άλλος ένας λόγος είναι ότι οι σχεδιαστές και μηχανικοί προσπαθούσαν επί μακρόν – και συνεχίζουν – να κατασκευάσουν αποδοτικούς, αθόρυβους, μικρούς και ενεργειακά ολιγαρκείς κομπρέσορες.

Τα τελευταία χρόνια όμως η κατάσταση αλλάζει με ταχείς ρυθμούς, αφού καθημερινά εμφανίζονται στην αγορά ολοένα και περισσότεροι νέοι κομπρέσορες, εξελιγμένοι σε υψηλό βαθμό και κατασκευασμένοι ώστε να καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις και να μπορούν επάξια να χρησιμοποιηθούν στη θέση ενός στροβιλοσυμπιεστή.

I) Οι εφαρμογές

Ένας κομπρέσορας έχει ευρύ πεδίο εφαρμογών. Παρακάτω αναλύονται κάποιες περιπτώσεις υπερτροφοδότησης που μπορεί να αντικαταστήσει. Ένα πρώτο βήμα είναι τα λεγόμενα 'light' compressor kits, ώστε να αυξήσει κανείς την απόδοση του κινητήρα κατά 30 – 40% χωρίς να επέμβει στο εσωτερικό του. Για αρκετούς κινητήρες υπάρχουν έτοιμες λύσεις που περιλαμβάνουν όλα τα απαραίτητα εκτός από τον κομπρέσορα, όπως βάσεις στήριξης, μάντες και τροχαλίες κίνησης, σωληνώσεις, intercooler, συσκευές εμπλουτισμού του καυσίμου μίγματος και παραμετροποίησης του χρονισμού της ανάφλεξης. Τα κοστολόγια ξεκινούν από 4.500€ ενώ μπορεί να ξεπεράσουν και τα 7.000€ για μεγαλύτερους κινητήρες. Αυτού του είδους οι μετατροπές προσανατολίζονται κυρίως στην αύξηση της ροπής χωρίς την κατακόρυφη αύξηση της ιπποδύναμης, παρέχοντας μεγάλη υποδομή ασφαλείας του κινητήρα και μια αύξηση της ισχύος, και μάλιστα στις χαμηλές στροφές, ώστε να μην χρειάζεται να εξαντλεί κανείς τα όρια του. Kit τέτοιας φιλοσοφίας είναι πολύ διαδεδομένα και για τους μεγάλους εξακύλινδρους και οκτακύλινδρους Αμερικάνικους κινητήρες. Επίσης προσφέρονται για τζιπ και μικρά pick-up που μεταξύ άλλων καλούνται να ρυμουλκούν trailers ή τροχόσπιτα.

Πιο περιορισμένα σε ποικιλία είναι τα συστήματα του επόμενου σταδίου, τα οποία απαιτούν επεμβάσεις στον κινητήρα, κατά βάση μείωση της σχέσης συμπίεσης (όπως ακριβώς ισχύει για έναν μεσαίου μεγέθους παραγωγής ισχύος στροβιλοσυμπιεστή της τάξης του 0,8 bar). Σε πολλές περιπτώσεις μπορούμε να προμηθευτούμε ένα 'light kit' και να αλλάξουμε τις τροχαλίες κίνησης του

κομπρέσορα, ώστε να περιστραφεί ταχύτερα και να αυξήσει την παροχή μάζας αέρα, άρα και την πίεση υπερπλήρωσης (προσέχοντας πάντα να ρυθμιστούν ανάλογα τα περιφερειακά συστήματα για το μίγμα και το αβάνς).

Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αρκετά μεγάλος και πολύστροφος κομπρέσορας στη θέση ενός μεγάλου στροβιλοσυμπιεστή για να έχουμε τη μέγιστη απόδοση από την υπερτροφοδότηση του κινητήρα με υψηλή πίεση υπερπλήρωσης.

II) Οι διατάξεις

Η βασική συνδεσμολογία ενός κομπρέσορας όπως και ενός στροβιλοσυμπιεστή είναι μεταξύ μετρητή αέρα και πεταλούδας γκαζιού, κάτι που δεν είναι απολύτως δεσμευτικό.

Ο κομπρέσορας μπορεί επίσης να είναι ενιαίος με την πολλαπλή εισαγωγής (συνήθως ο Roots και ο Lysholm) οπότε όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα του συστήματος τοποθετούνται πριν το στόμιο εισαγωγής του. Σε αυτή την περίπτωση, η παραγόμενη πίεση άρα και η καταναλισκόμενη ισχύς είναι και συνάρτηση του ανοίγματος της πεταλούδας. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τους κινητήρες που φέρουν εξαερωτήρα (Αμερικάνικοι V8 των Hot Rods) ο οποίος μπορεί να βρίσκεται συνδεδεμένος στην εισαγωγή του κομπρέσορα ή στην εξαγωγή του. Στην πρώτη περίπτωση ο κομπρέσορας βοηθά και στην ομογενοποίηση του μίγματος αφού η πρόσκρουση του αέρα μεταξύ των λοβών του ή των πτερυγίων του σε συνδυασμό με την θέρμανση και συμπίεση του αέρα διασπών πλήρως τα σταγονίδια του καυσίμου σε ένα πολύ λεπτό νέφος. Παράλληλα, η εξαέρωση του νέφους της βενζίνης λειτουργεί κάπως σαν intercooler, μειώνοντας τη θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του κομπρέσορα.

III) Το κιτ

Έτοιμο ή χειροποίητο, ένα compressor kit περιλαμβάνει τα εξής:

Κομπρέσορας: οι συνηθέστεροι τύποι είναι οι Roots και οι φυγοκεντρικοί. Τα χαρακτηριστικά του υπερτροφοδότη ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του κινητήρα σε επιπλέον αέρα και αύξηση της ισχύος του.

Βάσεις στήριξης: αναλαμβάνουν να προσαρμόσουν τον κομπρέσορα πάνω στο μπλοκ, την εισαγωγή ή κάποιο περιφερειακό εξάρτημα του κινητήρα. Συχνά χρησιμοποιείται κάποια υπάρχουσα βάση ή αναμονή περιφερειακού εξαρτήματος, με το περιφερειακό να μεταφέρεται με άλλη ειδική βάση σε κάποιο άλλο σημείο του κινητήρα, προκειμένου να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου ** και να διευκολύνεται η επιθεώρηση / συντήρηση του κινητήρα ή ακόμα και η διοχέτευση του ατμοσφαιρικού και του συμπιεσμένου αέρα.

Μηχανισμός κίνησης: αποτελείται από δύο τροχαλίες, μια για το στροφαλοφόρο και μια για τον άξονα του κομπρέσορα. Αυτές μεταφέρουν μέσω του ιμάντα την κίνηση στο συμπιεστή. Ο ιμάντας μπορεί να είναι τραπεζοειδής σε πολύ ήπιες εφαρμογές όπου ο υπερτροφοδότης δεν καταναλώνει μεγάλα ποσά ισχύος. Επίσης μπορεί να είναι είτε συνδυασμός δύο ή και περισσοτέρων τραπεζοειδών σε παράλληλη διάταξη, είτε ένας Poly-V όπου οι απαιτήσεις σε ισχύ μεγαλώνουν και ο μονός τραπεζοειδής θα αρχίσει να πατινάρει. Σε πιο ακραίες εφαρμογές ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί ένας οδοντωτός ιμάντας χρονισμού βαρέως τύπου, δηλαδή ένας παρόμοιος με αυτόν του εκκεντροφόρου με μεγαλύτερη διάσταση. Φυσικά οι τροχαλίες είναι αντίστοιχες του ιμάντα. Επίσης απαιτείται ένας εντατήρας για τον ιμάντα που θα τον κρατά συνέχεια για να μην γλιστράει, να μην φεύγει από την θέση του, να μην παράγει θόρυβο, να μην αυξάνει τις τριβές του συστήματος και να μην εκτρέπεται από τα γρανάζια στην περίπτωση των οδοντωτών τροχών.

Απαρτίζεται από μία επιπλέον ελεύθερη τροχαλία που έρχεται σε επαφή με τον ιμάντα και τον τεντώνει. Ο εντατήρας συνοδεύεται από τη βάση στήριξης και έδρασή του με ρουλεμάν, ενώ σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και ως μέσο (μόνος του ή με βοηθητικές ελεύθερες τροχαλίες) εκτροπής του ιμάντα από τη 'φυσική' του διαδρομή που ενώνει δια της ευθείας το στροφαλοφόρο με τον κομπρέσορα, προκειμένου να μην εμποδίζει και να μην εμπλέκεται με άλλους ιμάντες ή εξαρτήματα του κινητήρα. Σε σπάνιες περιπτώσεις ο κομπρέσορας κινείται από κάποιον υπάρχοντα ιμάντα του κινητήρα, και το μόνο που αντικαθίσταται είναι ο ιμάντας (χρησιμοποιείται κάποιος μακρύτερος και ενδεχομένως λίγο πιο ενισχυμένος). Όμως αυτή η λύση καλό είναι να αποφεύγεται, εκτός αν έχει προβλεφθεί από τον ίδιο τον κατασκευαστή του κινητήρα, αφού το επιπλέον φορτίο που θα πρέπει να κινήσει ο ιμάντας τον καταπονεί σημαντικά και μειώνει την διάρκεια ζωής και την αξιοπιστία του.

Intercooler: η συμπίεση του αέρα πάντα συνεπάγεται τη θέρμανση του. Τα επακόλουθα είναι γνωστά και επηρεάζουν τόσο την αξιοπιστία (αύξηση θερμοκρασίας του θαλάμου καύσης και των καυσαερίων – ασταθές καύσιμο μίγμα – προανάφλεξη) όσο και την ισχύ (μικρότερη πυκνότητα του αέρα για δεδομένη τιμή πίεσης – συνολικά μικρότερη ποσότητα εκμεταλλεύσιμου καύσιμου μίγματος, οπότε και μικρότερο κέρδος σε δύναμη). Κάθε compressor kit, ιδίως αν παράγει πίεση υψηλότερη του 0,3 – 0,5 bar (αναλόγως τον κινητήρα), επιβάλλεται να συνοδεύεται από ένα ψυγείο αέρα με αξιοπρεπή χαρακτηριστικά.

Σωληνώσεις: η προσθήκη ενός υπερτροφοδότη αλλάζει ριζικά τη διάταξη του συστήματος εισαγωγής, και έτσι χρειάζονται οι κατάλληλες μεταλλικές και ελαστικές σωληνώσεις ώστε να συνδεθούν ο μετρητής εισερχόμενου αέρα, οι διάφοροι αισθητήρες και βοηθητικοί σωλήνες (υποπίεσεις, αναθυμιάσεις κ.λπ.), το φίλτρο αέρα και τέλος η πεταλούδα της εισαγωγής με την έξοδο του κομπρέσορα ή του intercooler. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο κομπρέσορας έχει ενσωματωμένη μια νέα πολλαπλή εισαγωγής του κινητήρα και μια πεταλούδα

στην έξοδο του. Έτσι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο intercooler, όμως απλουστεύεται σημαντικά η εγκατάσταση του συστήματος.

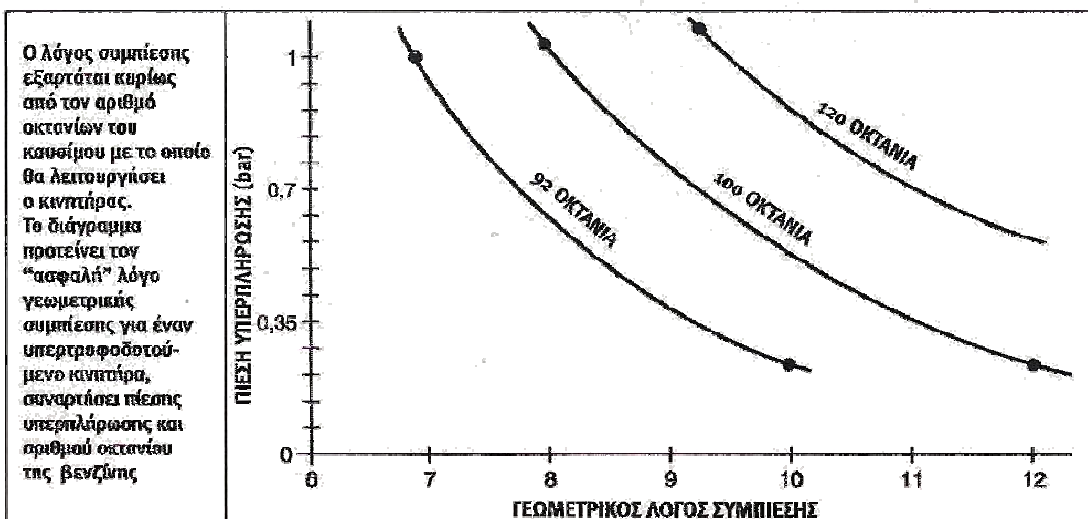
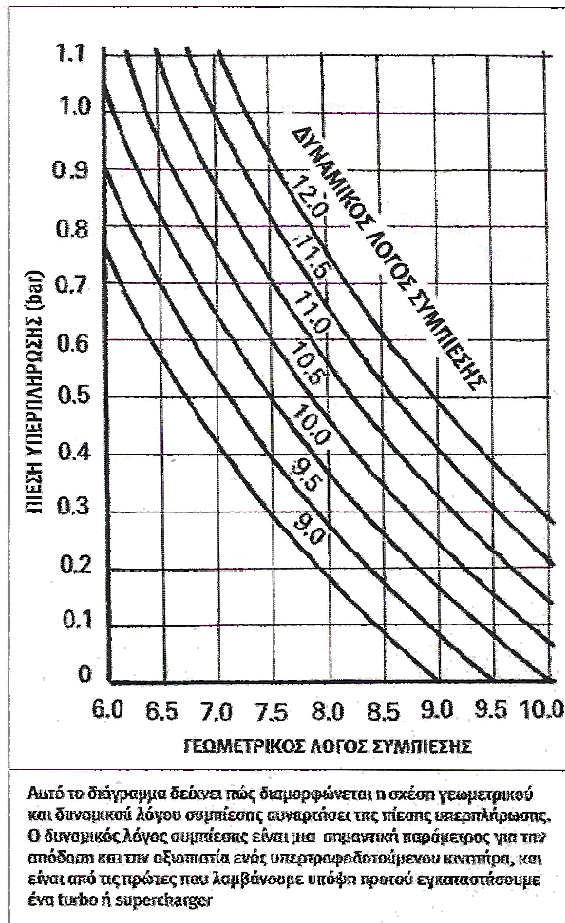
Λίπανση: όλοι οι κομπρέσορες έχουν γρανάζια και ρουλεμάν που χρειάζονται διαρκή λίπανση. Ενώ ορισμένοι φυγοκεντρικοί είναι αυτολιπανόμενοι, δηλαδή έχουν δικό τους δοχείο και μηχανισμό λίπανσης, όλοι οι υπόλοιποι, φυγοκεντρικοί και μη, χρειάζονται μια παροχή λαδιού από τον κινητήρα και μια επιστροφή προς αυτόν. Με άλλα λόγια χρειάζονται ότι και ένας

στροβιλοσυμπιεστής, δηλαδή μια διακλάδωση από τον κεντρικό αγωγό ή το φίλτρο λαδιού του κινητήρα και μια επιστροφή στην ελαιολεκάνη (κάρτερ) του. **Συστήματα ελέγχου:** είναι αυτονόητο πως η υπερτροφοδότηση αυξάνει τις απαιτήσεις του κινητήρα σε καύσιμο και δημιουργεί εντελώς νέες συνθήκες καύσης, οπότε πρέπει να προσαρμοστεί (συνήθως μειούμενη) η πορεία της προανάφλεξης. Η απλούστερη και σπανιότερη περίπτωση είναι ο κινητήρας, δηλαδή το σύστημα διαχείρισης του, να μπορεί να αντεπεξέλθει στην αυξημένη ροή αέρα προς τον κινητήρα χωρίς το σύστημα να μπαίνει σε ασφαλή λειτουργία και παράλληλα να εμπλουτίζει το καύσιμο μίγμα και να επεμβαίνει στον χρονισμό της ανάφλεξης. Σ' αυτή την περίπτωση δεν χρειαζόμαστε καμία επέμβαση. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις επεμβαίνουμε στην χαρτογράφηση του συστήματος διαχείρισης ή τροποποιούμε κάποια εξαρτήματα του συστήματος τροφοδοσίας όπως τον μετρητή αέρα (air flow meter από μεγαλύτερου κυβισμού κινητήρα σε συνδυασμό με μεγαλύτερα μπεκ ή αύξηση της πίεσης βενζίνης), τη μείωση του στατικού αβάνς όπου μας δίνεται η δυνατότητα, η τοποθέτηση ενισχυμένης αντλίας καυσίμου, τη χρήση αισθητήρα πίεσης εισαγωγής (manifold absolute pressure MAP sensor) με δυνατότητα λειτουργίας σε πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Σε διαφορετική περίπτωση πάλι χρησιμοποιούμε κάποιο παράλληλο σύστημα διαχείρισης που επεξεργάζεται τα σήματα των αισθητήρων ή τις εντολές του εργοστασιακού συστήματος διαχείρισης και τα προσαρμόζει στα νέα δεδομένα του μηχανικά υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα ή μεμονωμένες εξωτερικές ηλεκτρονικές συσκευές που επεμβαίνουν στην παροχή καυσίμου και στο αβάνς.

Περιφερειακά συστήματα: για την υπερτροφοδότηση του κινητήρα χρειάζονται κάποια περιφερειακά συστήματα που θα χρειαστούν προσοχή προκειμένου να έχουμε καλή απόδοση και αξιοπιστία. Το πρώτο είναι η εξάτμιση μαζί με την πολλαπλή εξαγωγής (μεγαλύτερης διαμέτρου) και τον ανάλογο καταλύτη, αφού η αυξημένη ποσότητα καυσίμου μίγματος παράγει μεγαλύτερο όγκο καυσαερίων. Δεύτερον καλό θα είναι να υπάρχει κάποιος τρόπος ψύξης του λιπαντικού ο οποίος επιτυγχάνεται με την προσθήκη ενός ψυγείου λαδιού. Τρίτον, λόγω της αυξημένης ροπής του κινητήρα ίσως χρειαστεί να αλλαχθεί ο συμπλέκτης του συστήματος με έναν καλύτερο ο οποίος να μπορεί να αντεπεξέλθει στα αυξημένα φορτία. Τέταρτον και τελευταίο, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας καλό θα ήταν να τοποθετηθεί είτε ένα μεγαλύτερο ψυγείο είτε ένας επιπλέον ανεμιστήρας.

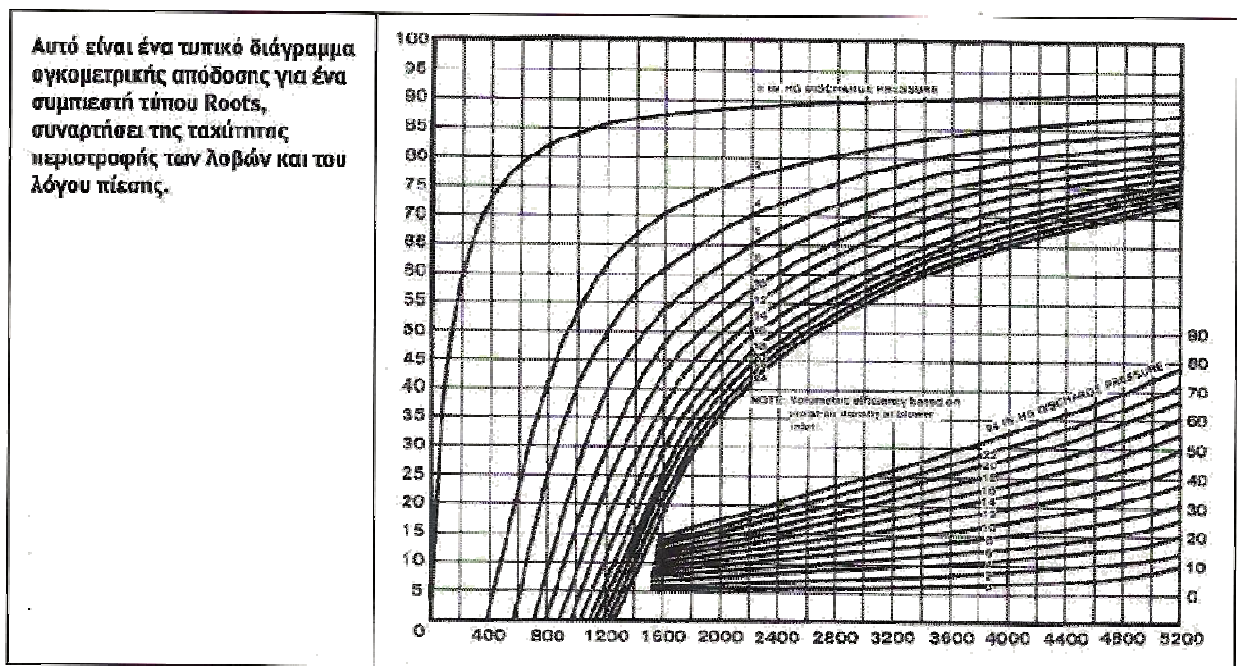
§2.6 Παραγωγή και ρύθμιση της πίεσης

Η προσαρμογή ενός μηχανικού υπερτροφοδότη σε ένα κινητήρα κατά βάση υπάγεται στους ίδιους κανόνες που ισχύουν για τον στροβιλοσυμπιεστή. Αυτό ισχύει και για τον κινητήρα αλλά και για τα περιφερειακά του συστήματα. Για να ρυθμίσουμε την απαιτούμενη πίεση υπερπλήρωσης πρέπει πρώτα να καθορίσουμε τις απαιτήσεις μας σε ισχύ.



Έστω ότι θέλουμε αύξηση της ισχύος του κινητήρα με την βοήθεια ενός κομπρέσορα κατά 50%, τότε η πίεση υπερπλήρωσης θα είναι περίπου 0,55bar. Παρακάτω αναλύεται ο τρόπος επιλογής του κομπρέσορα και του μηχανισμού κίνησής του:

Οι Roots είναι συμπιεστές 'θετικού εκτοπίσματος', δηλαδή σε κάθε τους περιστροφή και ανεξαρτήτως ταχύτητας ωθούν στην έξοδο τους τον ίδιο όγκο αέρα. Η παροχή τους λοιπόν σε όγκο ανά μονάδα χρόνου είναι το γινόμενο της βασικής τους χωρητικότητας (πόσο αέρα παρέχουν ανά περιστροφή) επί την ταχύτητα περιστροφής τους. Αυτό βέβαια ισχύει θεωρητικά, αφού στην πράξη όλοι οι Roots έχουν κάποιες εσωτερικές απώλειες λόγω της ανακυκλοφορίας του αέρα από την εξαγωγή προς την εισαγωγή τους, οι οποίες μειώνονται όσο αυξάνεται η ταχύτητά τους. Αυτή είναι η ογκομετρική τους απόδοση, η οποία θα πρέπει να συνυπολογίζεται κατά την επιλογή του συμπιεστή. Ωστόσο η παροχή τους, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν διαφέρει σημαντικά από την ονομαστική για τις ταχύτητες στις οποίες θα περιστρέφεται όταν θα κινείται από τον κινητήρα. Τα ακριβή στοιχεία δίνονται από τους χάρτες παροχής που συνοδεύουν το κάθε μοντέλο, οι οποίοι βοηθούν για την επιλογή του κατάλληλου κομπρέσορα με τη διαδικασία που θα περιγραφεί παρακάτω.



Κάτι ανάλογο ισχύει και για τους φυγοκεντρικούς, μόνο που για αυτούς ως 'μισοί στροβιλοσυμπιεστές, η παροχή αέρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας περιστροφής τους. Αυτό σημαίνει ότι από κάποια ταχύτητα και κάτω ένας φυγοκεντρικός δεν παράγει καθόλου πίεση, οπότε ακόμα και με τον κινητήρα σε πολύ χαμηλές στροφές ο κομπρέσορας θα πρέπει να περιστρέφεται αρκετά γρήγορα ώστε η πίεσή του να είναι κοντά στην επιθυμητή.

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής από τον κομπρέσορα, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή πίεση υπερπλήρωσης, γίνεται υπολογίζοντας τον όγκο αέρα που υπό ιδανικές συνθήκες αναρροφά ο κινητήρας και πολλαπλασιάζοντάς τον επί τον λόγο πίεσης. Ο λόγος πίεσης είναι ουσιαστικά η απόλυτη πίεση της εισαγωγής, δηλαδή το άθροισμα ατμοσφαιρικής και πίεσης υπερπλήρωσης. Εάν λοιπόν η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 bar στο παράδειγμά μας ο λόγος πίεσης θα είναι 1,55 γιατί η πίεση υπερπλήρωσης είναι 0,55 bar. Έστω ένας τετράχρονος κινητήρας χωρητικότητας 2.000 cc (2lt), στις 3.000 rpm ο κινητήρας αυτός καταναλώνει όγκο αέρα:

$$(2 * 3.000) / 2 = 3.000 \text{ lt / min}$$

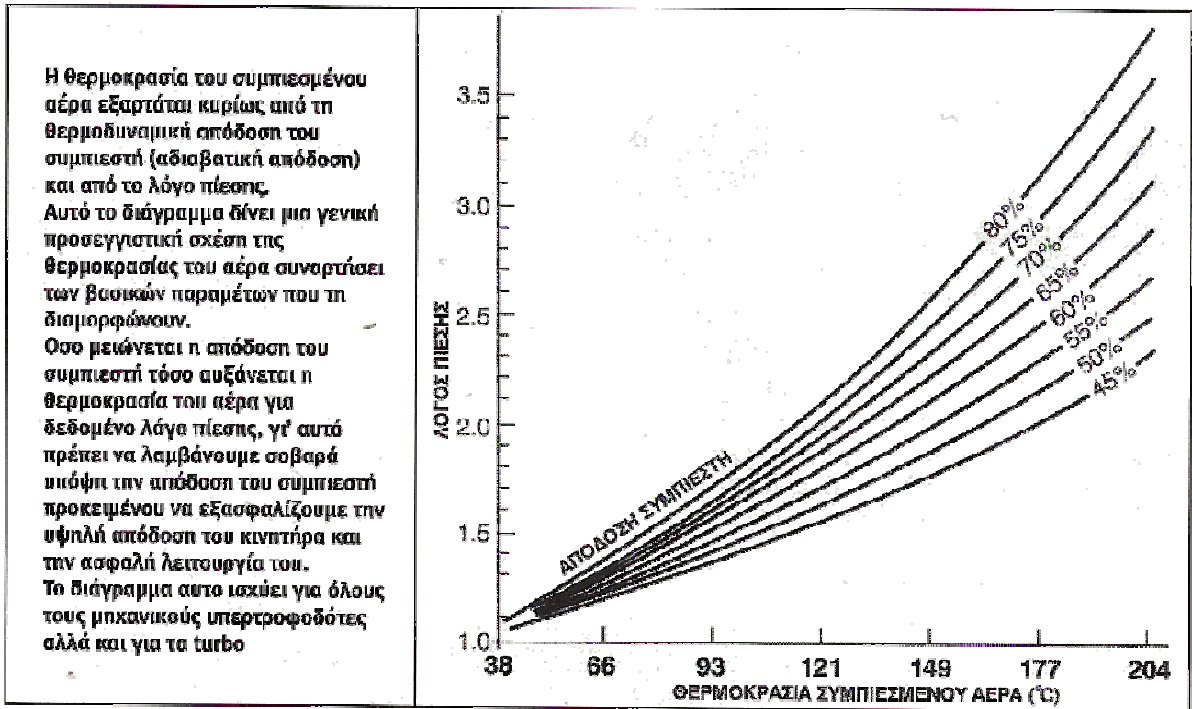
Σχόλιο: Υπενθυμίζουμε ότι στον τετράχρονο κινητήρα έχουμε έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας ανά δυο περιστροφές του στροφαλοφόρου, γι' αυτό διαιρούμε δια του 2 την ταχύτητα περιστροφής του σε αυτόν τον υπολογισμό. Για να έχουμε την επιθυμητή πίεση υπερπλήρωσης (0,55 bar στις 3.000 rpm, ο κομπρέσορας θα πρέπει να παράγει στον κινητήρα όγκο αέρα $1,55 * 3.000 = 4.650 \text{ lt/min}$. Στην περίπτωση που έχουμε υπερτροφοδοτή τύπου Roots μπορούμε να υπολογίσουμε κατευθείαν την ποσότητα αέρα που χρειάζεται ο κινητήρας ανά περιστροφή (στην περίπτωση μας 1 lt) και να ταιριάζουμε το μέγεθος και την σχέση πολλαπλασιασμού των γραναζιών κίνησης του κομπρέσορα, ώστε να μας δίνει 1,55 lt αέρα σε κάθε περιστροφή του στροφαλοφόρου. Αυτή είναι η απλή περίπτωση, αλλά όπως προαναφέρθηκε οι Roots έχουν χαμηλή ογκομετρική απόδοση στις πολύ χαμηλές στροφές περιστροφής και οι φυγοκεντρικοί δεν έχουν γραμμική παροχή όγκου – αέρα. Γι' αυτό, όπως άλλωστε επιβάλλεται όταν πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε έναν φυγοκεντρικό κομπρέσορα, πρέπει να κάνουμε πρώτα ένα διάγραμμα των απαιτήσεων του κινητήρα σε αέρα συναρτήσει της ταχύτητάς του και ύστερα να μελετήσουμε τα διαγράμματα των διαθέσιμων συμπιεστών, ώστε το μοντέλο που θα επιλέξουμε και η σχέση πολλαπλασιασμού να επιτρέψουν την παροχή πίεσης κοντά στην επιθυμητή από πολύ χαμηλές στροφές. Η σχέση πολλαπλασιασμού που αναφέραμε είναι στην ουσία η σχέση μεταξύ των διαμέτρων των τροχαλιών σε στροφαλοφόρο και κομπρέσορα. Δηλαδή μια σχέση 1 : 2 σημαίνει ότι η τροχαλία του κομπρέσορα είναι διπλάσια από του στροφαλοφόρου, επομένως ο κομπρέσορας περιστρέφεται στην μισή ταχύτητα απ' ότι ο κινητήρας. Ο υπολογισμός της παροχής σε έναν Roots γίνεται πολλαπλασιάζοντας την ονομαστική του παροχή επί τον ρυθμό περιστροφής του επί την ογκομετρική του απόδοση. Στην περίπτωση των φυγοκεντρικών συμπιεστών η παροχή δίδεται από τα διαγράμματα.

§2.7 Σχέση συμπίεσης

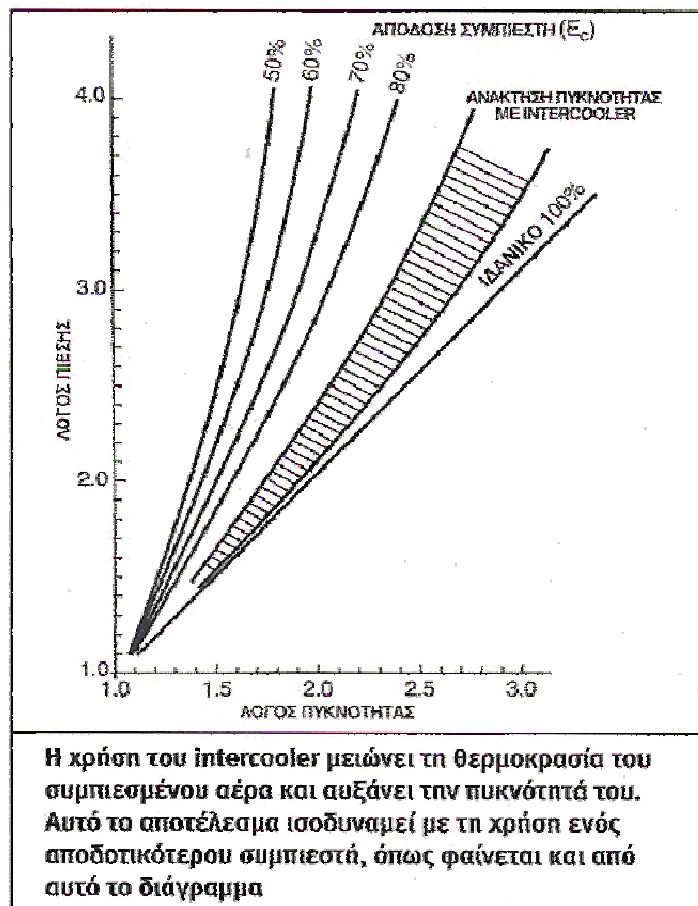
Η σχέση συμπίεσης σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα, σε συνθήκες λειτουργίας ισοδυναμεί με την γεωμετρική σχέση συμπίεσης επί την ογκομετρική του απόδοση. Η γεωμετρική σχέση (γεωμετρικός λόγος) συμπίεσης είναι το πηλίκο του όγκου του θαλάμου καύσης με το έμβολο στο κάτω νεκρό σημείο προς τον όγκο με το έμβολο στο άνω νεκρό σημείο. Αυτό το πηλίκο, που στους περισσότερους σύγχρονους κινητήρες κυμαίνεται μεταξύ 9,5 : 1 και 10,5 : 1 είναι επίσης γνωστό ως στατική συμπίεση. Σε μια εγκατάσταση υπερτροφοδοτή μας ενδιαφέρει η δυναμική συμπίεση, ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε πόση ακριβώς θα πρέπει να είναι η γεωμετρική σχέση (δηλαδή πόσο θα πρέπει να μειώσουμε την σχέση συμπίεσης του ατμοσφαιρικού κινητήρα), προκειμένου να μην υπερβούμε κατά πολύ τις προδιαγραφές ασφαλείας του. Συνεπώς η δυναμική συμπίεση είναι η γεωμετρική επί την ογκομετρική απόδοση του κινητήρα, η οποία εκφράζει πόσο όγκο αέρα μπορούν πραγματικά να αντλήσουν οι κύλινδροι του κινητήρα σε ταχύτητες λειτουργίας σε σχέση με την ονομαστική τους χωρητικότητα. Ο αέρας που αναρροφάται συναντά κάποια αντίσταση με αποτέλεσμα η ογκομετρική απόδοση του κινητήρα να είναι πρακτικά αρκετά χαμηλότερη από 100% και κυμαίνεται μεταξύ 80 – 85%. Η αντίσταση αυτή οφείλεται στο φίλτρο αέρα, στις βαλβίδες και στο σύστημα χρονισμού τους. Η δυναμική συμπίεση ενός κινητήρα με γεωμετρική συμπίεση 10 : 1 και ογκομετρική απόδοση 85% θα είναι ίση με: $10 * 0,85 = 8,5 : 1$. Τα παραπάνω ισχύουν μόνο για ατμοσφαιρική λειτουργία. Στην περίπτωση της υπερτροφοδοτούμενης λειτουργίας και στην χαμηλή πίεση υπερπλήρωσης, δηλαδή μεταξύ 0,3 – 0,6 bar και για κάθε 0,26 bar υπερπλήρωσης, η αύξηση της δυναμικής σχέσης συμπίεσης ισοδυναμεί με περίπου μια μονάδα. Δηλαδή στο παράδειγμά μας, με 0,55 bar υπερπλήρωση, η δυναμική συμπίεση του κινητήρα θα ανέβει στο 10,5 : 1.

§2.8 Θερμοκρασία και πίεση συμπιεσμένου αέρα

Σημαντικό ρόλο στην επιτρεπόμενη πίεση υπερπλήρωσης καθώς και τον απαιτούμενο αριθμό οκτανίων για δεδομένη σχέση συμπίεσης έχει η θερμοκρασία του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα. Αυτή εξαρτάται από την θερμοδυναμική απόδοση του συμπιεστή, δηλαδή από το πόσο αυξάνει την θερμοκρασία του αέρα κατά την συμπίεσή του. Όλοι οι συμπιεστές συνοδεύονται από χάρτες θερμοδυναμικής (αδιαβατικής) απόδοσης, που περιγράφουν την θέρμανση του αέρα συναρτήσει της πίεσης υπερπλήρωσης και της παροχής αέρα. Σε γενικές γραμμές είναι θεμιτό η απόδοση του συμπιεστή να μην πέφτει ποτέ κάτω από 65% σε καμία φάση λειτουργίας του κινητήρα, καθώς η θερμοκρασία του αέρα ανεβαίνει επικίνδυνα με αποτέλεσμα ούτε και το intercooler να μην μπορεί να την διατηρήσει σε ασφαλή για το σύστημα επίπεδο.



Παρακάτω θα υπολογίσουμε πως επηρεάζεται η θερμοκρασία του αέρα από την θερμοδυναμική απόδοση του συμπιεστή και έπειτα πως ένα intercooler συναρτήσει και της δικής του απόδοσης ελαττώνει την θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα πριν την εισαγωγή του στον κινητήρα.



Οι υπολογισμοί γίνονται με απόλυτες πιέσεις και θερμοκρασίες, σε bar και βαθμούς Κέλβιν αντίστοιχα. Η απόλυτη θερμοκρασία είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλσιου συν 273, δηλαδή $1\text{ }^\circ\text{C} = 273\text{ }^\circ\text{K}$. Ο τύπος υπολογισμού είναι $T_2 = T_1 * (P_2 / P_1) * 0,286$, όπου T_2 είναι η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα, T_1 του ατμοσφαιρικού, P_2 η πίεση στην εισαγωγή του κινητήρα και P_1 η ατμοσφαιρική.

Έστω ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι $20\text{ }^\circ\text{C}$ ($293\text{ }^\circ\text{K}$) και η ατμοσφαιρική πίεση 1 bar. Εάν ο συμπιεστής έχει αδιαβατική απόδοση 70% στα 0,55 bar, η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα θα είναι:

$$T_2 = 293 * (1,55 / 1) * 0,286 = 293 * 1,13 = 331\text{ }^\circ\text{K}.$$

Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα θα είναι $58\text{ }^\circ\text{C}$. Η θερμοκρασία αυτή δεν θεωρείται επικίνδυνη αλλά δεν είναι και η ιδανική (οι κινητήρες αποδίδουν καλύτερα σε θερμοκρασίες της τάξης των $10 - 15\text{ }^\circ\text{C}$ ενώ η απόδοσή τους πέφτει αισθητά μετά τους $40\text{ }^\circ\text{C}$).

Συνεπώς η θερμοκρασία των $58\text{ }^\circ\text{C}$ και μεν δεν είναι επικίνδυνη αλλά απ' την άλλη ο κινητήρας δεν λειτουργεί σωστά. Προκειμένου να την μειώσουμε θα χρησιμοποιήσουμε ένα intercooler όπου κύριο χαρακτηριστικό του είναι ο βαθμός απόδοσης του, δηλαδή το πόσο κοντά φέρνει στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος τη θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα. Οι κυψέλες ενός intercooler συνοδεύονται από κάποιες ενδεικτικές μετρήσεις για την απόδοση

τους σε σχέση με την παροχή αέρα διαμέσου τους και σε ορισμένες περιπτώσεις την πυκνότητα του. Οι περισσότερες κυψέλες έχουν απόδοση της τάξεως του 80%. Οπότε με την χρήση του intercooler η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα θα μειωθεί κατά:

$T_3 = |T_2 - T_1| * (80 / 100) = 331 - 293 * 0,8 = 30,4 \text{ } ^\circ\text{K}$ ή $30,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ εφόσον μιλάμε για θερμοκρασιακή διαφορά. Όπως παρατηρούμε η διαφορά στη θερμοκρασία είναι τεράστια, αφού τελικά ο συμπιεσμένος αέρας θα έχει θερμοκρασία $27,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ που σε βαθμούς Κέλβιν θα είναι $T_4 = 300,6 \text{ } ^\circ\text{K}$.

Από την θεωρία γνωρίζουμε ότι όσο ψυχρότερος είναι ο αέρας, τόσο αυξάνει η πυκνότητα του και μειώνεται ο όγκος του. Συνεπώς ο λόγος αέρα – καυσίμου αυξάνεται και το μίγμα γίνεται φτωχότερο. Η ανάκτηση της πυκνότητας στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα είναι:

$$(T_2 / T_4) - 1 = (331 / 300,6) - 1 = 0,101 \text{ ή } 10,1\%$$

Δηλαδή το intercooler μας εξασφαλίζει 10,1% περισσότερη ισχύ με τη χρήση του κομπρέσορα για την ίδια πίεση υπερπλήρωσης. Ένα μεγάλο μέρος των αποδοτικότερων intercooler δεν μειώνουν την τελική πίεση υπερπλήρωσης περισσότερο από 2% σε σχέση με την πίεση στην έξοδο του κομπρέσορα. Η πτώση πίεσης P_3 ισούται με:

$$P_3 = P_2 * (2 / 100) = 1,55 * 0,02 = 0,03 \text{ bar}$$

Επομένως η τελική (απόλυτη) πίεση υπερπλήρωσης P_4 θα είναι:

$$P_4 = P_2 - P_3 = 1,52 \text{ bar.}$$

Ο παραπάνω τύπος, πολλαπλασιαζόμενος με την τελική απόλυτη πίεση του αέρα P_4 , και αντικαθιστώντας την T_2 με την T_1 θα μας δώσει την τελική αύξηση της ποσότητας του αέρα που θα εισέλθει στον κινητήρα. Δηλαδή:

$[(293 / 300,6) * 1,52] - 1 = 0,48$ ή 48%. Άρα θα μπορούσαμε να αυξήσουμε την ισχύ του κινητήρα κατά 48% με πίεση υπερπλήρωσης 0,55 bar, πράγμα που εξηγεί γιατί η πίεση υπερπλήρωσης είναι πάντα λίγο μεγαλύτερη από την ποσοστιαία αύξηση της ισχύος.

Σχόλιο: γνωρίζουμε ότι ο κομπρέσορας για να κινηθεί χρειάζεται κάποια ισχύ από τον κινητήρα. Η ισχύς που καταναλώνει ο κομπρέσορας υπολογίζεται από τον χάρτη κατανάλωσης ισχύος (που συνοδεύει κάθε κομπρέσορα) ως συντεταγμένη της ταχύτητας περιστροφής και του λόγου πίεσης. Στο προαναφερθέν μας παράδειγμα ο Roots καταναλώνει περίπου 20 Ps, οπότε εάν ο δίλιτρος δεκαεξαβάλβιδος ατμοσφαιρικός κινητήρας απέδιδε ως ατμοσφαιρικός 150 Ps, η αύξηση της πίεσης στην εισαγωγή θα τον ανέβαζε στους $150 * 1,48 = 222 \text{ Ps}$. Αφαιρώντας τους 20 καταναλισκόμενους ίππους θα απομείνουν 202 Ps, γεγονός που σε ποσοστιαία αύξηση της ισχύος μεταφράζεται ως:

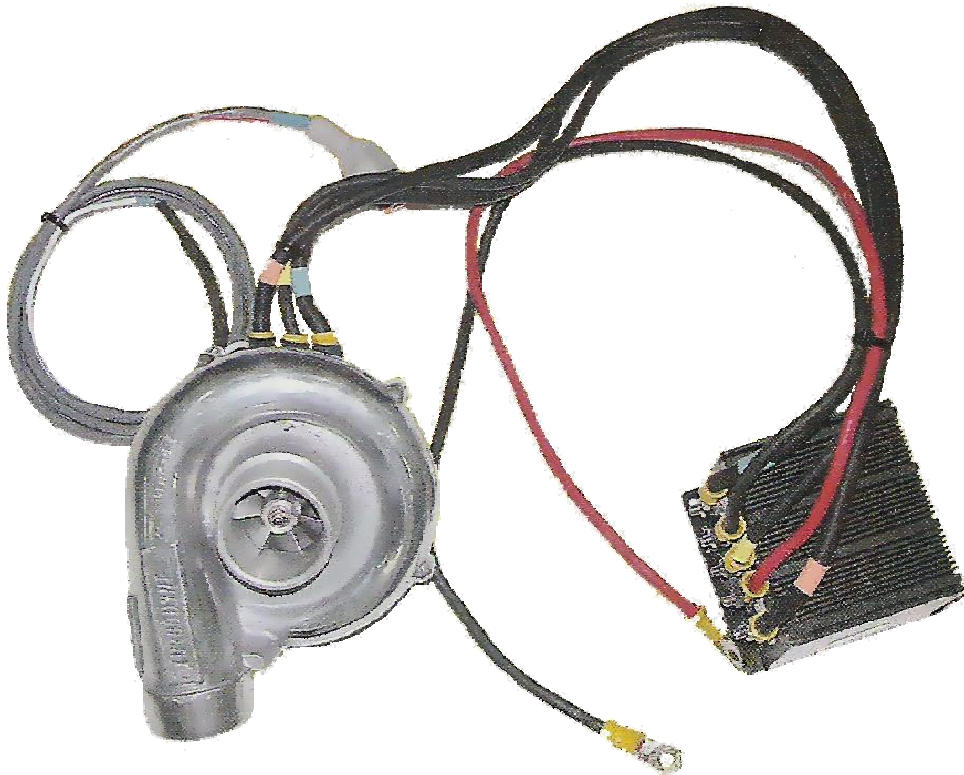
$$[(202 / 150) - 1] * 100\% = 34,7\%.$$

Έτσι λοιπόν η ισχύς αυξήθηκε κατά 34,7% ή 52 ίππους με μία εγκατάσταση που εφόσον έχει μελετηθεί σωστά παρέχει πίεση σχεδόν από το ρελαντί, χωρίς να χρειαστεί να αποσυναρμολογήσουμε τον κινητήρα για να μειώσουμε τη σχέση συμπίεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

Ηλεκτρικός υπερσυμπιεστής

Ο βασικός σκοπός των υπερσυμπιεστών (εξάτμισης – μηχανικοί) είναι η αύξηση της ογκομετρικής απόδοσης του κινητήρα. Οι υπερσυμπιεστές εξάτμισης παίρνουν κίνηση από τα καυσαέρια ενώ οι μηχανικοί από τον στροφαλοφόρο άξονα. Στη περίπτωση μας ο ηλεκτρικός υπερσυμπιεστής συμπιέζει τον αέρα της εισαγωγής παίρνοντας κίνηση από έναν ηλεκτροκινητήρα. Ένας μετατροπέας (inverter) αναλαμβάνει να μετατρέψει τα 12 volt της συνεχούς τάσης της μπαταρίας σε εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλότερης τάσης ώστε να τροφοδοτήσει καταλλήλως τον συγκεκριμένο συμπιεστή.



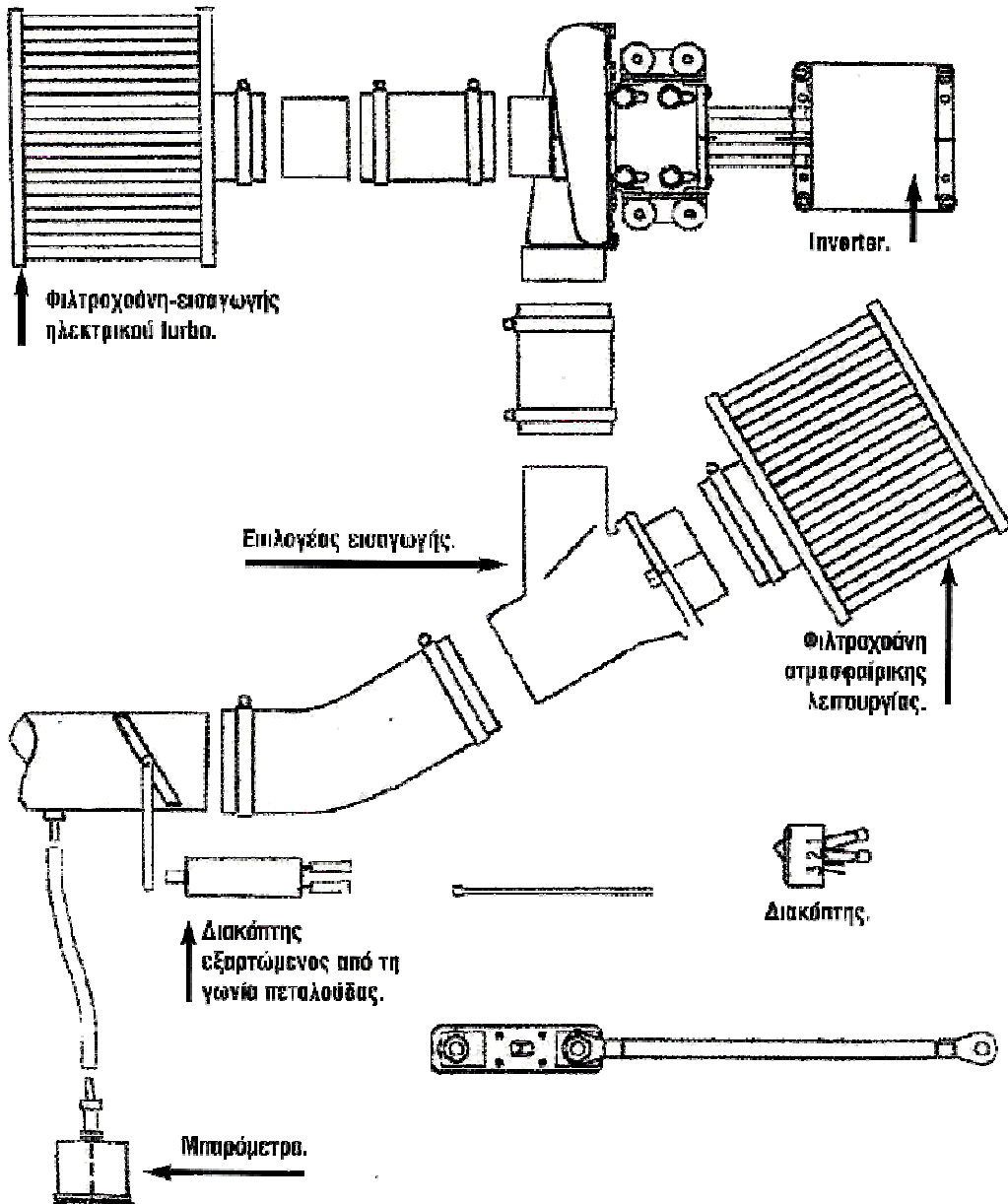
Έχουμε δηλαδή ένα σύστημα που αποτελείται από τον συμπιεστή – εισαγωγή ενός υπερσυμπιεστή καυσαερίων και έναν ηλεκτροκινητήρα. Τοποθετείται πριν την πεταλούδα εισαγωγής και ενεργοποιείται από ένα διακόπτη (on – off) καθώς και από τον αισθητήρα γωνίας της. Μόλις η πεταλούδα ξεπεράσει μια συγκεκριμένη γωνία, αυτόματα αρχίζει να περιστρέφεται η φτερωτή του συστήματος με συγκεκριμένες στροφές. Η υπερπίεση που μετριέται στην εισαγωγή εξαρτάται κυρίως από τους παρακάτω παράγοντες:

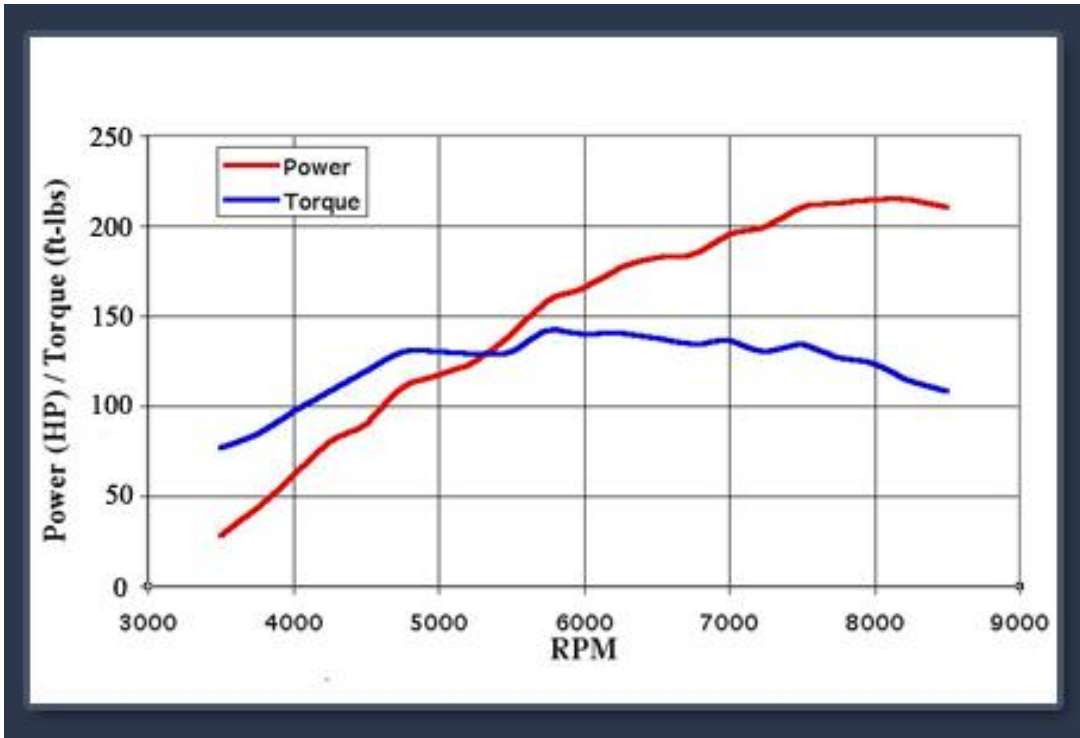
- Την χωρητικότητα του κινητήρα.
- Τις στροφές λειτουργίας του.
- Το μέγεθος του υπερσυμπιεστή.
- Τις στροφές περιστροφής της φτερωτής εισαγωγής.

Από την στιγμή που ο ηλεκτρικός υπερσυμπιεστής περιστρέφεται σε συγκεκριμένες στροφές ανεξάρτητα από τις στροφές περιστροφής του στροφάλου, καταλαβαίνουμε ότι η πίεση υπερπλήρωσης θα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τις στροφές λειτουργίας του κινητήρα (χωρητικότητα κινητήρα και μέγεθος συμπιεστή είναι δεδομένα).

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο ηλεκτροκινητήρας του συστήματος λειτουργεί μόνο όταν η πεταλούδα ξεπεράσει κάποια γωνία. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, το σύστημα δεν λειτουργεί και ο κινητήρας λειτουργεί σαν ατμοσφαιρικός. Το σύστημα περιλαμβάνει μια δεύτερη εισαγωγή (φιλτροχοάνη) μέσω της οποίας εισέρχεται αέρας στον κινητήρα όταν δεν περιστρέφεται η φτερωτή εισαγωγής. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών υπερσυμπιεστών είναι η εύκολη τοποθέτησή τους. Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαιτείται το 'λύσιμο' του κινητήρα για την τοποθέτηση του ενώ μπορεί επίσης εύκολα να αποσπαστεί από αυτόν. Ένα στοιχείο που χρειάζεται για να λειτουργήσει ικανοποιητικά το παραπάνω σύστημα είναι ο επαναπρογραμματισμός του συστήματος διαχείρισης του κινητήρα. Δηλαδή η προσαρμογή του χάρτη ανάφλεξης και του χρόνου ψεκασμού των εγχυτήρων στα νέα δεδομένα του ηλεκτρικού υπερσυμπιεστή. Η αύξηση του εισερχόμενου αέρα προϋποθέτει αλλαγές στην χαρτογράφηση για να αποφύγουμε φτωχά μίγματα και λανθασμένο χρονισμό ανάφλεξης. Βέβαια οι αυξημένες πλέον απαιτήσεις για καύσιμο μπορούν να καλυφθούν από τους υπάρχοντες εγχυτήρες και την αντλία βενζίνης λόγω του μικρού ποσοστού αύξησης της μάζας του αέρα. Βασικό μειονέκτημα του συστήματος είναι η σταθερή παροχή αέρα (το οποίο δεν σημαίνει σταθερή πίεση υπερπλήρωσης) καθώς και η μικρή διάρκεια λειτουργίας του. Στα τελευταία τεχνολογία μοντέλα, η διάρκεια λειτουργίας τους μπορεί να φτάσει έως τα 60 sec συνεχούς παροχής. Μόλις αυτός ο χρόνος περάσει αρκεί να αφήσουμε στιγμιαία το πεντάλ του γκαζιού ή ακόμα και σε αλλαγή της ταχύτητας για να ξαναρχίσει το σύστημα να παρέχει συνεχόμενα αέρα για άλλα 60 sec. Ο ηλεκτρικός υπερσυμπιεστής είναι μια πολύ καλή λύση για μικρή αύξηση της ισχύος για τον λόγο ότι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στους ηλεκτροκινητήρες δεν μπορεί να φτάσει τις αποδόσεις ενός μηχανικού υπερσυμπιεστή ή ενός υπερσυμπιεστή εξάτμισης.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ TURBO





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΛΛΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ
(ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ TSI ΚΑΙ TURBOCOMPOUND)

§4.1 TSI-VW

Η συγκεκριμένη διάταξη αποσκοπεί στη χρήση μικρού μεγέθους κινητήρων, οι οποίοι αποδίδουν την ίδια ισχύ με αυτή κάποιων πολύ μεγαλύτερων και βαρύτερων (με τη χρήση της υπερτροφοδότησης). Στη παραπάνω όμως θεωρία υπάρχει κάποια αντίφαση γιατί σύμφωνα με όσα η καθημερινή εμπειρία μας έχει διδάξει, όσο μικρότερος (για δεδομένη ιπποδύναμη) είναι ένας υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας, τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής απόδοσής του, στο μεγαλύτερο φάσμα των συνθηκών λειτουργίας του. Με άλλα λόγια, όσο μικρότερος είναι σε μέγεθος (για την ίδια πάντοτε ιπποδύναμη), τόσο μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου θα εμφανίσει προκειμένου να κινήσει ένα όχημα από το σημείο Α στο σημείο Β, μέσα από ένα δεδομένο φάκελο ταχυτήτων και επιταχύνσεων.

Από την άλλη όμως, οι μηχανικοί των εργοστασίων δεν παύουν να υποστηρίζουν ότι, προκειμένου να μειωθεί η μέση κατανάλωση των βενζινοκίνητων οχημάτων, η σίγουρη μελλοντική λύση θα είναι η ελαχιστοποίηση του μεγέθους των κινητήρων τους, σε συνδυασμό με έναν πολύ εντυπωσιακό (για τα σημερινά δεδομένα) βαθμό υπερπλήρωσης. Επίσης υποστηρίζουν πως υπάρχουν πολλές δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης των βενζινοκίνητων χωρίς να χρειαστεί να καταφύγουμε στην υβριδική τεχνολογία, με αποτέλεσμα έναν βενζινοκίνητο 170 ίπων με κατανάλωση μειωμένη 20% τοποθετώντας ένα μηχανικό συμπιεστή δίπλα σε έναν στροβιλοσυμπιεστή.

I) Κύκλος Atkinson σε σχέση με τον κύκλο Otto

Η αλήθεια είναι ότι καμία τεχνολογία βελτίωσης της καύσης των βενζινοκίνητων δεν μπορεί να ισοφαρίσει τα κέρδη ανάκτησης ενέργειας, κατά την επιβράδυνση, που μας παρέχουν τα υβριδικά συστήματα. Και το σίγουρο είναι πως παρά τον τωρινό χαμηλό συντελεστή αποθήκευσης και ανάκτησης της κινητικής ενέργειας μέσω ηλεκτρικών συσσωρευτών, τα κέρδη είναι μεγάλα και θα γίνουν ακόμη μεγαλύτερα όταν θα εξελιχθεί η τεχνολογία προσωρινής αποθήκευσης ενέργειας σε υπερπυκνωτές.

Το μόνο σημείο στο οποίο εξακολουθούν να υπάρχουν δυσκολίες είναι στο χώρο καύσης για όσους προσπαθούν να τον βελτιώσουν. Κάθε κινητήρας έχει ένα ιδανικό σημείο βέλτιστης απόδοσης, όσον αφορά συχνότητα περιστροφής και πίεση θαλάμου (άνοιγμα γκαζιού). Οποιαδήποτε απόκλιση από αυτό το ιδανικό σημείο, σε οποιαδήποτε από τις παραμέτρους, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του θερμικού βαθμού απόδοσης. Δηλαδή λιγότερο έργο στο στρόφαλο και θερμότερα καυσάερα στην έξοδο της εξάτμισης.

Ένα μεγάλο μέρος του προβλήματος βρίσκεται στη σχέση συμπίεσης των βενζινοκίνητων. Ως γνωστόν, όσο μεγαλύτερη είναι η σχέση συμπίεσης, τόσο υψηλότερος θα είναι και ο βαθμός απόδοσης, άρα και τόσο μικρότερη η

κατανάλωση καυσίμου, για δεδομένη ιπποδύναμη. Στο σημείο όμως αυτό εμφανίζονται δύο προβλήματα.

Το πρώτο είναι ότι η σχέση συμπίεσης δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από ένα όριο, το οποίο καθορίζεται από την αντικροτικότητα (βαθμός οκτανίου) του καυσίμου και από τη μορφή του θαλάμου καύσης.

Το δεύτερο είναι ότι η μέγιστη σχέση συμπίεσης προκαθορίζεται με βάση τη λειτουργία του κινητήρα όταν αυτός λειτουργεί με τέρμα γκάζι. Όσο λιγότερο ανοιχτό είναι το γκάζι, τόσο χαμηλότερη η 'πραγματική' συμπίεση στο θάλαμο καύσης, άρα τόσο μικρότερος ο βαθμός απόδοσης.

Η επιλογή κύκλου Atkinson/Miller είναι ως ένα βαθμό μια αρκετά αποτελεσματική λύση, έστω και αν χαρακτηρίζεται 'εμβολωματική'. Στην πράξη, αυτό που επιτυγχάνεται είναι μία 'προσομοίωση παράτασης' του χρόνου της εκτόνωσης (μάλιστα τόσο μεγαλύτερη 'παράταση', όσο πιο κλειστή είναι η ηλεκτρική πεταλούδα γκαζιού), έτσι ώστε να ανακτηθεί ένα μέρος της απόδοσης που έχει χαθεί εξαιτίας του γεγονότος ότι το γκάζι δεν είναι τελείως ανοικτό. Στην περίπτωση του Prius της Toyota, ο κύκλος Atkinson/Miller καταφέρνει ένα αρκετά αξιοπρεπές αποτέλεσμα, χάρη και στο γεγονός ότι υπάρχει μια μετάδοση υποβοηθούμενου CVT, με τη βοήθεια της οποίας η κεντρική μονάδα μπορεί να επιλέξει τις ιδανικές στροφές λειτουργίας του κινητήρα, ανεξάρτητα από την ταχύτητα κίνησης του οχήματος.

Υπάρχει όμως και μία άλλη παράμετρος, σε ότι αφορά στη μέγιστη πίεση κυλίνδρου, με τέρμα γκάζι, μέσα σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα. Η παράμετρος αυτή είναι η διαφοροποίηση στο βαθμό πλήρωσης που παρατηρείται, ανάλογα με τη συχνότητα περιστροφής. Η μέγιστη πλήρωση του κυλίνδρου επιτυγχάνεται αποκλειστικά και μόνο σε μία συγκεκριμένη περιοχή στροφών, εκεί περίπου που μεγιστοποιείται και η ροπή στρέψης. Σε στροφές κάτω από αυτό το όριο, η μικρότερη ταχύτητα του εισερχόμενου μίγματος από τον αυλό εισαγωγής αποτρέπει την εμφάνιση του (ωφέλιμου) φαινομένου της αδρανειακής υπερπλήρωσης και με την εκμετάλλευση κάποιων φαινομένων συντονισμού, μέσω των οποίων μεγιστοποιείται η ποσότητα αέρα που εγκλωβίζεται μέσα στο θάλαμο καύσης σε κάθε κύκλο. Από τη άλλη, σε στροφές πάνω από αυτό το όριο, η ταχύτητα εισροής του αέρα είναι τόσο μεγάλη (σε σχέση και με το μέγεθος των αυλών), ώστε να εμφανίζονται έντονες ροϊκές τριβές, που έχουν ως αποτέλεσμα, τη μείωση της μάζας του αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο καθώς και της μέγιστης πίεσης του πριν από την έναυση. Έως τώρα αναλύθηκε η περίπτωση του ατμοσφαιρικού κινητήρα. Παρακάτω θα αναλυθεί η περίπτωση που ο βενζινοκινητήρας είναι υπερτροφοδοτούμενος.

II) Έλεγχος μέσω υπερπλήρωσης.

Αν επιλεχτεί η μέθοδος της υπερτροφοδότησης, η ιδανική λύση θα ήταν να είχαμε ένα απείρου μεγέθους αεροφυλάκιο, γεμάτο με προσυμπιεσμένο αέρα σε πίεση ίση με την μέγιστη (την οποία θα μπορούσε να αντέξει ο κινητήρας) με τον οποίο θα τροφοδοτούσαμε την εισαγωγή. Στην περίπτωση αυτή, η ροπή που θα απέδιδε ο κινητήρας θα ήταν σταθερή σε όλο το φάσμα των στροφών.

Σε σύγκριση με έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα, το μόνο που θα είχαμε να κάνουμε, θα ήταν να σχεδιάσουμε το θάλαμο καύσης έτσι ώστε αυτός να έχει τόσο χαμηλότερη σχέση συμπίεσης όσο μεγαλύτερος θα είναι ο βαθμός υπερπλήρωσης στον οποίο θα έχουμε ρυθμίσει την έξοδο του αεροφυλακίου.

Σχόλιο: στην πράξη, το καύσιμο μίγμα δεν ‘γνωρίζει’ ποιος είναι ο βαθμός υπερπλήρωσης του κινητήρα και ποια η σχέση συμπίεσης στο θάλαμο καύσης. Το μόνο που ‘αντιλαμβάνεται’ είναι οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες υποβάλλεται, λίγο πριν την έναυση από το μπουζί. Κι αν αυτές οι συνθήκες βρίσκονται υψηλότερα από ένα όριο, το μίγμα δεν θα περιμένει την εμφάνιση του σπινθήρα αλλά θα αυταναφλεγεί, καταστρέφοντας τον κινητήρα. Εξυπακούεται ότι η μέγιστη πίεση του μίγματος, πριν την ανάφλεξή του, εξαρτάται αθροιστικά (για την ακρίβεια πολλαπλασιαστικά) τόσο από το βαθμό υπερπλήρωσης, όσο και από το βαθμό συμπίεσης. Κι αυτός ακριβώς είναι ο λόγος που, όσο μεγαλώνει η πρώτη παράμετρος τόσο περισσότερο πρέπει να μικραίνει η δεύτερη.

Ύστερα από όλα αυτά. Είναι προφανές ότι ένα αεροφυλάκιο με σταθερή πίεση εξόδου αποτελεί ιδανική λύση. Το πρόβλημα είναι πως ένα τέτοιο αεροφυλάκιο είναι αδύνατο να το κουβαλάμε μαζί μας, κατά συνέπεια είμαστε υποχρεωμένοι να ‘δημιουργούμε’ συνεχώς σε πραγματικό χρόνο την υπερπίεση που χρειαζόμαστε και να την διοχετεύουμε στο απειροελάχιστου μεγέθους αεροφυλάκιο που ονομάζουμε intercooler προς άμεση κατανάλωση.

Από εκεί και πέρα, όλα τα προβλήματα εντοπίζονται στο είδος του μέσου, το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να επιτύχουμε αυτήν την υπερτροφοδότηση.

Αν χρησιμοποιήσουμε μηχανικό συμπιεστή (φυγοκεντρικό ή τύπου Roots, με στρεφόμενους λοβούς), θα είμαστε υποχρεωμένοι να καταναλώνουμε ισχύ για την κίνησή του αναλόγως με το μέγεθός του. Το μέγεθος καθορίζεται από τη μέγιστη ποσότητα αέρα την οποία θα κληθεί ο συμπιεστής να συμπίεσει.

Δηλαδή στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος θα καθοριστεί από τον κυβισμό του κινητήρα, τις στροφές στις οποίες είναι ρυθμισμένος να αποδώσει τη μέγιστη ισχύ του και από την υπερπίεση την οποία θα έχει ο αέρας στις στροφές αυτές.

Έτσι εάν χρησιμοποιήσουμε, αποκλειστικά και μόνο, ένα μηχανικό υπερτροφοδότη για όλο το φάσμα των στροφών, αυτός θα έχει ένα τέτοιο μέγεθος που θα καταναλίσκει αρκετή ισχύ σε σχέση με αυτή που μας βοηθάει να κερδίσουμε. Αυτός είναι και ο λόγος που οι μηχανικοί υπερτροφοδότες χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά σε εφαρμογές στις οποίες επιδιώκεται η έντονη αύξηση της απόδοσης στις χαμηλές και μεσαίες στροφές του φάσματος

λειτουργίας του κινητήρα (πράγμα που βοηθά να περιορίσουμε το μέγεθος του) αλλά όχι και στις υψηλές. Στην περίπτωση αυτή, εξυπακούεται ότι η σχέση συμπίεσης που θα έχει επιλεγεί (με βάση τις συνθήκες που επικρατούν στις χαμηλές και μεσαίες στροφές) θα αποδεικνύεται πως στις υψηλές στροφές θα είναι χαμηλότερη, με αποτέλεσμα τη μείωση του θερμικού βαθμού απόδοσης και την αύξηση της κατανάλωσης.

Η άλλη λύση, αυτή του στροβιλοσυμπιεστή εξάτμισης, έχει το πλεονέκτημα να μην απαιτεί ενέργεια για την κίνηση της φυγοκεντρικής φτερωτής. Η απόδοση του όμως όταν οι συνθήκες οδήγησης είναι τέτοιες που να μην απαιτούν το μέγιστο της διαθέσιμης ροπής, απέχει από αυτή του 'ιδανικού αεροφυλακίου' που επιζητούμε. (Ως γνωστόν, ο υπερτροφοδότης εξάτμισης χρειάζεται πολύ υψηλούς ρυθμούς περιστροφής για να αποδώσει την απαιτούμενη πίεση, την στιγμή που οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί περιστροφής απαιτούν μεγάλες ποσότητες καυσαερίων, προκειμένου να ενεργοποιηθεί ανάλογα η τουρμπίνα – και οι ποσότητες αυτές είναι συναρτώμενες με το μέγεθος της απόδοσης το οποίο αντλείται εκείνη τη στιγμή από τον κινητήρα.)

Στη περίπτωση που οδηγούμε, συνεχώς, με τέρμα γκάζι και κρατάμε τις στροφές του κινητήρα σε ένα επίπεδο (και πάνω), η λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή είναι άψογη. Η πίεση που αποδίδει, στην έξοδο του είναι 'ονομαστική', βάσει της οποίας έχει προσχεδιαστεί και η σχέση συμπίεσης στο θάλαμο καύσης του κινητήρα (η οποία είναι, όπως και στη περίπτωση του μηχανικού συμπιεστή, κατώτερη της αντίστοιχης ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα.)

Από τη στιγμή όμως που θα πέσουν, προς στιγμή, οι στροφές της τουρμπίνας, ο κινητήρας θα αρχίσει να λειτουργεί με μειωμένη σχέση συμπίεσης ως προς την ιδανική με αποτέλεσμα αν ξαναπατήσουμε το γκάζι τέρμα θα υπάρξει ένα διάστημα όπου ο θερμικός βαθμός απόδοσης θα είναι μειωμένος, μέχρι να ξαναεβούν οι στροφές της τουρμπίνας, άρα και η πίεση του αέρα.

III) Η λύση Twincharger

Το βασικό στοιχείο του κινητήρα TSI της VW είναι η τροφοδοσία με άμεσο ψεκασμό στο θάλαμο καύσης (FSI) μέσω της οποίας επιτυγχάνονται αποτελέσματα που είναι αδύνατα για ένα κινητήρα με έμμεσο ψεκασμό. Μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του ψεκασμού αυτού είναι το 'ψυκτικό σοκ' στο οποίο υποβάλλεται ο θάλαμος καύσης, αποτέλεσμα του οποίου είναι η αποτροπή της αυτανάφλεξης του καυσίμου. Αυτό σημαίνει πως μπορούμε να επιλέξουμε πολύ υψηλό βαθμό υπερπλήρωσης (π.χ 2,5 bar) και ταυτόχρονα να διατηρούμε στο θάλαμο καύσης μια σχέση συμπίεσης (10:1) η οποία θεωρείται υψηλή ακόμα και για ατμοσφαιρικό κινητήρα.



Ο φαιός χυτοσίδηρος ήταν το υλικό που επιλέχθηκε, χάρη στην υψηλή του αντοχή, για την κατασκευή του μπλοκ των κυλινδρών, το οποίο καταπονείται σε συνεχείς πιέσεις που ξεπερνούν τα 21 bar, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με συγμοίσεις "κορυφές" που φτάνουν τα 120 bar.

Η νέα γενιά ακροφυσίων ψεκασμού υψηλής πίεσης, που χρησιμοποιούνται για τον άμεσο ψεκασμό του κινητήρα TSI, διαθέτουν έξι οπές. Με τον τρόπο αυτόν, επιτυγχάνεται καλύτερη διασπορά της βενζίνης και υψηλότερης ποιότητας αμιογενοποίηση του μίγματος. Και το σπουδαιότερο: χαμηλότερη θερμοκρασία μίγματος, πριν από την ανάφλεξη, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση υψηλότερης σχέσης συμπίεσης.

IV) Επιλογή μεγεθών

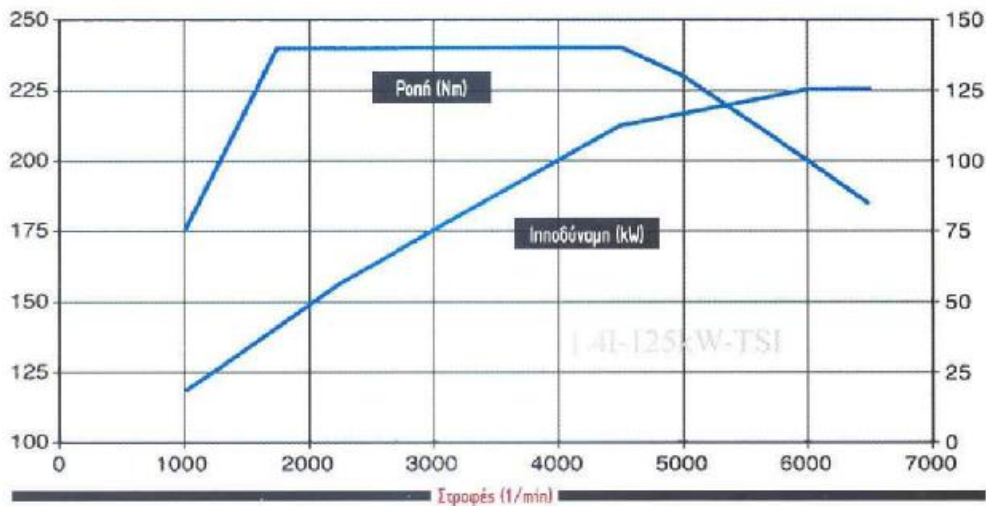
Με τον όρο 2,5 bar υπερπλήρωση, δεν σημαίνει πως μπορούμε να έχουμε διαθέσιμα αυτά τα 2,5 bar σε όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα. Για παράδειγμα, στις συνήθεις εφαρμογές υπερτροφοδότησης. Η μέγιστη πίεση υπερπλήρωσης δεν επιτυγχάνεται παρά μόνον αφού ο κινητήρας έχει αρχίσει να περιστρέφεται με συχνότητα τουλάχιστον μισή από την μέγιστη επιτρεπτή (περίπου 3500 rpm). Από εκεί και πέρα εξαρτάται από το μέγεθος του στροβιλοσυμπιεστή τα αν αυτή η μέγιστη υπερπλήρωση θα αρχίσει ξανά να μειώνεται, όσο θα ανεβαίνουν οι στροφές του κινητήρα, ή θα παραμένει σταθερή.

Συνεπώς η επιλογή του μεγέθους του στροβιλοσυμπιεστή είναι βασικής σημασίας. Ένας μεγάλου μεγέθους, θα αργήσει να κορυφώσει την πίεση του (απαιτώντας, προηγουμένως, να έχει αρχίσει να παράγει ο κινητήρας επαρκή ποσότητα καυσαερίων ώστε να μπορέσουν αυτά να κινήσουν την τουρμπίνα σε παραγωγικές συχνότητες περιστροφής) αλλά από την άλλη, είναι ικανός να

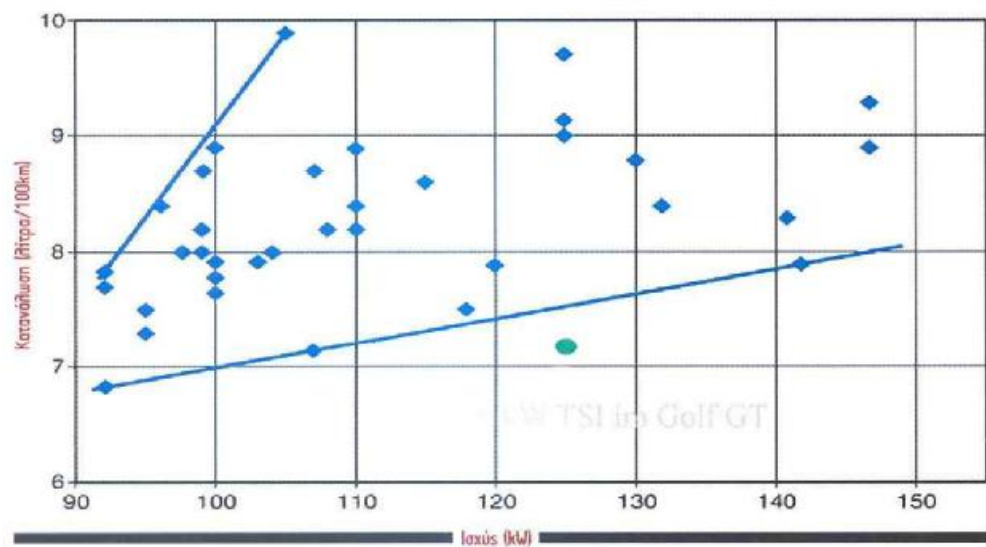
διατηρεί την πίεση ανεξάρτητα από το ύψος στο οποίο ανεβαίνουν οι στροφές του κινητήρα – και αναλογικά, οι απαιτήσεις του σε αέρα. Επίσης δεν πρέπει να παραβλεφθεί και η παράμετρος της αδράνειας. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερος σε μέγεθος είναι ένας στροβιλοσυμπιεστής, τόσο εντονότερο lag θα εμφανίσει όταν απαιτηθεί, με αύξηση του πατήματος του γκαζιού, μια αντίστοιχα γρήγορη αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος – άρα και της παροχής του.

Ένας μικρός στροβιλοσυμπιεστής, από την άλλη, διαθέτει το προσόν της μικρής αδράνειας αν απαιτήσουμε από αυτόν να παράγει υψηλή πίεση. Αντιθέτως, όσο μικρότερος είναι και όσο υψηλότερη η τιμή της απαιτούμενης υπερπλήρωσης (σε σχέση με το μέγεθος του κινητήρα), τόσο πιο μικρή θα είναι η περιοχή στροφών στην οποία θα είναι αυτός ικανός να αποδώσει. Στις υψηλότερες στροφές, η παροχή του θα αρχίσει από ένα σημείο και έπειτα, να υπολείπεται των ολοένα και αυξανόμενων αναγκών του κινητήρα, όσο αυτός θα ανεβάζει στροφές. Από την άλλη, στις πολύ χαμηλές στροφές όσο μικρός κι αν είναι ο στροβιλοσυμπιεστής, δεν θα μπορεί να αυξήσει την πίεση για τον απλούστατο λόγο ότι ο κινητήρας δεν έχει αρχίσει ακόμα να παράγει την ποσότητα εκείνη των καυσαερίων που θα καταφέρουν να κινήσουν την τουρμπίνα με την απαραίτητη ταχύτητα.

Η λύση που επέλεξαν οι μηχανικοί της VW ήταν η εξής: διάλεξαν μια μικρού μεγέθους τουρμπίνα, έτσι ώστε να μην αντιμετωπίζουν προβλήματα αδράνειας, έστω και αν αυτού του μεγέθους οι στροβιλοσυμπιεστές δεν είναι και τόσο ικανοί στο να προλαβαίνουν να δημιουργήσουν πίεση 2,5 bar σε έναν κινητήρα ακόμα και μόλις 1400 lit, αν αυτός περιστραφεί με περισσότερες από 4500 rpm. Ο συγκεκριμένος στροβιλοσυμπιεστής που έχει επιλεγεί για το σύστημα Twincharger είναι ο K03 της BorgWarner, ο οποίος στη συγκεκριμένη συνεργασία του με τον 1,4 TSI, αποδίδει ένα σταθερό ύψος μέγιστης πίεσης 2,5 bar από τις 3500 μέχρι τις 4500 rpm. Από εκεί και πέρα, αρχίζει μια σταδιακή πτώση της πίεσης εξόδου, η οποία καταλήγει λίγο πάνω από το 1,5 bar στις 7000 rpm. Πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στις χαμηλές στροφές του κινητήρα, κάτω από τις 3500 rpm. Στις 3000 rpm η πίεση εξόδου του K03 είναι αρκετά κάτω από τα 2 bar, ενώ στις 2000 κάτω κι από τα 1,5 (λόγω έλλειψης επαρκούς ποσότητας καυσαερίων). Οι απαιτήσεις όμως από τους σχεδιαστές του TSI προέβλεπαν ότι η πίεση του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα έπρεπε να παραμένει σταθερή στα 2,5 bar από τις 1800 μέχρι τις 4500 rpm, έτσι ώστε ο μικρός αυτός κινητήρας να διαθέτει ροπές αντίστοιχες με αυτές ενός ατμοσφαιρικού με κυβισμό 2,3 lit. Προκειμένου να επιλύσουν το πρόβλημα αυτό, τοποθέτησαν ένα μηχανικό υπερτροφοδοτή εν σειρά με τον στροβιλοσυμπιεστή, και ακριβώς μπροστά απ' αυτόν, έτσι ώστε η έξοδος του μηχανικού συμπιεστή να τροφοδοτεί την είσοδο του φυγοκεντρικού.



Καμπύλες ροπής και ισχύος του κινητήρα 1.4 TSI. Χάρη στο μηχανικό συμπιεστή, η ροπή παρουσιάζει μια σχεδόν κατακόρυφη αύξηση από το ρελαντί μέχρι τις 1.700 σ.σ.λ., απ' όπου και ακολουθεί μια οριζόντια πορεία μέχρι τις 4.500 σ.σ.λ. όπου το έργο της υπερτροφοδότησης το έχει επωμιστεί, αποκλειστικά, ο στροβιλοσυμπιεστής. Από εκεί και πέρα, παρά το ότι η παροχή αέρα του μικροσκοπικού στροβιλοσυμπιεστή συνεχίζει να αυξάνεται, εν τούτοις δεν επαρκεί για να διατηρήσει την υπερπίεση των 2,5 bar, με αποτέλεσμα τη σταδιακή πτώση της καμπύλης ροπής. Η ισχύς συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι τις 6.000 σ.σ.λ. όπου και κορυφώνεται, στους 168-170 ίππους (125 kW), ενώ παραμένει σταθερή μέχρι τις 6.500 σ.σ.λ. Η σταδιακή πτώση της ροπής (και των συνεπαγόμενων θερμικών φορτίων), από τις 4.500 σ.σ.λ. και μετά, παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην αξιοπιστία του κινητήρα, η διάρκεια ζωής του οποίου φτάνει τα 300.000 km.



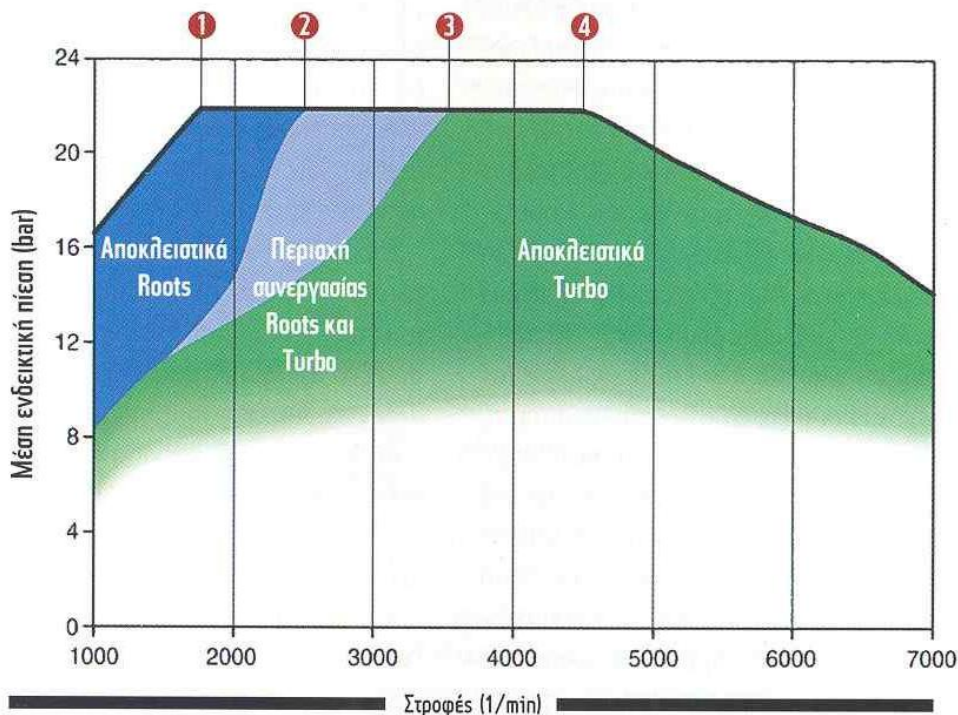
Η τυποποιημένη κατανάλωση του Golf GTI με τον κινητήρα 1.4 TSI, σε σύγκριση με βενζινοκίνητα της ίδιας κλάσης αμαξώματος.

Ο μηχανικός αυτός υπερτροφοδότης πρέπει, αφενός να είναι ικανός να δώσει τα προαπαιτούμενα 2,5 bar πολύ πριν από τις 2500 rpm του κινητήρα, αλλά ταυτόχρονα να απορροφά και το ελάχιστο δυνατό έργο από τον κινητήρα για την λειτουργία του. Η απαίτηση όμως για μικρή απορρόφηση ισχύος από τον κινητήρα, σημαίνει αντίστοιχα μικρό μέγεθος για τον συμπιεστή (κάτι που έρχεται σε αντίθεση με την ταυτόχρονη απαίτηση για απόδοση 2,5 bar σε τόσο χαμηλό ρυθμό περιστροφής του κινητήρα). Η μόνη λύση για να ξεπεραστεί και αυτό το πρόβλημα είναι επιλέγοντας, μέσω τροχαλιών και γραναζιών, ένα

εντυπωσιακό πολλαπλασιασμό της συχνότητας περιστροφής του μηχανικού συμπιεστή σε σχέση με αυτήν του κινητήρα (5:1), προσέχοντας να μην ξεπεραστεί μια απαγορευτική συχνότητα περιστροφής.

Ο συγκεκριμένος μηχανικός συμπιεστής ονομάζεται M24 και είναι τύπου Roots, με δύο λοβούς, τρεις ακμές σε κάθε λοβό και το όριο περιστροφής του είναι 14000 rpm. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σχέση μετάδοσης 5:1 χωρίς καταστροφικά αποτελέσματα για το μηχανικό συμπιεστή, αυτός αρχίζει να ανεβάζει πίεση από μηδενικές σχεδόν στροφές του κινητήρα. Στις 1000 rpm (με τέρμα γκάζι), η πίεση εξόδου του συμπιεστή θα έχει πλησιάσει τα 2 bar για να κορυφωθεί στα 2,5 bar στις 1800 rpm, γυρίζοντας ο ίδιος στις 9000 rpm (γύρω στις 3000 rpm θα πρέπει να έχει απομονωθεί, μέσω ενός συμπλέκτη, ώστε να μην συνεχιστεί η αύξηση στροφών ως την καταστροφή του). Στο σημείο αυτό έχουν ήδη κερδισθεί δυο σημαντικά πράγματα:

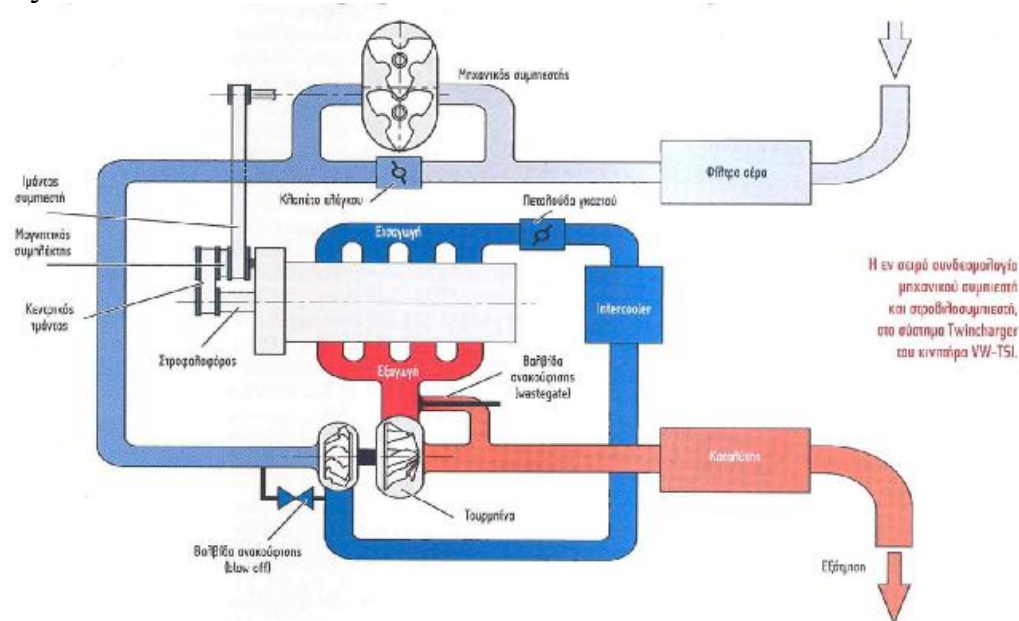
Το πρώτο είναι ότι από μηδενικές σχεδόν στροφές, έχει αρχίσει να αντλείται σημαντικό ποσό ροπής από τον κινητήρα, χάρη στην έντονη υπερπλήρωση που προσφέρει ο μηχανικός συμπιεστής. Το δεύτερο είναι ότι, έχοντας 2,5 bar πίεση στις 1800 rpm, διασφαλίζουμε ότι στις στροφές αυτές θα φτάνουν στην εξάτμιση σημαντικά ποσά καυσαερίων, ικανά να ενεργοποιήσουν την τουρμπίνα του στροβιλοσυμπιεστή (για την ακρίβεια πολύ πιο νωρίς απ' ότι στην περίπτωση που απουσίαζε ο μηχανικός συμπιεστής).



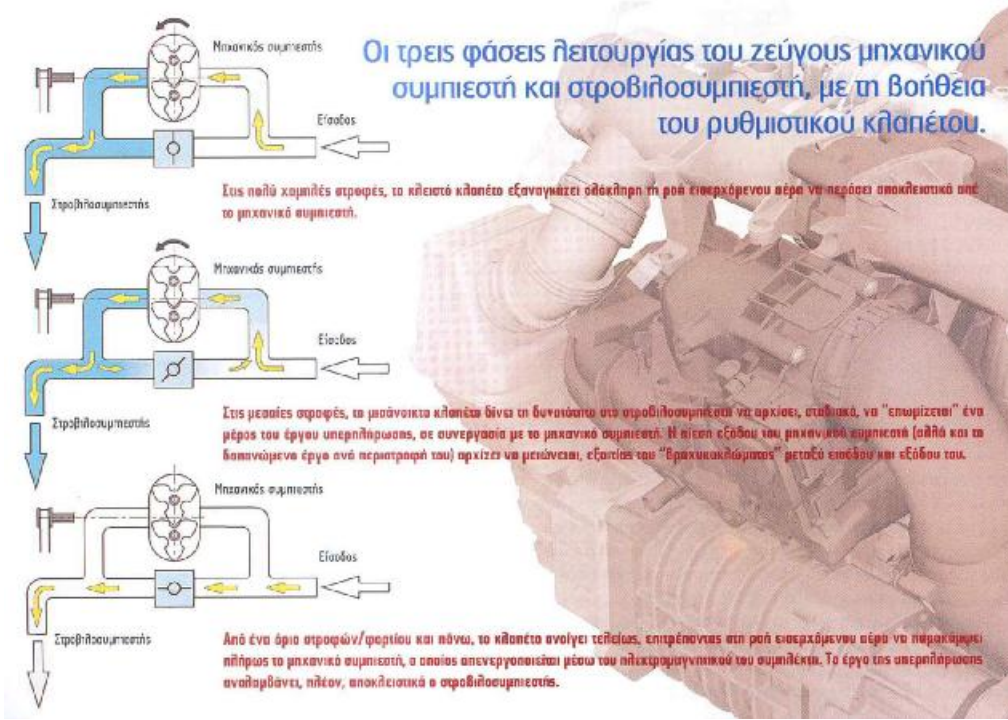
Χαρτογράφηση του φάσματος ενεργοποίησης καθενός από τους δύο συμπιεστές ξεχωριστά, αλλά και της ενδιάμεσης περιοχής όπου οι δύο συμπιεστές συνεργάζονται προσωρινά. Η πίεση, στον κατακόρυφο άξονα, αφορά τη μέση ενδεικτική πίεση των κυλίνδρων. Η οριζόντια κορυφή της καμπύλης αντιστοιχεί, προσεγγιστικά, σε πίεση υπερπλήρωσης 2,5 bar.

V) Σύστημα διαχείρισης ροής

Ένα ακόμα βασικό σημείο είναι η απομόνωση του μηχανικού συμπιεστή από το σύστημα, ούτως ώστε να πάψει να καταναλώνει έργο για την κίνηση του και επίσης για να προστατευτεί από την υπερστροφία. Η απότομη αυτή διακοπή της λειτουργίας του σημαίνει ότι από την αθροιστική πίεση των δύο συμπιεστών (εκτοπίσματος και φυγοκεντρικού) περνάμε ακαριαία στην πίεση του φυγοκεντρικού, με αποτέλεσμα την στιγμιαία μείωση της απόδοσης του κινητήρα (λόγω της ασυνέχειας ισχύος) καθώς και την μη γραμμική απόκριση του γκαζιού.



Η λύση βρίσκεται στην ύπαρξη μιας διόδου παράκαμψης, ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο του μηχανικού συμπιεστή, μέσα στην οποία βρίσκεται ένα ψηφιακά ελεγχόμενο ρυθμιστικό κλαπέτο μέσω του οποίου ελέγχεται η διατομή της διόδου και συνεπώς ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η συνεργασία μηχανικού συμπιεστή και στροβιλοσυμπιεστή.



Οι τρεις φάσεις λειτουργίας του ζεύγους μηχανικού συμπιεστή και στροβιλοσυμπιεστή, με τη βοήθεια του ρυθμιστικού κλιππέτου.

Στις πολύ χαμηλές στροφές, το κλιππέτο εξαναγκάζει ολόκληρη τη ροή εισερχόμενου αέρα να περάσει αποκλειστικά από το μηχανικό συμπιεστή.

Στις μεσαίες στροφές, το μηχανικό κλιππέτο δίνει τη δυνατότητα στο στροβιλοσυμπιεστή να αρχίσει, σταδιακά, να "επιχωρίζεται" ένα μέρος του έργου υπερπληρώσεως, σε συνεργασία με το μηχανικό συμπιεστή. Η πίεση εξόδου του μηχανικού συμπιεστή (σήμερα και τα διατηρούμενα έργα ανά περιστροφή του) αρχίζει να μειώνεται, εξαιτίας του "θραυκιστικού" μεταξύ εισόδου και εξόδου του.

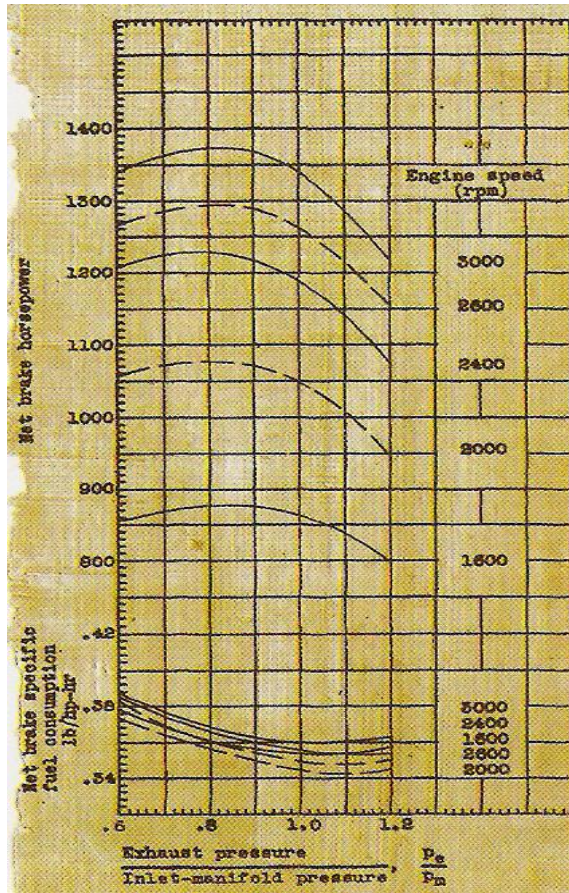
Από ένα όριο στροφών/φρετίου και πάνω, το κλιππέτο ανοίγει τελείως, επιτρέποντας στη ροή εισερχόμενου αέρα να περάσει αποκλειστικά από το μηχανικό συμπιεστή, ο οποίος απενεργοποιείται μέσω του ηλεκτρομαγνητικού του συμπίεκτη. Το έργο της υπερπληρώσεως αναλαμβάνει, πλέον, αποκλειστικά ο στροβιλοσυμπιεστής.

§4.2 Turbocompound

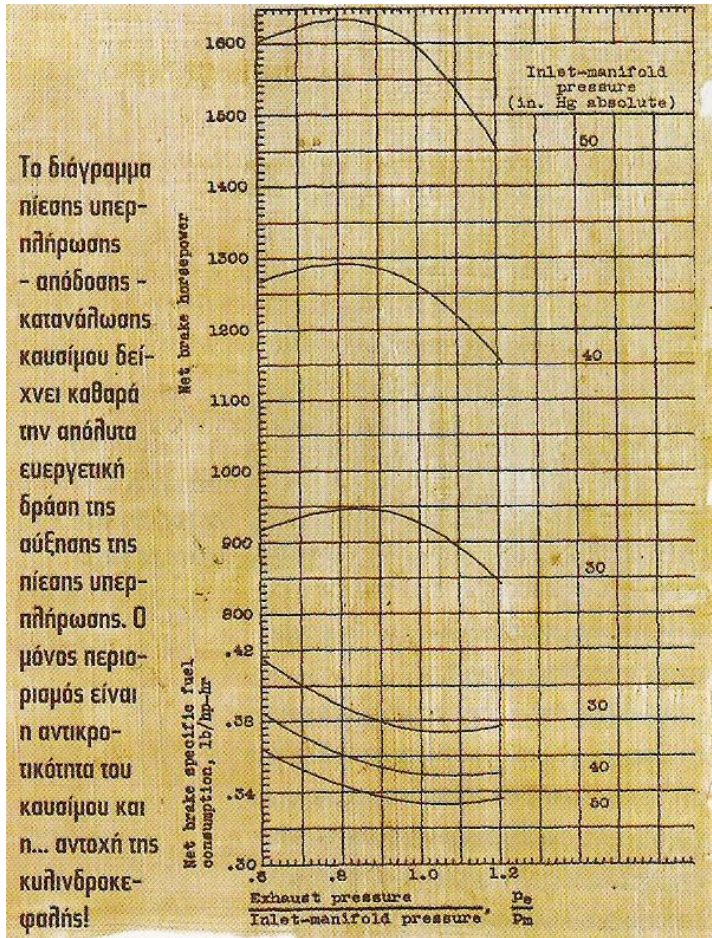
Η μέθοδος Turbocompound είναι ένα σύστημα συνδυασμένης υπερπλήρωσης η οποία εφευρέθηκε την δεκαετία του 50'. Η συγκεκριμένη διάταξη ξεκινά από την σύνδεση ενός αεριοστροβίλου με έναν συμπιεστή, μέσω ενός άξονα, όπως περίπου γίνεται και στους κλασικούς στροβιλοσυμπιεστές. Ένα πρώτο όμως, σημαντικό σημείο αυτής της διάταξης ήταν ο τρόπος που γινόταν αυτή η σύνδεση του άξονα του αεριοστροβίλου και του στροβιλοσυμπιεστή με έναν δεύτερο στροβιλοσυμπιεστή υψηλής πίεσης. Γινόταν μέσω ενός κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών και γινόταν πολυπλοκότερη με την σύνδεση όλων αυτών των συστημάτων με τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα.

Με τον τρόπο αυτό, τα εξερχόμενα καυσαέρια του εμβολοφόρου κινητήρα περιστρέφουν τον στρόβιλο ο οποίος, με τη σειρά του, περιστρέφει τους δύο στροβιλοσυμπιεστές και, στην περίπτωση που το απαιτούμενο φορτίο του κινητήρα είναι αυξημένο, συμβάλει και στην παραγωγή έργου, αποδίδοντας το απευθείας πάνω στο στροφαλοφόρο. Πηγαίνοντας 'ανάποδα', διαπιστώνουμε ότι με τη διάταξη αυτή, εξαλείφεται και η υστέρηση του κινητήρα κατά την αύξηση των στροφών, αφού ο ίδιος ο κινητήρας είναι αυτός που περιστρέφει το στρόβιλο, όταν πέσουν οι στροφές του (στην περίπτωση αυτή εξαναγκάζεται να λειτουργήσει ως μηχανικός υπερτροφοδότης φυγοκεντρικού τύπου μέχρι να βρεθεί στην περιοχή ιδανικής λειτουργίας του και να αρχίσει να λειτουργεί κανονικά σαν αεριοστρόβιλος.

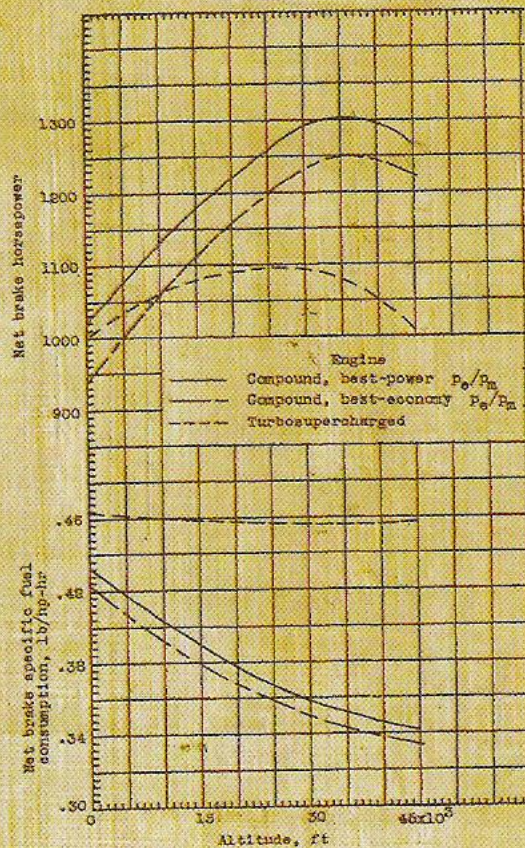
Σημείωση: σε συγκριτικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με έναν εμβολοφόρο turbosupercharged κινητήρα εκείνης της εποχής, ο Turbocompound απέδωσε 21% περισσότερη ισχύ καταναλώνοντας ταυτόχρονα 23% λιγότερο καύσιμο. Όταν δε χρησιμοποιήθηκε η λύση της μετάκαυσης (ένανσης άκαυτου καυσίμου στην περιοχή της εξαγωγής), ο κινητήρας Turbocompound (με γωνίες επικάλυψης βαλβίδων της τάξης των 70° αυτή τη φορά) είχε αύξηση της μέγιστης ισχύος του κατά 31%, ενώ η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώθηκε κατά 24%.



Στο διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες ισχύος (πάνω) και οι καμπύλες κατανάλωσης (κάτω) του κινητήρα που είναι εφοδιασμένος με το TurboCompound. Η καμπύλη της ιδανικής ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα φαίνεται με διακοπτόμενη γραμμή και είναι η χρυσή τομή μεταξύ ισχύος και κατανάλωσης.

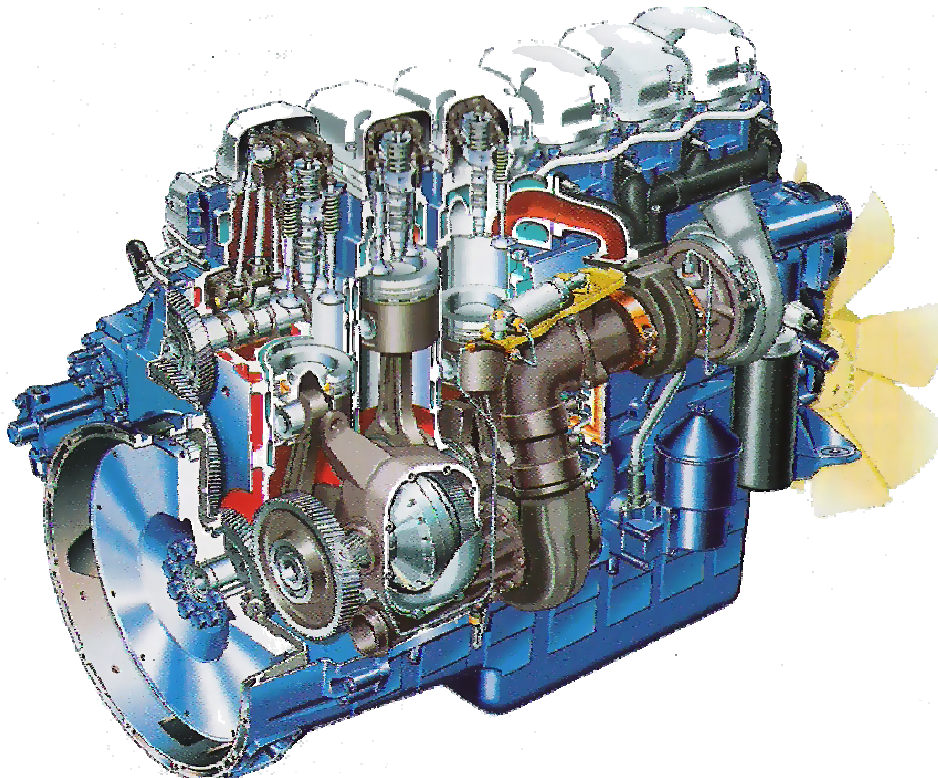


Η θεαματική αύξηση της ισχύος του κινητήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας με μετάκαυση είναι φανερά, στο διάγραμμα, αν συγκρίνουμε τις καμπύλες μέγιστης ισχύος (3000 σ.α.λ.). Ακόμα πιο εντυπωσιακή όμως είναι η σύγκριση των καμπύλων κατανάλωσης για 3000 σ.α.λ. με και χωρίς μετάκαυση. Το πλεονέκτημα της μετάκαυσης είναι αναμφισβήτητο!



I) Λειτουργία σύγχρονου Turbocompound κινητήρα

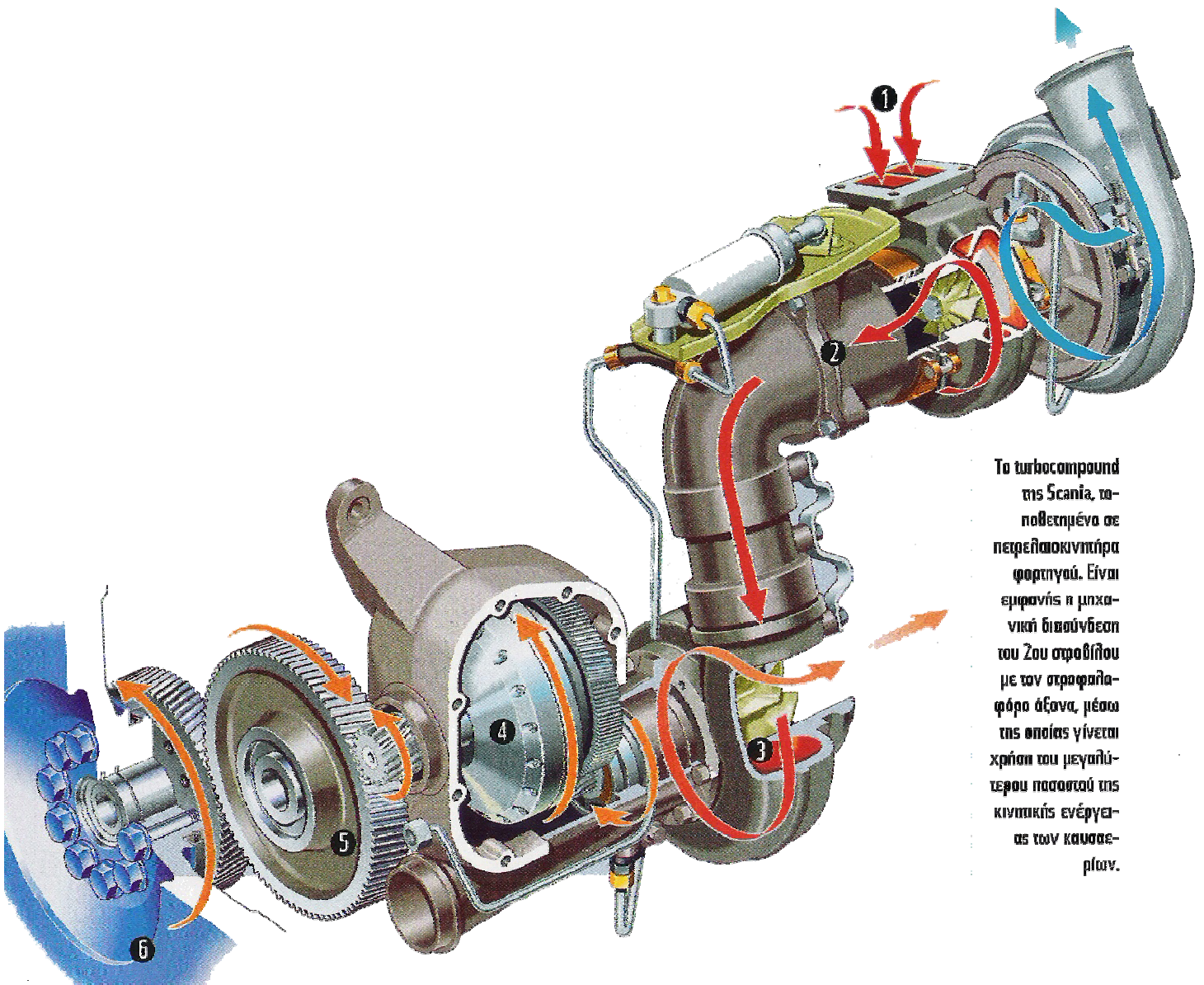
Τα στοιχεία που αποτελούν ένα Turbocompound είναι ένας επιπρόσθετος αγωγός καυσαερίων, μία τουρμπίνα και μια σειρά από γρανάζια που 'εναρμονίζουν' την υψηλή συχνότητα περιστροφής της δεύτερης τουρμπίνας με την χαμηλή συχνότητα περιστροφής του στροφάλου.



Από την στιγμή που τα καυσαέρια εγκαταλείπουν τον κινητήρα, το σύστημα λειτουργεί ως εξής:

1. Τα καυσαέρια της πολλαπλής εξαγωγής, με θερμοκρασία $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, καταλήγουν στην εισαγωγή (1) της πρώτης τουρμπίνας, η οποία αποτελεί μέρος ενός συμβατικού στροβιλοσυμπιεστή.
2. Τα αέρια ωθούν τη φτερωτή του στροβίλου ο οποίος, με τη σειρά του, κινεί τον συμπιεστή. Στη συνέχεια, αφού εγκαταλείψουν την φτερωτή της πρώτης τουρμπίνας, τα καυσαέρια δεν εξέρχονται στην ατμόσφαιρα όπως συμβαίνει στις συμβατικές εφαρμογές.
3. Αντί αυτού, οδηγούνται, μέσω του κατάλληλου αγωγού (2) και με την θερμοκρασία που εξακολουθεί να ξεπερνά τους $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, στη φτερωτή της δεύτερης τουρμπίνας (3). Η ενέργεια που εξακολουθούν να μεταφέρουν, περιστρέφει την τουρμπίνα έως και τις 55000 rpm . Από αυτό το σημείο και μετά, η θερμοκρασία των καυσαερίων πέφτει στους $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, οπότε και οδηγούνται στην ατμόσφαιρα, μέσω μιας συμβατικής εξάτμισης με σιγαστήρα.

4. Μία σειρά από γρανάζια αναλαμβάνουν να μειώσουν τη γωνιακή ταχύτητα από το αρχικό ύψος περιστροφής της τουρμπίνας στο χαμηλό του στροφαλοφόρου. Για την αποφυγή έντονων μεταβολών της ταχύτητας της τουρμπίνας, όταν αλλάζει στροφές ο κινητήρας κατά τις αλλαγές σχέσεων στο κιβώτιο, υπάρχει ένας υδραυλικός συμπλέκτης (4) ο οποίος επιτρέπει ένα ‘πατινάρισμα’ μεταξύ στροφαλοφόρου και τουρμπίνας (3) έτσι ώστε να μην μεταφέρονται ‘σκορτσαρίσματα’ ένθεν και ένθεν.
5. Στο τελευταίο στάδιο των διαδοχικών υποπολλαπλασιασμών (5), η αρχική ταχύτητα (55000 rpm) της δεύτερης τουρμπίνας έχει ταυτιστεί με την χαμηλή ταχύτητα (1900 rpm) του στροφαλοφόρου. Αν όμως η ταχύτητα περιστροφής έχει μειωθεί κατά 20 – 30 φορές, αντίστοιχα έχει πολλαπλασιαστεί η ροπή που η δεύτερη τουρμπίνα μεταφέρει στον στροφαλοφόρο.
6. Η στροφορμή του σφονδύλου (6) είναι αυξημένη κατά το ισοδύναμο της στροφορμής που μεταφέρεται από την δεύτερη τουρμπίνα. Αντίστοιχα αυξημένη είναι και η πολική ροπή αδράνειας του σφονδύλου, δεδομένων όλων των πρόσθετων περιστρεφόμενων εξαρτημάτων (τουρμπίνα, γρανάζια κλπ.) του συστήματος Turbocompound. Το αποτέλεσμα είναι μία πολύ ομαλότερη μετάδοση ισχύος από τον κινητήρα στο δρόμο.



Το turbocharger στις Scania, τοποθετημένο σε πετρελαιοκινητήρα φορτηγού. Είναι εμφανής η μηχανική διασύνδεση του Ζου στροβίλου με τον στρωφαλοφόρο άξονα, μέσω της οποίας γίνεται χρήση του μεγαλύτερου ποσοστού της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

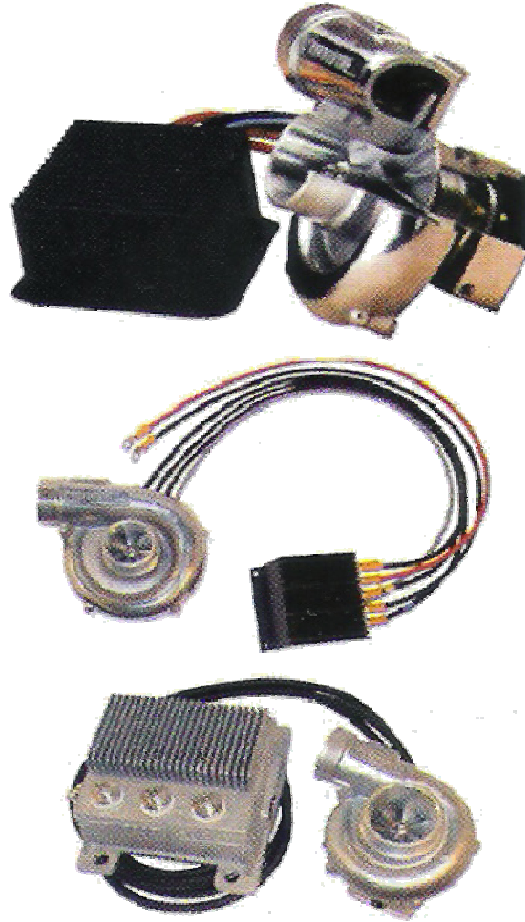
§5.1 Turbopac

Όλα ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του '90, όταν ο Edward Halimi κατέθεσε μια πανέξυπνη, “οικολογική” πατέντα για τον περιορισμό των εκπομπών καπνού από τους πετρελαιοκινητήρες (την στιγμή που εκείνη την εποχή δεν υπήρχαν καπνοπαγίδες, ούτε οξειδωτικοί καταλύτες).

Αυτό που παρατήρησε ο Halimi, ήταν ότι οι πετρελαιοκινητήρες εξέπεμπαν το μεγαλύτερο ποσοστό καπνού, από την εξάτμισή τους, στα πρώτα εκείνα δέκατα του δευτερολέπτου που ακολουθούσαν μια αύξηση του πατήματος του γκαζιού, προκειμένου το αυτοκίνητο να επιταχυνθεί (εκείνη τη χρονική στιγμή ο κινητήρας αντιμετωπίζει μια προσωρινή έλλειψη οξυγόνου η οποία δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί από τον στροβιλοσυμπιεστή λόγω της αδράνειάς του (turbo-lag). Για την επίλυση του προβλήματος ο Halimi προσάρμοσε στην εισαγωγή έναν μικροσκοπικό ηλεκτροκίνητο υπερτροφοδότη (φυγοκεντρικού τύπου οδηγούμενου από ένα αρκούντως ισχυρό μοτέρ), που θα αξιοποιούταν για λίγα μόλις δευτερόλεπτα ύστερα από κάθε εντολή για επιτάχυνση.

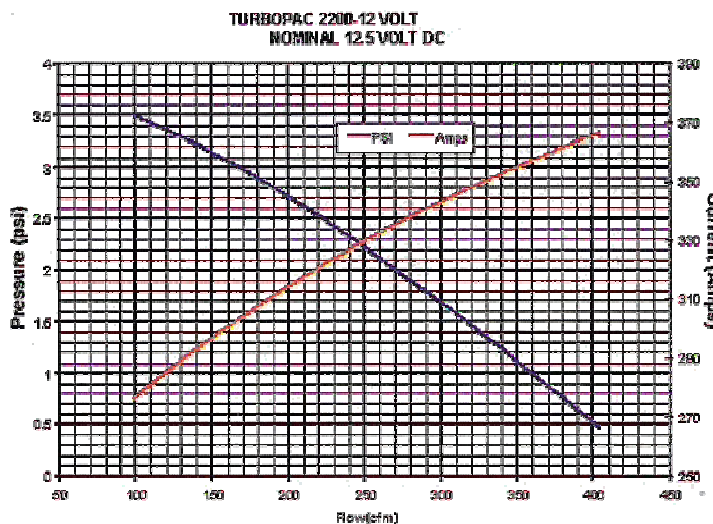
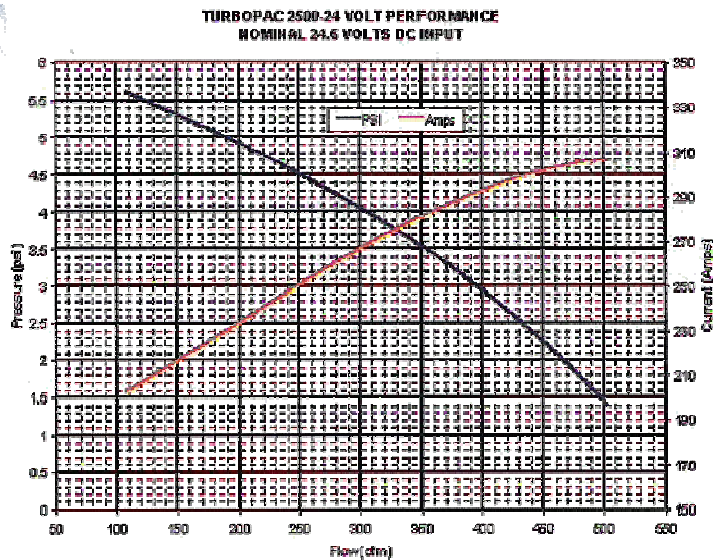
Το προϊόν αυτό ονομάστηκε Turbopac και ήταν ένας ηλεκτροκίνητος φυγοκεντρικός συμπιεστής “μικρής διάρκειας ενεργοποίησης”, του οποίου ο έλεγχος γινόταν αυτόματα από μια ψηφιακή μονάδα η οποία ήταν ενσωματωμένη στο controller του και η οποία έπαιρνε σήμα από μια σειρά αισθητήρων.





Οι πρώτες εκδόσεις προ-παραγωγής του Turboραc.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της διάταξης είναι ότι, πέρα από την σύνδεση με την πηγή ρεύματος του οχήματος, η εγκατάσταση της δεν απαιτεί καμία τροποποίηση στο λογισμικό της μονάδας ελέγχου του κινητήρα (ECU), η οποία συνεχίζει να λειτουργεί σαν να μην υπάρχει καθόλου ο συμπιεστής στο σύστημα, και το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τις μηχανικές αντλίες πετρελαίου.



Διαγράμματα πίεσης, παροχής και αμπεράζ, για δύο εκδόσεις Turbopac, μία που λειτουργούσε στα 24V και μία στα 42. Η υποροχή της δεύτερης είναι προφανής - δεν απέμενε παρά να υιοθετήσουν τα εργοστάσια το «πρότυπο» των 42V, σύμφωνα με το αρχικό τους χρονοδιάγραμμα.

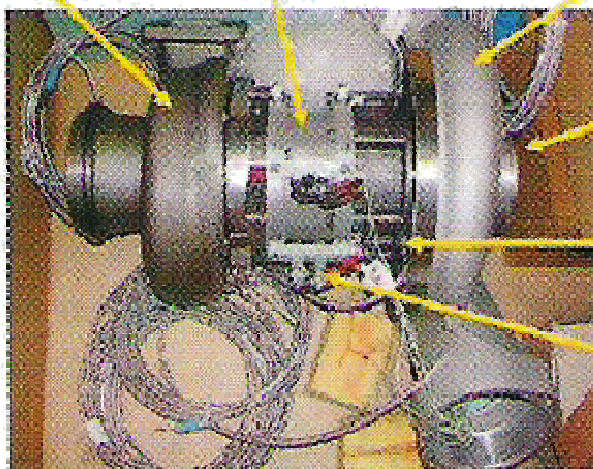
§5.2 Dynacharger

Στη συνέχεια, το 1995, ο Halimi εφεύρε το Dynacharger. Δηλαδή έναν στροβιλοσυμπιεστή με ενσωματωμένο ηλεκτροκινητήρα/ ηλεκτρογεννήτρια ή “Motor-Assisted-Turbocharger” ή “Turbo Power Assist System – TPAS”. Το σύστημα αυτό δεν ήταν τίποτα άλλο από μια συσκευή τύπου “δύο σε ένα”, αντί για ένα Turbopac και ένα συμβατικό στροβιλοσυμπιεστή εξάτμισης.

Κέλυφος τουρμπίνας

**Ηλεκτροκινητήρας-
ηλεκτρογεννήτρια**

Κέλυφος συμπιεστή



**Αισθητήρες
θέσης**

**Αισθητήρας
ταχύτητας**

Ακροδέκτες

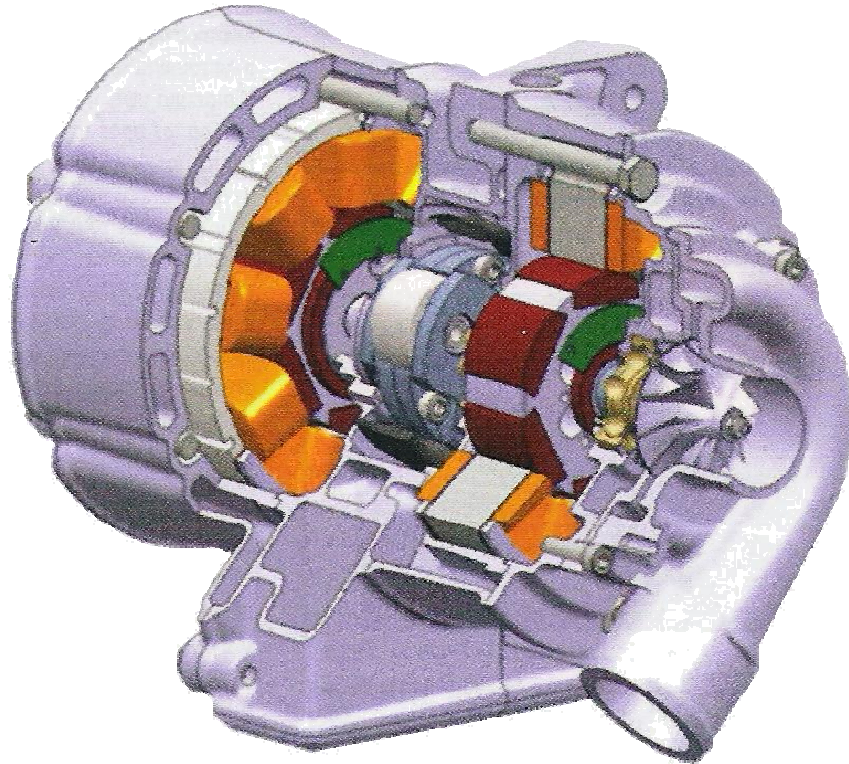


§5.3 HydraCharger

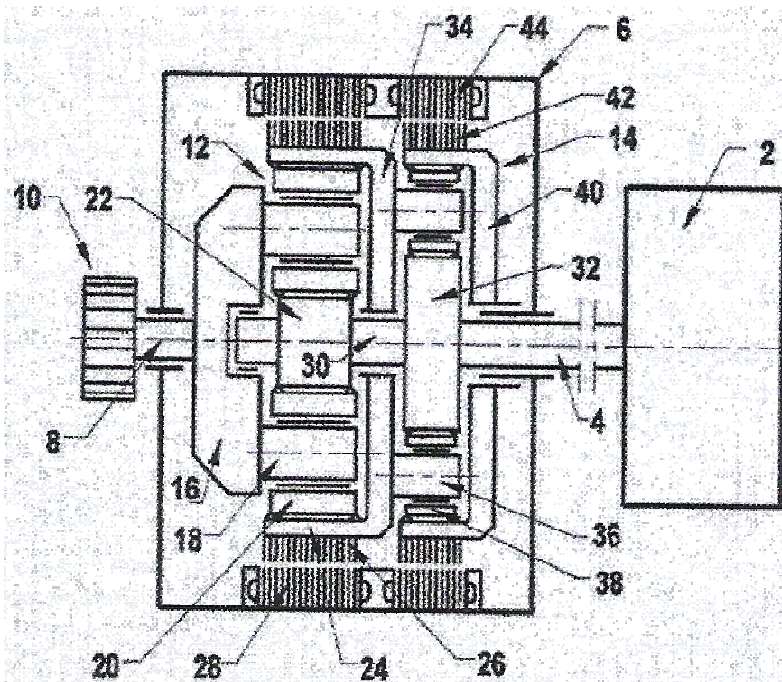
Την ίδια εποχή που ο Halimi ανέπτυξε το DynaCharger, η εταιρεία Garrett με αρχιμηχανικό τον Dave Karich ανέπτυξε το HydraCharger. Το σύστημα αυτό ήταν ολόιδιο με το Turbopac, με το επιπλέον πλεονέκτημα ότι μπορούσε να έχει και συνεχή λειτουργία και όχι μικρής διάρκειας όπως το Turbopac. Το σύστημα αποτελείται από έναν πλήρως ρυθμιζόμενο φυγοκεντρικό υπερτροφοδότη ο οποίος λειτουργεί με υδραυλική πίεση, μέσω ενός ταχύστροφου υδραυλικού κινητήρα, τροφοδοτούμενου από μια αντλία τοποθετημένη πάνω στο θερμικό κινητήρα. Το πλεονέκτημα του HydraCharger είναι ότι μπορεί να επιτύχει απίστευτα υψηλούς ρυθμούς περιστροφής (75.000 rpm η μονάδα των 20 ίππων και 60.000 rpm η μονάδα των 30 ίππων, με βαθμό απόδοσης πάνω από 80% και χωρίς να χρειάζεται κάποια μετάδοση πολλαπλασιασμού στροφών). Μετέπειτα ο Karich μετονόμασε το σύστημα αυτό σε Hydraulic Supercharger.

§5.4 SuperGen3 (τρίτης γενιάς)

Το 2003, ο Frank Moeller αξιοποίησε τις δυνατότητες της ηλεκτροκίνητης υπερτροφοδότησης του Turbopac με την ικανότητα παραγωγής ρεύματος από τη γεννήτρια του Dynacharger.



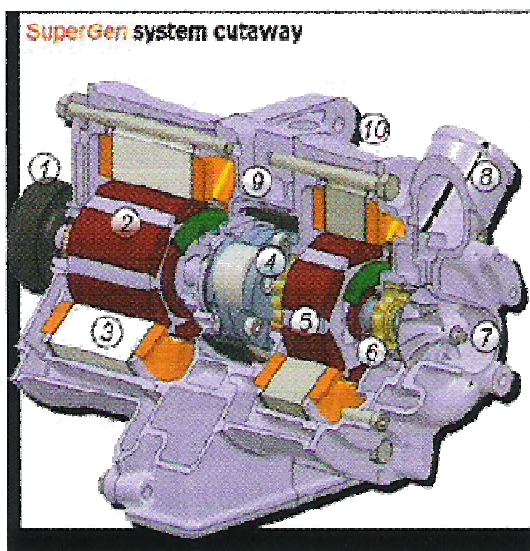
Το σύστημα που σχεδίασε (και εξελίσσεται ως σήμερα) ονομάζεται SuperGen3 και βασίζεται σε δύο ηλεκτρικές μονάδες (ηλεκτρογεννήτρια – ηλεκτροκινητήρα) συνδεδεμένες μεταξύ τους μέσω ενός επικυκλικού συστήματος (και συνδεδεμένες, ταυτόχρονα, μέσω του ίδιου επικυκλικού συστήματος, με την τροχαλία που φέρνει κίνηση από τον κινητήρα).



Το αρχικό σχέδιο του SuperGen. Ο άξονας (4, 30) της φτερωτής του υπερτροφοδότη (2) φέρει επάνω του τους ήλιους (22, 32) δύο επάλληλων επικυκλικών μεταδόσεων, των οποίων οι σπειράνες (34, 40) φέρουν, αντιστοίχως, από ένα ρότορα (26, 42). Ο πρώτος ρότορας ανήκει στον ηλεκτροκινητήρα χαμηλής ταχύτητας, ενώ ο δεύτερος στον ηλεκτροκινητήρα/γεννήτρια υψηλής ταχύτητας. Η μηχανική ισχύς του κινητήρα έρχεται από την τροχαλία (10) και εισάγεται στο πρώτο ηλεκτρικό σύστημα μέσω του φορέα (16) των πτερυγίων (20).

Η λειτουργία του SuperGen3 βασίζεται στο ότι ο κινητήρας 'εισάγει' στο σύστημα μια γωνιακή ταχύτητα η οποία 'πολλαπλασιάζεται' (μέσω του επικυκλικού) από την περιστροφή της πρώτης ηλεκτρικής μονάδας (γεννήτρια χαμηλής ταχύτητας) και στη συνέχεια, η αυξημένη αυτή ταχύτητα ξαναπολλαπλασιάζεται (πάλι μέσω του επικυκλικού) από την περιστροφή της δεύτερης μονάδας (ηλεκτροκινητήρας υψηλής ταχύτητας), για να καταλήξει στη φτερωτή. Το μέγεθος αυτού του ενδιάμεσου πολλαπλασιασμού είναι απόλυτα ελεγχόμενο ώστε, ανά πάσα στιγμή, η ταχύτητα της φτερωτής να έχει το επιθυμητό μέγεθος, ανεξάρτητα από τη συχνότητα περιστροφής του θερμικού κινητήρα.

Η δομή του Supergen, στη σημερινή, 3η γενιά της εξέλιξής του.



1. Τροχαλία
2. Ρότορας ηλεκτροκινητήρα χαμηλής ταχύτητας
3. Στάτης ηλεκτροκινητήρα χαμηλής ταχύτητας
4. Επικυκλική μετάδοση
5. Ρότορας ηλεκτροκινητήρα υψηλής ταχύτητας
6. Στάτης ηλεκτροκινητήρα υψηλής ταχύτητας
7. Φτερωτή
8. Έξοδος αέρα
9. Αυλοί ψυκτικού (συνδεδεμένοι με το σύστημα ψύξης του κινητήρα)
10. Μηρακέτο στήριξης στη θέση της συμβατικής ηλεκτρογεννήτριας

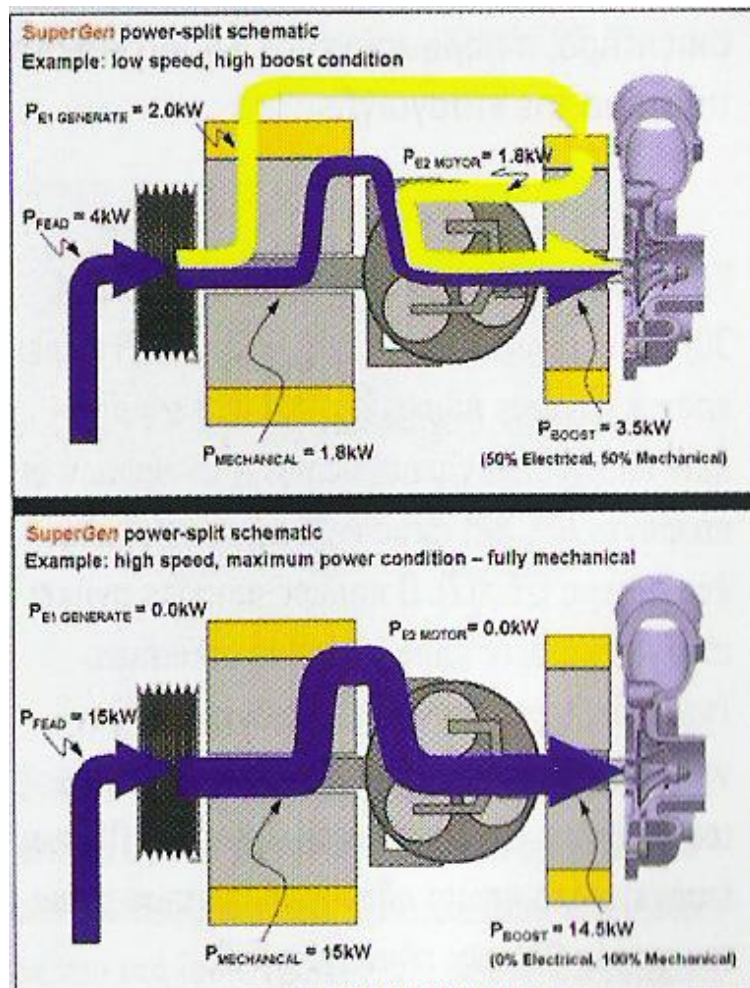
Σημειώνεται ότι κατά την φάση της επιτάχυνσης, η ηλεκτρογεννήτρια είναι αυτή που τροφοδοτεί με ρεύμα τον ηλεκτροκινητήρα, ώστε να μην χρειάζεται η παρέμβαση της μπαταρίας του αυτοκινήτου.

Αυτό που συμβαίνει στην πράξη είναι ότι όσο ανεβαίνουν οι στροφές του θερμικού κινητήρα (καθώς το όχημα επιταχύνει), η συχνότητα περιστροφής της φτερωτής μπορεί είτε να παραμείνει σταθερή είτε να συνεχίσει να αυξάνεται (με διαφορετικό ρυθμό από αυτόν του κινητήρα) ή, ακόμα, να αρχίσει και να μειώνεται, αν οι στροφές ανέβουν ψηλά και ο οδηγός πάψει να πατάει το γκάζι μέχρι το τέρμα.

Ο έλεγχος της ταχύτητας της φτερωτής γίνεται μέσω του ταυτόχρονου ελέγχου του ρεύματος που παράγει η ηλεκτρογεννήτρια χαμηλής ταχύτητας και του ποσοστού αυτού του ρεύματος που αποδίδεται στον ηλεκτροκινητήρα υψηλής ταχύτητας. Ταυτόχρονα, η ελεγχόμενη αντίσταση που προβάλλει η γεννήτρια στο επικυκλικό σύστημα αξιοποιείται (σε συνδυασμό με την 'ώθηση' από τον ηλεκτροκινητήρα) προκειμένου να επιτευχθεί ο εκάστοτε επιθυμητός πολλαπλασιασμός στροφών και μέσω αυτού η επιθυμητή ταχύτητα φτερωτής. Η αύξηση της γωνιακής ταχύτητας είναι απίστευτα υψηλή, χωρίς να χρειάζονται γρανάζια εξειδικευμένης κοπής για την διαχείριση της. Δεδομένου ότι όλα τα μέρη κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, οι σχετικές ταχύτητες μεταξύ των συνεργαζόμενων οδοντώσεων παραμένουν σε αποδεκτά μεγέθη, έτσι ώστε, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερα εξωτικά υλικά για την κατασκευή του, το SuperGen να καταφέρνει να περιστρέφει την φτερωτή του πολύ πάνω από τις 200.000 rpm. Ως αναφορά για το μέγεθος του ηλεκτροκινητήρα υψηλής ταχύτητας, δεδομένου ότι η λειτουργία του χαρακτηρίζεται από μια εξαιρετικά υψηλή γωνιακή ταχύτητα του ρότορα ως προς τον στάτη, η διαχείριση της ισχύος δεν απαιτεί, για να επιτευχθεί, μεγάλου μεγέθους στάτη ή ρότορα.

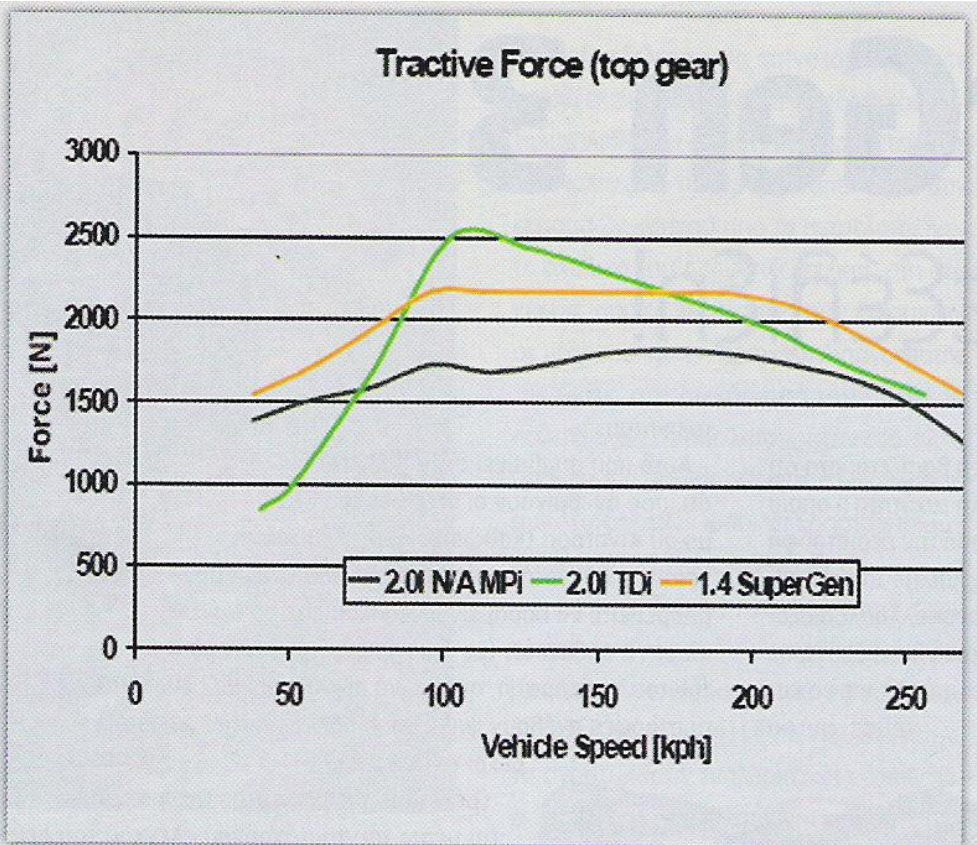
§5.5 Οι δυο ακραίες φάσεις της λειτουργίας του SuperGen

Στο πρώτο σχήμα, η φάση της επιτάχυνσης του οχήματος από χαμηλές, αρχικά, στροφές του κινητήρα. Το SuperGen καταναλώνει, συνολικά, 4 KW μηχανικής ισχύος. Από αυτά, τα 2 KW απορροφώνται από τη γεννήτρια χαμηλής ταχύτητας, η οποία τα μετατρέπει σε ρεύμα με βαθμό απόδοσης 90%. Στη συνέχεια, το ρεύμα αυτό διοχετεύεται στον ηλεκτροκινητήρα υψηλής ταχύτητας, όπου μετατρέπονται και πάλι σε μηχανική ισχύ ύψους 1.75 KW (βαθμός απόδοσης 97%). Τα υπόλοιπα 2 KW μηχανικής ισχύος διέρχονται από τις βαθμίδες του επικυκλικού συστήματος όπου, λόγω των τριβών στα γρανάζια, καταναλίσκονται 0.25 KW (βαθμός απόδοσης 87.5%) και καταλήγουν στον άξονα της φτερωτής. Εκεί, προστίθενται στα 1.75 KW του ηλεκτροκινητήρα έτσι ώστε, τελικά, η φτερωτή να τροφοδοτείται με μηχανική ισχύ 3.5 KW. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης αυτού του 'power-split' είναι 87.5% (=3.5/4).

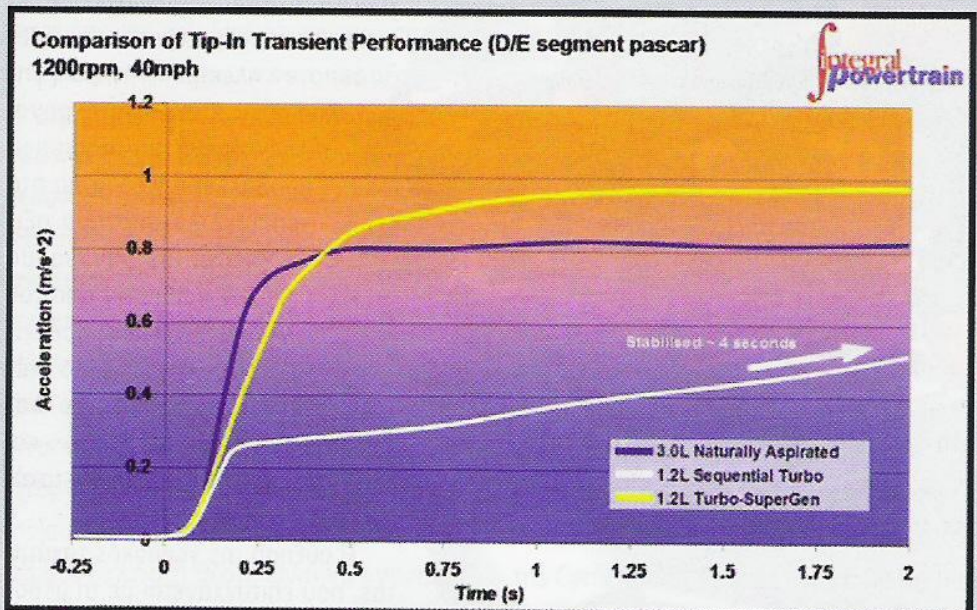


Στο δεύτερο σχήμα, το SuperGen κατά την φάση εκείνη όπου ο θερμικός κινητήρας λειτουργεί, με πλήρες φορτίο, στις στροφές απόδοσης της μέγιστης ισχύος του. Οι δύο ηλεκτρικές μονάδες αδρανοποιούνται και ολόκληρη η μηχανική ισχύς του κινητήρα (15 KW) κατευθύνεται, μέσω της επικυκλικής μετάδοσης, στη φτερωτή. Η ισχύς με την οποία τροφοδοτείται το SuperGen είναι 15 KW και αυτή που αποδίδεται στον άξονα της φτερωτής είναι 14.5 KW. Ο βαθμός απόδοσης του επικυκλικού συστήματος ξεπερνά το 96% καθώς όσο ανεβαίνουν οι στροφές του κινητήρα, η σχέση πολλαπλασιασμού γίνεται ολοένα και μικρότερη.

Συγκριτικά διαγράμματα της ελκτικής δύναμης που αναπτύσσεται, σε όλο το φάσμα της ταχύτητας, για τρία αυτοκίνητα που κινούνται με την τελευταία ταχύτητα στο κιβώτιο: ένα 2-λίτρο «ατμοσφαιρικό» βενζινοκίνητο (μαύρη γραμμή), ένα 2-λίτρο turbodiesel (πράσινη γραμμή) και ένα βενζινοκίνητο 1,4 λίτρων με Supergen (κόκκινη γραμμή). Σε κάτι τέτοια αποτελέσματα προσομοίωσης είναι που βασίζεται η θεωρία της Integral Powertrain ότι, τελικά, δεν χρειάζομαστε τόσο μεγάλους κινητήρες για να έχουμε ικανοποιητική απόδοση στο δρόμο...

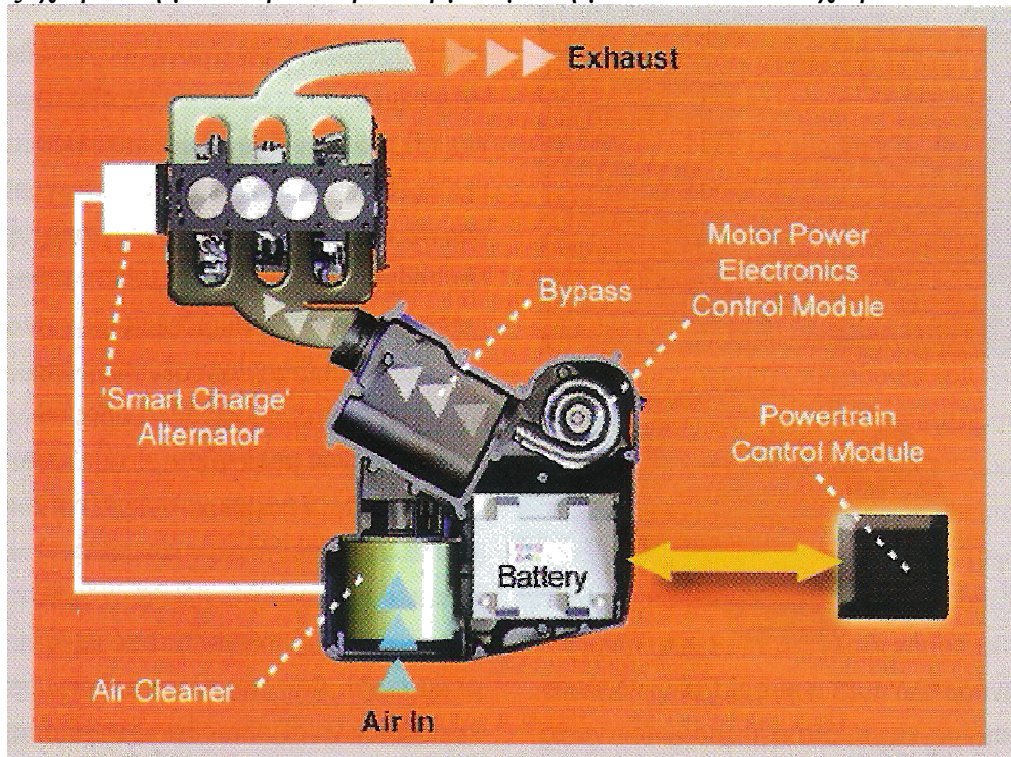


Η ανάπτυξη της επιτάχυνσης, με την τελευταία ταχύτητα στο κιβώτιο, από αρχική ταχύτητα 64 χ.α.ω. για τρία βενζινοκίνητα οχήματα: ένα 3-λίτρο ατμοσφαιρικό (μπλε γραμμή) και δύο υπερτροφοδοτούμενα 1,2 λίτρων, εκ των οποίων το πρώτο έχει δύο «διαδοχικούς» (μικρό-μεγάλο) στροβιλοσυμπιεστές (λευκή γραμμή), ενώ το άλλο ένα Supergen που τροφοδοτεί έναν στροβιλοσυμπιεστή (κίτρινη γραμμή). Η αρχική υπεροχή του ατμοσφαιρικού κινητήρα οφείλεται στο στιγμιαίο "lag" που εμφανίζουν οι στροβιλοσυμπιεστές, στα δύο υπερτροφοδοτούμενα. Από εκεί και πέρα, αυτό που είναι εφοδιασμένο με το Supergen «παίρνει κεφάλι».



§5.6 VTES και eBooster

Μερικές πιο πρόσφατες έρευνες πάνω στην τεχνολογία του Turboac πραγματοποιήθηκαν από τις εταιρείες Visteon και BorgWarner (BW). Η πρώτη, με την ονομασία VTES (Visteon Torque Enhancement System), προωθεί μια ολοκληρωμένη λύση, ενσωματωμένη μέσα στην εισαγωγή του φίλτρου αέρα. Χαρακτηριστικό του συστήματος VTES είναι ότι η τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα, στα σύντομα διαστήματα ενεργοποίησής του, γίνεται από ξεχωριστή μπαταρία, προσαρμοσμένη μέσα στον ίδιο χώρο.



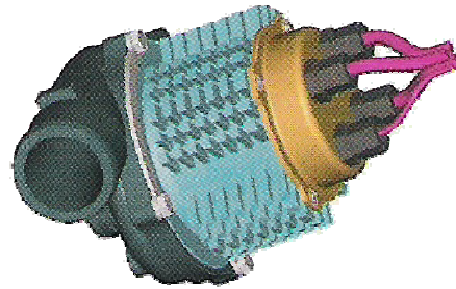
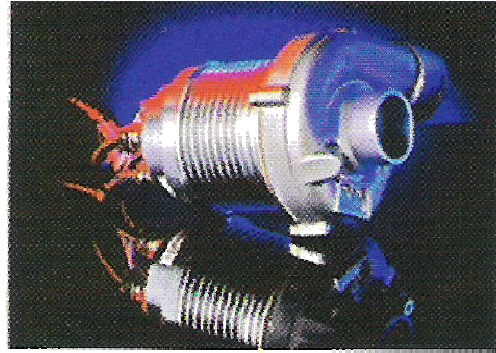
Η σύνθετη λύση VTES της Visteon περιλαμβάνει ένα "Turboac" ενσωματωμένο στο φίλτρο αέρα, τροφοδοτούμενο από αυτόνομη μπαταρία.

Με τον τρόπο αυτό, τα μεγάλα ποσά ρεύματος που καταναλώνει ο ηλεκτροκινητήρας ακολουθούν μια ελαχιστοποιημένη διαδρομή, ενώ αντίθετα το ρεύμα που έρχεται από το ηλεκτρικό κύκλωμα του αυτοκινήτου προς την συγκεκριμένη μπαταρία δεν είναι υψηλότερης έντασης από αυτό του 'ρεύματος φόρτισης'.

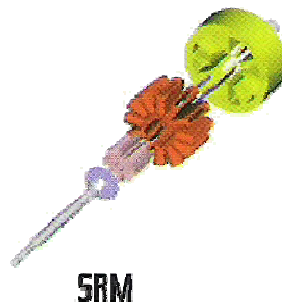
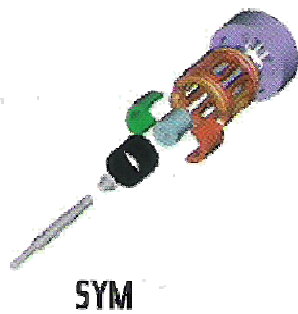
Αντίθετα, η BW ετοιμάζει μια μονάδα με την ονομασία eBooster, στην οποία περιλαμβάνεται μεν η ψηφιακή μονάδα ελέγχου του, αλλά από την άλλη, αφήνεται στην κρίση του εργοστασίου ο τρόπος τροφοδότησης του με ρεύμα.



Προκαταρκτικές εμπορικές μορφές του eBooster, το οποίο όμως, κατά τα φαινόμενα, θα αργήσει κάμποσο καιρό ακόμα μέχρι να μπει στην παραγωγή.



Κατά την BW, οι λύσεις τύπου eBooster θα έχουν μεγάλη απήχηση στο μέλλον στα υβριδικά αυτοκίνητα.



Οι εναλλακτικοί κινητήρες που, υποθετικά, θα μπορούσαν να κινούν το eBooster της BW. Το τελικό κριτήριο επιλογής, πριν από την έναρξη παραγωγής, θα είναι, βέβαια, η σχέση τιμής-απόδοσης, αλλά και τα «σπάνια βοήθια» που θα έχει καθιερωθεί, μέχρι τότε, στα αυτοκίνητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

§6.1 Υβριδικά συστήματα

Υβριδικοί στροβιλοσυμπιεστές είναι ο συνδυασμός μικρής διαμέτρου στροβίλου με μεγάλης διαμέτρου συμπιεστή ώστε να επιτύχουμε υψηλή παροχή και πίεση υπερπλήρωσης σε σχετικά μικρού κυβισμού κινητήρες. Η επιλογή ενός τέτοιου στροβιλοσυμπιεστή δεν προτιμάται όταν σε κανονικές συνθήκες, δηλαδή όταν η πίεση υπερπλήρωσης δεν ξεπερνά το 1,5 bar (απόλυτη πίεση 2,5bar) και δεν αναμένουμε πάνω από 140 – 150% αύξηση της εργοστασιακής ισχύος ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα, δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιήσει κανείς ένα υβριδικό στροβιλοσυμπιεστή.

Αντιθέτως αυτόν τον συνδυασμό τον επιλέγουμε όταν από μικρού κυβισμού κινητήρες επιθυμούμε ιπποδυνάμεις της τάξεως των 200 Ps / It και άνω, παίρνοντας την μέγιστη παραγόμενη ισχύ όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε χαμηλές στροφές. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι εφικτό γιατί στις χαμηλές στροφές δεν έχουμε την επαρκή παραγωγή καυσαερίων, τα οποία θα καταφέρουν να περιστρέψουν τον κανονικό στρόβιλο σε επαρκής ρυθμούς περιστροφής. Γι' αυτό καταφεύγουμε στον συνδυασμό μικρού στροβίλου και μεγάλου συμπιεστή ώστε η αδράνεια του στροφείου να είναι μικρή, το κέλυφος εξαγωγής να είναι σχετικά στενό ώστε να διατηρείται υψηλή η πίεση των καυσαερίων στο εσωτερικό του, ενώ απ' την άλλη μεριά ο (δυσανάλογα μεγάλος για το δεδομένο κυβισμό) συμπιεστής να μπορεί να περιστρέφεται αρκετά γρήγορα ώστε να εξασφαλίζει υψηλά επίπεδα ροής και απόδοσης.

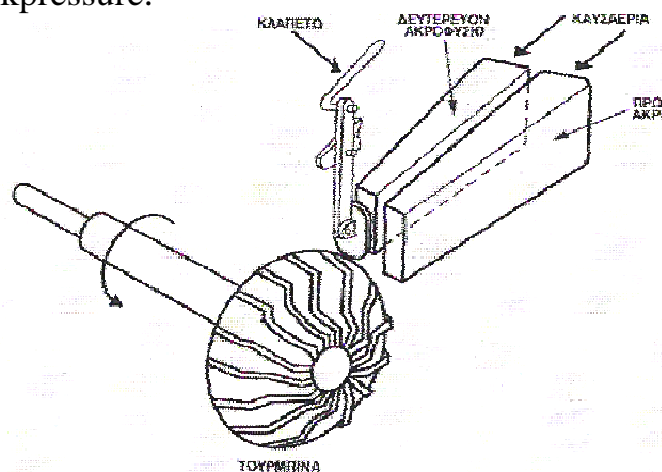
§6.2 Επιλογή μεγέθους στροβιλοσυμπιεστή

Σημαντικό ρόλο παίζει η σωστή επιλογή του μεγέθους του στροβιλοσυμπιεστή για την κάλυψη των απαιτήσεων μας. Εάν επιλέξουμε έναν μικρού μεγέθους και λειτουργώντας τον σε υψηλούς λόγους πίεσης ούτως ώστε να καλύψουμε τις απαιτήσεις μας, τότε αυτός θα ξεπεράσει την παροχή και την πίεση για την οποία έχει αρχικά σχεδιαστεί με αποτέλεσμα να πέσει σε περιοχή χαμηλής απόδοσης. Οι συνέπειες θα είναι να ζεσταίνει υπερβολικά τον αέρα εισαγωγής (παρουσιάζοντας ανεπιθύμητα αποτελέσματα και την ανάγκη χρησιμοποίησης μεγαλύτερου και υψηλής αποδοτικότητας intercooler) και επίσης θα ρίχνει το λόγο πυκνότητας του συμπιεσμένου αέρα σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Προς αποφυγή των παραπάνω χρησιμοποιούμε μεγαλύτερου μεγέθους στροβιλοσυμπιεστή στον ίδιο κινητήρα και με τον ίδιο λόγο πίεσης. Επιπλέον ο μεγαλύτερος στροβιλοσυμπιεστής παρέχει περισσότερο αέρα στον ίδιο λόγο πίεσης, ανεβάζοντας την συνολική πίεση στην εισαγωγή του κινητήρα. Με τον όρο 'πίεση' αναφερόμαστε στη στατική πίεση που επικρατεί στην εισαγωγή του κινητήρα, δηλαδή την πίεση που ασκείται στα τοιχώματά της (της οποίας την ένδειξη έχουμε στα όργανα μέτρησης). Ωστόσο υπάρχει και μια άλλη πίεση πέραν της στατικής η οποία ονομάζεται δυναμική. Αυτή είναι συνάρτηση της ορμής του αέρα, δηλαδή της μάζας επί την ταχύτητα του. Η ολική πίεση (το

άθροισμα στατικής και δυναμικής) είναι ο βασικός λόγος της αύξησης της ισχύος σε έναν υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα. Η ολική πίεση σε δεδομένο λόγο πίεσης (στατικής) είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του στροβιλοσυμπιεστή.

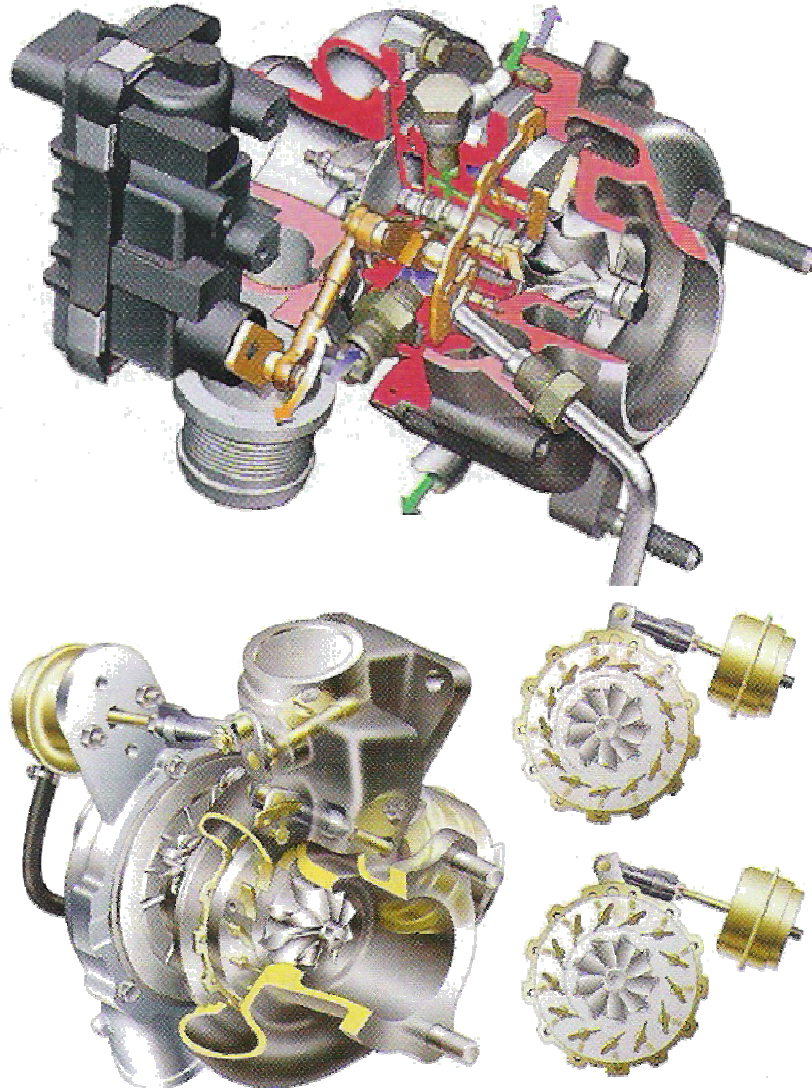
§6.3 Διατάξεις VATN, VNT, VG

Οι τρεις αυτές διατάξεις έχουν ως βασικό σκοπό την επίτευξη μεταβλητού λόγου A/R του στροβιλοσυμπιεστή, για τον ίδιο λόγο πίεσης. Έτσι επιτυγχάνουμε υψηλές αποδόσεις για όλο το εύρος στροφών του κινητήρα. Τα αρχικά VATN σημαίνουν Variable Area Turbine Nozzle και κατασκευάστηκε από την αμερικανική εταιρεία Aerodyne. Είναι ένας πρωτοποριακός αυτολιπαινόμενος (με λάδι για αεροπορικές τουρμπίνες) με ένσφαιρους τριβείς στροβιλοσυμπιεστής (Aerocharger), ο οποίος περιμετρικά του στροβίλου έχει έναν δακτύλιο με πτερύγια. Ένας ρυθμιστής (σαν wastegate) ανοιγοκλείνει τα πτερύγια, αυξομειώνοντας τον λόγο A/R στη εξαγωγή. Ο μεγάλος λόγος A/R ανεβάζει την ισχύ στον άξονα του Aerocharger, μειώνοντας παράλληλα το backpressure.

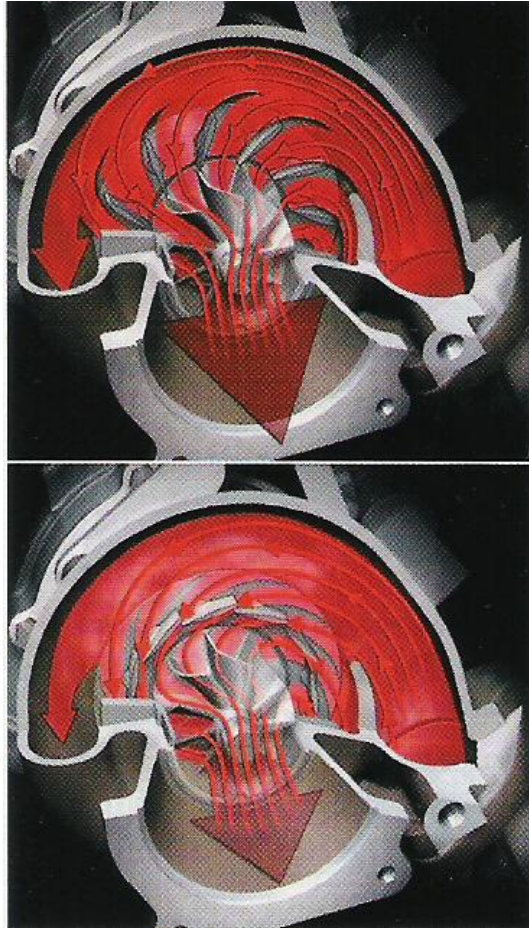


**Αρχή λειτουργίας μαντεμιού με μεταβλητό A/R.
Το κλαπέτο ανοίγει το δευτερεύον ακροφύσιο στις
υψηλές στροφές και το κλείνει για ταχύτερη
απόκριση στις χαμηλές**

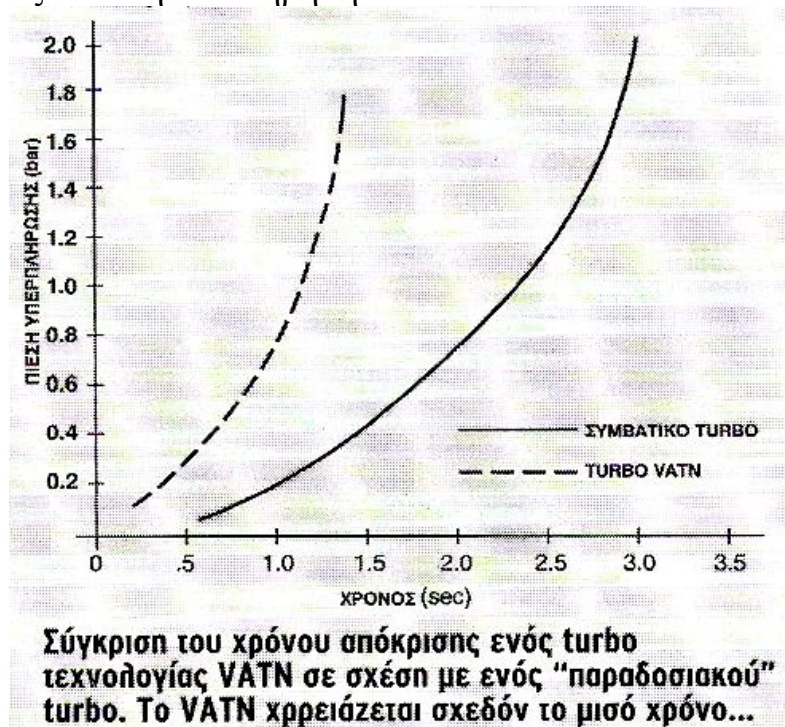
Ο ρυθμιστής αντιλαμβάνεται ακαριαία τότε θέλουμε άμεση απόκριση (μέγιστο φορτίο) και κλείνει τα πτερύγια για αστραπιαία αύξηση της περιστροφικής ταχύτητας του στροβίλου και του λόγου πίεσης. Μόλις η ταχύτητα του κινητήρα ή η πίεση του αέρα σταθεροποιηθεί, τα πτερύγια ανοίγουν σταδιακά, μειώνοντας την αντίσταση των καυσαερίων ενώ παράλληλα διατηρείται σε υψηλά επίπεδα η ισχύς του κινητήρα, η παροχή και η απόδοση του στροβιλοσυμπιεστή.



Το ίδιο προσπάθησαν να επιτύχουν και οι εταιρείες Garrett και KKK με το μεταβλητό ακροφύσιο (Variable Nozzle Turbo - VNT) και τη μεταβλητή γεωμετρία (Variable Geometry - VG) αντίστοιχα. Αυτοί οι στροβιλοσυμπιεστές βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας, με πτερύγια που ανοιγοκλείνουν περιμετρικά της φτερωτής εξαγωγής ή με ένα διπλό ακροφύσιο εκτόνωσης στο κέλυφος εξαγωγής και ένα κλαπέτο που να ανοίγει το δεύτερο ακροφύσιο στις ίδιες συνθήκες που ανοίγουν και τα πτερύγια του Aerocharger.



Ωστόσο, αυτά τα συστήματα είναι ακόμα ευπαθή στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εξαγωγή των βενζινοκινητήρων, λειτουργούν σε σχετικά μικρούς λόγους πίεσης (το πολύ μέχρι 2,2 έως 2,5) και είναι ακριβά στην αγορά τους και στην συντήρηση



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη Βιβλιογραφία

- [1]. Fluid Mechanics & Thermodynamics of Turbomachinery, by Dixon S. L.
- [2]. Turbo and Supercharging, by Alan Allard
- [3]. The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice (vol I & II), by C. F. Taylor
- [4]. Internal Combustion Engine Fundamentals, by J. B. Heywood
- [5]. Supercharging of Internal Combustion Engines, by K. Zinner
- [6]. Turbocharging the Internal Combustion Engine, by N. Watson and M. S. Janota
- [7]. Introduction to Internal Combustion Engines(3rd edition), by C. R. Stone
- [8]. Combustion Systems of High-Speed Piston I.C. Engines, by A. Kowalevicz
- [9]. Internal Combustion Engines, by V. L. Maleev
- [10]. Internal Combustion Engines, by R. S. Benson and N. D. Whitehouse
- [11]. Internal Combustion Engines, by C. R. Ferguson
- [12]. Internal Combustion Engines and Air Pollution, by E. F. Obert
- [13]. Diesel Engine Reference Book, by L. R. C. Lilly
- [14]. Automobiles and Pollution, Paul Degobert (French)
- [15]. The Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal Combustion Engines vol I & II, by J. H. Horlock and D. E. Winterbone
- [16]. Combustion and Mass Transfer, by D. Brian Spalding
- [17]. The motor vehicle, by Newton K. & Garret T. K.
- [18]. Fundamentals of Turbocharging, by Nicholas C. Baines
- [19]. Turbochargers and Turbocharging (ImechE Event Publication), by IMechE (Institution of Mechanical Engineers)

Ελληνική Βιβλιογραφία

- [1]. Μ.Ε.Κ. – Τεχνολογία Αυτοκινήτου 1(3^η έκδοση), Max Bohner
- [2]. Μ.Ε.Κ. II, Θ. Παπαθεοδοσίου
- [3]. Μ.Ε.Κ., Βουσούρας
- [4]. Θερμοδυναμική Μ.Ε.Κ., Πράπας Δημήτρης
- [5]. Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, Μαυρίδης Κων/νος
- [6]. Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως I και II, Χασιώτης Περικλής Γ.
- [7]. Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως I, Bohner Max, Gscheidle Rolf, κ.ά

- [8]. Εισαγωγή στους Πετρελαιοκινητήρες αυτοκινήτων, Ralbovsky Edward
- [9]. Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Κ. Δ. Ρακόπουλος Ε.Μ.Π.
- [10]. Αρχές Βιομηχανικών Αεριοστροβίλων, Κ. Δ. Ρακόπουλος
- [11]. Μ.Ε.Κ. ΙΙ- Εμβάθυνση στην Κατασκευή και Λειτουργία, Κ. Δ. Ρακόπουλος
- [12]. Καύση – Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Κ. Δ. Ρακόπουλος και Δ. Θ. Χουντάλας

Περιοδικά

- [1]. Επιστημονικό περιοδικό R&D (research & development), (διάφορα τεύχη)
- [2]. Περιοδικό Power Techniques, (διάφορα τεύχη)
- [3]. Περιοδικό Automotive Engineering Journal της SAE International (διάφορα τεύχη)

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

- [1]. www.howstuffworks.com
- [2]. www.nasa.gov
- [3]. www.wikipedia.com
- [4]. www.memagazine.asme.org
- [5]. www.turbomagazine.com
- [6]. www.honeywell.com
- [7]. www.turbobygarrett.com
- [8]. [www. Borgwarner.com](http://www.Borgwarner.com)
- [9]. www.abb.com
- [10]. www.manbw.com
- [11]. www.jacksonracing.com