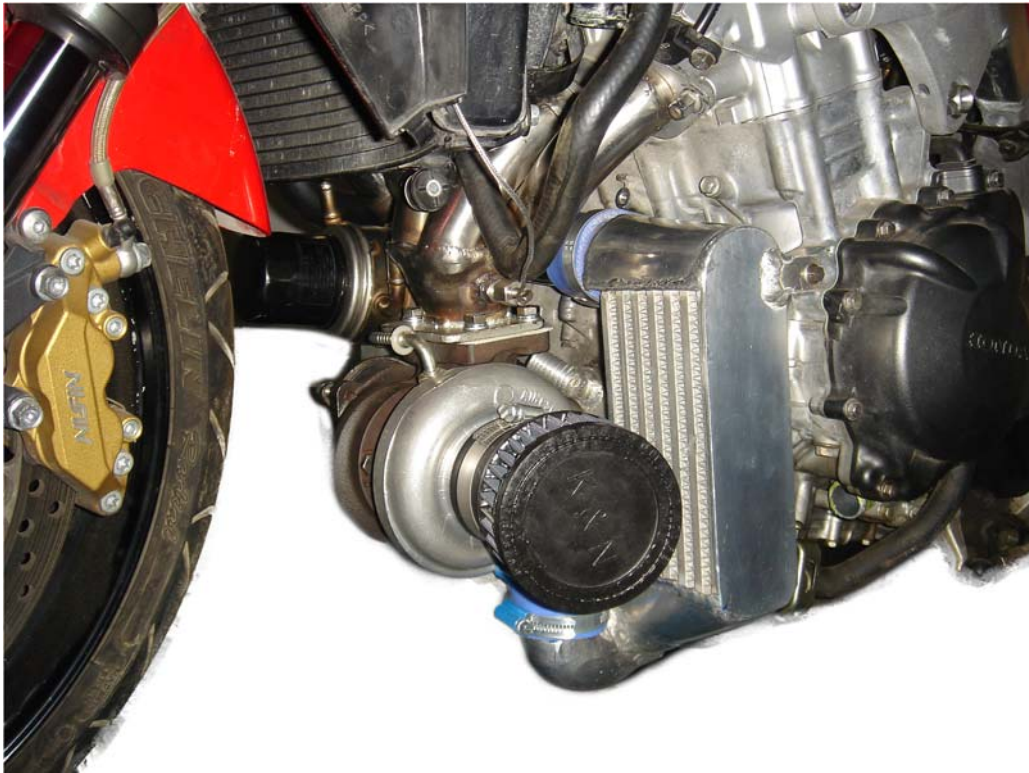


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΙΤ ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (Α.Μ. 4882)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2014

Πρόλογος

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Καμπουρίδη τόσο για την ανάθεση του θέματος όσο και για την πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας αυτής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου κ. Κωνσταντίνο Σοφιανόπουλο, ο οποίος μου παραχώρησε τον χώρο του καταστήματός του, τα εργαλεία του καθώς και την πολύτιμη βοήθεια του για να επιτευχθούν οι απαραίτητες κατασκευές.

Αυτή η πτυχιακή εργασία αποτελεί επιστέγασμα των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολογίας του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πατρών, οι οποίες μου έδωσαν το έναυσμα ώστε να ασχοληθώ περαιτέρω με την μελέτη των μηχανών εσωτερικής καύσης και πιο συγκεκριμένα των υπερτροφοδοτούμενων κινητήρων. Πιο αναλυτικά, πραγματεύεται την κατασκευή και παρουσίαση kit υπερτροφοδότησης για αύξηση ισχύος κινητήρα μοτοσυκλέτας. Το θέμα αυτό μου τράβηξε το ενδιαφέρον από τα σχετικά μαθήματα που διδάχτηκα κατά την διάρκεια της φοίτησής μου στο τμήμα αυτό, σε συνδυασμό με την εργασιακή μου εμπειρία στο συνεργείο μοτοσυκλετών του πατέρα μου.

Σοφιανόπουλος Δημήτριος
Μάιος 2014

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:

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

Ο σπουδαστής

Σοφιανόπουλος Δημήτριος

.....

Περίληψη

Στην εργασία αυτή θα παρουσιάσουμε την κατασκευή ενός κιτ υπερτροφοδότησης για αύξηση ισχύος κινητήρα μοτοσυκλέτας. Η παρουσίαση αυτή θα γίνει μέσα από σύντομη θεωρητική ανάλυση, ανάπτυξη μαθηματικών υπολογισμών (όπου χρειάζονται), φωτογραφικό υλικό της κατασκευής καθώς και τα μηχανολογικά τους σχέδια. Σκοπός της πτυχιακής είναι η ανάδειξη του τρόπου με τον οποίο γίνεται η κατασκευή αυτή και η παρουσίαση των διάφορων κατασκευαστικών λεπτομερειών.

Εισαγωγικά αναφέρω την επιθυμία του ανθρώπου για συνεχή βελτίωση της ισχύος των κινητήρων, ήδη από την στιγμή που κατασκεύασε τον πρώτο κινητήρα. Στη συνέχεια παραθέτω τον ορισμό της συντομογραφίας των M.E.K. (μηχανών εσωτερικής καύσης) και περνάω στην ιστορία τους που ξεκινά με τις πρώτες προσπάθειες ήδη από τον 17^ο αιώνα. Σχεδόν ταυτόχρονη είναι η ιστορία του υπερσυμπιεστή καυσαερίων, στην οποία κάνω μία σύντομη αναφορά.

Η ιστορία του υπερσυμπιεστή καυσαερίων για τις μοτοσυκλέτες είναι (αν και μικρή σε σχέση με τις εφαρμογές στα αυτοκίνητα) σημαντική, ξεκινώντας τη δεκαετία του 1970 και τελειώνοντας τη δεκαετία του 1980 με αρκετά μικρό αριθμό εφαρμογών, μέχρι σήμερα, που παρουσιάζεται σαν ιδέα στροφής από τις κατασκευάστριες εταιρείες (πάλι η αρχή έγινε από τις εταιρείες κατασκευής αυτοκινήτων).

Για την καλύτερη κατανόηση της αύξησης ισχύος εξηγούνται οι έννοιες της απόδοσης και των διάφορων παραλλαγών αυτής, ενώ παρουσιάζεται τελικό το όφελος του κινητήρα από το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ύστερα περνάμε στην ταξινόμηση των M.E.K. για να κατηγοριοποιήσουμε τον κινητήρα της επιλογής μας ως εμβολοφόρο – παλινδρομικό με τη βοήθεια εξωτερικού μέσου. Αναφέρεται η αρχή λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα (κινητήρας της επιλογής μας) με τους χρόνους λειτουργίας του και η εξήγηση των άνω και κάτω νεκρών σημείων.

Στην αναζήτηση μέσου για την αύξηση της ισχύος του κινητήρα κατέληξα στην χρήση υπερτροφοδότησης και αναφέρομαι στις διάφορες μεθόδους επιγραμμικά, από τις οποίες ξεχωρίζουν ο υπερσυμπιεστής καυσαερίων και ο υπερσυμπιεστής κινούμενος από την στροφαλοφόρο άτρακτο (μηχανικός υπερσυμπιεστής) και αναφέρομαι στις μεταξύ τους διαφορές.

Ύστερα γίνεται αναφορά στη μειωμένη επίδραση της υπερτροφοδότησης στις εκπομπές καυσαερίων και για τον λόγο αυτό προτιμάται ως μέθοδος μείωσης του μεγέθους του κινητήρα (downsizing). Για όλες τις μεθόδους υπάρχουν θετικά αλλά και αρνητικά, έτσι και για την υπερτροφοδότηση καυσαερίων, με σημαντικότερο το φαινόμενο της υστέρησης της απόκρισης (turblag), το οποίο και αναλύω.

Κατόπιν, παρουσιάζω μεθόδους βελτίωσης της επιτάχυνσης των κινητήρων με υπερσυμπιεστή καυσαερίων με πιο διαδεδομένο αυτόν της χρήσης του συμπληρωματικού συμπιεστή καυσαερίων ή μηχανικού. Μεγάλο πρόβλημα αποτελεί η κρουστική καύση και παρουσιάζω μεθόδους για την αποφυγή της. Αναφέρομαι στην ανατομία και στους τύπους του υπερσυμπιεστή καθώς και στον τρόπο λειτουργίας του, αλλά και στη σχέση του μεγέθους του με τον χρόνο απόκρισης.

Για την λίπανση του υπερσυμπιεστή χρησιμοποιείται λάδι του κινητήρα και στην επιστροφή του έχουμε εγκαταστήσει μία αντλία λόγω της θέσης του

υπερσυμπιεστή που βρίσκεται χαμηλότερα της στάθμης του λαδιού του κινητήρα και δεν είναι εφικτή η φυσική επιστροφή.

Με σύντομη παρουσίαση της μοτοσυκλέτας περνάμε στην αναζήτηση του κατάλληλου υπερσυμπιεστή για τον κινητήρα μας βάση των επιμέρους χαρακτηριστικών του με γνώμονα την σωστή αλληλεπίδραση των δύο. Αφού κατέληξα στον υπερσυμπιεστή παραθέτω την ενδιάμεση ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης σε σχέση με τα οφέλη στις επιδόσεις του κινητήρα και την σωστή διαστασιολόγηση του πυρήνα με σκοπό όσο το δυνατόν μικρότερη υστέρηση απόκρισης και βέλτιστη ψύξη.

Γίνεται παρουσίαση της λειτουργίας της βαλβίδας ανακούφισης συμπιεσμένου αέρα και εκτόνωσης καυσαερίων και αιτιολόγηση των επιλογών μου. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην πολλαπλή εισαγωγή και εξαγωγή ως προς την κατασκευή τους, υλικά διαστάσεις και τις επιμέρους κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Επίσης αναφέρομαι στην ανάγκη χρήσης φίλτρου αέρος αλλά και στις ιδιαιτερότητες του χώρου εγκατάστασης που περιορίζουν τις επιλογές μου. Για τους ίδιους λόγους κρίθηκαν απαραίτητες κάποιες βοηθητικές κατασκευές, όπως οι φλάντζες για την μετατόπιση του φίλτρου λαδιού.

Για την σωστή λειτουργία και του κινητήρα έγιναν παρεμβάσεις στο υποσύστημα τροφοδοσίας καυσίμου και ανάφλεξης. Τελευταία των εγκαταστάσεων μα εξίσου σημαντικά είναι τα όργανα ελέγχου και σωστής λειτουργίας όλων των συνεργαζόμενων εξαρτημάτων.

Έπειτα γίνεται αναφορά στη μηχανική και θερμική φόρτιση του κινητήρα με την οποία επιβαρύνεται από την υπερπλήρωση σε σχέση με τον βαθμό συμπίεσης και το καύσιμο λειτουργίας του. Τελικό οπτικό αποτέλεσμα του εγκατεστημένου πλέον συνόλου ανταλλακτικών και κατασκευών καθώς και σύγκριση του επιθυμητού θεωρητικού αποτελέσματος ισχύος με το πραγματικό.

Η παρούσα πτυχιακή παρουσιάζει και εξηγεί αναλυτικά την κατασκευή ενός kit υπερτροφοδότησης για αύξηση ισχύος κινητήρα μοτοσυκλέτας που ήρθε εις πέρας με πλήρη επιτυχία με σημαντική αύξηση ισχύος της τάξεως του 53% της εργοστασιακής και η χρησιμότητά της είναι να γίνει γνώμονας για οποιονδήποτε θελήσει να κατασκευάσει ένα kit για μια τετράχρονη εμβολοφόρα μηχανή εσωτερικής καύσης.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	i
Περίληψη.....	ii
Συμβολισμοί και συντομογραφίες.....	vii
Εισαγωγή	1
Ορισμός Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.....	1
Η ιστορία των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.....	2
Η ιστορία του υπερσυμπιεστή καυσαερίων	5
Η ιστορία του υπερσυμπιεστή καυσαερίων στις μοτοσυκλές.....	6
Κάποιες βασικές έννοιες	7
Ταξινόμηση των μηχανών εσωτερικής καύσης.....	9
Αρχή λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα.....	9
Τρόποι αύξησης ισχύος Μ.Ε.Κ.....	12
Η υπερτροφοδότηση ως μέσο αύξησης της απόδοσης.....	13
Μέθοδοι υπερτροφοδότησης.....	13
Διαφορές στη λειτουργία μεταξύ κινητήρα με υπερσυμπιεστή καυσαερίων και με υπερσυμπιεστή κινούμενο από τη στροφαλοφόρο άτρακτο (μηχανικό υπερσυμπιεστή).....	14
Η επίδραση της υπερτροφοδότησης στις εκπομπές καυσαερίων	14
Εκπομπές ρύπων και ανάλυση του φαινομένου της μείωσης του μεγέθους του κινητήρα (downsizing)	15
Σκοπός της υπερτροφοδότησης	16
Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υπερτροφοδότησης.....	17
Υστέρηση υπερπλήρωσης (turbolag).....	17
Μέθοδοι βελτίωσης της επιτάχυνσης των κινητήρων με υπερσυμπιεστή καυσαερίων.....	19
Αρχή λειτουργίας υπερσυμπιεστή καυσαερίων	20
Τύποι υπερσυμπιεστών	23
Κρουστική Καύση (πειράκια) σε ένα κινητήρα Otto	24
Βασικά μέρη των υπερσυμπιεστών.....	25
Συμπιεστής.....	25
Ανάλυση του φυγοκεντρικού συμπιεστή.....	26
Στρόβιλος.....	27
Ακτινικός στρόβιλος.....	27
Έδρανα ολίσθησης	27
Διάταξη εδράνων ολίσθησης.....	27
Εσωτερικά έδρανα.....	28

Είδη εδράνων.....	28
Σύστημα λίπανσης εδράνων.....	29
Η μοτοσυκλέτα	31
Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά.....	31
Αιτιολόγηση της επιλογής.....	33
Εισαγωγικά στοιχεία για την αλληλεπίδραση μεταξύ κινητήρα και υπερπληρωτή.....	33
Βασικές αρχές επιλογής του υπερσυμπιεστή καυσαερίων.....	34
Υπολογισμοί.....	37
Μετατροπές – βελτιώσεις υπερσυμπιεστή.....	41
Ο υπερσυμπιεστής της επιλογής μας.....	43
Ενδιάμεση ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης.....	45
Βασικές αρχές.....	45
Σχεδιασμός του εναλλάκτη θερμότητας του αέρα υπερπλήρωσης.....	47
Ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης και επιδόσεις του κινητήρα.....	47
Υπολογισμός της συνεισφοράς του εναλλάκτη θερμότητας στη καθυστέρηση της απόκρισης του υπερσυμπιεστή (turbolag).....	50
Διαστασιολόγηση πυρήνα.....	51
Βαλβίδα ανακούφισης του συμπιεσμένου αέρα (blow off valve).....	54
Βαλβίδα ανακούφισης - εκτόνωσης καυσαερίων (wastegate).....	56
Πολλαπλή εισαγωγής.....	58
Πολλαπλή εξαγωγής και η επίδρασή της.....	61
Σημαντικές παράμετροι για τη κατασκευή.....	62
Πολλαπλή εξαγωγής και χρονισμός κινητήρα.....	63
Υλικά κατασκευής της πολλαπλής εξαγωγής.....	64
Φίλτρο αέρος.....	67
Βοηθητικές κατασκευές.....	68
Σύστημα ψεκασμού καυσίμου.....	70
Παρεμβάσεις στο υποσύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	71
Παρεμβάσεις στο υποσύστημα ανάφλεξης.....	72
Εγκατάσταση οργάνων διαφόρων ενδείξεων (όργανα ελέγχου).....	72
Βοηθητικές βελτιώσεις – τροποποιήσεις.....	75
Η επίδραση της υπερτροφοδότησης στη μηχανική και στη θερμική φόρτιση του κινητήρα.....	75
Μηχανική φόρτιση και λόγος συμπίεσης.....	76
Θερμική φόρτιση.....	79
Τελικό αποτέλεσμα.....	79

Σύγκριση αποτελέσματος με θεωρητικό	83
Εξαγωγή συμπερασμάτων	86
Βιβλιογραφία	87
Παράρτημα	88
Μηχανολογικά σχέδια εξαρτημάτων	92
Εικόνες	97

Συμβολισμοί και συντομογραφίες

TE = Thermal Efficiency, θερμική απόδοση

VE = Volumetric Efficiency, ογκομετρική απόδοση

M.E.K. = Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

K.N.Σ. = κάτω νεκρό σημείο

A.N.Σ. = άνω νεκρό σημείο

NO = μονοξειδίου του αζώτου

η = βαθμός απόδοσης - επάρκεια

E.W.D. = διάμετρος οπής εξαγωγής του στροβίλου

PR = Pressure Ratio, αναλογία πίεσης

RPM = revolutions per minute, ταχύτητα περιστροφής της μηχανής

L = κυλινδρισμός σε λίτρα

ICrd = πτώση πίεσης λόγω του εναλλάκτη θερμότητας (Intercooler).

cfm = cubic feet per minute, κυβικά πόδια ανά λεπτό (όγκος ροής αέρα)

psi = pounds per square inch, μονάδες πίεσης

Air Flowmax = όγκος μέγιστης ροής αέρα

E.E.P. = επιφάνεια εσωτερικής ροής

EGCV = Exhaust Gas Control Valve, σύστημα βελτίωσης ρύπων.

AFR = Air - Fuel Ratio, αναλογία αέρα - βενζίνης.

Εισαγωγή

Με την κατασκευή του πρώτου κινητήρα, ήδη ο άνθρωπος αναζητούσε τρόπους να τον βελτιώσει. Ήθελε να τον κάνει ταχύτερο, μέσω της αύξησης την ισχύος του. Αυτό το πέτυχε με διάφορους τρόπους αλλά και με το ανάλογο τίμημα που αρχικά δεν τον επηρέασε τόσο. Δεν ήταν άλλο από την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου. Με την έλευση της κρίσης του πετρελαίου του 1973 μαζί με την τάση που ξεκίνησε την εποχή αυτή για μείωση των ρύπων ξεκίνησε η αναζήτηση μιας μεθόδου, που να είναι όσο το δυνατόν πιο οικονομική και αξιόπιστη. Τότε ήρθε στο προσκήνιο μία μέθοδος γνωστή από παλιότερα αλλά όχι τόσο διαδεδομένη, η υπερτροφοδότηση με χρήση καυσαερίων, δηλαδή η αύξηση της πυκνότητας του εισερχόμενου αέρα μέσω συμπίεσως, με την χρήση ζεύγους στροβίλου – συμπίεστή.

Έγιναν κάποιες εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία αλλά δεν υπήρξε συνέχεια μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 2010, όπου ύστερα από διεθνείς συνθήκες που υπέγραψαν χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο, βλέπουμε έντονη στροφή των αυτοκινητοβιομηχανιών σε σχεδίαση και κατασκευή μικρότερου όγκου υπερτροφοδοτούμενων κινητήρων χαμηλότερης κατανάλωσης και ρύπων, τα οποία δεσπόζουν στην αγορά αυτοκινήτων στις μέρες μας. Το φαινόμενο αυτό εξαπλώθηκε και στις πίστες της Formula 1, όπου οι κανονισμοί φέτος επιβάλλουν μικρού κυβισμού υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες.

Η αρχή στο χώρο τον μοτοσυκλετών άργησε να γίνει. Το Νοέμβριο του 2013, στη διεθνή έκθεση οχημάτων που γίνεται κάθε χρόνο στο Τόκιο της Ιαπωνίας (Tokyo Motor Show) όπου παρουσιάζουν τα νέα τους μοντέλα αλλά και τα μελλοντικά τους σχέδια οι κατασκευάστριες εταιρείες, η εταιρεία Kawasaki παρουσίασε σχέδια αντικατάστασης του κινητήρα της ναυαρχίδας της (Kawasaki zx14r) από 1400 κυβικά εκατοστά φυσικής αναπνοής σε 1000 υπερτροφοδοτούμενο με το προωθητικό μήνυμα «ισχύς 1400κ.εκ., μέγεθος 1000κ.εκ.» (1400cc Power, 1000cc Size).

Για τους λόγους αυτούς θεώρησα ιδιαίτερα σύγχρονη και επίκαιρη αυτή την πτυχιακή εργασία στα πλαίσια της οποίας θα γίνει μία παρουσίαση της κατασκευής ενός kit (σύνολο των εξαρτημάτων) μέσα από αναλύσεις και δεδομένα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή κατόπιν αιτιολόγησης των επιλογών που έγιναν με τη βοήθεια της θεωρίας.

Ορισμός Μηχανών Εσωτερικής Καύσης

Μια μηχανή εσωτερικής καύσης είναι ένας κινητήρας στον οποίο η καύση του καυσίμου γίνεται σε ένα θάλαμο καύσης που βρίσκεται ολόκληρος μέσα στον κινητήρα. Με τον όρο μηχανές εσωτερικής καύσης συνήθως εννοούνται κυρίως οι παλινδρομικές – εμβολοφόρες μηχανές και οι κινητήρες Βάνκελ (Wankel). Μια δεύτερη κατηγορία των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι οι κινητήρες τζετ, κάποιοι πύραυλοι και ορισμένες τουρμπίνες ώσης και ισχύος που κάνουν χρήση συνεχούς καύσης.

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή, στην οποία καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε

ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια. Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι πάντα η εκτόνωση της πίεσης των αερίων που παράγονται όπου εφαρμόζουν δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως τα έμβολα ή πτερύγια.

Η μηχανή εσωτερικής καύσης διαφοροποιείται με την μηχανή εξωτερικής καύσης, όπως με ατμό ή κινητήρα Stirling, στις οποίες η ενέργεια μεταφέρεται από ένα υγρό το οποίο θερμαίνεται σε ένα λέβητα (ο οποίος βρίσκεται εκτός του κινητήρα) από ορυκτά καύσιμα ή καύση ξύλου, πυρηνική ενέργεια, ηλιακή κ.λπ. Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών σχεδίων για τις μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν αναπτυχθεί και κατασκευαστεί, με ποικιλία διαφορετικών πλεονεκτημάτων και αδυναμιών. Αν και υπήρξαν και εξακολουθούν να είναι πολλές οι στατικές εφαρμογές, μεγάλη χρήση των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι σε κινητές εφαρμογές και κυριαρχούν στα αυτοκίνητα, αεροσκάφη και πλοία, από το μικρότερο έως το μεγαλύτερο.

Οι μηχανές αυτές έχουν καθιερωθεί ευρύτερα να αναφέρονται με το αρκτικόλεξο Μ.Ε.Κ.. Ως Μ.Ε.Κ. θεωρούνται γενικά οι αεριομηχανές, οι βενζινοκινητήρες, οι πετρελαιοκινητήρες και οι αεριοστρόβιλοι.

Η ιστορία των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης

Πρόδρομος του βενζινοκινητήρα θεωρείται η ατμομηχανή, που πρωτοεμφανίστηκε τον 18ο αιώνα. Η ΜΕΚ, που ακολούθησε τον 19ο αιώνα ως βελτίωση για πολλές εφαρμογές, δεν μπορεί να αποδοθεί μόνο σε έναν εφευρέτη. Ήδη από τον 17ο αιώνα αρκετοί πειραματιστές προσπάθησαν αρχικά να χρησιμοποιήσουν θερμά καυσαέρια για να κινήσουν αντλίες. Το 1820 στην Αγγλία ένας κινητήρας λειτουργούσε με βάση την έκρηξη μίγματος αέρα - υδρογόνου. Οι κινητήρες αυτοί ήταν βαρείς και χονδροειδείς στην κατασκευή αλλά περιείχαν πολλά βασικά στοιχεία των μετέπειτα, πιο επιτυχημένων συσκευών. Το 1824, ο Γάλλος φυσικός Σαντί Καρνό δημοσίευσε το κλασικό πλέον σύγγραμμα «Σκέψεις πάνω στην Ωστική δύναμη της θερμότητας» στο οποίο περιέγραψε τις βασικές αρχές της θεωρίας εσωτερικής καύσης.

Στα επόμενα χρόνια εμφανίστηκαν βελτιωμένοι τύποι, καθώς και κινητήρες στους οποίους το καύσιμο συμπιεζόταν πριν αναφλεγεί. Κανένας τους όμως δεν αποδείχθηκε ικανοποιητικός μέχρι το 1860, οπότε ο Γάλλος Ετιέν Λενουάρ παρουσίασε έναν κινητήρα με φωταέριο και με σχετικά καλή απόδοση. Μια σημαντικότερη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι το 1862, όταν δημοσιεύτηκε η περιγραφή του ιδανικού κύκλου λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης από τον Αλφόνς Μπω ντε Ροσά, ο οποίος ήταν και ο πρώτος που διατύπωσε τις συνθήκες για την άριστη απόδοση.

Ο κινητήρας του Μπω ντε Ροσά προέβλεπε τετράχρονο κύκλο, σε αντίθεση με το δίχρονο κύκλο (είσοδος - ανάφλεξη και ισχύς - έξοδος) του Λενουάρ. Όμως στα επόμενα 14 χρόνια ο τετράχρονος κινητήρας έμεινε στα χαρτιά. Η εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται με υγρά καύσιμα, έγινε ουσιαστικά σε τρία βήματα, αρχίζοντας με τον Jean - Josef Lenoir, περνώντας από τον Nicolaus Otto και καταλήγοντας καταρχήν στον

Rudolf Diesel. Στη δεκαετία του 1930 δηλώθηκε από τον Felix Wankel ως ευρεσιτεχνία ένας νέος βενζινοκινητήρας για οχήματα, διαφορετικής κινηματικής από τους προηγούμενους, με τον οποίο φαίνεται να έχει κλείσει αυτός ο κύκλος. Στη δεκαετία του 1940 αναπτύχθηκαν οι αεριοστρόβιλοι εσωτερικής καύσης (jet), με διαφορετική αρχή λειτουργίας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε αεροπλάνα, ενώ οι βενζινοκινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν από τα τέλη του 20ου αιώνα και με αέριο καύσιμο.

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

Η πρώτη επιτυχής από τις πολλές παράλληλες προσπάθειες που γίνονταν για την κατασκευή μιας μηχανής εσωτερικής καύσης ήταν αυτή του Γαλλοβέλγου Jean - Josef Etienne Lenoire (Λενουάρ, 1822 - 1900). Ο Λενουάρ παρουσίασε το έτος 1860 ένα μικρό όχημα, το οποίο κινείτο, ικανοποιητικά για εκείνη την εποχή, με τον κινητήρα του. Μέχρι τότε είχαν παρουσιαστεί μόνο οχήματα με ογκώδη ατμομηχανή, η οποία τα έκανε δυσκίνητα.

Ο κινητήρας Λενουάρ αξιοποιούσε ως καύσιμο το φωταέριο, το οποίο εισάγεται στον κύλινδρο αναμειγμένο με αέρα στο πρώτο στάδιο λειτουργίας, κατά το πρώτο μισό της διαδρομής του εμβόλου. Το μίγμα αυτό πυροδοτείται με ηλεκτρικό σπινθήρα και ωθεί το έμβολο στο υπόλοιπο κομμάτι της διαδρομής του. Κατά την επιστροφή του εμβόλου, στη μία πλευρά του απωθούνται τα καυσαέρια, ενώ στην άλλη πλευρά επαναλαμβάνεται η διαδικασία εισαγωγής του μίγματος φωταέριο - αέρας. Ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα Λενουάρ ήταν όμως πολύ χαμηλός, πράγμα που δυσκόλεψε την οικονομική αξιοποίησή της.

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

Έτσι απέκτησε ο Ότο τη φήμη να έχει κατασκευάσει τον πρώτο κινητήρα με ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως. Επιβεβαιώθηκε δε άλλη μια φορά η «αρχή», όπως με την ατμομηχανή κ.ά., να εφευρίσκει ένας Γάλλος μία μηχανή, η οποία να βελτιώνεται και τελειοποιείται από Άγγλους και Γερμανούς. Η μεγάλη ζήτηση για τους κινητήρες του Ότο οδήγησε στην ίδρυση από τον Λάνγκεν της ανώνυμης εταιρείας Deutz AG στην Κολωνία, το έτος 1872, η οποία είχε στόχο τη μαζική παραγωγή κινητήρων.

Σήμερα αυτή η εταιρεία έχει εξελιχθεί σε πρωτοπόρο κατασκευαστή μηχανών κάθε μεγέθους και λειτουργικής αρχής! Υπεύθυνος για την σχεδίαση ήταν ο Wilhelm Maybach (Μάιμπαχ, 1846 – 1929) και για την παραγωγή ο Gottlieb Daimler (Ντάιμλερ, 1834 - 1900). Το έτος 1874 έφτασε η μηνιαία παραγωγή τους 80 κινητήρες, αλλά στο τέλος του ίδιου έτους προέκυψε

εμπορικό πρόβλημα: αυτοί οι κινητήρες με ισχύ περί τα 2 KW (~2,7 PS) δεν ήταν σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες των βιοτεχνιών και μικρών βιομηχανιών.

Παράλληλα κυκλοφορούσαν δε κινητήρες Sterling (υπέρθερμου αέρα) οι οποίοι, αν και είχαν μικρότερο βαθμό αποδόσεως, είχαν υψηλότερη σταθερή ισχύ. Αυτοί δε οι κινητήρες δέχονταν ως καύσιμο ξύλα, τύρφη ή κάρβουνο και δεν είχαν εξάρτηση από το φωταέριο. Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, έπρεπε να βελτιωθεί ο κινητήρας του εργοστασίου Deutz και για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα «Τμήμα Ερευνών», του οποίου τη λειτουργία ανέλαβε ο Όττο.

Έτσι έγινε δυνατή η μελέτη για την κατασκευή κινητήρων που είχε διακοπεί από το 1862. Ήδη το έτος 1876 παρουσίασε ο Όττο το «νέο κινητήρα», όπως ονομαζόταν για πολύ καιρό ο τετράχρονος βενζινοκινητήρας, με τον οποίο έκλεισε οριστικά η εποχή των πρώιμων κινητήρων. Κύριο πλεονέκτημα του νέου αυτού κινητήρα ήταν η συμπίεση του μίγματος καύσιμο - αέρας, μια αρχή που δεν άλλαξε μέχρι τις ημέρες μας, παρά τις πολλές τροποποιήσεις και βελτιώσεις.

Η περιοδικά επαναλαμβανόμενη διεργασία στον τετράχρονο κινητήρα Όττο είναι η ακόλουθη: Ο κύλινδρος γεμίζει με καύσιμο και αέρα, το έμβολο συμπιέζει το μίγμα, το συμπιεσμένο μίγμα πυροδοτείται (ηλεκτρικός σπινθηριστής, μπουζί), οπότε διαστέλλεται το καιγόμενο μίγμα και απωθεί το έμβολο, παράγοντας έργο, τα καυσαέρια εξάγονται από τον κύλινδρο.

Στον κινητήρα ντίζελ δεν εισάγεται εύφλεκτο μίγμα καυσίμου - αέρα, το οποίο πυροδοτείται, αλλά διαχέεται το καύσιμο με ισχυρό περίσσειμα αέρα, το οποίο συμπυκνώνεται με μια σχέση 25:1 και αυτοαναφλέγεται στη θερμοκρασία των 700 - 900 °C. Είναι προφανές ότι οι κινητήρες αυτοί πρέπει να αντέχουν σε πολύ υψηλές πιέσεις, πράγμα που στη δεκαετία του 1890 δεν ήταν εύκολο να υλοποιηθεί.

Αυτός ο κινητήρας ανακοινώθηκε ως ευρεσιτεχνία το έτος 1892 από το Γερμανό μηχανικό Rudolf Diesel (Ντίζελ, 1858 - 1913) και μελετήθηκε στα έτη 1893 - 1897 με χρηματική υποστήριξη της εταιρείας Friedrich Krupp AG. Το 1893 εξεργάγη ένας κινητήρας στο εργαστήριο, λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων λειτουργίας και μόνο τυχαία γλύτωσε ο Diesel το θάνατο. Το πρώτο λειτουργικά ολοκληρωμένο δείγμα με καλό βαθμό αποδόσεως και εξοικονόμηση καυσίμου, κατασκευάστηκε στο εργοστάσιο της εταιρείας MAN στην πόλη Augsburg της Βαυαρίας.

Αργότερα ιδρύθηκαν εργοστάσια σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις για τη μαζική παραγωγή κινητήρων ντίζελ. Το έτος 1908 κατασκευάστηκαν, αφενός ο πρώτος μικρού μεγέθους κινητήρας για ελαφριά οχήματα, αφετέρου το πρώτο όχημα βαρέων μεταφορών και η πρώτη σιδηροδρομική μηχανή έλξης με κινητήρα ντίζελ. Έκτοτε περιορίστηκε η ατμομηχανή σταδιακά σχεδόν αποκλειστικά σε παλιές μονάδες παραγωγής και σε λίγα πλοία. Στο λιμάνι της Νέας Υόρκης ήταν το έτος 1920 μόνο οι μαούνες ακόμα ατμοκίνητες, όλα τα εμπορικά πλοία διέθεταν ήδη κινητήρες ντίζελ.

Κύρια χαρακτηριστικά της λειτουργίας του κινητήρα ντίζελ είναι: Το καύσιμο και ο αέρας αναμιγνύονται στον κύλινδρο, Λόγω της υψηλής συμπίεσης υπερθερμαίνεται το καύσιμο μίγμα και αυτοαναφλέγεται, Η ισχύς του κινητήρα ρυθμίζεται με την ποσότητα του εισερχόμενου καυσίμου. Ο Diesel είχε δοκιμάσει κατά την φάση ανάπτυξης του κινητήρα του διάφορα υγρά καύσιμα, είχε όμως προβλήματα με τις αντλίες που θα διεκπεραίωναν την έκχυση του

καυσίμου. Τελικά κατέληξε σε ένα κλάσμα αποστάξεως ορυκτού πετρελαίου, το οποίο ονομάστηκε επίσης ντίζελ, όπως και ο κινητήρας.

Με κατάλληλες μετατροπές, ο κινητήρας αυτός είναι δυνατόν να λειτουργήσει και με άλλα υγρά και αέρια καύσιμα, π.χ. με φυτικά έλαια. Σήμερα χρησιμοποιείται για την εκκίνηση των πετρελαιοκινητήρων, ιδίως σε ψυχρό περιβάλλον, ένα ηλεκτρικά πυρακτωμένο τύλιγμα (περίπου όπως ο αναπτήρας στο αυτοκίνητο) για την εύκολη έναυση και την αποφυγή καυσαερίων.

Σε σύγχρονους κινητήρες ντίζελ κυμαίνεται ο βαθμός αποδόσεως (χημική σε μηχανική ενέργεια) στην περιοχή τιμών 15 - 50%, όπου οι μεγάλες τιμές αφορούν κινητήρες μεγάλης ισχύος (πλοία, τρένα κλπ.) και οι μικρές τιμές κινητήρες μικρών οχημάτων. Ο Diesel δεν είχε ποτέ σημαντικά οικονομικά ωφέλη από την εφεύρεσή του. Όπως συμβαίνει συχνά σ' αυτές τις υποθέσεις, οι διάφορες εταιρείες που συνέβαλαν στην ανάπτυξη του κινητήρα διεκδικούσαν μερίδιο από τα δικαιώματα του εφευρέτη, με αποτέλεσμα να εξελιχθούν πολύχρονες και πολυέξοδες δίκες, οι οποίες επηρέασαν τη σωματική και την ψυχική υγεία του Ντίζελ.

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

Η ιστορία του υπερσυμπιεστή καυσαερίων

Η ιστορία του υπερσυμπιεστή καυσαερίων (turbocharger) είναι σχεδόν τόσο παλιά όσο και η επινοήση του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Την εποχή εκείνη οι Gottlieb Daimler (1885) and Rudolf Diesel (1896) προσπάθησαν να συμπιέσουν τον παρεχόμενο αέρα στο κινητήρα με σκοπό την αύξηση της ισχύος του και την μείωση της κατανάλωσης.

Το 1905 ο Ελβετός Swiss Alfred Büchi κατοχύρωσε την πατέντα turbocharger (υπερσυμπιεστής) με αριθμό CH 35 259 A, που περιγράφεται ως ένας κινητήρας στον οποίον από την ενέργεια των καυσαερίων του επιτυγχάνεται η αύξηση της ροής του μίγματος βενζίνης αέρα με αποτέλεσμα την αύξηση των επιδόσεων του. Στην πράξη όμως το βαρύ – τότες - σύστημα δεν λειτούργησε ποτέ για περισσότερο από μερικές ώρες λόγω της υψηλής πίεσης.

Ο πρώτος υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας κατασκευάστηκε το 1910, ένας δίχρονος περιστροφικός κινητήρας από τον Murray - Willat. Με την χρήση υπερτροφοδότησης ξεπεράστηκε το πρόβλημα των κινητήρων αεροπλοίας εξαιτίας της μειωμένης πυκνότητας του αέρα σε υψηλά υψόμετρα, έτσι το 1919 η αμερικάνικη εταιρεία General Electric ολοκλήρωσε επιτυχώς τον υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα του αεροπλάνου Lepere biplane Liberty το οποίο ανέβασε το νέο παγκόσμιο ρεκόρ πτήσης στα 28.500 πόδια.

Το 1925 ο Swiss Alfred Büchi κατάφερε να ταιριάξει με επιτυχία έναν στροβιλοσυμπιεστή σε κινητήρα ντίζελ βελτιώνοντας την απόδοσή του έως 40%, κάτι πολύ εντυπωσιακό για την εποχή εκείνη αν και αργότερα η χρήση του υπερσυμπιεστή δεν κατάφερε να διαδοθεί λόγω των πολλών προβλημάτων (αυξημένη πίεση, κόπωση τουρμπίνας, αντοχή υλικών, υπερθέρμανση κ.α.). Και πάλι, όμως, η ιδέα του Büchi ήταν για εκείνα τα χρόνια πολύπλοκη και ακριβή.

Οι πρώτες εμπορικές χρήσεις έγιναν το 1938 από την ελβετική εταιρεία Sauber η οποία έβγαλε στην αγορά τους πρώτους υπερτροφοδοτούμενους ντίζελ κινητήρες, οι οποίοι ήταν αρκετά μεγάλοι και τοποθετήθηκαν σε πλοία. Το 1962 στην Αμερική τα Chevrolet Corvair Monza και Oldsmobile Jetfire ήταν τα πρώτα αυτοκίνητα παραγωγής με υπερτροφοδότηση. Ώς αποτέλεσμα της κρίσης του πετρελαίου του 1973 μαζί με την τάση που ξεκίνησε την εποχή αυτή για μείωση των ρύπων η εμπορική χρήση τους όλο και αυξανόταν. Κέρδισαν πολλή δημοτικότητα από την εφαρμογή τους στη δεκαετία του '70, τα οποία απέδιδαν 1500 ίππους, σχεδόν τρεις φορές περισσότερους απ' ότι αποδίδουν σήμερα.

Το 1973 κάνουν την εμφάνιση τους στην Ευρώπη και οι πρώτοι υπερτροφοδοτούμενοι βενζινοκινητήρες με την BMW να κάνει την αρχή. Οι κινητήρες αυτοί είχαν πολύ υψηλές επιδόσεις αλλά είχαν επίσης υψηλή κατανάλωση και χαμηλή αξιοπιστία. Το 1978 η Mercedes Benz ήταν αυτή που λάνσαρε στην αγορά επιβατικά αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής υπερτροφοδοτούμενων ντιζελοκινητήρων με την VW να ακολουθεί το 1981 από όπου πήραν σειρά και πολλές άλλες.

Κάπως έτσι από τον ενθουσιασμό των πρώτων χρόνων η υπερτροφοδότηση μετατράπηκε από βελτιωτικό για παραγωγή ισχύος σε εργαλείο για τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και την προστασία του περιβάλλοντος.

Η ιστορία του υπερσυμπιεστή καυσαερίων στις μοτοσυκλέτες

Η ιδέα της υπερτροφοδότησης ενός μικρού σε όγκο και κυβικά κινητήρα φάνηκε πολύ δελεαστική στα Ιαπωνικά εργοστάσια παραγωγής τις δεκαετίες 1970 - 1980. Η Honda είχε παρουσιάσει ένα πρωτότυπο μοντέλο με έναν αερόφυκτο κινητήρα 360 κυβικών εκατοστών v-twin διάταξης υπερτροφοδοτούμενο.

Η Kawasaki Αμερικής το 1978 κυκλοφόρησε σε περιορισμένο αριθμό παραγωγής το μοντέλο Z1R TC. Οι συγκεκριμένες μοτοσυκλέτες που κατασκευάζονταν στην Ιαπωνία ως μοντέλο με ατμοσφαιρικό κινητήρα, τις εισήγαγε η αμερικάνικη αντιπροσωπία και επηρεασμένη από την τάση της εποχής τους τοποθετούσε ένα υπερτροφοδοτούμενο kit το οποίο ρυθμισμένο στα 0.35 bar πίεσης απέδιδε 105Hp από τον στάνταρ κινητήρα που είχε 90hp. Αυτό το καθιστούσε οριακά γρηγορότερο από το στάνταρ μοντέλο και σε συνδυασμό με προβλήματα ψύξης και λίπανσης που αντιμετώπισε είχε ως αποτέλεσμα αυτοί οι παράγοντες να υπερκαλύψουν την πρωτοπορία της Kawasaki.

Η Honda το 1982 έβγαλε το μοντέλο CX500T το οποίο ήταν ένα προσεκτικά σχεδιασμένο υπερτροφοδοτούμενο μοντέλο με αποτέλεσμα να ξεπεράσει τα προβλήματα της Kawasaki αλλά και πάλι δεν ήταν ούτε φτηνότερο ούτε γρηγορότερο από το CB900 μοντέλο της ίδιας εταιρείας με αποτέλεσμα να μην έχει μεγάλη απήχηση ούτε αυτό. Την ίδια χρονιά κυκλοφόρησε η εταιρεία Yamaha το XJ650 turbo με ισχύ 90Hp.

Το 1983 ακολούθησε η Suzuki με το μοντέλο XN85, κινητήρα 650 κυβικών εκατοστών που απέδιδε 85hp και η Kawasaki με το GPZ750 turbo με 112Hp. Από τη δεκαετία του '80 κανένας κατασκευαστής δεν έχει βγάλει υπερτροφοδοτούμενη μοτοσυκλέτα. Στη διοργάνωση για μοτοσυκλέτες που γίνεται στο Τόκιο (Tokyo Motor Show) το 2013 η Kawasaki ανακοίνωσε έναν κινητήρα 1000 κυβικών εκατοστών με υπερτροφοδότηση για παραγωγή το 2015 έτσι ώστε να αντικαταστήσει το υπάρχον μοντέλο της που είναι 1400 κυβικά εκατοστά.

Κάποιες βασικές έννοιες

Στην πορεία της εργασίας αυτής θα έρθουμε αντιμέτωποι με κάποιους όρους, σε αυτό το σημείο θα γίνει μία σύντομη ανάλυση αυτών.

Τι είναι η απόδοση; Στην περίπτωση της αυτοκινητοβιομηχανίας θα λέγαμε με απλά λόγια πως το ζητούμενο δεν είναι άλλο από το ένα αυτοκίνητο να έχει τη δυνατότητα να κινείται όσο το δυνατόν πιο μακριά με την μικρότερη ποσότητα καυσίμου και την μικρότερη εκπομπή ρύπων. Δηλαδή από την ίδια ποσότητα καυσίμου να παράγεται μεγαλύτερο έργο (το γνωστό πλεονέκτημα των ντίζελ) και να βελτιώνεται η αυτονομία.

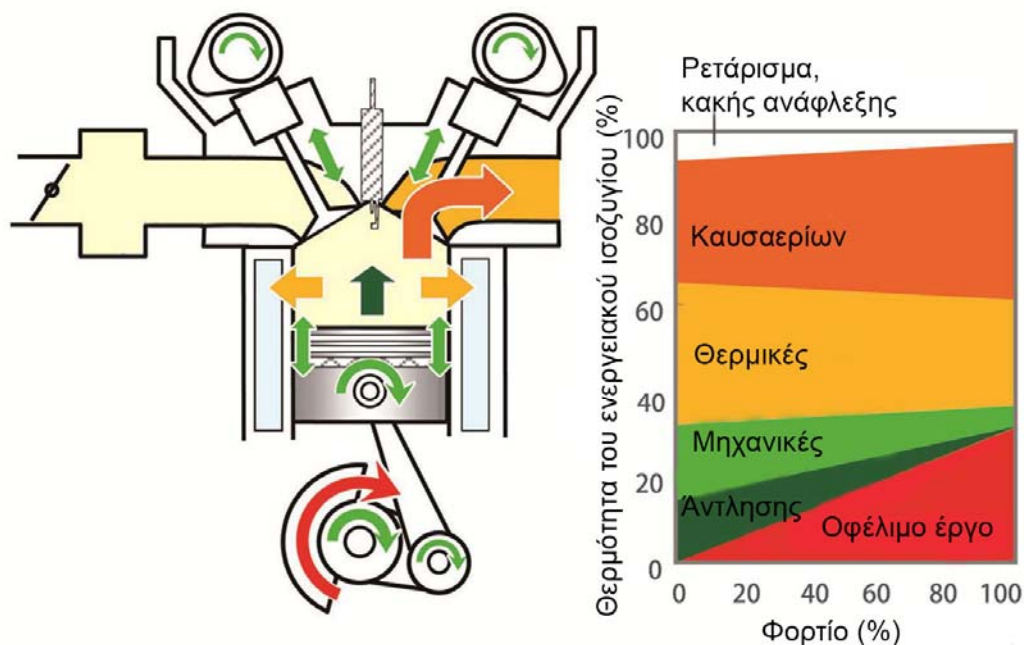
Επομένως η απόδοση συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμου, όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης τόσο μικρότερη η κατανάλωση καυσίμου και λιγότερο με την ισχύ και την ροπή. Θερμική απόδοση ενός κινητήρα (Thermal Efficiency, TE) είναι η διαφορά ανάμεσα στο ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου που καταναλώνεται και στην χρήσιμη ενέργεια που παράγεται από τη μηχανή κατά την κατανάλωση αυτή. Η ογκομετρική απόδοση (Volumetric Efficiency, VE) ενός κινητήρα είναι ο λόγος μεταξύ του θεωρητικά υπολογιζόμενου εισερχόμενου μίγματος και του πραγματικά εισερχόμενου μίγματος στον κινητήρα.

Ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι ο λόγος της ποσότητας του καυσίμου που καταναλώνεται από έναν κινητήρα σε σχέση με την ενέργεια που αποδίδεται από αυτό. Δηλαδή, ένα κλάσμα γραμμαρίων καυσίμου προς τις κιλοβατώρες ενέργειας που αποδίδει σε ένα χρονικό διάστημα (kg/kWh) και είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόδοσης.

Τι επηρεάζει την απόδοση; Από την συνολική ενέργεια που παράγει ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης περίπου το 30% είναι το ωφέλιμο που μετατρέπεται σε ροπή και περνά στους τροχούς. Οι απώλειες επηρεάζουν σημαντικά τον βαθμό απόδοσης καθώς κατά προσέγγιση το 30% αποβάλλεται στο περιβάλλον ως θερμότητα, το 30% στην μορφή των καυσαερίων ενώ το 10% αναλώνεται σε μηχανικές τριβές (αντλίες λαδιού - ψύξης, σύστημα κλιματισμού, επιμέρους συστήματα κ.α.). Ακόμη και το 30% (στους βενζινοκινητήρες είναι κάτω από 25%) που περισσεύει μειώνεται στη συνέχεια περίπου στο μισό κατά την μεταφορά ισχύος προς τους τροχούς.

Για καλύτερη εκτίμηση των απωλειών παραθέτω Εικ. 1:

Εικόνα 1



Ενεργειακό ισοζύγιο μηχανών εσωτερικής καύσης

Ο κύκλος Carnot είναι ένας υποθετικός κύκλος και αναφέρεται ως μέτρο σύγκρισης για τους πραγματικούς κύκλους. Ο συγκεκριμένος κύκλος αποδεικνύει πως μία θερμική μηχανή δεν μπορεί να μετατρέψει όλη την θερμική της ενέργεια σε μηχανική ακόμη και υπό ιδανικές συνθήκες. Ο κύκλος Carnot βασίζεται σε μια μηχανή με εξωτερική πηγή θερμότητας όπου ένα μέρος την μετατρέπει σε μηχανική ενέργεια ενώ την υπόλοιπη την αποβάλλει σαν θερμική προς ένα σώμα με χαμηλότερη θερμοκρασία. Η απόδοση μίας μηχανής είναι πάντοτε ένας αριθμός μικρότερος της μονάδας ακόμη και όταν η μηχανή είναι ιδανική. Ανεξαρτήτως της μορφής ενέργειας που παραλαμβάνουν (χημική, θερμική, ηλεκτρική, υδραυλική κ.α.) όλες οι μηχανές μετατρέπουν μόνο ένα μέρος της ενέργειας αυτής σε μηχανική ή έργο.

Ο 2ος θερμοδυναμικός νόμος (αρχή Carnot) λέει πως η θερμότητα ρέει από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα και ποτέ αντιστρόφως. Έτσι, γίνεται αντιληπτό πως η απόδοση μίας μηχανής εξαρτάται πάντα από τη θερμοκρασία του θερμού σώματος που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη καθώς το ψυχρό σώμα είναι συνήθως το περιβάλλον (νερό, αέρας). Ο S.Carnot ήταν από τους πρώτους που περιέγραψαν πως για να παραχθεί έργο πρέπει να υπάρχει ροή θερμότητας από μία θερμή πηγή προς μία άλλη με χαμηλότερη θερμοκρασία. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού και του ψυχρού σώματος τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση της μηχανής.

Μία σημαντική παράμετρος που μπορεί να βελτιώσει την απόδοση ενός κινητήρα και την θερμοδυναμική του απόδοση είναι η αύξηση της σχέσης συμπίεσης (τεχνολογία Skyactiv της Mazda). Παράλληλα υπάρχουν τρόποι

μείωσης της χαμένης ενέργειας (π.χ. ηλεκτρικές αντλίες) ή της θερμικής (π.χ. σύστημα EGR), της σχεδίασης αποδοτικότερων θαλάμων καύσεως, την χρήση ελαφρύτερων υλικών, νέας τεχνολογίας λιπαντικών κ.α.. Ήδη πολλές από αυτές τις τεχνολογίες εφαρμόζονται στους σύγχρονους κινητήρες (άμεσος ψεκασμός, downsizing κ.α.) με σκοπό την παραγωγή ίδιου έργου με λιγότερη ποσότητα καυσίμου.

Ταξινόμηση των μηχανών εσωτερικής καύσης

Οι διάφοροι τύποι Μ.Ε.Κ. μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις μεταξύ τους ομοιότητες. Οι σπουδαιότερες ταξινομήσεις αναφέρονται στην τελική εφαρμογή, στο είδος του καυσίμου και στον τρόπο εισαγωγής του, στην ανάφλεξη, στη χρήση εμβόλων ή περιστροφέα, στη διάταξη των κυλίνδρων, στους χρόνους λειτουργίας, στο σύστημα ψύξης και τέλος στον τύπο και στη θέση των βαλβίδων. Οι ταξινομήσεις αυτές εξετάζονται αναλυτικότερα στην περιγραφή των διαφόρων τύπων κινητήρων.

Στην κατηγορία εξωτερικής καύσεως ανήκουν οι ατμοστρόβιλοι, οι ατμομηχανές. Ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε:

- εμβολοφόρες ή παλινδρομικές (ισχύουν τόσο για τις μηχανές εσωτερικής καύσεως όσο και για τις εξωτερικής καύσεως)
- περιστροφικές ή στροβίλους (στις μηχανές εσωτερικής καύσεως ονομάζονται ατμοστρόβιλοι και στις εξωτερικής καύσεως αεριοστρόβιλοι).

Ειδικότερα στις εμβολοφόρες - παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσεως η έναυση στον κύλινδρο μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- με τη βοήθεια εξωτερικού μέσου π.χ. σπινθήρα, σε αυτή την κατηγορία υπάγονται οι "κινητήρες Όττο" (βενζινοκινητήρες)
- αυτόματα, λόγω μεγάλης θέρμανσης του καυσίμου, κατηγορία όπου υπάγονται οι μηχανές ντίζελ πετρελαιοκινητήρες.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τις εμβολοφόρες - παλινδρομικές θερμικές μηχανές εσωτερικής καύσεως με καύσιμο βενζίνη.

Αρχή λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα

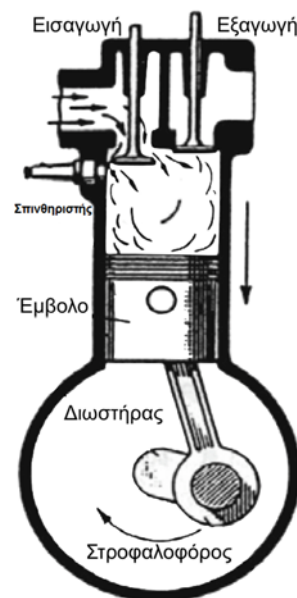
Οι βενζινοκινητήρες παράγουν μηχανικό έργο μέσω της καύσης μίγματος βενζίνης με αέρα. Η βενζίνη αποτελείται από ένα μίγμα ενώσεων που ονομάζονται υδρογονάνθρακες και όταν ενωθούν με το οξυγόνο του αέρα με ένα σπινθήρα καίγονται απελευθερώνοντας νερό, διοξείδιο του άνθρακα και θερμότητα. Η πίεση της καύσης είναι η κινητήριος δύναμη του εμβόλου προκαλώντας την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

Η αναλογία βενζίνης με αέρα για τη σωστή λειτουργία του κινητήρα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 12,5 με 16 μέρη αέρα για ένα μέρος βενζίνης. Η σωστή ρύθμιση της αναλογίας αυτής είναι κρίσιμη για την απόδοση αλλά και για τη

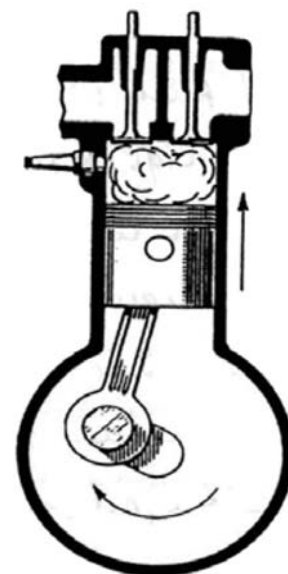
διάρκεια του κινητήρα και των επιμέρους εξαρτημάτων του. Ο τετράχρονος κινητήρας εκτελεί έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας, όπως φαίνεται και από το όνομά του, σε 4 στάδια – χρόνους, κατά τα οποία ο στροφαλοφόρος άξονάς του εκτελεί 2 ολόκληρες περιστροφές.

Αυτοί είναι οι εξής:

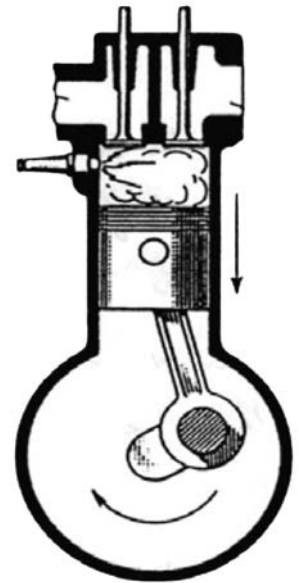
- 1) **Εισαγωγή.** Με ανοιχτή την βαλβίδα εισόδου το έμβολο κατέρχεται μέχρι το κάτω νεκρό σημείο (Κ.Ν.Σ.), κατά τον χρόνο εισαγωγής. Το κενό που δημιουργείται προκαλεί αναρρόφηση του μίγματος βενζίνης και αέρα στο θάλαμο καύσης.



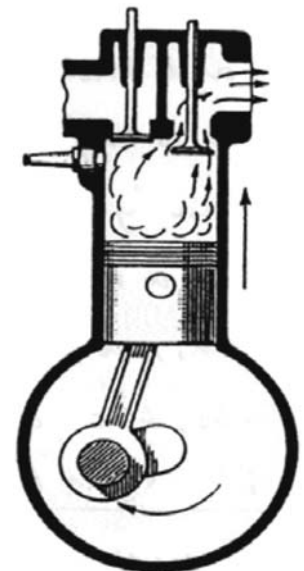
- 2) **Συμπίεση.** Το μίγμα βενζίνης αέρα συμπιέζεται καθώς το έμβολο ανέρχεται κατά τον χρόνο συμπίεσης με κλειστές βαλβίδες μέχρι το άνω νεκρό σημείο (Α.Ν.Σ.). Με το τέλος του χρόνου αυτού, το μίγμα αναφλέγεται με τη βοήθεια ηλεκτρικού σπινθήρα.



- 3) **Καύση – Εκτόνωση.** Κατά τον χρόνο ισχύος οι βαλβίδες παραμένουν κλειστές ενώ η πίεση από την καύση πιέζει την κεφαλή του εμβόλου, το οποίο με τη σειρά του μεταφέρει την πίεση αυτή στο στροφαλοφόρο άξονα και έτσι μετατρέπει την ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση σε περιστροφική.



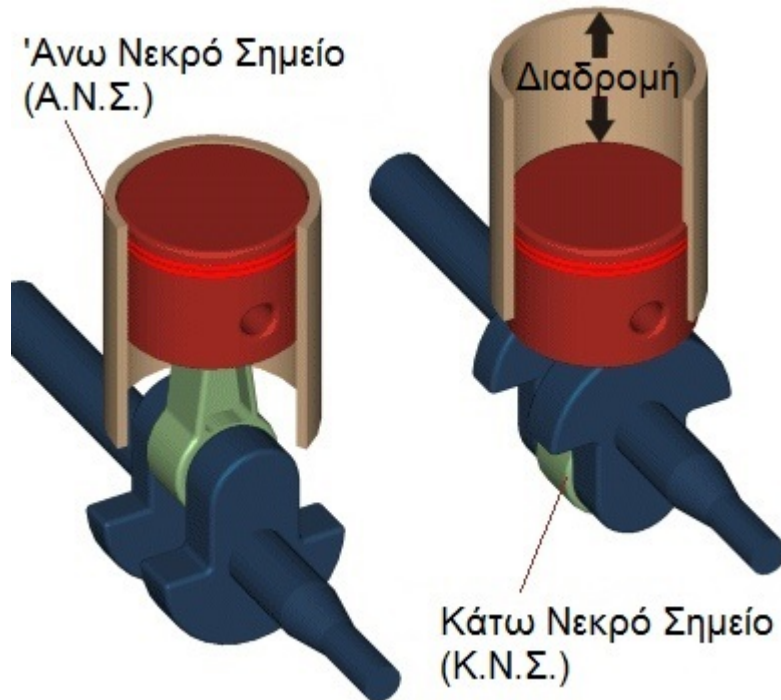
- 4) **Εξαγωγή.** Κατά τον χρόνο εξαγωγής, το ανερχόμενο έμβολο αναγκάζει τα προϊόντα της καύσης να εξέλθουν από την ανοιχτή βαλβίδα εξόδου μέχρις ότου φτάσει στο άνω νεκρό σημείο όπου θα κλείσει η βαλβίδα εξαγωγής και η διαδικασία θα ξεκινήσει από την αρχή.



Με την εφαρμογή των τεσσάρων αυτών χρόνων έχουμε εκτελέσει δύο κύκλους του στροφαλοφόρου άξονα. Με τη χρήση περισσότερων του ενός κυλίνδρων σε κατάλληλη διάταξη και με σύνδεση τους με κιβώτιο ταχυτήτων μπορούμε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα κάθε φορά ανάλογα με τη χρήση που θέλουμε να έχει.

Το υψηλότερο σημείο που μπορεί να φτάσει το έμβολο στον κύλινδρο ονομάζεται άνω νεκρό σημείο (Α.Ν.Σ.) και το χαμηλότερο κάτω νεκρό σημείο (Κ.Ν.Σ.) αντίστοιχα. Τα σημεία αυτά είναι ζωτικής σημασίας για τις Μ.Ε.Κ. διότι πάνω σε αυτά μπορούν αν υπολογιστούν πολλά δεδομένα, όπως η διαδρομή του εμβόλου, ο λόγος συμπίεσης αλλά και οι μοίρες στις οποίες δρουν οι βαλβίδες του κινητήρα. Τα Α.Ν.Σ. και Κ.Ν.Σ. με γραφική απεικόνιση στην Εικ.2

Εικόνα 2



Τρόποι αύξησης ισχύος Μ.Ε.Κ.

Δυστυχώς από την ενέργεια που έχει η βενζίνη εκμεταλλευόμαστε μόνο ένα μικρό κλάσμα. Το υπόλοιπο χάνεται με τη μορφή θερμότητας και κινητικής ενέργειας μέσω των καυσαερίων, του συστήματος ψύξης και άλλων απωλειών όπως προαναφέραμε. Με κοινή λογική, για να πετύχουμε αύξηση της ισχύος ενός κινητήρα πρέπει να αυξήσουμε τον ενεργειακό φορέα που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης, κοινώς, όσο περισσότερο μίγμα βενζίνης – αέρα τόσο περισσότερη ισχύς.

Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει εφικτό με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα μπορούμε να αυξήσουμε τον κυβισμό του κινητήρα, αυξάνοντας τη διάμετρο του εμβόλου ή τη διαδρομή. Μπορούμε να αυξήσουμε την ταχύτητα περιστροφής του, έτσι ώστε σε λιγότερο χρόνο να έχουμε περισσότερες περιστροφές. Μπορούμε να τοποθετήσουμε εκκεντροφόρους με μεγαλύτερη βύθιση ή με μεγαλύτερη διάρκεια. Ακόμα και να εγκαταστήσουμε μια διάταξη μονοξειδίου του αζώτου (N_2O) κοινώς “νίτρο”.

Ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους είναι η υπερτροφοδότηση – υπερπλήρωση ενός κινητήρα. Ο βαθμός πλήρωσης με αέρα σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα φθάνει στο μέγιστο, λίγο παραπάνω από 80%, όταν η ταχύτητα του είναι η μισή περίπου της μέγιστης δυνατής, ενώ μειώνεται σημαντικά σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Η μείωση αυτή του εισαγόμενου αέρα, με την αύξηση της ταχύτητας, έχει ως αποτέλεσμα ανάλογες μεταβολές στη ροπή στρέψης στον στροφαλοφόρο άξονα.

Έτσι η ισχύς φθάνει σε μια μέγιστη τιμή καθώς η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνει. Σε ταχύτητες πάνω από την οριακή, η ανά κύκλο τροφοδοσία με αέρα ελαττώνεται τόσο γρήγορα ώστε η αποδιδόμενη ισχύς να είναι μικρότερη

από την αντίστοιχη σε χαμηλότερες ταχύτητες. Η ανικανότητα του κινητήρα να δεχθεί την απαραίτητη ποσότητα αέρα στις υψηλές ταχύτητες περιορίζει την απόδοσή του. Το μειονέκτημα αυτό παρακάμπτεται με τη βοήθεια του λεγόμενου υπερτροφοδότη, δηλαδή μιας αεραντλίας, ή ενός φυσητήρα που αυξάνει την πίεση του αέρα ο οποίος εισέρχεται στους κυλίνδρους, επομένως και την ποσότητά του. Ο υπερσυμπιεστής χρησιμοποιεί έναν αεριοστρόβιλο, που λειτουργεί με τα καυσαέρια, για να κινήσει έναν φυγοκεντρικό συμπιεστή.

Η υπερτροφοδότηση ως μέσο αύξησης της απόδοσης

Για τη μελέτη υπερτροφοδοτούμενων εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ. είναι χρήσιμη η σύγκριση της απόδοσης (κατανάλωσης καυσίμου) με τους κινητήρες φυσικής αναπνοής. Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του κινητήρα αυξάνεται με την υπερτροφοδότηση, καθώς οι μηχανικές απώλειες αυξάνουν βραδύτερα έναντι της μέσης πραγματικής πίεσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι συνήθως υπάρχει μικρή διαφορά στην ειδική κατανάλωση καυσίμου μεταξύ ενός κινητήρα φυσικής αναπνοής και ενός μηχανικά υπερτροφοδοτούμενου, όταν οι δύο λειτουργούν σε μεγάλη ισχύ. Μόνο σε χαμηλές τιμές της μέσης πραγματικής πίεσης και υψηλές ταχύτητες περιστροφής η κατανάλωση ισχύος από το μηχανικό υπερτροφοδοτή οδηγεί σε αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

Για τους κινητήρες με υπερσυμπιεστή καυσαερίων δεν καταναλώνεται η ισχύς του κινητήρα για την περιστροφή του συμπιεστή συνεπώς η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη από ότι σε έναν κινητήρα φυσικής αναπνοής. Για σταθερή ισχύ του κινητήρα (δηλαδή μικρότερο όγκο – κυβισμό του κινητήρα) υπερτροφοδοτούμενο έναντι κινητήρα φυσικής αναπνοής, η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη σε όλο το εύρος για τον υπερτροφοδοτούμενο.

Μέθοδοι υπερτροφοδότησης

Ο κινητήρας με υπερσυμπιεστή αποκτά μεγαλύτερη ισχύ και λειτουργεί με μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με έναν από τους παρακάτω τρόπους υπερτροφοδότησης με χρήση:

1. εξωτερικά κινούμενου συμπιεστή υπερπλήρωσης (από βοηθητικό κινητήρα ή ηλεκτροκινητήρα) Είχε χρήση κυρίως σε συστήματα υπερπλήρωσης αεροπορικών κινητήρων, ορισμένων κινητήρων ντίζελ, καθώς και για τη σάρωση δίχρονων κινητήρων φυσικής αναπνοής.
2. Συμπιεστής κινούμενος από τη στροφαλοφόρο άτρακτο του κινητήρα (μηχανική υπερπλήρωση). Χρησιμοποιείται σε κινητήρες Otto αυτοκινήτων με ή χωρίς ενδιάμεσο ψυγείο αέρα, με σταθερή (συνήθως) ή μεταβλητή σχέση μετάδοσης κίνησης.
3. Συμπιεστής κινούμενος από στρόβιλο καυσαερίου μονοβάθμια ή διβάθμια (μονού ή διπλού συμπιεστή) με ή χωρίς ψυγείο αέρα. Είναι ο πλέον διαδεδομένος τύπος υπερπλήρωσης με σχεδόν καθολική χρήση σε κινητήρες οχημάτων, βιομηχανικούς και ναυτικούς.

4. Χωρίς τη χρήση συμπιεστή, αλλά με συμπίεση μέσω κύματος πίεσης που προέρχεται από την αποτόνωση του καυσαερίου σε δρομέα με πτερύγια συστήματος Comprex.

Διαφορές στη λειτουργία μεταξύ κινητήρα με υπερσυμπιεστή καυσαερίων και με υπερσυμπιεστή κινούμενο από τη στροφαλοφόρο άτρακτο (μηχανικό υπερσυμπιεστή)

1. Η ταχύτητα περιστροφής του υπερσυμπιεστή καυσαερίων (συνεπώς και η πίεση υπερπλήρωσης) και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα δεν είναι ευθέως σχετιζόμενες μεταξύ τους, αφού δεν υφίσταται μηχανική σύνδεση μεταξύ των δύο μηχανών. Το σημείο λειτουργίας προσδιορίζεται από την ισορροπία μεταξύ της απορροφώμενης ισχύος από τον συμπιεστή και της παραγόμενης ισχύος από τον στρόβιλο. Δηλαδή, δεν προκύπτει από την τομή χαρακτηριστικών κινητήρα και συμπιεστή, αφού ο συμπιεστής είναι μηχανικά ανεξάρτητος της Μ.Ε.Κ. και ελεύθερος να κινηθεί ανάλογα με την ισχύ που του προσφέρει ο στρόβιλος.
2. Μπορεί να ειπωθεί, ποιοτικά μόνο, ότι η ταχύτητα περιστροφής του υπερσυμπιεστή καυσαερίων αυξάνεται με την αύξηση της παροχής καυσαερίων από το κινητήρα (άρα με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα), με την αύξηση της θερμοκρασίας εισαγωγής των καυσαερίων στον στρόβιλο, η οποία σχετίζεται με το φορτίο του κινητήρα, καθώς και με τη μείωση της επιφάνειας των ακροφυσίων του στρόβιλου σε στρόβιλο μεταβλητής γεωμετρίας (αύξηση πίεσης αντίθλιψης).
3. Σε σχέση με τον μηχανικά υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα, οι χαρακτηριστικές καμπύλες του υπερτροφοδοτούμενου με καυσαέρια κινητήρα είναι μετατοπισμένες λόγω της μεταβλητής πίεσης αντίθλιψης. Το σύστημα έγχυσης καυσίμου σε αυτόν με τη χρήση των καυσαερίων παίζει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του επηρεάζοντας τη θερμοκρασία/πίεση εξαγωγής καυσαερίου και άρα το έργο του στρόβιλου και το σημείο λειτουργίας του συμπιεστή.

Η επίδραση της υπερτροφοδότησης στις εκπομπές καυσαερίων

Στους κινητήρες Otto, το εύρος των επιτρεπτών τιμών του λόγου αέρα – βενζίνης περιορίζεται από τα όρια αναφλεξιμότητας. Για αύξηση της παραγόμενης ισχύος, οι κινητήρες αυτοί λειτουργούσαν παλιότερα με πλούσιο μίγμα (στο πλήρες φορτίο), δηλαδή με λόγο ισοδυναμίας βενζίνης αέρα λίγο μεγαλύτερο από 1 έως 1,15. Μέχρι κάποια στιγμή αυτό ήταν επιτρεπτό διότι οι κινητήρες Otto, σε αντίθεση με τους κινητήρες ντίζελ, δεν

εκπέμπουν καπνό. Εκπέμπουν όμως το αόρατο δηλητηριώδες μονοξείδιο του άνθρακα καθώς και τους αόρατους και βλαβερούς άκαυστους υδρογονάνθρακες.

Έτσι για περιβαλλοντικούς λόγους, αυτή η λειτουργία κατέστη μη αποδεκτή. Οι καταλυτικοί μετατροπείς στην εξαγωγή, που αφενός οξειδώνουν το CO και τους άκαυστους υδρογονάνθρακες και αφετέρου ανάγουν τα NO_x απαιτούν αυστηρά στοιχειομετρικό μίγμα, με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου (έναντι λειτουργίας με πτωχό μίγμα).

Επιπλέον μέτρο, για τη μείωση των εκπομπών ρύπων είναι ένα πτωχότερο μίγμα (κάτι που επηρεάζει το CO και τους υδρογονάνθρακες) και η μείωση της προπορείας έναυσης (επηρεάζει τα NO_x λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών). Και τα δύο παραπάνω μέτρα όμως μειώνουν αισθητά τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ.

Η εφαρμογή της υπερσυμπίεσης προορίζεται κυρίως για την αντιστάθμιση αυτής της μείωσης. Ο υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας παράγει την ίδια ή και μεγαλύτερη ισχύ από έναν κινητήρα φυσικής αναπνοής που δε διαθέτει κάποιο σύστημα επεξεργασίας καυσαερίων, ενώ οι εκπομπές του είναι πιθανώς μικρότερες από έναν «καθαρό» (πχ με χρήση καταλυτικού μετατροπέα) κινητήρα φυσικής αναπνοής. Προφανώς η σωστή ρύθμιση ενός κινητήρα Otto είναι πολύ σημαντική.

Το βασικότερο θέμα όσον αφορά στις εκπομπές ρύπων από κινητήρες με υπερσυμπιεστή καυσαερίων εντοπίζεται κατά τη μεταβατική λειτουργία δηλαδή κατά την επιτάχυνση των οχημάτων.

Εκπομπές ρύπων και ανάλυση του φαινομένου της μείωσης του μεγέθους του κινητήρα (downsizing)

Τα επίπεδα εκπομπών ρύπων είχαν αυξηθεί πολύ εξαιτίας των μέσω μαζικής μεταφοράς κυρίως. Αυτό οδήγησε στην υπογραφή του πρωτόκολλου του Κιότο (Kyoto Protocol), μία συνθήκη που δεσμεύει τις χώρες μέλη για τη μείωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα μέσα μαζικής μεταφοράς είναι υπεύθυνα για το 20% του συνόλου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), με τα επιβατικά αυτοκίνητα να συνεισφέρουν περίπου το 12%. Πλέον έχουν εκδοθεί κοινοτικές οδηγίες για τις υποχρεώσεις των οχημάτων ως προς τα επίπεδα ρύπων. Ύστερα από την συμφωνία για μείωση των ρύπων των νέων οχημάτων από το 2008, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου είναι ένας από τους κύριους στόχους στον τομέα ανάπτυξης κινητήρων στις βιομηχανίες παραγωγής μέσω μαζικής μεταφοράς.

Στη σύγχρονη εποχή πολλές τεχνολογίες έχουν εφαρμογή στους βενζινοκινητήρες εσωτερικής καύσης για την επίτευξη των παραπάνω στόχων. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι:

- Άμεσος ψεκασμός, για πιο ομογενοποιημένο μίγμα και κατ'εξακολούθηση καύση.
- Βαλβίδες μεταβλητού χρονισμού (με αλλαγή βύθισης και διάρκειας).
- Απενεργοποίηση κάποιων κυλίνδρων όταν δεν είναι απαραίτητη η πλήρης ισχύ.

- Ελεγχόμενη αυτανάφλεξη ή ομοιογενή ανάφλεξη με συμπίεση.
- Μείωση του μεγέθους του κινητήρα (Engine downsizing).

Η μείωση του μεγέθους του κινητήρα είναι μια διαδικασία όπου οι παράγοντες λειτουργίας της ταχύτητας και του φορτίου μεταφέρονται σε μία περιοχή με μεγαλύτερη επάρκεια διατηρώντας παράλληλα μέρος της απόδοσης. Με απλά λόγια είναι η μείωση της χωρητικότητας ή και των κυλίνδρων ενός κινητήρα για να επιτευχθεί καλύτερη οικονομία και εκπομπές ρύπων. Έχουμε συνηθίσει να χαρακτηρίζουμε την υπερσυμπίεση ως διαδικασία βελτίωσης επιδόσεων και όχι ως βελτίωση απόδοσης και κατανάλωσης. Αυτή είναι λανθασμένη αντίληψη διότι με πρακτική εφαρμογή και μετρήσεις παρατηρούμε ότι είναι εφικτό ίδιας τεχνολογίας κινητήρες μικρότερου κυβισμού να αποδίδουν όσο μεγαλύτεροι και με μικρότερη κατανάλωση.

Εκτός αυτού υπάρχει και το ζήτημα των απωλειών (θερμικών, μηχανικών, τριβής, άντλησης κ.α.). Μειώνοντας τη χωρητικότητα ενός κινητήρα μειώνουμε και την απόλυτη τιμή των απωλειών. Με την υπερτροφοδότηση αυξάνουμε τόσο την θερμική όσο και την ογκομετρική απόδοση ενός κινητήρα και μάλιστα θεαματικά ώστε να υπερτερεί σε δύναμη και σε ροπή από έναν μεγαλύτερης χωρητικότητας αλλά με βελτιωμένη κατανάλωση. Αυτή η διαδικασία έχει οδηγήσει τις αυτοκινητοβιομηχανίες σε σημαντική αύξηση των οχημάτων που τη χρησιμοποιούν.

Έτσι από τους παλιούς ατμοσφαιρικούς κινητήρες 1600 – 1800 – 2000 κυβικών εκατοστών υψηλής κατανάλωσης και ρύπων περάσαμε στους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες 900 – 1200 – 1400 κυβικών εκατοστών ίσης ισχύος με μειωμένη κατανάλωση και ρύπους. Από τους πιο διαδεδομένους κινητήρες ο υπερτροφοδοτούμενος 1400 κ.εκ. της Volkswagen GROUP που αντικατέστησε τους κινητήρες 1600 και 2000 κ.εκ. ο οποίος είχε ισχύ 170Hp και 5% λιγότερη κατανάλωση από τον 2000 κ.εκ. που αντικατέστησε.

Σκοπός της υπερτροφοδότησης

Σκοπός της υπερτροφοδότησης είναι η αύξηση της παροχής και της πυκνότητας του αέρα στους κυλίνδρους της κινούμενης μηχανής, λόγω της υπερπίεσης που αναπτύσσεται στον εισερχόμενο αέρα και έτσι επιτρέπει την έγχυση περισσότερου καυσίμου ώστε να έχουμε αύξηση της ισχύος διατηρώντας το ίδιο μέγεθος κινητήρα. Η βασική επιδίωξη είναι η λειτουργία του συστήματος με μέγιστο βαθμό απόδοσης χωρίς την απώλεια ευκολίας στη χρήση του κινητήρα και παράλληλα να διατηρήσουμε την κατανάλωση σε επιθυμητά επίπεδα.

Η υπερτροφοδότηση έχει αποδειχτεί η πιο επιτυχής μέθοδος αύξησης ισχύος αναλογικά με το κόστος μετατροπής, δηλαδή η μέθοδος με την οποία θα πετύχουμε την περισσότερη ιπποδύναμη με τα δυνατόν λιγότερα χρήματα.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υπερτροφοδότησης

Τα πλεονεκτήματα είναι:

- Μικρότερος φυσικός όγκος δηλαδή μικρότερος αριθμός κυλίνδρων, μικρότερο μήκος κινητήρα (downsizing).
- Αύξηση της ισχύος και της ροπής στρέψης.
- Μικρότερο ποσοστό τριβών λόγω του μικρότερου αριθμού κυλίνδρων άρα και του μικρότερου αριθμού εδράνων.
- Βελτίωση του ωφέλιμου βαθμού απόδοσης.
- Μικρότερο βάρος, μεγαλύτερη ειδική μάζα.
- Χαμηλότερο κόστος ανά μονάδα εξαγόμενης ισχύος, ειδικά για μεγαλύτερων διαστάσεων κινητήρες.
- Μειωμένος θόρυβος στην εξαγωγή λόγω του στροβίλου καυσαερίων.
- Μικρότερη επίδραση της μείωσης της πυκνότητας του αέρα περιβάλλοντος.
- Χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων σε μόνιμη κατάσταση (υπό συγκεκριμένες συνθήκες).
- Μείωση της καθυστέρησης ανάφλεξης λόγω αυξημένων θερμοκρασιών εντός του κυλίνδρου, ειδικά για κινητήρες ντίζελ.
- Λιγότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου.

Τα μειονεκτήματα της υπερπλήρωσης είναι:

- Υψηλότερη μηχανική και θερμική φόρτιση.
- Αργή επιτάχυνση από χαμηλές στροφές, σε συστήματα στροβιλο-υπερπλήρωσης (φαινόμενο turbo-lag).
- Αυξημένες εκπομπές ρύπων κατά τη μεταβατική λειτουργία για συστήματα στροβιλο-υπερπλήρωσης.
- Αυξημένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO_x λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών κύκλου (για τις περιπτώσεις που δεν έχουμε ενδιάμεση ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης).

Υστέρηση υπερπλήρωσης (turbolag)

Το βασικό μειονέκτημα της υπερτροφοδότησης κατά τη μεταβατική λειτουργία εντοπίζεται στη μη - μηχανική σύνδεση του κινητήρα (στροφαλοφόρος άξονας) με το ζεύγος υπερπλήρωσης. Ως αποτέλεσμα αυτού κατά την αύξηση των στροφών ή φορτίου του κινητήρα, το παραγόμενο από τον στρόβιλο έργο πρέπει πρώτα να υπερνικήσει την αδράνεια του ζεύγους υπερπλήρωσης, ώστε στη συνέχεια να μπορέσει να επιταχύνει τον συμπιεστή, που με τη σειρά του θα τροφοδοτήσει τον κινητήρα με την αυξημένη παροχή αέρα που απαιτείται για να αντιμετωπιστεί το αυξημένο φορτίο ή για να επιτευχθεί η επιθυμητή αύξηση στροφών.

Στην πράξη, η εντολή του οδηγού για αύξηση στροφών μέσω της ρυθμιστικής βαλβίδας σε κινητήρες επιβατικών οχημάτων οδηγεί σχεδόν σε ακαριαία αύξηση της παροχής του εγχυόμενου καυσίμου στους κυλίνδρους.

Όμως, ο συμπιεστής δεν μπορεί να ανταποκριθεί εξίσου άμεσα και να τροφοδοτήσει τον κινητήρα με την αναλογικά απαιτούμενη αυξημένη ποσότητα αέρα, αφού ο στρόβιλος που τον κινεί δεν έχει προλάβει να αυξήσει το παραγόμενο έργο αποτόνωσης. Αυτό συμβαίνει γιατί:

- Πρέπει πρώτα να αυξηθούν οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες εντός του κυλίνδρου.
- Πρέπει να επιταχυνθεί το ρεύμα καυσαερίου στην πολλαπλή εξαγωγής.
- Χάνονται πολύτιμα ποσά θερμότητας προς τα πιο ψυχρά τοιχώματα του κυλίνδρου και της πολλαπλής εξαγωγής.
- Πρέπει να επιταχυνθεί ο κινηματικός μηχανισμός του κινητήρα (έμβολα, διωστήρες, στροφαλοφόρος άξονας) και κυρίως,
- Το ποσό ενέργειας που είναι τελικά διαθέσιμο για αποτόνωση στον στρόβιλο πρέπει να υπερνικήσει την αδράνεια του ζεύγους υπερπλήρωσης, η οποία συνήθως είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Επομένως, στους πρώτους κύκλους μετά από το απότομο άνοιγμα των ρυθμιστικών βαλβίδων ή του φορτίου, παρατηρείται ανακολουθία ανάμεσα στην (αυξημένη) παροχή καυσίμου και στην ακόμα χαμηλή ποσότητα του παρεχόμενου αέρα. Μετά την πάροδο μερικών δευτερολέπτων, οπότε και έχει επιταχυνθεί το ζεύγος υπερπλήρωσης, μπορεί ο συμπιεστής, κινούμενος πλέον σε αρκετά υψηλότερες στροφές να παρέχει την επιπλέον ποσότητα αέρα στο κύλινδρο. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με τον όρο υστέρηση υπερπλήρωσης (turbolag).

Υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του υπερτροφοδοτούμενου βενζινοκινητήρα που οδηγούν στο να υπάρχει υστέρηση υπερπλήρωσης χειρότερη από αυτή ενός κινητήρα ντίζελ. Πρώτον, οι βενζινοκινητήρες είναι ελαφρύτεροι και ομαλότεροι, κάτι που επιτρέπει την χρησιμοποίηση σφονδύλων. Κατά συνέπεια οι βενζινοκινητήρες ανταποκρίνονται γενικά καλύτερα από τους ντίζελ και η υστέρησή του υπερσυμπιεστή στην αύξηση παροχής αέρα στη μηχανή γίνεται πιο ορατή. Δεύτερον, ο βενζινοκινητήρας λειτουργεί σε ευρύτερο φάσμα παροχής μάζας, ανεβάζοντας στροφές από χαμηλή ταχύτητα (λειτουργία στο ρελαντί) μέχρι να φτάσει σε πλήρη ταχύτητα. Κατά συνέπεια η απαίτηση παροχής αέρα μπορεί να αλλάξει πολύ γρήγορα όταν ξαφνικά η ρυθμιστική βαλβίδα ανοίξει και τότε η υστέρηση υπερπλήρωσης γίνεται αντιληπτή εύκολα από τον οδηγό.

Αν και γίνονται από καιρό σε καιρό διάφορες υπερβολικές δηλώσεις σχετικά με τα συστήματα που εξαλείφουν την υστέρηση υπερπλήρωσης, πρέπει να προσφύγουμε σε κάποια πρόσθετη ενεργειακή εισαγωγή, εάν θέλουμε να αποβάλουμε την καθυστέρηση αυτή. Εντούτοις, μπορεί βεβαίως να μειωθεί απλά και με λογικό σχεδιασμό. Οι σημαντικότεροι παράγοντες είναι η αδράνεια του υπερσυμπιεστή, ο χρονισμός έναυσης, το σύστημα ελέγχου ώθησης (πίεση υπερπλήρωσης), το μήκος και η διάμετρος των συστημάτων της πολλαπλής εισαγωγής και εξαγωγής και η θέση των ρυθμιστικών βαλβίδων.

Παραδείγματος χάριν, μία μηχανή με βαλβίδα ανακούφισης καυσαερίων επιτρέπει την εγκατάσταση ενός μικρού υπερσυμπιεστή (χαμηλής αδράνειας) με συνέπεια γρηγορότερη απόκριση από αυτή που θα είχαμε σε μία μηχανή χωρίς την βαλβίδα και με μεγαλύτερο υπερσυμπιεστή.

Οι μηχανές επιβατικών οχημάτων λειτουργούν πραγματικά υπό ασταθείς όρους τις περισσότερες φορές. Μόνο κατά τη διάρκεια σταθερής οδήγησης σε

αυτοκινητόδρομους, οι συνθήκες αυτές ομαλοποιούνται. Κατά συνέπεια είναι πάρα πολύ σημαντικό να ρυθμίσουμε τον υπερσυμπιεστή για τις παροδικές αυτές συνθήκες, κάτι το οποίο σημαίνει συνήθως την προσαρμογή ενός ελαφρώς μικρότερου υπερσυμπιεστή από αυτόν που θεωρείται καλύτερος για τις συνθήκες σταθερής ταχύτητας. Λόγω της υστέρησης του υπερσυμπιεστή, όταν ξαφνικά ανοίγει η ρυθμιστική βαλβίδα, ο κινητήρας συμπεριφέρεται όπως ένας φυσικής αναπνοής και με αυξημένη κατανάλωση.

Η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής (rpm) στην οποία αναπτύσσεται υπερπίεση στην χαρακτηριστική της μηχανής σε μόνιμη λειτουργία, θα επηρεάσει την απόκριση. Παραδείγματος χάριν, υπερπίεση στην εφαρμογή μας αρχίζει να εφαρμόζεται μετά τις 5500rpm. Από τις 1200rpm που είναι το ρελαντί του κινητήρα μέχρι τις 5500rpm με το απότομο άνοιγμα της ρυθμιστικής βαλβίδας θα υπάρξει φαινόμενο υστέρησης μέχρις ότου ξεπεραστεί το όριο των στροφών αυτών.

Μία υπερτροφοδοτούμενη μηχανή με υψηλό βαθμό συμπίεσης και μεταβλητό χρονισμό έναυσης θα αντιδράσει γρηγορότερα από μία μηχανή χαμηλής συμπίεσης λόγω της επίδρασης του βαθμού συμπίεσης και του χρονισμού στην ισχύ εξόδου. Το πλεονέκτημα της βέλτιστης έναυσης είναι διαθέσιμο ελλείψει της πίεσης υπερπλήρωσης.

Μέθοδοι βελτίωσης της επιτάχυνσης των κινητήρων με υπερσυμπιεστή καυσαερίων

Το πρόβλημα της μεταβατικής λειτουργίας ενός υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα έχει τις ρίζες του στο ταίριασμα μεταξύ κινητήρα και υπερσυμπιεστή, αλλά και στις μη ευνοϊκές καμπύλες του συμπιεστή, όπου για να επιτευχθεί αυξημένη πίεση υπερπλήρωσης (άρα και ροπή στον κινητήρα) και μεγάλη παροχή αέρα απαιτείται υψηλή ταχύτητα περιστροφής του ζεύγους κινητήρα υπερσυμπιεστή. Για κινητήρες τύπου ναυτικών πλοίων ή βιομηχανικούς το ταίριασμα μπορεί να γίνει εύκολα αφού λειτουργούν σε ένα στενό πεδίο στροφών – φορτίων.

Σε περιπτώσεις οχημάτων αντιμετωπίζουμε αρκετές δυσκολίες. Για παράδειγμα, αν η μετατροπή γίνει με στόχο την απόδοση σε υψηλές ταχύτητες, πράγμα που συνεπάγεται υπερσυμπιεστή μεγάλων διαστάσεων, ο οποίος κατά συνέπεια θα είναι περισσότερο δυσκίνητος σε χαμηλά φορτία – στροφές και άρα θα έχει αργές επιταχύνσεις. Αντίστοιχα αν γίνει με βάση τη λειτουργία του κινητήρα στο μερικό φορτίο, θα υπάρχει υπερπροσφορά ισχύος στις υψηλές στροφές ή φορτία με κίνδυνο βλάβης (φαινόμενο overboosting).

Μέθοδοι για την αντιμετώπιση της υστέρησης του υπερσυμπιεστή:

1. Μέγεθος του υπερσυμπιεστή. Πρόκειται για τη συνηθέστερη λύση που συνίσταται στη χρήση ελαφρύτερου ή μικρότερων διαστάσεων υπερσυμπιεστή και απόρριψη του περισσευούμενου αέρα υπερπλήρωσης από τη βαλβίδα ανακούφισης συμπίεσμένου αέρα ή συνηθέστερα από τη βαλβίδα ανακούφισης καυσαερίων. Έτσι ο κινητήρας εφοδιάζεται με μικρότερων διαστάσεων υπερσυμπιεστή, ο οποίος πλέον λόγω της μικρότερης ροπής αδράνειας και μικρότερου βάρους επιταχύνεται γρηγορότερα. Έχουμε γρηγορότερη απόκριση του

κινητήρα και πολύ σύντομα πλεόνασμα συμπιεσμένου αέρα τον οποίο απελευθερώνουμε κάνοντας χρήση μίας εκ των δύο βαλβίδων. Παρόμοιας λογικής είναι τα συστήματα με διπλό υπερσυμπιεστή (bi-turbo).

2. Έλεγχος του υπερσυμπιεστή. Πραγματοποιείται μέσω μεταβλητής γωνίας ακροφυσίου του στροβίλου ή μεταβλητού πλάτους του σπειροειδούς κελύφους του στροβίλου. Με το σύστημα αυτό μεταβάλλεται η ενεργή επιφάνεια του στροβίλου, με αποτέλεσμα τη διαρκή ρύθμιση της πίεσης υπερπλήρωσης. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα επιτυχημένο και αποδοτικό σύστημα. Για να γίνει αυτό απαιτείται ένα σύνθετο σύστημα ελέγχου πχ πνευματικό και κατά βάση σήμερα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο το οποίο να λαμβάνει πληροφορίες όπως στροφές, φορτίο, άνοιγμα τις βαλβίδας ανακούφισης καυσαερίων κ.α. και έτσι ρυθμίζει κατάλληλα τη θέση των πτερυγίων του στροβίλου ώστε να επιτυγχάνεται, συνήθως, η βέλτιστη ειδική κατανάλωση καυσίμου.
3. Συμπληρωματικός υπερσυμπιεστής καυσαερίων ή μηχανικός. Σε αυτή την περίπτωση συμπληρωματικός του πρωτεύοντα συμπιεστή χρησιμοποιείται ένας δεύτερος συμπιεστής, μικρότερος ή μεγαλύτερος από τον πρώτο για να καλύπτεται το εύρος των απαιτούμενων παροχών αέρα χωρίς μεγάλη χρονική καθυστέρηση

Αρχή λειτουργίας υπερσυμπιεστή καυσαερίων

Αυτή η κατηγορία συμπιεστή (συμπιεστής κινούμενος από στρόβιλο καυσαερίου) εκμεταλλεύεται μέρος του ποσού της ενέργειας της βενζίνης που θεωρούμε ως απώλεια μέσω των καυσαερίων. Ο υπερσυμπιεστής καυσαερίων αποτελείται από δύο τμήματα, τον συμπιεστή και τον στρόβιλο. Συμπιεστής και στρόβιλος είναι μηχανικά συνδεδεμένοι στην ίδια άτρακτο, το οποίο σημαίνει ότι το έργο για την κίνηση του συμπιεστή παρέχεται από τον στρόβιλο χωρίς να αφαιρείται πολύτιμο μηχανικό έργο από τον κινητήρα. Κατά την περιστροφή της πτερωτής αναρροφάται αέρας του οποίου αυξάνεται η κινητική ενέργεια καθώς η στεφάνη περιστρέφεται με υψηλή ταχύτητα. Η αποστολή του κελύφους είναι να μετατρέψει το ρεύμα του αέρα χαμηλής πίεσης και υψηλής ταχύτητας σε υψηλή πίεσης – χαμηλής ταχύτητας για να τροφοδοτηθεί ο κινητήρας.

Ο στρόβιλος μπορεί να έχει μία ή δύο εισόδους για το καυσαέριο ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων και τη διαμόρφωση της πολλαπλής εξαγωγής και αποτελείται επίσης από δύο τμήματα, την κινητή πτερωτή και το κέλυφος. Τα καυσαέρια αποτονώνονται στην πτερωτή, όπου έχουν οδηγηθεί μέσω του σταθερού κελύφους, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια τους σε μηχανική στην άτρακτο. Στο κέλυφος, έχει πραγματοποιηθεί η κύρια μετατροπή της στατικής πίεσης εισόδου σε κινητική ενέργεια.

Η λίπανση επιτυγχάνεται με χρήση ελαίου, συνήθως από το σύστημα λίπανσης του κινητήρα. Το λάδι παρέχεται υπό πίεση στους τριβείς, ενώ δρα ως ψυκτικό μέσο, απορροφώντας την παραγόμενη στο στρόβιλο θερμότητα. Σε κάποια μοντέλα υπάρχει και υποδοχή στην άτρακτο του υπερσυμπιεστή για σύνδεση στο ψυκτικό κύκλωμα της μηχανής για επιπλέον απορρόφηση

θερμότητας. Το κέλυφος των τριβών κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο (μαντέμι) ενώ οι τριβείς από ειδικά κράματα ορείχαλκου ή αλουμινίου.

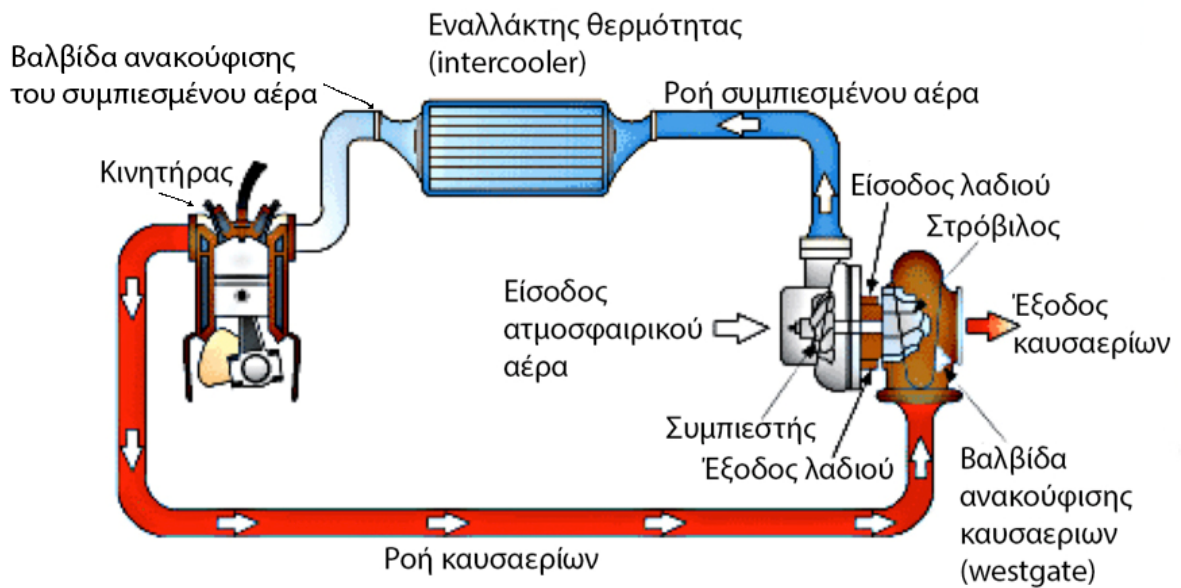
Ως αποτέλεσμα της συμπίεσης του αέρα έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας. Ο συμπιεσμένος πλέον αέρας οδηγείται μέσω αγωγών (σε αυτοκίνητα μηχανές μέσω κυκλώματος σωλήνων σιλικόνης και αλουμινίου) στον εναλλάκτη θερμότητας (intercooler) έτσι ώστε να επιτύχουμε την ψύξη του. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα του ψυχρότερου αέρα όταν εισέρχεται στους κυλίνδρους του κινητήρα διατηρούν τις θερμοκρασίες του κύκλου λειτουργίας του χαμηλότερες που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε κινητήρες Otto εξαιτίας του προβλήματος της κρουστικής καύσης (πειράκια), αλλά και σε όλους τους άλλους κινητήρες για μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του αζώτου (NO_x).

Από τον εναλλάκτη θερμότητας οδηγείται σε ειδικό δοχείο εισαγωγής κατασκευασμένο συνήθως από αλουμίνιο το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την τροφοδοσία καυσίμου (καρμπυρατέρ ή ηλεκτρονικό ψεκασμό). Εκεί συνήθως είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα η βαλβίδα ανακούφισης του συμπιεσμένου αέρα κοινώς σκάστρα: όσο γίνεται πιο κοντά στην πεταλούδα εισαγωγής. Ανοίγει όταν οι πεταλούδες του συστήματος εισαγωγής κλείνουν δηλαδή όταν «αφήνουμε το γκάζι».

Τότε η κινητική ενέργεια των αερίων που ωθούμενα από τον υπερσυμπιεστή πηγαίνουν προς τους κυλίνδρους μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία στις πεταλούδες και απότομη αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης αφού δεν μπορεί να πάει εμπρός αυξάνεται κατακόρυφα η πίεση μέχρι και 5 φορές πάνω από την συμπίεση και μπορεί να χαλάσουν οι σωληνώσεις και να φρενάρει ο υπερσυμπιεστής. Η βαλβίδα αυτή απελευθερώνει την παραπάνω ποσότητα αέρα επιτρέποντας έτσι στην πτερωτή να συνεχίσει να γυρίζει (ετοιμότητα όταν πατηθεί το γκάζι, λιγότερη καθυστέρηση της απόκρισης του υπερσυμπιεστή (turbo lag). Λειτουργεί σε πίεση σαφώς μεγαλύτερη της πίεσης του υπερσυμπιεστή.

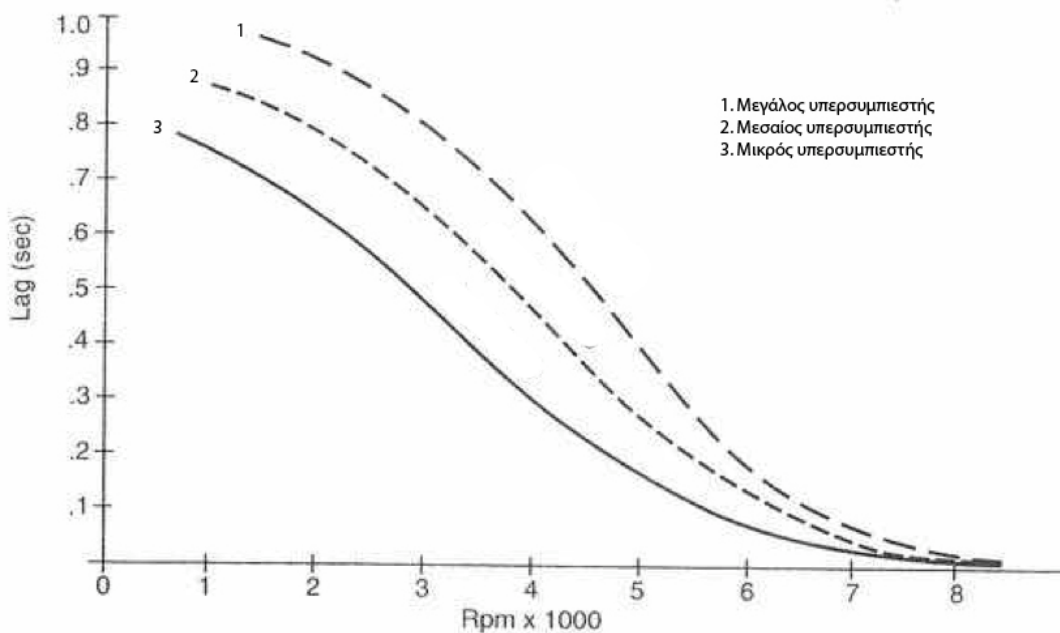
Στην πλευρά του στροβίλου είναι συνδεδεμένη εσωτερική ή εξωτερική η βαλβίδα παράκαμψης καυσαερίων, αφήνει μέρος των καυσαερίων να πάνε προς την εξάτμιση παρακάμπτοντας την πτερωτή περιορίζοντας έτσι τη μέγιστη πίεση συμπίεσης. Βρίσκεται πάνω στον υπερσυμπιεστή στην πλευρά του στροβίλου και είναι συνδεδεμένο στο ένα άκρο της με τη μεριά του συμπιεστή, όταν η πίεση στο διαμέρισμα φρέσκου αέρα πλησιάζει την επιθυμητή τότε αρχίζει να ανοίγει. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ. 3) φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας ενός κινητήρα Otto με χρήση υπερτροφοδότη καυσαερίων.

Εικόνα 3



Καυστέρηση της απόκρισης του υπερσυμπιεστή (turbo lag) ο χρόνος που απαιτείται ώστε να επιταχύνει η πτερωτή και να ανεβάσει πίεση. Όσο μεγαλύτερη είναι η πτερωτή τόσο πιο μεγάλη η αδράνειά της άρα θα αργήσει να ανεβάσει πίεση αλλά και τόσο μεγαλύτερη η απόδοσή της όταν ανεβάσει πίεση. Το αποτέλεσμα είναι μια καθυστέρηση από το πάτημα του γκαζιού μέχρι την απόκριση του κινητήρα και θεαματική και απότομη αύξηση της ισχύος. Μια (σχετικά) μικρή πτερωτή γυρίζοντας εύκολα ακόμα και με μικρή ποσότητα καυσαερίων μπορεί να ανεβάζει πιο σταδιακά την πίεση. Η αναλογία διάστασης της πτερωτής σε σχέση με την υστέρηση απόκτησης φαίνεται στην Εικ. 3.

Εικόνα 3



Τύποι υπερσυμπιεστών

Σε κάθε μελέτη υπερπλήρωσης των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης είναι σημαντική μία επισκόπηση των βασικών χαρακτηριστικών των διαφόρων τύπων συμπιεστών, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος «ταιριάσματος» του συμπιεστή με τον κινητήρα.

Οι δύο βασικοί τύποι συμπιεστών είναι:

1. Συμπιεστής εκτόπισης.
2. Συμπιεστής δυναμικής ροής.

Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει εμβολοφόρους και περιστροφικούς συμπιεστές, όπως συμπιεστές πολλαπλών πτερυγίων, λοβοειδής (roots), και κοχλιοειδής (lysholm). Οι συμπιεστές δυναμικής ροής είναι υποηχητικής ροής, ακτινικής (φυγοκεντρικής), αξονικής ή μικτής σχεδίασης, συνεχούς ροής, με αυτούς της ακτινικής σχεδίασης να χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά σε εφαρμογές στροβιλο - υπερπλήρωσης μηχανών εσωτερικής καύσης.

Γενικά, είναι χρήσιμο να απεικονίζουμε τις χαρακτηριστικές λειτουργίες των υπερσυμπιεστών με τέτοιο τρόπο που θα επιτρέπει σύγκριση ανάμεσα σε διαφορετικούς σχεδιασμούς και μεγέθη. Για να γίνει αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάποιες αδιάστατες παράμετροι. Τα πιο σημαντικά μεγέθη που περιγράφουν τη λειτουργία του συμπιεστή είναι η παροχή αέρα, ο λόγος πιέσεων, η ταχύτητα περιστροφής και η διάμετρος της πτερωτής. Το πεδίο λειτουργίας ενός συμπιεστή παρουσιάζεται γραφικά σε ένα διάγραμμα παροχής όγκου – λόγου πιέσεων (airflow - pressure ratio), που αποτελεί το λεγόμενο χάρτη του συμπιεστή. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα σχεδιάζεται ο λόγος πιέσεων συναρτήσει της παροχής του όγκου του συμπιεστή, για καμπύλες σταθερής ταχύτητας περιστροφής (στροφές λειτουργίας του συμπιεστή) και σταθερού βαθμού απόδοσης – επάρκειας.

Ο χάρτης λειτουργίας ενός συμπιεστή δυναμικής ροής είναι σαφώς διαφορετικός από αυτόν ενός συμπιεστή εκτόπισης, έχοντας τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Οι καμπύλες σταθερής ταχύτητας περιστροφής έχουν μεταβλητή κλίση. Για ακτινικούς συμπιεστές, είναι πρακτικά οριζόντιες κοντά στη γραμμή πάλμωσης και πέφτουν απότομα με την απομάκρυνση από αυτήν. Για αξονικούς συμπιεστές δε, είναι αρκετά κεκλιμένες ακόμα και κοντά στη γραμμή πάλμωσης.
- Ο λόγος πιέσεων σχετίζεται με την ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή, συγκεκριμένα, υψηλός λόγος πιέσεων (άρα και μεγάλη μέση πραγματική πίεση του κινητήρα) μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής του συμπιεστή.
- Υπάρχει μια περιοχή ασταθούς λειτουργίας, αριστερά της γραμμής πάλμωσης, εντός της οποίας είναι πρακτικά αδύνατη η λειτουργία του συμπιεστή. Ως εκ τούτου, είναι αδύνατον να επιτευχθεί υψηλός λόγος πιέσεων σε μικρή παροχή.

Οι απώλειες τριβών, πχ κατά μήκος των τοιχωμάτων των αγωγών, μετατρέπονται απευθείας σε θερμότητα, γεγονός που οδηγεί σε ανύψωση της θερμοκρασιακής στάθμης του αέρα, οπότε και η συμπίεση είναι πολυτροπική. Παραλείποντας τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον (παραδοχή που είναι επιτρεπτή λόγω των μεγάλων παροχών και των μικρών επιφανειών

ακτινοβολίας), ο βαθμός απόδοσης – επάρκειας (μη συμπεριλαμβανομένων της μηχανικής τριβής και της διαρροής ρευστού) μπορεί να προσδιοριστεί απλά από τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις στην εισαγωγή και την εξαγωγή του συμπιεστή, όπου για τις πιέσεις χρησιμοποιούνται οι ολικές τιμές (ανακοπή).

Τιμές του βαθμού απόδοσης – επάρκειας $\eta = 80\% - 85\%$ για $V = 0,5\text{m}^3/\text{s} - 1,0\text{m}^3/\text{s}$ καθώς και $\eta = 84\% - 85\%$ για $V = 3,0\text{m}^3/\text{s}$ θεωρούνται αρκετά καλές, αν και σε μικρότερων διαστάσεων συμπιεστές (πχ για χρήση σε αυτοκίνητα ή μοτοσυκλέτες) τυπικότερες τιμές είναι γύρω στο 70 – 75%, με αντίστοιχη ταχύτητα περιστροφής να φτάνει και 180000-200000rpm.

Παρόλο που διαφορετικοί σχεδιασμοί συμπιεστών οδηγούν σε διαφορετικούς χάρτες, οι χάρτες όλων των συμπιεστών δυναμικής ροής μπορούν να ταξινομηθούν, άρα και να μελετηθούν μαζί.

Κρουστική Καύση (πειράκια) σε ένα κινητήρα Όττο

Σε έναν βενζινοκινητήρα ο αέρας και το καύσιμο αναμιγνύονται πριν εισέλθει ο αέρας στους κυλίνδρους, είτε χρησιμοποιείται σύστημα με εξαερωτή, είτε με έγχυση βενζίνης πολλαπλών σημείων (multi - point injection). Ο κύλινδρος συμπιέζει ένα ομογενές μίγμα καυσίμου – αέρα, με την αναλογία του μίγματος να είναι ελεγχόμενη προσεκτικά και κοντά στη στοιχειομετρική αναλογία. Εξαιρέση αποτελούν οι κινητήρες «στρωματοποιημένης καύσης» οι οποίοι προσεγγίζουν περισσότερο τους κινητήρες ντίζελ. Το ομογενές μείγμα αναφλέγεται με τη βοήθεια του σπινθηριστή (μπουζί) και η φλόγα επεκτείνεται μέσα στο θάλαμο καύσης μέχρι να καεί ολόκληρο το καύσιμο. Κρουστική καύση είναι το φαινόμενο της αυτανάφλεξης του μίγματος από υψηλή θερμοκρασία που προέρχεται από τη συμπίεσή του. Ένας κινητήρας με κρουστική καύση ύστερα από πολύωρη χρήση θα οδηγήσει σε αστοχία υλικού.

Η αυτανάφλεξη αποφεύγεται κρατώντας το βαθμό συμπίεσης χαμηλό, ώστε η θερμοκρασία του μίγματος να διατηρείται κάτω από το σημείο αυτανάφλεξης του, αλλά και χρησιμοποιώντας καύσιμο με υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης. Για τους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες το φαινόμενο επιδεινώνεται οπότε είναι απαραίτητη η επιπλέον ψύξη του μίγματος πριν εισέλθει στο θάλαμο καύσης.

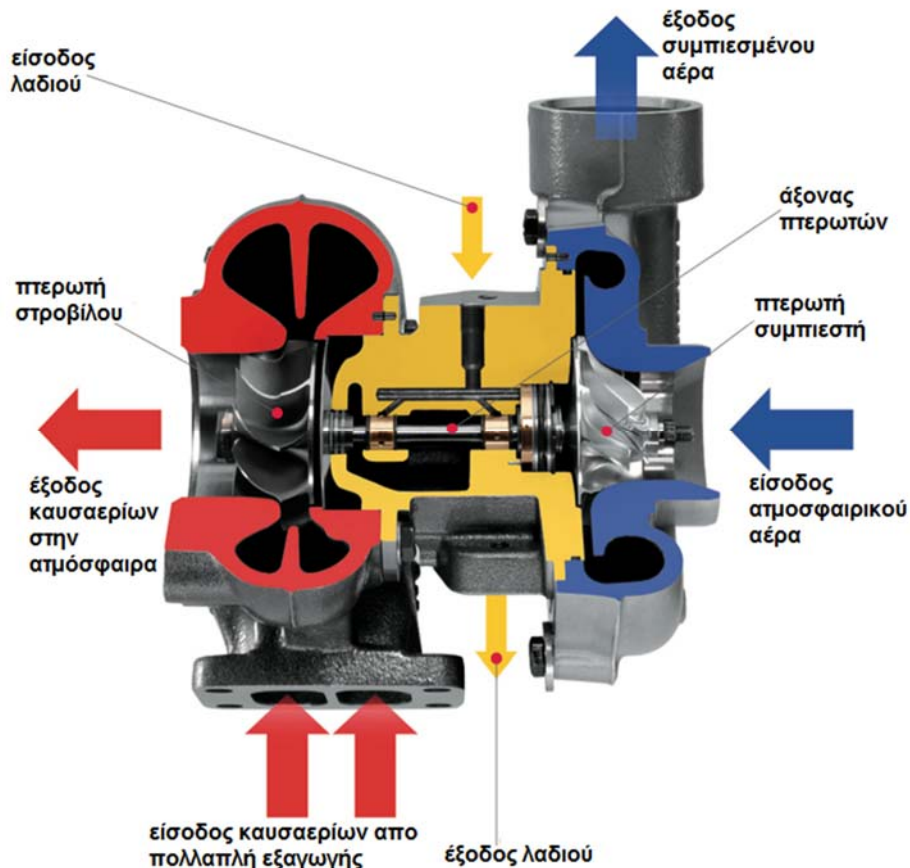
Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας αέρα υπερπίεσης όπως θα δούμε στη συνέχεια, εξάρτημα που κάνει τη χρήση του επιτακτική για λόγους απόδοσης του συστήματος αλλά και για ασφάλεια και διάρκεια ζωής του. Για την περίπτωση του υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα ίσως είναι απαραίτητη η βραδυπορία του χρονισμού έναυσης για να αντισταθμιστεί η επίδραση της αύξησης πίεσης του αερίου μίγματος.

Βασικά μέρη των υπερσυμπιεστών

Ο υπερσυμπιεστής καυσαερίων αποτελείται από 3 βασικά μέρη, όπως φαίνεται (Εικ. 4):

- Τον συμπιεστή (μπλε χρώμα)
- Τον στρόβιλο (κόκκινο χρώμα)
- Την άτρακτο με τα έδρανα ολίσθησης (κίτρινο χρώμα)
- Τον άξονα με τις δύο πτερωτές.

Εικόνα 4



Συμπιεστής

Ο συμπιεστής αυξάνει την πυκνότητα του αέρα μέσω της αύξησης πίεσης. Από αυτόν απαιτείται μεγάλη παροχή σε σχετικά μέτριες τιμές πίεσης, καθώς και μεγάλο εύρος παροχών λειτουργίας, για να υπάρχει ευελιξία στις διάφορες εφαρμογές υπερπλήρωσης. Διακρίνονται σε θετικού εκτοπίσματος και δυναμικούς. Οι θετικού εκτοπίσματος διακρίνονται σε παλινδρομικούς και περιστροφικούς. Οι παλινδρομικοί συμπιεστές αποτελούνται από έναν ή περισσότερους κυλίνδρους με έμβολα που εκτοπίζουν συγκεκριμένο όγκο ανά εμβολισμό. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε δίχρονους κινητήρες σαν αντλίες αποπλύσεως, με βαθμό απόδοσης 60 - 70%.

Οι περιστροφικοί συμπιεστές περιλαμβάνουν τους τύπους λοβού, κοχλία, πτερυγίων και έχουν ένα ή περισσότερα περιστρεφόμενα μέρη που είτε συμπλέκονται μεταξύ τους (λοβοί και κοχλίες) είτε εκτοπίζουν έναν ορισμένο όγκο σε κάθε περιστροφή. Χρησιμοποιούνται σαν αντλίες σάρωσης σε μεσόστροφους κινητήρες και σαν υπερπληρωτές για περιορισμένο βαθμό υπερπλήρωσης σε τετράχρονους κινητήρες. Οι δυναμικοί περιλαμβάνουν τους αξονικούς και φυγοκεντρικούς συμπιεστές.

Ανάλυση του φυγοκεντρικού συμπιεστή

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές επιτυγχάνουν σημαντικά υψηλότερους λόγους πίεσεως ανά βαθμίδα, οπότε καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο. Επίσης σε μικρά μεγέθη είναι φθηνότεροι και ευκολότεροι στην κατασκευή με χύτευση, αλλά σε μεγάλα μεγέθη απαιτούν πολύπλοκη μηχανουργική επεξεργασία, που γίνεται με εργαλειομηχανές CNC. Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι πιο στιβαροί στην κατασκευή άρα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη μηχανική διάβρωση, αλλά έχουν μεγαλύτερη ροπή αδράνειας. Επίσης έχουν ευρύτερη περιοχή σταθερής λειτουργίας αλλά με μικρότερο βαθμό αποδόσεως στο σημείο σχεδιασμού και μικρότερη παροχή ανά μονάδα διατομής εισόδου. Είναι δυσκολότερο να σχεδιαστούν, διότι η ροή είναι τρισδιάστατη και συνήθως μερικά αποκολλημένα στο ακτινικό τμήμα του συμπιεστή. Σε εφαρμογές υπερπλήρωσης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά φυγοκεντρικοί συμπιεστές.

Σε υπερτροφοδότες αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φυγοκεντρικοί συμπιεστές με οπισθοκλινή πτερύγια και καλύπτρα προερχόμενοι από βιομηχανικούς συμπιεστές αλλά μόνο για χαμηλά επίπεδα υπερπλήρωσης. Για μεγαλύτερους λόγους πίεσεως, λόγω προβλημάτων με φυγοκεντρικές τάσεις εγκαταλείφθηκε η καλύπτρα καθώς και τα οπισθοκλινή πτερύγια και χρησιμοποιήθηκαν ακτινικά πτερύγια και εισαγωγέας (inducer). Ένας φυγοκεντρικός συμπιεστής αποτελείται ουσιαστικά από την πτερωτή και το διαχύτη.

Ο αέρας αναρροφάται μέσω ενός φίλτρου και μέσω των πτερυγίων συστροφής εισόδου προς το «μάτι» του στροφείου. Στην είσοδο της πτερωτής, η ροή οδηγείται προς τους οχετούς της μέσω του εισαγωγέα. Η πτερωτή αυξάνει την ενέργεια του ρευστού εκτοξεύοντας το ακτινικά και αυξάνοντας έτσι τη γωνιακή ορμή του. Η στατική πίεση καθώς και η ταχύτητα του ρευστού αυξάνονται κατά τη διέλευση από αυτή. Ο διαχύτης, που έπεται, μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ρευστού σε πίεση. Μπορεί να είναι τύπου παράλληλων τοιχωμάτων χωρίς πτερύγια ή να έχει κάποια διαμόρφωση πτερυγίων ή οχετών.

Μετά τον διαχύτη υπάρχει ένας συλλέκτης της ροής που την οδηγεί προς το σωλήνα εξόδου. Η εσωτερική ροή στους φυγοκεντρικούς συμπιεστές είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, διότι είναι σαφώς τρισδιάστατη, με μεγάλη επίδραση ιξώδους συνήθως έχει περιοχή αποκόλλησης και συχνά είναι ασταθής. Σε ένα συμπιεστή υψηλών επιδόσεων ο εισαγωγέας παράγει το μεγαλύτερο μέρος εσωτερικής διαχύσεως της πτερωτής, οπότε είναι απαραίτητο να έχει καλές επιδόσεις.

Στρόβιλος

Ο στρόβιλος παράγει το έργο εξαγοντας ενέργεια από την εκτόνωση του ρευστού που βρίσκεται σε υψηλή πίεση. Από αυτούς υπάρχει η απαίτηση, εκτός του μεγάλου εύρους παροχών, της αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες καυσαερίων καθώς και η αξιοπιστία λειτουργίας τους. Διακρίνονται σε ακτινικούς και αξονικούς ανάλογα με τη διεύθυνση ροής. Η συγκεκριμένη εφαρμογή έχει γίνει με έναν υπερτροφοδότη με ακτινικό στρόβιλο.

Ακτινικός στρόβιλος

Γενικά οι ακτινικοί (ή κεντρομόλοι) στρόβιλοι συνήθως χρησιμοποιούνται σε περιοχή παροχών από 0,1 – 2 kg/s με λόγους εκτονώσεως 2,54 – 4 και έτσι εφαρμόζονται σε υπερτροφοδότηση μικρών κινητήρων. Οι ακτινικοί στρόβιλοι μοιάζουν με φυγοκεντρικούς συμπιεστές με τα ακροφύσια να αντιστοιχούν στο διαχύτη. Μάλιστα ένας φυγοκεντρικός συμπιεστής αν περιστραφεί ανάποδα θα λειτουργήσει σαν ακτινικός στρόβιλος με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσεως. Οι ακτινικοί στρόβιλοι διατηρούν σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης ακόμα και σε πολύ μικρά μεγέθη.

Έδρανα ολίσθησης

Διάταξη εδράνων ολίσθησης

Σε έναν υπερσυμπιεστή με στρόβιλο και συμπιεστή σε κοινό άξονα υπάρχουν τέσσερις πιθανές διατάξεις εδράνων:

1. Εξωτερικά έδρανα.
2. Εσωτερικά έδρανα.
3. Εξωτερικό/Εσωτερικό έδρανο.
4. Έδρανα στη μία πλευρά.

Οι δύο τελευταίες διατάξεις πρακτικά δε χρησιμοποιούνται. Η πιο κλασική περίπτωση για υπερτροφοδότες οχημάτων είναι τα εσωτερικά έδρανα. Τέτοια έχει και ο υπερτροφοδότης της επιλογής μας.

Εσωτερικά έδρανα

Τα εσωτερικά έδρανα αφήνουν ανεμπόδιση προσαγωγή αέρα και καυσαερίων. Η διάταξη αυτή επιτρέπει σχεδίαση ευπροσάρμοστων εξαρτημάτων όπως ο συμπιεστής, το συγκρότημα εδράνων, ο στρόβιλος μαζί με τον άξονα, το κέλυφος του στροβίλου και του συμπιεστή, με αποτέλεσμα εύκολη εξάρμωση των τμημάτων για επιθεωρήσεις, αλλά όχι και των ίδιων των εδράνων, που είναι λιγότερο επισκέψιμα.

Επειδή τα έδρανα βρίσκονται κοντά μεταξύ τους η τυχόν έλλειψη ζυγοστάθμισης του στροφείου και το βάρος του προβάλλοντος τροχού του στροβίλου μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα ταλαντώσεων. Η διάμετρος των εδράνων είναι αναγκαστικά μεγαλύτερη, επειδή εφαρμόζουν στον άξονα μεταξύ στροβίλου και συμπιεστή και αυτό αυξάνει τις απώλειες τριβών. Σε απλά έδρανα χρησιμοποιείται το λιπαντικό του κινητήρα.

Είδη εδράνων

Τα είδη των εδράνων είναι τα εξής:

1. Ακτινικά έδρανα (Floating)
2. Σφαιρικά - Κυλινδρικά (ball – roller bearings)
3. Απλά έδρανα (Plain bearings)
4. Ωστικά έδρανα (Thrust bearings)

Ο υπερσυμπιεστής της επιλογής μας χρησιμοποιεί τα ακτινικά έδρανα (Floating). Τα ακτινικά έδρανα χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των ακτινικών φορτίων κατά την περιστροφή της ατράκτου. Απαιτούν υψηλό βαθμό ζυγοστάθμισης επειδή η συντήρησή τους δεν είναι ικανοποιητική με τα σημερινά δεδομένα. Βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε μεγάλο μέγεθος αργόστροφες μηχανές και σε μικρού μεγέθους υψηλόστροφες μηχανές, όμως πρέπει να περιέχουν επιπλέον ένα εξωτερικό στρώμα λιπαντικού μεταξύ εδράνου – έδρασης, εκτός του εσωτερικού μεταξύ εδράνου – άξονα, ώστε να έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή και καλή συμπεριφορά σε ταλαντώσεις.

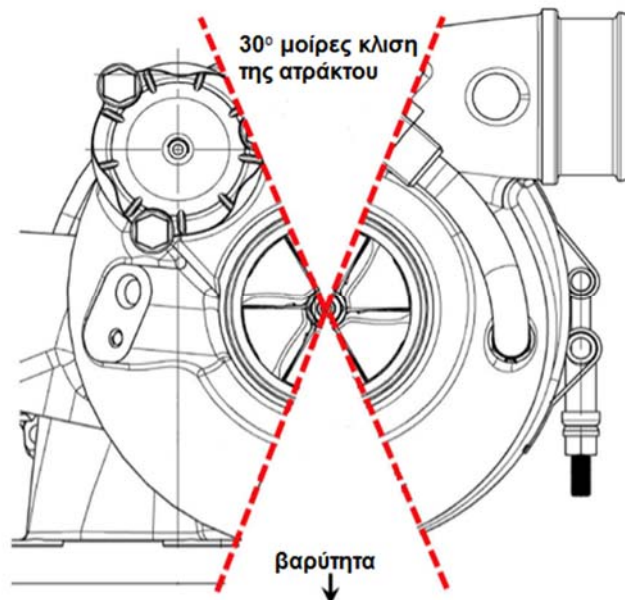
Στα πλήρως αιωρούμενα έδρανα απαιτείται να ληφθεί υπόψιν και ο έλεγχος του στρώματος του λιπαντικού με τις διάφορες διατάξεις που χρησιμοποιούνται. Κατά την περιστροφή του άξονα υπάρχει κίνδυνος λιπαντικό να διαφύγει από τις οπές από τις οποίες τροφοδοτείται στα έδρανα, με αποτέλεσμα να εξαφανιστεί το στρώμα του λιπαντικού. Πρέπει, η πίεση εισαγωγής του λιπαντικού να είναι μεγαλύτερη της πιέσεως διαφυγής αυτού. Επίσης, το υλικό της έδρασης πρέπει να είναι συμβατό με την περιστροφή του εδράνου. Συνήθως χρησιμοποιείται χυτοσίδηρος ή αλουμίνιο με έδρανα από χυτοσίδηρο ή χάλυβα.

Τέλος χρειάζονται κάποιο είδος στήριξης για την αποφυγή κίνησης κατά μήκος του άξονα. Αυτό το πρόβλημα λύνεται με τα ημι-αιωρούμενα έδρανα. Για να είναι αποτελεσματικά το εσωτερικό στρώμα λιπαντικού πρέπει να είναι «σφιχτό» για να μπορεί να μεταφέρει την κίνηση του άξονα. Αυτό επιτυγχάνεται με μικρή ανοχή μεταξύ εδράνου – άξονα, κάτι που όμως αυξάνει τη θερμοκρασία του στρώματος αυτού.

Σύστημα λίπανσης εδράνων

Υπάρχουν οι εξής τρόποι λίπανσης του υπερσυμπιεστή: λίπανση από το κύκλωμα λαδιού του κινητήρα και ανεξάρτητη λίπανση. Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να προσφέρει προστασία στον υπερσυμπιεστή σε περίπτωση κρατήσεως ανάγκης της μηχανής, ώστε το λιπαντικό να απάγει την παραμένουσα θερμότητα των μεταλλικών μερών ή κατά την εκκίνηση, κατά την οποία υπάρχει ένα χρονικό διάστημα μεταξύ της εκκίνησης του κινητήρα και της άφιξης του λιπαντικού σε αυτόν. Για το λόγο αυτό ώστε να αποφύγουμε τη ταχεία και πλήρη φυσική αποστράγγιση του λαδιού λόγω της βαρύτητας από την άτρακτο δίνουμε μία κλίση στις 30°, όπως φαίνεται στην Εικ. 5.

Εικόνα 5.



Η έξοδος του λαδιού και η μετέπειτα πορεία του πρέπει να γίνεται με ευθύ σωλήνα χωρίς ελιγμούς. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή έχουμε επιλέξει την λίπανση από το κύκλωμα του κινητήρα. Για την φυσική επιστροφή του λαδιού στο κύκλωμα του κινητήρα πρέπει το μέσο του άξονα της περρωτής να είναι πάνω από τη στάθμη του λαδιού του κινητήρα διότι διαφορετικά θα μένουν τα λάδια στην άτρακτο όπου μέσω των εδράνων θα έχουμε απώλειες προς τις δύο πλευρές στρόβιλο – συμπιεστή.

Λόγο έλλειψης χώρου και μικρής απόστασης από τις εξαγωγές του κινητήρα έγινε χρήση μίας αντλίας (Εικ.6) επιστροφής του λαδιού που έχει αναλάβει το έργο αυτό.

Εικόνα 6



Η αντλία αυτή είναι μία ηλεκτρική αντλία 12v της εταιρείας MGTurbo που τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό κύκλωμα της μοτοσυκλέτας με τα εξής χαρακτηριστικά (Πιν. 1):

Πίνακας 1

Specs	
Flow rate	2,5 GPM
Ports	3/8" female JIC
Amps	5A 12V @ 0psi
Self priming	5 feet
Lift	15feet
color	Black

Από τον πίνακα 1 παρατηρούμε ότι η ικανότητα ανύψωσης και η παροχή είναι άκρως ικανοποιητικά για την κατασκευή μας.

Η μοτοσυκλέτα

Η μοτοσυκλέτα που έχουμε επιλέξει είναι μία Honda CBR 929 RR, μοντέλο: 2001, όπως βλέπουμε (Εικ. 7):

Εικόνα 7



Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά

Κάποια χρήσιμα, για την κατασκευή του κιτ υπερτροφοδότησης, τεχνικά χαρακτηριστικά της μοτοσυκλέτας που επιλέξαμε, όπως το είδος του κινητήρα τη διάμετρο και τη διαδρομή του εμβόλου, τον κυλινδρισμό του, τη μέγιστη δύναμη και τη μέγιστη ροπή βλέπουμε παρακάτω (Πιν. 2). Περισσότερα χαρακτηριστικά είναι διαθέσιμα στο παράρτημα της πτυχιακής στα τεχνικά χαρακτηριστικά σελίδες 88 και 89.

Να σημειωθεί ότι η κατασκευή του κίτ και η τοποθέτηση του έγιναν στον κινητήρα με πολύ λίγα χιλιόμετρα (17.000Km), γεγονός ιδιαίτερης σημασίας αφού τα μέταλλα του κινητήρα βρίσκονταν ακόμα σε πολύ καλή κατάσταση, κάτι που βοηθάει να ανταπεξέλθει καλύτερα και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Πίνακας 2

Μάρκα Μοντέλο	Honda CBR 929rr Fireblade
Έτος κατασκευής	2001
Κινητήρας	τετράχρονος, τετρακύλινδρος εν σειρά
Κυβισμός	929cc
Διάμετρος x Διαδρομή	74 x 54 mm
Σχέση συμπίεσης	11,3:1
Λάδι κινητήρα	Συνθετικό, SAE 10/14w
Διαχείριση καυσίμου	4 x 48mm ψεκασμός καυσίμου
Ανάφλεξη/εκίνηση	ψηφιακή ηλεκτρονική/ηλεκτρική
Σπινθιριστής	Denso, 1UH27D
Μεγιστη δύναμη*	152hp 111,8KW @ 10750rpm
Μέγιστη ροπή	103Nm 10,5kgm @ 9000rpm
Συμπλέκτης	υγρού τύπου, πολλαπλών δίσκων
Μετάδοση	6 ταχύτητες
Τελική κίνηση	αλυσίδα
Πλαίσιο	Αλουμίνιο
Μπροστινή ανάρτηση	43mm ανεστραμμένα τηλεσκοπικά πηρούνια
Διαδρομή εμπρόσθιου τροχού	120mm
Πίσω ανάρτηση	Pro-Link με προφόρτηση αερίου
διαδρομή οπίσθιου τροχού	135mm
Εμπρόσθια φρένα	2 x 330mm δίσκοι, δαγκάνες 4 εμβόλων
Οπίσθια φρένα	220mm δίσκος δαγκάνα μονού εμβόλου
Εμπρόσθιο ελαστικό	120/70 ZR17
Οπίσθιο ελαστικό	190/50 ZR17
Μεταξόνιο	1400mm
Ελάχιστη απόσταση από το έδαφος	130mm
Διαστάσεις	M:2025mm, Π:680mm, Υ:1135mm
Ύψος σέλας	815mm
Βάρος (στεγνή)	172kg
Βάρος (πλήρης)	194kg
Χωρητικότητα καυσίμου	18 λίτρα
Μέση κατανάλωση	18,2km/lit
Επιτάχυνση 1/4 του μιλίου	10,4sec / 213km/h
Τελική ταχύτητα	283,4km/h

Αιτιολόγηση της επιλογής

Η επιλογή για την κατασκευή και παρουσίαση ενός κίτ υπερτροφοδότησης της συγκεκριμένης μοτοσυκλέτας έγινε ύστερα από σχετική έρευνα και κατέληξα σε αυτή διότι δεν υπάρχει έτοιμο κίτ ή μέρος του κίτ για αυτού του είδους τη μετατροπή για αυτό το μόντελο παγκοσμίως, και είναι το πρώτο που κατασκευάστηκε και έχει παρουσιαστεί και σε περιοδικό του χώρου της μοτοσυκλέτας πανελληνίου βεληνεκούς.

Εισαγωγικά στοιχεία για την αλληλεπίδραση μεταξύ κινητήρα και υπερπληρωτή

Οι εμβολοφόρες μηχανές λειτουργούν σε ένα ευρύ πεδίο στροφών με το αντίστοιχο πεδίο παροχών αέρα να είναι επίσης αρκετά μεγάλο, ιδίως σε κινητήρες με στραγγαλισμό στην εισαγωγή (Otto). Από την άλλη πλευρά, η απόδοση των στροβιλομηχανών εξαρτάται από το σωστό «ταίριασμα» της ροής του αερίου με τη γωνία των πτερυγίων. Συνεπώς, μία δεδομένη παροχή αέρα ταιριάζει μόνο σε μία ταχύτητα περιστροφής, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο σχεδιασμού οι απώλειες αυξάνονται. Γενικά, οι στροβιλομηχανές δεν είναι προορισμένες να λειτουργούν σε ένα ευρύ πεδίο παροχών. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιούνται ευρέως σε μηχανές εσωτερικής καύσης εξαιτίας των υψηλών βαθμών απόδοσής τους και των μικρών διαστάσεων τους (λόγω των υψηλών ταχυτήτων περιστροφής που πετυχαίνουν).

Το «ταίριασμα» ανάμεσα σε εμβολοφόρο Μ.Ε.Κ. και υπερσυμπιεστή είναι υψηλής σημασίας για την αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Είναι προφανές ότι, ειδικά σε περιπτώσεις όπου ο κινητήρας λειτουργεί σε ευρύ φάσμα στροφών – φορτίων (αυτοκίνητα – μοτοσυκλέτες), το «ταίριασμα» ανάμεσα σε Μ.Ε.Κ. και σύστημα υπερπλήρωσης δεν μπορεί να είναι ιδανικό για όλα τα μεγέθη λειτουργίας.

Τα πράγματα είναι πιο εύκολα σε κάποιες ειδικές εφαρμογές Μ.Ε.Κ., πχ σε κινητήρες ηλεκτροπαραγωγής και μάλιστα ως μονάδες βάσης είναι αναμενόμενο ότι το μεγαλύτερο διάστημα της ζωής τους θα λειτουργούν σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής και σε ένα σταθερό φορτίο. Συνεπώς, το «ταίριασμα» εδώ μπορεί να γίνει ευκολότερα για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας. Ομοίως κινητήρες πρόωσης μεγάλων πλοίων, τα οποία κινούνται κατά βάση στην ανοικτή θάλασσα, αναμένεται να λειτουργούν σε περιορισμένο εύρος στροφών – φορτίων για το μεγαλύτερο διάστημα της ζωής τους.

Αντιθέτως, οι κινητήρες οχημάτων καλούνται να ανταπεξέλθουν σε ένα πολύ ευρύ πεδίο λειτουργίας εξαιτίας των συνεχώς μεταβαλλόμενων συνθηκών κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα το «ταίριασμα» ανάμεσα στον κινητήρα και τον υπερσυμπιεστή να εμπεριέχει αρκετούς συμβιβασμούς. Ο σκοπός ουσιαστικά είναι να βρεθεί ο βέλτιστος δυνατός συνδυασμός – συμβιβασμός ανάμεσα σε υπερσυμπιεστή και κινητήρα.

Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα κοπιώδης, αφού μπορεί να εμπεριέχει και διαδικασίες βελτίωσης – τροποποίησης του ίδιου του κινητήρα (ιδίως του

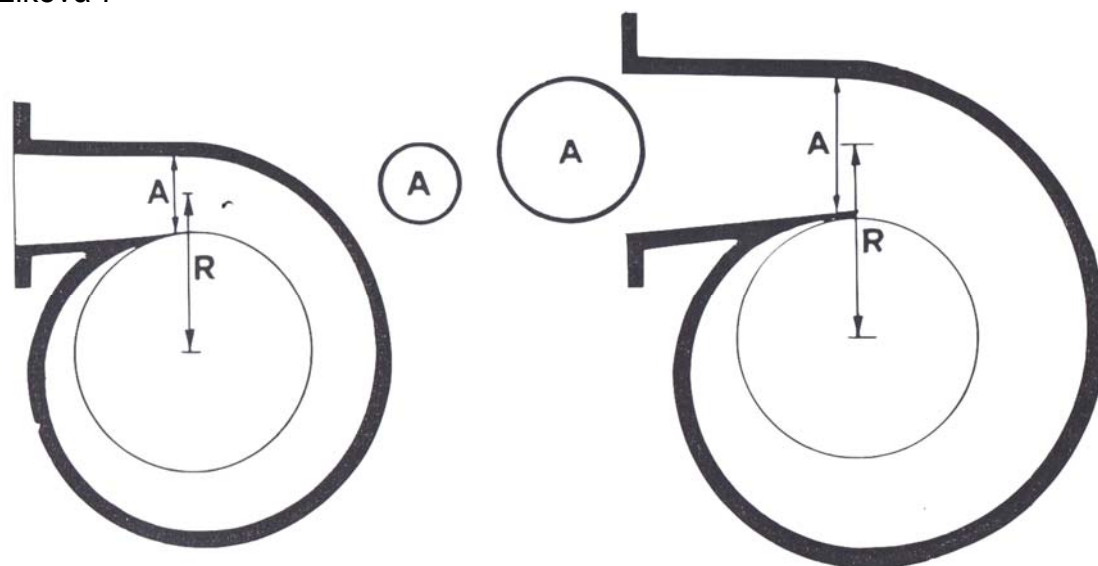
συστήματος παροχής/έγχυσης καυσίμου και εναλλαγής αερίων) ώστε να συνεργάζεται ιδανικότερα με το τελικά επιλεγμένο ζεύγος υπερπλήρωσης.

Βασικές αρχές επιλογής του υπερσυμπιεστή καυσαερίων

Στη συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων υπερπλήρωσης (με εξαίρεση το Comprex, το οποίο ούτως ή άλλως δεν έχει τύχει ιδιαίτερης εφαρμογής), η προσυμπίεση της γόμωσης του κυλίνδρου πραγματοποιείται σε κάποιο συμπιεστή. Το μέγεθος του συμπιεστή είναι κεφαλαιώδους σημασίας για το ταίριασμα μηχανής εσωτερικής καύσης και συστήματος υπερπλήρωσης, και καθορίζεται από την παροχή όγκου και το λόγο πιέσεων κατάντι και ανάντι του συμπιεστή.

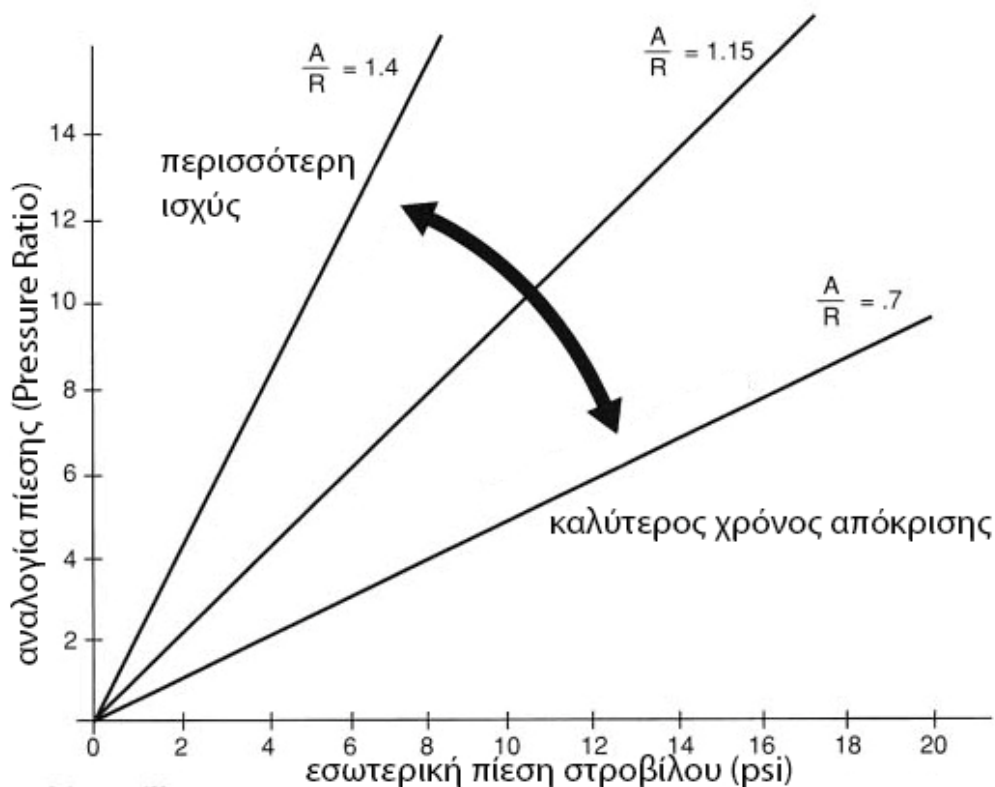
Ένας παράγοντας για την επιλογή του υπερσυμπιεστή καυσαερίων είναι ο λόγος A/R . Ο λόγος A/R είναι ένα γεωμετρικό χαρακτηριστικό του κυρίως σώματος του στροβίλου και του συμπιεστή. Πρόκειται για το λόγο του εμβαδού της περιοχής της εισόδου των καυσαερίων προς τη διάμετρο που ορίζεται από το κέντρο του στροβιλοσυμπιεστή και το κεντροειδές της περιοχής εκείνης όταν μιλάμε για το στρόβιλο και για το λόγο του εμβαδού της περιοχής της εξόδου του συμπιεσμένου αέρα προς τη διάμετρο που ορίζεται από το κέντρο του στροβιλοσυμπιεστή και το κεντροειδές της περιοχής εκείνης για το συμπιεστή. Είναι δύο βασικά μεγέθη που ορίζουν την κατασκευή του (όπου A η διατομή και R η ακτίνα από το μέσο της διατομής μέχρι το κέντρο του στροβίλου), όπως φαίνεται (Εικ. 7).

Εικόνα 7



Τα μεγέθη αυτά καθορίζουν με το λόγο τους τη χρήση για την οποία είναι πιο κατάλληλος. Όταν ο λόγος A/R είναι μικρός, έχουμε υψηλές στροφές λειτουργίας του υπερσυμπιεστή καυσαερίων με αποτέλεσμα την χαμηλή σε στροφές του κινητήρα απόκριση του υπερσυμπιεστή, ενώ όταν ο λόγος μεγαλώνει και πλησιάζει στο 1, έχουμε πιο αργή περιστροφή του υπερσυμπιεστή που σημαίνει υψηλότερη ιπποδύναμη αλλά σε υψηλότερες στροφές του κινητήρα. Η σχέση αναλογίας A/R φαίνεται πιο αναλυτικά στην Εικ. 8.

Εικόνα 8

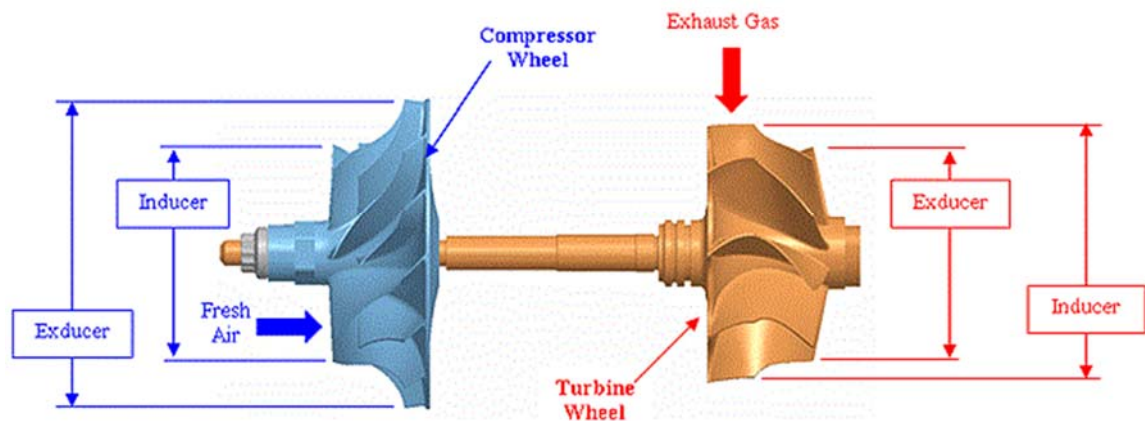


Ανάλογα με τη χρήση που θα έχουμε επιλέγουμε και το A/R . Στην περίπτωση μας έχουμε σχέση A/R 0,56 επειδή για τη συγκεκριμένη εφαρμογή στόχος μας είναι η καθημερινή μετακίνηση και όχι αγωνιστική χρήση, οπότε μας ενδιαφέρει ο χρόνος απόκρισης έναντι της αυξημένης ισχύος. Με χρήση υπερσυμπιεστή αυτού του λόγου έχουμε υψηλές στροφές του υπερσυμπιεστή για μεσαίες στροφές του κινητήρα, με αποτέλεσμα την ύπαρξη θετικού πρόσημου πίεσης από τις 5500 rpm περίπου.

Άλλα χαρακτηριστικά είναι η τομή της πτερωτής (trim). Για να δώσουμε τον ορισμό όμως του trim πρέπει προηγουμένως να ξέρουμε τι είναι η εσωτερική (inducer) και η εξωτερική (exducer) διάμετρος των πτερυγίων της πτερωτής (Εικ 9), αλλιώς εισαγωγέας και εξαγωγέας αντίστοιχα. Και οι δύο όροι αναφέρονται σε χαρακτηριστικό της πτερωτής είτε του συμπιεστή είτε της τουρμπίνας.

Πιο συγκεκριμένα, η διάμετρος του inducer είναι η διάμετρος από την οποία εισέρχεται ο αέρας ή τα καυσαέρια (ανάλογα για ποιο κομμάτι του στροβιλοσυμπιεστή μιλάμε) και η διάμετρος του exducer είναι η διάμετρος από την οποία ο αέρας ή τα καυσαέρια φεύγουν από την πτερωτή. Με βάση την αεροδυναμική αλλά και τις διαδρομές εισόδου του αέρα, στην πτερωτή του συμπιεστή, το inducer είναι η μικρότερη διάμετρος ενώ στην πτερωτή του στροβίλου η μεγαλύτερη.

Εικόνα 9



Η τομή της πτερωτής (trim) είναι ένας όρος που χρησιμοποιούμε για να εκφράσουμε τη σχέση μεταξύ του inducer και του exducer τόσο της πτερωτής της στροβίλου όσο και του συμπιεστή. Ακριβέστερα, το trim είναι αναλογία επιφάνειας και υπολογίζεται από τον τύπο (Σχ. 1):

Σχέση 1

$$trim = \frac{inducer^2}{exducer^2} * 100$$

Για το συμπιεστή της επιλογής μας έχουμε από τα δεδομένα (Σχ. 2):

Σχέση 2

$$trim = \frac{40,2^2}{52^2} * 100 = 59,76$$

Επαληθεύουμε με τα στοιχεία του κατασκευαστή (trim = 60).

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι η οπή της εξαγωγής του στρόβιλου, η οποία σχετίζεται με το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα ιπποδύναμης.

Μερικά παραδείγματα στον ακόλουθο πίνακα (Πιν. 3):

Πίνακας 3

οπή εξαγωγής (mm)	ιπποδύναμη (HP)
41-51	200
52-60	300
61-70	400
67-78	500

Ο υπερσυμπιεστής της επιλογής μας έχει όπως βλέπουμε από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σπή εξαγωγής του στροβίλου (E.W.D.) 52mm, που σημαίνει ότι είναι ικανότητας οριακό μέχρι 300Hr (από Πίνακα 3), πράγμα που επιβεβαιώνεται και στα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή.

Το επόμενο βήμα είναι η μελέτη του χάρτη του συμπιεστή, ένας χάρτης που δείχνει την απόδοση του υπερσυμπιεστή καυσαερίων σε συνάρτηση με τον λόγο πιέσεων (Pressure Ratio) και τη ροή του αέρα (Air Flow) και η τοποθέτηση των σημείων της συγκεκριμένης εφαρμογής σε αυτόν.

Υπολογισμοί

Ο υπολογισμός της ροής αέρα του κινητήρα μας είναι σύνθετος και στις εξισώσεις μπαίνουν παράγοντες όπως πυκνότητα του αέρα, θερμοκρασία αέρα εισαγωγής, διορθωμένη θερμοκρασία αέρα εισαγωγής κ.α.. Για ευκολία στους υπολογισμούς δίνεται η παρακάτω εξίσωση (Σχ. 3) χωρίς να έχει μεγάλη απόκλιση από την αναλυτική:

Σχέση 3

$$CFM = \frac{L * RPM * VE * PR}{5660}$$

Όπου:

CFM = κυβικά πόδια ανά λεπτό,

L = κυλινδρισμός σε λίτρα,

RPM = μέγιστος αριθμός στροφών,

VE* = ογκομετρική απόδοση (Volumetric Efficiency),

PR = αναλογία πίεσης (Pressure Ratio)

* Τιμές VE

2βαλβιδος κινητήρας = 85%

4βαλβιδος κινητήρας = 90%

Βελτιωμένος κινητήρας = 93%

Αγωνιστικός κινητήρας = 105%

Σαν λόγος πιέσεων - pressure ratio (PR) ορίζεται (Σχ. 4):

Σχέση 4

$$PR = \frac{P1 + P2 + 1Cpd}{P2}$$

όπου:

P1 = Επιθυμητή πίεση σε psi (8psi).

P2 = Ατμοσφαιρική πίεση σε psi = 14,7psi.

ICpd = πτώση πίεσης λόγω του εναλλάκτη θερμότητας (Intercooler). Εδώ η τιμή των 1,5psi είναι κοντά στα πραγματικά δεδομένα.

Έτσι στη περίπτωση μας για τον 929cc ή 0,929L κινητήρα, μια πίεση 8psi οδηγεί σε (Σχ. 5):

Σχέση 5

$$PR = \frac{8 + 14,7 + 1,5}{14,7} = 1,65$$

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

Στη περίπτωση μας του 929cc κινητήρα έχουμε (Σχ. 6):

Σχέση 6

$$CFM = \frac{0,929 * 11500 * 90 * 1,65}{5660} = 280,3$$

Αυτή είναι η μέγιστη ροή στις 11.500 στροφές. Για να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα πάνω στον χάρτη του συμπιεστή, υπολογίζουμε την ροή ανά 1000 στροφές από τις 2000 έως τις 11.500. Επειδή συνήθως στους χάρτες των κατασκευαστών η ροή δίνεται σε lbs/min κάνουμε τις απαραίτητες μετατροπές. Οι μετατροπές αυτές γίνονται παρακάτω (Πίν. 4):

Πίνακας 4

RPM	CFM	m ³ /sec	lbs/min
1000	24,374	0,012	1,708
2000	48,748	0,023	3,416
3000	73,122	0,035	5,124
4000	97,496	0,046	6,832
5000	121,870	0,058	8,540
6000	146,244	0,069	10,248
7000	170,618	0,081	11,956
8000	194,992	0,092	13,664
9000	219,365	0,104	15,372
10000	243,739	0,115	17,081
11000	268,113	0,127	18,789
11500	280,300	0,132	19,643

Αφού έχουμε αυτά τα δεδομένα παρατηρούμε το χάρτη του συμπιεστή (compressor map) από τα δεδομένα του κατασκευαστή. Αυτός ο χάρτης είναι ένα γράφημα που αναπαριστά τα επιμέρους χαρακτηριστικά απόδοσης του συμπιεστή όπως τον βαθμό απόδοσης - επάρκειας, το πεδίο ροής αέρα (CFM), το πεδίο πιέσεων που μπορεί να διαχειριστεί ο συμπιεστής (PR) καθώς και την ταχύτητα περιστροφής του.

Σε αυτό το χάρτη μπορούμε να παρατηρήσουμε την κόκκινη καμπύλη που ονομάζεται γραμμή πάλμωσης - αυξημένο όριο (surge limit). Η περιοχή αριστερά της καμπύλης αυτής χαρακτηρίζεται από ασταθή λειτουργία και αν έχουμε κάποιο σημείο λειτουργίας σε εκείνη την περιοχή δεν επιλέγουμε αυτό το συμπιεστή γιατί σε υψηλές στροφές υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για την καταστροφή του.

Οι καμπύλες με μπλε χρώμα μας δείχνουν τις στροφές λειτουργίας του συμπιεστή για κάθε αναλογία πίεσης (PR) και ροή του αέρα (Flow Rate) και πρέπει να προσέχουμε να είναι κάτω από το μέγιστο όριο λειτουργίας που θέτει ο κατασκευαστής. Οι καμπύλες αυτές είναι σχεδόν οριζόντιες κοντά στη γραμμή πάλμωσης, ενώ πέφτουν απότομα καθώς απομακρύνονται από αυτήν.

Οι νησίδες με πράσινο χρώμα δείχνουν την επάρκεια για κάθε περιοχή λειτουργίας. Η επάρκεια του συμπιεστή εμμέσως μας υποδεικνύει τη θερμότητα που προσδίδεται στον αέρα από τη συμπίεση του βασισμένη στη θερμοδυναμική. Είναι απαραίτητο να ταιριάξουμε την επάρκεια του συμπιεστή με τον κινητήρα ώστε να έχουμε τη μέγιστη επάρκεια κάπου στο φάσμα των μέγιστων στροφών – ιπποδύναμης του κινητήρα. Ως αποτέλεσμα ο συμπιεστής θα μειώσει στο ελάχιστο δυνατό το θερμικό φορτίο.

Όσο ξεφεύγουμε από το μέγιστο της επάρκειας (74% στη συγκεκριμένη εφαρμογή), τόσο η θερμοκρασία του αέρα εξαγωγής είναι μεγαλύτερη (μικρότερη πυκνότητα) και κατά συνέπεια έχουμε τη μειωμένη ιπποδύναμη καθώς και τον κίνδυνο καταστροφής της τουρμπίνας από υπερθέρμανση (oil cooking).

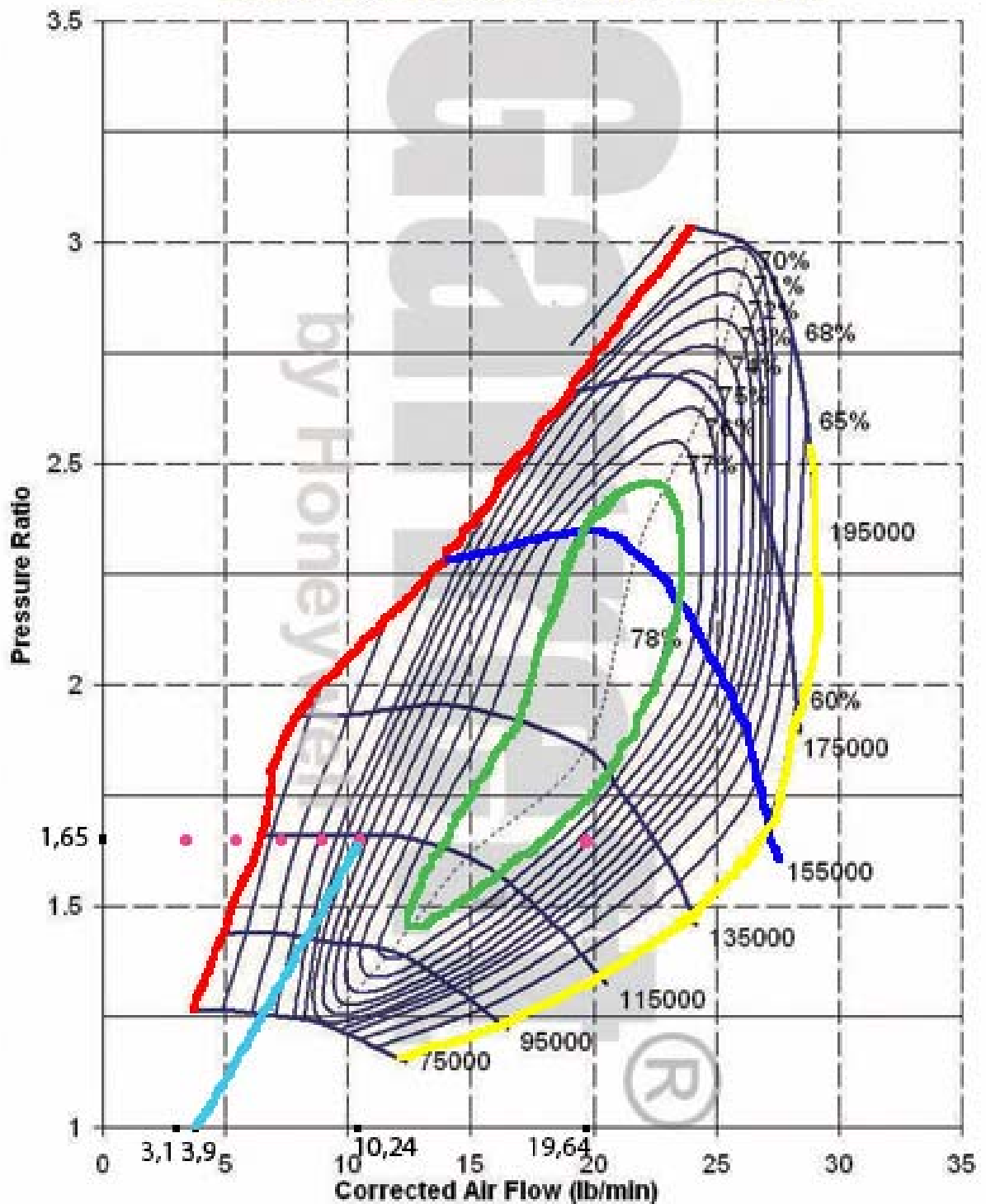
Με κίτρινο χρώμα είναι η καμπύλη στραγγαλισμού (choke line) που είναι και το δεξιό όριο του γραφήματος στο χάρτη. Η περιοχή δεξιά της καμπύλης είναι η περιοχή στραγγαλισμού της ροής, όπου οι καμπύλες σταθερών στροφών γίνονται σχεδόν κάθετες και η ροή διαχυτική. Αυτό συμβαίνει συνήθως στην είσοδο ενός διαχύτη χωρίς πτερύγια. Ορίζεται τυπικά ως το σημείο όπου η επάρκεια πέφτει κάτω από το 58%. Σημεία εκτός της καμπύλης αυτής μας υποδεικνύουν ότι χρειαζόμαστε μεγαλύτερο συμπιεστή.

Στις χαμηλές στροφές, ο συμπιεστής είναι εκτός της σωστής περιοχής του χάρτη, αλλά σε αυτές τις στροφές έτσι και αλλιώς δεν μπορεί να φτάσει την επιθυμητή πίεση των 8psi. Οι περισσότερες εφαρμογές turbo αποδίδουν τη μέγιστη πίεση στο 50% των maximum στροφών του κινητήρα. Ένας καλός πρακτικός τρόπος να σιγουρευτούμε ότι ο συμπιεστής δεν θα δουλέψει εκτός του αυξημένου ορίου (surge limit) είναι να σημειώσουμε πάνω στο χάρτη αυτό το σημείο (6000 στροφές / 1,65 PR) και μετά πάνω στον άξονα της ροής αέρα να σημειώσουμε το σημείο που έχουμε 20% της μέγιστης ροής αέρα (Air Flow_{max}):

$$20\% AirFlow_{max} = 19,64 * 0,20 = 3,928 \approx 3,9$$

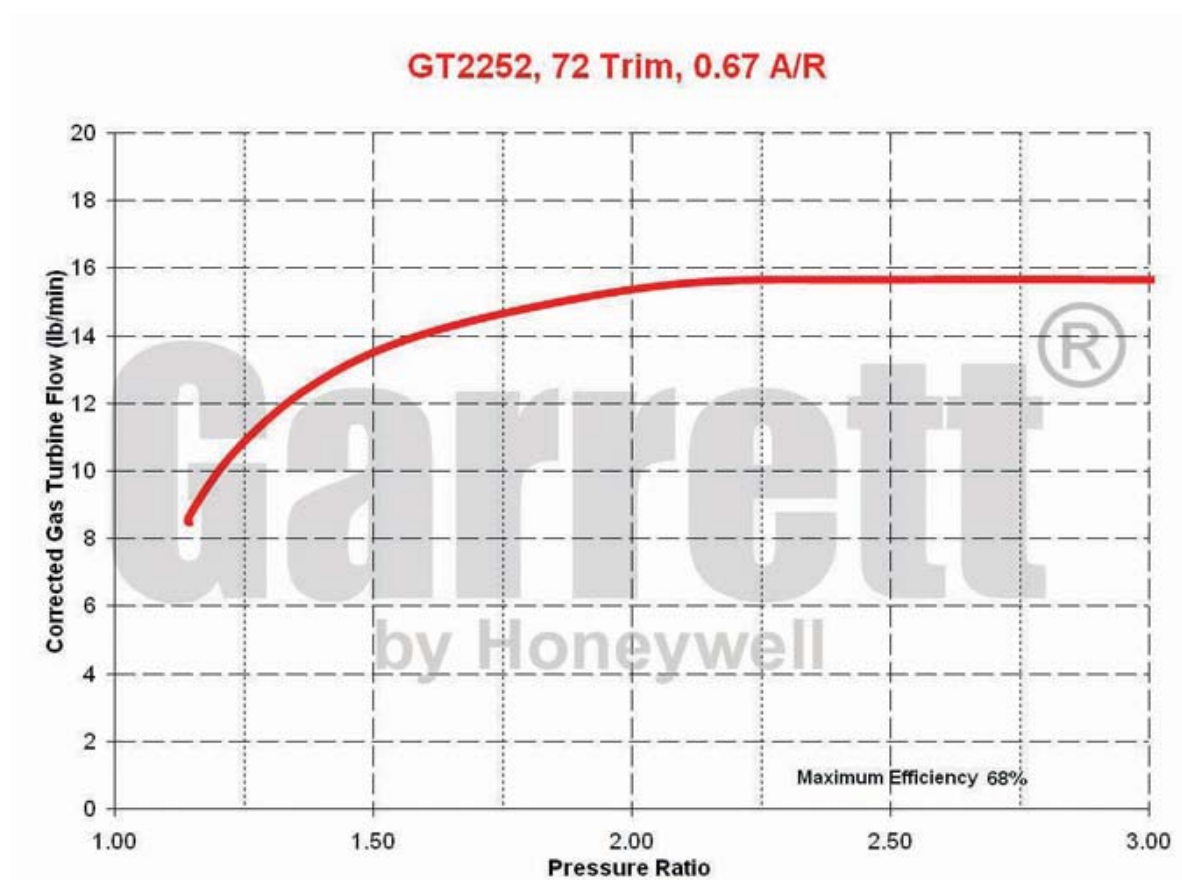
Στην συνέχεια τραβάμε μια γραμμή που ενώνει αυτά τα σημεία (γαλάζια γραμμή), η οποία πρέπει να είναι ολόκληρη δεξιά από το αυξημένο όριο (surge limit), όπως και επιβεβαιώνεται από το ακόλουθο σχήμα.

GT2252, 52mm, 60 Trim, 0.51 A/R



Το γράφημα που ακολουθεί είναι πάλι από τα στοιχεία του κατασκευαστή, αναφέρεται στο στρόβιλο του υπερσυμπιεστή και μας δείχνει την επάρκεια

του. Παρατηρούμε ότι ξεκινάει να αποδίδει στη μέγιστη επάρκεια από τις 8500rpm περίπου, με PR=1,65 όπου έχει 14lb/min ροή.



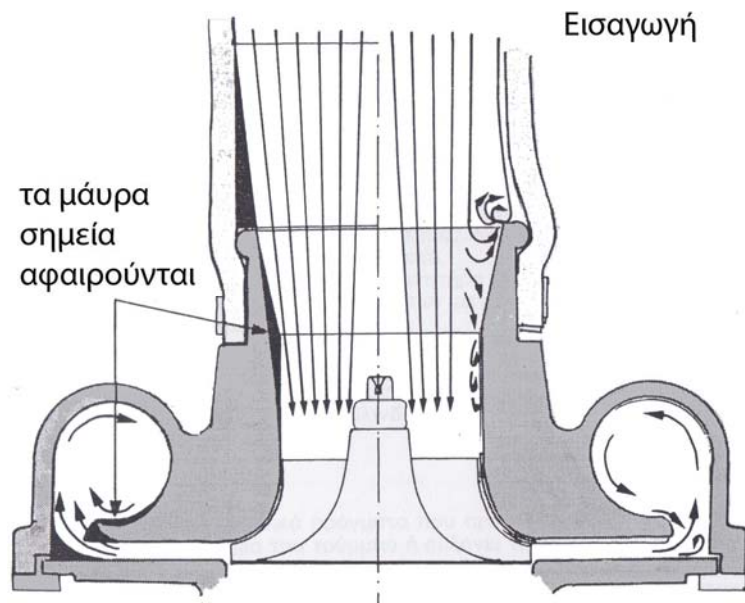
Από τους υπολογισμούς μας καταλήγουμε ότι η συγκεκριμένη επιλογή υπερσυμπιεστή είναι πλήρως αποδεκτή.

Μετατροπές – βελτιώσεις υπερσυμπιεστή

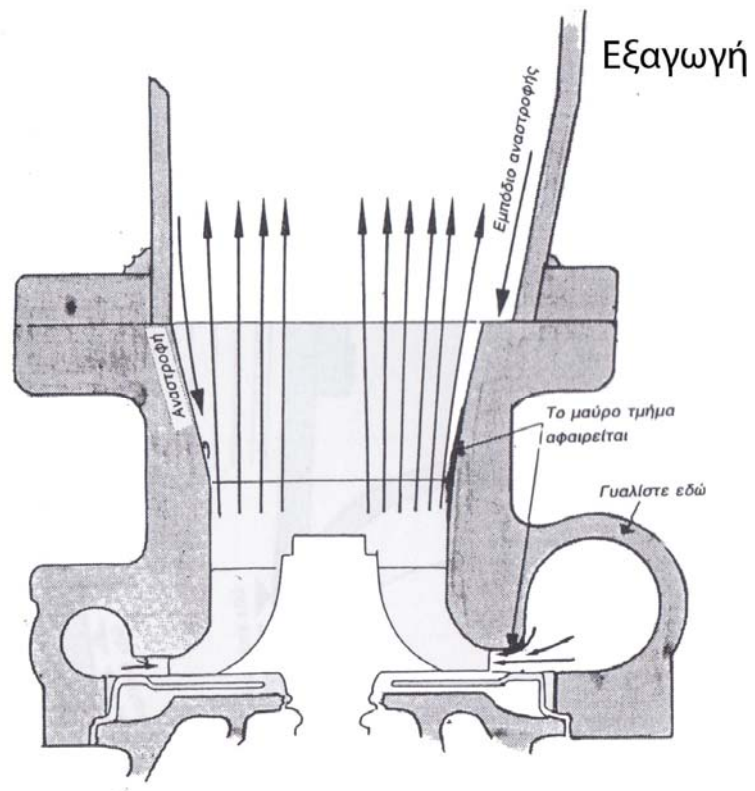
Από μηχανικής πλευράς το κομμάτι που δεν επεμβαίνουμε καθόλου στον υπερσυμπιεστή είναι οι πτερωτές και το αξονάκι που τις ενώνει. Το μικρό αυτό σύνολο έχει υποστεί ζυγοστάθμιση καθότι περιστρέφεται μέχρι τις 195.000rpm. Οι βελτιωτικές επεμβάσεις περιορίζονται στο κέλυφος του υπερσυμπιεστή, το οποίο είναι ένα χυτό κομμάτι μέταλλο με τις όποιες ατέλειες. Το κέλυφος του στροβίλου είναι από χυτοσίδηρο για να αντέχει στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες της εξαγωγής και του συμπιεστή από αλουμίνιο.

Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικ. 9, 10 & 11) υποδεικνύω που ακριβώς έχω επέμβει αφαιρώντας τις μικρές ανωμαλίες που εμποδίζουν την ομαλή ροή του αέρα για τη βελτίωση του μικρού χρόνου που είναι διαθέσιμος για να πληρωθεί ο κύλινδρος με καύσιμο μίγμα, ενώ έχω γυαλίσει τις επιφάνειες για περαιτέρω διευκόλυνση της ροής (όπου αυτό ήταν εφικτό).

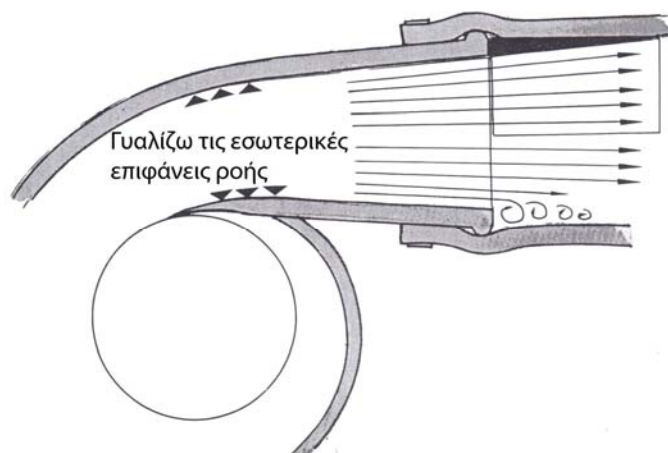
Εικόνα 9



Εικόνα 10



Εικόνα 11



Ο υπερσυμπιεστής της επιλογής μας

Στις ακόλουθες φωτογραφίες (Εικ. 12 & 13) βλέπουμε τον υπερσυμπιεστή της επιλογής μας.

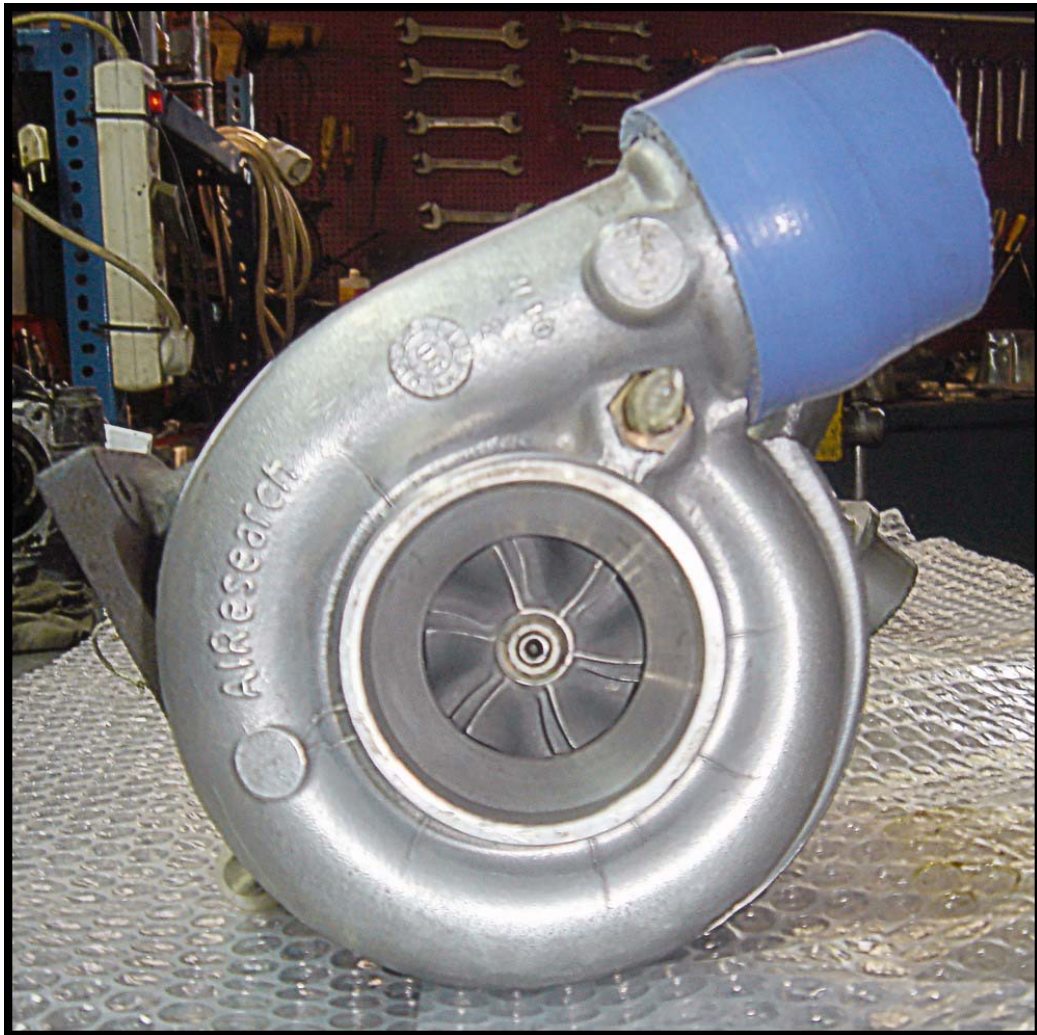
Αριστερά με σκούρο χρώμα το τμήμα του στρόβιλου, δεξιά με ανοιχτό το τμήμα του συμπιεστή και στο κέντρο η άτρακτος με τις διόδους λαδιού και ψυκτικού υγρού.

Εικόνα 12



Σε αυτή τη φωτογραφία βλέπουμε το τμήμα του συμπιεστή με την οπή της πτερωτής του όπου εγκαθιστούμε ένα φίλτρο αέρα και εισέρχεται ο ατμοσφαιρικός αέρας. Στο σημείο με το μπλε σωλήνα σύνδεσης είναι απ' όπου βγαίνει ο συμπιεσμένος πλέον αέρας και οδηγείται προς τον εναλλάκτη θερμότητας. Λίγο πάνω και δεξιά από την πτερωτή βλέπουμε το σημείο όπου συνδέεται η βαλβίδα ανακούφισης καυσαερίων και παίρνει ένδειξη πίεσης όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Εικόνα 13



Ενδιάμεση ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης

Βασικές αρχές

Ο κύριος σκοπός της υπερπλήρωσης είναι η αύξηση της παραγόμενης ισχύος από έναν κινητήρα χωρίς την αύξηση του μεγέθους του. Αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας την πίεση εισαγωγής, στην πολλαπλή εισαγωγής και εν συνεχεία στους κυλίνδρους, δηλαδή αυξάνοντας τη μάζα που απορροφάται από τον κύλινδρο κατά τη φάση της εισαγωγής. Έτσι επιτρέπει να καεί περισσότερο καύσιμο, οπότε και να παραχθεί περισσότερη ισχύς. Ωστόσο είναι αδύνατο να συμπιεστεί ο αέρας χωρίς ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας του, εκτός εάν ο συμπιεστής ψύχεται εξωτερικά. Από τη στιγμή που σκοπός είναι η αύξηση της πυκνότητας του αέρα, η θερμοκρασιακή ανύψωση αντισταθμίζει, εν μέρει, το όφελος από την ανύψωση της πίεσης. Έτσι ο σκοπός πρέπει να είναι η ανύψωση της πίεσης με την ελάχιστη δυνατή αύξηση της θερμοκρασίας.

Το όφελος της ελάττωσης της θερμοκρασίας του εισερχόμενου αέρα χωρίζεται σε δύο σκέλη.

1. Αυξάνει την πυκνότητα (άρα και η μάζα) του αέρα που εισέρχεται στους κυλίνδρους. Ουσιαστικά μπορούμε σε ίδιο κυβισμό να χωρέσουμε περισσότερο αέρα έτσι περισσότερο καύσιμο θα καεί οπότε και να έχουμε μεγαλύτερη ιπποδύναμη. Ενισχύεται η έννοια της υπερπλήρωσης.
2. Συμβάλλοντας στη μειωμένη θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα αφού ο εισερχόμενος αέρας θα είναι ψυχρότερος με αποτέλεσμα μειωμένες απώλειες και όφελος ως προς τις φθορές και τη διάρκεια ζωής του κινητήρα και των επιμέρους εξαρτημάτων.

Τα μειονεκτήματα (πρακτικά κυρίως) που παρουσιάζει η μέθοδος είναι τα εξής:

1. Από την πλευρά του ψυχόμενου αέρα, η ροή αυτού μέσω του ψυγείου εμπεριέχει κάποιες απώλειες πίεσης, αφού γίνεται διαμέσου στενών σωληνώσεων που απαιτούνται για αποδοτική ψύξη. Αυτές οι απώλειες πίεσης οδηγούν τελικά σε ελαφρώς μικρότερη αύξηση της πυκνότητας από την επιθυμητή. Η πτώση της πίεσης στον εναλλάκτη είναι συνάρτηση του μεγέθους του και του σχεδιασμού του.
2. Το δεύτερο μειονέκτημα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης αφορά σε ένα πιο πρακτικό πρόβλημα, την παροχή ψυχρού αέρα ή νερού (που είναι και προτιμότερο λόγω του μεγαλύτερου συντελεστή μεταφοράς θερμότητας). Σε κάποιες περιπτώσεις αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα (πχ σε ναυτικούς κινητήρες). Εάν όμως η πίεση υπερπλήρωσης είναι χαμηλή, όπως ισχύει γενικά στους κινητήρες Otto, και το διαθέσιμο ψυκτικό μέσο είναι σχετικά θερμό (πχ νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα), τότε η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης παρουσιάζει σχεδόν ασήμαντο όφελος και μάλιστα μόνο στην πλήρη ισχύ, απαιτώντας επιπλέον πολύ μεγάλων διαστάσεων εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος θα οδηγήσει σε σημαντική πτώση πίεσης του αέρα υπερπλήρωσης.

3. Τρίτο μειονέκτημα είναι το κόστος, που όμως το όφελος από την ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης συνήθως το αντισταθμίζει.
4. Τέλος, υπερβολική ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μπορεί να προκαλέσει συμπύκνωση στην πολλαπλή εισαγωγή.

Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του ψυκτικού μέσου υπάρχουν και αντίστοιχοι τύποι ψυγείων:

1. Ψυγείο αέρα - αέρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό ως ψυκτικό μέσο και όπου υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οι οποίες δυσχεραίνουν τη λειτουργία ενός κλειστού κυκλώματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις ψύξη κυρίως με ακτινοβολία του ελαίου λίπανσης και του νερού του συστήματος ψύξης του κινητήρα πραγματοποιούνται ακριβώς μετά τον εναλλάκτη θερμότητας αέρα - αέρα, το οποίο εγκαθίσταται σε ξεχωριστό μέρος από τον κινητήρα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και πολύ μεγάλοι εναλλάκτες, διότι δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου, όπως για παράδειγμα στη περίπτωση όπου τοποθετούνται πάνω από τον κινητήρα.
2. Παραλλαγή του προηγούμενου τύπου αποτελεί αυτός ο εναλλάκτης αέρα - αέρα, που χρησιμοποιεί αέρα από τον συμπιεστή του συστήματος υπερπλήρωσης του κινητήρα για την κίνηση του ανεμιστήρα παροχής του αέρα ψύξης. Περίπου 5% έως 10% της παροχής του συμπιεστή χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός στροβίλου ώθησης από τον οποίο κινείται ο ανεμιστήρας παροχής του αέρα ψύξης. Ο αέρας που παρέχεται για την ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης είναι ατμοσφαιρικός αέρας. Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος είναι η ρύθμιση της παροχής του αέρα ψύξης ανάλογα με τις απαιτήσεις του κινητήρα. Όμως, το ταίριασμα των συνιστωσών του συστήματος είναι περίπλοκο.
3. Συστήματα αέρα - νερού μπορούν να χρησιμοποιούν είτε το νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα, είτε ξεχωριστό κλειστό σύστημα ψύξης με ιδιαίτερο ψυγείο νερού - αέρα. Το πλεονέκτημα της πρώτης παραλλαγής του συστήματος αέρα - νερού είναι η απλότητα της εγκατάστασης, όμως η ψύξη είναι περιορισμένη λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του νερού (περίπου 90°C). Στην πραγματικότητα υπάρχει περίπτωση σε χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και χαμηλό φορτίο να γίνεται θέρμανση του αέρα υπερπλήρωσης, αντί για ψύξη αυτού. Η δεύτερη παραλλαγή διαθέτει μεγαλύτερη ικανότητα ψύξης, καθώς η θερμοκρασία του ψυκτικού νερού μπορεί να τεθεί χαμηλότερα από τη θερμοκρασία του νερού του συστήματος ψύξης του κινητήρα. Είναι πιο συμπαγές σαν σύστημα στην πλευρά του αέρα από το σύστημα αέρα - αέρα, αλλά έχει υψηλότερο κόστος λόγω των δύο ψυγείων.

Σχεδιασμός του εναλλάκτη θερμότητας του αέρα υπερπλήρωσης

Στόχος της σωστής επιλογής είναι η δυνατόν βέλτιστη ψύξη του αέρα καθώς και η ελαχιστοποίηση της πτώσης πίεσης καθώς και του φαινομένου της καθυστέρησης της απόκρισης του υπερσυμπιεστή (turbo-lag). Για τον σχεδιασμό του εναλλάκτη θερμότητας του αέρα υπερπλήρωσης πρέπει να γίνει κάποιος συμβιβασμός μεταξύ του μεγέθους του (συνεπαγομένου κόστους), της ικανότητας ψύξης αυτού και τους περιορισμούς του χώρου που θα τοποθετηθεί. Συνεπώς, πρέπει να γίνει με τέτοιο σχεδιασμό ώστε να προορίζεται για τον συγκεκριμένο κινητήρα.

Από τη στιγμή που εγκαθίσταται σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα και δεδομένου ότι πρέπει να αντέχει στην πίεση υπερπλήρωσης επιβάλλεται να είναι στιβαρό. Το να είναι συμπαγές είναι επίσης πολύ σημαντικό, στις περισσότερες εγκαταστάσεις και ειδικά στις περιπτώσεις κινητήρων υψηλής ταχύτητας περιστροφής (όπως στη συγκεκριμένη εφαρμογή) όπου η παροχή μάζας του αέρα σχετίζεται με το μέγεθος του κινητήρα. Προφανώς, ο σχεδιασμός του εναλλάκτη προκύπτει ως ένας συμβιβασμός μεταξύ της ικανότητας ψύξης και του οφέλους αυτής στην ισχύ και την απόδοση του κινητήρα, με τις απώλειες πίεσης, το μέγεθος και το κόστος.

Οι δύο βασικότερες παράμετροι του σχεδιασμού ενός εναλλάκτη είναι ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας μεταξύ του αέρα και του ψυκτικού μέσου (αέρας στην περίπτωση μας) και η πτώση πίεσης λόγω τριβής. Η πτώση πίεσης είναι πιο σημαντική στη πλευρά του αέρα υπερπλήρωσης, διότι επηρεάζει την πυκνότητά του, όμως δεν μπορεί να υπάρξει αμέλεια και για τη πλευρά του ψυκτικού. Ο ατμοσφαιρικός αέρας ως ψυκτικό μέσο καταναλώνει σημαντικό ποσό ενέργειας για την υπερνίκηση των τριβών στο εσωτερικό του ψυγείου.

Ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης και επιδόσεις του κινητήρα

Η επίδραση της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι η αύξηση της πυκνότητας του αέρα που εισάγεται στους κυλίνδρους, για δεδομένη πίεση υπερπλήρωσης. Για σταθερή παραγόμενη ισχύ, η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μειώνει τη θερμοκρασία εισαγωγής στον κύλινδρο, άρα και τη θερμική φόρτιση. Εναλλακτικά, εφόσον η πυκνότητα του αέρα υπερπλήρωσης αυξάνεται, μπορεί να καεί περισσότερο καύσιμο, αυξάνοντας έτσι την παραγόμενη ισχύ σε αναλογία με την πυκνότητα, θεωρώντας τους υπόλοιπους παράγοντες σταθερούς.

Το επιπλέον κόστος του συστήματος αντισταθμίζεται από την αύξηση της ισχύος. Σύμφωνα με πολλά πειράματα σε διάφορους κινητήρες παραθέτω τα εξής παραδείγματα, με την χρήση εναλλάκτη θερμότητας αυξάνεται η ισχύς από 1,55 έως 1,82 φορές σε σχέση με τον κινητήρα φυσικής αναπνοής για λόγο πιέσεων 2:1. Για λόγο πιέσεων 2,5:1, η αύξηση είναι από 1,76 έως 2,20 φορές σε σχέση με τον κινητήρα φυσικής αναπνοής. Παρατηρούμε ότι η βελτίωση της ισχύος είναι ανάλογη του λόγου πιέσεων. Ωστόσο, στην πράξη

η θερμική φόρτιση του κινητήρα καθώς και οι άλλοι παράγοντες περιορίζουν αυτήν την αύξηση.

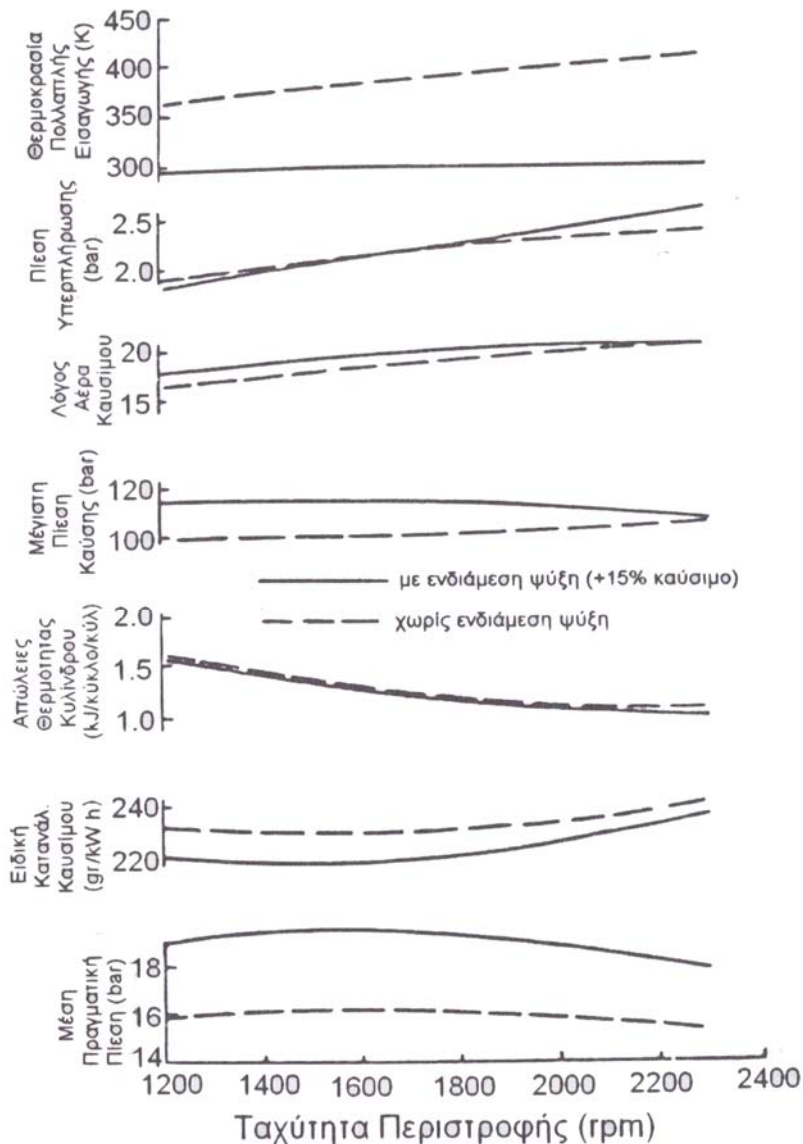
Είναι φανερό ότι με την ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μειώνεται η θερμοκρασία εισαγωγής του αέρα στους κυλίνδρους, με συνέπεια τη μείωση των θερμοκρασιών σε όλο τον κύκλο λειτουργίας του κινητήρα, γεγονός που οδηγεί και σε μείωση των απωλειών θερμότητας στα τοιχώματα των κυλίνδρων. Η παροχή του αέρα αυξάνεται, δηλαδή αυξάνεται ο λόγος αέρα – καυσίμου, με συνέπεια τη μείωση της θερμοκρασίας εισαγωγής στο στρόβιλο. Το τελευταίο γεγονός έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ειδικής ενέργειας στο στρόβιλο, οπότε και η πίεση υπερπλήρωσης μειώνεται, όμως η μείωση αυτή δεν είναι τόσο έντονη ώστε να αντισταθμίσει την αύξηση της πυκνότητας λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Συνδυάζοντας την επίδραση του μικρότερου λόγου αέρα – καυσίμου, της μειωμένης μετάδοσης θερμότητας προς τους κυλίνδρους (λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών στον κύκλο λειτουργίας) και των αλλαγών στην καθυστέρηση ανάφλεξης και στο ρυθμό καύσης, προκύπτει μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου περίπου 6%. Το όφελος στη μέση πραγματική πίεση είναι το ίδιο. Ωστόσο οι δύο παραπάνω βελτιώσεις πραγματοποιούνται κυρίως σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα, καθώς ο εναλλάκτης θερμότητας του αέρα υπερπλήρωσης λειτουργεί πιο αποδοτικά σε μικρές παροχές του αέρα.

Στο ακόλουθο σχήμα (Εικ. 14) παρουσιάζονται οι επιδόσεις ενός κινητήρα για λειτουργία με και χωρίς ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης, με διαφοροποίηση στη μέγιστη παροχή καυσίμου. Η περίπτωση αυτή αποτελεί πιο ρεαλιστικό σενάριο. Χωρίς καμία αλλαγή στον υπερσυμπιεστή, η μέση πραγματική πίεση αυξάνεται από 16bar σε 19,5bar (22%) και η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 6% (κυρίως λόγω αύξησης της ενδεικνυόμενης ισχύος αλλά όχι και της ισχύος των τριβών). Τα παραπάνω προκύπτουν μεταβάλλοντας την παροχή καυσίμου με τρόπο ώστε να παραμείνει αμετάβλητη η θερμική φόρτιση του θαλάμου καύσης. Ωστόσο, η μέγιστη πίεση εντός του κυλίνδρου αυξάνεται από 105bar σε 118bar (12,5%).

Στους συγκεκριμένους υπολογισμούς, η αυξημένη παροχή αέρα διαμέσου του συμπιεστή μεταφέρει το σημείο λειτουργίας πλήρους ισχύος σε περιοχή χαμηλότερου βαθμού απόδοσης του συμπιεστή. Τελικά, ο λόγος αέρα – καυσίμου είναι περίπου ο ίδιος στις περιπτώσεις με και χωρίς ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης. Ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων δείχνει ότι η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης επιτρέπει σημαντική αύξηση της ισχύος χωρίς αύξηση του θερμικού φορτίου. Υπάρχει επίσης όφελος και στην ειδική κατανάλωση καυσίμου, λόγω της αύξησης της ισχύος χωρίς ταυτόχρονη αύξηση στις απώλειες τριβών του κινητήρα και λόγω του μεγαλύτερου λόγου αέρα – καυσίμου.

Εικόνα 14



Επίδραση της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης στις επιδόσεις του κινητήρα

Το προφανές πρόβλημα είναι ότι η μέγιστη πίεση εντός των κυλίνδρων αυξάνεται με την ισχύ και μάλιστα όχι γραμμικά. Στην περίπτωση διβάθμιας στροβιλο-υπερπλήρωσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντίστοιχα και διβάθμια ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης, δηλαδή τόσο μεταξύ των βαθμίδων συμπίεσης (interstage cooling ή intercooling), όσο και μετά από τη δεύτερη συμπίεση (aftercooling).

Εφόσον η θερμοκρασιακή ανύψωση σε κάθε βαθμίδα συμπίεσης είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας εισαγωγής, η ενδιάμεση ψύξη μειώνει το έργο της βαθμίδας υψηλής πίεσης. Έτσι, η ενδιάμεση ψύξη έχει διπλό όφελος, μειώνοντας συγχρόνως τη θερμοκρασία εισαγωγής στους κυλίνδρους και το έργο του συμπιεστή υψηλής πίεσης. Το μειονέκτημα είναι το μεγάλο μέγεθος του εναλλάκτη θερμότητας που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθεί σημαντική ενδιάμεση ψύξη, καθώς η θερμοκρασία του αέρα μετά από την πρώτη βαθμίδα συμπίεσης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα πλεονεκτήματα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι ξεκάθαρα. Το κριτήριο εφαρμογής της στην πράξη είναι η διαθεσιμότητα ενός ψυκτικού μέσου σε χαμηλή θερμοκρασία καθώς και το κόστος. Αναφορικά με το τελευταίο, συνήθως προκύπτει ότι η εφαρμογή ενός συστήματος ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι παραδεκτή για όλους τους κινητήρες μεγάλου μεγέθους. Συχνά, για οικονομικούς λόγους, οι κατασκευαστές επιθυμούν να παρέχουν ένα εύρος ισχύων που βασίζονται στον ίδιο σχεδιασμό κινητήρα.

Θα ήταν βολικό να υπήρχαν τρία παρόμοια εύρη για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις (κινητήρας φυσικής αναπνοής, κινητήρας με στροβίλο - υπερπλήρωση και κινητήρας με στροβίλο - υπερπλήρωση και ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης). Εφόσον η μηχανική και θερμική φόρτιση του κινητήρα είναι μεγαλύτερες στις περιπτώσεις κινητήρων υψηλής ισχύος, ο κινητήρας φυσικής αναπνοής προκύπτει μάλλον υπερδιαστασιολογημένος, όμως το επιπλέον κόστος μπορεί να αντισταθμιστεί από την οικονομία παραγωγής πολλών κινητήρων βασισμένων στον ίδιο σχεδιασμό.

Υπολογισμός της συνεισφοράς του εναλλάκτη θερμότητας στη καθυστέρηση της απόκρισης του υπερσυμπιεστή (turbolag)

Όλος ο όγκος εσωτερικά του εναλλάκτη θερμότητας πρέπει να συμπιεστεί προτού αυτός ο συμπιεσμένος πλέον αέρας καταλήξει στην εισαγωγή του κινητήρα. Παρότι ο όγκος αυτός δεν έχει μεγάλη εισφορά σε χρονοκαθυστέρηση, παραμένει ένας σημαντικός σχεδιαστικός παράγοντας για τη βελτιστοποίηση της κατασκευής ενός ποιοτικού εναλλάκτη θερμότητας.

Μια καλή εκτίμηση για τη χρονοκαθυστέρηση δίνεται διαιρώντας τον εσωτερικό όγκο του εναλλάκτη θερμότητας με τη ροή αέρα (air flow) του συστήματος για συγκεκριμένες στροφές του κινητήρα στις οποίες θα επιταχύνουμε απότομα ανοίγοντας ακαριαία τις πεταλούδες των αυλών εισαγωγής, διπλασιάζοντας το αποτέλεσμα (Σχ. 7).

Σχέση 7

$$turbolag = \frac{V}{airflow} * 2$$

Από δεδομένα έχουμε για 3000rpm airflow = 0,035 m³/sec και ύστερα από ογκομέτρηση που έγινε με υγρό (νερό) στον εναλλάκτη θερμότητας που κατασκευάστηκε έχουμε V περίπου 860cm³ = 0,000860m³, οπότε αντικαθιστώ στη σχέση 7 με αποτέλεσμα:

Σχέση 8

$$turbolag = \frac{0,000860 \text{ m}^3}{0,035 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}} * 2$$

$$turbolag = 0,049\text{sec}$$

Να σημειώσουμε εδώ ότι η συνολική καθυστέρηση της απόκρισης του υπερσυμπιεστή (turbolag) θα είναι μεγαλύτερη, εμείς υπολογίσαμε την επιπλέον επιβάρυνση εξαιτίας του εναλλάκτη θερμότητας.

Διαστασιολόγηση πυρήνα

Ένα μεγάλο μέρος της απώλειας πίεσης διαμέσου του εναλλάκτη θερμότητας καθορίζεται από την επιφάνεια εσωτερικής ροής (internal flow area) του πυρήνα του. Όπου επιφάνεια εσωτερικής ροής (E.E.P.) = μήκος καναλιού * πλάτος καναλιού * αριθμό καναλιών.

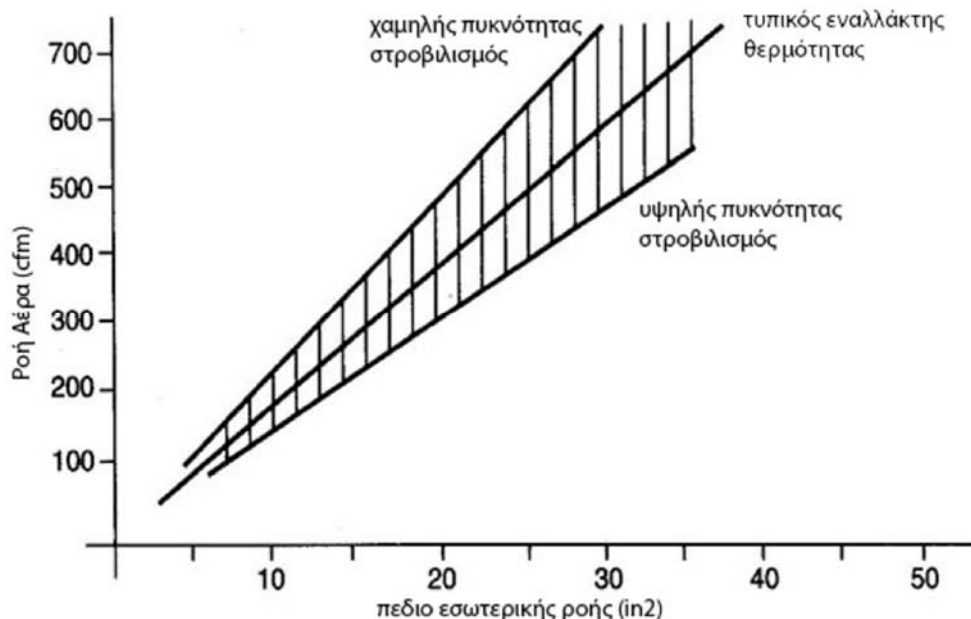
Από την επιλογή μας έχουμε:

Σχέση 9

$$E.E.P. = 18,5\text{cm} * 0.7\text{cm} * 7 = 90.65\text{cm}^2$$

Επειδή δεν υπάρχει κάποιος τύπος που να μας δίνει την επιφάνεια εσωτερικής ροής (internal flow area) του πυρήνα του, γνωρίζουμε πειραματικά ότι ισχύουν τα παρακάτω (Εικ. 14):

Εικόνα 14



Οπότε για 280cfm μέγιστη ροή αέρα με τυπικό εναλλάκτη θερμότητας θα έχουμε επιφάνεια εσωτερικής ροής (internal flow area) περίπου $15,5\text{in}^2 = 100\text{cm}^2$. Έχουμε δηλαδή περίπου 9,5cm διαφορά από την πραγματική κατασκευή.

Λαμβάνοντας υπόψιν την περιορισμένη μετωπική επιφάνεια της μοτοσυκλέτας και λόγω έλλειψης χώρου εξαιτίας των εξαρτημάτων που προϋπήρχαν ή έχουν προστεθεί για τη μετατροπή (υπερσυμπιεστής, πολλαπλή εξαγωγής, η μετατόπιση του φίλτρου λαδιού, ψυγείο κινητήρα κλπ.), ο εναλλάκτης θερμότητας που κατασκευάστηκε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι από πυρήνα αλουμινίου πλάτους 50mm που κόπηκε για τις ανάγκες της κατασκευής στις διαστάσεις μήκος: 185mm, ύψος: 90mm. Ο πυρήνας της επιλογής μας πριν τη συγκόλληση του (Εικ. 15, 16 &17).

Εικόνα 15



Εικόνα 16

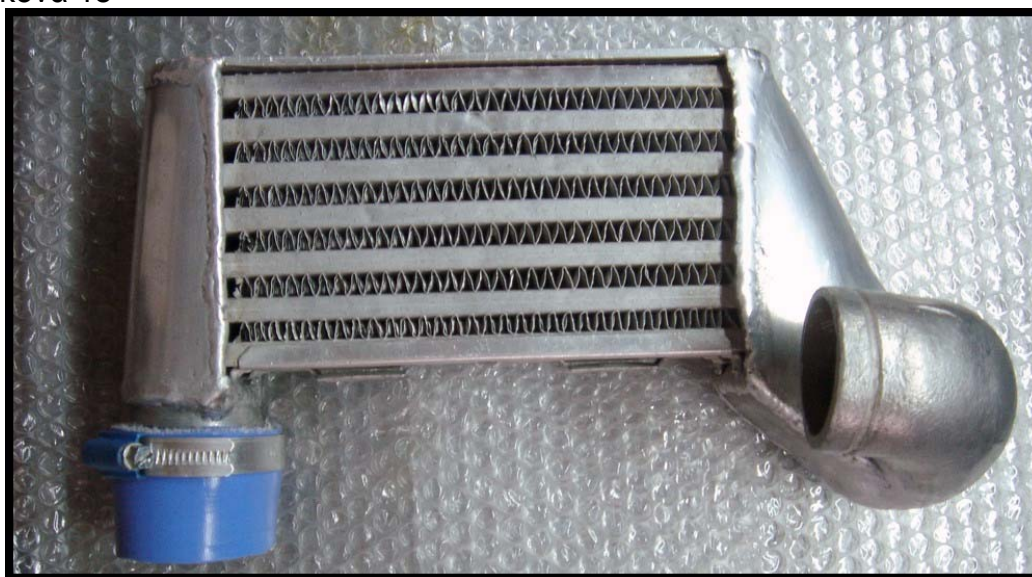


Εικόνα 17



Στην κατασκευή έγινε προσπάθεια να αποφευχθούν οι γωνίες στις άκρες καθώς και τις απότομες αλλαγές κατεύθυνσης. Κατασκευάστηκε με την εξαγωγή και την εισαγωγή από την ίδια πλευρά τηρήθηκαν τα σωστά πρότυπα για σωστή κατανομή του συμπιεσμένου αέρα. Μετά το τέλος της κατασκευής ο εναλλάκτης θερμότητας δοκιμάστηκε για τυχόν διαρροές σε δεξαμενή νερού με πίεση 1bar (= 14,5psi), όπου και πέρασε το τεστ με επιτυχία. Η τελική μορφή του εναλλάκτη θερμότητας είναι η ακόλουθη (Εικ. 18):

Εικόνα 18



Με το δεξιό άκρο είσοδο του συμπιεσμένου αέρα προς ψύξη από το συμπιεστή και το αριστερό άκρο έξοδο προς την πολλαπλή εισαγωγής.

Βαλβίδα ανακούφισης του συμπιεσμένου αέρα (blow off valve)

Σκοπός της βαλβίδας ανακούφισης είναι να εμποδίσει τη δημιουργία υπερπίεσης στο εσωτερικό του σωλήνα παροχής του συστήματος υπερτροφοδότησης και είναι τοποθετημένη μεταξύ της εξόδου του στροβιλοσυμπιεστή και της εισαγωγής του κινητήρα. Η βαλβίδα ανακούφισης στην εισαγωγή του αέρα του υπερσυμπιεστή φροντίζει να μην συνεχίζεται η παροχή του συμπιεσμένου αέρα στον κινητήρα, όταν η πεταλούδα του γκαζιού είναι κλειστή, παρακάμπτοντας τον στρόβιλο. Με τον τρόπο αυτό ο υπερσυμπιεστής συνεχίζει να γυρίζει με αμείωτες στροφές και χωρίς να επηρεαστεί η πίεση του συστήματος ώστε να μπορεί να επαναλειτουργεί με ελάχιστη υστέρηση.

Αναλυτικότερα, η βαλβίδα ανακούφισης λέγεται και αλλιώς ηλεκτροβαλβίδα τύπου Dump που κατευθύνεται απευθείας από τον υπολογιστή του κινητήρα. Η λειτουργία της είναι να προφυλάσσει τον στροφέα από τις υπερβολικές εντάσεις που εμφανίζονται μετά από τη γρήγορη ελευθέρωση του πεντάλ του γκαζιού ενώ ο κινητήρας βρίσκεται σε συνθήκες πλήρους φορτίου.

Σε αυτές τις συνθήκες, το ξαφνικό κλείσιμο της βαλβίδας με πεταλούδα δημιουργεί ένα κύμα πίεσης που διαδίδεται σε όλη τη στήλη του εισερχόμενου αέρα έως τα πτερύγια του στροφέα του συμπιεστή που, με τον κινητήρα να λειτουργεί σε υψηλά φορτία, φτάνει σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Αυτό το κύμα θα δημιουργούσε μία ώθηση αντίθετη στην περιστροφή του στροφέα προκαλώντας μία αντίσταση στη στρέψη που θα επιβάρυνε τις συνθήκες λειτουργίας του και αυτές των εξαρτημάτων που τον υποστηρίζουν.

Η βαλβίδα Dump, όταν ανοίγει εκτρέπει από την έξοδο από τον στροφέα μέρος της συμπιεσμένης ροής για να τη διοχετεύσει στην είσοδό του. Με αυτόν τον τρόπο εξισορροπούνται ξανά οι πιέσεις πριν και μετά τον συμπιεστή εμποδίζοντας τις απότομες επιβραδύνσεις στην περιστροφή του.

Η βαλβίδα ανακούφισης διαχωρίζεται σε ατμοσφαιρική, επανατροφοδότησης και ημι-επανατροφοδότησης. Ο διαχωρισμός αυτός έχει να κάνει με την απόδοση του συμπιεσμένου αέρα που απελευθερώνει η βαλβίδα όταν αυτή ενεργεί. Οι ονομασίες της λαμβάνονται από τη διαφυγή του αέρα αυτού. Αν απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ονομάζεται ατμοσφαιρική, αν επανατροφοδοτεί το σύστημα επανατροφοδότησης και αν μισή απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μισή στο σύστημα ημι-επανατροφοδότησης.

Υπάρχουν πολλές επιλογές στην αγορά. Η σωστή επιλογή είναι πολύ σημαντική για τη βέλτιστη απόδοση, ώστε να μην υπάρχουν αθέμητες απώλειες αλλά και για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Η επιλογή της έχει να κάνει με μία πληθώρα από παράγοντες οι οποίοι εξαρτούνται από την εκάστοτε εφαρμογή.

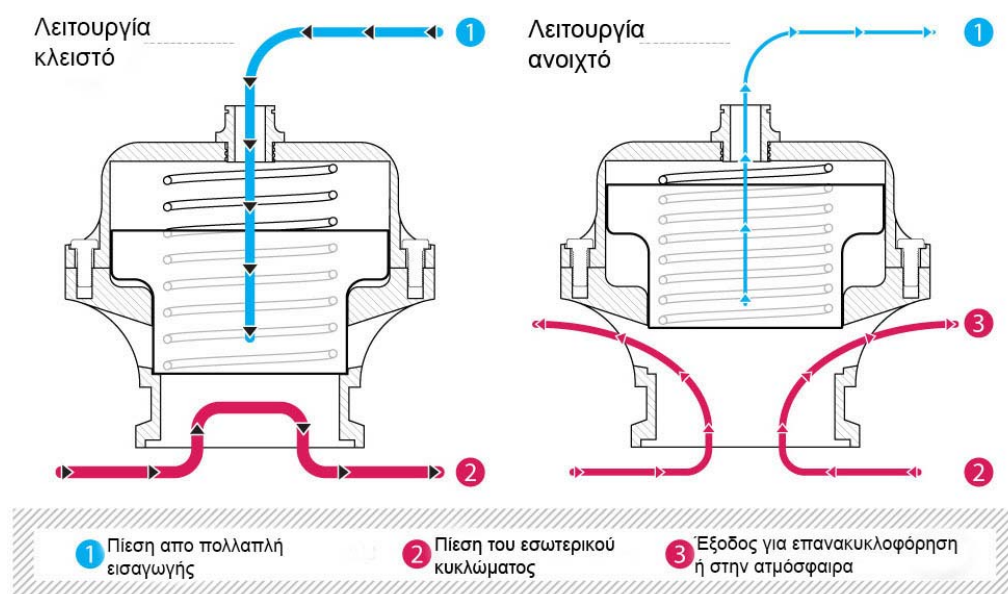
Μερικοί παράγοντες είναι:

1. Το σχέδιο – μορφολογία.
2. Την ικανότητα συγκράτησης πίεσης.
3. Τον όγκο ροής.
4. Την ποιότητα κατασκευής - συναρμολόγησης.
5. Την αξιοπιστία.
6. Τη μετά - πώλησης εξυπηρέτηση.
7. Το σέρβις και τα ανταλλακτικά.

Στην φωτογραφία φαίνεται η βαλβίδα της επιλογής μας.
Εικόνα 19



Στο σχήμα γίνεται παράσταση της λειτουργίας της. Εικόνα 20



Βαλβίδα ανακούφισης - εκτόνωσης καυσαερίων (wastegate)

Η βαλβίδα ανακούφισης καυσαερίων είναι μία συσκευή η οποία όταν ενεργεί παρακάμπτει μερικό όγκο καυσαερίων πριν από το στρόβιλο του υπερσυμπιεστή στην ατμόσφαιρα με σκοπό να ελέγξει – περιορίσει τη μέγιστη πίεση. Συνήθως είναι κλειστή, και συγκρατείται εσωτερικά από ένα ελατήριο.

Όταν τα επίπεδα πίεσης υπερβούν το όριο ρύθμισης, τότε η βαλβίδα ανοίγει σταδιακά, επιτρέποντας τα καυσαέρια να φύγουν στην ατμόσφαιρα χωρίς να περάσουν από την πτερωτή του στροβίλου δηλαδή χωρίς να φορτίσουν το σύστημα με επιπλέον πίεση. Ουσιαστικά έχει ίδια αρχή λειτουργίας με τη βαλβίδα ανακούφισης του συμπιεσμένου αέρα (blow off valve) με τη διαφορά ότι ενεργεί στην πλευρά του στροβίλου, των καυσαερίων.

Χωρίζονται σε εσωτερικές και εξωτερικές. Σχεδόν όλα τα εργοστασιακά υπερτροφοδοτούμενα οχήματα λειτουργούν με εσωτερικές βαλβίδες, κυρίως λόγω περιορισμού του κόστους. Για εφαρμογές όπου η επιθυμητή ισχύς είναι μεγαλύτερη των 400Hp είναι προτιμότερο να γίνεται χρήση εξωτερικών βαλβίδων. Αυτό μπορεί κάποιος να το αντιληφθεί και από τους κατασκευαστές των υπερσυμπιεστών όπου στους πολύ μεγάλους στρόβιλους δεν έχουν καθόλου εσωτερικές βαλβίδες. Οι εξωτερικές βαλβίδες έχουν μεγαλύτερες θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, μεγαλύτερα ελατήρια πίεσης και μεγαλύτερο διάφραγμα για πιο αποτελεσματικό έλεγχο της πίεσης.

Ο έλεγχος για τη λειτουργία της βαλβίδας μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

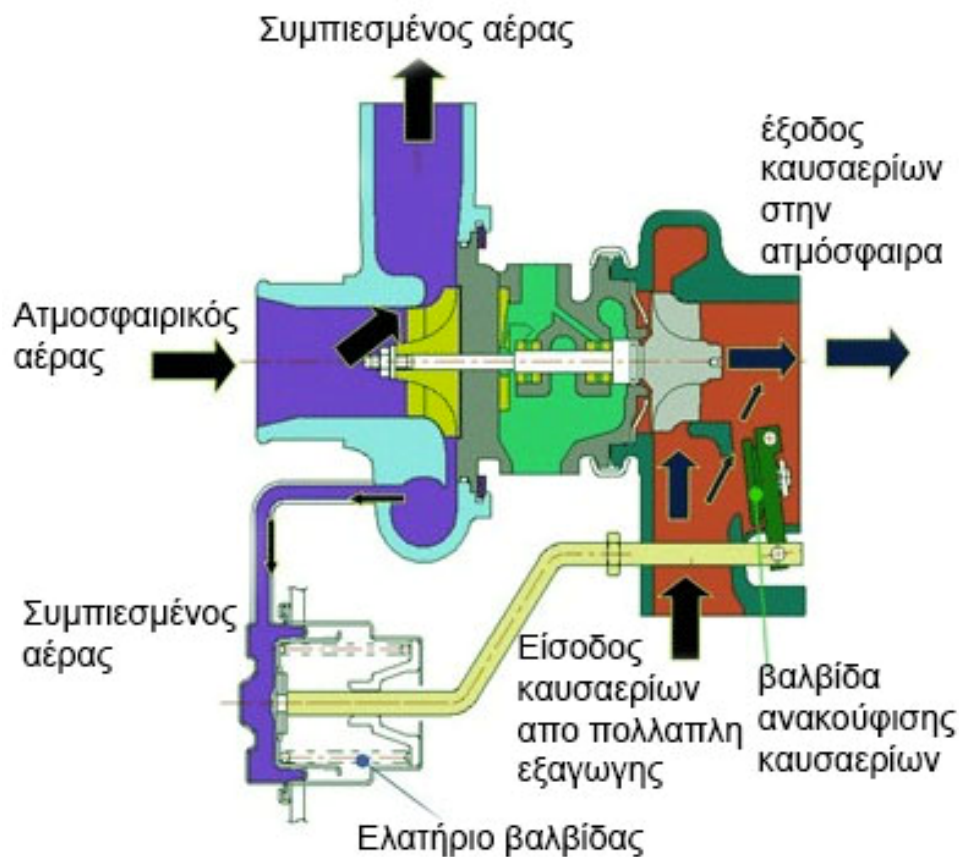
1. Πνευματικά ελεγχόμενη βαλβίδα, που είναι και η πιο διαδεδομένη. Έλεγχος από ένα κλειστό κύκλωμα ο οποίος παρέχει πίεση συμπίεσης από την εισαγωγή στον εκκινητή της βαλβίδας. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων βαλβίδων. Η πρώτη είναι αυτές που έχουν μία θυρίδα που είναι συνδεδεμένη με την εισαγωγή για να έχουν ένδειξη της πίεσης. Η περίπτωση αυτή είναι η πιο διαδεδομένη και είναι η μοναδική που συναντάμε σε εσωτερικές βαλβίδες. Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτές οι βαλβίδες που έχουν δύο θυρίδες, εκ των οποίων η δεύτερη είναι απέναντι από την πρώτη. Ο συμπιεσμένος αέρας εισέρχεται και στη δεύτερη βοηθώντας το ελατήριο να πιέσει δυνατότερα ώστε να βοηθήσει προς το κλείσιμο της βαλβίδας. Κάτι τέτοιο δίνει τη δυνατότητα να επιτευχθεί γρηγορότερα η μέγιστη πίεση χωρίς απώλειες, αλλά το σύστημα γίνεται πιο πολύπλοκο ως προς τον έλεγχο με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιείται πολύ.
2. Ηλεκτρικά ελεγχόμενη βαλβίδα. Κάποιες τέτοιες εφαρμογές συναντάμε σε αεροπλάνα τη δεκαετία του 1940 όπως ο υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας Wright R-1820 στο αεροπλάνο B-17 flying fortress. Η εταιρεία General Electric ήταν ο μεγαλύτερος κατασκευαστής αυτών των συστημάτων. Προ της εποχής των υπολογιστών ήταν πλήρως αναλογικά. Ο πιλότος στο ταμπλό ελέγχου είχε να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών πιέσεων λειτουργίας ανάλογα με την επιθυμητή ισχύ. Το σύστημα αυτό ξεπεράστηκε σύντομα καθώς οι σχεδιαστές τέτοιων συστημάτων ήθελαν τον διαχωρισμό του χειρισμού του κινητήρα από το ηλεκτρικό σύστημα.

3. Υδραυλικά ελεγχόμενη βαλβίδα. Τέτοια συναντάμε στην πιο μοντέρνα υπερτροφοδοτούμενη αεροπλοΐα, όπου ο έλεγχος της βαλβίδας γίνεται με χρήση του λαδιού του κινητήρα. Σε αυτή την εφαρμογή ένα ελατήριο δρα για να ανοίξει η βαλβίδα ενώ η πίεση του λαδιού δρα για να κλείσει. Στην πλευρά του λαδιού υπάρχει ένας ελεγκτής πυκνότητας, ο οποίος αλλάζει σύμφωνα με την πίεση του αέρα και ορίζει πόσο γρήγορα μπορεί να επιστρέψει το λάδι πίσω στον κινητήρα. Όσο το αεροσκάφος αποκτά μεγαλύτερο υψόμετρο τόσο ο ελεγκτής πυκνότητας κλείνει περιορίζοντας περισσότερη την ποσότητα λαδιού με αποτέλεσμα να αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής του υπερσυμπιεστή και να έχει περισσότερη ισχύ.

Οι εργοστασιακοί ρυθμιστές πίεσης είναι κατασκευασμένοι ώστε να μπορούν να διαχειριστούν συγκεκριμένα επίπεδα πίεσης. Αν η πίεση αυξηθεί ώστε να έχουμε μεγαλύτερη παροχή αέρα, η βαλβίδα δείχνει ανίκανη να συγκρατήσει την πίεση και να παραμείνει πλήρως σφραγισμένη μέχρι το επιθυμητό επίπεδο πίεσης. Αυτό συμβαίνει διότι η εσωτερική πίεση του στροβίλου αυξάνει όσο αυξάνεται η πίεση του συστήματος. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος γίνεται με χρήση μεγαλύτερου ελατηρίου και αν είναι εφικτό και χρήση μεγαλύτερου διαφράγματος.

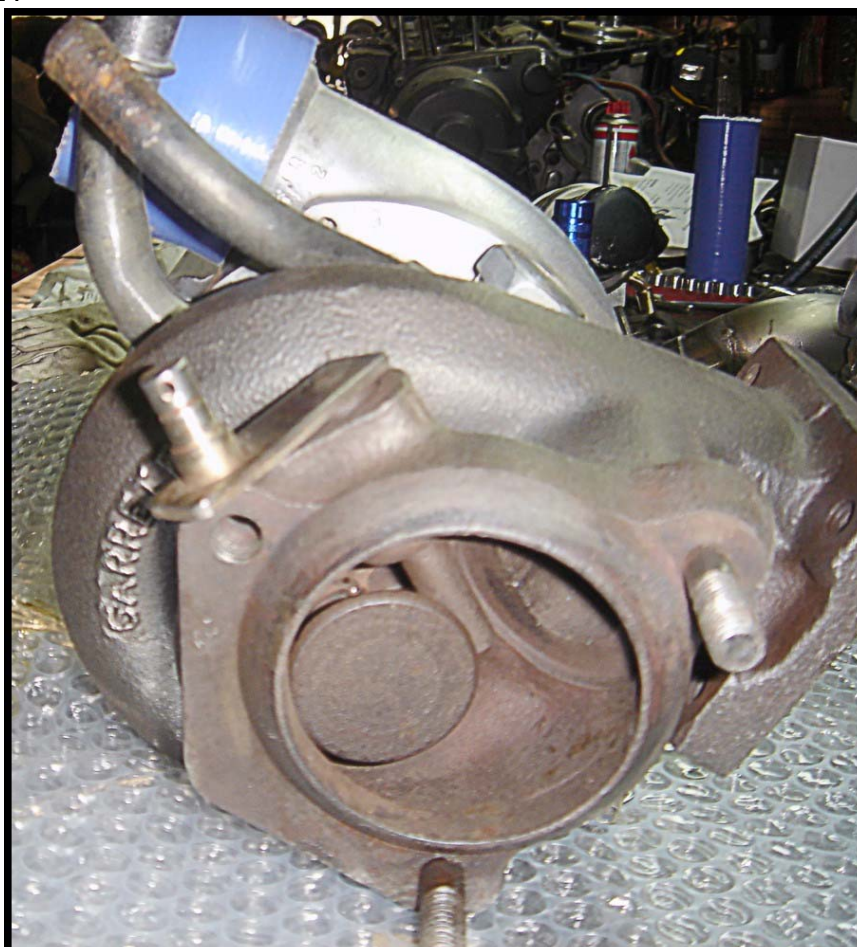
Η λειτουργία της βαλβίδας φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Εικ.21):

Εικόνα 21



Στον υπερσυμπιεστή της επιλογής μας όπως φαίνεται στην φωτογραφία (Εικ. 21) με τη θύρα διαφυγής των καυσαερίων ανοιχτή.

Εικόνα 21



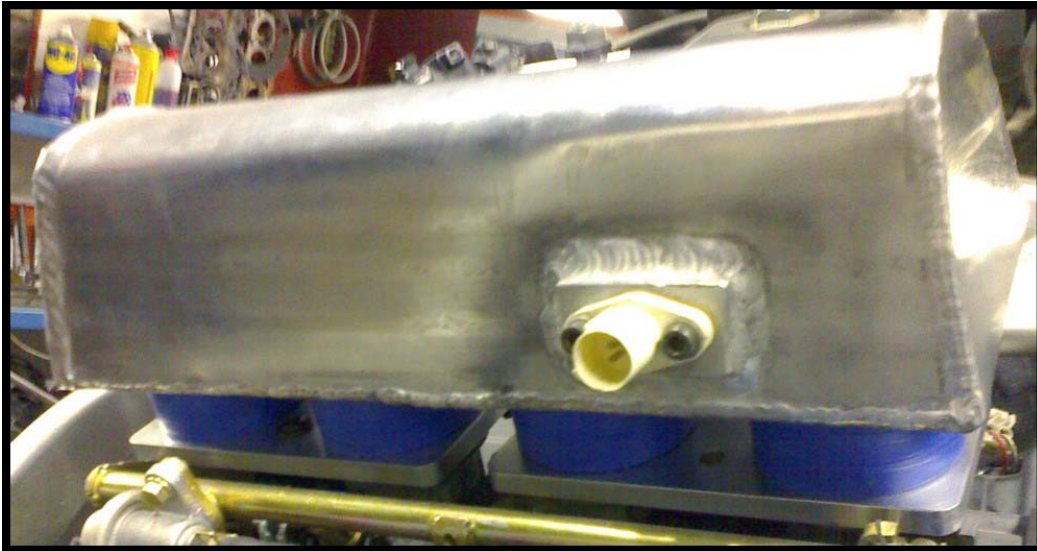
Πολλαπλή εισαγωγή

Η σχεδίαση του συστήματος εισαγωγής μπορεί να είναι αισθητά διαφορετική από αυτή των κινητήρων φυσικής αναπνοής. Οι βασικοί στόχοι είναι η ελαχιστοποίηση του όγκου μεταξύ συμπιεστή και των αυλών εισαγωγής της κεφαλής (για να βελτιωθεί η απόκριση), η επιδίωξη ίσης κατανομής του αέρα ως προς τις εισαγωγές των κυλίνδρων, η εξάλειψη της περιστροφικής κίνησης του αέρα και η διατήρηση της θερμοκρασίας του χαμηλά. Ο συνολικός όγκος της πολλαπλής εισαγωγής εξαρτάται από τη διάταξη κυλίνδρων του κινητήρα, τον κυβισμό του κινητήρα αλλά και το είδος της χρήσης.

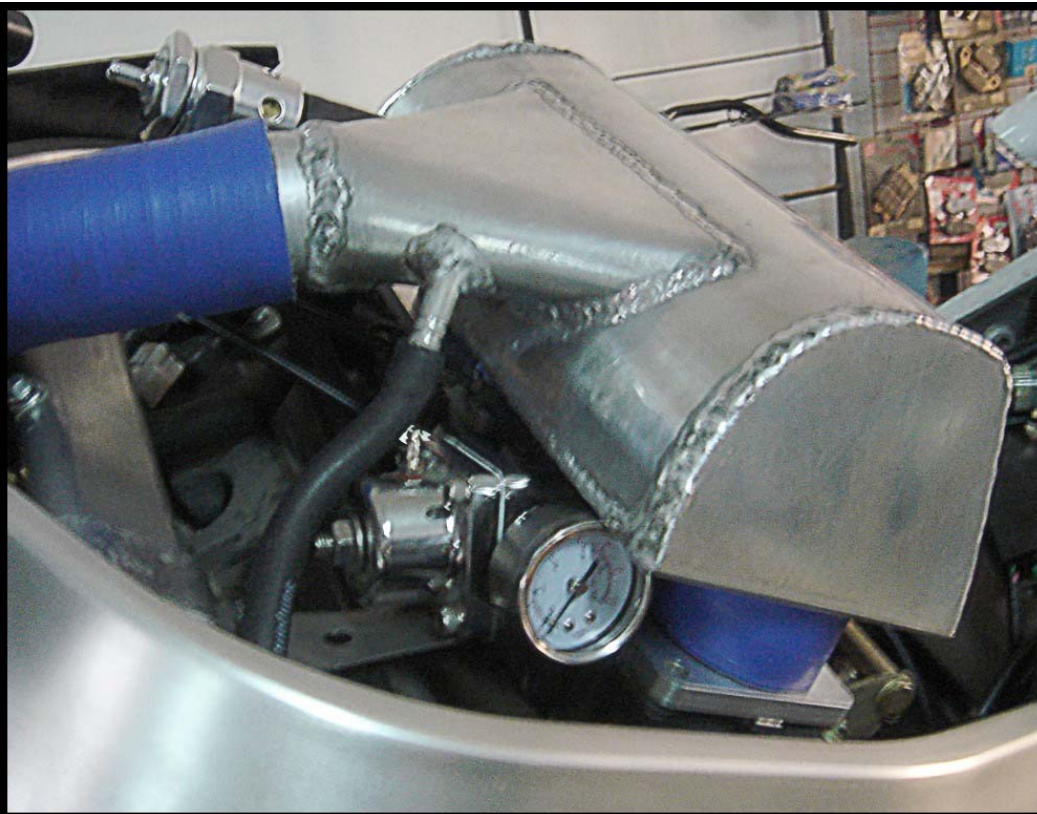
Ο ρόλος της πολλαπλής εισαγωγής είναι να διανέμει τον συμπιεσμένο αέρα τροφοδοσίας στους κυλίνδρους. Για κινητήρες πολλαπλού ψεκασμού αν έχουμε στόχο για πολύ υψηλές επιδόσεις μπορεί να έχει υποδοχές για επιπλέον μπεκ ψεκασμού με κατεύθυνση προς τους αυλούς εισαγωγής. Η πολλαπλή εισαγωγής θα πρέπει να βρίσκεται σε ορισμένη θερμοκρασία ώστε να βοηθάει στην εξαέρωση της βενζίνης δημιουργώντας έτσι ένα σωστό καύσιμο μίγμα αέρα – βενζίνης.

Η κατασκευή μας έγινε από αλουμίνιο τύπου 6061 1/4" (6,35mm), το οποίο είναι εύκαμπτο αρκετά ώστε να γίνουν οι απαραίτητες καμπύλες και γωνίες αλλά και ανθεκτικό στις πιέσεις λειτουργίας. Στην πολλαπλή εισαγωγής έγινε μία σωληνωτή εξωτερική οπή ώστε να προσαρτηθεί πάνω της με κατάλληλη σύσφιξη η βαλβίδα ανακούφισης συμπιεσμένου αέρα. Συγκολλήθηκε και ένας μικρός σωλήνας για να συνδεθεί με όργανο ένδειξης πίεσης υπερπλήρωσης. Η τελική κατασκευή εγκατεστημένη:

Εικόνα 22



Εικόνα 23



Γενικά στην κατασκευή έγινε προσπάθεια να αποφευχθούν οι γωνίες κάθετα στη ροή του αέρα. Η σύνδεση του αγωγού που έρχεται από τον εναλλάκτη

θερμότητας έγινε με κατασκευή της εισόδου της πολλαπλής εισαγωγής ως διαχύτης του οποίου τα άκρα φτάνουν στο μέσο των ακριανών αυλών εισαγωγής (κύλινδροι 1 – 4) για καλύτερη και ταυτόχρονη διανομή του συμπιεσμένου αέρα.

Η σύσφιξη της πολλαπλής εισαγωγής στο σώμα των αυλών ψεκασμών έγινε με την κατασκευή δύο αλουμινένιων πλακών στις οποίες κατασκευάστηκαν οι απαραίτητες αυλακώσεις για την τοποθέτηση ελαστικού για την ασφαλή και χωρίς απώλειες ένωση με το σώμα των ψεκασμών, όπως φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες (Εικ. 24 & 25).

Εικόνα 24



Εικόνα 25



Αναλυτικά στο σχέδιο 2 στο παράρτημα στη σελίδα 93. Η ένωση των πλακών αυτών με την πολλαπλή εισαγωγής πραγματοποιήθηκε με 4 κολάρα σιλικόνης, μήκους 4cm και 2 σφικτήρες σωλήνων βαρέως τύπου για κάθε ένωση.

Τέλος, όλο το υποσύστημα της εισαγωγής δοκιμάστηκε μέχρι την πίεση των 1,5bar, πίεση τριπλάσια της λειτουργικής, για απώλειες με επιτυχία.

Πολλαπλή εξαγωγής και η επίδρασή της

Η πρώτη επιτυχής εφαρμογή του υπερσυμπιεστή καυσαερίων στην πράξη χρησιμοποιούσε ένα κοινό οχετό εξαγωγής των καυσαερίων, που είχε ως αποτέλεσμα τη λειτουργία του στροβίλου υπό σταθερή πίεση (υπερσυμπιεστή καυσαερίων σταθερής πίεσης). Σύμφωνα με την ιδέα του υπερσυμπιεστή καυσαερίων με παλμούς πίεσης, ο οχετός εξαγωγής του κινητήρα και η εισαγωγή του στροβίλου πρέπει να διαστασιολογηθούν έτσι (καθώς και ο χρονισμός των βαλβίδων πρέπει να είναι τέτοιος), ώστε η πίεση στον οχετό εξαγωγής να ξεπερνάει την πίεση υπερπλήρωσης όταν ανοίξει η βαλβίδα εξαγωγής και να πέφτει κάτω από αυτήν προς το τέλος της φάσης εξαγωγής των καυσαερίων από τον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της απόπλυσης του κυλίνδρου.

Παρόλο που η ενδεχόμενη πίεση υπερπλήρωσης από τον υπερσυμπιεστή είναι υπερβολική υπό πλήρες φορτίο και ταχύτητα του κινητήρα, το αντίθετο ισχύει σε χαμηλές ταχύτητες. Ως εκ τούτου η πολλαπλή εξαγωγής πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας των καυσαερίων σε σχετικά μικρές ταχύτητες κινητήρα. Επομένως, η υπερτροφοδότηση με σύστημα παλμών πίεσης πρέπει να υιοθετηθεί με κοντούς λεπτούς αγωγούς καυσαερίων. Γενικά, με δεδομένο ότι η διάμετρος του αγωγού δεν πέσει κάτω από τη μέγιστη επιφάνεια της βαλβίδας (εξαγωγής), όσο στενότεροι και κοντότεροι είναι οι σωλήνες, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες.

Συνήθως, αγωγοί εξάτμισης μεγάλου διαμετρήματος χρησιμοποιούνται από την εξαγωγή του στροβίλου και πέρα, μαζί με σιγαστήρα χαμηλής απώλειας. Ένα σύστημα μικρού διαμετρήματος δημιουργεί περιορισμούς παροχής και πίεση αντίθλιψης στην έξοδο του στροβίλου. Παρόλο που αυτό δεν συνιστά απαραίτητως πρόβλημα διότι ο υπερτροφοδότης μπορεί να επιλεγεί αντίστοιχα, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί σύστημα εξαγωγής χαμηλής απώλειας.

Παρόλα αυτά, η δουλειά της είναι απλή, η ταχύτερη και αποτελεσματικότερη αποβολή των καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης και η οδήγησή τους προς την εξάτμιση. Χωρίζονται καταρχήν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τις χυτές και τις σωληνωτές (που είναι συνήθως η χειροποίητες όπως στην περίπτωση μας). Το μεγάλο πλεονέκτημα των χυτών πολλαπλών εξαγωγής είναι η απλότητα της σχεδιάσής τους (και κατά συνέπεια η ευκολία στη μαζική παραγωγή) και η αντοχή τους. Όσο οι ιπποδυνάμεις παραμένουν σε λογικά πλαίσια (δηλαδή μιλάμε για εργοστασιακούς κινητήρες και όχι βελτιωμένους) η εργοστασιακή πολλαπλή εξαγωγής θα φέρει σε πέρας το έργο που της έχει ανατεθεί.

Η απλοϊκή κατασκευή της σημαίνει ότι έχουν γίνει συμβιβασμοί τόσο στην τεχνολογία που ενσωματώνει όσο και στη μελέτη που έχει γίνει πριν την παραγωγή για να κρατηθεί το κόστος χαμηλά. Από την άλλη, οι χειροποίητες πολλαπλές εξαγωγής γίνονται έπειτα από μελέτη για συγκεκριμένη εφαρμογή οπότε συνεργάζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο με το εκάστοτε σύνολο του κινητήρα και των επιμέρους εξαρτημάτων βελτιστοποιώντας την απόδοσή τους.

Μία σωληνωτή πολλαπλή εξαγωγής όμως έχει και αυτή τα μειονεκτήματα της ή έστω κάποια σημεία που χρίζουν προσοχής. Ένα τέτοιο σημείο λοιπόν είναι η αντοχή της. Επειδή έχουμε να κάνουμε με χειροποίητη κατασκευή που περιλαμβάνει συγκολλήσεις (τις περισσότερες φορές με το χέρι) σε ένα μέρος του κινητήρα που υπόκειται σε έντονη θερμική και μηχανική καταπόνηση φτιαγμένη με υλικά που εκ των πραγμάτων έχουν μικρότερη αντοχή σε τέτοια φαινόμενα σε σύγκριση με τον χυτοσίδηρο που συνήθως χρησιμοποιείται στις εργοστασιακές πολλαπλές, τα ραγίσματα δεν είναι σπάνια.

Ωστόσο θα πρέπει να επισημάνουμε ότι εφόσον η χειροποίητη πολλαπλή εξαγωγής είναι καλής ποιότητας οι αστοχίες δεν αποτελούν ζήτημα. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ακριβώς το ότι φτιάχνονται για να συνεργαστούν με κάποια συγκεκριμένα εξαρτήματα. Αν αλλάξει κάτι δραστικά στα συνεργαζόμενα εξαρτήματα της, αυτό που πριν ήταν πλεονέκτημα τότε γίνεται μειονέκτημα. Η πολλαπλή εξαγωγής είναι «άχρηστη» και πρέπει να αντικατασταθεί από καινούργια που θα ανταποκρίνεται στα νέα εξαρτήματα.

Τα καυσαέρια, ως γνωστόν, δεν έχουν συνεχή ροή επειδή κάθε κύλινδρος «παράγει» καυσαέρια σε διαφορετικό χρόνο (ανάλογα με τη σειρά ανάφλεξης). Δημιουργούνται παλμοί μέσα στο σύστημα εξαγωγής. Στις χυτές πολλαπλές εξαγωγής, ο παλμός από τον έναν κύλινδρο μπορεί να «αναμιχθεί» με κάποιον άλλο παλμό και να προκαλέσει προβλήματα, όπως η μείωση του φαινομένου της σάρωσης των κυλίνδρων αλλά και αύξηση του φαινομένου της αναστροφής όπου η ροή διαταράσσεται τόσο ώστε τελικά τα καυσαέρια να γυρνούν πίσω και να «μολύνουν» τον θάλαμο καύσης.

Όλα αυτά προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων και της συμπίεσης κάνοντας αναγκαία μία πολύ πιο συντηρητική χαρτογράφηση της ECU του κινητήρα (ανάφλεξη, επικάλυψη βαλβίδων - overlap, αναλογία καυσίμου κλπ.). Οι χειροποίητες σωληνωτές πολλαπλές εξαγωγής, αμβλύνουν ελαφρώς το φαινόμενο με τους ισομήκεις πρωτεύοντες αυλούς τους χωρίς όμως να το εξουδετερώνουν. Το αποτέλεσμα είναι πολύ καλύτερη «σάρωση» των κυλίνδρων, καλύτερη κατανομή της πίεσης στο σύστημα εξαγωγής και πολύ πιο αποδοτική διανομή των καυσαερίων στον στρόβιλο.

Σημαντικές παράμετροι για τη κατασκευή

Υπάρχουν διάφοροι παράμετροι τους οποίους πρέπει να συνυπολογίσουμε κατά τη σχεδίαση και κατασκευή της πολλαπλής εξαγωγής. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της, όπως το μήκος, η διάμετρος και το σχήμα είναι ζωτικής σημασίας για ένα επιτυχημένο αποτέλεσμα. Οι σωλήνες μπορούν να κατασκευαστούν με κλίση ή ως συνδυασμός συγκολλημένων μεταξύ τους ευθείων και γωνιακών κομματιών. Γενικά αποφεύγουμε τις γωνίες με μεγάλη κλίση γιατί επηρεάζουν αρνητικά τη ροή των καυσαερίων εντός των σωλήνων.

Η διάμετρος των σωλήνων είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γιατί οι μεγάλης διαμέτρου σωλήνες είναι κατάλληλοι για κινητήρες με μεγάλο εύρος στροφών λόγω του μεγαλύτερου όγκου καυσαερίων που δέχονται στις στροφές αυτές. Ανάλογα, μικρής διαμέτρου σωλήνες είναι κατάλληλες για μικρού εύρους στροφών κινητήρες. Το μήκος των σωλήνων πρέπει να είναι κατάλληλο για να έχουμε βέλτιστο αποτέλεσμα, διότι σωλήνες με μεγάλο μήκος επιτρέπουν στα υπό πίεση καυσαέρια να διασταλούν επομένως μειώνουν την ταχύτητά τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη κινητική ενέργεια στην περρωτή του στροβίλου και υπόλοιπα καυσαερίων να παραμένουν εντός του θαλάμου καύσης, πράγματα που μειώνουν την απόδοση του κινητήρα και αυξάνουν την κατανάλωση.

Για την κατασκευή της πολλαπλής εξαγωγής έγινε συγκόλληση ευθείων κομματιών σε συνδυασμό με γωνιακά ώστε να επιτευχθεί ο κατάλληλος συνδυασμός των οχετών εξαγωγής (1 με 4 και 2 με 3). Η διάμετρος παρέμεινε στα εργοστασιακά επίπεδα, ενώ το μήκος των αυλών είναι περίπου στα 20cm και 5cm για τον κοινό οχετό μέχρι τη φλάντζα.

Η θερμοκρασία είναι ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να λάβουμε υπόψιν κατά τη σχεδίαση και κατασκευή της πολλαπλής εξαγωγής. Λόγο των υψηλών θερμοκρασιών των καυσαερίων και του περιορισμένου χώρου του κινητήρα πρέπει οι σωλήνες να είναι όσο το δυνατόν πιο μακριά από τον κινητήρα και άλλα μέρη που μπορεί να επηρεάζονται από τη μεταφορά θερμότητας. Σε πολλές περιπτώσεις γίνεται βαφή με κεραμική επίστρωση της πολλαπλής εξαγωγής.

Στην κατασκευή μας χρησιμοποιήσαμε μονωτική ταινία εξάτμισης που είναι μια πιο οικονομική εφαρμογή αλλά με πολύ ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Η θερμομονωτική ταινία αυτή είναι ικανή να διαχειρίζεται συνεχόμενες θερμοκρασίες έως 1100°C. Με αυτό τον τρόπο περιορίστηκε η μεταφορά θερμότητας από την πολλαπλή εξαγωγής στον περιβάλλοντα χώρο.

Πολλαπλή εξαγωγής και χρονισμός κινητήρα

Στον κινητήρα που επιλέξαμε οι βαλβίδες εξαγωγής ανοίγουν στις 40° (από τεχνικές προδιαγραφές του κινητήρα της επιλογής μας σελίδα 95) πριν το Κ.Ν.Σ. ώστε να έχει ήδη μειωθεί η πίεση εντός του κυλίνδρου αρκετά (άρα και να έχουμε εκμεταλλευτεί την αποτόνωση για την παραγωγή ωφέλιμου έργου) οπότε κατά τη φάση εξώθησης των καυσαερίων από το έμβολο να υπάρχει όσο το δυνατόν μικρότερο αρνητικό έργο. Με σκοπό την καλύτερη απόπλυση του κυλίνδρου, οι βαλβίδες εξαγωγής κλείνουν στις 20° μετά το Α.Ν.Σ. Έτσι η διάρκεια σε μοίρες γωνίας στροφάλου κατά την οποία οι βαλβίδες εξαγωγής παραμένουν ανοικτές είναι 260°.

Για να μην διαταραχθεί η φάση απόπλυσης ενός κυλίνδρου, θα πρέπει η εξαγωγή στον ίδιο οχετό, από τον επόμενο σε ανάφλεξη κύλινδρο να γίνει μετά το διάστημα αυτό (τις 240°). Το διάστημα αυτό πρακτικά μπορεί να είναι μικρότερο, αφενός λόγω της καθυστέρησης μεταξύ του ανοίγματος της βαλβίδας και της ανύψωσης της πίεσης στον οχετό εξαγωγής και αφετέρου, λόγω του χρόνου που απαιτείται ώστε το κύμα της πίεσης να μεταβεί από τον κύλινδρο που βρίσκεται στη φάση εξαγωγής στον κύλινδρο που βρίσκεται στη

φάση της απόπλυσης. Με βάση τα παραπάνω η περίπτωση μας όπου ο τετράχρονος βενζινοκινητήρας μας έχει διάστημα 240° θεωρείται ιδανική.

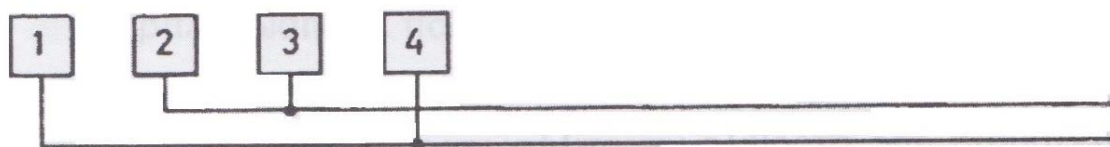
Η πίεση αρχίζει να αυξάνεται λίγο μετά τη στιγμή που έχει αρχίσει να ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής. Το κύμα πίεσης, που δημιουργείται λόγω της εξαγωγής από τον κύλινδρο 3, φθάνει στον κύλινδρο 1 μετά από $240^\circ + 30^\circ$ γωνίας στροφάλου, διάστημα που είναι μεγαλύτερο από 240° . Σε αυτό το σημείο, η βαλβίδα εξαγωγής του κυλίνδρου 1 δεν έχει κλείσει ακόμα πλήρως, όμως δεν υπάρχει κίνδυνος οπισθοροής των καυσαερίων (πίσω στον κύλινδρο) διότι η πίεση εντός του κυλίνδρου και η πίεση εξαγωγής γίνονται ίσες μόνο στο τέλος της φάσης εξαγωγής. Η ανύψωση της πίεσης εντός του κυλίνδρου κατά τη φάση της απόπλυσης οφείλεται στην εισροή νέας γόμωσης.

Η πιο ευνοϊκή περίπτωση υπερτροφοδότησης με παλμούς πίεσης προκύπτει για τρεις παλμούς πίεσης που ισαπέχουν μεταξύ τους (τρεις κύλινδροι με διάστημα ανάφλεξης 240° , σε κοινή πολλαπλή εξαγωγής). Ωστόσο, διαστήματα 360° για τετράχρονους κινητήρες εξασφαλίζουν ακόμα μεγαλύτερη διάρκεια απόπλυσης. Με βάση τον παραπάνω κανόνα, είναι φανερό ότι ένας τετρακύλινδρος κινητήρας χρειάζεται δύο πολλαπλές εξαγωγής.

Στο ακόλουθο σχήμα (Εικ. 26) παρουσιάζεται παράδειγμα διάταξης της πολλαπλής εξαγωγής για τον κινητήρα μας.

Εικόνα 26

4 κύλινδροι σε σειρά με σειρά ανάφλεξης 1-3-4-2 ή 1-2-4-3



Υλικά κατασκευής της πολλαπλής εξαγωγής

Η πολλαπλή εξαγωγής είναι το σημείο εκείνο που θα συναντήσουν πρώτα τα καυσαέρια με το θερμικό φορτίο της καύσης βγαίνοντας από τον κινητήρα, γι' αυτό η ανάγκη χρήσης υλικών εξαιρετικής ποιότητας είναι επιτακτική. Υπό πλήρες φορτίο η θερμοκρασία εξαγωγής μπορεί να φτάσει τους 900°C , οπότε θερμικές καταπονήσεις στην πολλαπλή εισαγωγής θα προκαλέσουν ρήξη κάθε στοιχείου που δεν έχει σχεδιαστεί καλά.

Επίσης σε πολλές μικρές εφαρμογές η πολλαπλή εξαγωγής είναι η μοναδική επιφάνεια από την οποία στηρίζεται ο υπερσυμπιεστής οπότε εκτός της θερμικής δέχεται και μηχανική καταπόνηση. Ο ανοξειδωτός χάλυβας είναι η δεσπόζουσα επιλογή. Ένα κράμα 304 βαθμών είναι η ελάχιστη επιλογή που μπορούμε να κάνουμε για τέτοιες εφαρμογές με το κράμα 321 να χρησιμοποιείται συνήθως γιατί είναι σκληρότερο και με μεγαλύτερη αντοχή στις θερμοκρασίες.

Ένα λιγότερο γνωστό δεδομένο είναι ότι οι πολλαπλές εξαγωγής από ανοξειδωτό χάλυβα παράγουν περισσότερη δύναμη στον κινητήρα απ' ότι

αυτές από μαλακό χάλυβα. Αυτό γίνεται διότι ο ανοξείδωτος χάλυβας έχει μικρότερη θερμική αγωγιμότητα σε σχέση με το μαλακό χάλυβα. Ο μαλακός χάλυβας είναι 220 φορές περισσότερο θερμικά αγωγίμος από τον ανοξείδωτο. Ο ανοξείδωτος χάλυβας κρατάει τη θερμότητα εσωτερικά των σωλήνων με αποτέλεσμα να διατηρεί υψηλότερη θερμική ενέργεια στα καυσαέρια που ισοδυναμεί με μεγαλύτερη ταχύτητα. Για την κατασκευή μας έχουμε επιλέξει ανοξείδωτο χάλυβα 321 βαθμών.

Η κατασκευή μας έγινε με σκοπό την εκμετάλλευση του φαινομένου των παλμών πίεσης όμως για λόγους χώρου κυρίως έγινε με ένωση των λαιμών των κυλίνδρων 1 και 4 εσωτερικά και 2 και 3 εξωτερικά 5cm περίπου από τη φλάντζα σύνδεσης με τον υπερσυμπιεστή, όπου συνδέονται πλέον όλοι οι οχετοί. Η πολλαπλή εξαγωγή που κατασκευάστηκε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή όπως φαίνεται στις φωτογραφίες, με συνδεδεμένο τον αισθητήρα που συνδέεται με το όργανο θερμοκρασίας καυσαερίων, απαραίτητο για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του συστήματος. Να σημειωθεί ότι πρόκειται για φλάντζα σύνδεσης τύπου T3 (Παράρτημα, Σχέδιο 4 σελίδα 95).

Εξωτερική πλευρά της πολλαπλής:

Εικόνα26



Εσωτερική πλευρά της πολλαπλής:

Εικόνα 27



Πλάγια όψη της πολλαπλής με τη φλάντζα σύνδεσης στον υπερσυμπιεστή:
Εικόνα 28



Εγκατεστημένη με τον υπερσυμπιεστή και τον τελικό οχετό κλειστού τύπου.
Εικόνα 29



Φίλτρο αέρος

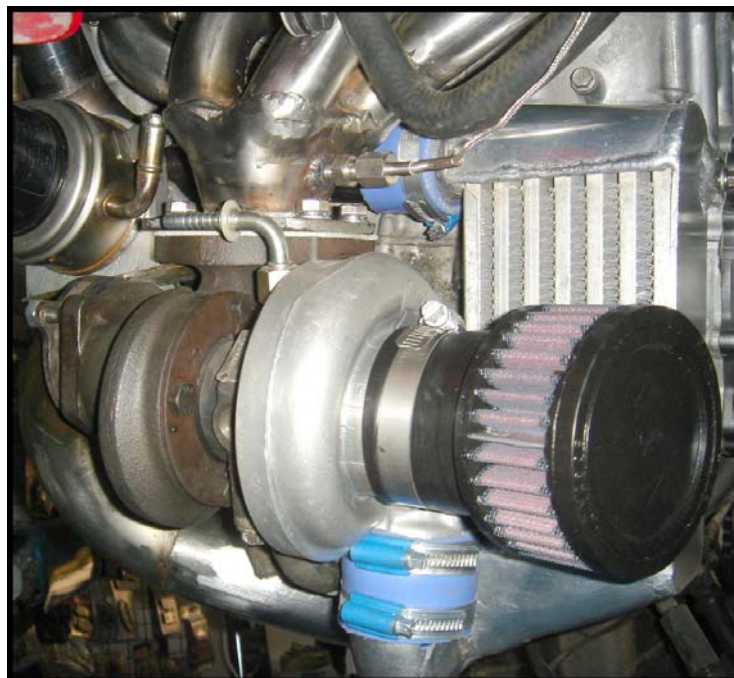
Η εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα στον υπερσυμπιεστή γίνεται σε χαμηλό ύψος στο εμπρόσθιο αριστερό τμήμα της μοτοσυκλέτας, με κίνδυνο να εισέλθει οποιοδήποτε ξένο αντικείμενο και να καταστρέψει την περωτή του συμπιεστή και άλλα μέρη της κατασκευής ή του κινητήρα. Κρίθηκε αναγκαία η χρήση ενός φίλτρου αέρα που θα ταίριαζε στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Εξαιτίας του περιορισμού του χώρου που υπήρχε διαθέσιμος, οι επιλογές ήταν περιορισμένες. Επιλέχθηκε ένα φίλτρο αέρος γενικής χρήσης της εταιρείας K&N με κωδικό: RU-1730 το οποίο πρόσφερε κατάλληλες διαστάσεις (ύψος και διάμετρος εισαγωγής από τεχνικές προδιαγραφές στο παράρτημα σελίδα 91) και μορφολογία ώστε να εγκατασταθεί με τις δυνατόν λιγότερες τροποποιήσεις. Το φίλτρο αέρα πριν και μετά την εγκατάσταση (Εικ. 28 & 29):

Εικόνα 28



Εικόνα 29



Βοηθητικές κατασκευές

Μία μοτοσυκλέτα, της κατηγορίας αυτής, θέλοντας να κρατήσει όσο το δυνατόν μικρότερο όγκο, είναι φυσικό να έχει περιορισμένους χώρους για τα επιπλέον εξαρτήματα που τοποθετούνται. Κάποια από τα υπάρχοντα εξαρτήματα – ανταλλακτικά αντικαθίστανται με άλλα κατάλληλα να εκπληρώσουν το έργο της υπερτροφοδότησης και έτσι ο χώρος του αναπληρώνεται με τα νέα. Για τα επιπλέον που χρειάζονται να τοποθετηθούν (πολλαπλή εισαγωγής, υπερσυμπιεστής, εναλλάκτης θερμότητας, φίλτρο αέρα και σωληνώσεις) κρίθηκε αναγκαίο να αφαιρεθούν κάποια εξαρτήματα που δεν ήταν πλέον απαραίτητα και άλλα να μετατοπιστούν στο χώρο.

Ξεκινώντας, αφαιρέθηκε το σύστημα EGCV (Exhaust Gas Control Valve) με τις σωληνώσεις του. Αυτό είναι ένα σύστημα ανάμιξης των καυσαερίων με αέρα της εισαγωγής για τη βελτίωση των τελικών ρύπων, μόνο που λόγω της μετατροπής δεν μπορούσε να τοποθετηθεί. Έτσι δημιουργήθηκε χώρος αριστερά της μηχανής κάτω από τη δεξαμενή καυσίμου στην ένωση με το κάθισμα του αναβάτη, όπως φαίνεται στο παράρτημα εικόνα 4 της σελίδας 99. Στο χώρο που δημιουργήθηκε μεταφέρθηκε το δοχείο ψυκτικού υγρού, που βρισκόταν μεταξύ εργοστασιακής πολλαπλής εξαγωγής και κινητήρα από την αριστερή πλευρά, όπως φαίνεται στο παράρτημα, εικόνα 3 στη σελίδα 98.

Λόγω της διαδρομής της εμπρόσθιας ανάρτησης κατά τη μέγιστη βύθιση και της ελάχιστης απόστασης που έμενε για να τοποθετηθεί η πολλαπλή εξαγωγής με τον υπερσυμπιεστή καυσαερίων κρίθηκε απαραίτητη για λόγους ασφάλειας να μεταφερθεί το φίλτρο λαδιού με το ψυγείο του από την αρχική του θέση που φαίνεται στο σχήμα στο παράρτημα, εικόνες 1 και 2 στη σελίδα 97. Αυτό έγινε με την κατασκευή δύο αλουμινένιων πλακών ενωμένες με σωλήνες υψηλής πίεσης, τα μηχανολογικά σχέδιά τους βρίσκονται στο παράρτημα, σελίδα 94. και μεταφέρθηκε στο εντελώς δεξιό άκρο της μηχανής ώστε να μην ενοχλεί αλλά και να είναι εύκολο στην πρόσβαση το φίλτρο λαδιού διότι χρίζει συχνής αλλαγής.

Στη φωτογραφία φαίνονται οι αλουμινένιες πλάκες μετατόπισης του φίλτρου λαδιού του κινητήρα.

Εικόνα 30



Σύστημα ψεκασμού καυσίμου

Τα συστήματα ψεκασμού ή έγχυσης καυσίμου (injection) αντικατέστησαν τα συστήματα τροφοδοσίας που είχαν μηχανικά ή ηλεκτρικά καρμπυρατέρ. Έτσι έγινε και στην περίπτωση της επιλογής μας, είναι το πρώτο μοντέλο της

σειράς CBR της εταιρείας Honda που εφοδιάστηκε με σύστημα έγχυσης καυσίμου έναντι στον προκάτοχό του. Τα συστήματα ψεκασμού έχουν τη δυνατότητα μέτρησης της ποσότητας του καυσίμου που ψεκάζουν με μεγάλη ακρίβεια. Για τη μέτρηση του καυσίμου που ψεκάζεται, τα συστήματα ψεκασμού λαμβάνουν υπόψη πολλές παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα, όπως το φορτίο του κινητήρα, τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, κ.α. Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων ψεκασμού έναντι των συμβατικών συστημάτων τροφοδοσίας είναι

1. η καλύτερη λειτουργία στην ψυχρή εκκίνηση,
2. η μείωση κατανάλωσης καυσίμου,
3. η ελάττωση των ρύπων που εκπέμπονται στα καυσαέρια,
4. η αύξηση της απόδοσης ισχύος και
5. η καλύτερη απόκριση του κινητήρα στην επιτάχυνση.

Κάθε ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού αποτελείται από τρία βασικά υποσυστήματα.

1. της τροφοδοσίας καυσίμου,
2. της εισαγωγής και μέτρησης αέρα και
3. ελέγχου της ανάφλεξης.

Ο υπολογισμός της ποσότητας του καυσίμου που ψεκάζεται γίνεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU) με βάση τις πληροφορίες για τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα που μεταβιβάζονται σε αυτή από τους αισθητήρες. Η μονάδα ελέγχου συντονίζει με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα όλες τις λειτουργίες του συστήματος, που απαιτούνται για την προετοιμασία του καύσιμου μίγματος. Η ποσότητα του καύσιμου μίγματος ελέγχεται από τον χρόνο που τα ηλεκτρομαγνητικά μπεκ μένουν ανοικτά. Ο ψεκασμός γίνεται υπό σταθερή πίεση.

Παρεμβάσεις στο υποσύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή κρίθηκε απαραίτητη η αγορά 2 προϊόντων. Ενός ρυθμιστή πίεσης βενζίνης και ενός παράλληλου εγκεφάλου. Ο εργοστασιακός ρυθμιστής πίεσης της βενζίνης ήταν σε σπάνια λειτουργία όπου απέδιδε σταθερά 50psi. Αυξάνοντας την πίεση της βενζίνης έχουμε ως αποτέλεσμα στον ίδιο χρόνο που θα ανοίξουν τα μπεκ ψεκασμού να εξέλθει περισσότερο καύσιμο. Με το ρυθμιζόμενο που τον αντικατέστησε η νέα τιμή πίεσης της βενζίνης ρυθμίστηκε στα 60psi.

Ο παράλληλος εγκέφαλος ονομάζεται έτσι γιατί μπαίνει σε λειτουργία χωρίς να αφαιρέσουμε τον εργοστασιακό (ECU) σε παράλληλη σύνδεση ουσιαστικά παρεμβάλλοντας τις ρυθμίσεις του εργοστασιακού με τις δικές του. Ο παράλληλος εγκέφαλος της εταιρείας Dynojet εγκαταστάθηκε μετά το πέρας του συνόλου των εργασιών και έγινε η χαρτογράφηση του σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, σε αυτό το σημείο θα τονίσω ότι η αναλογία αέρα και βενζίνης πρέπει να είναι συγκεκριμένη.

Η στοιχειομετρική αναλογία αέρα καυσίμου είναι 14.7 μέρη αέρα και 1 μέρος καυσίμου όσον αφορά στη βενζίνη. Κατά τη διάρκεια της αυξημένης δημιουργίας υπερπίεσης, πρέπει να είναι περίπου στο 10.8:1 (δηλαδή 10.8

μέρη αέρα και 1 καυσίμου) για να μην αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες στον θάλαμο καύσης και λιώσουν τα έμβολα, καθώς η περίσσεια βενζίνης λειτουργεί σαν ψυκτικό μέσο. Το στέγνωμα είναι όταν το μίγμα γίνεται 'φτωχότερο' π.χ. AFR = 12:1 με αποτέλεσμα να μην ο κινητήρας να κερδίζει σε δύναμη αλλά να αναπτύσσονται και υψηλότερες θερμοκρασίες στον θάλαμο καύσης και να έχουμε φαινόμενα κρουστικής καύσης, με κίνδυνο να λιώσουν τα έμβολα και να προκληθούν και άλλες ζημιές σε υπερσυμπιεστή. Με αυτά τα κριτήρια συμπληρώθηκε ο κατάλληλος πίνακας στον παράλληλο εγκέφαλο.

Παρεμβάσεις στο υποσύστημα ανάφλεξης

Το υποσύστημα ελέγχου της ανάφλεξης ελέγχει ηλεκτρονικά τον χρόνο παροχής του ρεύματος στο πρωτεύον πηνίο του πολλαπλασιαστή του συστήματος ανάφλεξης. Ο εγκέφαλος (ECU) αποφασίζει για την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα χρησιμοποιώντας σήματα από τους διάφορους αισθητήρες. Με τη χρήση δεύτερου παράλληλου εγκεφάλου της ίδιας εταιρείας (Dynojet), ειδικού για το υποσύστημα ανάφλεξης, επεμβαίνουμε στη διαδικασία παραγγελίας του κυρίως εγκεφάλου (ECU) στο πρωτεύον πηνίο δίνοντάς του την κατάλληλη βραδυπορία στην έναυση καύσης.

Έτσι δημιουργείται ο κατάλληλος πίνακας με τις βραδυπορίες ανάλογα των στροφών κινητήρα, θέσης γκαζιού (ποσοστό ανοίγματος) του φορτίου του κινητήρα και άλλων δεδομένων που λαμβάνουν από τους διάφορους αισθητήρες. Προκειμένου να αποφύγουμε αύξηση κατανάλωσης καυσίμου με την καθυστέρηση έναυσης, η τεχνική αυτή πρέπει να εφαρμόζεται μόνο όταν ο υπερσυμπιεστής αναπτύσσει υψηλή πίεση υπερπλήρωσης. Έτσι, για χαμηλές ταχύτητες και μεσαίο φορτίο διατηρείται ο κανονικός χρονισμός.

Με αυτές τις παρεμβάσεις στο σύστημα ψεκασμού διασφαλίσαμε τη σωστή και ασφαλή λειτουργία του συστήματος αποφεύγοντας ανεπιθύμητες καταστάσεις λειτουργίας που μπορεί να αποβούν μοιραίες για τον κινητήρα μας. Παράλληλοι εγκέφαλοι της εταιρείας dynojet που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της κατασκευής μας.

Εικόνα 31

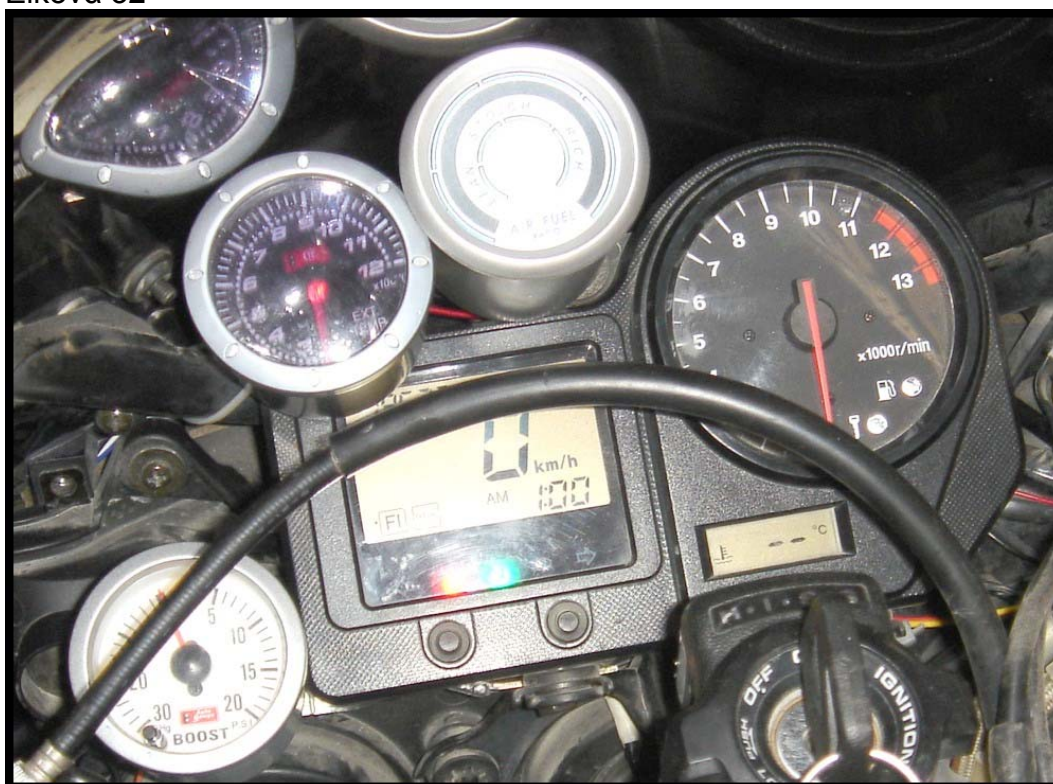


Εγκατάσταση οργάνων διαφόρων ενδείξεων (όργανα ελέγχου)

Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του συστήματος καθώς και για τη ρύθμιση διάφορων παραγόντων που εμπλέκονται στη διαδικασία παραγωγής ισχύος με τη βοήθεια της μεθόδου της υπερτροφοδότησης ήταν απαραίτητη η εγκατάσταση κάποιων οργάνων. Αυτά είναι τα εξής:

1. Μπαρόμετρο, όργανο το οποίο είναι συνδεδεμένο σε κάποιο σημείο της πολλαπλής εισαγωγής και μας ενημερώνει για την πίεση υπερπλήρωσης του συστήματος. Συνήθως σε μονάδες πίεση bar ή και psi.
2. Πυρόμετρο, το οποίο είναι ένα όργανο μέτρησης υψηλών θερμοκρασιών, του οποίου ο αισθητήρας τοποθετείται στην πολλαπλή εξαγωγής έτσι ώστε να έχουμε ένδειξη της θερμοκρασίας των καυσαερίων του κινητήρα σε βαθμούς κελσίου °C.
3. Όργανο αναλογίας αέρα - καυσίμου. Το όργανο αυτό μας πληροφορεί για την αναλογία του αέρα με τη βενζίνη και είναι συνδεδεμένο με έναν αισθητήρα (αισθητήρας λ) μετά την έξοδο των καυσαερίων από τον στρόβιλο προς το τελικό της εξάτμισης. Μπορεί να είναι είτε με ψηφιακή ένδειξη τιμής της αναλογίας είτε με λυχνίες που μεταβάλλονται μεταξύ τριών περιοχών, φτωχού, κανονικού και πλούσιου μίγματος, όπως στην περίπτωση μας.

Από αριστερά προς τα δεξιά τα όργανα 1, 2 και 3.
Εικόνα 32



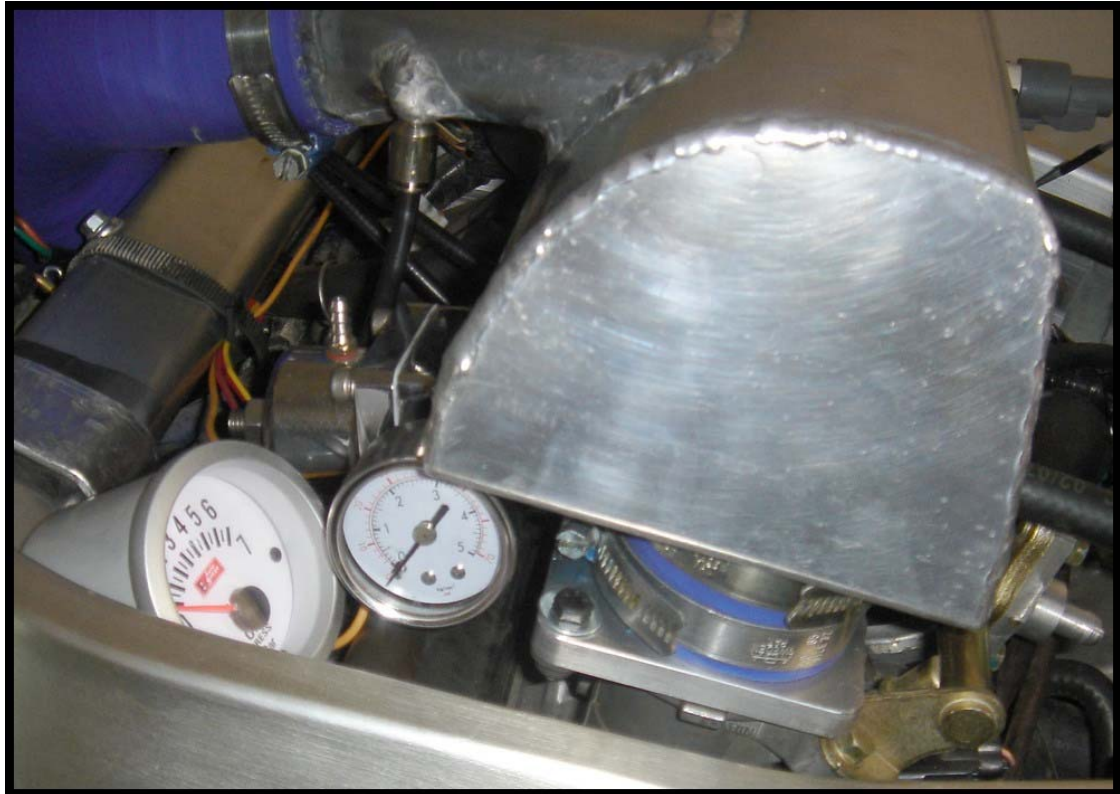
4. Όργανο πίεσης λαδιού το οποίο μας ενημερώνει για την πίεση του λαδιού μιας και η λίπανση του υπερσυμπιεστή μας γίνεται από το σύστημα λίπανσης του κινητήρα και οποιαδήποτε απώλεια ή πτώση πίεσης στο σύστημα μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του υπερσυμπιεστή ή και του κινητήρα. Συνδεδεμένο στο σημείο εξαγωγής

του λαδιού του κινητήρα προς την άτρακτο του υπερσυμπιεστή. Συνήθως σε μονάδες πίεσης bar ή psi.

5. Όργανο πίεσης της βενζίνης. Η αντλία βενζίνης διατηρεί υπό πίεση τη βενζίνη στους αυλούς που είναι συνδεδεμένοι με τις ηλεκτροβαλβίδες – μπεκ σε τιμή πίεσης όση έχουμε ρυθμίσει τον ρυθμιστή πίεσης της βενζίνης. Συνήθως σε μονάδες πίεσης bar ή psi.

Από αριστερά προς τα δεξιά τα όργανα 4 και 5.

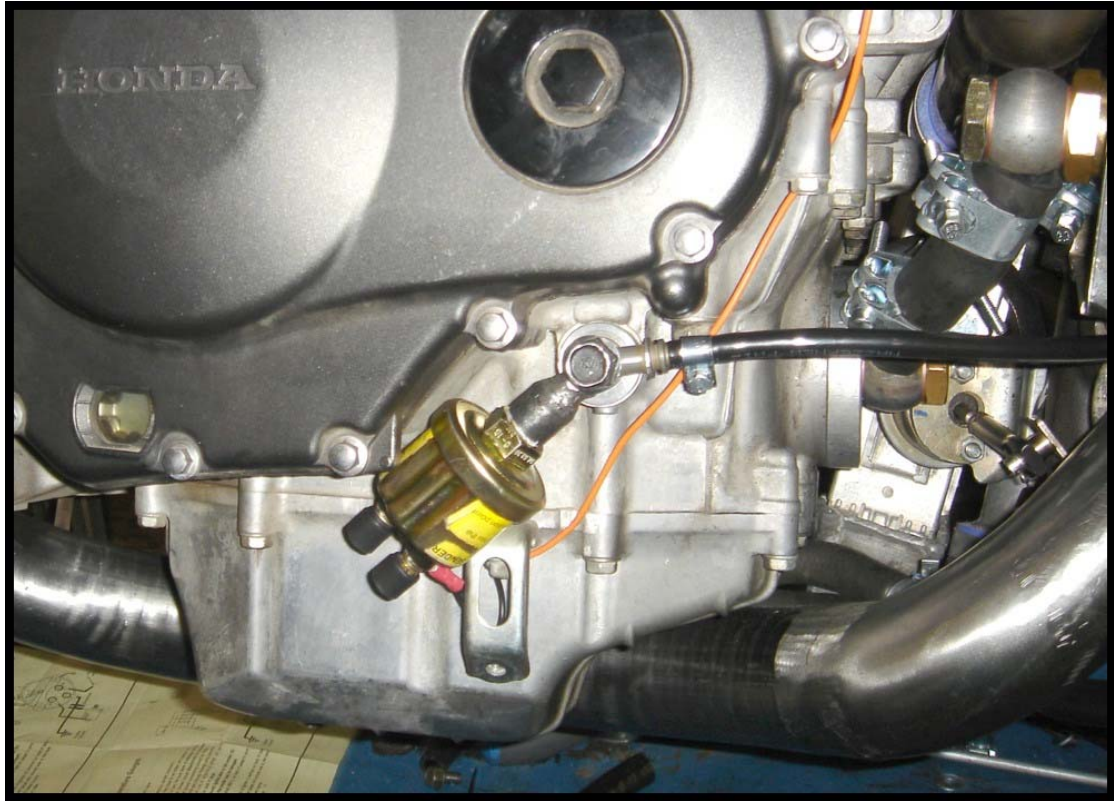
Εικόνα 33



Το σημείο απ' όπου γίνεται η εξαγωγή λαδιού από τον κινητήρα για την άτρακτο του υπερσυμπιεστή, όπου και είναι εγκατεστημένη η βαλβίδα υπεύθυνη της ένδειξης του οργάνου της πίεσης λαδιού (Είκ 34) με χρυσό

χρώμα βλέπουμε τη βαλβίδα και με μαύρο ο σωλήνας που τροφοδοτεί τον υπερσυμπιεστή με λάδι από το κινητήρα.

Εικόνα 34



Βοηθητικές βελτιώσεις – τροποποιήσεις

Για τη σωστή λειτουργία της μοτοσυκλέτας και για να αποδοθεί αυτή η επιπλέον δύναμη που έχει αποκτήσει ομαλά και με ασφάλεια ως προς τον αναβάτη χωρίς όμως απώλειες κρίθηκαν απαραίτητες δύο τροποποιήσεις.

1. Έγινε αλλαγή των εργοστασιακών δίσκων του συμπλέκτη με πιο ενισχυμένους από ίνες άνθρακα και των ελατηρίων του με σκληρότερα, με σκοπό να αποφύγουμε το πατινάρισμα του συμπλέκτη.
2. Αντικαταστάθηκαν τα γρανάζια κίνησης με ένα δόντι μεγαλύτερο εμπρός και ένα δόντι μικρότερο πίσω, ώστε να αποδίδεται πιο ομαλά η επιπλέον δύναμη κατά τη χρήση στο δρόμο.

Η επίδραση της υπερτροφοδότησης στη μηχανική και στη θερμική φόρτιση του κινητήρα

Οποιαδήποτε αύξηση της ισχύος ενός κινητήρα, είτε με αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του είτε με αύξηση της μέσης πραγματικής πίεσης, αυξάνει τις δυνάμεις που ασκούνται επί των μηχανικών μερών του κινητήρα. Αυτή η επιπλέον φόρτιση πρέπει να παραληφθεί από τον κινητήρα με κάποιες αλλαγές στον σχεδιασμό του, κάποιες ρυθμίσεις οι οποίες καθορίζονται από την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του.

Μηχανική φόρτιση και λόγος συμπίεσης

Καθώς αυξάνεται η πίεση υπερπλήρωσης, αυξάνεται και η τελική πίεση συμπίεσης καθώς και η μέγιστη πίεση καύσης. Στους κινητήρες Otto απαιτείται ελάττωση του βαθμού συμπίεσης με αύξηση της πίεσης υπερπλήρωσης, προκειμένου να αποφευχθεί η κρουστική καύση. Αυτό μειώνει αισθητά το βαθμό απόδοσης, ειδικά όταν πρόκειται για μηχανική υπερπλήρωση. Η απαιτούμενη μείωση του βαθμού συμπίεσης είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται ψύξη στον αέρα υπερπλήρωσης.

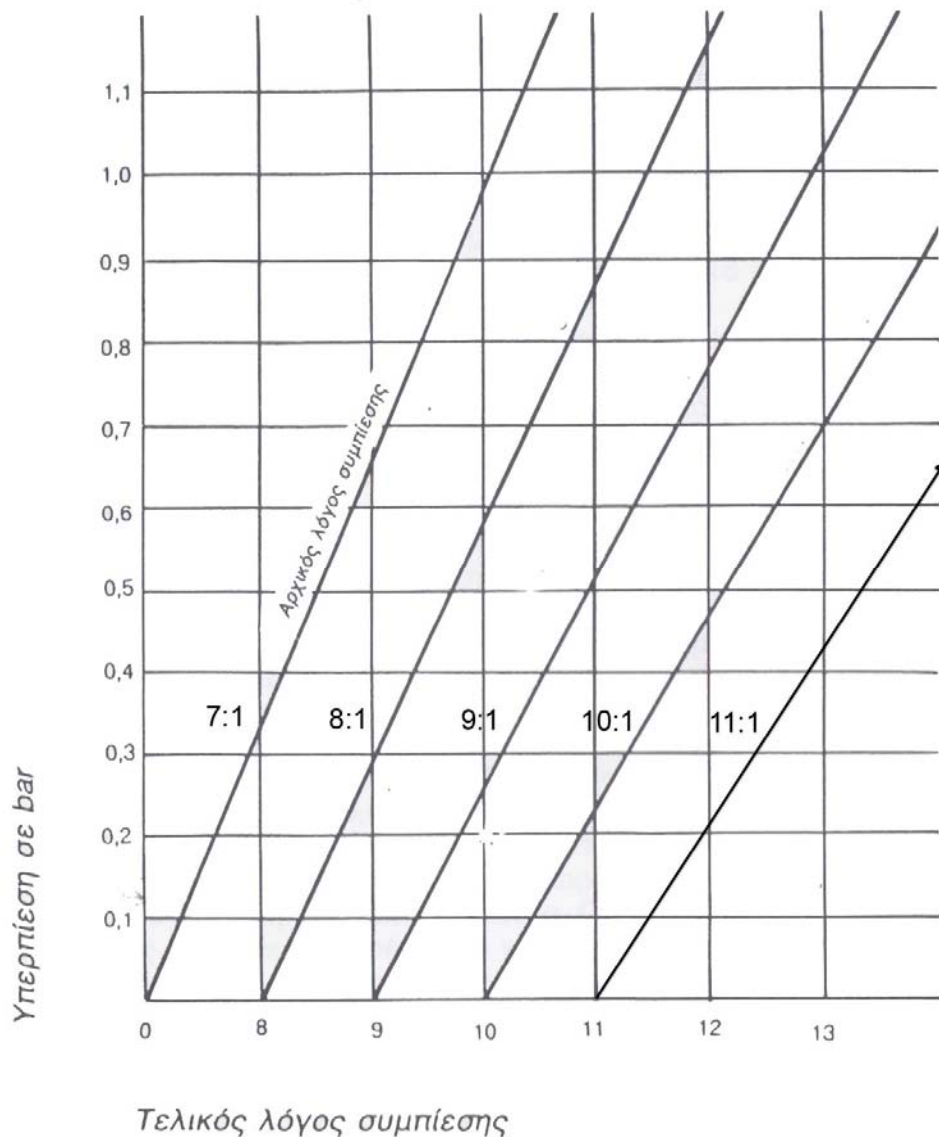
Ο τελικός λόγος συμπίεσης ενός κινητήρα είναι το κλάσμα του όγκου που περιέχεται στον κύλινδρο με το έμβολο στο κάτω νεκρό σημείο (Κ.Ν.Σ.), προς τον όγκο που μένει όταν το έμβολο βρίσκεται στο κάτω νεκρό σημείο (Κ.Ν.Σ.). Αυτό ισχύει στους ατμοσφαιρικούς κινητήρες. Σε έναν υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα ο όγκος του αέρα που εισέρχεται είναι σίγουρα μεγαλύτερος από τον όγκο του κυλίνδρου και είναι ανάλογος προς την πίεση που υπάρχει. Παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις επιλογές είναι:

1. Το σχήμα του θαλάμου καύσης και η θέση του σπινθηριστή σε αυτόν, που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κεντρικά και χωρίς να υπάρχουν περιοχές όπου καθυστερεί η φλόγα να φτάσει.
2. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος ψύξης.
3. Το καύσιμο, ανάλογα με τη χρήση της κάθε εφαρμογής μπορούμε να επιλέξουμε τα οκτάνια του και να επιτύχουμε υψηλότερες πιέσεις χωρίς την εμφάνιση του φαινομένου της κρουστικής καύσης που μπορεί να οδηγήσει το σύστημά μας σε καταστροφή.

Δυστυχώς, δεν υπάρχουν γενικοί κανόνες για την επιλογή του βαθμού συμπίεσης καθώς αυτός εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος της εκάστοτε μηχανής, το λεπτομερή σχεδιασμό της, το σύστημα προετοιμασίας καυσίμου - μίγματος, το σύστημα ελέγχου της πίεσης υπερπλήρωσης και από τη φύση των διαθέσιμων καυσίμων.

Η αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης δεν είναι ανάλογη της πίεσης υπερπλήρωσης, πιο συγκεκριμένα, η πίεση καύσης αυξάνεται σε μικρότερο βαθμό από ότι η πίεση υπερπλήρωσης. Η σχέση μεταξύ των δύο μπορεί να περιγραφεί εμπειρικά από το ακόλουθο σχήμα (Εικ. 35):

Εικόνα 35



Η μέγιστη πίεση καύσης μπορεί να κυμαίνεται μέσα σε ένα ευρύ πεδίο τιμών, λόγω της αλλαγής του βαθμού συμπίεσης και της προπορείας έναυσης για τους κινητήρες Otto. Η μείωση του βαθμού συμπίεσης συνεπάγεται μείωση του βαθμού απόδοσης για τους κινητήρες Otto. Καθυστέρηση του χρονισμού έναυσης έχει την ίδια επίδραση. Ωστόσο, σε πολύ υψηλούς βαθμούς υπερπλήρωσης, για να περιοριστεί η μέγιστη πίεση καύσης καθίσταται απαραίτητη η μείωση του βαθμού συμπίεσης σε τιμές όπου η κατανάλωση καυσίμου είναι μεγάλη και όπου πρέπει να ληφθούν βοηθητικά μέτρα για την εξασφάλιση της εκκίνησης και της έναυσης. Να σημειώσουμε εδώ ότι η αύξηση της κατανάλωσης αυξάνει βραδύτερα από ότι η παραγόμενη ισχύς του υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα, οπότε το όφελος είναι εμφανές σε αυτή την περίπτωση.

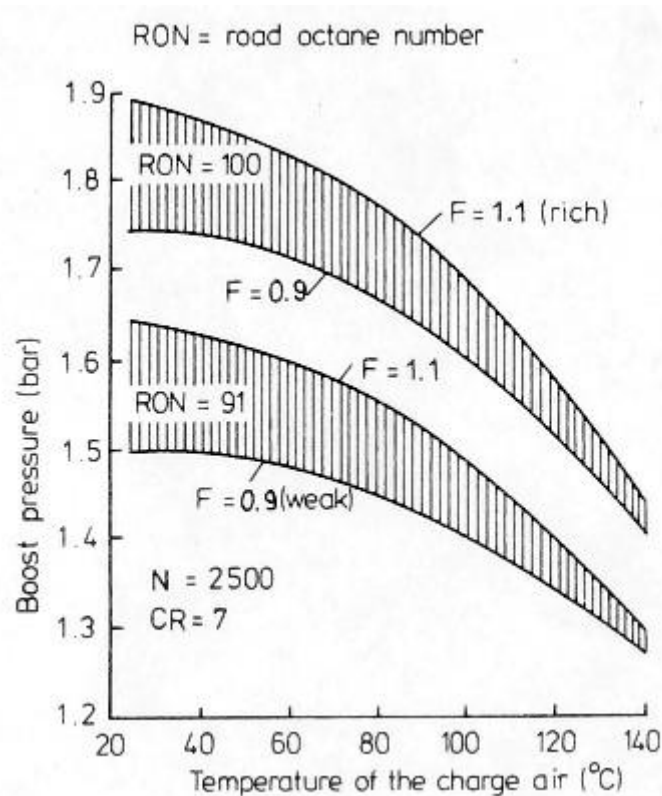
Ο κινητήρας της επιλογής μας έχει ονομαστική συμπίεση από τον κατασκευαστή 11,3 και ύστερα από μετρήσεις με ειδικό όργανο στους 4 κυλίνδρους, η πραγματική συμπίεση είναι κάπου στο 10,9 - 11 (κλίμακα τιμών για τους τέσσερις κυλίνδρους). Η τιμή είναι πολύ κοντά στην ονομαστική. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μια μικρή μείωση της απόδοσης των ελατηρίων των εμβόλων. Για λειτουργία με μέγιστη πίεση υπερπλήρωσης τα 8psi (0,55bar)

θα έχουμε έναν τελικό λόγο συμπίεσης περίπου ίσο με 13,3:1 τιμή οριακά αποδεκτή.

Περαιτέρω αύξηση της πίεσης υπερπλήρωσης αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της κρουστικής καύσης, λόγω των υψηλότερων πιέσεων εντός του κυλίνδρου, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού συμπίεσης του κινητήρα άρα και την εξάλειψη οποιασδήποτε πιθανής βελτίωσης του βαθμού επίδοσης του κινητήρα ακόμα και βλάβη σε αυτόν. Μία πιθανή λύση είναι η χρήση καυσίμου με μεγαλύτερο αριθμό οκτανίων (πχ βενζίνη 100 οκτανίων και αέρια καύσιμα, όπως μεθάνιο ή μεθανόλη) καθώς και η λειτουργία με πλουσιότερη αναλογία βενζίνης - αέρα.

Στην ακόλουθη εικόνα (Εικ. 36) φαίνεται η σχέση μεταξύ πίεσης υπερπλήρωσης, θερμοκρασίας αέρα υπερπλήρωσης, λόγου αέρα - καυσίμου και αριθμού οκτανίων καυσίμου στο όριο κρουστικής καύσης, υπό σταθερό βαθμό συμπίεσης και βέλτιστο χρονισμό έναυσης. Όπως ήταν αναμενόμενο ο αριθμός οκτανίων έχει μεγάλη επίδραση στην επιτρεπτή πίεση υπερπλήρωσης. Επιπροσθέτως, μεγάλοι λόγοι καυσίμου - αέρα επιτρέπουν υψηλότερη πίεση υπερπλήρωσης.

Εικόνα 36



Αποφεύγοντας τη μείωση του αρχικού λόγου συμπίεσης του κινητήρα κερδίζουμε σε κατανάλωση αλλά και σε απόκριση του κινητήρα στις χαμηλές στροφές όπου δεν έχει αναπτυχθεί πίεση υπερπλήρωσης από τον υπερσυμπιεστή, δηλαδή από τις 1000 μέχρι τις 5000rpm περίπου, για να γίνει εφικτό αυτό όμως για τη συγκεκριμένη πίεση υπερπλήρωσης (8psi) θα γίνει αυστηρή χρήση ειδικής βενζίνης, που θα αναλύσουμε παρακάτω.

Θερμική φόρτιση

Γενικεύσεις σχετικά με την επίδραση της υπερπλήρωσης στη θερμική φόρτιση του κινητήρα μπορούν να γίνουν μόνο αναφορικά με το ρυθμό του συνολικού ρεύματος θερμότητας από τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και τις θερμικής φόρτισης, συναρτήσει της μέσης πραγματικής πίεσης, εξαρτώνται έντονα από τις λεπτομέρειες του σχεδιασμού και την ψύξη.

Από πειραματικές μετρήσεις είναι δεδομένο ότι καθώς η πίεση υπερπλήρωσης, άρα και ο λόγος αέρα - βενζίνης αυξάνονται, οι απώλειες θερμότητας μειώνονται και μάλιστα γρηγορότερα για την περίπτωση σταθερής μέγιστης πίεσης καύσης, ο ενδεικνυόμενος βαθμός απόδοσης αυξάνεται σε κάθε περίπτωση.

Ωστόσο δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται διαμέσου των τοιχωμάτων του κυλίνδρου αυξάνεται με την υπερπλήρωση. Το όφελος και εδώ έρχεται με τη χρήση του εναλλάκτη θερμότητας για τον συμπιεσμένο αέρα που μπορεί και επαναφέρει τον κινητήρα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, άρα και μικρότερη θερμική φόρτιση λόγω του ψυχρότερου αέρα που συμβάλει στη καύση.

Τελικό αποτέλεσμα

Το τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής με εξάτμιση κλειστού τύπου για να διατηρηθούν τα επίπεδα θορύβου χαμηλά.

Εικόνα 37



Και με εξάτμιση ανοιχτού τύπου (Εικ. 38 & 39).

Εικόνα 38



Εικόνα 39



Από την αριστερή πλευρά της μοτοσυκλέτας χρειάστηκε να γίνει μία τομή του πλαστικού ώστε να δημιουργηθεί χώρος για το φίλτρο αέρα, με τελικό οπτικό αποτέλεσμα το παρακάτω.

Εικόνα 40



Το σύνολο των εξαρτημάτων του κίτ που κατασκευάστηκαν και τοποθετήθηκαν για την υπερτροφοδότηση του κινητήρα της συγκεκριμένης μοτοσυκλέτας είναι τα εξής:

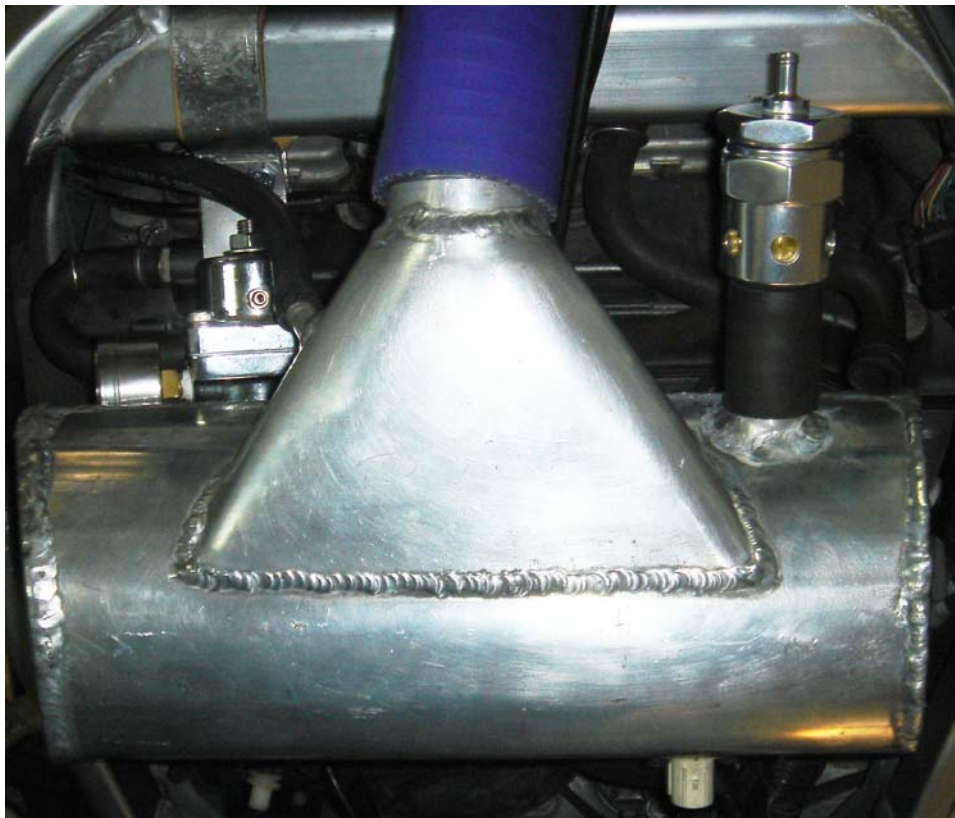
1. Υπερσυμπιεστής.
2. Πολλαπλή εισαγωγής.
3. Πολλαπλή εξαγωγής.
4. Εναλλάκτης θερμότητας αέρα υπερπλήρωσης.
5. Ρυθμιστής πίεσης βενζίνης.
6. Βαλβίδα ανακούφισης συμπιεσμένου αέρα.
7. Φίλτρο αέρος.
8. Αντλία επιστροφής λαδιού στον κινητήρα.
9. Παράλληλοι εγκέφαλοι (2) για τη διαχείριση καυσίμου και ανάφλεξης.
10. Διάφορες μεταλλικές και σιλικονούχες σωληνώσεις.
11. Θερμομονωτικά.

Μερικά από τα οποία φαίνονται παρακάτω.

Εικόνα 41



Εικόνα 42



Σύγκριση αποτελέσματος με θεωρητικό

Για να βρούμε την ισχύ γενικά σε έναν κινητήρα, διαιρούμε το έργο (W) που παράγεται σε διάρκεια χρόνου (t), με τον χρόνο αυτό. Μετά την ανάφλεξη και καύση του μίγματος βενζίνης αέρα, μία πίεση P εξασκείται στην κορυφή του εμβόλου. Η πίεση αυτή δεν διατηρείται σταθερή κατά τη διαδρομή του εμβόλου από το Α.Ν.Σ. στο Κ.Ν.Σ. αλλά μειώνεται συνεχώς γιατί ο όγκος του κυλίνδρου μεγαλώνει αλλά και η θερμοκρασία των αερίων μειώνεται.

Για τη διευκόλυνσή μας χρησιμοποιούμε το μέγεθος «μέση πίεση στη κορυφή του εμβόλου» (P_m) που υποδηλώνει ότι αν έμενε σταθερή η πίεση καθόλη τη διάρκεια της διαδρομής του εμβόλου θα είχαμε το ίδιο αποτέλεσμα, από άποψη παραγωγής έργου. Το ενδεικτικό αυτό έργο θα ήταν:

Σχέση 9

$$W = P_m * S * h$$

Όπου:

P_m = μέση πίεση.

S = εμβαδό στην κορυφή του εμβόλου.

h = διαδρομή του εμβόλου.

Κάνοντας την παραδοχή ότι το έμβολο έχει κυκλική διατομή και επίπεδη κορυφή το εμβαδόν του S θα είναι:

Σχέση 10

$$S = \pi \frac{d^2}{4}$$

Όπου:

$\pi = 3,14$

d = διάμετρος του κυλίνδρου.

Με αντικαταστάσεις και μετατροπές των μονάδων καταλήγουμε:

Σχέση 11

$$I_{\varepsilon t} = \frac{\pi * d^2 * h * P_m * N}{3600000}$$

Όπου:

I_{ε} = ενδεικτική ισχύς σε ίππους.

d = διάμετρος κυλίνδρου σε cm.

h = διαδρομή εμβόλου σε cm.

P_m = μέση πίεση σε kg/cm².

N = στροφές του κινητήρα ανά λεπτό.

Με άγνωστο τη μέση πίεση (P_m), λύνοντας την εξίσωση με τα στοιχεία του κατασκευαστή (για 152Hp στις 11000rpm, διάμετρο = 7,4cm και διαδρομή = 5,4cm) βρίσκουμε ότι $P_m = 53,57\text{kg/cm}^2$ για κινητήρα φυσικής αναπνοής, δηλαδή για πίεση 1atm.

Οπότε για πίεση υπερπλήρωσης (άνω της ατμοσφαιρικής) 0,55bar θα έχουμε μέση πίεση:

Σχέση 12

$$P_{mt} = 82,66\text{kg/cm}^2$$

Λύνοντας τον τύπο προς I_{et} για να βρούμε την ισχύ με τη χρήση του kit υπερτροφοδότησης που κατασκευάσαμε έχουμε:

Σχέση 13

$$I_{et} = \frac{\pi * d^2 * h * P_{mt} * N}{3600000}$$

Καταλήγουμε ότι για πίεση υπερπλήρωσης 0,55bar (8psi) θα έχουμε εκτιμώμενη ισχύ:

Σχέση 14

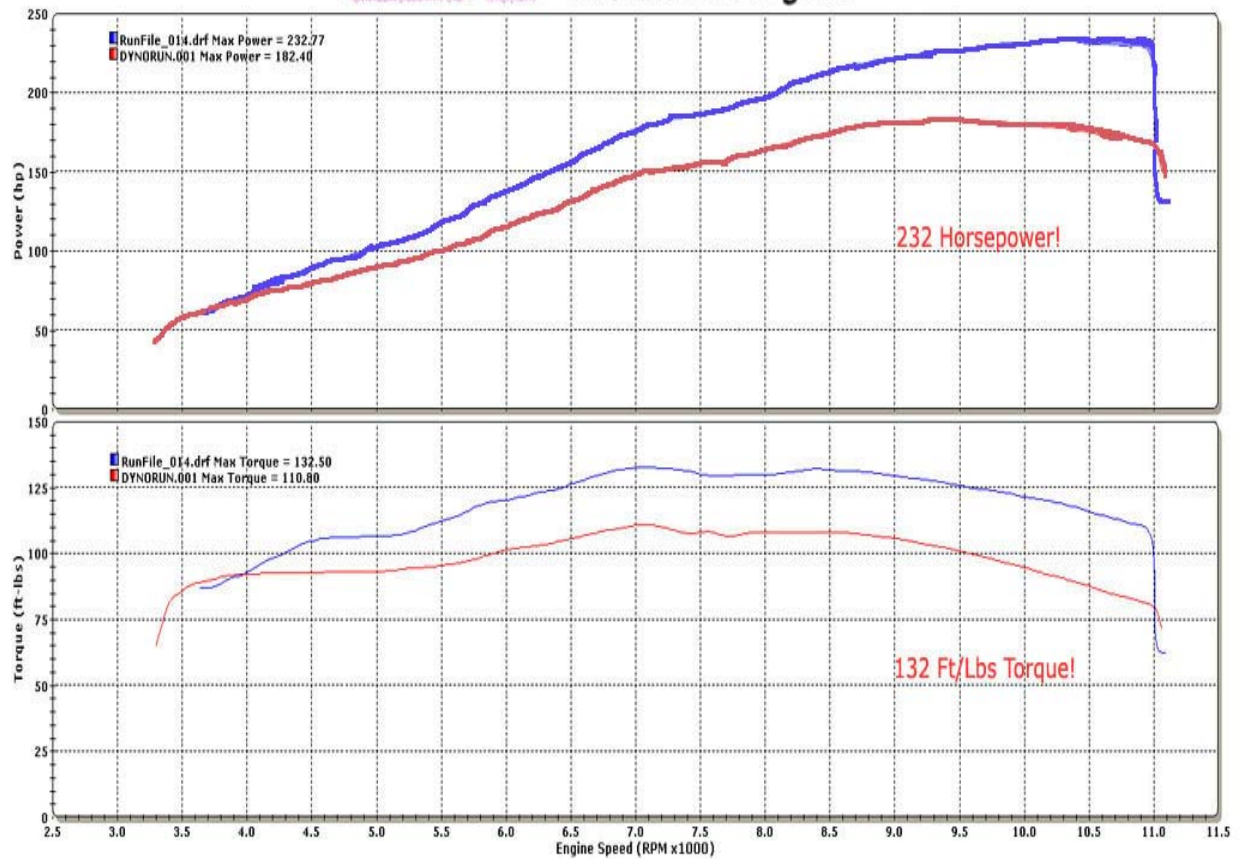
$$I_{et} = 234,64\text{Hp}$$

Ανάμεσα στον στρόφαλο που μετρούν οι κατασκευαστές την ισχύ της μηχανής και τον πίσω τροχό της μοτοσυκλέτας που δίνει την κίνηση παρεμβάλλουν διάφορα τριβώμενα μέρη όπως: έμβολα, αλυσίδες, ρουλεμάν, αντλίες νερού λαδιού και βέβαια το ενεργοβόρο σύστημα που είναι υπεύθυνο για την κίνηση των βαλβίδων με ελατήρια, οπότε η ισχύς που διατίθεται στον πίσω τροχό είναι μικρότερη της ενδεικτικής. Διαφορές στη μέτρηση ισχύος μπορεί να προέλθουν και από τη μέθοδο που ακολουθούμε κατά τη μέτρησή της.

Έτσι μπορεί να τοποθετηθεί ο κινητήρας στο δυναμόμετρο και να μετρηθεί η ισχύς του στο άκρο του στροφάλου ή στην έξοδο του κιβωτίου ταχυτήτων (μέτρηση κατά D.I.N.), όπως κάνουν συνήθως οι κατασκευαστές. Είναι δυνατό όμως να αφαιρέσουμε από τον κινητήρα τα “περιττά” του εξαρτήματα που καταναλώνουν ισχύ πχ βεντιλατέρ, αντλία νερού και όλες οι ανάγκες του εκτός της εισαγωγής του μίγματος, ώστε να μην εξυπηρετούνται από τον ίδιο αλλά από εξωτερικές διατάξεις (μέτρηση κατά S.A.E.)

Με το τρόπο αυτό βέβαια ο κινητήρας εμφανίζεται πολύ ισχυρότερος από ότι με μέτρηση κατά D.I.N. Η δίχως αμφισβήτηση μέτρηση της ισχύος ενός κινητήρα και όλων των εξαρτημάτων μίας μοτοσυκλέτας (κιβώτιο ταχυτήτων, τελική μετάδοση) γίνεται μόνο με δυναμομέτρηση στον πίσω τροχό. Έτσι, και έγινε δυναμομέτρηση της μοτοσυκλέτας που εγκαταστήσαμε το kit υπερτροφοδότησης με τα παρακάτω αποτελέσματα για τα διαγράμματα ροπής και ισχύος.

WinPEP DYNOJET Performance Evaluation Program



Να σημειωθεί ότι μόνο για τις μετρήσεις αυτές έγινε χρήση ειδικής αγωνιστικής βενζίνης με κωδικό C16™, της εταιρείας vracing, 117 οκτανίων (Πίν. 4) ικανή να δουλέψει σε κινητήρες με σχέση συμπίεσης μέχρι 17:1. Πιο αναλυτικά χαρακτηριστικά στον πίνακα:

Πίνακας 4

SPECIFICATION SHEET FOR C-16	
(Typical Values) Specific Gravity:	.735 @ 60°F
Lead:	Yes
Color:	Blue
Motor Octane:	117
Reid Vapor Pressure:	1.85
Oxidation Stability (min.)	1440+
Distillation:	10% evap @ 211.5°F
	50% evap @ 213.1°F
	90% evap @ 215.8°F
	E.P. @ 233.3°F
Production:	Elmendorf, Texas USA
Availability:	Sealed Drums
Rev:	07/00

Παρατηρούμε ότι το πραγματικό αποτέλεσμα 232,77Hp στις 11000rpm είναι πολύ κοντά στο θεωρητικό $I_{et} = 234,64\text{Hp}$ στις 11000rpm, με μία μικρή διαφορά του 1,87Hp, αποτέλεσμα πάρα πολύ ικανοποιητικό. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στις διάφορες απώλειες από τον άξονα του στροφάλου μέχρι τον τροχό, στη θερμοκρασία εκείνης της μέρας που ήταν σχετικά υψηλή (32°C) και να σημειώσουμε ότι η ικανότητα ψύξης τόσο του εναλλάκτη θερμότητας όσο και του συνόλου του συστήματος είναι μεγαλύτερη σε πραγματικές συνθήκες λόγω της ταχύτητας του αέρα που προσκρούει στη μετωπική επιφάνεια της μοτοσυκλέτας.

Τέλος να πούμε ότι η πίεση υπερπλήρωσης για καθημερινή λειτουργία ρυθμίστηκε στα 0,4bar (0,58psi) για λόγους ασφαλείας που αντιστοιχεί στο θεωρητικό $I_{et} = 212,9\text{Hp}$.

Εξαγωγή συμπερασμάτων

Η μελέτη και κατασκευή του kit υπερτροφοδότησης του κινητήρα της μοτοσυκλέτας που επιλέξαμε ήταν επιτυχής με εκπληκτικά αποτελέσματα από πλευράς ισχύος, σημειώνοντας αύξηση της ισχύος της τάξης του 53% πλέον της αρχικής. Σε αυτό το σημείο πρέπει να δηλώσω ότι μόνο για να γίνουν οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένα αυτή η πίεση υπερπλήρωσης και η συγκεκριμένη βενζίνη. Η κανονική λειτουργία του γίνεται με βενζίνη 100 οκτανίων σε πίεση 0,4bar.

Βιβλιογραφία

Δ. Καρταλαμάκης, Μετατροπές για επιδόσεις και οικονομία (Δεύτερη έκδοση)

Ρακόπουλος, Γιακουμής, Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση Μ.Ε.Κ.

Κ. Δ. Ρακόπουλος, Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης.

Willard W. Pulkrabek, Engineering fundamentals of the internal combustion engine

Richard van Basshuysen and Fred Schafer, Internal Combustion engine handbook.

John B. Heywood , Internal combustion engine fundamentals.

George Spears, All about intercooling.

Garrett, Turbocharger system optimization.

Dr. Mohammedali Abdulhadi & Dr. A. M. Hassan, Internal combustion engines.

Dr. G.R. Srinivasa, Turbo machines.

Corky Bell, Maximum Boost.

Honeywell, Turbo fundamentals.

Charles Fayette Taylor, The internal combustion engine in theory and practice.

Διαδικτυακή βιβλιογραφία:

<http://kgm.tiwing.com/articles/turbobasics/TurbochargingBasics.htm>

<http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/engopt.html>

<http://takemebeyondthehorizon.wordpress.com/2009/08/24/how-to-go-fast-faster-the-math-behind-turbocharging-part-7-intercooler-selection/>

http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/choosing_turbo

<http://www.gnttype.org/techarea/turbo/turboflow.html>

<http://www.explainthatstuff.com/how-turbochargers-work.html>

https://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/turbo_tech_expert

<http://en.turbolader.net/Technology/History.aspx>

<http://www.turbos.bwauto.com/en/products/turbochargerCompressor.aspx>

http://www.lovehorsepower.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=88

<http://www.caroto.gr/2011/09/25/engine-efficiency/>

Παράρτημα

Τεχνικές προδιαγραφές.

1. Τεχνικές προδιαγραφές του κινητήρα της επιλογής μας.

GENERAL INFORMATION

SPECIFICATIONS

GENERAL		
	ITEM	SPECIFICATIONS
DIMENSIONS	Overall length	2,065 mm (81.3 in)
	Overall width	680 mm (26.8 in)
	Overall height	1,125 mm (44.3 in)
	Wheelbase	1,395 mm (54.9 in)
	Seat height	820 mm (32.3 in)
	Footpeg height	384 mm (15.1 in)
	Ground clearance	130 mm (5.1 in)
	Dry weight	
	49 states, Canada type	172 kg (379 lbs)
	California type	174 kg (384 lbs)
	Curb weight	
	49 states, Canada type	197 kg (434 lbs)
	California type	199 kg (439 lbs)
	Maximum weight capacity	
49 states, Canada type	160 kg (353 lbs)	
California type	164 kg (362 lbs)	
FRAME	Frame type	Diamond
	Front suspension	Inverted telescopic fork
	Front wheel travel	110 mm (4.3 in)
	Rear suspension	Swingarm
	Rear wheel travel	135 mm (5.3 in)
	Rear damper	Nitrogen gas filled damper
	Front tire size	120/70 ZR17 (58W) /Radial
	Rear tire size	190/50 ZR17 (73W) /Radial
	Tire brand	
	Bridgestone	Front: BT010F /Rear: BT010R
	Michelin	Front: Pilot SPORT E /Rear: Pilot SPORT E
	Front brake	Hydraulic double disc brake with 4 pot caliper
	Rear brake	Hydraulic single disc brake with 1 pot caliper
	Caster angle	23°45'
Trail length	97 mm (3.8 in)	
Fuel tank capacity	18.0 l (4.76 US gal., 3.96 Imp gal)	
ENGINE	Bore and stroke	74.0 × 54.0 mm (2.91 × 2.13 in)
	Displacement	929 cm ³ (56.7 cu-in)
	Compression ratio	11.3 : 1
	Valve train	Chain drive and DOHC
	Intake valve	opens — at 1 mm
		closes — (0.04 in) lift
	Exhaust valve	opens —
		closes —
	Lubrication system	Forced pressure and wet sump
	Oil pump type	Trochoid
	Cooling system	Liquid cooled
	Air filtration	Paper filter
	Crankshaft type	Unit type
	Engine dry weight	62.1 kg (136.9 lbs)
Cylinder arrangement	Four cylinder, inline 30° inclined from vertical	
Firing Order	1-2-4-3	

GENERAL INFORMATION

GENERAL (Cont'd)		
ITEM		SPECIFICATIONS
CARBURETION	Type	PGM-FI (Programmed Fuel Injection)
	Throttle bore	40 mm (1.6 in)
DRIVE TRAIN	Clutch system	Multi-plate, wet
	Clutch operation system	Cable operated type
	Transmission	Constant mesh, 6-speed
	Primary reduction	1.521 (73/48)
	Final reduction	2.687 (43/16)
	Gear ratio	2.692 (35/13)
		1.933 (29/15)
		1.600 (32/20)
		1.400 (28/20)
		1.286 (27/21)
		1.190 (25/21)
	Gearshift pattern	Left foot operated return system, 1-N-2-3-4-5-6
ELECTRICAL	Ignition system	Computer-controlled digital transistorized with electronic advance
	Starting system	Electric starter motor
	Charging system	Triple phase output alternator
	Regulator/rectifier	SCR shorted/triple phase, full wave rectification
	Lighting system	Battery


GENERAL INFORMATION

LUBRICATION SYSTEM			STANDARD	SERVICE LIMIT
ITEM				
Engine oil capacity	At draining		3.5 ℓ (3.7 US qt, 3.1 Imp qt)	
	At disassembly		4.0 ℓ (4.2 US qt, 3.5 Imp qt)	
	At oil filter change		3.7 ℓ (3.9 US qt, 3.3 Imp qt)	
Recommended engine oil		Pro Honda GN4 or HP4 4-stroke oil (U.S.A & Canada) or Honda 4-stroke oil (Canada only), or equivalent motor oil API service classification SF or SG Viscosity: SAE 10W-40		
Oil pressure at oil pressure switch		490 kPa (5.0 kgf/cm ² , 71 psi) at 5,400 rpm (80°C/176°F)		
Oil pump rotor	Tip clearance		0.15 (0.006) max.	0.20 (0.008)
	Body clearance		0.15-0.22 (0.006-0.009)	0.35 (0.014)
	Side clearance		0.02-0.07 (0.001-0.003)	0.10 (0.004)

Unit: mm (in)


FUEL SYSTEM (Programmed Fuel Injection)			SPECIFICATIONS
ITEM			
Throttle body identification number	49 states, Canada type		GQ60C
	California type		GQ60B
Starter valve vacuum difference			20 mm Hg
Base throttle valve for synchronization			No.1
Idle speed			1,200 ± 100 rpm
Throttle grip free play			2-6 mm (1/16-1/4 in)
Intake air temperature sensor resistance (at 20°C/68°F)			1-4 kΩ
Engine coolant temperature sensor resistance (at 20°C/68°F)			2.3-2.6 kΩ
Fuel injector resistance (at 20°C/68°F)			11.1-12.3 Ω
PAIR solenoid valve resistance (at 20°C/68°F)			20-24 kΩ
Purge control solenoid valve resistance (at 20°C/68°F)			30-34 kΩ
Cam pulse generator peak voltage (at 20°C/68°F)			0.7 V minimum
Ignition pulse generator peak voltage (at 20°C/68°F)			0.7 V minimum
Manifold absolute pressure at idle			150-250 mm Hg
Fuel pressure at idle			343 kPa (3.5 kgf/cm ² , 50 psi)
Fuel pump flow (at 12 V)			188 cm ³ (6.4 US oz, 6.6 Imp oz) minimum/10 seconds

2. Τεχνικές προδιαγραφές του υπερσυμπιεστή της επιλογής μας.



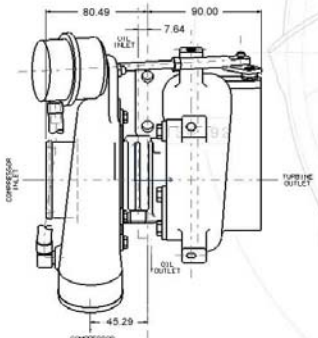
GT2252

- Journal bearing, oil-cooled CHRA
- Internally wastegated turbine housing, complete with actuator
- Free float turbine housing (451503-1) option available
- Extremely efficient turbo

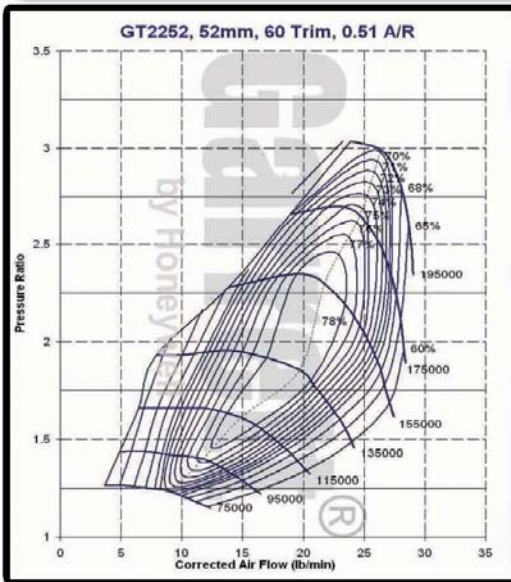


DISPLACEMENT 1.7L - 2.5L

2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0



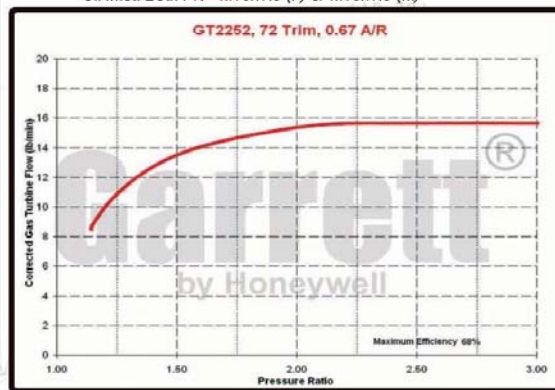
GT2252		COMPRESSOR				TURBINE		
Turbo PN	CHRA PN	Ind Whl Dia	Exd Whl Dia	Trim	A/R	Whl Dia	Trim	A/R
452187-6	451298-6	40.2mm	52.0mm	60	0.51	50.3mm	72	0.67



TURBINE HOUSING OPTIONS

PN	A/R
451503-1	0.56

Dimension Note:
Oil Inlet: Both PN - M10x1.0 (F) or M10x1.0 (M)



3. Τεχνικές προδιαγραφές φίλτρου αέρος K&N RU-1730.

Product Style: Round Straight Universal Air Filter

Air Filter Shape: Round

Filter Material: Cotton Gauze

Flange Angle: 20 degrees

Flange Inside Diameter: 2.438 in (62 mm)

Flange Length: 2 in (51 mm)

Flanges: 1

Flange Type: Angled

Height: 2 in (51 mm)

Package Contents: 1 Air Filter

Package Quantity: 1

Outside Diameter: 3.75 in (95 mm)

Top Material/Finish: None

Top Style: Rubber

Filter Re-Oiling Amount: 0.19 oz (6 ml)

Inner Wire: No

Weight: 0.62 lb. (0.28 kg)

Product Box Length: 4.63 in (117 mm)

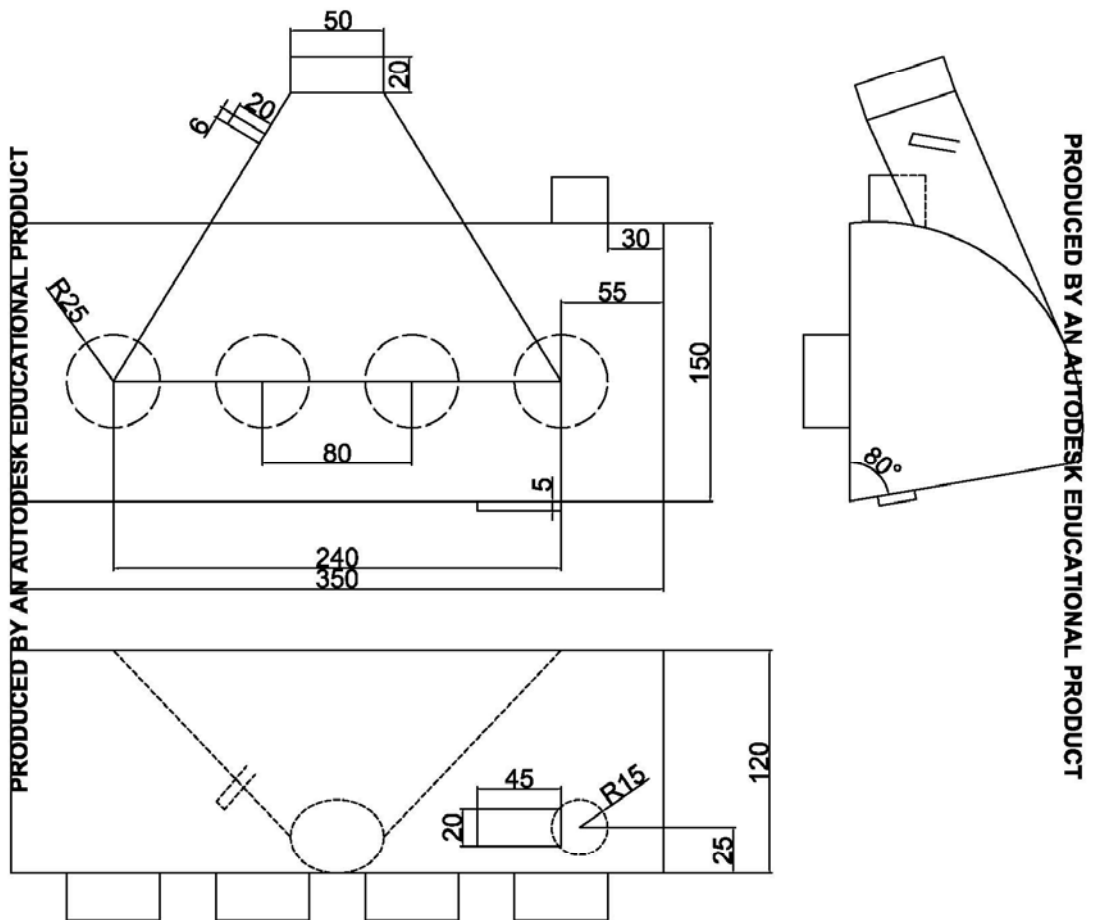
Product Box Width: 4.63 in (117 mm)

Product Box Height: 4.25 in (108 mm)

Μηχανολογικά σχέδια εξαρτημάτων

1. Σχέδια πολλαπλή εισαγωγής.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

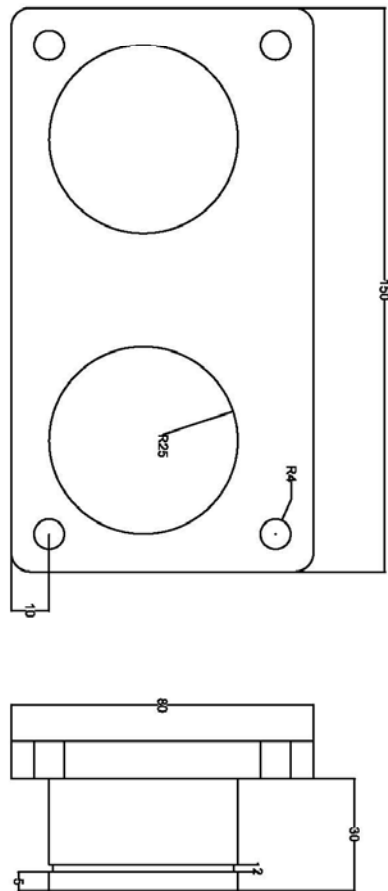


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

2. Σχέδιο φλάντζας σύνδεσης πολλαπλής εισαγωγής.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



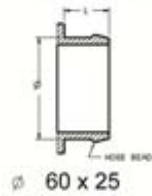
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

5. Σχέδια υπερσυμπιεστή.

Garrett GT2252
by Honeywell 452187-6

Compressor Inlet
HOSE CONNECTIONS
TABULATED AS (∅ x L)

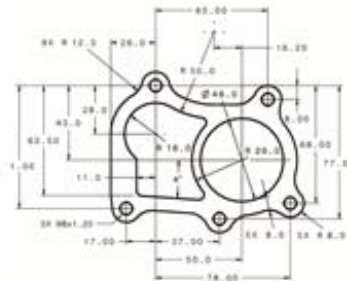


Compressor Outlet
HOSE CONNECTIONS
TABULATED AS (∅ x L)

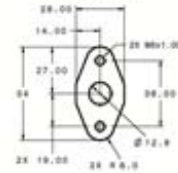


Oil Inlet
Available with
M10 x 1.0 (F)
or
M10 x 1.0 (M)

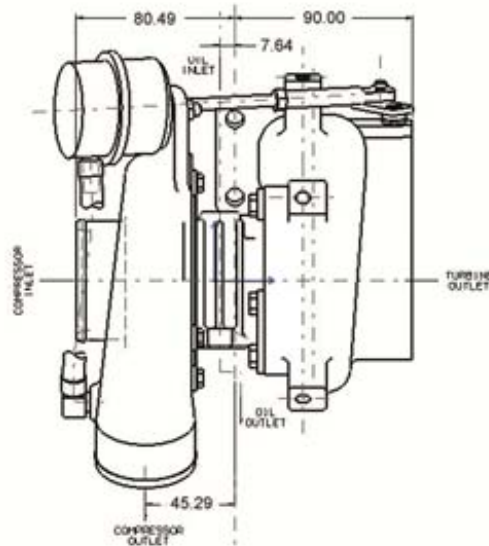
Turbine Outlet
"5 BOLT"



Oil Outlet



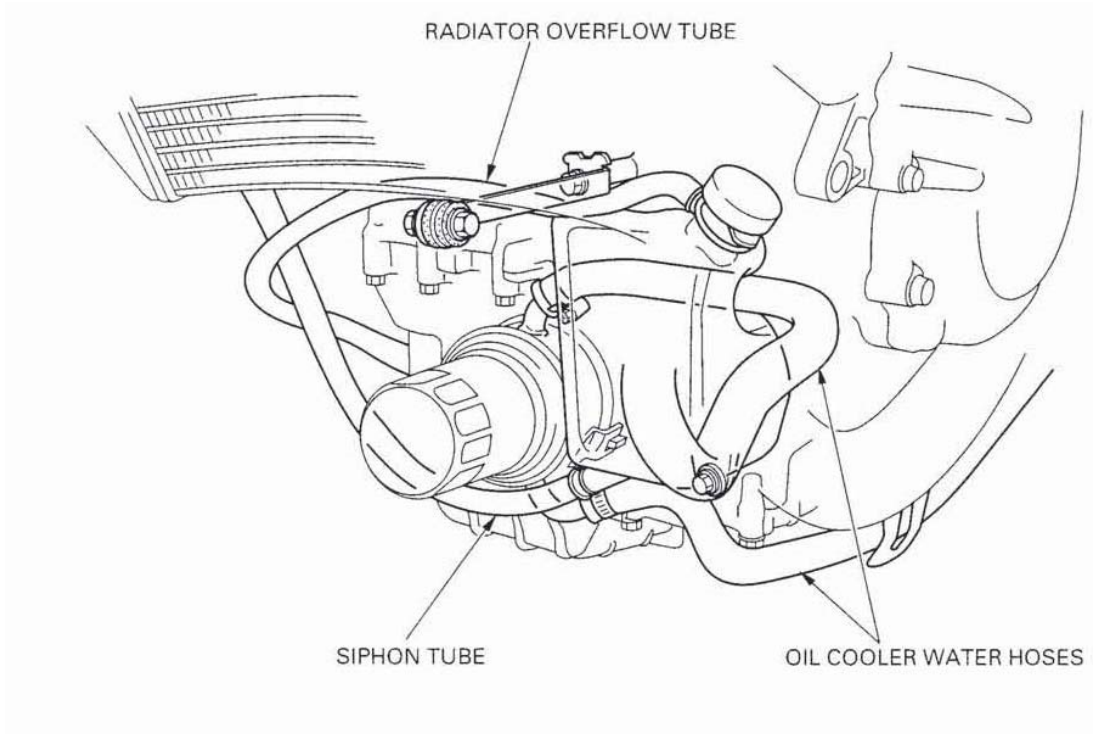
Water
Not Applicable



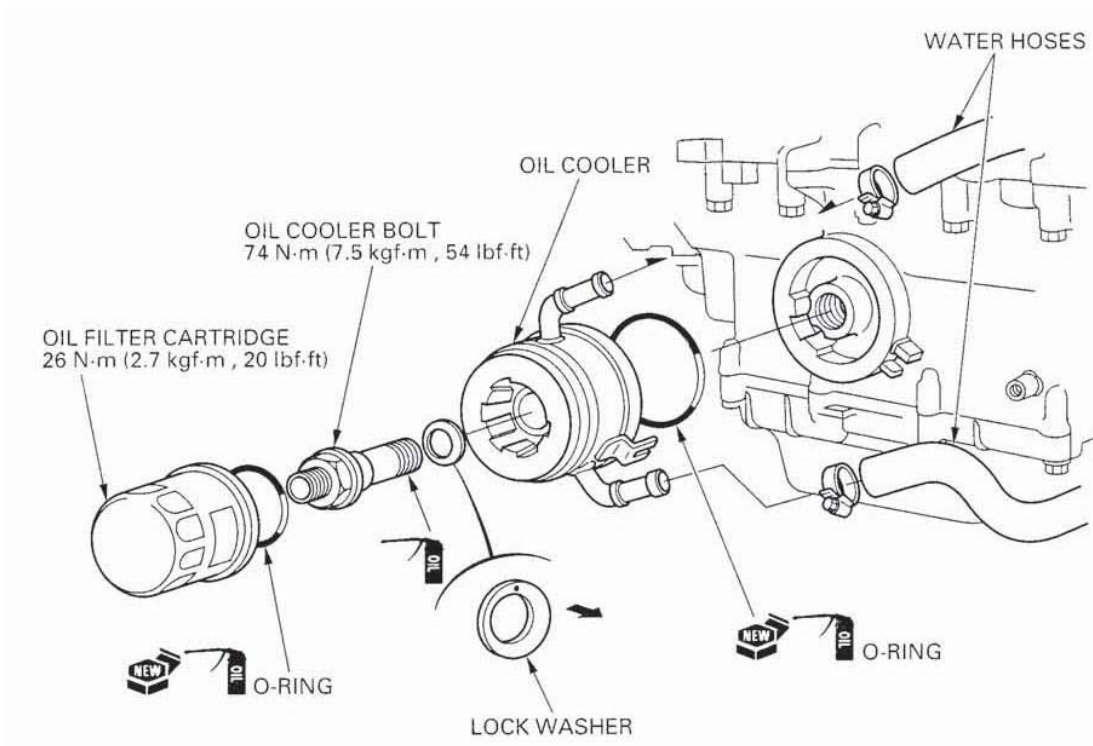
All Measurements in MM

Εικόνες

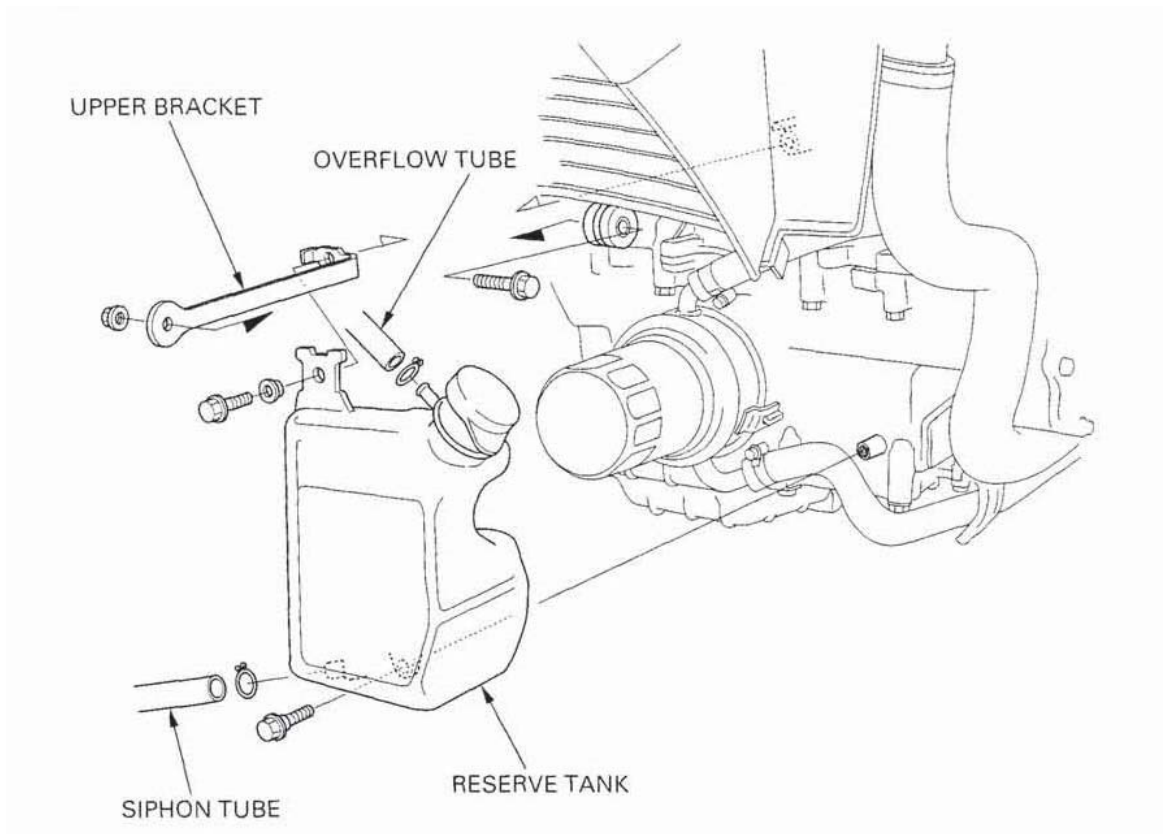
1. Εικόνα φίλτρου λαδιού με δοχείο ψυκτικών υγρών.



2. Εικόνα φίλτρου λαδιού και του ψυγείου του.



3. Εικόνα δοχείου ψυκτικού.



4. Εικόνα EGCV και σημείο τοποθέτησης δοχείου ψυκτικών, σημειωμένο με κόκκινο.

