



ΜΕΚ ΙΙ  
Σημειώσεις Μαθήματος

Δρ. Αντώνης Κ. Αντωνόπουλος

Αθήνα, 2018

1.	Τεχνολογία Υβριδικών Οχημάτων.....	9
1.1	Αρχές λειτουργίας.....	9
1.2	Οφέλη .....	10
1.3	Τύποι λειτουργία .....	11
1.3.1.	Υβριδική Οδήγηση .....	12
1.3.2.	Αμιγώς ηλεκτρική Οδήγηση .....	12
1.3.3.	Λειτουργία επιδόσεων .....	12
1.3.4.	Λειτουργία Φόρτισης .....	13
1.3.5.	Λειτουργία αναγεννητικής πέδησης.....	13
1.4	Λειτουργία Εκκίνησης/Τερματισμού .....	14
1.4.1.	Λειτουργία.....	14
1.4.2.	Τμήματα συστήματος.....	14
1.4.3.	Οικονομία καυσίμου .....	15
1.5	Βαθμοί υβριδοποίησης.....	15
1.5.1.	Ηπίως Υβριδικό .....	16
1.5.2.	Πλήρως Υβριδικό .....	16
1.5.3.	Υβριδικό εξωτερικής φόρτισης.....	16
1.6	Διαρρυθμίσεις Οδηγών.....	16
1.6.1.	Υβριδικοί Σειριακοί Οδηγοί .....	17
1.6.2.	Υβριδικοί Σειριακοί - Παράλληλοι Οδηγοί .....	18
1.6.3.	Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί.....	19
1.6.3.1.	Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί με έναν συμπλέκτη.....	19
1.6.3.2.	Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί με δυο συμπλέκτες.....	20
1.6.3.3.	Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί χωριστού άξονα .....	20
1.6.3.4.	Υβριδικοί οδηγοί διακλάδωσης .....	21
2.	Λειτουργία Υβριδικών Οχημάτων .....	23
2.1	Υβριδικός έλεγχος.....	23
2.2	Στρατηγικές Λειτουργίας.....	24
2.2.1.	Στρατηγική Λειτουργίας για Μειωμένες Εκπομπές NOx (Ντίζελ) .....	24
2.2.2.	Στρατηγική Λειτουργίας για Μειωμένες Εκπομπές CO2 .....	25
2.3	Βελτιστοποίηση του Σημείου Λειτουργίας .....	26
2.3.1.	Διακριτοποίηση της λειτουργία.....	26
2.3.2.	Κατανομή της ροπής .....	27
2.3.3.	Καθορισμός της 'ισοδυναμίας' καυσίμου .....	27

2.3.4.	Στρατηγική παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	28
2.4	Σχεδιασμός Μηχανής Εσωτερικής Καύσης.....	29
2.4.1.	Κριτήρια καταλληλότητας.....	29
2.4.2.	Κύκλος Atkinson.....	30
2.4.3.	Μείωση μεγέθους.....	31
3.	Βασικές Αρχές Κινητήρων ΟΤΤΟ.....	32
3.1	Τρόπος Λειτουργίας.....	32
3.1.1.	Τετράχρονη λειτουργία.....	33
3.1.2.	Χρονισμός Βαλβίδων (διάγραμμα διανομής).....	34
3.1.3.	Μηχανικός Λόγος Συμπίεσης.....	36
3.1.4.	Λόγος Αέρα / Καυσίμου.....	36
3.1.5.	Κατανομή μείγματος στον θάλαμο καύσης.....	37
3.1.5.1.	Ομοιογενής Κατανομή.....	37
3.1.5.2.	Στρωματική Κατανομή.....	37
3.1.6.	Έναυση και κίνηση μετώπου καύσης.....	38
3.2	Γόμωση κυλίνδρου.....	39
3.2.1.	Συστατικά γόμωσης.....	39
3.2.1.1.	Νέο μίγμα.....	40
3.2.1.2.	Απομένον μείγμα.....	40
3.2.1.3.	Εναλλαγή των αερίων.....	41
3.2.1.4.	Εναλλαγή των αερίων – Ποσοτικοποίηση διεργασίας.....	42
3.2.1.5.	Απώλειες απόπλυσης.....	42
3.2.1.6.	Υπερπλήρωση.....	42
3.2.1.7.	Μέτρηση-παρακολούθηση μάζας αέρα.....	43
3.3	Ροπή και Ισχύς.....	44
3.4	Θερμική απόδοση.....	46
3.4.1.	Διάγραμμα Όγκου- Πίεσης.....	46
3.4.1.1.	Ο Ιδανικός κύκλος.....	46
3.4.1.2.	Πραγματικό διάγραμμα p-V.....	47
3.4.2.	Μέτρα για την αύξηση της Θερμική απόδοσης.....	47
3.4.2.1.	Θερμικές απώλειες.....	47
3.4.2.2.	Απώλειες λόγω $\lambda=1$ (παρουσία τριοδικού καταλύτη).....	48
3.4.2.3.	Απώλειες άντλησης αέρα.....	48
3.4.2.4.	Απώλειες τριβών.....	48

3.5	Ειδική κατανάλωση καυσίμου .....	48
3.5.1.	Επίδραση του λόγου αέρα-καυσίμου στην ειδική κατανάλωση.....	48
3.5.1.1.	Ομοιογενής γόμωση κυλίνδρου.....	48
3.5.1.2.	Μείγμα Στρωματικής Κατανομής.....	49
3.5.2.	Χάρτης ειδικής κατανάλωσης (πεδίο κινητήρα).....	49
3.6	Κρουστική καύση.....	51
4.	Συστήματα ελέγχου αέρα εισαγωγής .....	53
4.1	Ηλεκτρονικός Έλεγχος Πεταλούδας Στραγγαλισμού.....	53
4.1.1.	Περιγραφή της συσκευής.....	54
4.1.2.	Αισθητήρας πεντάλ επιτάχυνσης με αντίσταση.....	54
4.1.3.	Αισθητήρας πεντάλ επιτάχυνσης με αισθητήρα Hall .....	55
4.2	Μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων .....	55
4.2.1.	Ρύθμιση φάσης του εκκεντροφόρου .....	56
4.2.1.1.	Καθυστέρηση του εκκεντροφόρου εισαγωγής.....	56
4.2.1.2.	Προπορεία του εκκεντροφόρου εισαγωγής.....	57
4.2.1.3.	Adjustment of the exhaust camshaft .....	57
4.2.2.	Έλεγχος εκκέντρων.....	57
4.2.3.	Πλήρως μεταβλητός χρονισμός με εκκεντροφόρο.....	58
4.2.4.	Πλήρως μεταβλητός χρονισμός χωρίς εκκεντροφόρο.....	58
4.3	Δυναμική Υπερπλήρωση .....	58
4.3.1.	Στατικοί σωλήνες εισώθησης (ram tube).....	59
4.3.1.	Σωλήνες συντονισμού (tuned-intake-tubes).....	60
4.3.2.	Οχετοί εισαγωγής μεταβλητής γεωμετρίας .....	60
4.3.3.	Σωλήνες εισώθησης μεταβλητής γεωμετρίας.....	61
4.3.3.1.	Συνδυασμός σωλήνων εισώθησης και συντονισμού.....	61
4.4	Μηχανική υπερπλήρωση .....	62
4.4.1.	Σχεδιασμός και μέθοδος λειτουργίας.....	62
4.4.2.	Έλεγχος πίεσης υπερπλήρωσης.....	62
4.4.3.	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	62
4.5	Στροβιλουπερπλήρωση.....	62
4.5.1.	Σχεδιασμοί στροβιλουπερπληρωτών .....	64
4.5.1.1.	Στροβιλουπερπληρωτής με βαλβίδα απόρριψης.....	64
4.5.1.2.	Στροβιλουπερπληρωτής με μεταβλητή γεωμετρία στροβίλου. ....	64
4.5.2.	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα .....	65

4.6	Ψύξη αέρα πλήρωσης.....	65
4.7	Έλεγχος ροής αέρα πλήρωσης .....	66
4.8	Ανακυκλοφορία καυσαερίων.....	66
5.	Συστήματα έγχυσης.....	68
5.1	D-Jetronic .....	68
5.1.1.	Επισκόπηση συστήματος .....	69
5.1.2.	Τρόπος Λειτουργίας .....	69
5.2	K-Jetronic.....	70
5.2.1.	Επισκόπηση Συστήματος.....	70
5.2.2.	Έλεγχος σύστασης μείγματος.....	71
5.2.2.1.	Αισθητήρας αέρα.....	72
5.2.2.2.	Διανομέας Καυσίμου.....	72
5.2.2.3.	Βαλβίδες διαφορικής πίεσης.....	73
5.2.3.	Εγχυτήρες καυσίμου .....	74
5.2.4.	Προσαρμογή στις λειτουργικές συνθήκες.....	74
5.2.5.	Έλεγχος λ κλειστού βρόγχου .....	75
5.3	KE-Jetronic.....	76
5.4	L-Jetronic.....	76
5.4.1.	Επισκόπηση Συστήματος.....	76
5.4.2.	Λήψη των λειτουργικών δεδομένων και έλεγχος ποσότητας καυσίμου.....	77
5.5	LH-Jetronic.....	78
5.6	Mono-Jetronic .....	78
5.6.1.	Επισκόπηση Συστήματος.....	78
5.6.2.	Κεντρική μονάδα έγχυσης.....	79
5.6.3.	Εγχυτήρας Καυσίμου.....	80
5.6.4.	Ρυθμιστής πίεσης.....	81
6.	Συστήματα παροχής καυσίμου.....	82
6.1	Παροχή καυσίμου για έγχυση στον οχετό εισαγωγής.....	82
6.1.1.	Συστήματα με επιστροφή καυσίμου.....	82
6.1.2.	Συστήματα χωρίς επιστροφή καυσίμου.....	83
6.1.3.	Συστήματα ελεγχόμενα από την ζήτηση.....	83
6.2	Συστήματα παροχής καυσίμου για άμεσο ψεκασμό .....	84
6.2.1.	Κύκλωμα χαμηλής πίεσης .....	84
6.2.2.	Κύκλωμα υψηλής πίεσης .....	84

6.2.2.1.	Σύστημα συνεχούς διανομής.....	85
6.2.2.2.	Σύστημα ελεγχόμενο από τη ζήτηση.....	87
6.3	Σύστημα ελέγχου ατμοποιημένων εκπομπών .....	88
7.	Έγχυση καυσίμου στο οχετό εισαγωγής.....	90
7.1	Εισαγωγή.....	90
7.2	Αρχές λειτουργία .....	90
7.2.1.	Δημιουργία μίγματος αέρα/καυσίμου .....	90
7.2.1.	Μέτρηση της μάζας αέρα.....	91
7.2.2.	Διάρκεια έγχυσης.....	91
7.3	Μείωση εκπομπών .....	91
7.3.1.	Μέτρα εφαρμοζόμενα στην μηχανή.....	91
7.3.2.	Ψυχρή εκκίνηση .....	91
7.3.3.	Προβλήματα και αντιμετώπιση αυξημένων εκπομπών κατά την ψυχρή εκκίνηση 92	
7.4	Καθορισμός θέσης έναυσης.....	93
7.4.1.	Ταυτόχρονη έγχυση .....	93
7.4.2.	Έγχυση σε ομάδες.....	93
7.4.3.	Διαδοχική έγχυση .....	93
7.5	Σχηματισμός μίγματος .....	94
7.5.1.	Πρωταρχικό σταγονίδιο δέσμης.....	94
7.5.2.	Θέση έγχυσης .....	94
7.5.3.	Στόχευση δέσμης .....	95
7.5.4.	Ροές αέρα .....	96
7.5.5.	Δευτερογενής προετοιμασία μίγματος.....	96
7.6	Έναυση ομοιογενούς μίγματος αέρα/καυσίμου.....	96
7.7	Ηλεκτρομαγνητικοί εγχυτήρες .....	96
7.7.1.	Αρχή λειτουργίας .....	96
8.	Έγχυση καυσίμου στον θάλαμο καύσης .....	98
8.1	Διεργασία της Καύσης .....	98
8.1.1.	Ομοιογενές μίγμα .....	99
8.1.2.	Στρωματοποιημένο μίγμα.....	99
8.1.2.1.	Διεργασία οδηγούμενη από τοιχώματα/αέρα .....	100
8.1.2.2.	Διεργασία οδηγούμενη από την δέσμη καυσίμου .....	100
8.2	Μέθοδοι λειτουργίας.....	100

8.3	Σχηματισμός μίγματος .....	103
8.3.1.	Απαιτήσεις .....	103
8.3.2.	Σχηματισμός Μείγματος στην λειτουργία ομοιογενούς γόμωσης.....	103
8.3.3.	Σχηματισμός Μείγματος στην λειτουργία στρωματικής γόμωσης .....	104
8.4	Εγχυτήρας υψηλής πίεσης .....	104
9.	Συστήματα έναυσης .....	105
9.1	Πρόσφατες εξελίξεις των συστημάτων έναυσης .....	105
9.1.1.	Συμβατική έναυση με πολλαπλασιαστή .....	105
9.1.1.1.	Ρύθμιση προπορείας.....	106
9.1.2.	Έλεγχος με τρανζίστορ - διακόπτη .....	107
9.1.3.	Έλεγχος με τρανζίστορ- αισθητήρα Hall.....	107
9.1.4.	Έλεγχος με τρανζίστορ- επαγωγική γεννήτρια παλμών.....	108
9.1.5.	Ηλεκτρονική έναυση .....	108
9.1.6.	Πλήρως Ηλεκτρονική έναυση (χωρίς διανομέα) .....	108
9.1.7.	Σύγχρονο Σύστημα έναυσης.....	108
9.2	Μέθοδος λειτουργίας.....	109
9.2.1.	Παραγωγή του σπινθήρα .....	109
9.2.2.	Κίνηση μετώπου φλόγας.....	110
9.2.3.	Η στιγμή της έναυσης.....	110
9.2.4.	Έλεγχος πυραναφλέξεων.....	110
9.3	Παράμετροι έναυσης.....	112
9.3.1.	Στιγμή Έναυσης.....	112
9.3.2.	Βασική προσαρμογή της γωνίας έναυσης .....	112
9.3.3.	Διόρθωση της γωνίας έναυσης.....	113
9.3.4.	Περίοδος dwell .....	113
9.3.5.	Τάση Έναυσης.....	113
9.3.6.	Ενέργεια Έναυσης.....	113
9.4	Διανομή τάσης.....	114
10.	Καύσιμα – Σχηματισμός και έλεγχος ρύπων .....	115
10.1	Συστατικά της Βενζίνης .....	115
10.2	Χαρακτηριστικά μεγέθη.....	115
10.3	Πρόσθετα .....	117
10.4	Εναλλακτικά καύσιμα .....	117
10.4.1.	Φυσικό αέριο.....	118

10.4.2.	Υγραέριο .....	118
10.4.3.	Αλκοολικά καύσιμα.....	118
10.4.4.	Υδρογόνο .....	119
10.5	Εκπομπές ρύπων .....	119
10.5.1.	Η καύση του μίγματος αέρα/καυσίμου .....	119
10.5.2.	Συστατικά καυσαερίων .....	119
10.5.3.	Ρύποι .....	120
10.5.4.	Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό ρύπων .....	121
10.5.4.1.	Εκπομπές HC .....	121
10.5.4.2.	Εκπομπές CO .....	122
10.5.4.3.	Εκπομπές NO <sub>x</sub> .....	123
10.5.4.4.	Εκπομπές Σωματιδίων .....	124
10.6	Καταλυτικός Έλεγχος Εκπομπών .....	124
10.6.1.	Τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας.....	124
10.6.1.1.	Αρχή λειτουργίας .....	124
10.6.1.2.	Σχεδιασμός.....	125
10.6.1.3.	Συνθήκες λειτουργίας.....	126
10.6.1.4.	Προθέρμανση.....	126
10.6.2.	Κλειστός βρόγχος ελέγχου «λ» .....	126

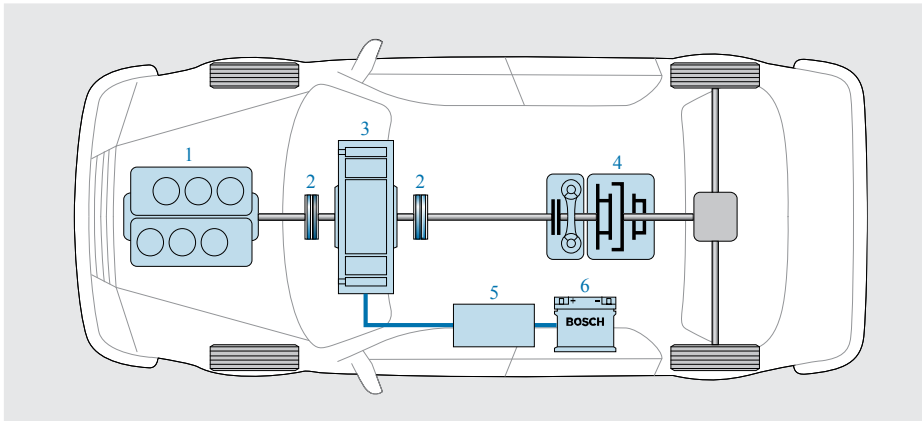


# 1. Τεχνολογία Υβριδικών Οχημάτων

## 1.1 Αρχές λειτουργίας

Fig. 1

- 1 Internal-combustion engine
- 2 Clutch
- 3 Electric motor
- 4 Transmission
- 5 Inverter
- 6 Battery



- 1 Internal-combustion engine
- 2 Clutch
- 3 Electric motor
- 4 Transmission
- 5 Inverter
- 6 Battery

Σχήμα 1-1 Βασική αρχή των υβριδικών οδηγών με παράδειγμα παράλληλου υβριδικού οδηγού.

Τρία είναι τα βασικά αντικείμενα που καλούνται να πληρωθούν από την υβριδική ηλεκτρική οδήγηση:

- οικονομία καυσίμων,
- μειωμένες εκπομπές ρύπων,
- αυξημένη ροπή και ισχύς («οδηγική ευχαρίστηση»).

Ανάλογα από την προτεραιότητα που δίνεται σε κάθε μια από αυτές τις απαιτήσεις, προκύπτουν διαφορετικές διατάξεις.

Οδήγηση από ΜΕΚ & Τουλάχιστον έναν ηλεκτροκινητήρα

Οικονομία Καυσίμου  
Μείωση εκπομπών ρύπων και CO<sub>2</sub>  
Οδηγική άνεση και απόλαυση

Βελτιστοποίηση → Πληθώρα διατάξεων

Ο βασικός διαχωρισμός γίνεται ανάμεσα στα *ηπίως υβριδικά* και *πλήρως υβριδικά* οχήματα, ανάλογα την δυνατότητά τους να κινούνται με καθαρά ηλεκτρικά μέσα.

Μπορούν να κινηθούν αποκλειστικά με ηλεκτρικά μέσα?

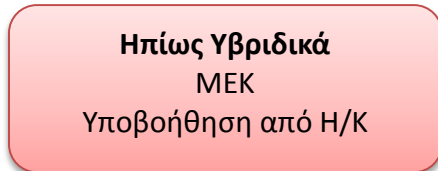
Ηπίως Υβριδικά

Πλήρως Υβριδικά

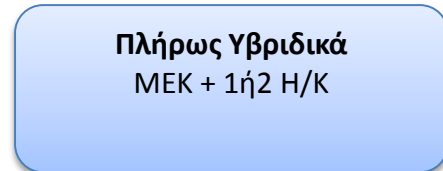
Σε ένα *ηπίως υβριδικό* όχημα, η ΜΕΚ βοηθάται από έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος παρέχει επιπλέον οδηγική ισχύ και ισχύ πέδησης σε διαφορετικές καταστάσεις. Σε ένα *πλήρως υβριδικό* όχημα, η ΜΕΚ συνδυάζεται επίσης με ένα ή δυο ηλεκτροκινητήρες. Όμως ένας τέτοιος τύπος οχήματος έχει την δυνατότητα κίνησης χρησιμοποιώντας μόνο ηλεκτρική οδήγηση.

Και οι δύο υβριδικοί τύποι διαθέτουν λειτουργία εκκίνησης/τερματισμού (start/stop). Όταν το όχημα είναι σε στάση, π.χ. όταν είναι σταματημένο σε φωτεινό σηματοδότη, η ΜΕΚ απενεργοποιείται. Η αποφυγή της άφορτης λειτουργίας βοηθά στην εξοικονόμηση καυσίμου. Ένα σύστημα εκκίνησης/τερματισμού μπορεί να εφαρμοστεί, όπως και γίνεται, και σε μη υβριδικά οχήματα.

Και οι δύο υβριδικοί τύποι απαιτούν συσσωρευτή ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα οδήγησης. Συνήθως πρόκειται για υψηλές στάθμης τάσης μπαταρίες



Η/Κ: Επιπλέον ισχύ,  
ανάκτηση ισχύος πέδησης



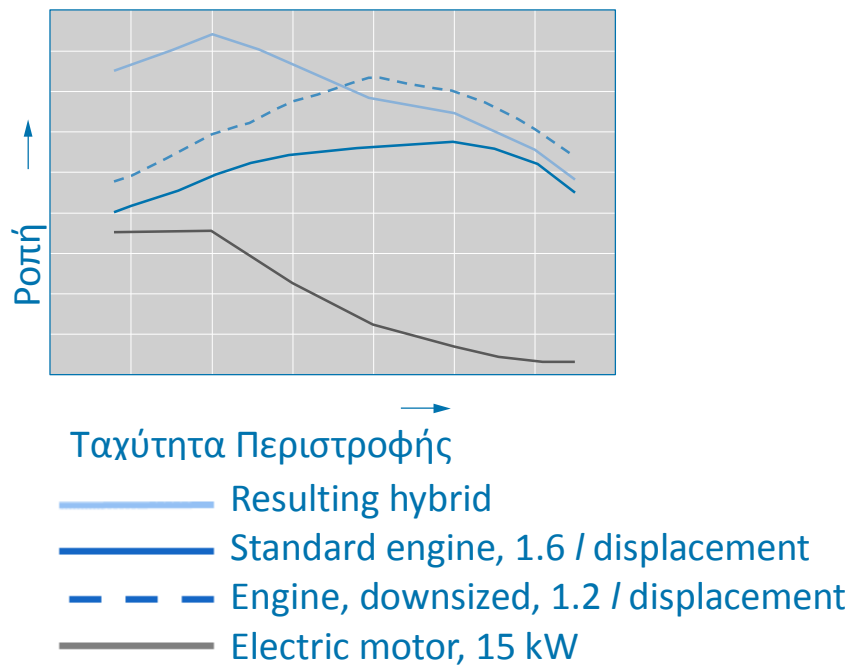
Η/Κ: Δυνατότητα  
αποκλειστική κίνησης

Λειτουργία Εκκίνησης/Τερματισμού (περιγραφή, στοχος, εφαρμογές)  
Συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας

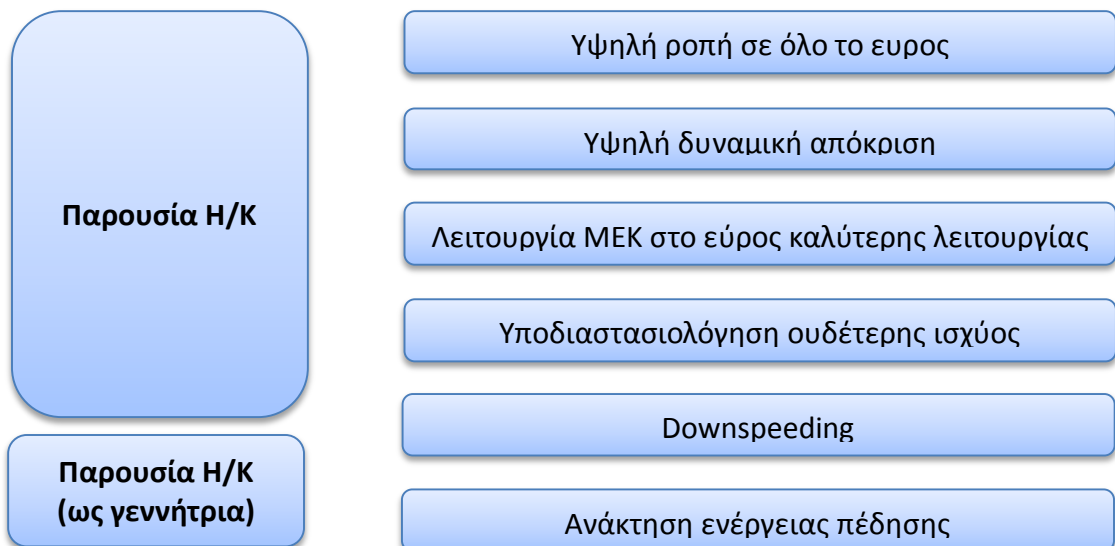
### 1.2 Οφέλη

Ο συνδυασμός οδήγησης από ΜΕΚ και ηλεκτροκινητήρα παρέχει διάφορα οφέλη έναντι των συμβατικών μεθόδων οδήγησης.:

- Ο ηλεκτροκινητήρας προσφέρει σταθερά υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής. Με αυτόν τον τρόπο συμπληρώνει ιδανικά την ΜΕΚ, η ροπή της οποίας αυξάνεται στο μέσο τους εύρους στροφών λειτουργίας. Ο ηλεκτροκινητήρας και η ΜΕΚ μπορούν συνδυασμένα να παρέχουν υψηλή δυναμική απόκριση σε κάθε οδηγική περίπτωση. (Σχήμα 1-2)
- Η ηλεκτρική υποβοήθηση καθιστά δυνατή την λειτουργία της ΜΕΚ αποκλειστικά στο εύρος λειτουργίας με την καλύτερη απόδοση ή σε περιοχές που η εκπομπή ρύπων είναι περιορισμένη (βελτιστοποίηση σημείου λειτουργίας)
- Η ηλεκτρική υποβοήθηση καθιστά δυνατή την χρήση μικρότερης ΜΕΚ, με διατήρηση της ίδιας συνολική ισχύς εξόδου (υποδιαστασιολόγηση ουδέτερης ισχύος(power-neutral downsizing)).
- Η ηλεκτρική υποβοήθηση καθιστά δυνατή την εφαρμογή μεγαλύτερων σχέσεων μετάδοσης χωρίς υποβιβασμό της απόδοσης (downspeeding).
- Τα υβριδικά συστήματα προσφέρουν επιπλέον την δυνατότητα οικονομίας καυσίμου μέσω της ανάκτησης της ενέργειας πέδησης. Χρησιμοποιώντας τον ηλεκτροκινητήρα σαν γεννήτρια (ή χρησιμοποιώντας επιπλέον γεννήτρια), Είναι δυνατή η μετατροπή μέρους της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική κατά την πέδηση. Η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται στον συσσωρευτή και στην συνέχεια χρησιμοποιείται για την οδήγηση του οχήματος.



Σχήμα 1-2 Καμπύλη ροπής



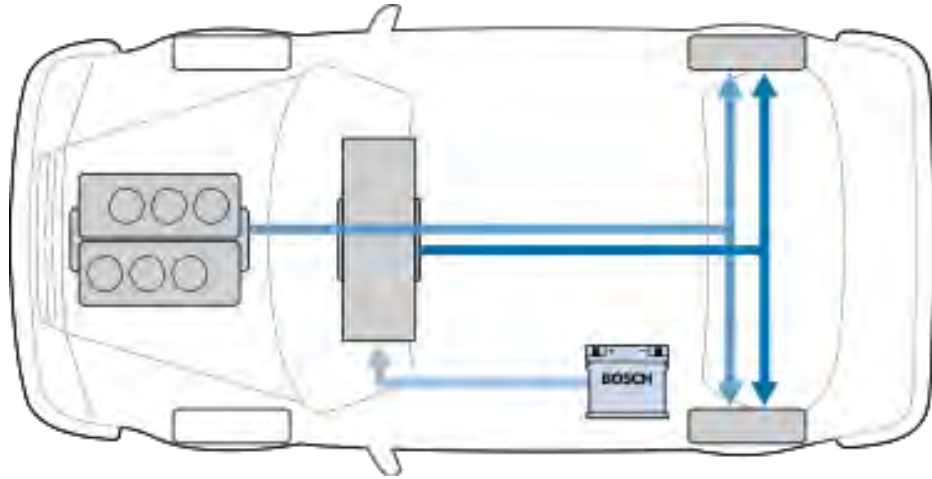
### 1.3 Τύποι λειτουργία

Ανάλογα τις λειτουργικές συνθήκες, η ΜΕΚ και ο ηλεκτροκινητήρας συνεισφέρουν σε διαφορετικό βαθμό στην οδήγηση. Το σύστημα ελέγχου καθορίζει την διείσδυση ισχύος των δυο οδηγών. Ο τρόπος που η ΜΕΚ, ο ηλεκτροκινητήρας και ο συσσωρευτής αλληλοεπιδρούν καθορίζει τον τύπο λειτουργίας:

- υβριδική οδήγηση,
- ηλεκτρική οδήγηση,
- λειτουργία επιδόσεων (boosting),
- λειτουργία φόρτισης,
- λειτουργία αναγεννητικής πέδησης.

### 1.3.1. Υβριδική Οδήγηση

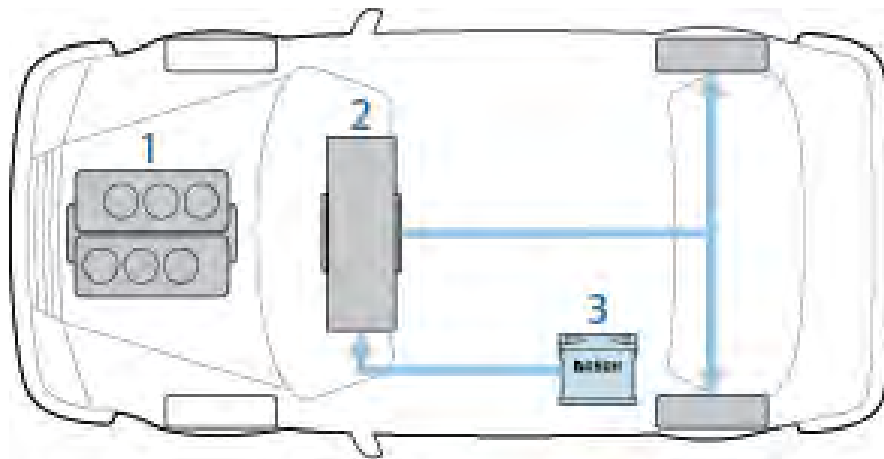
Η υβριδική οδήγηση αναφέρεται σε όλες τις καταστάσεις στις οποίες η ΜΕΚ και ο ηλεκτροκινητήρας παράγουν ταυτόχρονα ροπή οδήγησης (Σχήμα 1-3). Κατά την κατανομή της ροπής το σύστημα ελέγχου λαμβάνει υπόψη – εκτός από τις παραμέτρους βελτιστοποίησης λειτουργίας (εκπομπές ρύπων, οικονομία καυσίμου) – την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή ενέργειας.



Σχήμα 1-3 Υβριδική οδήγηση

### 1.3.2. Αμιγώς ηλεκτρική Οδήγηση

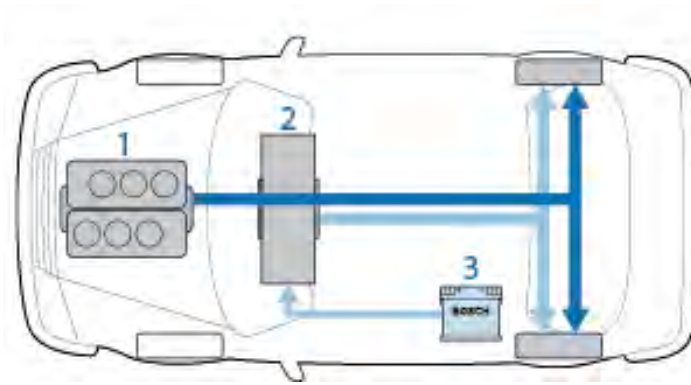
Η αμιγώς ηλεκτρική οδήγηση, στην οποία το όχημα οδηγείται για μεγάλες διαστάσεις μόνο από τον ηλεκτροκινητήρα, είναι δυνατή μόνο σε πλήρως υβριδικά οχήματα. Η ΜΕΚ αποσυμπλέκεται από τον ηλεκτροκινητήρα για αυτήν την περίπτωση (Σχήμα 1-4). Σε αυτήν την κατάσταση λειτουργίας το όχημα κινείται πρακτικά αθόρυβα και χωρίς εκπομπές ρύπων (τοπικά).



Σχήμα 1-4 Αμιγώς ηλεκτρική Οδήγηση

### 1.3.3. Λειτουργία επιδόσεων

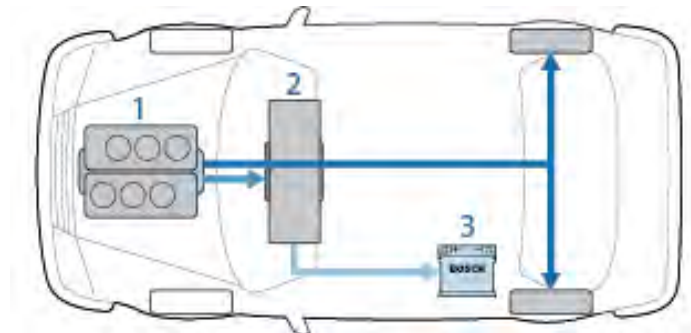
Στην λειτουργία επιδόσεων η ΜΕΚ και ο ηλεκτροκινητήρας συνεισφέρουν το μέγιστο δυνατό για την μέγιστη δυνατή ροπή πρόωσης του οχήματος (Σχήμα 1-5).



Σχήμα 1-5 Λειτουργία επιδόσεων

### 1.3.4. Λειτουργία Φόρτισης

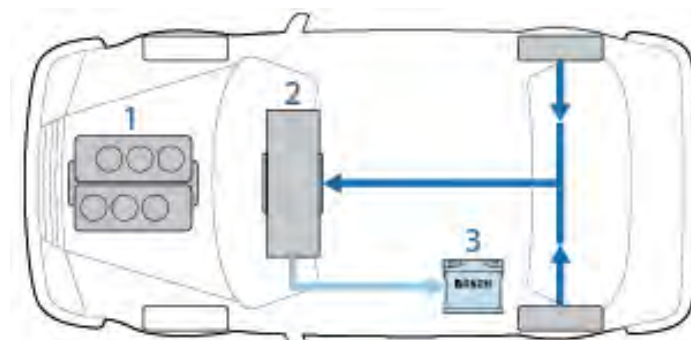
Σε αυτή την κατάσταση φορτίζεται ο συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ΜΕΚ λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγει μεγαλύτερη ισχύ από την αναγκαία για την πρόωση του οχήματος. Η περίσσεια ισχύος απορροφάται από την γεννήτρια, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στον συσσωρευτή (Σχήμα 1-6).



Σχήμα 1-6 Λειτουργία Φόρτισης

### 1.3.5. Λειτουργία αναγεννητικής πέδησης

Κατά την λειτουργία αναγεννητικής πέδησης (Regenerative braking ή recuperative braking ή recuperation), η πέδηση δεν επιτυγχάνεται από το σύστημα πέδησης με τριβή – ή μόνο από αυτό. Αντίθετα, η πέδηση επιτυγχάνεται από την ροπή πέδησης του ηλεκτροκινητήρα λειτουργώντας σαν γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του οχήματος σε ηλεκτρική (Σχήμα 1-7).



Σχήμα 1-7 Λειτουργία αναγεννητικής πέδησης

## 1.4 Λειτουργία Εκκίνησης/Τερματισμού

Η λειτουργία εκκίνησης/τερματισμού απαντάται και στους δυο βασικούς τύπους υβριδικών οχημάτων, ηπίως υβριδικών και πλήρως υβριδικών, όπως και σε συμβατικά οχήματα.

### 1.4.1. Λειτουργία

Όταν το όχημα είναι σταματημένο, το σύστημα ελέγχου (ECU) ελέγχει αν πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- Σχέση μετάδοσης απομπλεγμένη,
- ο αισθητήρας ταχύτητα του συστήματος antilock braking system δείχνει μηδενική ταχύτητα,
- ο αισθητήρας στάθμης του συσσωρευτή δείχνει ότι είναι αποθηκευμένη επαρκής ενέργεια για την, εκ νέου, εκκίνηση.

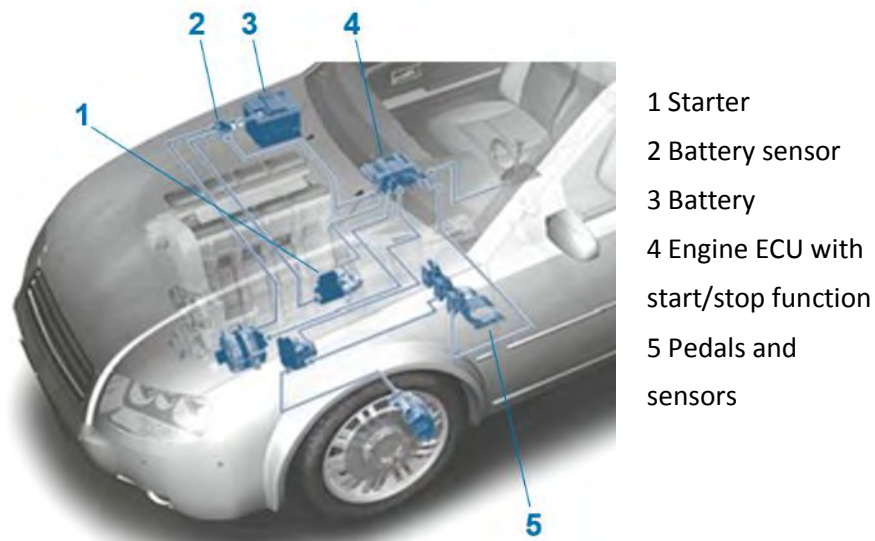
Τότε η λειτουργία της ΜΕΚ τερματίζεται.

Με την ενεργοποίηση του συμπλέκτη, ο εκκινητής λαμβάνει σήμα να εκκινήσει την ΜΕΚ. Η εκκίνηση γίνεται άμεσα και αθόρυβα.



### 1.4.2. Τμήματα συστήματος

Το σύστημα εκκίνησης/τερματισμού απαιτεί την ύπαρξη ενός ενισχυμένου εκκινητή (Σχήμα 1-8 : 1), σε σχέση με των συμβατικών οχημάτων.



Σχήμα 1-8 Εξαρτήματα συστήματος εκκίνησης τερματισμού

Απαιτεί επίσης ένα προσαρμοσμένο σύστημα ελέγχου της ΜΕΚ (4), που παρέχει επιπλέον διασυνδέσεις με τον εκκινητή και τους αισθητήρες.

Ο ρόλος της μπαταρίας (2) επιφορτίζεται λόγω της επαναλαμβανόμενης διαδικασίας εκκίνησης και για αυτόν το λόγο είναι ανθεκτική σε κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης. Επίσης παρακολουθείται από αισθητήρα για επάρκεια της ενέργειά της για την εκ νέου εκκίνηση.

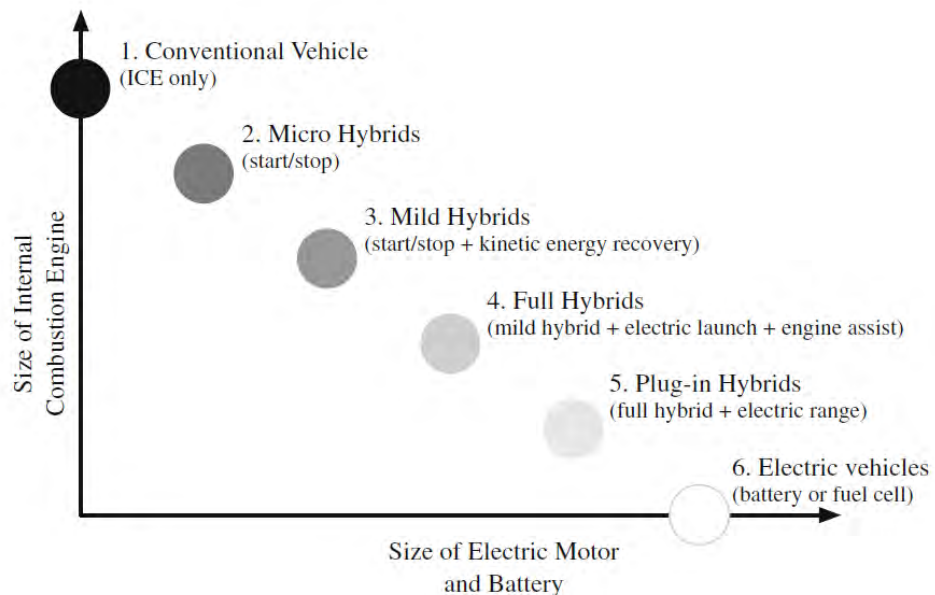
Απαιτείται πρόβλεψη για βοηθητικά συστήματα, όπως το A/C, τα οποία κανονικά οδηγούνται από την ΜΕΚ. Στις φάσεις που απενεργοποιείται η ΜΕΚ, η οδήγησή τους πρέπει να γίνεται ηλεκτρικά.

#### 1.4.3. Οικονομία καυσίμου

Οικονομία Καυσίμου: **3.5% - 4.5%**  
(New European Driving Cycle)

### 1.5 Βαθμοί υβριδοποίησης

Ο βαθμός υβριδοποίησης δείχνει την έκταση στην οποία η κατανομή οδηγικής ισχύος μπορεί να ποικίλει ανάμεσα στην ΜΕΚ και τον ηλεκτροκινητήρα. Διάκριση γίνεται μεταξύ του ηπίως υβριδικού και πλήρως υβριδικού, ανάλογα τον βαθμό υβριδοποίησης. Διαφέρουν βασικά στην ισχύ εξόδου του ηλεκτροκινητήρα και αλλά και στην χωρητικότητα του συσσωρευτή.



Σχήμα 1-9 Βαθμός υβριδοποίησης ως προς το μέγεθος της ΜΕΚ και του Η/Κ

### 1.5.1. Ηπίως Υβριδικό

#### Λειτουργίες

- Λειτουργία εκκίνησης/τερματισμού
- Αναγέννηση ενέργειας πέδησης
- Υποβοηθητική ροπή από Η/Κ
- Συσσώρευση ενέργειας (~20kW)
  - Εκκίνηση
  - Επιτάχυνση σε χαμηλές στροφές

#### Περιορισμοί

- Μόνιμα συζευγμένη ΜΕΚ → περιορισμός στην ηλεκτρική κίνηση → Απενεργοποίηση κυλίνδρων

#### Σχεδιασμός

- Εν παραλλήλω (κοινός στροφαλοφόρος)
- Επιπλέον συσσωρευτής

#### Οικονομία Καυσίμου

- ~15% (NEDC)

### 1.5.2. Πλήρως Υβριδικό

#### Λειτουργίες επιπλέον του Ηπίως Υβριδικού

- Ηλεκτρική οδήγηση για μεγαλύτερα διαστήματα

#### Σχεδιασμός

- Η ΜΕΚ δεν είναι μόνιμα συζευγμένη
- Εν παραλλήλω ή σε σειρά

#### Οικονομία Καυσίμου

- ~30% (NEDC)

### 1.5.3. Υβριδικό εξωτερικής φόρτισης

Τα υβριδικά εξωτερικής φόρτισης, δίνουν την δυνατότητα φόρτισης από εξωτερική πηγή. Για την επίτευξη μεγαλύτερων αποστάσεων σε αστικό περιβάλλον, εφαρμόζεται μεγαλύτερη μπαταρία σε σχέση με τα υπόλοιπα υβριδικά. Ο υβριδικός οδηγός χρησιμοποιείται για μεγαλύτερα ταξίδια και μεγαλύτερες ταχύτητες. Τα μειονεκτήματα σχετίζονται με κόστος και το μέγεθος της μπαταρίας μεγαλύτερης χωρητικότητας. Η εφαρμογή περιορίζεται από την δυνατότητα σε ένταση ρεύματος των οικιακών εγκαταστάσεων που σχετίζονται με τον χρόνο φόρτισης.

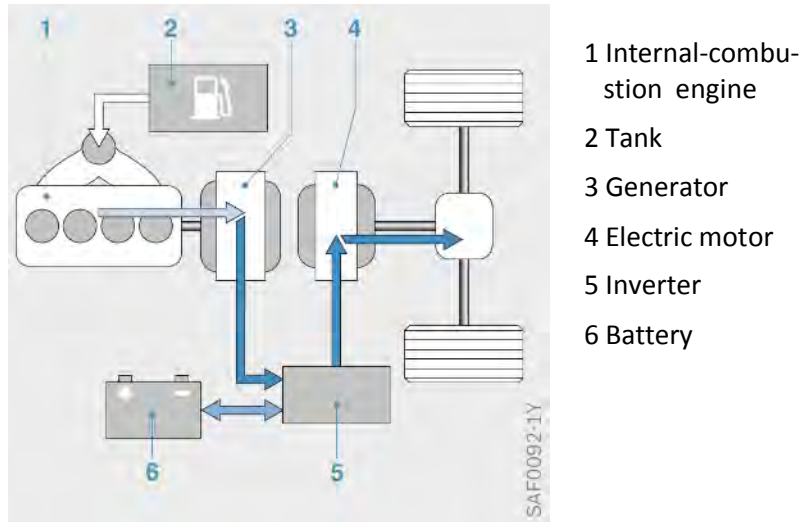
## 1.6 Διαρρυθμίσεις Οδηγών

- Υβριδικό Σειριακό Οδηγού (S-HEV & SP-HEV)
- Υβριδικό Παράλληλοι οδηγού (P-HEV)
  - Με ένα συμπλέκτη (P1-HEV)
  - Με δυο συμπλέκτες (P2-HEV)
  - Χωριστού άξονα (AS-HEV)
  - Με διπλό συμπλέκτη (DCT-HEV)
- Υβριδικό οδηγού διακλάδωσης
- Σύνθετες διατάξεις



## 1.6.1. Υβριδικοί Σειριακοί Οδηγοί

- Μηχανές συνδεδεμένες ηλεκτρικά σε σειρά
- ΜΕΚ και **δυο** ηλεκτροκινητήρες (γεννήτρια και κινητήρας)
- ΜΕΚ απεμπλεγμένη από κινηματικό μηχανισμό



Σχήμα 1-10 Υβριδικός σειριακός οδηγός

Οι σειριακοί υβριδικοί οδηγοί (S-HEV - Σχήμα 1-10) χαρακτηρίζονται από την σε σειρά σύνδεση των μετατροπέων ενέργειας (ηλεκτροκινητήρα και ΜΕΚ). Η διαρρύθμιση σε σειρά απαιτεί εκτός από την ΜΕΚ και δυο ηλεκτροκινητήρες, ο ένας να δρα σαν γεννήτρια και ο άλλος κινητήρας. Η ΜΕΚ δεν συνδέεται στον άξονα μετάδοσης ισχύος.

Η κινητική ενέργεια της ΜΕΚ (1) μετατρέπεται σε ηλεκτρική από την γεννήτρια (3), η οποία μέσω της μπαταρίας και του Inverter παρέχεται στον κινητήρα (4) ο οποίος κινεί το όχημα.

**Πλεονεκτήματα**

- Ελεύθερη επιλογή σημείου λειτουργίας ΜΕΚ
  - Πλήρωση ενεργειακών απαιτήσεων πραγματικού χρόνου
  - Λειτουργία στο πλέον αποδοτικό σημείο και παροχή περισσεύσεως στον συσσωρευτή.
- Πλήρης ανάκτηση ενέργειας πέδησης

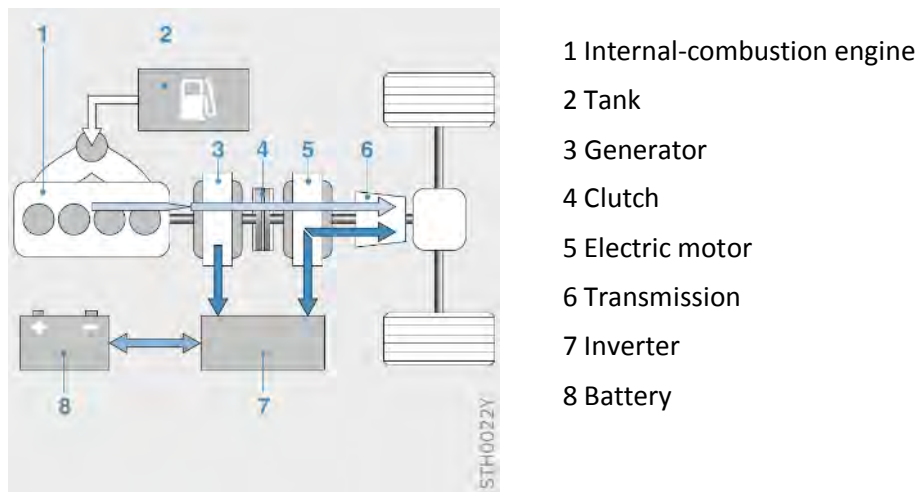
**Μειονεκτήματα**

- Η/Κ επαρκούς μεγέθους για απορρόφηση και παραγωγή πλήρους ισχύος
- Πολλές μετατροπές ενέργειας → απώλειες απόδοσης (εως και 30%)
- Κόστος, μέγεθος, βάρος

**Εφαρμογές**

ΑΣΤΙΚΑ τρέινα, λεωφορεία

### 1.6.2. Υβριδικοί Σειριακοί - Παράλληλοι Οδηγοί



Σχήμα 1-11 Υβριδικός σειριακός-παράλληλος οδηγός

Οι υβριδικοί Σειριακοί - Παράλληλοι Οδηγοί (Σχήμα 1-11 - SP-HEV) διαφέρουν ως προς τους σειριακούς λόγω της τοποθέτησης συμπλέκτη (4) που συνδέει την ΜΕΚ (1) με τον άξονα κίνησης. Όταν ο συμπλέκτης είναι ανοικτός, ο οδηγός συμπεριφέρεται σαν σειριακός. Όταν ο συμπλέκτης είναι κλειστός, η ΜΕΚ μπορεί να κινήσει απευθείας το όχημα χωρίς μετατροπή ενέργειας σε ηλεκτρική. Το βασικό πλεονέκτημα της τοπολογίας είναι η δυνατότητα μείωσης του μεγέθους του ηλεκτροκινητήρα, καθώς δεν απαιτείται να καλύπτει όλο το εύρος ταχυτήτων και ισχύος του οχήματος.

#### Συμπλέκτης μεταξύ Η/Κ

- Δυνατότητα εμπλοκής ΜΕΚ στο κινηματικό μηχανισμό

#### Πλεονέκτημα

- Μείωση μεγέθους Η/Κ

#### Μειονέκτημα

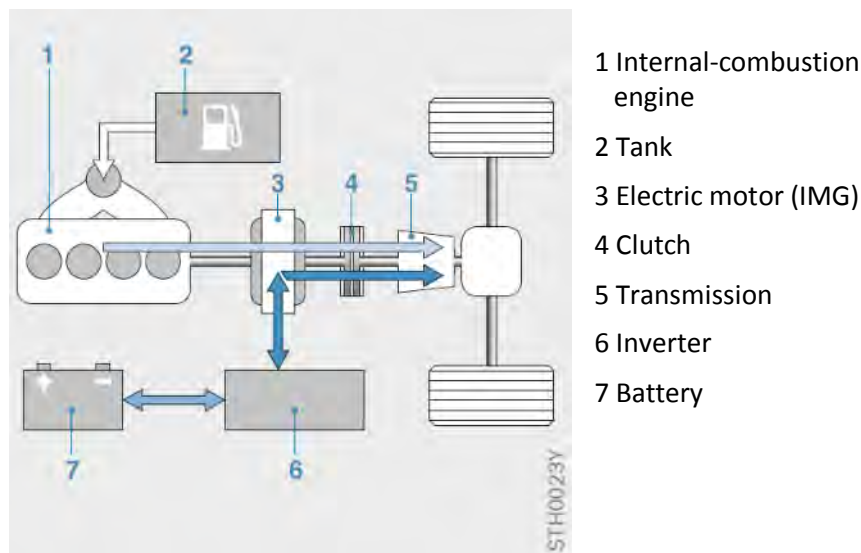
- Κόστος, μέγεθος, βάρος

## 1.6.3. Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί

- Έναν Η/Κ (γεννήτρια και κινητήρας)
- Συμπλεγμένη ΜΕΚ → Μείωση ενεργειακών μετατροπών, Αυξημένη απόδοση
- Άθροισμα ροπής
- Σταθερή σχέση μετάδοσης → Αδυναμία καθορισμού συγκεκριμένου σημείου λειτουργίας ΜΕΚ
- Προσφιλής λύση για τον καταναλωτή
- Βασικές παραλλαγές P-HEV:
  - Με ένα συμπλέκτη (P1-HEV)
  - Με δυο συμπλέκτες (P2-HEV)
  - Χωριστού άξονα (AS-HEV)
  - Με διπλό συμπλέκτη (DCT-HEV)

Οι παράλληλοι οδηγοί χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ενός ηλεκτροκινητήρα (Η/Κ) που δρα σαν γεννήτρια ή σαν κινητήρας και προσφέρει ή απορροφά ροπή από την ΜΕΚ. Όμως υπάρχει ο περιορισμός της σταθερής (ή διακριτής) σχέσης μετάδοσης μεταξύ του ΜΕΚ και του Η/Κ, που περιορίζει την ευελιξία ως προς την επιλογή του σημείου λειτουργίας της κάθε μηχανής. Οι διατάξεις αυτής της κατηγορίας είναι προσφιλείς στους καταναλωτές γιατί είναι πιο κοντά στα συμβατικά οχήματα. Στην συνέχεια παρατίθενται οι βασικότερες παραλλαγές της κατηγορίας.

## 1.6.3.1. Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί με έναν συμπλέκτη

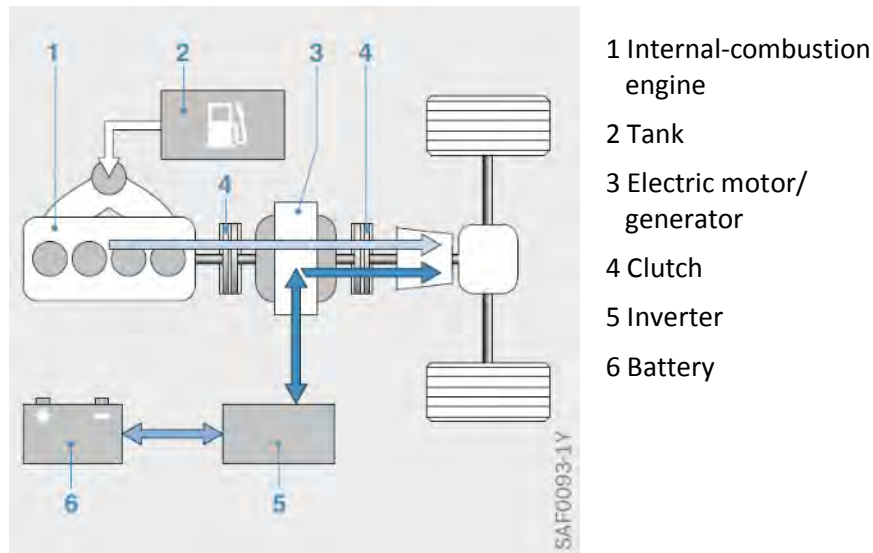


Σχήμα 1-12 Υβριδικός παράλληλος οδηγός με έναν συμπλέκτη

Στους υβριδικούς παράλληλους οδηγούς με έναν συμπλέκτη (P1-HEV, Σχήμα 1-12) ο ηλεκτροκινητήρας ο Η/Κ και η ΜΕΚ είναι μόνιμα συνδεδεμένοι και συνεπώς δεν μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα. Έτσι ένα μέρος της

ενέργειας ανάκτησης από την πέδηση χάνεται για την ετεροκίνηση της ΜΕΚ. Επίσης, για τον ίδιο λόγο, αποκλείεται η καθαρά ηλεκτρική κίνηση. Τα οφέλη από αυτήν την διάταξη είναι η δυνατότητα ανάκτησης της ενέργειας πέδησης (έστω και περιορισμένα) και η ενίσχυση της λειτουργίας της ΜΕΚ από τον Η/Κ.

### 1.6.3.2. Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί με δυο συμπλέκτες



Σχήμα 1-13 Υβριδικός παράλληλος οδηγός με δύο συμπλέκτες

Στους υβριδικούς παράλληλους οδηγούς με δύο συμπλέκτες (P2-HEV, Σχήμα 1-13), παρεμβάλλονται ένα συμπλέκτη ανάμεσα στην ΜΕΚ και τον Η/Κ γίνεται εφικτή η ηλεκτροκίνηση και η καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας πέδησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις ανοίγει ο συμπλέκτης (4) και απομονώνεται η ΜΕΚ.

Μια τεχνική δυσκολία της συγκεκριμένης τοπολογίας σχετίζεται με την δυνατότητα εκκίνησης της ΜΕΚ ενώ το όχημα είναι σε κίνηση.

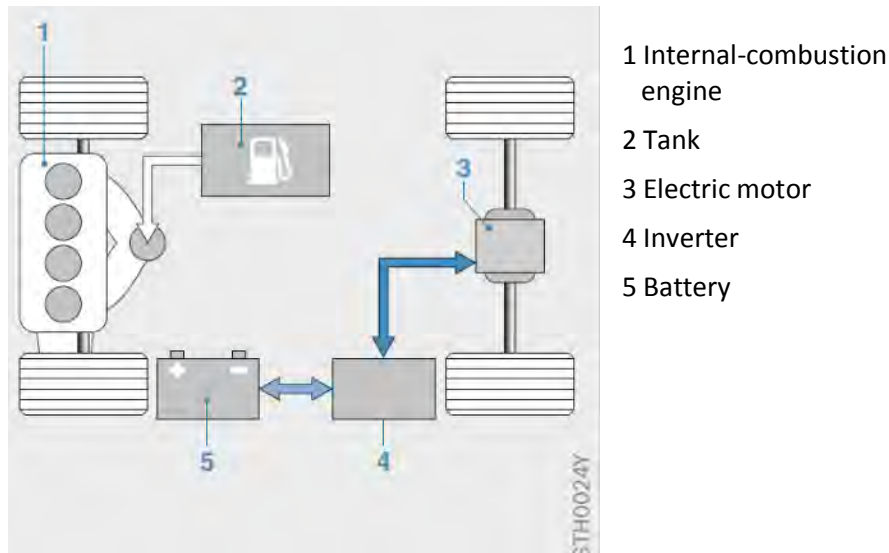
### 1.6.3.3. Υβριδικοί Παράλληλοι οδηγοί χωριστού άξονα

Στις τοπολογίες των P1-HEV και P2-HEV ο ηλεκτροκινητήρας και η ΜΕΚ βρίσκονται στον ίδιο άξονα ισχύος και συνεπώς λειτουργούν με σταθερή αναλογία ταχύτητας περιστροφής. Στην τοπολογία παράλληλου οδηγού χωριστού άξονα (AS-HEV, Σχήμα 1-14), η ΜΕΚ και ο Η/Κ δρουν σε διαφορετικό άξονα του οχήματος. Έτσι, η πρόσθεση της δύναμης έλξης από τις δυο μηχανές γίνεται στον δρόμο. Η ανάκτηση ενέργειας πέδησης και η ηλεκτροκίνηση γίνεται στον μπροστά άξονα. Η ροπή των δυο αξόνων επιλέγεται ανεξάρτητα, εντός των αντίστοιχων ορίων. Η τοπολογία αυτή μπορεί να παρέχει τετρακίνηση (4WD).

Σημαντικά πλεονεκτήματα της τοπολογίας είναι τα ακόλουθα:

- Ο συμβατικός οδηγός δεν χρειάζεται σοβαρή μετατροπή, και συνεπώς η γραμμή παραγωγής που παράγει και συμβατικά οχήματα μπορεί να αξιοποιηθεί ευκολότερα.

- Οι δύο μηχανές μπορούν να κινούνται σε διαφορετικές ταχύτητες. Έτσι μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα το εύρος ταχυτήτων περιστροφή του Η/Κ.
- Αυξημένη απόδοση σε ηλεκτροκίνηση και ανάκτηση ενέργειας πέδησης.
- Ο Η/Κ δεν επιφορτίζεται με την εκκίνηση της ΜΕΚ.



Σχήμα 1-14 Υβριδικός Παράλληλος οδηγος χωριστού άξονα

Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα

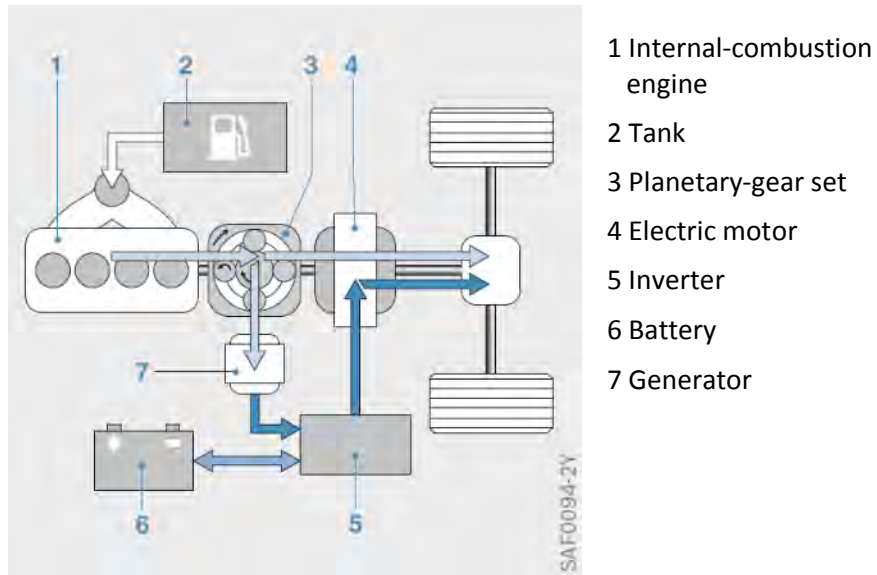
- Απαιτείται ανεξάρτητος εκκινητής για την ΜΕΚ.
- Το κιβώτιο δεν εφαρμόζεται στον Η/Κ. Παρόλο που ο Η/Κ έχει ευρύ πεδίο ταχύτητας περιστροφής, είναι πιθανό να χρειάζεται απλό κιβώτιο δυο ταχυτήτων.
- Σε στάση δεν είναι δυνατή η φόρτιση.
- Λόγω της μη δυνατότητας φόρτισης σε στάση, απαιτείται επιπλέον μικρή γεννήτρια για τις ανάγκες της ΜΕΚ.
- Απαιτείται παρακολούθηση της δυναμικής οδήγησης και στους δυο άξονες (ESP)

#### 1.6.3.4. Υβριδικοί οδηγοί διακλάδωσης

Βάση της τοπολογίας του υβριδικού οδηγού διακλάδωσης (Σχήμα 1-15) αποτελεί ένα επικυκλικό διαφορικό (Σχήμα 1-16). Στο επικυκλικό διαφορικό, οι ταχύτητες των δύο αξόνων καθορίζουν την ταχύτητα του τρίτου. Όμοια συμβαίνει και με την ροπή. Στο διαφορικό συνδέεται η ΜΕΚ (1), ηλεκτροκινητήρας (4) και γεννήτρια (7). Στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα συνδέεται και ο άξονα των τροχών.

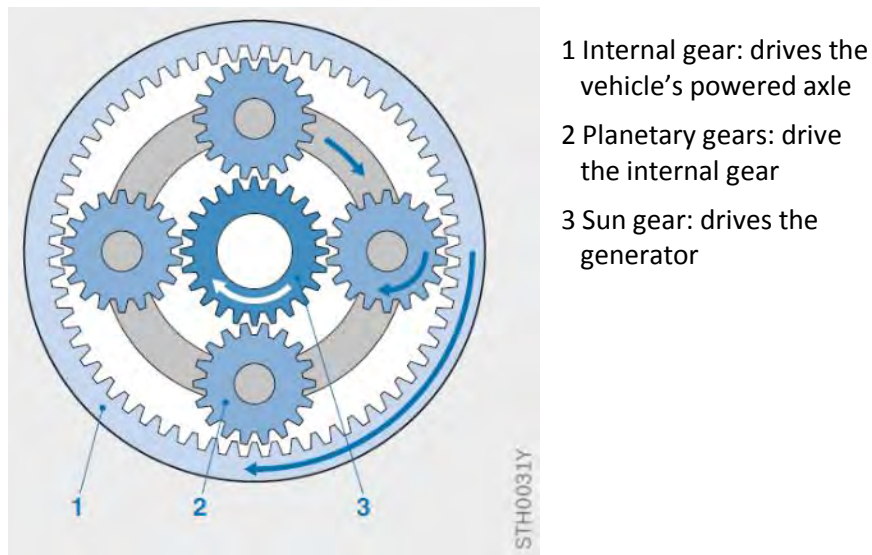
Η ροπή που παράγεται από την ΜΕΚ διανέμεται σε δυο κατευθύνσεις: την μηχανική, προς τον άξονα εξόδου, και την ηλεκτρική, την γεννήτρια. Το φορτίο της γεννήτριας, η «αντίσταση» που προβάλλει, καθορίζει έμμεσα και

την ταχύτητα του άξονα εξόδου. Ένα μέρος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται άμεσα από τον Η/Κ ενώ το υπόλοιπο αποθηκεύεται στην μπαταρία.



Σχήμα 1-15 Υβριδικός οδηγός διακλάδωσης

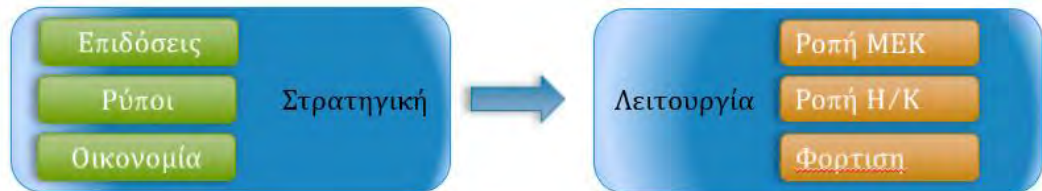
Με αυτή την τοπολογία είναι δυνατό να λειτουργεί η ΜΕΚ στο βέλτιστο σημείο ταχύτητας περιστροφής – ροπής για την ζητούμενη ισχύ. Όταν δεν είναι συμφέρουσα η λειτουργία της ΜΕΚ, ακόμα και με αυτούς του όρους, τότε λειτουργεί ο Η/Κ με ενέργεια από την μπαταρία.



Σχήμα 1-16 Το επικυκλικό διαφορικό

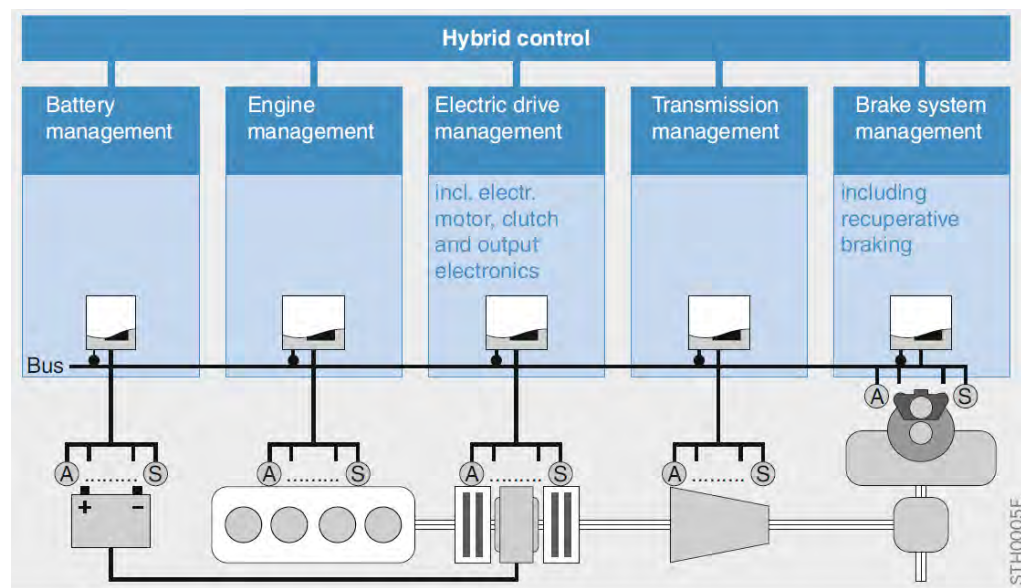
## 2. Λειτουργία Υβριδικών Οχημάτων

Η λειτουργία ενός υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος καθορίζεται ουσιαστικά από τη στρατηγική λειτουργίας. Ανάλογα με τον υψηλότερο στόχο βελτιστοποίησης (μειωμένες εκπομπές, οικονομία καυσίμου), η στρατηγική επιβάλλει σε κάθε στιγμή τη διανομή της ζητούμενης ροπής κίνησης στον κινητήρα εσωτερικής καύσης και στον ηλεκτροκινητήρα, έτσι ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί στα πιο ευνοϊκά σημεία λειτουργίας. Η στρατηγική λειτουργίας ελέγχει επίσης την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση της μπαταρίας έλξης.



### 2.1 Υβριδικός έλεγχος

Η απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί με τους υβριδικούς οδηγούς δεν εξαρτάται μόνο από την διαρρύθμισή τους, αλλά εξίσου κρίσιμος είναι και ο έλεγχος του συστήματος, σε υψηλότερο επίπεδο.



Σχήμα 2-1 Δικτύωση συστημάτων ελέγχου υβριδικών οδηγών

Στο Σχήμα 2-1 δίνεται το παράδειγμα οχήματος με παράλληλο υβριδικό οδηγό. Διακρίνεται η διασύνδεση των επιμέρους εξαρτημάτων και συστημάτων ελέγχου του συστήματος οδήγησης (drivetrain).

Το υψηλότερο επίπεδο υβριδικού ελέγχου συντονίζει όλο το σύστημα, ενώ τα επιμέρους υποσυστήματα διαθέτουν τις δικές του λειτουργίες ελέγχου.

Αυτές οι λειτουργίες ελέγχου είναι η διαχείριση της μπαταρίας, η διαχείριση του ηλεκτρικού οδηγού, η διαχείριση της μετάδοσης και η διαχείριση του συστήματος πέδησης.

Η στρατηγική λειτουργίας έχει επίδραση στην κατανάλωση και εκπομπές ρύπων του υβριδικού οχήματος, μέσω λειτουργιών όπως της εκκίνησης/τερματισμού, της αναγέννησης ενέργειας πέδησης και της βελτιστοποίησης σημείου λειτουργίας.

Η στρατηγική λειτουργίας επίσης περιλαμβάνει τον καθορισμό της κατάστασης οδήγησης, όπως ηλεκτρική οδήγηση ή αναγέννηση και κατανομή της ροπής που απαιτεί ο χρήστης στην μηχανή και τον κινητήρα.

Ένα σημαντικό αναπόσπαστο μέρος της βελτιστοποίησης ως προς το σημείο λειτουργίας είναι η λειτουργία ηλεκτροκίνησης. Είναι δυνατόν μέσω της λειτουργίας μέγιστης ισχύος να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ροπή στρέψης και κατά συνέπεια καλύτερη ικανότητα επιτάχυνσης, ιδιαίτερα σε χαμηλές στροφές κινητήρα. Αυτό απαιτεί μια ολιστική εξέταση του σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης της στρατηγικής λειτουργίας για την αξιοποίηση του μέγιστου δυναμικού.

Η στρατηγική λειτουργίας εδώ σημαίνει κατανομή ροπής εξαρτώμενη από την κατάσταση της οδήγησης μεταξύ των δύο πηγών κίνησης: του κινητήρα και του ηλεκτροκινητήρα.

### 2.2 Στρατηγικές Λειτουργίας

Οι κανονισμοί εκπομπών ρύπων υπαγορεύουν την μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> σε χαμηλότερα από τα σημερινά επίπεδα. Επιπλέον το ίδιο ισχύει και για τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου, θέμα που αφορά οχήματα με κινητήρες ντίζελ.

Η βελτίωση που επιδιώκεται μπορεί να επιτευχθεί τοποθετώντας το σημείο λειτουργίας του κινητήρα σε περιοχή με χαμηλότερες εκπομπές.

#### 2.2.1. Στρατηγική Λειτουργίας για Μειωμένες Εκπομπές NO<sub>x</sub> (Ντίζελ)

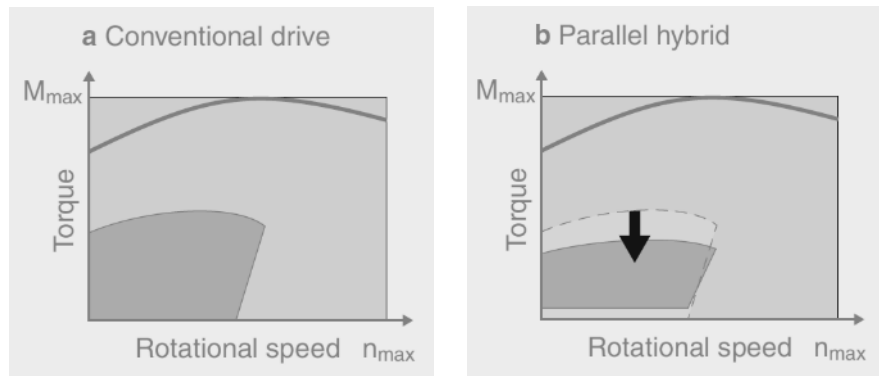
Οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με φτωχό μείγμα έχουν ήδη επιτύχει σχετικά χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου σε λειτουργία μερικού φορτίου.

Όμως, στο χαμηλό φορτίο, οι απώλειες τριβών αυξάνουν και κατά συνέπεια αυξάνει η ειδική κατανάλωση. Επιπροσθέτως, στην λειτουργία σε χαμηλό φορτίο, οι χαμηλές θερμοκρασίας καύσης και η τοπική έλλειψη οξυγόνου οδηγούν στην αύξηση εκπομπών μονοξειδίου και άκαυστων υδρογονανθράκων.

Στο χαμηλό φορτίο η ηλεκτροκίνηση μπορεί να αντικαταστήσει την ΜΕΚ. Αν η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να προκύψει από την αναγέννηση της ενέργειας πέδησης,, αυτή η απλή στρατηγική επιφέρει μεγάλο πλεονέκτημα σχετικά με την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές.

Στο μέλλον αναμένεται να μειωθούν τα όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Αποφεύγοντας τα μη ευνοϊκά σημεία λειτουργίας του κινητήρα, δίνεται η δυνατότητα να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές ρύπων. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να μειωθεί και η ανάγκη επεξεργασίας των καυσαερίων.





Σχήμα 2-2 Μετακίνηση του εύρους λειτουργία για την μείωση εκπομπών  $NO_x$

Στο Σχήμα 2-2 (α) φαίνεται η περιοχή όπου κυρίως λειτουργείται η μηχανή εσωτερικής καύσης, σύμφωνα με τον Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (New European Driving Cycle - NEDC).

Φαίνεται η λειτουργία του κινητήρα Ντίζελ, σε χαμηλά φορτία, όπου έχει χαμηλή απόδοση και αυξημένες εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα, και στα μερικά έως υψηλά φορτία, όπου ευνοείται ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου.

Στο Σχήμα 2-2 (β) δίνεται ένα παράδειγμα του εύρους λειτουργίας της μηχανής εσωτερικής καύσης σε σύστημα με παράλληλο υβριδικό οδηγό όπου παρακάμπτεται η λειτουργία σε χαμηλά φορτία (χρησιμοποιώντας ηλεκτρική οδήγηση). Αυτή η στρατηγική έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση καυσίμου αλλά και την μείωση μονοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου.

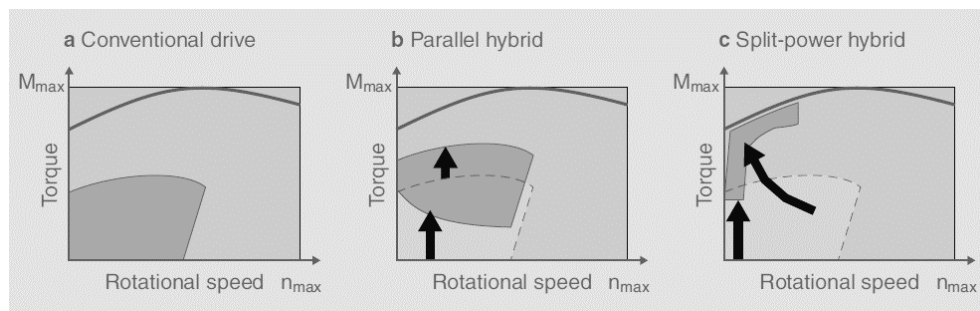
Επιπλέον, με την παράλληλη χρήση ηλεκτρικής οδήγησης μπορεί να επιτευχθεί και ο περιορισμός στο μέσω φορτίο, μειώνοντας και τα  $NO_x$  αποφεύγοντας την περιοχή που ο σχηματισμός τους ευνοείται.

### 2.2.2. Στρατηγική Λειτουργίας για Μειωμένες Εκπομπές $CO_2$

Ο τριπλός καταλύτης που εφαρμόζεται σε οχήματα που δουλεύουν με στοιχειομετρική αναλογία καυσίμου-αέρα, εξασφαλίζει πολύ χαμηλές εκπομπές ρύπων.

Στα υβριδικά οχήματα χαμηλές εκπομπές επιτυγχάνονται με ειδικές στρατηγικές προθέρμανσης. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις επιπλέον μείωση μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση συστήματος επεξεργασίας των καυσαερίων.

Συνεπώς, δεδομένου ότι είναι εξασφαλισμένη η χαμηλή εκπομπή ρύπων το αντικείμενο είναι η οικονομία καυσίμου και αύξηση της ισχύος



Σχήμα 2-3 Μετακίνηση του εύρους λειτουργία για την μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> - κατανάλωσης

Στο Σχήμα 2-3 δίνεται η δυνατή βελτιστοποίηση του εύρους λειτουργίας της ΜΕΚ για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> για συμβατικό αυτοκίνητο, υβριδικό με παράλληλο οδηγό και υβριδικό οδηγό διακλάδωσης.

Στον Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο οδήγησης η ΜΕΚ σε συμβατικά οχήματα λειτουργούν σε χαμηλά φορτία και συνεπώς με μικρότερη από την βέλτιστη απόδοση.

Σε οχήματα με παράλληλο οδηγό, η λειτουργία της ΜΕΚ σε χαμηλά φορτία μπορεί να αποφευχθεί με καθαρά ηλεκτρική οδήγηση (Σχήμα β). Επειδή η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται είναι μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να παραχθεί από αναγέννηση της ενέργειας πέδησης, χρησιμοποιείται και ο ηλεκτροκινητήρας σαν γεννήτρια για την φόρτιση του συσσωρευτή. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την ΜΕΚ ανεβάζοντας το εύρος λειτουργίας της υψηλότερα, με ευνοϊκά αποτελέσματα στην απόδοσή της.

Σε σχέση με την προηγούμενη στρατηγική που παρουσιάστηκε για την μείωση των NO<sub>x</sub>, ηλεκτρική κίνηση χρησιμοποιείται περισσότερο. Όμως στην συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να εξεταστεί η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή και να γίνει ένας συμβιβασμός μεταξύ των εκπομπών CO<sub>2</sub> και στο προσδοκώμενο χρόνο ζωής της μπαταρίας.

Στη περίπτωση του υβριδικού οδηγού διακλάδωσης, σχήμα c, το εύρος λειτουργίας της ΜΕΚ περιορίζεται περισσότερο απ' ότι στην περίπτωση του υβριδικού οδηγού. Συγκεκριμένα λειτουργείται συναρτήσε των στροφών στο φορτίο που το συνολικό σύστημα οδήγησης λειτουργεί στις ενεργειακά βέλτιστες συνθήκες. Λόγω της δυνατότητας λειτουργίας σειριακά, με ταυτόχρονη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα και της γεννήτριας, δεν επιφορτίζεται ο συσσωρευτής.

## 2.3 Βελτιστοποίηση του Σημείου Λειτουργίας

### 2.3.1. Διακριτοποίηση της λειτουργία

Η κατανομή της ροπής δεν έχει εφαρμογή σε όλες τις καταστάσεις οδήγησης. Στο Σχήμα 2-4 φαίνονται διαφορετικές καταστάσεις οδήγησης σε υβριδικό όχημα που καθορίζονται από την εντολή του χρήστη, την κατάσταση του συσσωρευτή και την ταχύτητα.

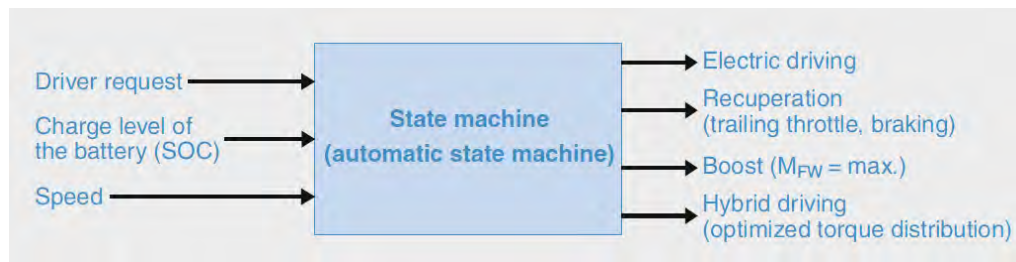
Στην περίπτωση καθαρά ηλεκτρικής οδήγησης και ανάκτησης, η ΜΕΚ απενεργοποιείται.

Στην περίπτωση μέγιστης ισχύος, και οι δύο οδηγοί παρέχουν τη μέγιστη ροπή.

Η καθαρά ηλεκτρική οδήγηση περιορίζεται σε χαμηλές ταχύτητες κίνησης και χαμηλές επιταχύνσεις.

Η ανάκτηση γίνεται μόνο όταν το όχημα επιβραδύνει.

Η λειτουργία μέγιστης ισχύος ενεργοποιείται όταν ο χρήστης απαιτήσει μέγιστη ροπή πρόωσης



Σχήμα 2-4 Καταστάσεις λειτουργίας υβριδικών οχημάτων

### 2.3.2. Κατανομή της ροπής

Η στρατηγική λειτουργίας έχει εφαρμογή στην κατάσταση υβριδικής λειτουργίας.

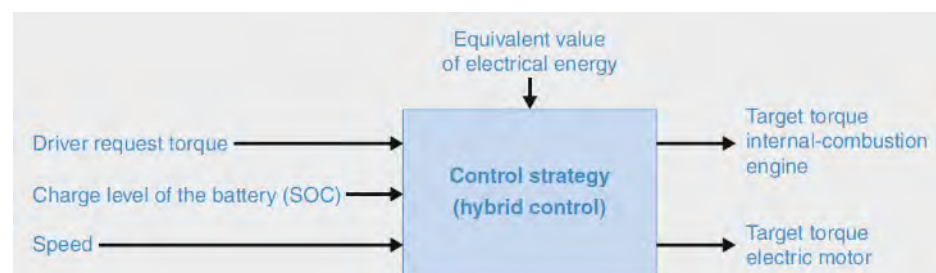
Λόγω της πολυπλοκότητας, των βαθμών ελευθερίας του προβλήματος, η βελτιστοποίηση γίνεται πιο αποδοτικά με την βοήθεια διαδικασιών που βασίζονται σε μοντέλα.

Στο Σχήμα 2-5 φαίνονται οι εξαρτήσεις της στρατηγικής λειτουργίας. Ο υβριδικός έλεγχος κατανέμει την επιθυμητή ροπή οδήγησης στην πηγές δηλαδή την ΜΕΚ και τον ηλεκτροκινητήρα.

Λαμβάνονται υπόψη διάφορες παράμετροι, με κυριότερες την εντολή του χρήστη, την κατάσταση του συσσωρευτή και την ταχύτητα.

Επιπλέον η στρατηγική λειτουργίας απαιτεί την ισοδυναμία αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή πόσο καύσιμο πρέπει να καταναλωθεί για την παραγωγή αυτής της ενέργειας.

Δηλαδή αν η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας κόστισε περισσότερο καύσιμο απ' ότι θα κοστίσει η λειτουργία με ΜΕΚ, προτιμάται η λειτουργία με ΜΕΚ.



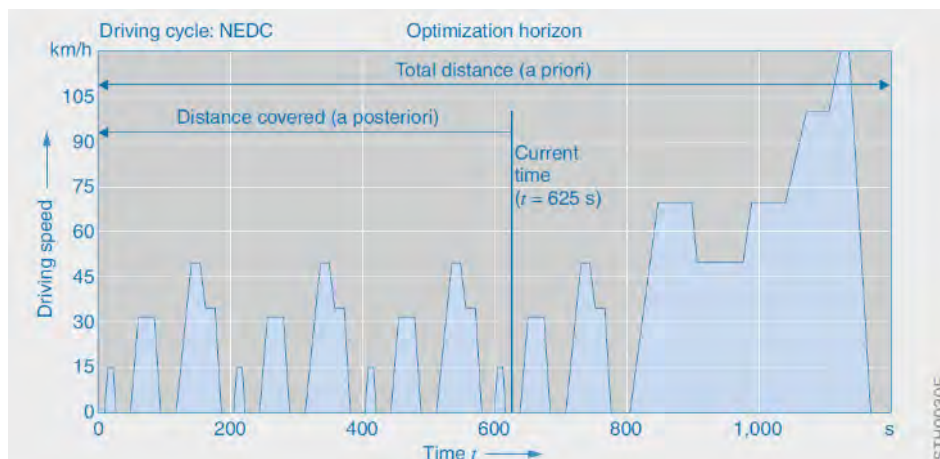
Σχήμα 2-5 Στρατηγική λειτουργίας

### 2.3.3. Καθορισμός της 'ισοδυναμίας' καυσίμου

Αν ήταν γνωστός εκ των πρότερων ο κύκλος οδήγησης, θα ήταν δυνατό να καθορισθεί μια στρατηγική βελτιστοποίησης.

Όμως στην πραγματική λειτουργία μόνο η τωρινή και παρελθοντική κατάσταση είναι γνωστή. Στο Σχήμα 2-6 φαίνεται ο ορίζοντας βελτιστοποίησης της ισοδυναμίας καυσίμου για την εκ των προτέρων και την εκ των υστέρων βελτιστοποίηση.

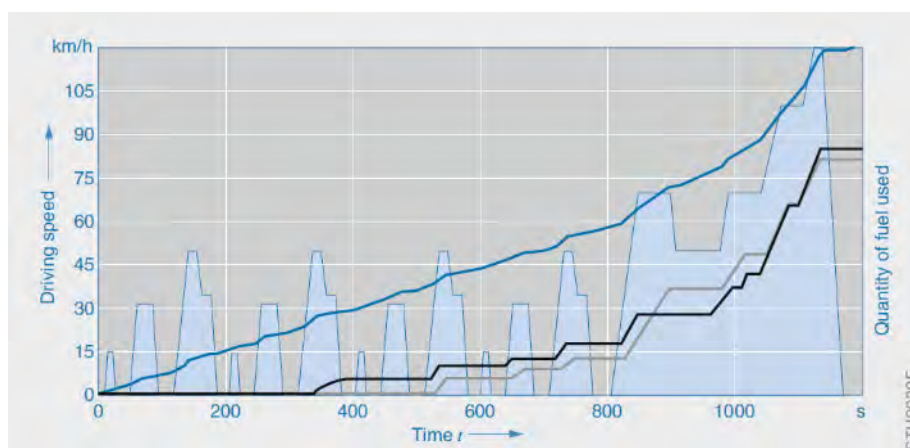
Ο χρόνος  $t = 625$  s θεωρείται το παρόν. Η ανάκτηση ενέργειας στο φρενάρισμα από 120 Km/h δεν μπορεί να αξιοποιηθεί στη κατάσταση στρατηγικής βελτιστοποίησης.



Σχήμα 2-6 Ορίζοντας για την εκ των προτέρων και την εκ των υστέρων βελτιστοποίηση

Στο Σχήμα 2-7 δίνεται η αθροιστική κατανάλωση καυσίμου για συμβατικό όχημα και για υβριδικό. Για το υβριδικό φαίνονται οι καμπύλες με την εκ των πρότερων και την εκ των υστέρων εκτίμηση

Αν το σύστημα στρατηγικής της λειτουργία είναι διασυνδεδεμένο με σύστημα υποβοήθησης του οδηγού, πχ GPS το μελλοντικό προφίλ οδήγησης μπορεί να εκτιμηθεί σε σημαντικό βαθμό.



Συμβατικό όχημα

Υβριδικό  
Εκ των προτέρων εκτίμηση

Υβριδικό  
Εκ των υστέρων εκτίμηση

Σχήμα 2-7 Αθροιστική κατανάλωση καυσίμου για διαφορετικές στρατηγικές λειτουργίας

### 2.3.4. Στρατηγική παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Στο υβριδικό όχημα ή ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί από την ΜΕΚ ή μέσω ανάκτησης ενέργειας πέδησης.

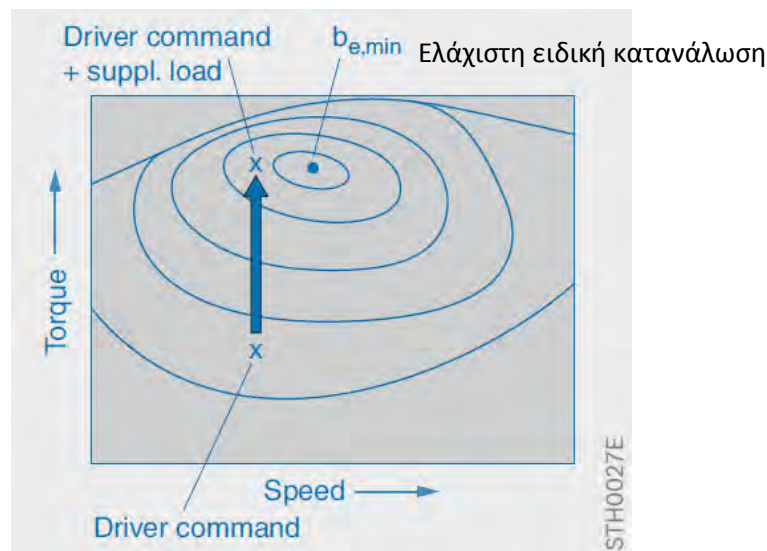
Η ανάκτηση μέσω πέδησης δεν έχει κάποιο κόστος σε καύσιμο. Αντίθετα η φόρτιση από την ΜΕΚ απαιτεί κατανάλωση καυσίμου. Η απόδοση της φόρτισης εξαρτάται από το σημείο λειτουργίας της μηχανής.

Επειδή η δυνατότητα αποθήκευσης του συσσωρευτή είναι περιορισμένη και η ενέργεια από ανάκτηση δεν είναι αρκετή, η φόρτιση από την ΜΕΚ δεν μπορεί να αποφευχθεί.

Για την ελαχιστοποίηση του καυσίμου που απαιτείται για φόρτιση, η φόρτιση χρησιμοποιείται για να προσθέσουμε φορτίο στον κινητήρα όταν λειτουργεί σε σημείο μη αποδοτικής λειτουργίας.

Στο Σχήμα 2-8 δίνεται ο χάρτης απόδοσης του κινητήρα (ειδική κατανάλωση). Φαίνεται το αρχικό σημείο που αφορά την εντολή του χρήστη και την μετακίνησή του σε σημείο καλύτερης λειτουργίας έχοντας προσθέσει την ισχύ φόρτισης.

Η βελτίωση της απόδοσης της μηχανής με αυτό τον τρόπο είναι εφαρμογή της στρατηγικής λειτουργίας, καθώς περιλαμβάνει την κατανομή της ροπής μεταξύ της μηχανής και του κινητήρα.



Σχήμα 2-8 Μετακίνηση του σημείου λειτουργίας

## 2.4 Σχεδιασμός Μηχανής Εσωτερικής Καύσης

### 2.4.1. Κριτήρια καταλληλότητας

Μια μηχανή συμβατικού αυτοκινήτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υβριδικό όχημα. Κινητήρες βενζίνης, αερίου ή ντίζελ μπορούν να συνδυαστούν με ηλεκτρική οδήγηση αλλά με διαφορετικά αντικείμενα βελτιστοποίησης (πχ  $\text{NO}_x$ , CO, HC)

Οι επιπλέον δυνατότητες που παρέχουν τα υβριδικά οχήματα, όπως η μετακίνηση του σημείου λειτουργίας, δίνει την ευχέρεια να χρησιμοποιηθούν τύποι κινητήρων που διαφέρουν από τους κινητήρες συμβατικών οχημάτων.

Η μείωση του εύρους λειτουργίας, δίνει την δυνατότητα βελτιστοποίησης της απόδοσης σε αυτό το μειωμένο εύρος. Έτσι αποφεύγεται και το κόστος επιπλέον εξαρτημάτων. Για παράδειγμα ο δεύτερος υπερπληρωτής που

εφαρμόζεται σε σύγχρονα οχήματα μπορεί να αποφευχθεί, καθώς οι λειτουργίες τους που είναι η γρήγορη απόκριση και η ροπή σε χαμηλές στροφές καλύπτονται από την ηλεκτροκινητήρα.

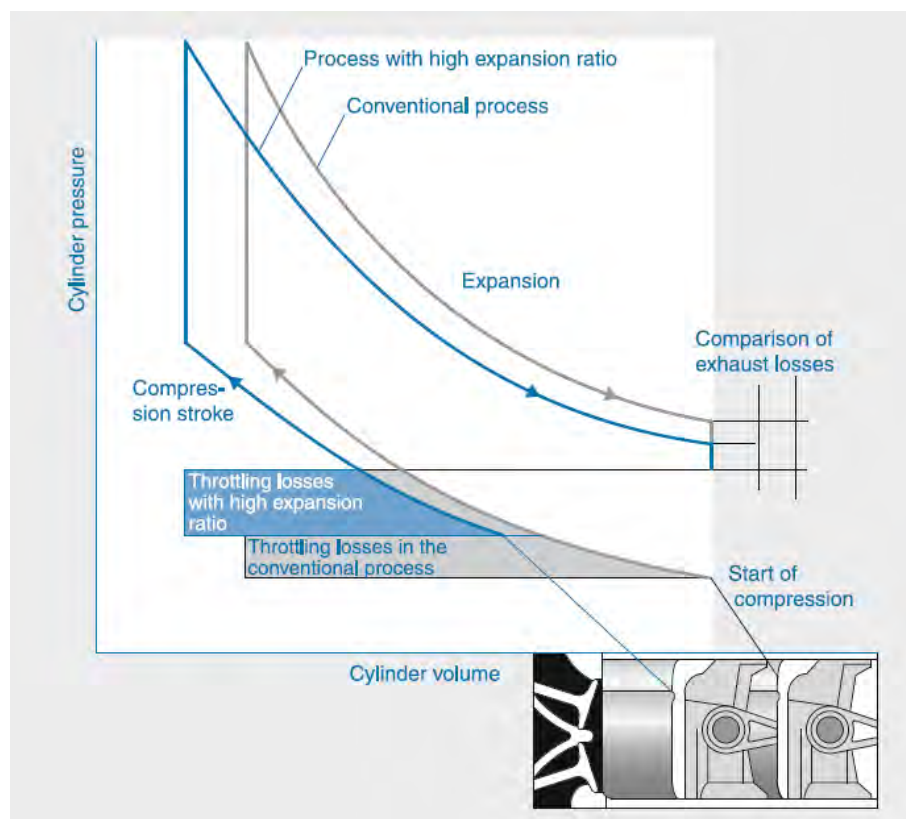
Ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να συμπληρώσει έλλειμα ροπής και να παρέχει γρήγορη απόκριση σε χαμηλές στροφές.

Δυναμικές απαιτήσεις υλοποιούνται με τον συνδυασμό ηλεκτρικής οδήγησης και ΜΕΚ. Έτσι η ΜΕΚ μπορεί να αποφορτιστεί από τις δυναμικές διαδικασίες αξιοποιώντας τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά ροπής του ηλεκτροκινητήρα στις χαμηλές στροφές και της γρήγορης απόκρισή του.

#### 2.4.2. Κύκλος Atkinson

Οι απαιτήσεις από την ΜΕΚ στο υβριδικό όχημα είναι σαφώς μειωμένες, κυρίως όσον αφορά στην μέγιστη ισχύ και την δυναμική απόκριση.

Αυτό δίνει την δυνατότητα της εφαρμογής του κύκλου Atkinson. Κινητήρας που λειτουργεί στο κύκλο Atkinson δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμβατικό όχημα εξαιτίας κυρίως της αδυναμίας του σε δυναμικές διεργασίες.



Σχήμα 2-9 Ο κύκλος Atkinson

Ο κύκλος Atkinson (Σχήμα 2-9) απαιτεί διαφορετικό λόγο διαδρομής εμβόλου – μήκους διωστήρα για την συμπίεση και την εκτόνωση. Αυτό γεωμετρικά μπορούν να υλοποιηθεί με δυσκολία. Όμως μπορεί εύκολα το αποτέλεσμα να αναπαραχθεί με τη βοήθεια του μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων. Προσφέρει καλύτερη αξιοποίηση της εκτόνωσης και συνεπώς αυξημένη απόδοση.

Αυτή η λογική εφαρμόζεται σήμερα, για παράδειγμα στο PRIUS. Επίσης περιορίζεται η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής για την μείωση των τριβών και την μείωση του κόστους του εξοπλισμού των βαλβίδων

#### 2.4.3. Μείωση μεγέθους

Με την συνδυασμένη χρήση ηλεκτροκινητήρα και MEK, δίνεται η δυνατότητα μείωσης του μεγέθους της MEK ενώ διατηρείται η ισχύς εξόδου με την βοήθεια υπερπληρωτή.

Με την χρήση του ηλεκτροκινητήρα αποφεύγονται οι δυσμενείς περιοχές λειτουργίας ενώ δεν υστερεί η λύση σε δυναμική απόκριση

Όμως είναι δυνατός ακόμα και ο υποβιβασμός της ισχύος του κινητήρα, ο οποίος αντισταθμίζεται από τον ηλεκτροκινητήρα.

Σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη ισχύς είναι διαθέσιμη για περιορισμένο χρόνο, όσο διαρκεί η ενέργεια του συσσωρευτή. Έτσι τίθενται περιορισμοί στην μέγιστη ταχύτητα.

### 3. Βασικές Αρχές Κινητήρων ΟΤΤΟ

Ο κινητήρας βενζίνης ή κινητήρας έναυσης με σπινθηρισμό είναι μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργεί με βάση τον Κύκλο Otto και εξωτερικά παρεχόμενη έναυση. Καίγοντας μίγμα αέρα καυσίμου και εκμεταλλευόμενος την θερμότητα που απελευθερώνεται, μετατρέπει την χημική ενέργεια του καυσίμου σε κινητική ενέργεια.

Για πολλά χρόνια ο εξαεριωτής (καρμπυρατέρ) χρησιμοποιούνταν για την παροχή μίγματος αέρα καυσίμου στον οχετό εισαγωγής. Με την καθοδική κίνηση του εμβόλου γινόταν η προσαγωγή του μίγματος στον κύλινδρο.

Η αυστηροποίηση των κανονισμών για τις εκπομπές ρύπων, οδήγησε στην παροχή του καυσίμου με ψεκασμό που επιτρέπει μεγάλη ακρίβεια στην παροχή καυσίμου. Με τον ψεκασμό παράγεται μίγμα αέρα καυσίμου στον οχετό εισαγωγής, όπως με την εφαρμογή εξαεριωτή.

Περαιτέρω εξελίξεις οδήγησαν στην εφαρμογή του άμεσου ψεκασμού, δηλαδή την παροχή καυσίμου εντός του θαλάμου καύσης την κατάλληλη στιγμή. Τα πλεονεκτήματα αυτής της εφαρμογής σχετίζονται με την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και την αύξηση της ισχύος.



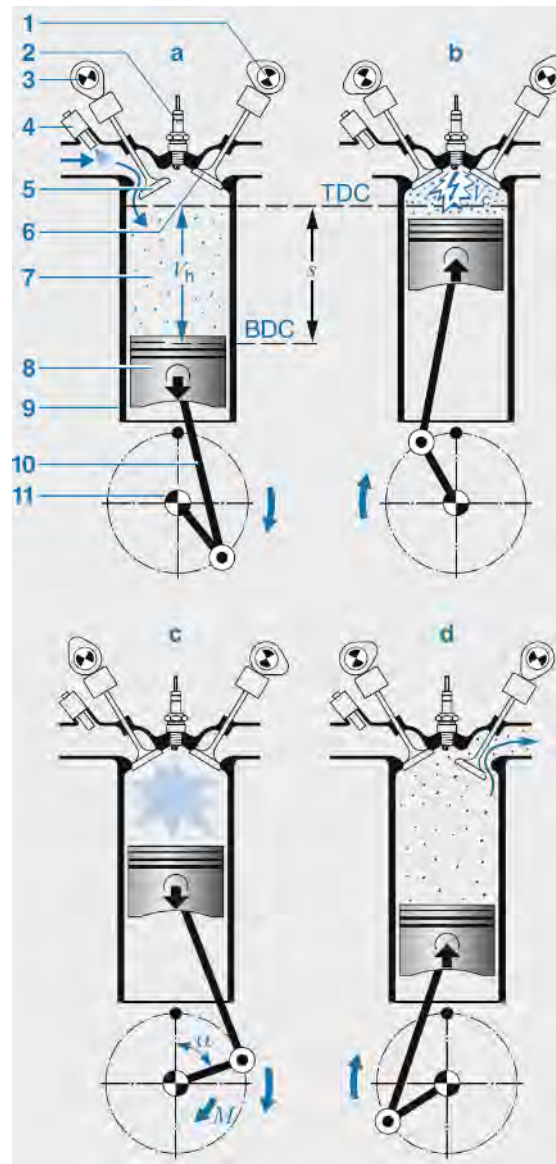
#### 3.1 Τρόπος Λειτουργίας

Η ενέργεια από την καύση του μίγματος αέρα καυσίμου, αυξάνει την πίεση και την θερμοκρασία στον θάλαμο καύσης, προκαλώντας την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου (Σχήμα 3-1 : 8) μέσα στον κύλινδρο (9).

Ο διωστήρας (10) μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Ο σφόνδυλος, στο ένα άκρο του στροφαλοφόρου άξονα, εξασφαλίζει την συνέχεια και την ομοιομορφία της περιστροφικής κίνησης. Η ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα, είναι η ταχύτητα της μηχανής, που συνήθως εκφράζεται σε περιστροφές το λεπτό.



- 1 Exhaust camshaft
- 2 Spark plug
- 3 Intake camshaft
- 4 Injector
- 5 Intake valve
- 6 Exhaust valve
- 7 Combustion chamber
- 8 Piston
- 9 Cylinder
- 10 Conrod
- 11 Crankshaft



Σχήμα 3-1 Οι χρόνοι λειτουργίας τετράχρονης μηχανής

Η πλειονότητα των μηχανών εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται σε οχήματα, λειτουργούν σε τέσσερις χρόνους. Η τετράχρονη λειτουργία βασίζεται στην χρήση βαλβίδων εισαγωγής και βαλβίδων εξαγωγής για τον έλεγχο της προσαγωγής και απαγωγής μάζας στον κύλινδρο. Η βαλβίδα εισαγωγής ελέγχει την παροχή αέρα και καυσίμου, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής ελέγχει την απαγωγή των καυσαερίων.

### 3.1.1. Τετράχρονη λειτουργία

#### Χρόνος 1: Εισαγωγή

Με σημείο αναφοράς το Άνω Νεκρό Σημείο (TDC Top Dead Center), το έμβολο κινείται καθοδικά, αυξάνοντας τον όγκο του θαλάμου καύσης (7) έτσι ώστε ο αέρας (στην περίπτωση άμεσου ψεκασμού) ή το μείγμα αέρα καυσίμου (στην περίπτωση ψεκασμού στον οχετό εισαγωγής) να προσαχθεί στον θάλαμο καύσης μετά το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής (5). Ο θάλαμος καύσης φτάνει το μέγιστο όγκο του ( $V_h + V_c$ ) στο Κάτω Νεκρό Σημείο (BDC).

**Χρόνος 2: Συμπίεση**

Η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει και το έμβολο κινείται ανοδικά (ρόλος σφονδύλου). Με την ανοδική κίνηση μειώνεται ο όγκος του θαλάμου καύσης και συνεπώς συμπιέζεται το καύσιμο μίγμα. Στους κινητήρες έμμεσου ψεκασμού, το μίγμα αέρα καυσίμου βρίσκεται ήδη στον θάλαμο καύσης. Στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, το καύσιμο εγχέεται πριν τον έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ανάλογα με ρυθμίσεις του κινητήρα.

Και στις δύο περιπτώσεις, πριν το ΑΝΣ ο σπινθηριστής προκαλεί την έναυση του μείγματος. Η στιγμή της έναυσης, σε όρους γωνίας στροφάλου, είναι η γωνία έναυσης (προπορεία, αβανς)

Στο ΑΝΣ ο θάλαμος καύσης έχει τον ελάχιστο όγκο το  $V_c$ .

**Χρόνος 3: Καύση - Εκτόνωση**

Κατά την διάρκεια της καύσης οι βαλβίδες είναι κλειστές. Η θερμότητα της καύσης αυξάνει την πίεση εντός του κυλίνδρου. Το έμβολο κινείται καθοδικά.

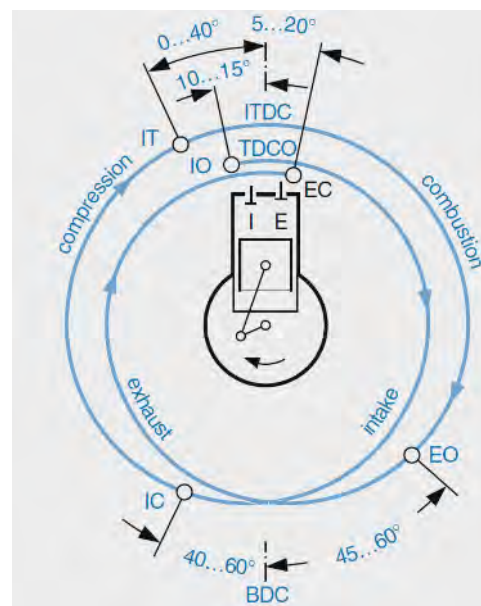
**Χρονος 3: Εξαγωγή**

Η βαλβίδα εξαγωγής (6) ανοίγει λίγο πριν το ΚΝΣ. Τα καυσαέρια, που βρίσκονται σε υψηλή πίεση εντός του θαλάμου καύσης απάγονται από τον κύλινδρο δια μέσου της βαλβίδας. Η ανοδική πορεία του εμβόλου απομακρύνει και τα υπόλοιπα καυσαέρια.

Στην συνέχεια ξεκινάει ένα νέος κύκλος λειτουργίας, με την εισαγωγή.

**3.1.2. Χρονισμός Βαλβίδων (διάγραμμα διανομής)**

IO	Intake valve opens
IC	Intake valve closes
EO	Exhaust valve opens
EC	Exhaust valve closes
TDC	Top Dead Center
TDCO	Overlap at TDC
ITDC	Ignition at TDC
BDC	Bottom Dead Center
IT	Ignition point



Σχήμα 3-2 Διάγραμμα διανομής τετράχρονου κινητήρα

Οι βαλβίδες εναλλαγής αερίων ανοίγουν και κλείνουν από έκκεντρα των εκκεντροφόρων αξόνων. Σε μηχανές με ένα εκκεντροφόρο, μηχανισμοί μοχλού μεταφέρουν την ανύψωση του εκκέντρου στην βαλβίδα εξαγωγής. Ο

εκκεντροφόρος οδηγείται από τον στροφαλοφόρο με ιμάντα, αλυσίδα ή γρανάζια. Λόγω της τετράχρονης φύσης που απαιτεί δυο περιστροφές ανά κύκλο λειτουργίας, ο λόγος μετάδοσης από τον στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο είναι 2:1

Ο χρονισμός των βαλβίδων καθορίζει το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εναλλαγής αερίων. Ο χρονισμός αναφέρεται σε θέσεις του στροφαλοφόρου άξονα και γι' αυτό δίνεται σε γωνία στροφάλου. Θεωρώντας σταθερή στιγμιαία ταχύτητα περιστροφής  $n$  (rpm), ο χρόνος,  $t$  (sec), που απαιτείται για την περιστροφή του στροφαλοφόρου κατά  $a$  μοίρες είναι:

$$t = \frac{60}{360 n} a$$

Εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές για την βελτίωση της πλήρωσης του κυλίνδρου και της απαγωγής των καυσαερίων. Σε αυτήν την κατεύθυνση βοηθά και η αλληλοεπικάλυψη στον χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής – εξαγωγής.

Η αναρρόφηση αρχίζει με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής, μετά το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής. Κατά την περίοδο της αναρρόφησης παρατηρείται συνεχής θέρμανση του εισερχόμενου αέρα, λόγω επαφής προς τα θερμά τοιχώματα του κυλίνδρου. Η θέρμανση του αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του και συνεπώς τον περιορισμό του όγκου αέρα που τελικά εισέρχεται στον κύλινδρο.

Η συμπύεση αρχίζει όταν κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής μέχρι την έναυση.

Η περίοδος της εκροής αρχίζει με το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής, που συμβαίνει αρκετές μοίρες προ του ΚΝΣ. Αυτό συνεπάγεται απώλεια ωφέλιμου έργου, όμως παρέχει το πλεονέκτημα του μειωμένου έργου κατά την επακολουθούσα εξώθηση εφόσον, λόγω πτώσεως της πίεσης στον κύλινδρο, μειώνεται η επί του εμβόλου αντίθλιψη. Προφανώς υπάρχουν δύο αντικρουόμενοι παράγοντες, άρα υφίσταται και κάποιος “ιδανικός” χρόνος ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής.

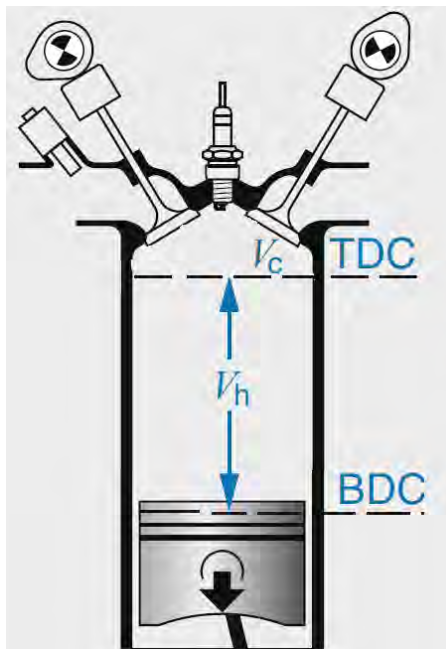
Μετά την αναστροφή της κινήσεως του εμβόλου προς το ΑΝΣ, από κάποιο σημείο και πέρα, δεν πραγματοποιείται πλέον εκροή, αλλά εξώθηση του καυσαερίου από το εμβόλο. Η περίοδος αυτή τελειώνει με το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής

Η περίοδος επικάλυψης των βαλβίδων αρχίζει με το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής, πράγμα το οποίο συμβαίνει λίγες μοίρες πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ώστε αυτή να είναι πλήρως ανοικτή όταν το έμβολο αρχίζει να κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η περίοδος αυτή τελειώνει με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής, που συμβαίνει λίγες μοίρες αφ' ότου το έμβολο περάσει το ΑΝΣ, και αυτό διότι, στην περίπτωση που θα έκλεινε νωρίτερα, θα είχαμε μια αύξηση της πίεσεως των καυσαερίων στον κύλινδρο (κοντά στο ΑΝΣ), που θα οδηγούσε σε οπισθορόή καυσαερίων μέσα στον οχετό εισαγωγής. Έτσι κατά το διάστημα αυτό, κατά το οποίο και οι δύο βαλβίδες είναι ανοικτές, προσφέρεται η δυνατότητα κάποιας απόπλυσης του κυλίνδρου από το καυσαέριο του προηγούμενου κύκλου.

### 3.1.3. Μηχανικός Λόγος Συμπίεσης

Ο λόγος του συνολικού όγκου του κυλίνδρου ( $V_h + V_c$ ) προς τον όγκο συμπίεσης ( $V_c$ ) είναι ο λόγος συμπίεσης,  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$



Σχήμα 3-3 Χωρισμός του θαλάμου καύσης σε όγκους

Πρόκειται για ένα παράγοντα κρίσιμο για τον καθορισμό:

- Της παραγόμενης ροπής
- Της παραγόμενης ισχύος
- Της κατανάλωσης καυσίμου
- Των παραγόμενων ρύπων

Στους κινητήρες βενζίνης, ο λόγος  $\varepsilon$  ποικίλει ανάλογα τον σχεδιασμό και κυρίως ανάλογα με τρόπο παροχής του καυσίμου (άμεσου ή έμμεσου ψεκασμού), παίρνοντας τιμές  $\varepsilon = 7 \dots 13$ . Σε κινητήρες diesel ο λόγος φτάνει και το  $\varepsilon=24$ . Τέτοιες τιμές δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε κινητήρες βενζίνης γιατί το καύσιμο έχει μειωμένη αντίσταση σε πυρανάφλεξη για την οποία ο υψηλός λόγος συμπίεσης είναι ευνοϊκή παράμετρος.

### 3.1.4. Λόγος Αέρα / Καυσίμου

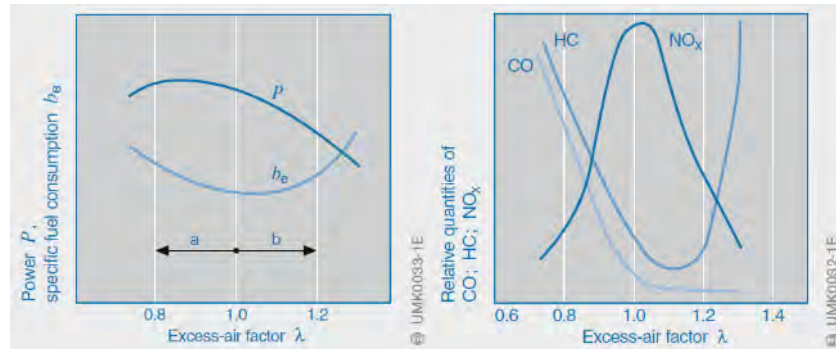
Η πλήρης καύση του μίγματος αέρα καυσίμου βασίζεται στην στοιχειομετρική αναλογία. Συγκεκριμένα, 14.7kg αέρα απαιτούνται για την καύση 1kg καυσίμου.

Ο λόγος αέρα/καυσίμου,  $\lambda$ , δείχνει την απόκλιση της σύνθεσης του μίγματος από την ιδανική σύνθεση. Πρόκειται για παράγοντα περίσσειας αέρα, δηλαδή παίρνει τιμές μεγαλύτερης της μονάδας για μίγματα στα οποία υπάρχει περίσσεια αέρα.

$\lambda$ =μάζα αέρα στο μίγμα / μάζα αέρα για στοιχειομετρική αναλογία

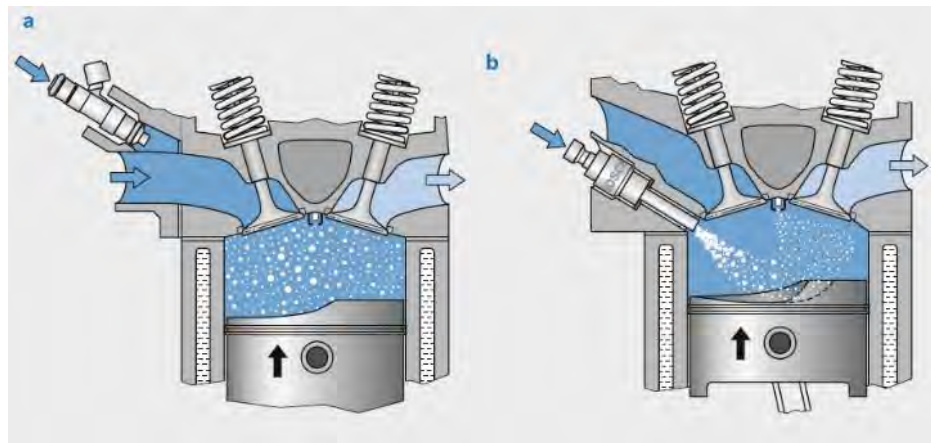
Συνεπώς, πλούσια μείγματα εκφράζονται με  $\lambda < 1$  ενώ φτωχά μείγματα με  $\lambda > 1$ . Η έναυση δεν είναι εφικτή για πολύ φτωχά μείγματα.

Η λόγος αέρα καυσίμου έχει σημαντική επίδραση στην ειδική κατανάλωση και στις εκπομπές ρύπων, Σχήμα 3-4.



Σχήμα 3-4 Επίδραση λόγου αέρα καυσίμου στην ειδική κατανάλωση και στις εκπομπές ρύπων

### 3.1.5. Κατανομή μείγματος στον θάλαμο καύσης



Σχήμα 3-5 Κατανομή μείγματος στον θάλαμο καύσης, ομοιογενής (α) και στρωματική (β)

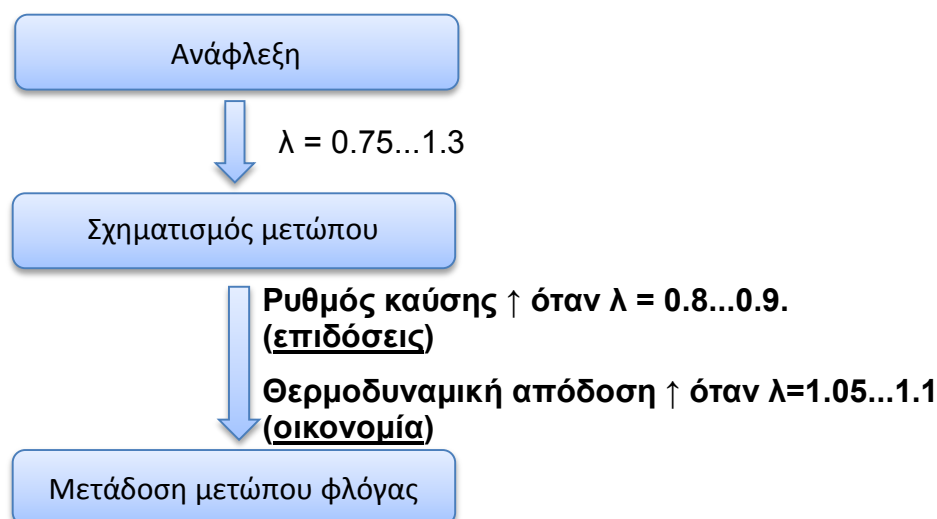
#### 3.1.5.1. Ομοιογενής Κατανομή

Τα συστήματα προσαγωγής με έγχυση στον οχετό, Σχήμα 3-5(a), παρέχουν ένα ομοιογενές μείγμα αέρα καυσίμου στον θάλαμο καύσης. Συνεπώς όλος ο όγκος της γόμωσης χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο λόγο αέρα/καυσίμου.

#### 3.1.5.2. Στρωματική Κατανομή

Στην στρωματική κατανομή, Σχήμα 3-5(b), νέφος μίγματος με  $\lambda \approx 1$  περιβάλλει τον σπινθηριστή την στιγμή της έναυσης. Εκείνη την στιγμή ο υπόλοιπος όγκος του θαλάμου καύσης περιέχει είτε μη καύσιμο μίγμα είτε πολύ φτωχό μίγμα. Εφαρμόζοντας την πρακτική της στρωματικής κατανομής ο μέσος λόγος αέρα/καυσίμου μπορεί να είναι πού μεγάλος, έως και  $\lambda=10$ . Έτσι μπορεί να επιτευχθεί πολύ μεγάλη οικονομία καυσίμου. Για την εφαρμογή της στρωματικής κατανομής είναι απαραίτητος ο άμεσος ψεκασμός, με τον οποίο επιτυγχάνεται χωρικός και χρονικός έλεγχος της ποσότητας του καυσίμου.

## 3.1.6. Έναυση και κίνηση μετώπου καύσης



Όταν μεταξύ των ηλεκτροδίων του αναφλεκτήρα εφαρμοσθεί υψηλή τάση, δημιουργείται σπινθήρας, ο οποίος και προκαλεί την ανάφλεξη του μίγματος αέρα-καυσίμου.

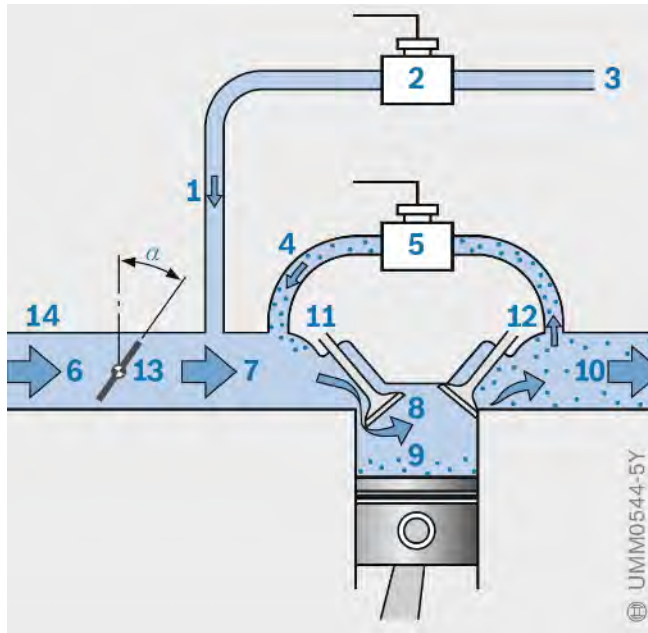
Ο λόγος αέρα/καυσίμου είναι η παράμετρος που καθορίζει αν η κίνηση του μετώπου φλόγας θα γίνει αξιόπιστα προκαλώντας ομαλή καύση. Το  $\lambda$  πρέπει να είναι στο εύρος  $\lambda = 0.75...1.3$ . Με την υιοθέτηση κατάλληλων μοτίβων ροής κοντά στην περιοχή του αναφλεκτήρα, μπορεί να επιτευχθεί έναυση φτωχών μειγμάτων με  $\lambda \leq 1.7$ .

Η έναυση ακολουθείται από τον σχηματισμό μετώπου φλόγας. Η μετάδοση του μετώπου καύσης συνίσταται σε φαινόμενα ανάμειξης και καύσης. Ο ρυθμός μετάδοσης του μετώπου φλόγας μεγαλώνει σαν συνάρτηση της πίεσης καύσης πριν αρχίσει να μειώνεται προς το τέλος της καύσης. Η μέση ταχύτητα μετάδοσης είναι της τάξης των 15...25 m/s.

**Ο ρυθμός καύσης γίνεται μέγιστος σε πλούσια μίγματα με  $\lambda = 0.8...0.9$ .** Σε αυτό το εύρος είναι δυνατό να προσεγγιστεί η ιδανική καύση σταθερού όγκου. **Μεγάλος ρυθμός καύσης απαιτείται για ικανοποιητική πλήρους φορτίου λειτουργία σε υψηλές στροφές (επιδόσεις).**

**Καλή θερμοδυναμική απόδοση επιτυγχάνεται με μείγματα αέρα/καυσίμου με  $\lambda=1.05...1.1$  (οικονομία).** Όμως, η υψηλή θερμοκρασία σε συνδυασμό με το φτωχό μείγμα ευνοεί τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου (NOx)

### 3.2 Γόμωση κυλίνδρου



- 1 Ατμός αέρα-καυσίμου
  - 2 Βαλβίδα
  - 3 Σύνδεση με το συστημα ατμοποιημένων εκπομπών
  - 4 Επιστροφή καυσαερίων
  - 5 Βαλβίδα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)
  - 6 Ροή μάζας αέρα(πίεση περιβαλλοντος)
  - 7 Ροή μάζας αέρα(πίεση οχετού εισαγωγής)
  - 8 Γόμωση φρέσκου αέρα
  - 9 Απομένων καυσαέριο
  - 10 Καυσαέριο
  - 11 Βαλβίδα εισαγωγής
  - 12 Βαλβίδα εξαγωγής
  - 13 Πεταλούδα στραγγαλισμού
  - 14 Οχετός εισαγωγής
- α Γωνία πεταλούδας στραγγαλισμού

Σχήμα 3-6 Εξαρτήματα και ροές για την γόμωση κυλίνδρου

Για την διεργασία της καύσης απαιτείται μείγμα αέρα/καυσίμου. Η εισρόφηση αέρα γίνεται από τον οχετό εισαγωγής (Σχήμα 3-6 : 14) με την ρυθμιστική βαλβίδα (13) να ελέγχει την ποσότητα του αέρα. Η ποσότητα του καυσίμου ελέγχεται από τους εγχυτήρες.

Επιπλέον, στον θάλαμο καύσης συνήθως υπάρχει παραμένων καυσαέριο (9) από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας. Σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται ανακυκλοφορία καυσαερίων (4) για την αύξηση του παραμένοντος καυσαερίου.

#### 3.2.1. Συστατικά γόμωσης

Το εγκλωβισμένο μείγμα αερίων στον κύλινδρο, μετά το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, είναι η γόμωση του κυλίνδρου. Αποτελείται από φρέσκο αέρα και απομένων αέριο.

Ο βαθμός πλήρωσης “relative air charge  $r_{ac}$ ” είναι ένα μέγεθος ανεξάρτητο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, που περιγράφει την ποσότητα του εγκλωβισμένου μείγματος. Ορίζεται από τον λόγο της ποσότητας αέρα στον κύλινδρο προς την ποσότητα που περιέχεται στον ίδιο όγκο σε κανονικές συνθήκες ( $p_0 = 1013\text{hPa}$ ,  $T_0 = 273\text{K}$ ).

Αντίστοιχα ορίζεται και συντελεστής ποσότητας καυσίμου, “relative fuel quantity  $r_{fq}$ ”, τέτοιος ώστε για  $\lambda=1$  να είναι ίσος με τον βαθμό πλήρωσης

**Βαθμός Πλήρωσης (relative air charge)**

$$rac = \frac{\text{Μάζα αέρα στην αρχη της συμπίεσης}}{\text{μαζα αερα στον όγκο εμβολισμού σε συνθηκες (p, t)}}$$

**Συντελεστής Ποσότητας Καυσίμου (relative fuel quantity)**

$$\lambda = \frac{rac}{rfq}$$

## 3.2.1.1. Νέο μίγμα

Το νέο μίγμα στον κύλινδρο αποτελείται από φρέσκο αέρα και καύσιμο. Στη μηχανή έμμεσου ψεκασμού, το καύσιμο έχει αναμειχθεί με τον αέρα πριν την βαλβίδα εισαγωγής, ενώ στην μηχανή άμεσου ψεκασμού το καύσιμο εγχέεται μέσα στον θάλαμο καύσης.

Στην ομοιογενή λειτουργία με πλούσιο μίγμα ( $\lambda < 1$ ), η ποσότητα αέρα στο κύλινδρο, μετά το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, είναι η παράμετρος που καθορίζει το έργο στο έμβολο και συνεπώς την ροπή εξόδου της μηχανής. Στην συνέχεια ψεκάζεται με ακρίβεια και στην κατάλληλη στιγμή το καύσιμο που απαιτείται για τη δεδομένη ποσότητα αέρα.

Κατά την λειτουργία με φτωχό μείγμα, στη στρωματική γόμωση, το φορτίο της μηχανής, δεδομένης της περίσσειας αέρα, καθορίζεται από την ποσότητα του καυσίμου. Έτσι η ποσότητα αέρα μπορεί να ποικίλει για το ίδιο φορτίο.

Σε κάθε περίπτωση η αύξηση της μέγιστης ισχύος της μηχανής απαιτεί την αύξηση της μέγιστης μάζα αέρα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε αυξάνοντας τον κυβισμό είτε εφαρμόζοντας υπερπλήρωση.

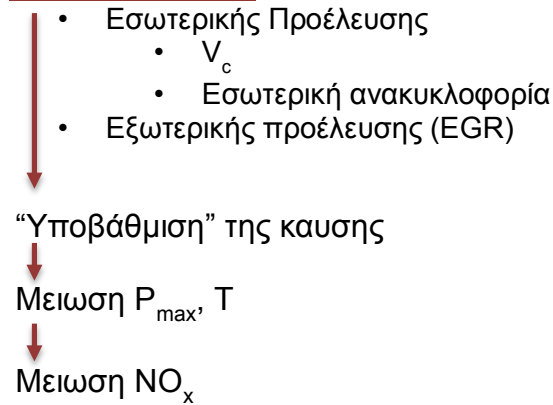
## 3.2.1.2. Απομένον μείγμα

Η γόμωση του κελύδρου περιλαμβάνει απομένον μείγμα, το οποίο προέκυψε σε προηγούμενη καύση. Γίνεται διαφοροποίηση ανάλογα με την προέλευση του, εσωτερική ή εξωτερική.

Το εσωτερικής προέλευσης απομένον αέριο, παρέμεινε στον όγκο συμπίεσης ( $V_c$ ) του κελύδρου μετά την καύση ή κατά την διάρκεια επικάλυψης των βαλβίδων κινήθηκε από τον οχετό εξαγωγής στον κύλινδρο ή τον οχετό εισαγωγής (εσωτερική ανακυκλοφορία).

Το εξωτερική προέλευσης απομένον αέριο, εισάχθηκε μέσω της βαλβίδας ανακυκλοφορίας (Σχήμα 3-6 : 4, 5) (εξωτερική ανακυκλοφορία καυσίμου)



**Απομένον αέριο**

Το απομένον αέριο αποτελείται από αδρανές αέριο και στην περίπτωση φτωχού μείγματος, από άκαυστο αέρα. Η ποσότητα του αδρανούς αερίου έχει ιδιαίτερο ρόλο. Επειδή δεν περιέχει οξυγόνο, δεν συμμετέχει στην καύση, αλλά **την επηρεάζει**.. Η παρουσία αδρανούς αερίου καθυστερεί την έναυση και επιβραδύνει την εξέλιξη της καύσης, το οποίο συνεπάγεται ελαφρώς μειωμένη απόδοση αλλά ταυτόχρονα και μειωμένες μέγιστες πιέσεις και θερμοκρασίες. Με αυτόν τον τρόπο το απομένον αέριο συντελεί στην μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου  $\text{NO}_x$ , βρίσκοντας εφαρμογή στην λειτουργία με φτωχό μείγμα όπου ο τριπλός καταλύτης δεν μπορεί να περιορίσει τα οξείδια αζώτου στην περίπτωση λειτουργίας με περίσσεια αέρα.

## 3.2.1.3. Εναλλαγή των αερίων

Η διαδικασία αντικατάστασης του περιεχομένου του κυλίνδρου μετά την καύση, των καυσαερίων, με φρέσκο αέρα ονομάζεται εναλλαγή αερίων.

Ελέγχεται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής σε συνδυασμό με την κίνηση του εμβόλου.

Η θέση και το σχήμα των εκκέντρων του εκκεντροφόρου άξονα καθορίζει την ανύψωση των βαλβίδων και συνεπώς την εναλλαγή των αερίων.

Οι χρόνοι ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων αποκαλούνται χρονισμός των βαλβίδων και η μέγιστη απόσταση ανύψωσης της βαλβίδας από την έδρα της αποκαλείται ανύψωση της βαλβίδας.

Οι χαρακτηριστικές μεταβλητές σχετικά με τον χρονισμό των βαλβίδων είναι Exhaust Opens (EO), Exhaust Closes (EC), Intake Opens (IO), Intake Closes (IC) και η ανύψωση της βαλβίδας.

Ο χρονισμός και η ανύψωση μπορεί να είναι σταθερά ή μεταβλητά, ανάλογα τον σχεδιασμό της μηχανής.

Η επικάλυψη των βαλβίδων επηρεάζει σημαντικά το ποσό του απομένοντος αερίου. Κατά την επικάλυψη των βαλβίδων, οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ταυτόχρονα ανοικτές για κάποιο χρόνο, δηλαδή η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει πριν κλείσει η βαλβίδα εξαγωγής. Αν κατά τον χρόνο επικάλυψης των βαλβίδων, η πίεση στον οχετό εισαγωγής είναι μεγαλύτερη από την πίεση του οχετού εξαγωγής, το απομένον αέριο ρέει προς τον οχετό

εισαγωγής, οδηγώντας στην αύξηση του περιεχομένου της γόμωσης σε απομένον αέριο.

Για την αύξηση της ροπής, κυρίως στις χαμηλές στροφές, απαιτείται η πλήρης απόπλυση του κυλίνδρου έτσι ώστε η νέα γόμωση να αποτελείται κατά το μέγιστο δυνατό από φρέσκο αέρα ο οποίος μπορεί να συμμετάσχει στην καύση. Για να επιτευχθεί πλήρης απόπλυση του κυλίνδρου απαιτείται η πίεση πριν την βαλβίδα εισαγωγής να είναι μεγαλύτερη από την πίεση μετά την βαλβίδα εξαγωγής κατά τον χρόνο επικάλυψης. Αυτό ενισχύεται στις μηχανές φυσικής αναπνοής με δυναμική υπερπλήρωση.

#### 3.2.1.4. Εναλλαγή των αερίων – Ποσοτικοποίηση διεργασίας

$$\text{Βαθμός Πλήρωσης} = \frac{\text{Μάζα φρέσκου αέρα στον κύλινδρο}}{\text{Μέγιστη δυνατή μάζα αέρα στον κύλινδρο}}$$

~0.6...0.9

$$\text{Βαθμός Κατανάλωσης αέρα} = \frac{\text{Συνολική μάζα αέρα για την εναλλαγή}}{\text{Μέγιστη δυνατή μάζα αέρα στον κύλινδρο}}$$

$$\text{Βαθμός Παγίδευσης} = \frac{\text{Ογκομετρική Απόδοση}}{\text{Κατανάλωση αέρα}}$$

#### 3.2.1.5. Απώλειες απόπλυσης

Για την αντικατάσταση των καυσαερίων με φρέσκο αέρα, δαπανάται έργο. Αυτό το έργο αφαιρείται από το παραγόμενο έργο και συνεπώς μειώνει την πραγματική απόδοση της μηχανής. Στην εισαγωγή, η καθοδική κίνηση του εμβόλου πρέπει να υπερνικήσει την πτώση πίεσης στον οχετό εισαγωγής, την πεταλούδα και την βαλβίδα εισαγωγής. Αντίθετα στην εξαγωγή, η ανοδική κίνηση του εμβόλου πρέπει να υπερνικήσει τις πτώσεις πίεσης μέχρι την εξαγωγή.

Στις μηχανές στρωματικής γόμωσης όταν η πεταλούδα είναι πλήρως ανοικτή ή όταν εφαρμόζεται ανακυκλοφορία καυσαερίου, αυξάνεται η πίεση του οχετού εισαγωγής και συνεπώς μειώνεται η διαφορά πίεσης με τον κύλινδρο. Με αυτό τον τρόπο οι απώλειες απόπλυσης μειώνονται το οποίο βελτιώνει την πραγματική απόδοση

#### 3.2.1.6. Υπερπλήρωση

Η ροπή που μπορεί να επιτευχθεί με ομοιογενή γόμωση και πλούσιο μείγμα εξαρτάται από την μάζα του φρέσκου αέρα. Με την υπερπλήρωση, παρέχεται συμπιεσμένος αέρα, δηλαδή μεγαλύτερη μάζα αέρα στο συγκεκριμένο όγκο. Ο βαθμός πλήρωσης παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδα.

##### Δυναμική υπερπλήρωση

Υπερπλήρωση μπορεί να επιτευχθεί αξιοποιώντας δυναμικά φαινόμενα εντός του οχετού εισαγωγής. Ο βαθμός υπερπλήρωσης εξαρτάται από τον

σχεδιασμό του οχετού και το σημείο λειτουργίας, κυρίως τις στροφές. Η δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής της γεωμετρίας του οχετού, ενώ η μηχανή λειτουργεί, προσφέρει την εφαρμογή δυναμικής υπερπλήρωσης σε μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας.

#### Μηχανική υπερπλήρωση

Η αύξηση της πυκνότητας του αέρα μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας συμπιεστή ο οποίος οδηγείται από τον στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής

#### Υπερπλήρωση με Στροβιλοσυμπιεστή

Σε αντίθεση με το μηχανικό υπερπληρωτή που οδηγείται από τον στροφαλοφόρο, στον στροβιλοϋπερπληρωτή η ενέργεια προέρχεται από την εκτόνωση θερμών καυσαερίων σε στρόβιλο ο οποίος είναι μηχανικά συνδεδεμένος με τον συμπιεστή. Αυτό επιτρέπει την ανάκτηση μέρους της ενέργειας των καυσαερίων .

#### 3.2.1.7. Μέτρηση-παρακολούθηση μάζας αέρα

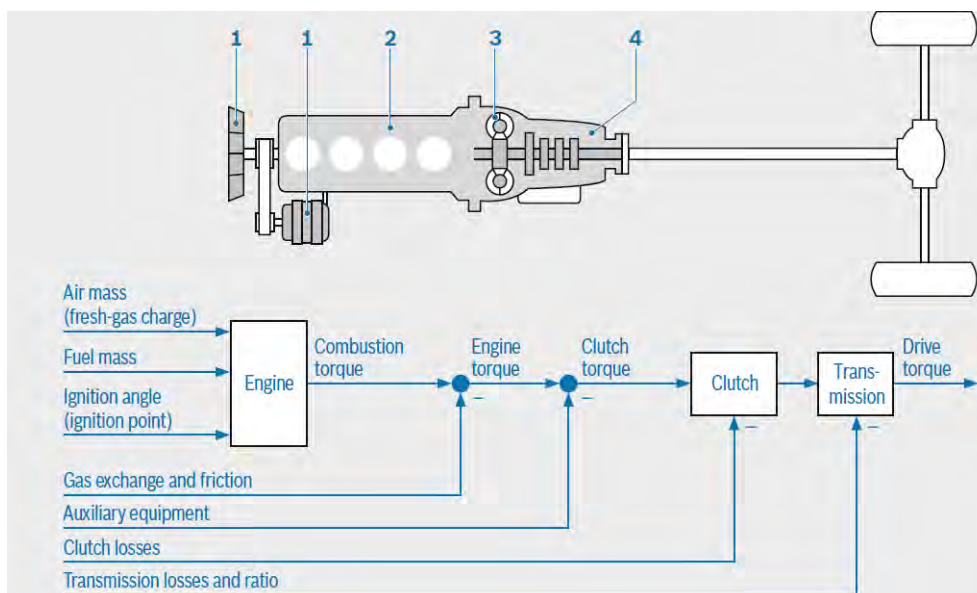
Στις μηχανές ομοιογενούς γόμωσης με  $\lambda=1$ , η εγχεόμενη ποσότητα καυσίμου εξαρτάται από την ποσότητα του αέρα. Η μεταβολή της γωνίας της πεταλούδας οδηγεί σε βαθμιαία μεταβολή της ποσότητας αέρα, ενώ η ποσότητα του καυσίμου ελέγχεται με ακρίβεια σε κάθε ψεκασμό.

Συνεπώς είναι αναγκαίο να παρακολουθείται η διαθέσιμη ποσότητα αέρα για κάθε καύση. Επικρατούν τρεις μέθοδοι που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για αυτόν το σκοπό:

- Μετρητής αέρα θερμής μεμβράνης (hot-film air-mass meter - HFM) που μετράει την παροχή μάζας αέρα στον οχετό εισαγωγής
- Μοντέλο που υπολογίζει την παροχή μάζα χρησιμοποιώντας την θερμοκρασία πριν την πεταλούδα, την πίεση πριν και μετά την πεταλούδα και την γωνία της πεταλούδας. (throttle-valve model,  $\alpha/n$  system).
- Μοντέλο που υπολογίζει τη μάζα που αναρροφάται από τον κύλινδρο χρησιμοποιώντας την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής, την πίεση και θερμοκρασία πριν την βαλβίδα εισαγωγής και επιπλέον γεωμετρικές πληροφορίες.

Οι δυο πρώτες μέθοδοι εκτιμούν την παροχή μάζας αέρα στον οχετό εισαγωγής. Στην περίπτωση της μεταβατικής λειτουργίας του κινητήρα, η παροχή μάζας στον οχετό δεν ισούται απαραίτητα με την μάζα που εισέρχεται στον κύλινδρο. Για αυτόν τον λόγο αυτές οι μέθοδοι πρέπει να συνοδεύονται από μοντέλο της συμπεριφοράς του οχετού εισαγωγής σαν συσσωρευτή μάζας.

## 3.3 Ροπή και Ισχύς



Σχήμα 3-7 Παραγωγή και διανομή ροπής

Η ισχύς της μηχανής καθορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής και την ροπή στον συμπλέκτη. Η ροπή στον συμπλέκτη ισούται με την ροπή που οφείλεται στην καύση μειωμένη κατά την ροπή που οφείλεται στις τριβές, στην απόπλυση και την ροπή των βοηθητικών συστημάτων. Για την ροπή οδήγησης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απώλειες στον συμπλέκτη και την μετάδοση.

Η ροπή που οφείλεται στην καύση εξαρτάται στην μηχανή έμμεσου ψεκασμού από:

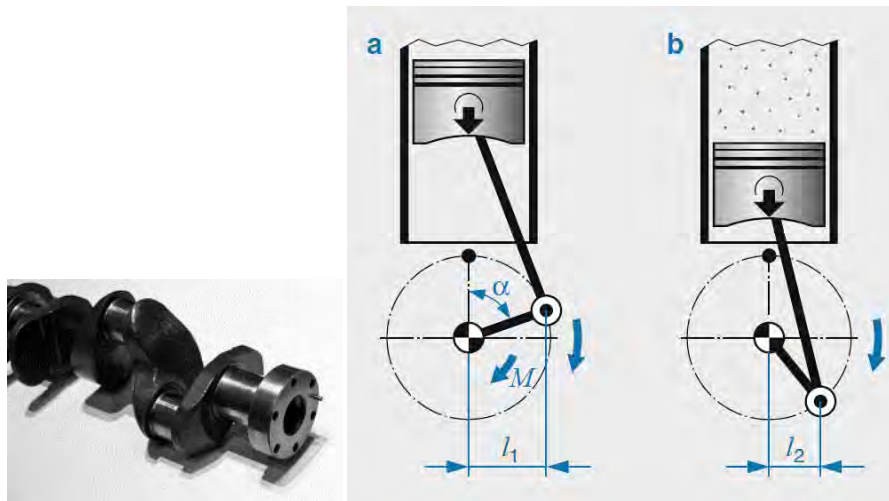
- Την μάζα αέρα στον κύλινδρο την στιγμή που κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής
- Την ποσότητα καυσίμου την ίδια στιγμή
- Την χρονική στιγμή που γίνεται η έναυση

Στις μηχανές άμεσου ψεκασμού που λειτουργούν σε κάποια σημεία με φτωχό μείγμα, η ποσότητα του αέρα δεν έχει επίδραση στην παραγόμενη ροπή.

Η ροπή  $M$  είναι το γινόμενο της δύναμης  $F$  επί την (κάθετη) απόσταση  $s$  της δύναμης από το σημείο:

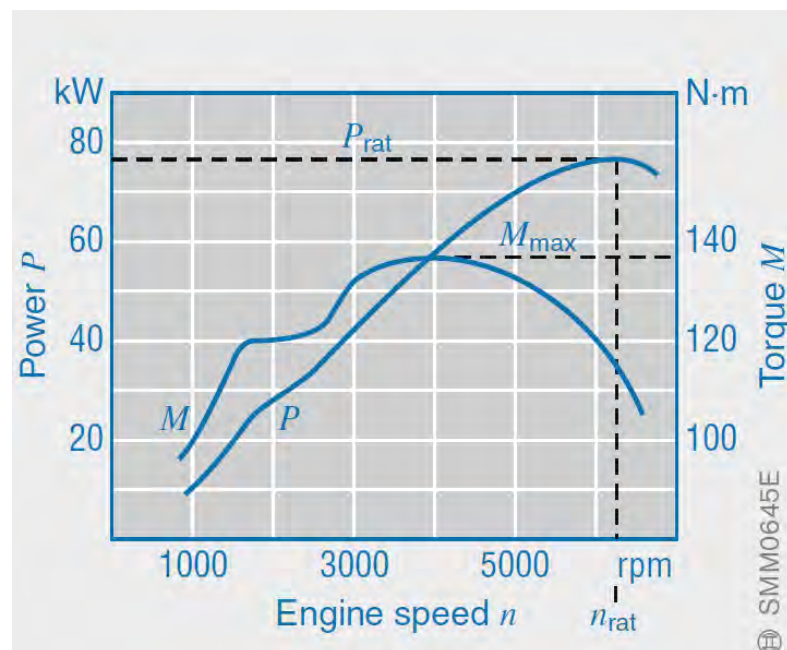
$$M = F \cdot s$$

Ο διωστήρας, εφαρμόζοντας δύναμη στα κομβία του στροφαλοφόρου άξονα, μετατρέπει την γραμμική σε περιστροφική κίνηση. Η δύναμη στα κομβία μετατρέπεται σε ροπή. Η απόσταση εφαρμογής της δύναμης είναι η κάθετη προς την δύναμη συνιστώσα του μοχλού ( $l_1$  και  $l_2$ )



Σχήμα 3-8 Το μήκος μοχλού για την εφαρμογή ροπής στον στροφαλοφόρο.

Συνεπώς η ροπή εξαρτάται τόσο από την δύναμη όσο και από την γωνιακή θέση στην οποία επιβάλλεται. Η γωνία έναυσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε το μίγμα να αναφλέγεται στην φάση που η κάθετη προς την δύναμη συνιστώσα του μοχλού είναι μεγάλη, επιτρέποντας την παραγωγή ροπής. Ο σχεδιασμός της μηχανής καθορίζει την μέγιστη ροπή που μπορεί να παράγει.



Σχήμα 3-9 Καμπύλες ροπής και ισχύος

Η ροπή προσαρμόζεται στις απαιτήσεις της οδήγησης, ρυθμίζοντας τη σύσταση του μείγματος αέρα καυσίμου και την γωνία έναυσης.

Το Σχήμα 3-9 δείχνει τις τυπικές καμπύλες ροπής και ισχύος συναρτήσε των στροφών για κινητήρα έμμεσου ψεκασμού. Με την αύξηση των στροφών, η ροπή παίρνει την μέγιστη τιμή της  $M_{max}$ . Με την περαιτέρω αύξηση των στροφών, η ροή μειώνεται. Αυτή η μείωση **αποδίδεται** στην περιορισμένη δυνατότητα προσρόφησης αέρα, λόγω της μειωμένη διάρκειας κατά την οποία η βαλβίδα εισαγωγή είναι ανοικτή. Οι προσπάθειες για την αύξηση της ροπής σε συνδυασμό με την μειωμένη κατανάλωση εστιάζουν στην επίτευξη της μέγιστης ροπής σε

χαμηλές στροφές (όπου η κατανάλωση είναι βέλτιστη). Υπερπληρωμένες μηχανές με στροβιλοσυμπιεστή μπορούν να επιτύχουν αυτό το αποτέλεσμα.

Η ισχύς εξόδου της μηχανής  $P$  σχετίζεται με την ροπή  $M$  και την ταχύτητα περιστροφής  $n$  ως ακολούθως:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot M \cdot n$$

Η ισχύς αυξάνει μέχρι που φτάνει την μέγιστη τιμή της  $P_{rat}$  (ονομαστική ισχύς) στην ονομαστική ταχύτητα  $n_{rat}$ .

#### 3.4 Θερμική απόδοση

Η μηχανή εσωτερικής καύσης δεν μετατρέπει όλη την ενέργεια που είναι διαθέσιμη στο καύσιμο σε μηχανικό έργο. Ένα ποσό ενέργειας δεν αξιοποιείται. Αυτό σημαίνει ότι η απόδοση είναι μικρότερη από 100%.

##### 3.4.1. Διάγραμμα Όγκου- Πίεσης

Το διάγραμμα  $p$ - $V$  απεικονίζει τις συνθήκες πίεσης και όγκου κατά την διάρκεια ενός πλήρους κύκλου τεσσάρων χρόνων.

###### 3.4.1.1. Ο Ιδανικός κύκλος

Η καμπύλη  $A$  δείχνει τους χρόνους συμπίεσης και εκτόνωσης της ιδανικής-θεωρητικής διεργασίας που καθορίζεται από τους νόμους των Boyle/Mariotte and Gay-Lussac.

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ (σημείο 1 στο σημείο 2) και το καύσιμο μείγμα συμπιέζεται χωρίς την πρόσληψη πρόσθετης θερμότητας (Boyle/Mariotte).

Στην συνέχεια, το μείγμα καίγεται προκαλώντας αύξηση της πίεσης (σημείο 2 προς σημείο 3) ενώ ο όγκος παραμένει σταθερός (Gay-Lussac).

Από το ΑΝΣ (σημείο 3) το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ (σημείο 4) και ο όγκος του θαλάμου καύσης αυξάνεται. Η πίεση των καμένων αερίων πέφτει ενώ δεν απελευθερώνεται θερμότητα.

Τελικά, το καμένο μίγμα ψύχεται ενώ ο όγκος του παραμένει σταθερός (Gay-Lussac) μέχρι την αρχική κατάσταση (σημείο 1).

Η περιοχή εντός των σημείων 1 – 2 – 3 – 4 απεικονίζει το έργο που παράχθηκε εντός ενός κύκλου.

Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει στο σημείο 4 και το αέριο, που βρίσκεται υπό πίεση, εξέρχεται του κυλίνδρου.

Αν ήταν δυνατό το αέριο να εκτονωθεί πλήρως μέχρι το σημείο 5, η περιοχή 1 – 4 – 5 θα αντιστοιχούσε σε αξιοποιήσιμη ενέργεια. Με την ανάκτησης ενέργειας από τα καυσαέρια, με την εφαρμογή στροβιλοσυμπιεστή, ένα μέρος της ενέργειας που αντιστοιχεί πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση (1 – 4 – 5'), θα μπορούσε σε ένα βαθμό να αξιοποιηθεί.

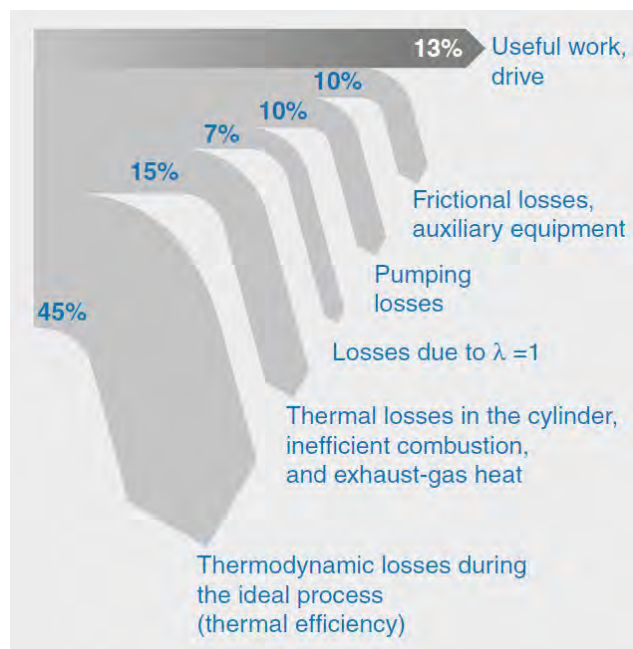
### 3.4.1.2. Πραγματικό διάγραμμα p-V

Στην πραγματικότητα είναι αδύνατο να επιτευχθούν οι συνθήκες του ιδανικού κύκλου, έτσι το πραγματικό διάγραμμα διαφέρει από το θεωρητικό.

### 3.4.2. Μέτρα για την αύξηση της Θερμική απόδοσης

Η θερμική απόδοση αυξάνει με την αύξηση της συμπίεσης του καυσίμου μίγματος. Η μεγαλύτερη συμπίεση συνεπάγεται μεγαλύτερη μέγιστη πίεση στο τέλος της συμπίεσης και συνεπώς μεγαλύτερο εμβαδό στο διάγραμμα p-V. Αυτή η περιοχή είναι ένδειξη της ενέργειας που παράχθηκε κατά την καύση. Επιλέγοντας λόγο συμπίεσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη η ανθεκτικότητα του καυσίμου στην αυτανάφλεξη.

Οι μηχανές έμμεσου ψεκασμού εγχέουν το καύσιμο στον οχετό εισαγωγής όπου αποθηκεύεται μέχρι το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής. Κατά τον σχηματισμό του μίγματος, μικρά σταγονίδια καυσίμου εξαερώνονται. Η ενέργεια που απαιτείται για αυτή την διεργασία είναι θερμότητα που απάγεται από τον αέρα και τοιχώματα του οχετού. Στον άμεσο ψεκασμό η ενέργεια εξαέρωσης λαμβάνεται από τον παγιδευμένο αέρα, με αποτέλεσμα την ψύξη του. Συνεπώς μεγαλύτερος λόγος συμπίεσης μπορεί να εφαρμοστεί



Σχήμα 3-10 Παράγοντες καθορισμού της απόδοσης

#### 3.4.2.1. Θερμικές απώλειες

Η θερμότητα της καύσης θερμαίνει τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Μέρος αυτής της ενέργειας χάνεται προς το περιβάλλον. Στην περίπτωση της μηχανής άμεσου ψεκασμού, η στρωματοποιημένη γόμωση περιβάλλεται από έναν μανδύα αερίων που δεν συμμετέχουν στην καύση. Αυτός ο μανδύας περιορίζει την μετάδοση θερμότητας προς τα τοιχώματα και συνεπώς τις απώλειες θερμότητας.

Επιπλέον απώλειες προκύπτουν από το καύσιμο που συμπυκνώνεται στα τοιχώματα και καιγεται ατελώς. Ο μανδύας αερίων συντελεί στην αύξηση της απόδοσης και σε αυτή την περίπτωση.

Στις θερμικές απώλειες συμπεριλαμβάνεται και το θερμικό περιεχόμενο των καυσαερίων .

#### 3.4.2.2. Απώλειες λόγω $\lambda=1$ (παρουσία τριοδικού καταλύτη)

Η βέλτιστη απόδοση παρουσιάζεται στην περιοχή  $\lambda = 1.1...1.3$ . Όμως ο τριοδικός καταλύτης απαιτεί  $\lambda=1$  για την αποδοτική κατάλυση των ρύπων. Συνεπώς αυτή η αναγκαιότητα οδηγεί σε αναπόφευκτη μείωση της απόδοσης.

#### 3.4.2.3. Απώλειες άντλησης αέρα.

Κατά την φάση εισαγωγής, εισέρχεται στον κύλινδρο φρέσκος αέρα για να χρησιμοποιηθεί στην καύση. Η πεταλούδα στραγγαλισμού περιορίζει την διατομή από την οποία εισέρχεται ο αέρα, ρυθμίζοντας την ποσότητά του. Η πτώση πίεσης από την πεταλούδα και τον οχετό- βαλβίδες αντισταθμίζεται από την καθοδική κίνηση του εμβόλου, με την αντίστοιχη κατανάλωση έργου.

Στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης του φορτίου χωρίς στραγγαλισμό του αέρα, αλλά με ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου, μειώνοντας το έργο άντλησης.

Στην φάση εξαγωγής καταναλώνεται επιπλέον έργο για την εξαγωγή των καυσαερίων

#### 3.4.2.4. Απώλειες τριβών

Οι απώλειες τριβών είναι το άθροισμα των τριβών των κινούμενων μερών του κινητήρα και των βοηθητικών συστημάτων.

### 3.5 Ειδική κατανάλωση καυσίμου

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου,  $b_e$ , ορίζεται σαν την μάζα καυσίμου (σε γραμμάρια) που χρειάζεται η ΜΕΚ για να παράγει συγκεκριμένο ποσό έργου ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ , kilowatt hours). Συνεπώς παρέχει μια ακριβή μέτρηση της ενέργειας του καυσίμου που αξιοποιείται.

$$\text{Ειδική Κατανάλωση} = \frac{\text{Γραμμάρια καυσίμου}}{\text{kW} \cdot \text{h}}$$

#### 3.5.1. Επίδραση του λόγου αέρα-καυσίμου στην ειδική κατανάλωση

##### 3.5.1.1. Ομοιογενής γόμωση κυλίνδρου

Το πλούσιο μείγμα καίγεται ατελώς και έτσι η ειδική κατανάλωση είναι αυξημένη, Σχήμα 3-11. Καθώς αυξάνει ο περιεχόμενος αέρας, η ειδική κατανάλωση μειώνεται.

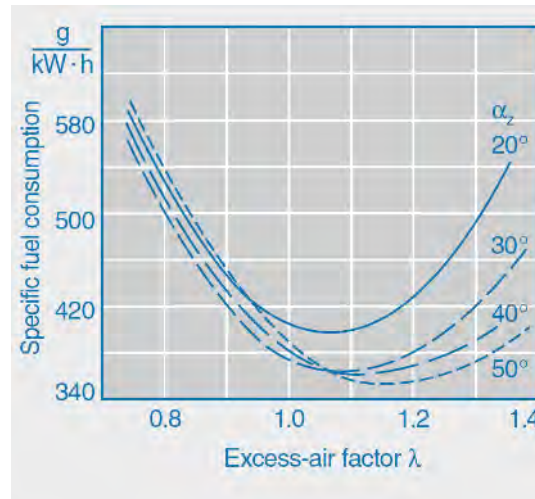


Για το φτωχό μίγμα η πεταλούδα είναι πλήρως ανοικτή και συνεπώς οι απώλειες άντλησης είναι μειωμένες. Σε συνδυασμό με την ευνοϊκή θερμοδυναμική απόδοση παρουσιάζεται η ελάχιστη ειδική κατανάλωση

Καθώς η περίσσεια αέρα αυξάνεται, ο ρυθμός μετάδοσης της φλόγας μειώνεται με αποτέλεσμα την φτωχότερη απόδοση της καύσης.

Τότε, αυξάνοντας την προπορεία δίνεται περισσότερος χρόνος για την καύση, με μια βελτίωση στην απόδοση.

Σε πολύ φτωχό μίγμα δεν είναι δυνατή η έναυση.



$\alpha_z$  : Μοίρες πριν το Άνω Νεκρό Σημείο

Σχήμα 3-11 Επίδραση της γωνίας έναυσης και του λόγου αέρα καυσίμου στην ειδική κατανάλωση

### 3.5.1.2. Μείγμα Στρωματικής Κατανομής

Μηχανές άμεσου ψεκασμού μπορούν να λειτουργήσουν με πολύ φτωχό μίγμα καθώς το καύσιμο βρίσκεται συγκεντρωμένο στην περιοχή του σπινθηριστή σε στοιχειομετρική αναλογία.

Ο υπόλοιπος όγκος του κυλίνδρου περιέχει αέρα και καυσαέρια από ανακυκλοφορία.

Έτσι επιτυγχάνεται θερμοδυναμικό όφελος και μειωμένη ειδική κατανάλωση. Η πεταλούδα είναι ανοικτή μειώνοντας και τις απώλειες άντλησης.

### 3.5.2. Χάρτης ειδικής κατανάλωσης (πεδίο κινητήρα)

Δοκιμάζοντας την μηχανή προσαρμοσμένη σε δυναμόμετρο, καθορίζεται η ειδική κατανάλωση σε σχέση με την μέση ενεργό πίεση και την ταχύτητα περιστροφής. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε χάρτη, όπως στο Σχήμα 3-12. Κάθε καμπύλη αποτελείται από σημεία με ίδια ειδική κατανάλωση.

Η μέση ενεργός πίεση ( $p_{me}$ ) συνδέεται με την ισχύ ( $P$ ) και τον όγκο εμβολισμού ( $V_H$ ) με την ακόλουθη σχέση:

$$p_{me} = \frac{P n_c}{V_H n}$$

Όπου  $n_c$  είναι ο αριθμός περιστροφών ανα κύκλο λειτουργίας (για δίχρονη  $n_c=1$ , για τετράχρονη  $n_c=2$ ) και  $n$  η ταχύτητα περιστροφής.

Για τις συνηθισμένες μονάδες και τετράχρονη μηχανή, η σχέση γίνεται:

$$p_{me}(\text{bar}) = \frac{P(\text{kW})}{V_H(\text{dm}^3)n(\text{rpm})} 1200$$

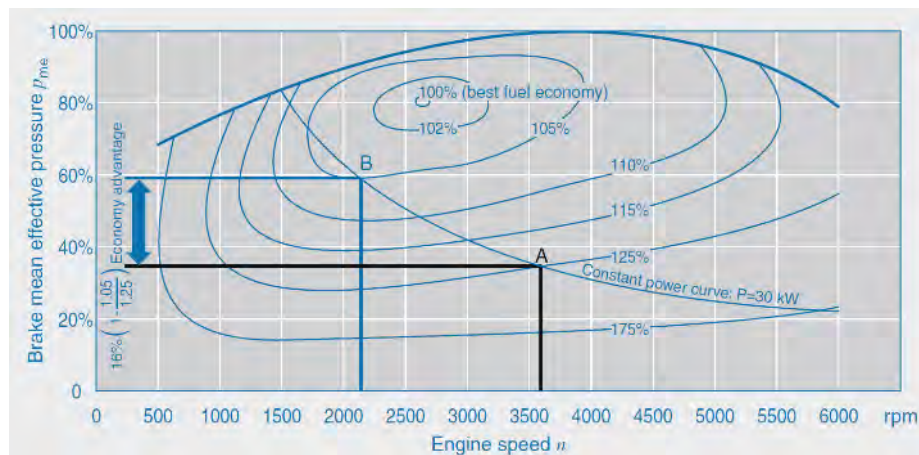
Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση είναι δυνατό να χαράξουμε καμπύλες ίδιας ισχύος. Για παράδειγμα στο σημείο Α και στο σημείο Β, παρόλο που η μηχανή λειτουργεί σε διαφορετικές στροφές και με διαφορετική μέση ενεργό πίεση, παράγει την ίδια ισχύ. Στο σημείο Α η ειδική κατανάλωση είναι πολύ χειρότερη (125% ως προς την χαμηλότερη) από την ειδική κατανάλωση στο σημείο Β (105% ως προς την χαμηλότερη). Η λειτουργία της μηχανής μετατοπίζεται από το Σημείο Α προς το Σημείο Β, αλλάζοντας σχέση μετάδοσης.

Η μέση ενεργός πίεση ( $p_{me}$ ) συνδέεται με την ροπή ( $M$ ) και τον όγκο εμβολισμού ( $V_H$ ) με την ακόλουθη σχέση:

$$p_{me} = \frac{M n_c}{V_H} 2\pi$$

Για συνηθισμένες μονάδες και τετράχρονη μηχανή, η σχέση γίνεται

$$p_{me}(\text{bar}) = \frac{M(\text{Nm})}{V_H(\text{dm}^3)} 0.12566$$



Σχήμα 3-12 Χάρτης ειδικής κατανάλωσης κινητήρα

#### Πίνακας 1

Engine data:	4-cylinder gasoline engine
Displacement:	$V_H = 2.3$ litres ( $\text{dm}^3$ )
Power:	$P = 110\text{kW}$ at 5400rpm
Torque peak:	$M = 220$ N · m at 3700...4500rpm
Brake mean effective pressure:	$p_{me} = 12\text{bar}$ (100%)
Calculating torque $M$ and power $P$ with numerical value equations:	
	$M = V_H \cdot p_{me} / 0.12566$
	$P = M \cdot n / 9549$

### 3.6 Κρουστική καύση

Μεταξύ των παραμέτρων που θέτουν όρια στην βελτίωση της θερμοδυναμική απόδοσης και αύξησης των επιδόσεων είναι οι σποραδικές προαναφλέξεις. Αυτό το φαινόμενο, δεν είναι επιθυμητό, συνοδεύεται από θόρυβο και είναι η πυρανόφλεξη. Η πυρανόφλεξη συμβαίνει όταν τμήματα του μίγματος αναφλέγονται σποραδικά πριν προσεγγιστούν από το μέτωπο φλόγας.

Η έντονη θερμότητα και η έξαρση της πίεσης κατά τη πυρανόφλεξης καταπονούν μηχανικά και θερμικά τα εξαρτήματα της μηχανής.

Το καύσιμο μίγμα αναφλέγεται από τον σπινθηριστή προς το τέλος του χρόνου συμπίεσης, πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ. Αρκετά msec μπορεί να περάσουν μέχρι όλο το μίγμα να έχει αναφλεγεί. Κατά συνέπεια η μέγιστη τιμή της πίεσης καύσης παρατηρείται μετά το ΑΝΣ. Το μέτωπο φλόγας εκτείνεται από τον σπινθηριστή προς τον υπόλοιπο όγκο του κυλίνδρου. Η καύσης προκαλεί περαιτέρω αύξηση της πίεσης και θερμοκρασία. Έτσι συμπιέζεται περαιτέρω το άκαυστο μίγμα. Κάποια τμήματά του μπορεί να θερμανθούν σε τέτοιο βαθμό που να αυταναφλεγούν δημιουργώντας νέα εστία καύσης και τελικά ανεξέλεγκτη καύση μέσα στον θάλαμο με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης έως και 5πλασια.

Μια άλλη μορφή πυρανόφλεξης είναι αυτή που προκαλείται από θερμά στοιχεία μέσα στον θάλαμο καύσης όπως για παράδειγμα τη μύτη του σπινθηριστή. Σε αυτή την περίπτωση η έναυση ξεκινάει πριν το ρυθμισμένο χρόνο.

Στον άμεσο ψεκασμό, η ατμοποίηση του καυσίμου, που απορροφά θερμότητα, εντός του θαλάμου καύσης, μειώνει τη θερμοκρασία με ευνοϊκή επίδραση ως προς τις πυραναφλέξεις. Στην στρωματοποιημένη γόμωση, οι περιοχές του θαλάμου εκτός του νέφους με καύσιμο, δεν κινδυνεύουν από πυραναφλέξεις.

#### Ευνοϊκοί παράγοντες

- Μεγάλη προπορεία : ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασία → πιέσεων
- Υψηλή πυκνότητα γόμωσης
- Ποιότητα Καυσίμου: χαμηλά οκτάνια – περιορισμένη ανθεκτικότητα σε πυρανόφλεξη
- Υψηλός λόγος συμπίεσης
- Επικαθίσεις και κατάλοιπα
- Ανεπαρκής ψύξη
- Γεωμετρία θαλάμου καύσης

Οι κινητήρες που δεν είναι εφοδιασμένοι με αισθητήρα πυραναφλέξεων, καθυστερούν προληπτικά την έναυση κατά 5...8 μοίρες.

Στους κινητήρες που είναι εφοδιασμένοι με αισθητήρες πυραναφλέξεων, η μονάδα ελέγχου μεταβάλλει την θέση έναυσης ανάλογα. Όταν ανιχνευτούν πυραναφλέξεις σε κάποιον κύλινδρο, τότε η μονάδα ελέγχου καθυστερεί την έναυση μέχρι να σταματήσουν οι πυραναφλέξεις. Στην συνέχεια η έναυση γίνεται σταδιακά νωρίτερα, μέχρι να φτάσει στο σημείο που προβλέπεται από τον αντίστοιχο χάρτη

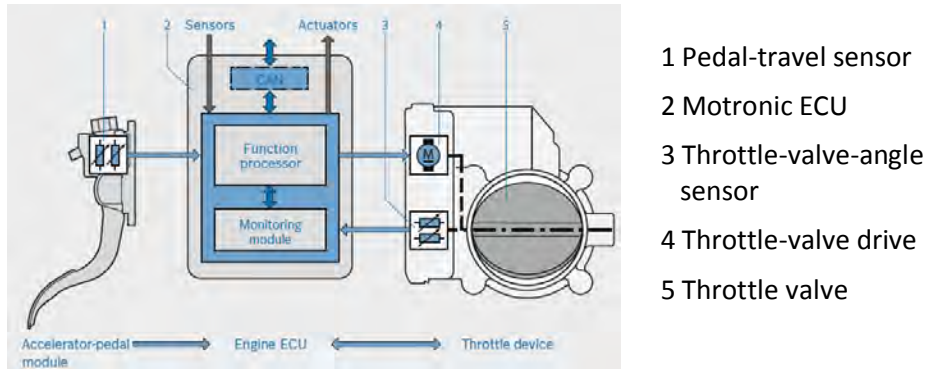
που είναι αποθηκευμένος στην μονάδα ελέγχου ή μέχρι να ανιχνευτούν ξανά πυραναφλέξεις.

Η εφαρμογή αυτή τη μεθοδολογίας, που απαιτεί παρουσία αισθητήρων πυραναφλέξεων, δίνει την δυνατότητα λειτουργίας μηχανών με μεγαλύτερο λόγο συμπίεσης. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα επιλογής της στιγμής έναυσης με κριτήριο την βέλτιστη θερμοδυναμικά απόδοση και όχι την προστασία από πιθανές πυραναφλέξεις, με αποτέλεσμα την βελτίωση της ειδικής κατανάλωσης και των επιδόσεων. Ακόμα, με αυτήν την μεθοδολογία γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του καυσίμου, δεδομένου ότι η μηχανή προσαρμόζεται στην αντικροτική ικανότητα του καυσίμου με το οποίο λειτουργεί κάθε φορά.

## 4. Συστήματα ελέγχου αέρα εισαγωγής

Η ροπή εξόδου και συνεπώς η ισχύς στους κινητήρες ομοιογενούς γόμωσης καθορίζεται από την ποσότητα αέρα που εισέρχεται στον θάλαμο και την ποσότητα καυσίμου που εγχέεται. Για την διατήρηση του λόγου αέρα καυσίμου στην τιμή που απαιτείται, η μάζα αέρα πρέπει να υπόκειται σε έλεγχο.

### 4.1 Ηλεκτρονικός Έλεγχος Πεταλούδας Στραγγαλισμού



Σχήμα 4-1 Σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου πεταλούδας στραγγαλισμού

Η ροπή που απαιτείται από τον χρήστη συνάγεται από την θέση του πεντάλ επιτάχυνσης. Για την υλοποίηση συστήματος Ηλεκτρονικού ελέγχου πεταλούδας στραγγαλισμού (Electronic throttle control (ETC)), αισθητήρας θέσης στο πεντάλ επιτάχυνσης χρησιμοποιείται για την καταγραφή αυτής της μεταβλητής. Επιπλέον απαιτήσεις ροπής προέρχονται από τα διάφορα υποσυστήματα, όπως για παράδειγμα ροπή για το σύστημα κλιματισμού όταν αυτό είναι ενεργοποιημένο, ή υποβίβαση της ροπής κατά την αλλαγή ταχύτητας.

Η μονάδα ελέγχου του κινητήρα υπολογίζει την απαιτούμενη μάζα αέρα και αναπαράγει σήματα σκανδαλισμού για την ηλεκτρονικά ενεργοποιούμενη πεταλούδα στραγγαλισμού. Έτσι καθορίζεται η ανοικτή διατομή και συνεπώς η ροή αέρα. Χρησιμοποιώντας τρέχουσα θέση της πεταλούδας από τον αισθητήρα γωνίας, είναι δυνατή η ακριβής ρύθμισης.

Μια τέτοια διάταξη θα μπορούσε αντί για την θέση του πεντάλ να χρησιμοποιεί μια άλλη σταθερά εισόδου όπως συμβαίνει σε οχήματα με cruise control.

## 4.1.1. Περιγραφή της συσκευής



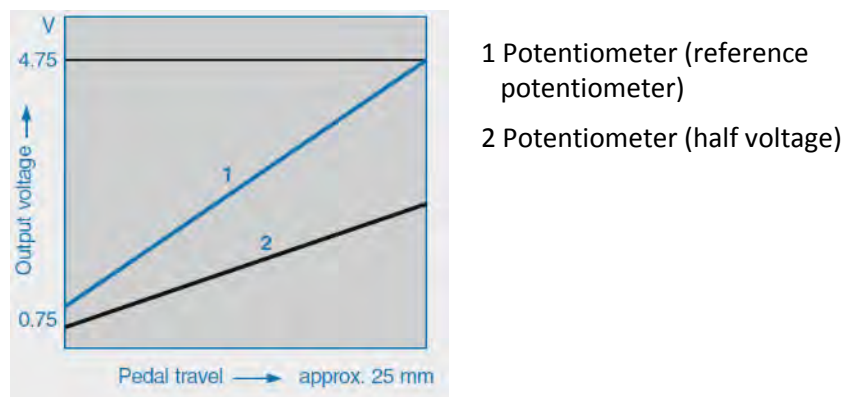
Σχήμα 4-2 Συσκευή ηλεκτρονικού ελέγχου της πεταλούδας στραγγαλισμού

Η συσκευή ηλεκτρονικού ελέγχου της πεταλούδας στραγγαλισμού (Σχήμα 4-2) αποτελείται από την περιστρεφόμενη βαλβίδα (2) που κινείται από κινητήρα DC (3) μέσω συστήματος γραναζιών (5). Ενσωματωμένος βρίσκεται και αισθητήρας θέσης(6), που μπορεί να είναι είτε ποτενσιομετρικός είτε αισθητήρα εγγύτητας

## 4.1.2. Αισθητήρας πεντάλ επιτάχυνσης με αντίσταση

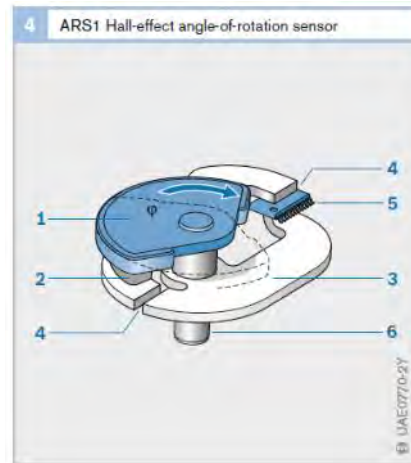
Η εντολή του χρήστη για τις επιδόσεις του κινητήρα δίνονται μέσω του πεντάλ επιτάχυνσης. Για την αξιοποίηση των ηλεκτρονικών συστημάτων το πεντάλ επιτάχυνσης αποτελείται από αισθητήρα αντί να έχει άμεση μηχανική επίδραση.

Ένας τύπος τέτοιου αισθητήρα βασίζεται σε ποτενσιόμετρο (μεταβλητή αντίσταση) σαν τμήμα διαιρέτη τάσης που υπόκειται σε τάση. Έτσι η τάση εξόδου είναι ανάλογη της θέσης του πεντάλ. Καθώς πρόκειται για κρίσιμο εξάρτημα, δίνονται δυο έξοδοι που αξιολογούνται ταυτόχρονα από την κεντρική μονάδα. Στο Σχήμα 4-3 δίνεται διάγραμμα της τάσης εξόδου συναρτήσει της θέσης του πεντάλ. Οι δύο έξοδοι έχουν διαφορετική στάθμη έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η τροποποίηση του αισθητήρα (να χρησιμοποιείται η λειτουργική έξοδος και για τα δυο σήματα εισόδου της μονάδας επεξεργασίας) αντί για την αντικατάστασή του σε περίπτωση βλάβης.



Σχήμα 4-3 Χαρακτηριστική καμπύλη αισθητήρα διαδρομής πεντάλ

## 4.1.3. Αισθητήρας πεντάλ επιτάχυνσης με αισθητήρα Hall



- 1 Rotor disc (permanent magnetic)
- 2 Pole shoe
- 3 Conductive element
- 4 Air gap
- 5 Hall-effect sensor
- 6 Shaft (soft magnetic)

Σχήμα 4-4 Αισθητήρας πεντάλ επιτάχυνσης με αισθητήρα Hall

Άλλος τύπος αισθητήρα για την μέτρηση της θέσης του πεντάλ επιτάχυνσης βασίζεται φαινόμενο Hall, Σχήμα 4-4. Περιστρεφόμενος δίσκος από μόνιμο μαγνήτη (1) περιστρέφεται γύρω από άξονα συγχρονισμένα με την κίνηση του πεντάλ. Το μαγνητικό πεδίο που επιδρά δια μέσω του επαγωγέα (2) στον αισθητήρα Hall (5) είναι ανάλογο της έκθεσης του επαγωγέα στον μόνιμο μαγνήτη. Η έκθεση εξαρτάται από την θέση του μονίμου μαγνήτη ως προς τον επαγωγέα, δηλαδή από την γωνιακή του θέση και συνεπώς την θέση του πεντάλ.

## 4.2 Μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων

Παράμετροι:

Χρονισμός και ανύψωση

Λειτουργίες

Ρύθμιση αναλογίας φρέσκου αέρα και αέρα από ανακυκλοφορία  
Καλύτερη απόπλυση

Οφέλη:

Βέλτιστη λειτουργία σε μεγαλύτερο εύρος στροφών

- Higher rated power
- Favorable torque curve over the entire engine-speed range
- Reduction of toxic emissions
- Reduced fuel consumption, and
- Improved smooth running at low engine speeds

Εκτός από τον έλεγχο της ποσότητας αέρα μέσω της πεταλούδας στραγγαλισμού, η γόμωση του κυλίνδρου μπορεί να ρυθμιστεί και με την εφαρμογή μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων.

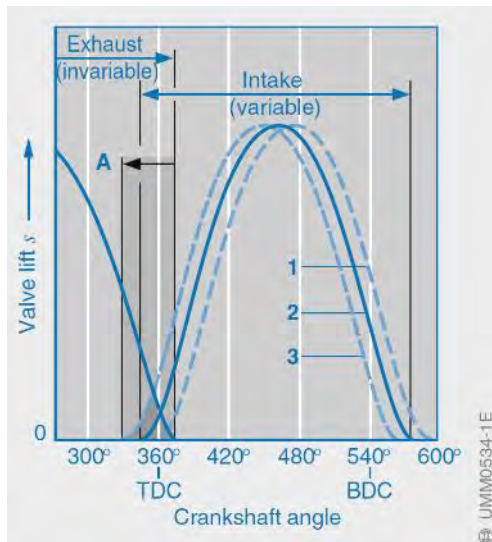
Συγκεκριμένα, η αναλογία φρέσκου αέρα μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας τον χρονισμό και την ανύψωση των βαλβίδων. Οι ιδανικές τιμές αυτών των παραμέτρων δεν είναι σταθερές σε όλες τις λειτουργικές καταστάσεις. Ο στατικός σχεδιασμός παρέχει σύστημα βελτιστοποιημένο σε συγκεκριμένες συνθήκες. Σε όλο το υπόλοιπο εύρος λειτουργίας η λύση είναι συμβιβαστική.

### 4.2.1. Ρύθμιση φάσης του εκκεντροφόρου

Ο εκκεντροφόρος άξονας, τα έκκεντρα του οποίου ευθύνονται για το άνοιγμα και κλείσιμο των βαλβίδων, οδηγείται από τον στροφαλοφόρο με ιμάντες, αλυσίδες ή γρανάζια.

Η ρύθμιση της θέσης του εκκεντροφόρου ως προς τον στροφαλοφόρο έχει ιδιαίτερη σημασία. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται κυρίως υδραυλικοί ενεργοποιητές.

Περιστρέφοντας τον εκκεντροφόρο η θέση ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων μετακινείται παράλληλα. Στο Σχήμα 4-5 φαίνεται η μετατόπιση της καμπύλης ανύψωσης σε σχέση με το Άνω Νεκρό Σημείο όταν ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται στην θέση καθυστέρησης (Retard) ή προπορείας (Advance).



- 1 Rotation in "Retard" direction
- 2 Normal position
- 3 Rotation in "Advance" direction
- A Valve overlap

Σχήμα 4-5 Επίδραση περιστροφής του εκκεντροφόρου εισαγωγής

#### 4.2.1.1. Καθυστέρηση του εκκεντροφόρου εισαγωγής

##### Καθυστέρηση στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής.

Η καθυστέρηση του εκκεντροφόρου εισαγωγής οδηγεί στο καθυστερημένο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής με αποτέλεσμα η διάρκεια που είναι ανοικτές ταυτόχρονα η βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής, η διάρκεια επικάλυψης, να μειώνεται. Έτσι μειώνεται η ποσότητα των καυσαερίων που ρέουν προς τον οχετό εισαγωγής, μειώνοντας περιεχόμενο απομένουστος αερίου στην νέα γόμωση. Στις χαμηλές στροφές (<2000rpm) βελτιώνεται η λειτουργία της μηχανής. Επιπλέον είναι εφικτή η άφορτη λειτουργία (ρελαντί) σε χαμηλότερες στροφές, μειώνοντας την κατανάλωση.

##### Καθυστέρηση στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής.

Προκαλείται καθυστέρηση του εκκεντροφόρου και στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής (> 5000 rpm). Το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής γίνεται καθυστερεί, επιτρέποντας περισσότερο αέρα να εισαχθεί στον κύλινδρο, μέχρι η πίεσης εντός του κυλίνδρου λόγω της ανοδικής κίνησης του εμβόλου να μην το επιτρέπει.



## 4.2.1.2. Προπορεία του εκκεντροφόρου εισαγωγής

Στο μεσαίο εύρος στροφών, λόγω δυναμικών φαινομένων, δεν ευνοείται η εισαγωγή περισσότερου αέρα με την παράταση του κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής. Αντίθετα, το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής νωρίτερα αποτρέπει την διαφυγή φρέσκου αέρα, από την ανοδική κίνηση του εμβόλου.

Επιπλέον η προπορεία αυξάνει και την περίοδο αλληλοεπικάλυψης των βαλβίδων, αυξάνοντας το περιεχόμενο της νέας γόμωσης σε απομένον αέριο ( εσωτερική ανακυκλοφορία καυσαερίου). Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η θερμοκρασία καύσης και κατά συνέπεια τα  $\text{NO}_x$ .

Επίσης επιτρέπεται η αύξηση της διατομής της πεταλούδας στραγγαλισμού, μειώνοντας το έργο άντλησης και συνεπώς την ειδική κατανάλωση.

## 4.2.1.3. Ρύθμιση του εκκεντροφόρου της βαλβίδας εξαγωγής

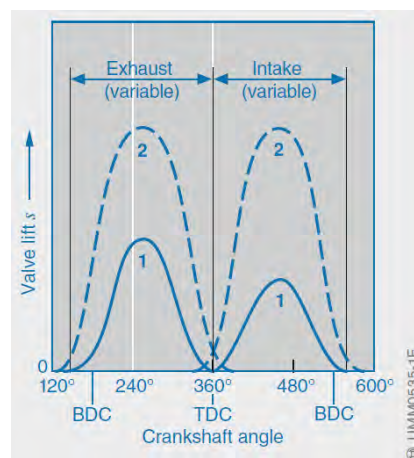
Σε συστήματα που ελέγχουν επιπλέον την βαλβίδα εξαγωγής, υπάρχει μεγαλύτερη ευχέρεια στην ρύθμιση του περιεχόμενου της γόμωσης σε απομένον αέριο.

## 4.2.2. Έλεγχος εκκέντρων

Εκτός από την ρύθμιση του χρονισμού, ενδιαφέρει επίσης η ρύθμιση του προφίλ ανύψωσης της βαλβίδας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή εκκεντροφόρων που διαθέτουν δυο διαφορετικούς τύπους εκκέντρων, για διαφορετικό προφίλ ανύψωσης. Το ένα έκκεντρο καθορίζει το βέλτιστο χρονισμό και ανύψωση βαλβίδων για χαμηλές και μεσαίες στροφές, ενώ το άλλο, με μεγαλύτερη ανύψωσή και διάρκεια, για υψηλές στροφές, Σχήμα 4-6.

Στις χαμηλές και μέσες στροφές το βραχύτερο έκκεντρο που προκαλεί μικρότερη ανύψωση οδηγεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα εισόδου και καλύτερο στροβιλισμό του αέρα/μείγματος πλήρωσης με αποτέλεσμα καλύτερο σχηματισμό μείγματος.

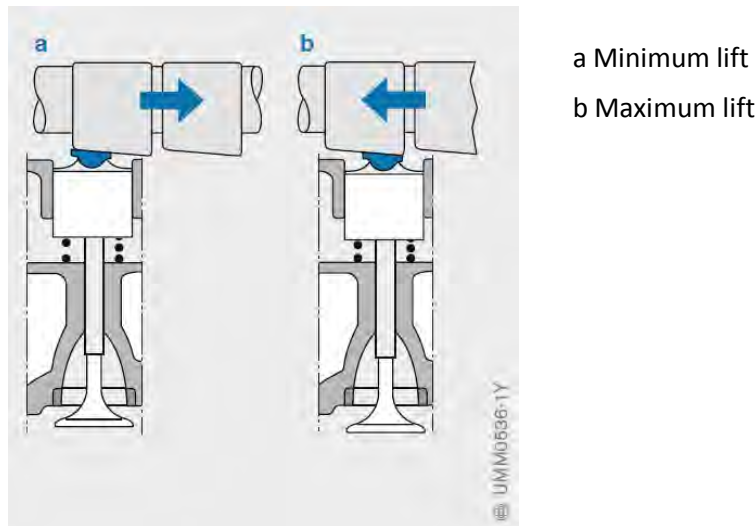
Στα υψηλά φορτία χρησιμοποιείται το μεγάλο έκκεντρο, διευκολύνοντας την είσοδο του αέρα.



- 1 Standard cam
- 2 Additional cam

Σχήμα 4-6 Προφίλ ανύψωσης βαλβίδων με εκκεντροφόρους διπλών εκκέντρων

#### 4.2.3. Πλήρως μεταβλητός χρονισμός με εκκεντροφόρο



Σχήμα 4-7 Εκκεντροφόρος μεταβλητού θήματος

Έκκεντρα μεταβλητής γεωμετρίας (Σχήμα 4-7) παρέχουν συνεχή (όχι δυαδική) γεωμετρία εκκέντρων. Σε συνδυασμό με ρυθμιστές φάσης καθίστανται δυνατή η πλήρης ρύθμιση του χρονισμού και της ανύψωσης των βαλβίδων.

#### 4.2.4. Πλήρως μεταβλητός χρονισμός χωρίς εκκεντροφόρο

Η αντικατάσταση του εκκεντροφόρου με ηλεκτρομαγνητικούς ή ηλεκτρο-υδραυλικούς ενεργοποιητές παρέχει τον μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας ως προς την ρύθμιση της συμπεριφορά των βαλβίδων.

Το υψηλό κόστος και κάποιες τεχνικές δυσκολίες περιορίζουν την διείσδυση αυτής της τεχνολογίας.

### 4.3 Δυναμική Υπερπλήρωση

Σε γενικές γραμμές η παραγόμενη ροπή είναι ανάλογη του περιεχόμενου σε φρέσκο αέρα στο κύλινδρο. Συνεπώς, η μέγιστη ροπή μπορεί να αυξηθεί συμπιέζοντας σε κάποιον βαθμό το αέρα πριν μπει στον κύλινδρο.

Οι διεργασίες της εναλλαγής των αερίων δεν επηρεάζονται μόνο από τον χρονισμό των βαλβίδων αλλά επίσης από την γεωμετρία εισαγωγής και εξαγωγής.

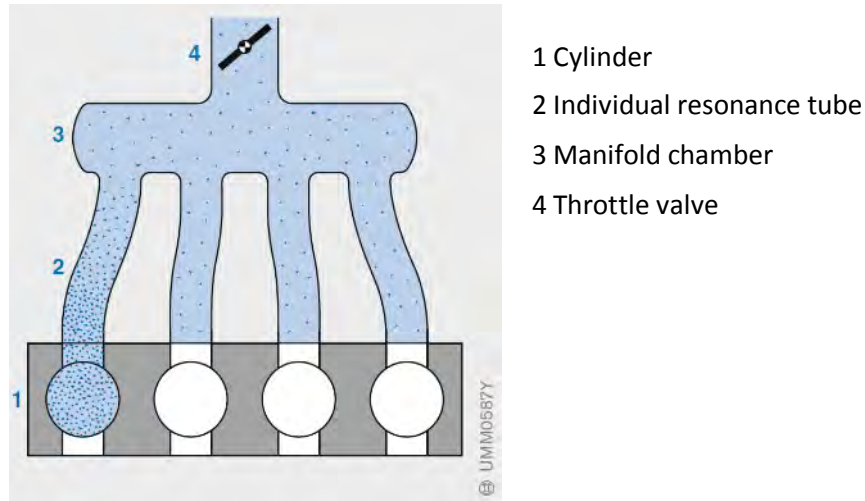
Η καθοδική κίνηση του εμβόλου κατά την εισαγωγή, προκαλεί δια μέσου της βαλβίδας εισαγωγής την πυροδότηση ενός κύματος πίεσης. Στο ανοικτό άκρο της πολλαπλής εισαγωγής, το κύμα πίεσης συναντά τον ατμοσφαιρικό αέρα, από τον οποίο ανακλάται πάλι, επιστρέφοντας στην κατεύθυνση της βαλβίδας εισαγωγής.

Αυτές οι διακυμάνσεις πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση του περιεχομένου της γόμωσης σε φρέσκο αέρα και έτσι να επιτυγχάνεται υψηλότερη μέγιστη ροπή.

Αυτό το φαινόμενο υπερπλήρωσης προκύπτει από την αξιοποίηση της δυναμικής απόκρισης του εισερχόμενου αέρα και εξαρτάται από την γεωμετρία του οχετού εισαγωγής και τις στροφές του κινητήρα.

Στους κινητήρες με εξαερωτήρα ή κεντρικού ψεκασμού, οι πολλαπλές εισαγωγής πρέπει να έχουν μικρό και ίσο μεταξύ τους μήκος για την σωστή κατανομή του μίγματος. Αντίθετα στους κινητήρες που η έγχυση γίνεται πριν την βαλβίδα εισαγωγής ή απευθείας στον κύλινδρο, δεν υπάρχει αυτός ο περιορισμός, δίνοντας την δυνατότητα εφαρμογών δυναμική υπερπλήρωσης.

#### 4.3.1. Στατικοί σωλήνες εισώθησης (ram tube)



Σχήμα 4-8 Στατικοί σωλήνες εισώθησης

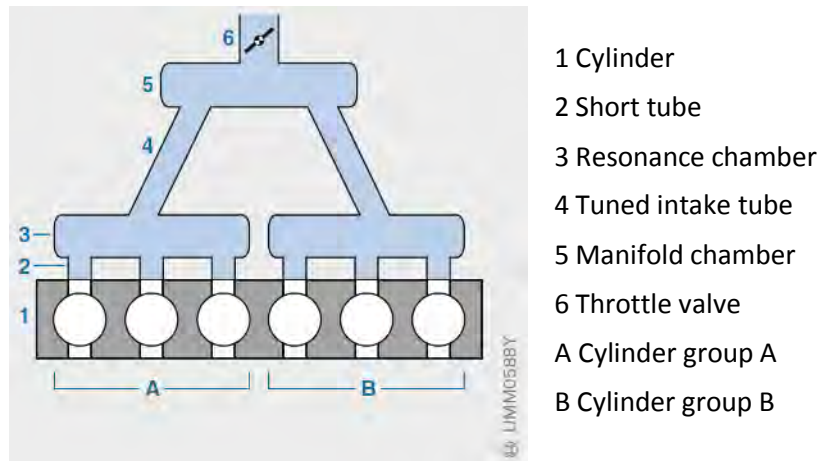
Στην δυναμική υπερπλήρωση με σωλήνες εισώθησης, Σχήμα 4-8, κάθε κύλινδρος διαθέτει σωλήνα συντονισμού (2) συγκεκριμένου μήκους ο οποίος είναι συνήθως συνδεδεμένος με τον κυρίως θάλαμο του οχητού (3).

Τα κύματα πίεσεως είναι ικανά να διαδοθούν ανεξάρτητα στους ατομικούς σωλήνες συντονισμού. Η υπερπλήρωση εξαρτάται από τη γεωμετρία της πολλαπλής εισαγωγής και την ταχύτητα του κινητήρα.

Για το λόγο αυτό, το μήκος και η διάμετρος των μεμονωμένων σωλήνων συντονισμού καθορίζονται με βάση τον χρονισμό της βαλβίδας εισαγωγής έτσι ώστε στην επιθυμητή περιοχή στροφών ένα κύμα πίεσεως που ανακλάται στο άκρο του σωλήνα συντονισμού να μπορεί να εισέλθει στον κύλινδρο (1) μέσω της ανοικτής βαλβίδας εισαγωγής και να αυξήσει την πίεση του αέρα.

Οι μεγάλοι μήκους, στενοί σωλήνες έχουν καλό αποτέλεσμα υπερπλήρωσης στις χαμηλές στροφές του κινητήρα, ενώ οι μικρού μήκους σωλήνες μικρής διαμέτρου έχουν θετική επίδραση στις υψηλότερες στροφές του κινητήρα.

### 4.3.1. Σωλήνες συντονισμού (tuned-intake-tubes)



Σχήμα 4-9 Σωλήνες συντονισμού

Για δεδομένη ταχύτητα περιστροφής, η περιοδική κίνηση του εμβόλου προκαλεί τη ταλάντωση του περιεχομένου του οχετούς εισαγωγής στη αντίστοιχη συχνότητα συντονισμού.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια περαιτέρω αύξηση της πίεσης προκαλώντας υπερπλήρωση.

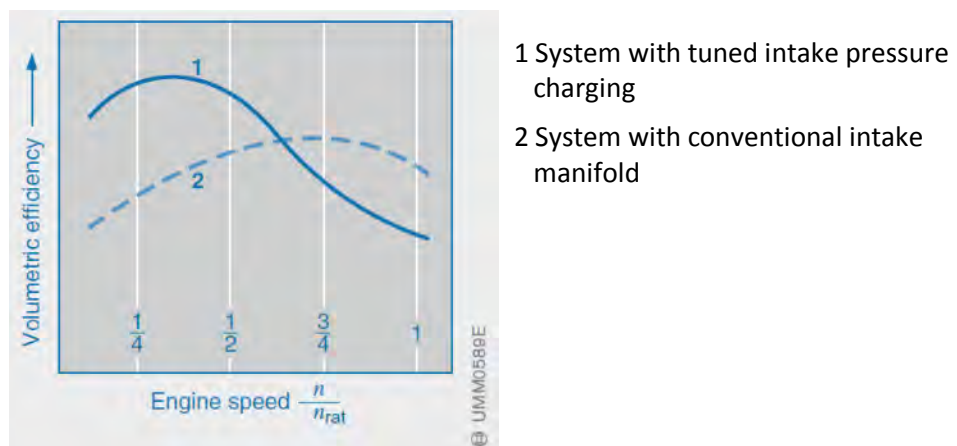
Στο σύστημα σωλήνων συντονισμού (Σχήμα 4-9), ομάδες κυλίνδρων (1) με κοινή απόσταση γωνιακής έναυσης, συνδέονται σε κοινό θάλαμο συντονισμού (3) μέσω κοντών σωλήνων (2).

Οι θάλαμοι, με τη σειρά τους, συνδέονται μέσω σωλήνων συντονισμού (4) με το εξωτερικό περιβάλλον ή με θάλαμο (5) και λειτουργούν ως αντηχεία Helmholtz.

Η υποδιαίρεση σε δύο ομάδες κυλίνδρων, η κάθε μία με τον δικό της σωλήνα συντονισμού, εμποδίζει την επικάλυψη των διαδικασιών ροής δύο γειτονικών κυλίνδρων που είναι διαδοχικοί σε σειρά ανάφλεξης.

Το μήκος των σωλήνων συντονισμού και το μέγεθος του θαλάμου συντονισμού υπολογίζεται με βάση την περιοχής στροφών στην οποία απαιτείται η μέγιστη επίδραση του φαινομένου.

### 4.3.2. Οχετοί εισαγωγής μεταβλητής γεωμετρίας

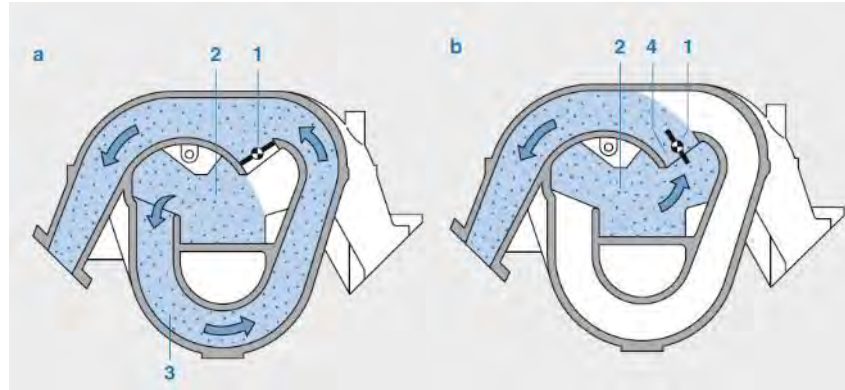


Σχήμα 4-10

Η επίδραση της δυναμική υπερπλήρωσης εξαρτάται από το σημείο λειτουργίας του κινητήρα. Τα συστήματα δυναμικής υπερπλήρωσης που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους επιτυγχάνουν αύξηση της ογκομετρικής απόδοσης στο εύρος των χαμηλών στροφών (Σχήμα 4-10).

Με τεχνικές μεταβλητής γεωμετρίας το όφελος μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες περιοχές λειτουργίας του κινητήρα.

#### 4.3.3. Σωλήνες εισώθησης μεταβλητής γεωμετρίας



- 1 Changeover flap
- 2 Manifold chamber
- 3 Changeover flap closed: long, narrow diameter ram tube
- 4 Changeover flap opened: short, wide diameter ram tube

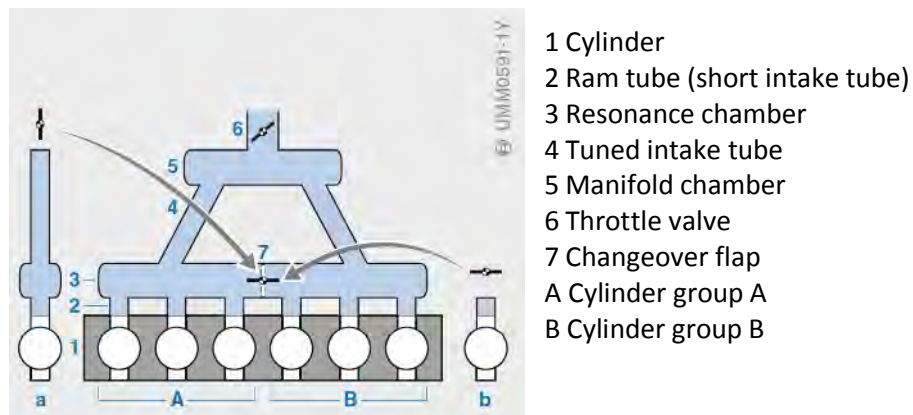
Σχήμα 4-11 Σωλήνες εισώθησης μεταβλητής γεωμετρίας

Οι οχετοί που φαίνονται στο Σχήμα 4-11 μπορούν να εναλλάσσονται σε δυο διαφορετικούς σωλήνες εισώθησης. Στις χαμηλές στροφές το περύγιο εναλλαγής (1) κλείνει και ο αέρας εισαγωγής ρέει από τον μεγαλύτερου μήκους σωλήνα (3).

Στις μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής το περύγιο ανοίγει και ο αέρας ρέει από τον ευρύτερο και εγγύτερο σωλήνα (4).

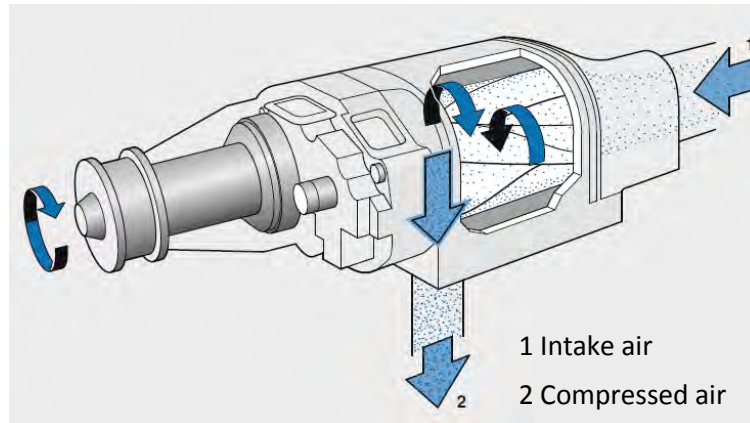
##### 4.3.3.1. Συνδυασμός σωλήνων εισώθησης και συντονισμού

Στο Σχήμα 4-12 δίνεται μια τεχνική λύση που με την προσθήκη ενός περυγίου (7) εναλλάσσεται η λειτουργία μεταξύ σωλήνων εισώθησης και σωλήνων συντονισμού.



Σχήμα 4-12 Συνδυασμός σωλήνων εισώθησης και συντονισμού

#### 4.4 Μηχανική υπερπλήρωση



Σχήμα 4-13 Μηχανική υπερπλήρωση

##### 4.4.1. Σχεδιασμός και μέθοδος λειτουργίας

Η εφαρμογή υπερπλήρωσης οδηγεί σε αύξηση του περιεχομένου σε αέρα της γόμωσης και συνεπώς σε δυνατότητα αύξησης της ροπής. Στην μηχανική υπερπλήρωση χρησιμοποιείται συμπιεστής που οδηγείται απευθείας από την ΜΕΚ.

Υπάρχουν διάφορων ειδών συμπιεστές μηχανικής οδήγησης, όπως θετικής μετατόπισης, φυγοκεντρικοί, κα. Στο Σχήμα 4-13 απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας υπερπληρωτή περιστρεφόμενου κοχλία με δυο κοχλίες περιστρεφόμενους σε αντίθετη φορά.

##### 4.4.2. Έλεγχος πίεσης υπερπλήρωσης

Στους μηχανικούς υπερπληρωτές η ρύθμιση της πίεσης υπερπλήρωσης γίνεται με την επανατροφοδότηση μέρους του συμπιεσμένου αέρα στην είσοδο του συμπιεστή. Η βαλβίδα επανατροφοδότησης ελέγχεται από την κεντρική μονάδα.

##### 4.4.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

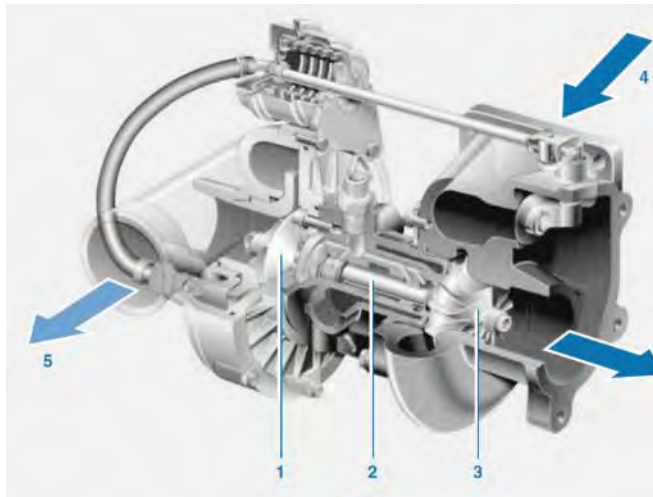
Η μηχανική σύνδεση του μηχανικού υπερπληρωτή με τον κινητήρα εξασφαλίζει την άμεση απόκρισή του, σε αντίθεση με τον στροβιλουπερπληρωτή που παρουσιάζει υστέρηση κατά την μεταβατική λειτουργία.

Όμως, οι κινητήρες με μηχανικό υπερπληρωτή παρουσιάζουν μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση σε σχέση με τους στροβιλουπερπληρωτές, που ανακτούν μέρος της ενέργειας καυσαερίων. Σημαντικό όφελος προκύπτει όταν είναι δυνατή η απομόνωση του συμπιεστή (μέσω συμπλέκτη) όταν η λειτουργία του δεν είναι απαραίτητη.

#### 4.5 Στροβιλουπερπλήρωση

Από όλες τις μεθόδους υπερπλήρωσης η πιο διαδεδομένη είναι η στροβιλουπερπλήρωση μέσω καυσαερίων. Ακόμα και σε μηχανές με μικρό όγκο σάρωσης η στροβιλουπερπλήρωση αυξάνει σημαντικά την ροπή και ισχύ αλλά και την απόδοση. Σήμερα η μέθοδος χρησιμοποιείται για την αύξηση της ροπής στις

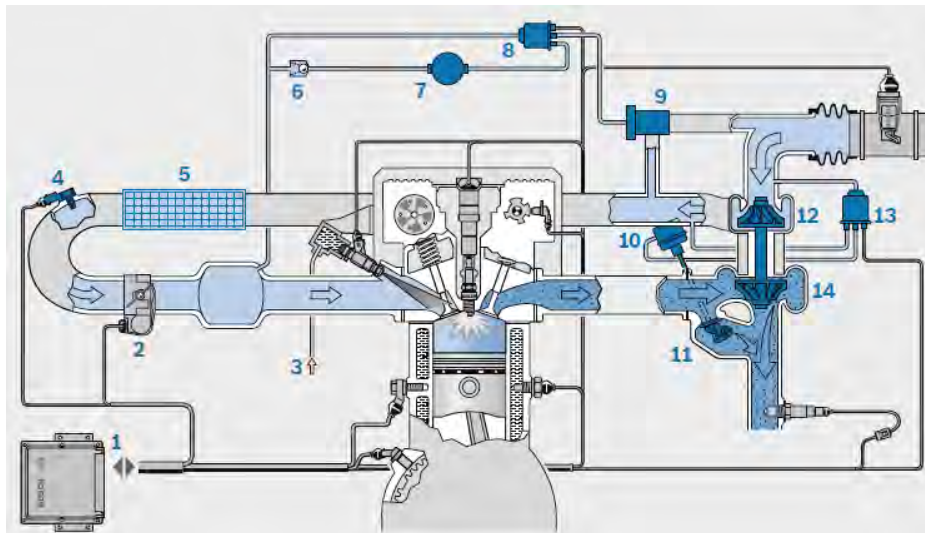
πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής ή για την μείωση του μεγέθους της μηχανής και όχι τόσο για την αύξηση των μέγιστων επιδόσεων.



- 1 Compressor impeller
- 2 Shaft
- 3 Exhaust-gas turbine
- 4 Inlet for exhaust-gas mass flow
- 5 Outlet for compressed air

Σχήμα 4-14 Στροβιλουπερπληρωτής

Τα κύρια εξαρτήματα του στροβιλουπερπληρωτή (Σχήμα 4-14) είναι ο στρόβιλος καυσαερίων (3) και ο συμπιεστής (1), που βρίσκονται σε κοινό άξονα (2).



- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1 Engine ECU                                 | 7 Vacuum reservoir              |
| 2 Throttle device                            | 8 Solenoid valve (pulse valve)  |
| 3 Fuel supply                                | 9 Divert-air valve (dump valve) |
| 4 Charge-air pressure and temperature sensor | 10 Boost-pressure control valve |
| 5 Intercooler                                | 11 Wastegate (bypass valve)     |
| 6 Non-return valve                           | 12 Turbocharger compressor      |
|  | 13 Solenoid valve (pulse valve) |
|  | 14 Exhaust-gas turbine          |

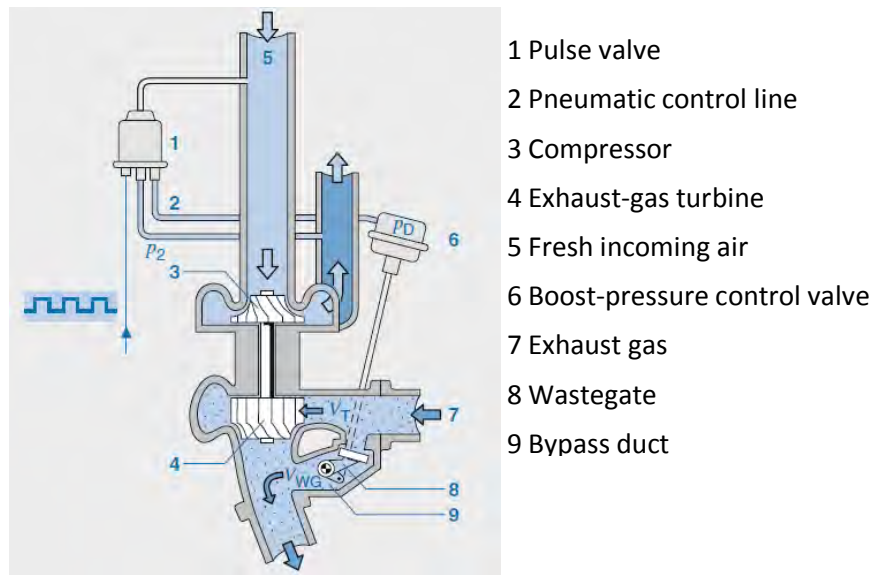
Σχήμα 4-15 Σχηματικό διάγραμμα κινητήρα με στροβιλουπερπληρωτή

Ο στρόβιλος βρίσκεται στο σύστημα απαγωγής καυσαερίων τα οποία προκαλούν την περιστροφή του. (Σχήμα 4-15: 14). Ο συμπιεστής (12) συμπιέζει τον επαγόμενο αέρα αυξάνοντας την γόμωση του κυλίνδρου. Επειδή κατά την συμπίεση ο αέρας θερμαίνεται, εφαρμόζεται εναλλάκτης για την ψύξη του. Η ενέργεια για την

οδήγηση του στροβίλου προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα θερμά και υπό πίεση καυσαέρια.

#### 4.5.1. Σχεδιασμοί στροβιλουπερπληρωτών

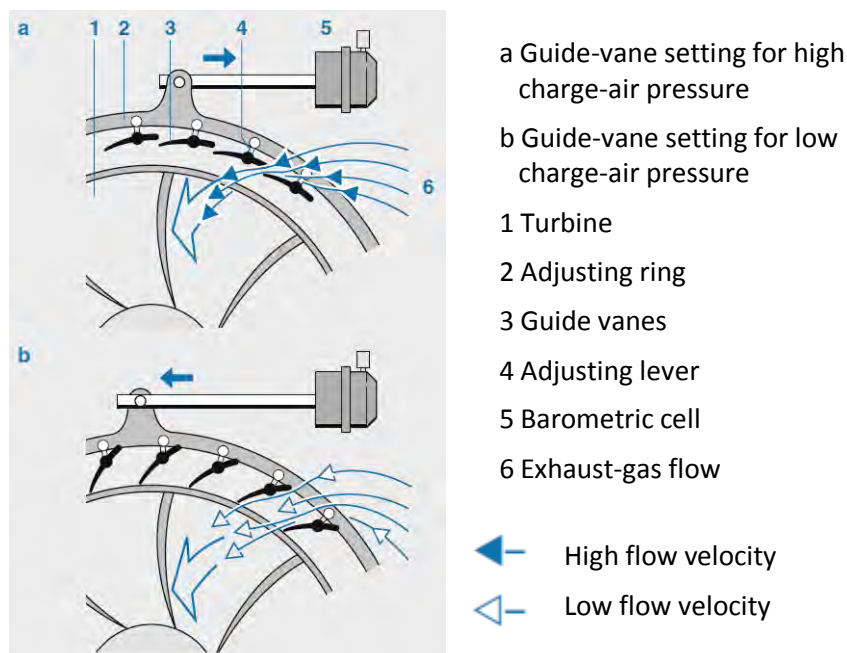
##### 4.5.1.1. Στροβιλουπερπληρωτής με βαλβίδα απόρριψης



Σχήμα 4-16 Στροβιλουπερπληρωτής με βαλβίδα απόρριψης

Επειδή το ζητούμενο είναι η ανάπτυξη υψηλής ροπής στις χαμηλές στροφές, ο στρόβιλος σχεδιάζεται για χαμηλές παροχές μάζας καυσαερίων. Για την αποφυγή υπερφόρτωσης σε μεγαλύτερες παροχές μάζας, απαιτείται η απόρριψη μέρους των καυσαερίων. Γι' αυτόν το λόγο εφαρμόζεται βαλβίδα απόρριψης (Σχήμα 4-16: 8). Η βαλβίδα απόρριψης ενεργοποιείται από βαλβίδα ελέγχου της πίεσης (6).

##### 4.5.1.2. Στροβιλουπερπληρωτής με μεταβλητή γεωμετρία στροβίλου.

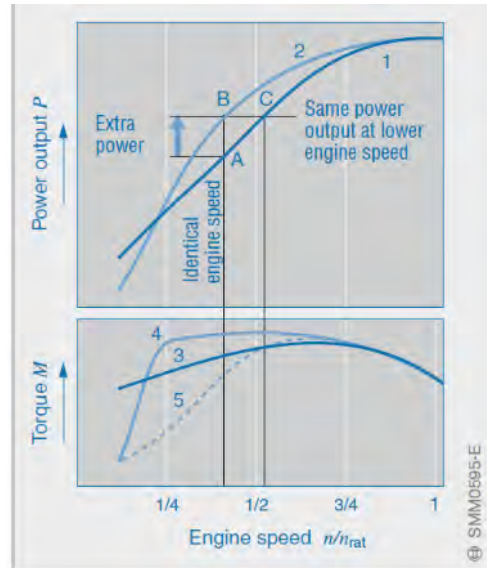


Σχήμα 4-17 Στροβιλουπερπληρωτής με μεταβλητή γεωμετρία στροβίλου



Στρόβιλοι μεταβλητής γεωμετρίας (Σχήμα 4-17) προσφέρουν εναλλακτικό τρόπο περιορισμού της ροής μάζας στις μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Σε αντίθεση με την περίπτωση των κινητήρων ντιζελ, η εφαρμογή τους σε βενζινοκινητήρες είναι προβληματική λόγω της υψηλής θερμοκρασίας καυσαερίων.

#### 4.5.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα



- 1, 3** Naturally aspirated engine in steadystate operation
- 2, 4** Supercharged engine in steadystate operation
- 5** Torque curve of the supercharged engine in transient (dynamic) operation

Σχήμα 4-18 Σύγκριση διαγραμμάτων ισχύος και ροπής για κινητήρες υπερπληρωμένους και φυσικής αναπνοής

Μια υπερπληρωμένη μηχανή είναι ικανή να παράγει την ίδια μέγιστη ισχύ με μια φυσικής αναπνοής, έχοντας μικρότερο μέγεθος και βάρος.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-18, καμπύλη 4, η ροπή στην υπερπληρωμένη μηχανή κατανέμεται καλύτερα σε σχέση με της φυσικής αναπνοής (καμπύλη 3). Τελικά επιτυγχάνεται αύξηση στην ισχύ (A→B). Η ίδια ισχύς παράγεται σε χαμηλότερες στροφές (C→B).

Στις πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, τα καυσαέρια δεν μπορούν να οδηγήσουν τον στρόβιλο. Σε αυτές τις περιοχές η αποδιδόμενη ροπή είναι χαμηλή.

Κατά την μεταβατική λειτουργία, ακόμα και στο μεσαίο εύρος στροφών, η καμπύλη ροπής (5) δεν είναι πιο ευνοϊκή από της μηχανής φυσικής αναπνοής. Αυτό οφείλεται στην υστέρηση ανάπτυξης πίεσης στο νέο σημείο λειτουργίας. Στην επιτάχυνση από τις χαμηλές στροφές, αυτή η υστέρηση αποκαλείται "turbo lag".

#### 4.6 Ψύξη αέρα πλήρωσης

Ο αέρας θερμαίνεται κατά την συμπίεσή του από τον υπερπληρωτή. Ο θερμός αέρας είναι λιγότερος πυκνός από τον ψυχρό. Για την αύξηση της ποσότητας της γόμωσης απαιτείται η εκ νέου ψύξη του συμπιεσμένου αέρα (intercooling).

Εκτός από την αύξηση της ροπής και ισχύος, επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας της καύσης με τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Μειωμένη τάση για πυραναφλέξεις
- Βελτιωμένη θερμική απόδοση → μειωμένη ειδική κατανάλωση
- Μειωμένη θερμική φόρτιση των εμβόλων
- Χαμηλότερες εκπομπές NO<sub>x</sub>
- Υψηλότερη απόδοση ενέργειας

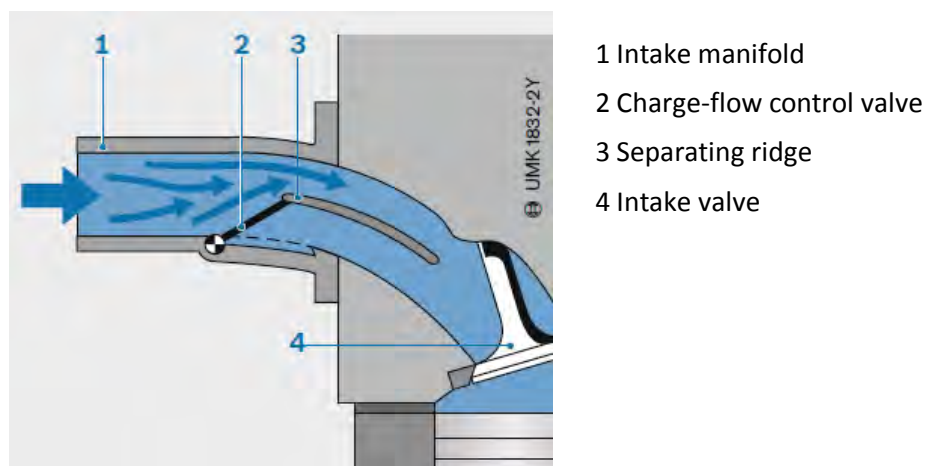
#### 4.7 Έλεγχος ροής αέρα πλήρωσης

Οι έντονες ροές του αέρα τόσο στον οχετό όσο και στον θάλαμο καύσης συντελούν καθοριστικά στον σχηματισμό κατάλληλου μίγματος αέρα/καυσίμου.

Στης μηχανές άμεσου ψεκασμού εφαρμόζεται βαλβίδα ελέγχου ροής που βοηθάει στην ανάπτυξη έντονων ροών αέρα. Στην περιοχή της βαλβίδας εισαγωγής, ο οχετός εισαγωγής χωρίζεται σε δυο κανάλια, το ένα εκ των οποίων μπορεί να απομονωθεί με χρήση πτερυγίου (Σχήμα 4-19 : 2). Αυτό το πτερύγιο καθιστά δυνατό τον έλεγχο της αύξησης της έντασης της ροής.

Στην στρωματοποιημένη γόμωση, υποβοηθάται η μετακίνηση του νέφους στο σπινθηριστή και ο σχηματισμός του μίγματος. Στην ομοιογενή λειτουργία, η βαλβίδα ελέγχου είναι κλειστή στα χαμηλά φορτία.

Η εφαρμογή της διάταξης είναι περιορισμένη στις μηχανές έγχυσης στον οχετό εισαγωγή λόγω τεχνικών δυσκολιών (συσσώρευση καυσίμου στην κλειστή βαλβίδα)



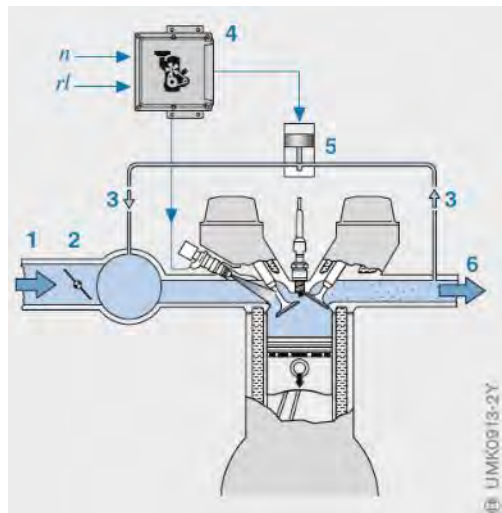
Σχήμα 4-19 Σύστημα ελέγχου ροής αέρα πλήρωσης

#### 4.8 Ανακυκλοφορία καυσαερίων

Η μάζα του εναπομένοντος αερίου που παραμένει στον κύλινδρο και λειτουργεί σαν αδρανές αέριο στην γόμωση μπορεί να καθοριστεί με κατάλληλο χρονισμό των βαλβίδων. Αυτή διαδικασία αποκαλείται εσωτερική ανακυκλοφορία καυσαερίου.

Το περιεχόμενο σε αδρανές αέριο μπορεί να επηρεαστεί σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό με την εφαρμογή εξωτερικής ανακυκλοφορίας, οδηγώντας μέρος των καυσαερίων που εξάγονται από τον κύλινδρο στον οχετό εισαγωγής μέσω ειδικής γραμμής, Σχήμα 4-20 : 3. Ανάλογα το σημείο λειτουργίας του κινητήρα, η κεντρική μονάδα (4) ελέγχει την βαλβίδα του συστήματος (5) και ρυθμίζοντας την ανοικτή διατομή. Μέρος των καυσαερίων (6) παρακάμπτεται από την ανοικτή διατομή (3) και αναμιγνύεται με τον εισερχόμενο φρέσκο αέρα.

Η ανακυκλοφορία καυσαερίου (Exhaust Gas Recirculation, EGR) εφαρμόζεται για την μείωση των εκπομπών  $\text{NO}_x$  και την βελτίωση της ειδικής κατανάλωσης.



Σχήμα 4-20 Ανακυκλοφορία καυσαερίου

Με την προσθήκη καυσαερίων στην γόμωση, μειώνεται η θερμοκρασία καύσης, που αποτελεί τον βασικό παράγοντα σχηματισμού  $\text{NO}_x$ .

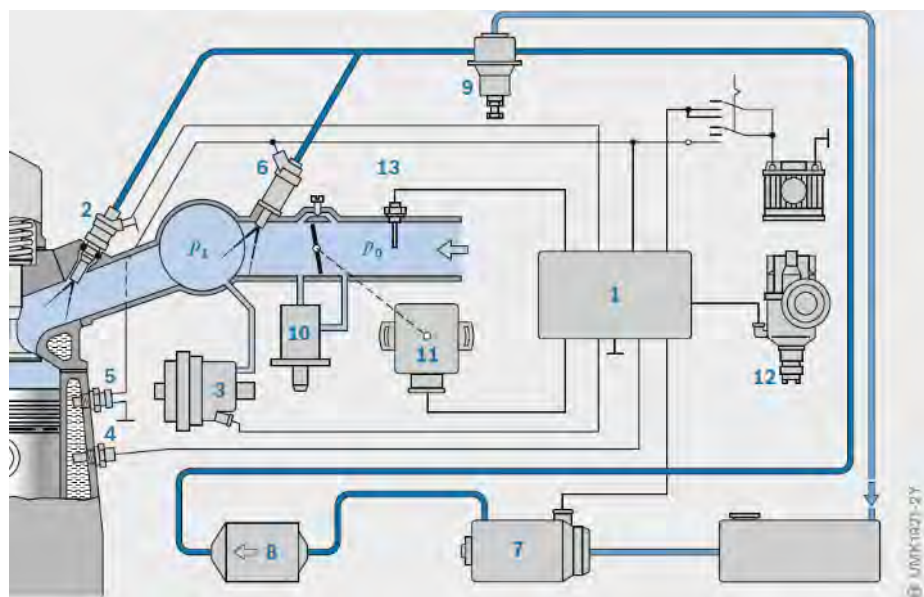
Επιπλέον η προσθήκη καυσαερίων στην γόμωση είναι ένας τρόπος ελέγχου της ποσότητας του φρέσκου αέρα, αντί του στραγγαλισμού με την πεταλούδα (2). Με αυτό τον τρόπο μειώνεται το έργο άντλησης αέρα και συνεπώς η ειδική κατανάλωση.

Στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού, η ανακυκλοφορία παίζει επιπλέον ρόλο στην μείωση των  $\text{NO}_x$ . Κατά την στρωματοποιημένη λειτουργία, νέφος με στοιχειομετρική αναλογία οδηγείται στην περιοχή του σπινθηριστή. Ο υπόλοιπος θάλαμος καταλαμβάνεται είτε από φρέσκο αέρα είτε από μίγμα αδρανών αερίων – φρέσκο αέρα αν εφαρμοστεί EGR. Αν ο θάλαμος καταλαμβάνεται μόνο από φρέσκο αέρα, τότε η συνολική σύνθεση στον θάλαμο είναι πολύ πτωχή (μεγάλο  $\lambda$ , λόγος αέρα/καυσίμου) και αρκετό οξυγόνο φεύγει με τα καυσαέρια. Σε αυτή την περίπτωση ο καταλύτης δεν μπορεί να μετατρέψει τα  $\text{NO}_x$  σε αβλαβή. Για τον ίδιο λόγο (ποσότητα οξυγόνου στα καυσαέρια) η ανακυκλοφορία καυσαερίου επιτρέπει την καύση πτωχού μίγματος με περιορισμένο οξυγόνο και στην ομοιογενή λειτουργία.

## 5. Συστήματα έγχυσης

Έτος	Σύστημα	Χαρακτηριστικά
1967	D-Jetronic	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Analog-technology multi-point injection system</li> <li>– Intermittent fuel injection</li> <li>– Intake-manifold-controlled</li> </ul>
1973	K-Jetronic	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mechanical-hydraulic multi-point injection system</li> <li>– Continuous fuel injection</li> <li>– Electronic multi-point injection system (initially analog, later digital technology)</li> </ul>
1973	L-Jetronic	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Intermittent fuel injection</li> <li>– Air-flow sensing</li> </ul>
1981	LH-Jetronic	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Electronic multi-point injection system</li> <li>– Intermittent fuel injection</li> <li>– Air-mass sensing</li> </ul>
1982	KE-Jetronic	<ul style="list-style-type: none"> <li>– K-Jetronic with electronically controlled additional functions</li> </ul>
1987	Mono-Jetronic	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Single-point injection system</li> <li>– Intermittent fuel injection</li> <li>– Air-flow calculation via throttle-valve angle and engine speed</li> </ul>

### 5.1 D-Jetronic



- |                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| 1 ECU                        | 8 Fuel filter             |
| 2 Fuel injector              | 9 Fuel-pressure regulator |
| 3 Pressure sensor            | 10 Auxiliary-air device   |
| 4 Coolant-temperature sensor | 11 Throttle-valve switch  |
| 5 Thermo-time switch         | 12 Injection trigger      |
| 6 Electric start valve       | 13 Air-temperature sensor |
| 7 Electric fuel pump         |                           |

Σχήμα 5-1 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος D-Jetronic

### 5.1.1. Επισκόπηση συστήματος

Το D-Jetronic, Σχήμα 5-1, είναι ένα σύστημα ψεκασμού που ελέγχεται από την πίεση του οχετού εισαγωγής και την ταχύτητα περιστροφής. Το πρόθεμα "D" προέρχεται από το γερμανικό "drucksensorge - steuert" που αποδίδεται ως «ελεγχόμενο από αισθητήρα πίεσης».

Η μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου (1) λαμβάνει σήματα:

- πίεσης του οχετού εισαγωγής,
- θερμοκρασίας οχετού εισαγωγής,
- θερμοκρασία ψυκτικού μέσου ή/και θερμοκρασία κυλινδροκεφαλής,
- θέση και κίνηση πεταλούδας,
- ταχύτητα περιστροφής και
- θέση έναρξης έγχυσης.

Από την επεξεργασία αυτών των σημάτων δημιουργούνται παλμοί που ελέγχουν τους εγχυτήρες καυσίμου (2).

Οι εγχυτήρες καυσίμου ψεκάζουν το καύσιμο στους οχετούς εισαγωγής των κυλίνδρων.

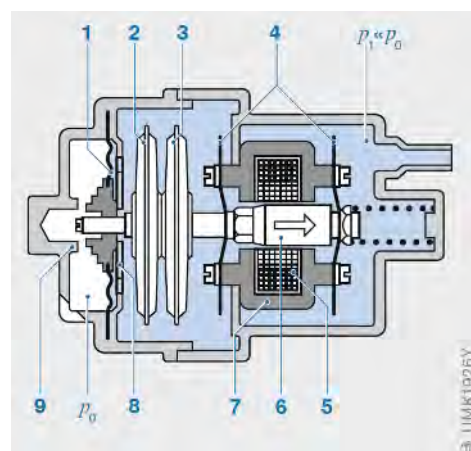
Ο αισθητήρας πίεσης (3) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του φορτίου.

Η ηλεκτρική βαλβίδα εκκίνησης (6) ψεκάζει επιπλέον καύσιμο μέχρι να αυξηθεί η θερμοκρασία της μηχανής, ελεγχόμενη από τον θερμικό - χρονικό διακόπτη (5)

Η ηλεκτρική αντλία (7) παρέχει συνεχώς καύσιμο στους εγχυτήρες. Το φίλτρο (8) και ο ρυθμιστής πίεσης (9) παρεμβάλλονται ανάμεσα στην αντλία και τους εγχυτήρες.

Η συσκευή βοηθητικού αέρα παρέχει επιπλέον αέρα κατά το ζέσταμα της μηχανής. Ο διακόπτης πεταλούδας παρέχει ανάδραση στην μονάδα ελέγχου για την θέση της πεταλούδας (άφορτη λειτουργία (ρελαντί) ή πλήρες φορτίο).

### 5.1.2. Τρόπος Λειτουργίας



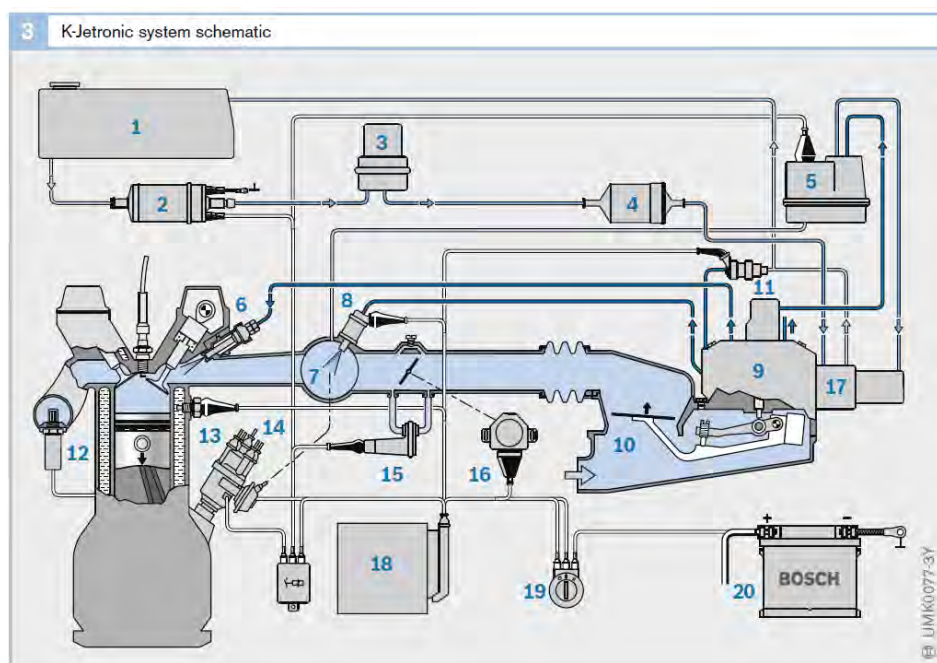
- 1 Diaphragm
  - 2 Aneroid capsule
  - 3 Aneroid capsule
  - 4 Leaf spring
  - 5 Coil
  - 6 Armature
  - 7 Core
  - 8 Part-load stop
  - 9 Full-load stop
- $p_0$  Atmospheric pressure  
 $p_1$  Pressure in the intake manifold

Σχήμα 5-2 Αισθητήρας πίεσης

Η πίεση στον οχετό εισαγωγής πριν την πεταλούδα είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Μετά την πεταλούδα, η πίεση είναι μικρότερη και αλλάζει ανάλογα την θέση της πεταλούδας. Η πίεση μετά την πεταλούδα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του φορτίου καθώς συσχετίζεται με τον όγκο αέρα που εισάγεται στην μηχανή.

Ο αισθητήρας πίεσης περιέχει δυο κυψέλες (2,3) (aneroid capsules) που κινούν τον οπλισμό πηνίου (6). Με την αύξηση της πίεσης, οι κυψέλες συμπιέζονται και ο οπλισμός μετακινείται εντός του πηνίου. Έτσι μετατρέπεται ο πνευματικός παλμός σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτό το ηλεκτρικό σήμα καθορίζει την διάρκεια ψεκασμού και συνεπώς την ποσότητα καυσίμου. Η θέση έναρξης του ψεκασμού καθορίζεται από μηχανικά, από την θέση εκκεντροφόρου.

## 5.2 K-Jetronic



- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1 Fuel tank          | 12 Lambda sensor                                     |
| 2 Electric fuel pump | 13 Thermo-time switch                                |
| 3 Fuel accumulator   | 14 Ignition distributor                              |
| 4 Fuel filter        | 15 Auxiliary-air device                              |
| 5 Warm-up regulator  | 16 Throttle-valve switch                             |
| 6 Fuel injector      | 17 Primary-pressure regulator                        |
| 7 Intake manifold    | 18 ECU (for version with lambda closed loop control) |
| 8 Cold-start valve   | 19 Ignition/starting switch                          |
| 9 Fuel distributor   | 20 Battery   |
| 10 Air-flow sensor   |  |
| 11 Timing valve      |  |

Σχήμα 5-3 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος K-Jetronic

### 5.2.1. Επισκόπηση Συστήματος

Το K-Jetronic είναι σύστημα που ελέγχει την έγχυση καυσίμου με μηχανικό – υδραυλικό τρόπο. Συναρτήσει της ποσότητας αέρα που εισάγεται στην

μηχανή, ρυθμίζει την ποσότητα καυσίμου και στην συνέχεια την ψεκάζει συνεχώς, χωρίς δηλαδή χρονικό έλεγχο, προς τις βαλβίδες εισαγωγής. Το πρόθεμα “K” προέρχεται από το γερμανικό Kontinuerlich, που αποδίδεται «συνεχώς»

Οι λειτουργικές συνθήκες απαιτούν διορθωτικές παρεμβάσεις στον σχηματισμό του μίγματος, τις οποίες το σύστημα μπορεί να επιβάλλει.

Το σύστημα ψεκασμού καυσίμου K-Jetronic καλύπτει τις ακόλουθες λειτουργικές περιοχές:

- Παροχή καυσίμου
- Μέτρηση ροής αέρα και
- Μέτρηση καυσίμου.

Ηλεκτρική αντλία (Σχήμα 5-3 : 2) αντλεί το καύσιμο από την δεξαμενή (1) σε έναν συσσωρευτή καυσίμου (3) σε πίεση μεγαλύτερη από 5 bar. Στην συνέχεια δια μέσω φίλτρου (4) οδηγείται στον διανομέα καυσίμου(9).

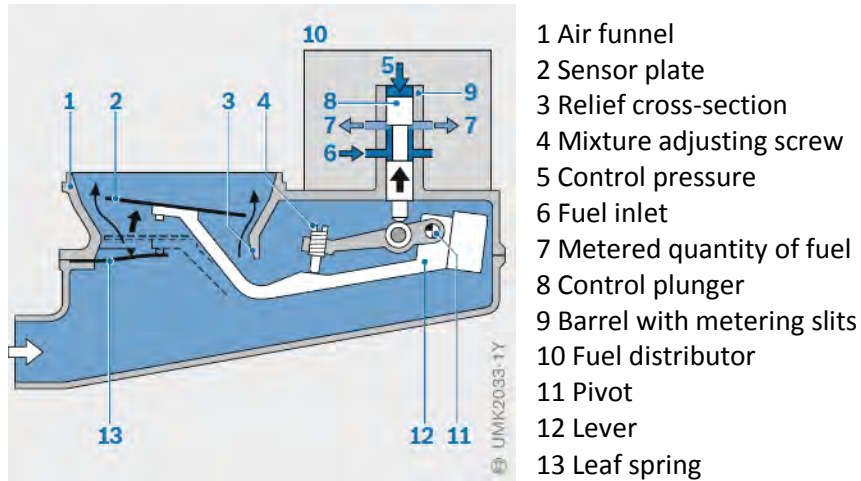
Ο ρυθμιστής πίεσης που είναι ενσωματωμένος στον διανομέα καυσίμου διατηρεί σταθερή πίεση 5 bar. Από τον διανομέα καυσίμου το καύσιμο ρέει στους εγχυτήρες (6).

Οι εγχυτήρες ψεκάζουν το καύσιμο συνεχόμενα στον οχετό εισαγωγής. Με το άνοιγμα της βαλβίδα το νέφος καυσίμου εισάγεται μαζί με τον αέρα. Το καύσιμο μείγμα δημιουργείται κατά την εισαγωγή στον κύλινδρο (swirl effect). Για την όποια θέση της πεταλούδας (16), η ποσότητα του αέρα που εισάγεται στην μηχανή, χρησιμοποιείται σαν κριτήριο για τον έλεγχο του καυσίμου του κάθε κυλίνδρου. Η ποσότητα του αέρα μετράται από αισθητήρα ροής αέρα (10), ο οποίος ελέγχει τον διανομέα καυσίμου. Ο ψεκασμός γίνεται συνέχεια, ανεξάρτητα από την κατάσταση της βαλβίδας εισαγωγής. Όσο η βαλβίδα είναι κλειστή το μίγμα «αποθηκεύεται» στον οχετό εισαγωγής.

### 5.2.2. Έλεγχος σύστασης μείγματος

Το σύστημα διαχείρισης καυσίμου ελέγχει την ποσότητα καυσίμου που αντιστοιχεί στην ποσότητα του αέρα. Ο έλεγχος της ποσότητας καυσίμου γίνεται από την μονάδα ελέγχου ανάμειξης. Αυτή αποτελείται από τον αισθητήρα ροής αέρα και τον διανομέα καυσίμου.

## 5.2.2.1. Αισθητήρας αέρα.



Σχήμα 5-4 Αισθητήρας ροής αέρα με ενεργοποιητή παροχής καυσίμου

Η ποσότητα του αέρα που εισροφά η μηχανή είναι μια ακριβής μέτρηση της ισχύος της. Ο αισθητήρας ροής αέρα, Σχήμα 5-4, εγκαθίσταται πριν την πεταλούδα.

Αποτελείται από έναν αγωγό αέρα (1) πάνω στον οποίο βρίσκεται ο κινούμενος αισθητήριο δίσκος (2).

Ο αέρας που ρέει διαμέσου του σωλήνα, μετακινεί τον αισθητήριο δίσκο κατά μια συγκεκριμένη απόσταση από την θέση αδράνειας.

Μοχλός (12) μεταφέρει την κίνηση από τον αισθητήριο δίσκο σε ένα έμβολο ελέγχου (8), το οποίο καθορίζει την βασικά αναγκαία ποσότητα καυσίμου προς ψεκασμό.

Ένα αντίβαρο αντισταθμίζει το βάρος της διάταξης αισθητηρίου δίσκου – μοχλού.

Ένα πλατύ ελατήριο (13) διασφαλίζει την θέση μηδενικής μετατόπισης.

## 5.2.2.2. Διανομέας Καυσίμου

Ανάλογα την θέση του αισθητηρίου δίσκου, ο διανομέας καυσίμου (10) ελέγχει την βασικά αναγκαία ποσότητα καυσίμου προς ψεκασμό.

Το έμβολο κινείται μέσα σε κύλινδρο με θυρίδες (9) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του καυσίμου. Ανάλογα την θέση του εμβόλου εντός του κυλίνδρου, οι θυρίδες αποκαλύπτονται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό.

Το καύσιμο ρέει από τις περιοχές των θυρίδων που δεν είναι καλυμμένες προς τις βαλβίδες διαφορικής πίεσης και από εκεί στους εγχυτήρες.

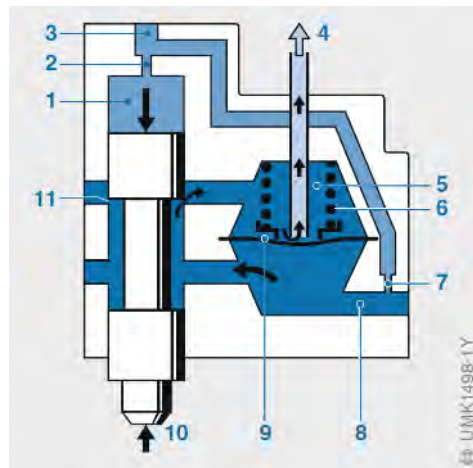
Αν η διαδρομή του δίσκου ελέγχου είναι μικρή, τότε το έμβολο ελέγχου είναι λίγο ανυψωμένο και συνεπώς η ροή του καυσίμου περιορίζεται στο μικρό άνοιγμα των θυρίδων.

Για μεγαλύτερη διαδρομή του δίσκου ελέγχου, το έμβολο ανοίγει μεγαλύτερη διατομή των θυρίδων και ρέει περισσότερο καύσιμο. Η θέση του



αισθητήριου δίσκου και η διατομή του ανοιχτού τμήματος των θυρίδων, σχετίζονται γραμμικά.

### 5.2.2.3. Βαλβίδες διαφορικής πίεσης



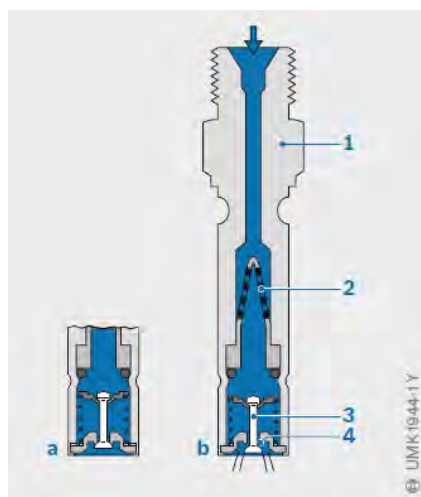
- 1 Control-pressure effect
- 12 Damping orifice
- 13 Line to warm-up regulator
- 14 To intake valve
- 15 Pressure in upper chamber
- 16 Control spring
- 17 Isolating throttle bore
- 18 Pressure in lower chamber
- 19 Diaphragm
- 10 Effect of air pressure via sensor-plate lever
- 11 Metering slits

Σχήμα 5-5 Βαλβίδα διαφορικής πίεσης

Οι βαλβίδες διαφορικής πίεσης, Σχήμα 5-5, του διανομέα καυσίμου εξασφαλίζουν σταθερή πτώση πίεσης του καυσίμου στις θυρίδες, ανεξαρτήτως του ανοίγματος των θυρίδων. Συνεπώς η πτώση πίεσης διατηρείται σταθερή ανεξαρτήτως της ποσότητας καυσίμου που ρέει. Αυτό επιτυγχάνεται διατηρώντας σταθερή την διαφορική πίεση των θαλάμων (5) και (8). Σαν βαλβίδα διαφορικής πίεσης χρησιμοποιείται βαλβίδα επίπεδης έδρασης, που ενεργοποιείται από το διάφραγμα που χωρίζει τους θαλάμους (5) και (8). Το διάφραγμα παραμορφώνεται από την διαφορά πίεσης, βοηθώντας στην εξισορρόπηση της.

Η πίεση ελέγχου δρα αντίθετα από την δύναμη που οφείλεται στον δίσκο ελέγχου του αέρα. Κατά την εκκίνηση με κρύα μηχανή, η πίεση ελέγχου είναι περίπου 0.5 bar. Καθώς η μηχανή θερμαίνεται, ο ρυθμιστής προθέρμανσης αυξάνει την πίεση ελέγχου περίπου 3.7 bar. Σε περίπτωση ταλάντωσης του δίσκου ελέγχου του αέρα, ο χώρος (1) που περιορίζεται από το στόμιο (2), λειτουργεί αποσβεστικά ως προς την κίνηση του εμβόλου. Το επίπεδο της πίεσης ελέγχου επηρεάζει την διανομή καυσίμου. Αν η πίεση είναι μικρή, ευνοεί την διέλευση καυσίμου, ενώ αν είναι μεγάλη την δυσχεραίνει.

## 5.2.3. Εγχυτήρες καυσίμου



- a In rest position
- b In actuated position
- 1 Valve housing
- 2 Filter
- 3 Valve needle
- 4 Valve seat

Σχήμα 5-6 Εγχυτήρας καυσίμου

Οι εγχυτήρες καυσίμου, Σχήμα 5-6, ανοίγουν σε συγκεκριμένη πίεση και ψεκάζουν το καύσιμο στον οχετό εισαγωγής. Η πίεση στην οποία ανοίγουν είναι της τάξης των 3.5 bar

Κατά την έγχυση καυσίμου η βελόνα της βαλβίδας (3) δονείται σε υψηλή συχνότητα. Όταν η πίεση του καυσίμου είναι μικρότερη από την πίεση ανοίγματος, τότε καθόλου καύσιμο δεν μπορεί να διαρρεύσει.

## 5.2.4. Προσαρμογή στις λειτουργικές συνθήκες

Η σύνθεση του μίγματος πρέπει να προσαρμόζεται στις λειτουργικές συνθήκες. Παρακάτω περιγράφεται ο μηχανισμός προσαρμογής για τις βασικές λειτουργικές συνθήκες:

Σχηματισμός βασικού μίγματος: Η κατάλληλη διαμόρφωση της κωνικότητας του σωλήνα του αισθητήρα αέρα επηρεάζει την θέση του αισθητήριου δίσκου σε διαφορετικές παροχές αέρα. Έτσι επιτυγχάνεται η ρύθμιση σε διάφορες θέσεις λειτουργίας, άφορτη, μερικό φορτίο, πλήρες φορτίο.

Εμπλουτισμός ψυχρής εκκίνησης: Η βαλβίδα ψυχρής εκκίνησης ψεκάζει επιπλέον καύσιμο για να αντισταθμίσει το καύσιμο που συμπυκνώνεται. Η λειτουργία της περιορίζεται από θερμοχρονικό διακόπτη. Ο θερμοχρονικός διακόπτης είναι ένα θερμαινόμενο διμεταλλικό έλασμα που ανοίγει και κλείνει ηλεκτρική επαφή.

Εμπλουτισμός προθέρμανσης: Η λειτουργία προθέρμανσης ρυθμίζεται από την πίεση ελέγχου (μονάδα ελέγχου μίγματος) που καθορίζεται από τον ρυθμιστή πίεσης ελέγχου. Όταν η μηχανή είναι κρύα ο ρυθμιστής μειώνει την πίεση ελέγχου και συνεπώς την αντίσταση που βρίσκει το έμβολο που αποκαλύπτει τις θυρίδες διέλευσης του καυσίμου.

Σταθεροποίηση κατά την άφορτη λειτουργία με ψυχρή μηχανή: Όταν είναι κρύα η μηχανή, ο αέρας μέσω της συσκευής βοηθητικού αέρα (15), παρακάμπτει την πεταλούδα και συνεπώς εισροφάται περισσότερος αέρας. Ο αισθητήρας αέρα λαμβάνει υπόψη αυτή την μεταβολή, παρέχοντας

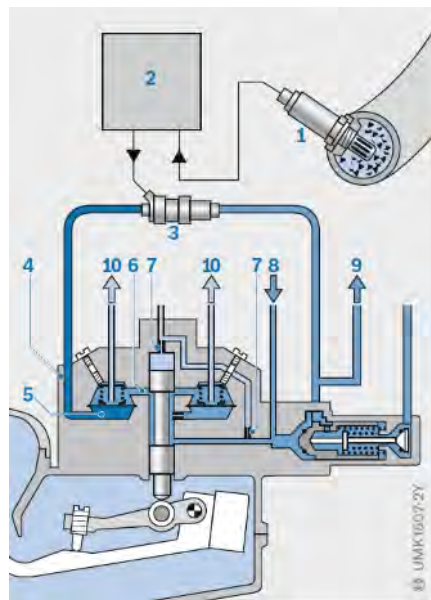
περισσότερο καύσιμο. Έτσι επιτυγχάνεται σταθερή άφορτη λειτουργία με ψυχρή μηχανή.

Εμπλουτισμός κατά την λειτουργία σε πλήρες φορτίο: Στις μηχανές που σε μερικό φορτίο λειτουργούν με φτωχό μίγμα, η κατάλληλη διαμόρφωση της κωνικότητας του σωλήνα του αισθητήρα αέρα, δεν αρκεί για την ρύθμιση κατάλληλης ποσότητας καυσίμου. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο ρυθμιστής πίεσης ελέγχου μειώνει την πίεσης ελέγχου συναρτήσει της πίεσης του οχετού εισαγωγής.

Μεταβατική απόκριση κατά την επιτάχυνση: Το άνοιγμα της πεταλούδας για την επιτάχυνση προκαλεί αύξηση του αέρα. Η θέση του αισθητήριου δίσκου μεταβάλλεται ανάλογα

Αποκοπή καυσίμου κατά την υπερτάχυνση: Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ενεργοποιείται και προκαλεί παράκαμψη του αισθητήρα αέρα. Ο αισθητήρας αέρα επανέρχεται στην θέση ισορροπίας και διακόπτεται η παροχή καυσίμου.

### 5.2.5. Έλεγχος λ κλειστού βρόγχου



- 1 Lambda sensor
- 2 ECU
- 3 Timing valve (variable restrictor)
- 4 Fuel distributor
- 5 Lower chambers of differential-pressure valves
- 6 Metering slits
- 7 Isolating throttle bore (fixed restrictor)
- 8 Fuel inlet
- 9 Fuel return
- 10 To fuel injector

Σχήμα 5-7 Έλεγχος λ κλειστού βρόγχου

Ο έλεγχος λ κλειστού βρόγχου που απαιτείται για την λειτουργία του τριοδικού καταλύτη καθιστά αναγκαία την ανάγκη ηλεκτρονικού ελέγχου (2).

Η μεταβλητή εισόδου της μονάδας ηλεκτρονικού ελέγχου είναι το σήμα που παρέχεται από τον αισθητήρα οξυγόνου (1).

Για την προσαρμογή της εγχέομενης ποσότητας καυσίμου έτσι ώστε το  $\lambda=1$ , η πίεση στον κάτω θάλαμο (5) του διανομέα καυσίμου (4) μεταβάλλεται.

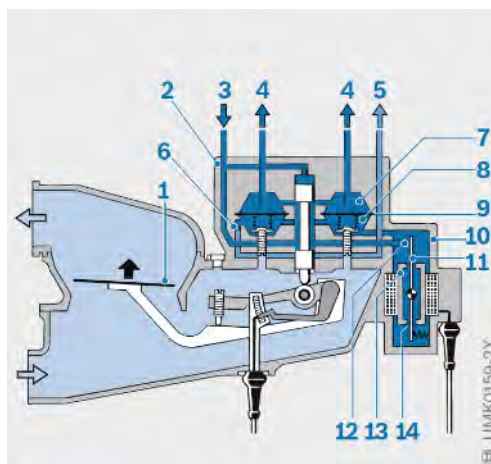
Αν, για παράδειγμα, μειωθεί η πίεση του κάτω θαλάμου, η διαφορική πίεση στις θυρίδες (6) αυξάνεται, προκαλώντας την αύξηση της εγχέομενης ποσότητας καυσίμου.

Για να είναι δυνατή η μεταβολή της πίεσης του κάτω θαλάμου, παρεμβάλλεται ένας περιοριστής (7) ανάμεσα στον κάτω θάλαμο και την

γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου. Επιπλέον τοποθετείται περιοριστής (3) ανάμεσα στον κάτω θάλαμο και την επιστροφή καυσίμου. Ο περιοριστής αυτός είναι μεταβλητής κατάστασης. Αν είναι κλειστός, η πίεση τροφοδοσίας αναπτύσσεται στον κάτω θάλαμο. Η ρυθμική εναλλαγή της κατάστασής του ρυθμίζει την πίεση στον κάτω θάλαμο στην αναγκαία τιμή. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα που εκτελεί αυτή την εργασία, ελέγχεται από το σήμα του αισθητήρα λ.

### 5.3 KE-Jetronic

Ο σχεδιασμός του συστήματος KE-Jetronic είναι όμοιος του K-Jetronic, με την διαφορά ότι η πίεση του κάτω θαλάμου ρυθμίζεται από ηλεκτροϋδραυλικό ρυθμιστή πίεσης, που είναι τοποθετημένος στον διανομέα καυσίμου. Αυτός ο ρυθμιστής ελέγχεται ηλεκτρονικά από την μονάδα ελέγχου.



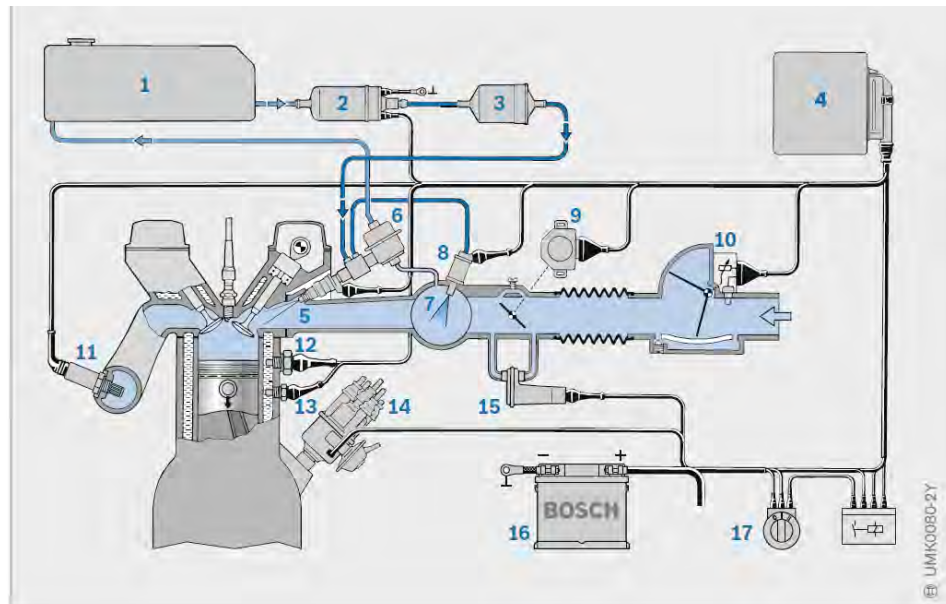
- 1 Sensor plate
- 2 Fuel distributor
- 3 Fuel inlet (primary pressure)
- 4 Fuel to fuel injectors
- 5 Fuel-return line to pressure regulator
- 6 Fixed restrictor
- 7 Upper chamber
- 8 Lower chamber
- 9 Diaphragm
- 10 Pressure actuator
- 11 Baffle plate
- 12 Nozzle
- 13 Magnetic pole
- 14 Air gap

Σχήμα 5-8 Ηλεκτροϋδραυλικός ενεργοποιητής πίεσης

### 5.4 L-Jetronic

#### 5.4.1. Επισκόπηση Συστήματος

Το L-Jetronic, Σχήμα 5-9, είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα έγχυσης καυσίμου. Το καύσιμο ψεκάζεται διαλειπτόμενα στον οχετό εισαγωγής. Η αντλία καυσίμου (2) παρέχει το καύσιμο στην μηχανή και δημιουργεί την αναγκαία πίεση για την έγχυση από τους εγχυτήρες (5) στον οχετό εισαγωγής του κάθε κυλίνδρου. Η μονάδα ελέγχου αξιολογεί τα σήματα από τους αισθητήρες και παράγει τους κατάλληλους παλμούς ελέγχου για τους εγχυτήρες. Η ποσότητα καυσίμου καθορίζεται από την διάρκεια της έγχυσης.



- |                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1 Fuel tank                        | 10 Air-flow sensor           |
| 2 Electric fuel pump               | 11 Lambda sensor             |
| 3 Fuel filter                      | 12 Thermo-time switch        |
| 4 ECU                              | 13 Engine-temperature sensor |
| 5 Fuel injector                    | 14 Ignition distributor      |
| 6 Fuel rail and pressure regulator | 15 Auxiliary-air device      |
| 7 Intake manifold                  | 16 Battery                   |
| 8 Cold-start valve                 | 17 Ignition/starting switch  |
| 9 Throttle-valve switch            |                              |

Σχήμα 5-9 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος L-Jetronic με έλεγχο λάμδα κλειστού βρόγχου

#### 5.4.2. Λήψη των λειτουργικών δεδομένων και έλεγχος ποσότητας καυσίμου

Οι αισθητήρες μετρούν την λειτουργική κατάσταση της μηχανής και παρέχουν ηλεκτρικά σήματα στην μονάδα ελέγχου. Οι βασικές μεταβλητές, που καθορίζουν τον βασικό χρόνο έγχυσης, είναι η ταχύτητα περιστροφής και η ποσότητα αέρα που εισροφάται από τον κύλινδρο. Η ταχύτητα περιστροφής λαμβάνεται από τον διανομέα ανάφλεξης ή από τον πολλαπλασιαστή και η ποσότητα αέρα από τον αισθητήριο δίσκο του αισθητήρα ροής αέρα.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, η μονάδα ελέγχου δημιουργεί σήματα που ελέγχουν τους εγχυτήρες. Η ποσότητα του εγχεόμενου καυσίμου ελέγχεται από την διάρκεια κατά την οποία οι εγχυτήρες είναι ανοικτοί. Ο λόγος αέρα καυσίμου μπορεί να διατηρηθεί σε  $\lambda=1$  μέσω κλειστού βρόγχου ελέγχου. Η μονάδα ελέγχου συγκρίνει το σήμα του αισθητήρα λάμδα με τιμή αναφοράς και αναπροσαρμόζει τους χρόνους έγχυσης.

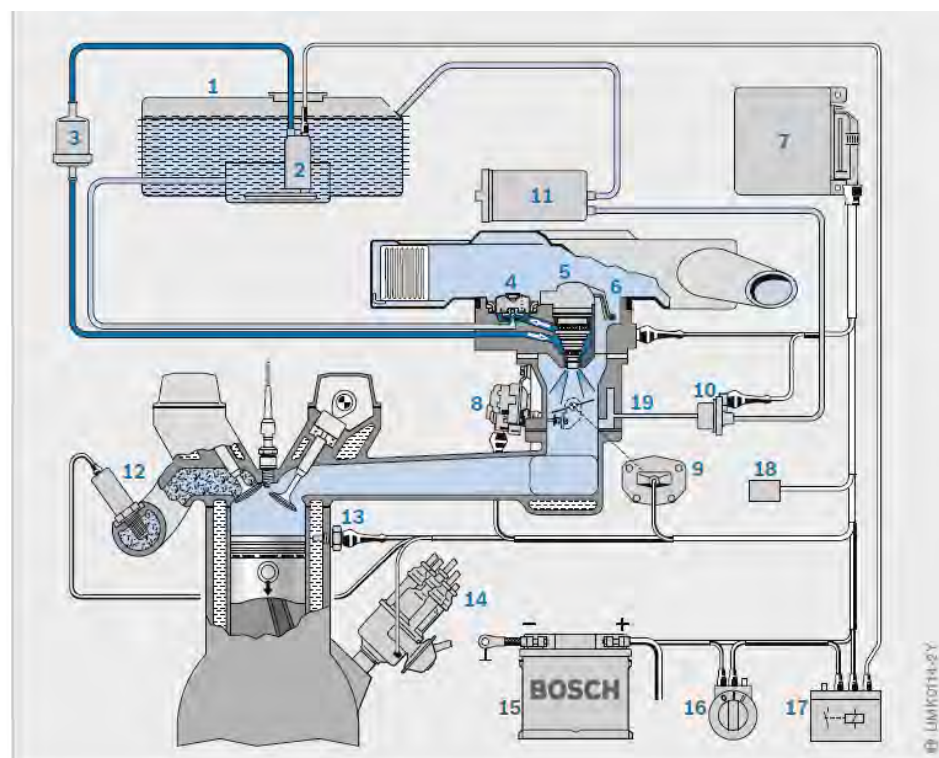
## 5.5 LH-Jetronic

Το σύστημα LH-Jetronic είναι όμοιο με το L-Jetronic, με διαφορά στον τρόπο μέτρησης της παροχής αέρα. Το σύστημα LH-Jetronic μετράει μάζα αέρα και συνεπώς το αποτέλεσμα είναι ανεξάρτητο από την πυκνότητά του και συνεπώς από την πίεση και θερμοκρασία του.

Η μέτρηση του αέρα γίνεται με αισθητήρα μάζα αέρα θερμού σύρματος ή θερμής μεμβράνης που τοποθετούνται ανάμεσα στο φίλτρο αέρα και την πεταλούδα.

## 5.6 Mono-Jetronic

### 5.6.1. Επισκόπηση Συστήματος



- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1 Fuel tank  | 10 Canister-purge valve      |
| 2 Electric fuel pump                               | 11 Carbon canister           |
| 3 Fuel filter                                      | 12 Lambda sensor             |
| 4 Pressure regulator                               | 13 Engine-temperature sensor |
| 5 Electromagnetic fuel injector                    | 14 Ignition distributor      |
| 6 Air-temperature sensor                           | 15 Battery                   |
| 7 ECU  | 16 Ignition/starting switch  |
| 8 Throttle-valve actuator                          | 17 Relay                     |
| 9 Throttle valve with throttle-valve potentiometer | 18 Diagnosis connection      |
|  | 19 Central injection unit    |

Σχήμα 5-10 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος Mono-Jetronic

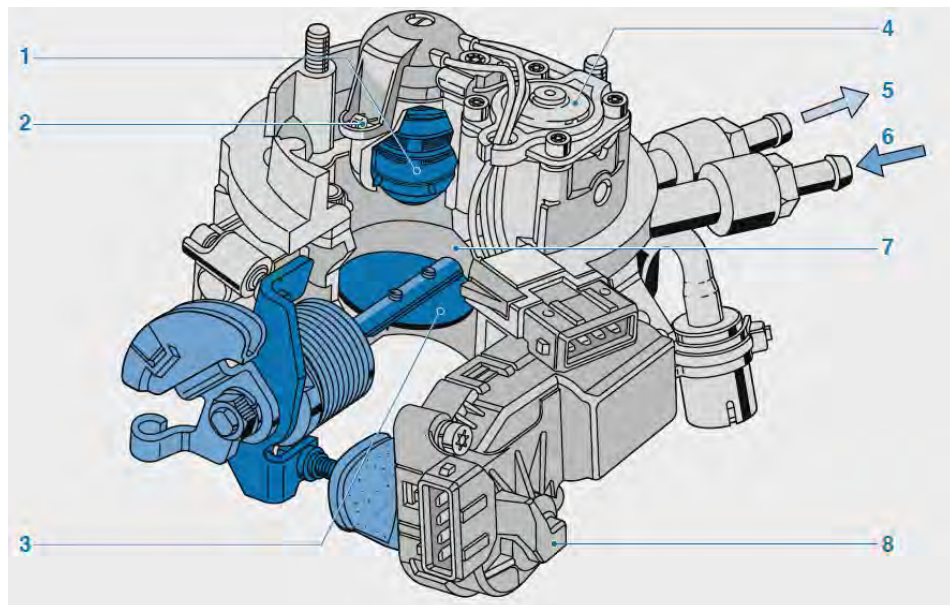
Το σύστημα Mono-Jetronic (Σχήμα 5-10) είναι ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο, σύστημα έγχυσης χαμηλής πίεσης για 4-κύλινδρες μηχανές με έναν μόνο ηλεκτρομαγνητικό εγχυτήρα που ψεκάζει κεντρικά, αντίθετα με τα συστήματα K-, KE-, L-, L3- and LH-Jetronic που έχουν έναν εγχυτήρα ανά κύλινδρο. Η έγχυση γίνεται διακοπτόμενα, πριν την πεταλούδα στραγγαλισμού.

Μέσω του οχετού εισαγωγής διανέμεται το καύσιμο στους κυλίνδρους. Για την προσαρμογή του μείγματος στις δεδομένες συνθήκες χρησιμοποιούνται αισθητήρες για λήψη σημάτων όπως τα ακόλουθα:

- Γωνία πεταλούδας στραγγαλισμού
- Ταχύτητα περιστροφής
- Θερμοκρασία μηχανής
- Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής
- Περιεχόμενο οξυγόνο στα καυσαέρια
- Ρυθμίσεις αυτόματου κιβωτίου
- Ρυθμίσεις βοηθητικών συστημάτων (AC κτλ)

Η κεντρική μονάδα ελέγχου επεξεργάζεται αυτά τα δεδομένα και υπολογίζει τα αντίστοιχα σήματα ενεργοποίησης, τα οποία τροφοδοτούν τον εγχυτήρα, την πεταλούδα στραγγαλισμού, και την βαλβίδα διαχείρισης ατμοποιημένου καυσίμου (10)

### 5.6.2. Κεντρική μονάδα έγχυσης



- |                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 Fuel injector           | 5 Fuel return                       |
| 2 Air-temperature sensor  | 6 Fuel inlet                        |
| 3 Throttle valve          | 7 Throttle-valve sensor (not shown) |
| 4 Fuel-pressure regulator | 8 Throttle-valve actuator           |

Σχήμα 5-11 Κεντρική μονάδα έγχυσης

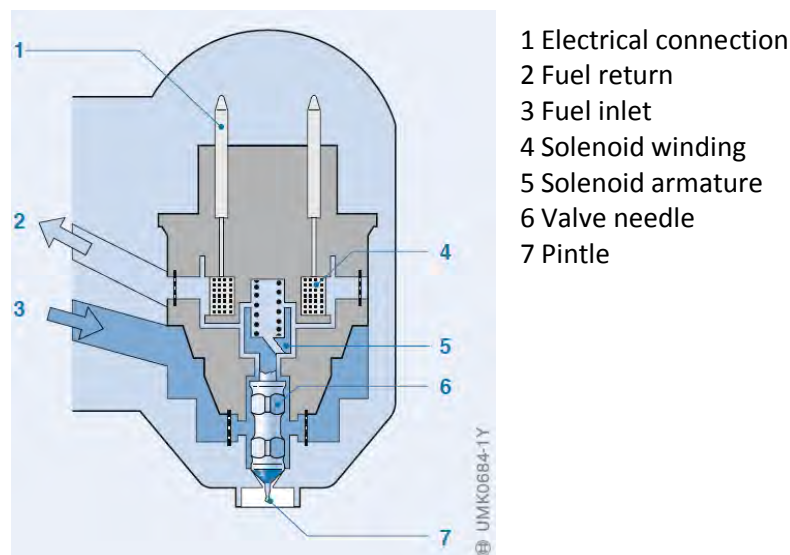
Η κεντρική μονάδα έγχυσης στηρίζεται απ' ευθείας στον οχετό εισαγωγής. Τροφοδοτεί την μηχανή με ατμοποιημένο καύσιμο σε ένα κεντρικό σημείο. Ο υπολογισμός της ποσότητας αέρα γίνεται με δεδομένα εισόδου την θέση της πεταλούδας και την ταχύτητα περιστροφής.

Το κάτω μέρος της μονάδας αποτελείται από την πεταλούδα στραγγαλισμού (3) και τον αισθητήρα θέσης της. Το άνω τμήμα στεγάζει το σύστημα καυσίμου, αποτελούμενο από τον εγχυτήρα (1), τον ρυθμιστή πίεσης (4) και

τις διελεύσεις καυσίμου (5,6). Επιπλέον στον άνω τμήμα στεγάζεται και αισθητήρας θερμοκρασίας.

Το καύσιμο ρέει προς τον εγχυτήρα από την διέλευση (6). Η διέλευση (5) επικοινωνεί με τον κάτω θάλαμο του ρυθμιστή πίεσης, απ' όπου η περίσσεια καυσίμου διοχετεύεται στην επιστροφή μέσω βαλβίδας. Το καύσιμο χωρίζεται σε δυο ροές, η μία εκ των οποίων ψύχει τον εγχυτήρα.

### 5.6.3. Εγχυτήρας Καυσίμου



Σχήμα 5-12 Εγχυτήρας Καυσίμου

Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες του συστήματος είναι η ομοιόμορφη κατανομή του μίγματος αέρα/καυσίμου σε όλους τους κυλίνδρους. Εκτός από τον σχεδιασμό του σχετού εισαγωγής, η κατανομή εξαρτάται κυρίως από την θέση του εγχυτήρα και από την ποιότητα της παρασκευής του μίγματος αέρα καυσίμου.

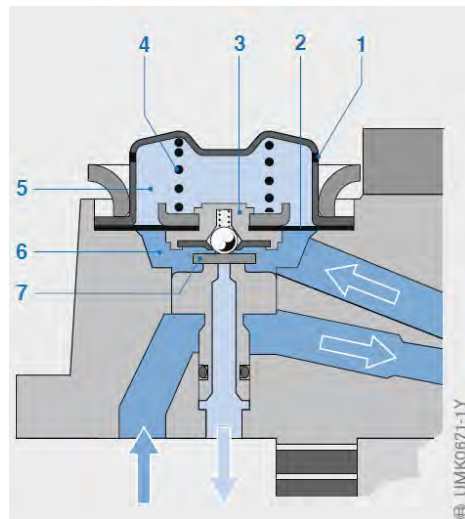
Η τοποθέτηση του εγχυτήρα πάνω από την πεταλούδα στραγγαλισμού και η έγχυση υπό την μορφή κωνικής δέσμης εξασφαλίζει ότι το μίγμα αναμιγνύεται επαρκώς με τον αέρα.

Ο εγχυτήρα αποτελείται από την φέρουσα κατασκευή και την βαλβίδα. Στην φέρουσα κατασκευή περιλαμβάνεται η περιέλιξη του πηνίου (4) και η ηλεκτρική σύνδεση (1). Η βαλβίδα αποτελείται από την βελόνα (6) και τον οπλισμό. (5). Όταν δεν εφαρμόζεται τάση, το ελικοειδές ελατήριο σε συνδυασμό με την πίεση του συστήματος διατηρεί κλειστή την βαλβίδα. Όταν το πηνίο ενεργοποιείται η βελόνα ανυψώνεται κατά περίπου 0.06mm και το καύσιμο ρέει από το κενό. Το σχήμα της κορυφής της βαλβίδας που προεξέχει από το σώμα διευκολύνει την ατμοποίηση.

Η ποσότητα που ψεκάζεται εξαρτάται από τα σταθερά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και από τον χρόνο που παραμένει ανοικτή η βαλβίδα. Όμως επειδή ο χρόνος ανύψωσης και κλεισίματος εξαρτάται από την τάση της μπαταρίας, αυτή η παράμετρος λαμβάνεται υπόψη από την μονάδα επεξεργασίας.



## 5.6.4. Ρυθμιστής πίεσης



- 1 Venting ports
- 2 Diaphragm
- 3 Valve holder
- 4 Pressure spring
- 5 Upper chamber
- 6 Lower chamber
- 7 Valve plate

Σχήμα 5-13 Ρυθμιστής πίεσης

Ο ρυθμιστής πίεσης καυσίμου διατηρεί σταθερή διαφορά πίεσης 1bar μεταξύ πίεσης καυσίμου και ατμοσφαιρικής.

Είναι τοποθετημένος στο υδραυλικό τμήμα της κεντρικής μονάδας έγχυσης.

Ο ρυθμιστής χωρίζεται από συνθετική μεμβράνη στο κάτω θάλαμο στον οποίο βρίσκεται το καύσιμο υπό πίεση (6) και στον άνω θάλαμο (5) όπου ένα ελατήριο (4) υποστηρίζει την μεμβράνη.

Ένας κινητός δίσκος (7), που συνδέεται στο διάφραγμα μέσω στηρίγματος (3) πιέζεται από το ελατήριο.

Όταν η δύναμη που οφείλεται στην πίεση του καυσίμου πάνω στο διάφραγμα υπερβαίνει την δύναμη του ελατηρίου, ο δίσκος της βαλβίδας ανυψώνεται ελαφρώς, επιτρέποντας στο καύσιμο να περάσει από την ανοικτή διατομή και να επιστρέψει στην δεξαμενή καυσίμου.

Σε αυτή την κατάσταση ισορροπίας η διαφορική πίεσης μεταξύ των θαλάμων του ρυθμιστή είναι 1bar. Οι θυρίδες εξαερισμού διατηρούν την πίεσης του θαλάμου με το ελατήριο στην ατμοσφαιρική πίεση, που είναι ίση με την πίεση στην θέση του εγχυτήρα. Η ανύψωση της βαλβίδας ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα διανομής και την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου. Χάρη στην σταθερή διαφορική πίεση, η ποσότητα έγχυσης εξαρτάται μόνο από τον χρόνο έγχυσης, τον χρόνο δηλαδή που ο εγχυτήρας είναι ανοικτός σε κάθε παλμός οδήγησης.

## 6. Συστήματα παροχής καυσίμου

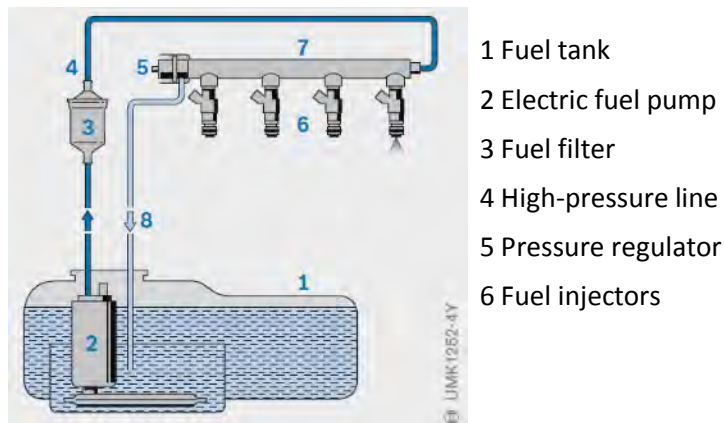
### 6.1 Παροχή καυσίμου για έγχυση στον οχετό εισαγωγής

Ηλεκτρική αντλία διανέμει το καύσιμο και αναπτύσσει την πίεση ψεκασμού, η οποία για τον ψεκασμό στον οχετό είναι περίπου 3-4bar. Η πίεση στο κύκλωμα καυσίμου αποτρέπει την ατμοποίηση καυσίμου. Ανεπίστροφη βαλβίδα ενσωματωμένη στην βαλβίδα αποτρέπει την επιστροφή καυσίμου και συνεπώς διατηρεί την πίεση στο κύκλωμα, για κάποιον χρόνο, μέχρι να κρυώσει, αφού η αντλία έχει απενεργοποιηθεί. Αυτό αποτρέπει την ατμοποίηση στο σύστημα καυσίμου δεδομένου ότι όταν απενεργοποιείται η μηχανή το σύστημα καυσίμου είναι ακόμα θερμό.

Οι σημαντικότερες απαιτήσεις επιδόσεων από τις αντλίες είναι οι ακόλουθες:

- Παροχή 60-250 l/h
- Πίεση 3-7 bar
- Λειτουργία από το 50..60% της ονομαστικής τάσης λειτουργίας

#### 6.1.1. Συστήματα με επιστροφή καυσίμου

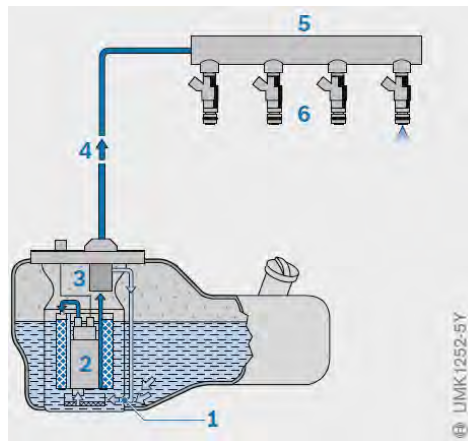


Σχήμα 6-1 Σύστημα παροχής καυσίμου με επιστροφή

Το καύσιμο απάγεται από την δεξαμενή (Σχήμα 6-1 : 1) , διέρχεται από το φίλτρο προς την γραμμή υψηλής πίεσης απ' όπου ρέει στην στον διακλαδωτήρα καυσίμου (7). Ο διακλαδωτήρας παρέχει το καύσιμο στους εγχυτήρες (6). Μηχανικός ρυθμιστής πίεσης (5) εγκατεστημένος πάνω στον διακλαδωτήρα. Διατηρεί σταθερή διαφορική πίεσης μεταξύ του καυσίμου και του οχετού εισαγωγής ανεξαρτήτως της πίεσης του οχετού και συνεπώς ανεξαρτήτως του φορτίου.

Η περίσσεια καυσίμου αποχετεύεται μέσω της γραμμής επιστροφής στην δεξαμενή. Το καύσιμο που επιστρέφει στην δεξαμενή είναι θερμό και αυξάνει σταδιακά την θερμοκρασία του καυσίμου στην δεξαμενή. Ατμοί καυσίμου σχηματίζονται εντός της δεξαμενής, οι οποίοι διοχετεύονται στο σύστημα ελέγχου ατμοποιημένων εκπομπών.

## 6.1.2. Συστήματα χωρίς επιστροφή καυσίμου



- 1 Suction-jet pump for tank filling
- 2 Electric fuel pump with fuel filter
- 3 Fuel-pressure regulator
- 4 High-pressure line
- 5 Fuel rail
- 6 Fuel injectors

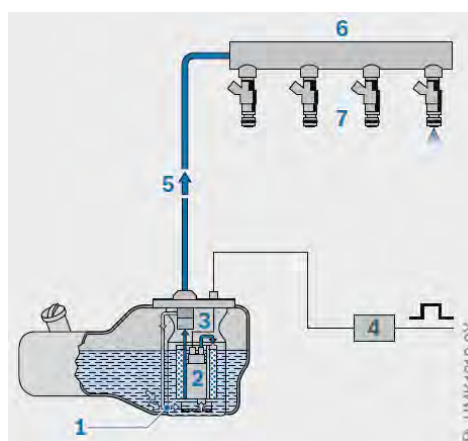
Σχήμα 6-2 Σύστημα παροχής καυσίμου χωρίς επιστροφή

Στο σύστημα με επιστροφή καυσίμου ο ρυθμιστής πίεσης (Σχήμα 6-2 : 3) βρίσκεται εντός της δεξαμενής ή κοντά της. Συνεπώς γραμμή επιστροφής δεν είναι αναγκαία.

Η αναφορά του ρυθμιστή πίεσης δεν είναι η πίεση του οχετού εισαγωγής και συνεπώς η πίεση ψεκασμού δεν σχετίζεται με το φορτίο της μηχανής. Γι' αυτό το λόγο, η ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου γίνεται μέσω ρύθμισης της διάρκειας ψεκασμού.

Στον διακλαδωτήρα οδηγείται ακριβώς η ποσότητα καυσίμου προς ψεκασμό. Η περίσσεια καυσίμου που αντλεί η αντλία, που απορρίπτεται από τον ρυθμιστή πίεσης επιστρέφει στην δεξαμενή. Επειδή ο ρυθμιστής βρίσκεται εντός της δεξαμενής, αποφεύγεται η θέρμανση του καυσίμου. Οι ατμοποιημένες εκπομπές είναι περιορισμένες. Λόγω αυτού του πλεονεκτήματος τα συστήματα χωρίς επιστροφή χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά.

## 6.1.3. Συστήματα ελεγχόμενα από την ζήτηση



- 1 Suction-jet pump for tank filling
- 2 Electric fuel pump with fuel filter
- 3 Pressure-relief valve and pressure sensor
- 4 Clock module for controlling electric fuel pump

Σχήμα 6-3 Σύστημα παροχής καυσίμου ελεγχόμενο από την ζήτηση

Στα συστήματα ελεγχόμενα από την ζήτηση η αντλία (2) αντλεί μόνο την αναγκαία ποσότητα καυσίμου για την ανάπτυξη της αναγκαίας πίεσης. Ο έλεγχος της πίεσης γίνεται μέσω κλειστού βρόγχου ελέγχου. Η πίεση

καυσίμου μετράται από αισθητήρα. Σε αυτή την περίπτωση δεν χρησιμοποιείται μηχανικός ρυθμιστής πίεσης.

Εφαρμόζεται βαλβίδα εκτόνωσης για την αποφυγή αύξησης της πίεσης.

Σαν αποτέλεσμα του ελέγχου από την ζήτηση δεν συμπιέζεται περισσότερο καύσιμο από αυτό που απαιτείται, με το αντίστοιχο ενεργειακό όφελος.

Επιπλέον δεν υπάρχει γραμμή επιστροφής καυσίμου και έτσι αποφεύγεται η θέρμανση της δεξαμενής και συνεπώς οι εκπομπές ατμοποιημένου καυσίμου.

Άλλο πλεονέκτημα του συστήματος ελεγχόμενου από την ζήτηση είναι η ευελιξία της ρύθμισης της πίεσης έγχυσης. Στην θερμή εκκίνηση αυξάνεται η πίεση για την αποφυγή δημιουργία φυσαλίδων ατμού. Από την ρύθμιση της πίεσης καθορίζεται σε συνδυασμό με την διάρκεια ψεκασμού και η ποσότητα καυσίμου, συνεπώς παρέχεται μεγαλύτερη ευελιξία ως προς την ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου.

## 6.2 Συστήματα παροχής καυσίμου για άμεσο ψεκασμό

Στον άμεσο ψεκασμό η έγχυση του καυσίμου γίνεται εντός του θαλάμου καύσης σε συγκεκριμένη θέση του κύκλου και συγκεκριμένη διάρκεια. Για να επιτευχθεί αυτή η χρονική ακρίβεια και να ικανοποιηθεί ο χρονικός περιορισμός, η έγχυση γίνεται με καύσιμο σε πολύ υψηλή πίεση.

Οι αντλίες υψηλής πίεσης, λόγω της κατασκευής τους, απαιτούν στην είσοδο καύσιμο ήδη υπο πίεση. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται δυο κυκλώματα, χαμηλής και υψηλής πίεσης.

### 6.2.1. Κύκλωμα χαμηλής πίεσης

Το κύκλωμα χαμηλής πίεσης για τα συστήματα άμεσου ψεκασμού χρησιμοποιεί τεχνολογία όμοια με των συστημάτων ψεκασμού στον οχετό εισαγωγής. Οι αντλίες υψηλής πίεσης απαιτούν υψηλή πίεση εισόδου για τον περιορισμό δημιουργίας φυσαλίδων ατμού κατά την θερμή εκκίνηση και την λειτουργία σε υψηλή θερμοκρασία. Γι' αυτό το λόγο προτιμώνται συστήματα μεταβλητής πίεσης όπως το σύστημα ελεγχόμενο από την ζήτηση. Έτσι η πίεση εισόδου της αντλίας υψηλής πίεσης μεταβάλλεται ανάλογα το σημείο λειτουργίας.

### 6.2.2. Κύκλωμα υψηλής πίεσης

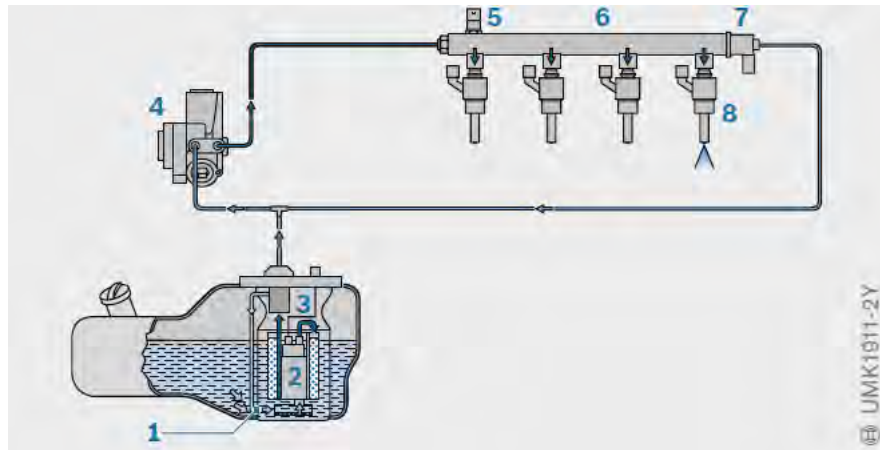
Το σύστημα υψηλής πίεσης αποτελείται από

- Αντλία υψηλής
- Διακλαδωτήρα καυσίμου
- Αισθητήρα πίεσης
- Βαλβίδα ελέγχου της πίεσης (σε κάποιες περιπτώσεις)
- Βαλβίδα περιορισμού της πίεσης (σε κάποιες περιπτώσεις)

Η 1<sup>η</sup> γενιά συστημάτων χρησιμοποιεί αντλίες συνεχούς διανομής και αντλίες ελεγχόμενες από την ζήτηση ενώ η 2<sup>η</sup> γενιά μόνο αντλίες ελεγχόμενες από την ζήτηση

Ανάλογα το σημείο λειτουργία η πίεση του κυκλώματος υψηλής πίεσης είναι 50-120 Bar ενώ στην 2<sup>η</sup> γενιά έως και 200 bar. Οι εγχυτήρες είναι στερεωμένοι απευθείας πάνω στον διακλαδωτήρα καυσίμου.

### 6.2.2.1. Σύστημα συνεχούς διανομής



- |                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1 Suction-jet pump                    | 5 High-pressure sensor         |
| 2 Electric fuel pump with fuel filter | 6 Fuel rail                    |
| 3 Pressure regulator                  | 7 Pressure-control valve       |
| 4 HDP1 high-pressure pump             | 8 High-pressure fuel injectors |

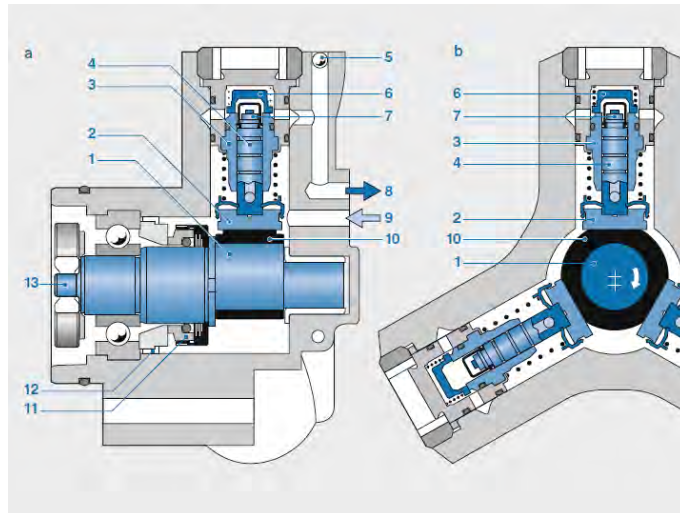
Σχήμα 6-4 Παροχή καυσίμου για άμεση έγχυση: σύστημα συνεχούς διανομής

Η αντλία υψηλής πίεσης (Σχήμα 6-4 : 4) οδηγείται από εκκεντροφόρο και παρέχει καύσιμο υπο πίεση στον διακλαδωτήρα (6).

Η ποσότητα διανομής είναι σταθερή. Η περίσσεια καυσίμου, έτσι ώστε η πίεση να είναι η επιθυμητή, απορρέει από την βαλβίδα ελέγχου πίεσης (7) και επιστρέφει στο κύκλωμα χαμηλής πίεσης.

Η βαλβίδα ελέγχου της πίεσης ελέγχεται από την ECU έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή πίεσης στο κύκλωμα υψηλής πίεσης. Η βαλβίδα ελέγχου πίεσης λειτουργεί και μηχανικά σαν βαλβίδα περιορισμού πίεσης.

Στα συστήματα συνεχούς διανομής σπαταλάται ενέργεια για την άντληση καυσίμου το οποίο στην συνέχεια απορρέει. Κατά την απορροή αυξάνεται η θερμοκρασία του κυκλώματος χαμηλής πίεσης. Γι' αυτούς τους λόγους προτιμώνται τα συστήματα ελεγχόμενα από την ζήτηση.



- |   |   |
|---|---|
| 1 Eccentric cam                           | 8 High-pressure connection to fuel rail |
| 2 Slipper                                 | 9 Fuel inlet (low pressure)             |
| 3 Pump barrel                             | 10 Cam ring                             |
| 4 Pump piston (hollow piston, fuel inlet) | 11 Axial face seal                      |
| 5 Sealing ball                            | 12 Static seal                          |
| 6 Outlet valve                            | 13 Drive shaft                          |
| 7 Inlet valve                             |   |

*Σχήμα 6-5 Αντλία υψηλής πίεσης συνεχούς διανομής*

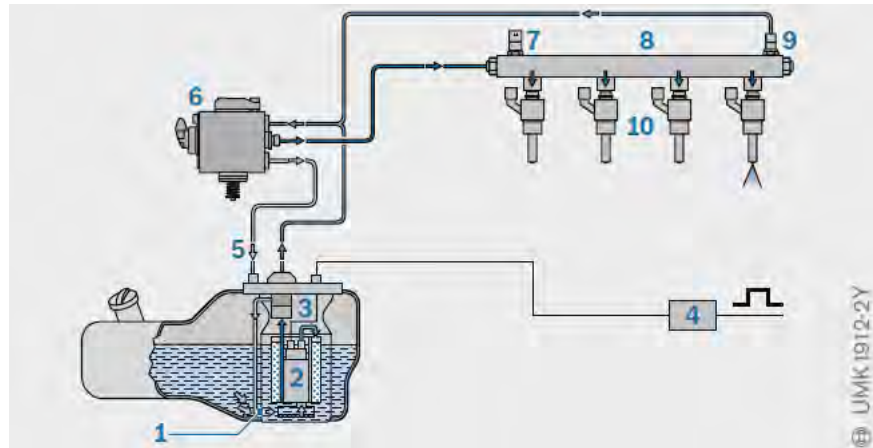
Στο Σχήμα 6-5 απεικονίζεται η αντλία υψηλής πίεσης για την συνεχή διανομή. Πρόκειται για ακτινική εμβολοφόρο αντλία με τρεις κυλίνδρους.

Άξονας (13), οδηγείται από τον εκκεντροφόρο και περιστρέφει έκκεντρο (1). Η περιστροφική κίνηση μετατρέπεται σε παλινδρομική στα έμβολα (4). Το καύσιμο εισρέει από την είσοδο (9) στα έμβολα μέσω θυρίδων.

Ο συγκεκριμένος τύπος παρέχει ποσότητα καυσίμου ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής. Οι διαδοχικοί εμβολισμοί των τριών εμβόλων εξασφαλίζουν συνεχή διανομή καυσίμου με μικρές μόνο διακυμάνσεις πίεσης.

Βαλβίδα ελέγχου πίεσης, εγκατεστημένη στο διακλαδωτήρα καυσίμου, αποσυμπιέζει την περίσσεια καυσίμου και επιστρέφει το καύσιμο στην εισαγωγή.

## 6.2.2.2. Σύστημα ελεγχόμενο από τη ζήτηση



- |   |  |
|---|--|
| 1 Suction-jet pump                                | 6 High-pressure pump   |
| 2 Electric fuel pump with fuel filter             | 7 High-pressure sensor   |
| 3 Pressure-relief valve and pressure sensor       | 8 Fuel rail  |
| 4 Clock module for controlling electric fuel pump | 9 Pressure-limiting valve (in 2nd gen. integrated in high pressure pump) |
| 5 Leakage line (omitted from 2nd gen.)            | 10 High-pressure fuel injectors  |

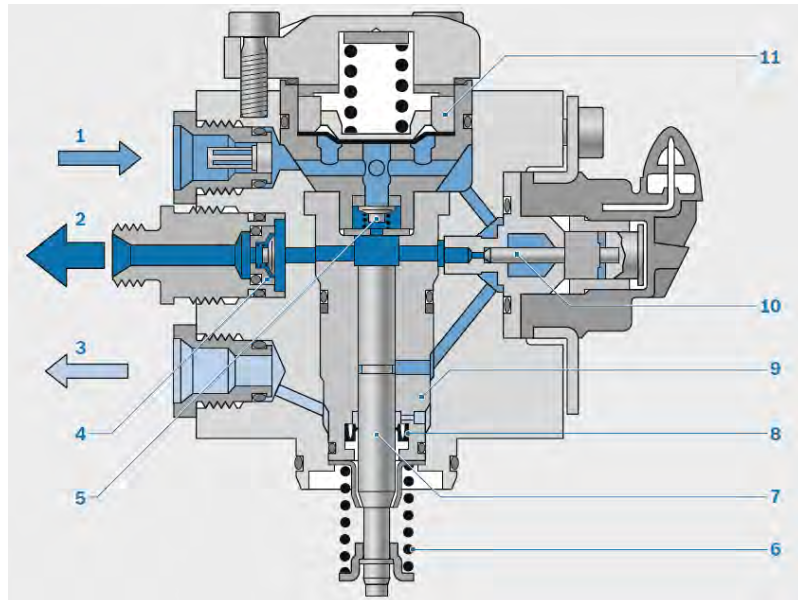
Σχήμα 6-6 Παροχή καυσίμου για άμεση έγχυση: σύστημα ελεγχόμενο από την ζήτηση

Στα συστήματα ελεγχόμενα από την ζήτηση η αντλία υψηλής πίεσης διανέμει μόνο την ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για τον ψεκασμό και την διατήρηση της πίεσης.

Η ποσότητα καυσίμου ελέγχεται από την ECU περιορίζοντας την τροφοδοσία της αντλίας.

Για λόγους ασφαλείας τοποθετείται μηχανική βαλβίδα περιορισμού της πίεσης. Η βαλβίδα αυτή τοποθετείται πάνω στον διακλαδωτήρα στα συστήματα 1<sup>η</sup> γενιάς και πάνω στην αντλία για τα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς. Αν η πίεση υπερβεί το όριο, τότε το καύσιμο επιστρέφει στο κύκλωμα χαμηλής πίεσης.

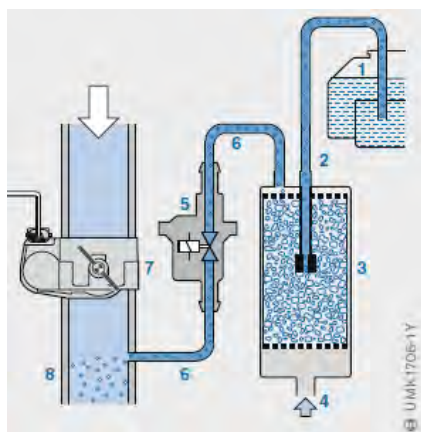
Στο Σχήμα 6-7 απεικονίζεται η αντλία υψηλής πίεσης. Πρόκειται για μονοκύλινδρη αντλία οδηγούμενη από 2 ή 3 έκκεντρα του εκκεντροφόρου. Λειτουργεί με λάδι. Το καύσιμο που παρέχεται από την ηλεκτρική αντλία οδηγείται στον κεντρικό θάλαμο μέσω της βαλβίδας εισαγωγής (5). Ο χρόνος διανομής, κατά την φάση συμπίεσης του εμβόλου, περιορίζεται από την βαλβίδα ελέγχου παροχής (10), η οποία ανοίγει, διακόπτοντας την διανομή όταν καθορισμένη ποσότητα έχει αντληθεί. Έτσι παροχή της αντλίας είναι ελεγχόμενη. Ο εξομαλυντής πίεσης (11) εξομαλύνει την πίεσης απορροφώντας τις διακυμάνσεις μεταξύ των φάσεων κίνησης του εμβόλου.



- |   |                              |                |
|---|------------------------------|----------------|
| 1 Fuel inlet (low pressure)             | 6 Plunger spring             | ■ Υψηλή πίεσης |
| 2 High-pressure connection to fuel rail | 7 Pump plunger               | ■ Χαμηλή πίεση |
| 3 Leakage return                        | 8 Plunger seal               | ■ Επιστροφές   |
| 4 Outlet valve                          | 9 Pump barrel                |                |
| 5 Inlet valve                           | 10 Fuel-supply control valve |                |
|   | 11 Pressure attenuator       |                |

Σχήμα 6-7 Αντλία υψηλής πίεσης συστήματος ελεγχόμενου από την ζήτηση

### 6.3 Σύστημα ελέγχου ατμοποιημένων εκπομπών



- |                           |
|---------------------------|
| 1 Fuel tank               |
| 2 Fuel-tank vent line     |
| 3 Carbon canister         |
| 4 Fresh air               |
| 5 Canister-purge valve    |
| 6 Line to intake manifold |
| 7 Throttle valve          |
| 8 Intake manifold         |

Σχήμα 6-8 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ατμοποιημένων εκπομπών

Τα οχήματα με κινητήρα βενζίνης είναι εφοδιασμένα με σύστημα ελέγχου των ατμοποιημένων εκπομπών για την αποφυγή διαρροών ατμών βενζίνης στο περιβάλλον. Ο εκπομπές ατμοποιημένων εκπομπών ελέγχονται από τους κανονισμούς.

Ο ατμός οδηγείται μέσω γραμμής από την δεξαμενή (1) στο δοχείο άνθρακα (3). Ο ενεργοποιημένος άνθρακας απορροφά το καύσιμο και επιτρέπει τον καθαρό αέρα να διαρρεύσει στο περιβάλλον μέσω θυρίδας (4).



Για να εξασφαλιστεί ότι το δοχείο έχει δυνατότητα απορρόφησης, γίνεται περιοδικά αναγέννηση του. Για αυτόν τον σκοπό το δοχείο συνδέεται με τον οχετό εισαγωγής. Όταν δοθεί εντολή από την ECU ανοίγει η βαλβίδα (5) και φρέσκος αέρας εισέρχεται μέσω του ανοίγματος (4) προς τον οχετό εισαγωγής παρασέρνοντας το παγιδευμένο καύσιμο.

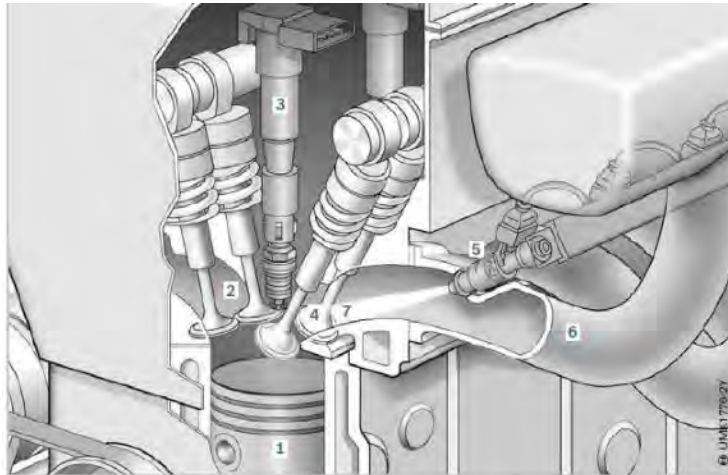
Ατμοί δημιουργούνται όταν:

- Το καύσιμο στην δεξαμενή ζεσταίνεται, από επιστροφή θερμού καυσίμου ή από το σύστημα απαγωγής καυσαερίων λόγω εγγύτητας.
- Όταν είναι χαμηλή η ατμοσφαιρική πίεση.

## 7. Έγχυση καυσίμου στο οχετό εισαγωγής

### 7.1 Εισαγωγή

Στους κινητήρες έναυσης με σπινθηρισμό, η παροχή καυσίμου μπορεί να γίνει με έγχυση στον οχετό εισαγωγής. Μηχανικά ελεγχόμενα συστήματα δεν εφαρμόζονται πλέον σε νέες εφαρμογές. Αντίθετα εφαρμόζεται η ηλεκτρονικά ελεγχόμενη έγχυση καυσίμου πολλαπλών σημείων. Εγχυτήρας, ηλεκτρικά ελεγχόμενος, εγχέει καύσιμο στην θέση πριν τις βαλβίδες εισαγωγής του κάθε κυλίνδρου, την κατάλληλη στιγμή του κύκλου και για διάρκεια ανάλογη της ποσότητας του καυσίμου που πρέπει να εγχυθεί, Σχήμα 7-1.

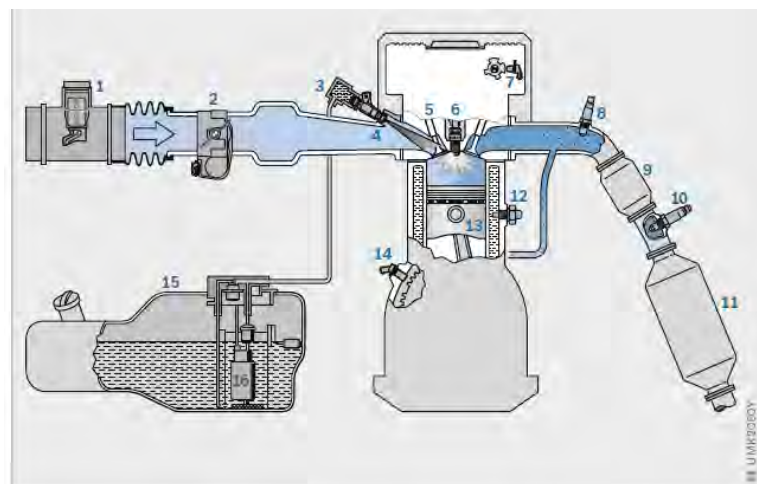


- 1 Cylinder with piston
- 2 Exhaust valves
- 3 Ignition coil with spark plug
- 4 Intake valves
- 5 Fuel injector
- 6 Intake manifold
- 7 Intake passage

Σχήμα 7-1 Έγχυση στον οχετό εισαγωγής

### 7.2 Αρχές λειτουργία

#### 7.2.1. Δημιουργία μίγματος αέρα/καυσίμου



- |   |   |
|---|---|
| 1 Hot-film air-mass meter                               | 9 Primary catalytic converter           |
| 2 Throttle device                                       | 10 Lambda sensor                        |
| 3 Fuel rail   | 11 Main catalytic converter (three-way) |
| 4 Fuel injector   | 12 Engine-temperature sensor            |
| 5 Intake valve  | 13 Cylinder with piston                 |
| 6 Spark plug  | 14 Speed sensor                         |
| 7 Camshaft phase sensor                                 | 15 Fuel tank                            |
| 8 Lambda sensor upstream of primary catalytic converter | 16 Electric fuel pump                   |

Σχήμα 7-2 Εξαρτήματα συστήματος έγχυσης στον οχετό εισαγωγής

Ηλεκτρική αντλία (Σχήμα 7-2 : 16) διανέμει το καύσιμο στους εγχυτήρες (5), οι οποίοι εγχέουν το καύσιμο διακοπτόμενα στο οχετό εισαγωγής ή στη θέση των βαλβίδων. Ο σχηματισμός του μίγματος αρχίζει έξω από τον θάλαμο καύσης. Μετά την έγχυση, στον χρόνο εισαγωγής, το μίγμα αέρα/καυσίμου ρέει δια μέσου των βαλβίδων στον κύλινδρο. Το μίγμα πρέπει να έχει την κατάλληλη σύσταση, που καθορίζεται από την ποσότητα αέρα και την ποσότητα καυσίμου.

### 7.2.1. Μέτρηση της μάζας αέρα

Η μονάδα ελέγχου καθορίζει την ποσότητα του αέρα ορίζοντας την θέση της πεταλούδας στραγγαλισμού (2). Για την εκτίμηση της ποσότητας αέρα που τελικά εισέρχεται, χρησιμοποιείται αισθητήρας μάζας αέρα (1). Εναλλακτικά χρησιμοποιείται αισθητήρας πίεσης από τον οποίο και σε συσχέτιση με την θέση της πεταλούδας και την ταχύτητα περιστροφής, εκτιμάται η μάζα αέρα. Από την μάζα αέρα καθορίζεται η ποσότητα καυσίμου.

### 7.2.2. Διάρκεια έγχυσης

Η ποσότητα καυσίμου καθορίζεται βασικά από την διάρκεια έγχυσης. Εξαρτάται από την διατομή του εγχυτήρα, την συμπεριφορά του κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο και από την διαφορά πίεσης μεταξύ του οχετού εισαγωγής και την πίεσης καυσίμου.

## 7.3 Μείωση εκπομπών

Οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της διεργασίας της καύσης, παράγοντας περιορισμένες μη-επεξεργασμένες (πριν τον καταλύτη) εκπομπές ρύπων. Με τον ηλεκτρονικό έλεγχο, εγχέεται η ακριβής ποσότητα καυσίμου, σε σχέση με τον εισαγόμενο αέρα, ελέγχεται με ακρίβεια η στιγμή της έναυσης και η ενεργοποίηση όλων των περιφερειακών, για κάθε σημείο λειτουργίας της μηχανής.

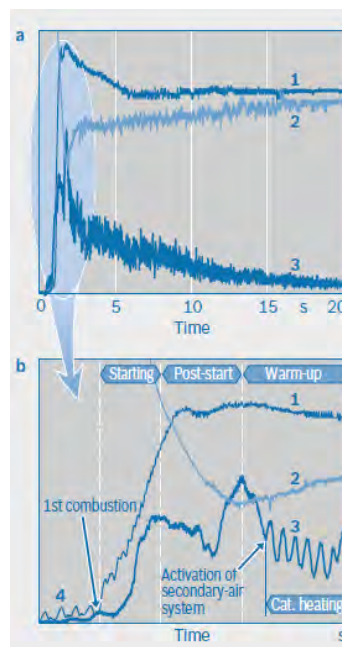
### 7.3.1. Μέτρα εφαρμοζόμενα στην μηχανή

Τα ακόλουθα μέτρα εφαρμόζονται για την μείωση των μη-επεξεργασμένων εκπομπών ρύπων:

- Βελτιστοποίηση γεωμετρίας θαλάμου καύσης
- Εφαρμογή πολλαπλών βαλβίδων
- Μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων
- Βελτιστοποίηση θέση σπινθηριστή
- Αύξηση της συμπίεσης
- Ανακυκλοφορία καυσαερίων

### 7.3.2. Ψυχρή εκκίνηση

Εκτός από τα γενικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών, υπάρχει η ανάγκη αντιμετώπισης των αυξημένων εκπομπών κατά την ψυχρή εκκίνηση. Η ψυχρή εκκίνηση διακρίνεται στις ακόλουθες φάσεις, Σχήμα 7-3.



Qualitative progression  
 a Up to approx. 20 secs.  
 b Extract after engine start

1 Engine speed  
 2 Lambda  
 3 Untreated exhaust gas (HC concentration)

Σχήμα 7-3 Φάσεις της ψυχρής εκκίνησης

**Φάση εκκίνησης:** Η φάση της εκκίνησης διαρκεί από την πρώτη καύση μέχρι την επίτευξη σταθερής ταχύτητας περιστροφής. Απαιτείται μεγάλη ποσότητα καυσίμου, έως και τετραπλάσια της ποσότητας πλήρους φορτίου.

**Φάση μετά την εκκίνηση:** Η ποσότητα καυσίμου σταδιακά μειώνεται σε συνάρτηση της θερμοκρασίας.

**Φάση προθέρμανσης:** Παραμένει η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της μηχανής.

### 7.3.3. Προβλήματα και αντιμετώπιση αυξημένων εκπομπών κατά την ψυχρή εκκίνηση

Όταν η μηχανή είναι κρύα το καύσιμο δεν ατμοποιείται ειδικά κοντά στα κρύα τοιχώματα όπου το μέτωπο καύσης δεν προσεγγίζει. Έτσι, στην φάση εξαγωγής εξέρχεται άκαυστο καύσιμο. Για αντιστάθμιση εγχέεται μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου.

Οι παραπάνω συνθήκες οδηγούν σε δραματική αύξηση των εκπομπών υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, ο καταλύτης, όσο η θερμοκρασία του είναι μικρότερη από 300°C, δεν μετατρέπει τους ρύπους. Γι' αυτόν το λόγο απαιτείται η λήψη μέτρων για την ταχεία προθέρμανση του καταλύτη. Σε αυτά, περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

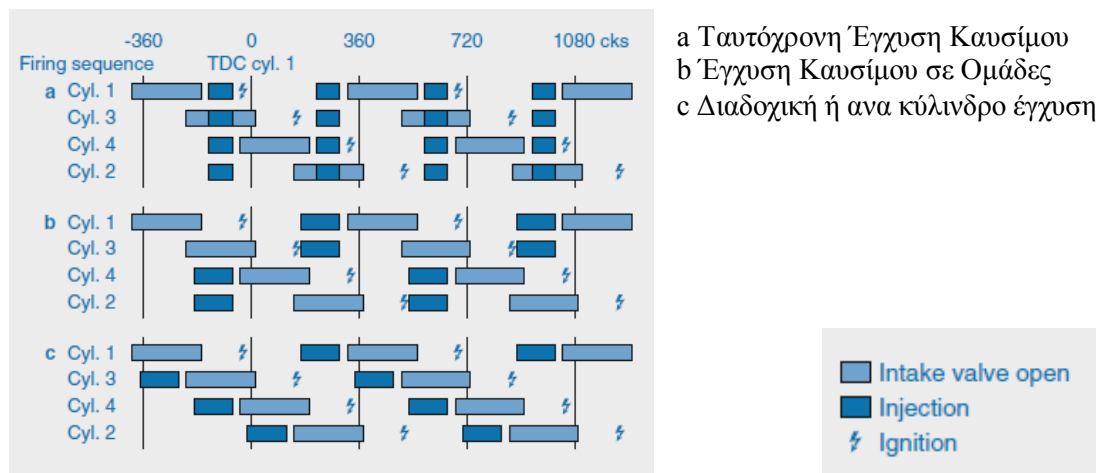
- Καθυστέρηση της έναυσης για την παραγωγή μεγαλύτερης μάζας και θερμότερων καυσαερίων. Πρακτικά πρόκειται για μείωση της απόδοσης της μηχανής, με απόρριψη ενέργειας μέσω των καυσαερίων.
- Εγγύτητα του καταλύτη στην μηχανή.
- Αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων με θερμική επεξεργασία εκμεταλλευόμενη το περιεχόμενο καύσιμο.

## 7.4 Καθορισμός θέσης έναυσης

Εκτός από την διάρκεια της έγχυσης, που σχετίζεται με την ποσότητα καυσίμου, η στιγμή της έγχυσης είναι μια παράμετρος με μεγάλη σημασία. Επηρεάζει την ειδική κατανάλωση καυσίμου και τα επίπεδα εκπομπών. Η θέση έναυσης ορίζεται σε όρους γωνίας στροφάλου.

Η θέση έναυσης διακρίνεται σε σχέση με την γωνία στην οποία ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής στην *έγχυση πριν την εισαγωγή*, κατά την οποία η έγχυση έχει ολοκληρωθεί όταν ανοίξει η βαλβίδα, και στην *έγχυση ταυτόχρονα με την εισαγωγή*, που γίνεται ενώ είναι ανοικτή η βαλβίδα.

Άλλη διάκριση γίνεται ως προς την θέσης έγχυσης στον κάθε κύλινδρο ως προς τους υπόλοιπους. Τρεις βασικές περιπτώσεις απεικονίζονται στο Σχήμα 7-4, και περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.



Σχήμα 7-4 Τύποι έγχυσης ως προς την σχετική τους θέση

### 7.4.1. Ταυτόχρονη έγχυση

Όλοι οι εγχυτήρες ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα. Ο διαθέσιμος χρόνος για την προετοιμασία του μίγματος διαφέρει μεταξύ των κυλίνδρων. Για τον καλύτερο σχηματισμό μίγματος σε όλους τους κυλίνδρους, η έγχυση γίνεται σε δυο δόσεις, μια σε κάθε περιστροφή του της τετράχρονης λειτουργίας. Σε αυτή την περίπτωση δεν γίνεται να αποφευχθεί η έγχυση σε ανοικτή βαλβίδα σε κάποιους κυλίνδρους.

### 7.4.2. Έγχυση σε ομάδες

Οι εγχυτήρες σχηματίζουν δύο ομάδες. Η κάθε ομάδα εγχέει την συνολική ποσότητα καυσίμου ανά δυο περιστροφές. Σε αυτή την περίπτωση αποφεύγεται η έγχυση σε ανοικτή βαλβίδα, και επιτρέπει καλύτερη ρύθμιση του χρονισμού ως προς το σημείο λειτουργίας του κινητήρα.

### 7.4.3. Διαδοχική έγχυση

Στην διαδοχική έγχυση το καύσιμο εγχέεται ανεξάρτητα σε κάθε κύλινδρο. Τα διάφορα διαθέσιμα συστήματα διαφοροποιούνται ως προς την δυνατότητά τους να ρυθμίζεται η γωνία και διάρκεια έγχυσης ξεχωριστά για κάθε κύλινδρο. Αυτό είναι ευνοϊκό χαρακτηριστικό στις περιπτώσεις που

παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στην γεωμετρία του οχετού' εισαγωγής του κάθε κυλίνδρου.

### 7.5 Σχηματισμός μίγματος

Οι σχηματισμός του μίγματος αρχίζει με την έγχυση του καυσίμου, συνεχίζει κατά την συμπίεση και διαρκεί μέχρι την έναυση. Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την ατμοποίηση και την ομογενοποίηση είναι:

- Η θερμοκρασία της μηχανής
- Το μέγεθος σταγονιδίων
- Η στιγμή της έγχυσης
- Η στόχευση της δέσμης καυσίμου
- Οι ροές αέρα

Ο στόχος είναι η ύπαρξη ομοιογενούς μίγματος μέσα στο θάλαμο την στιγμή της έναυσης.

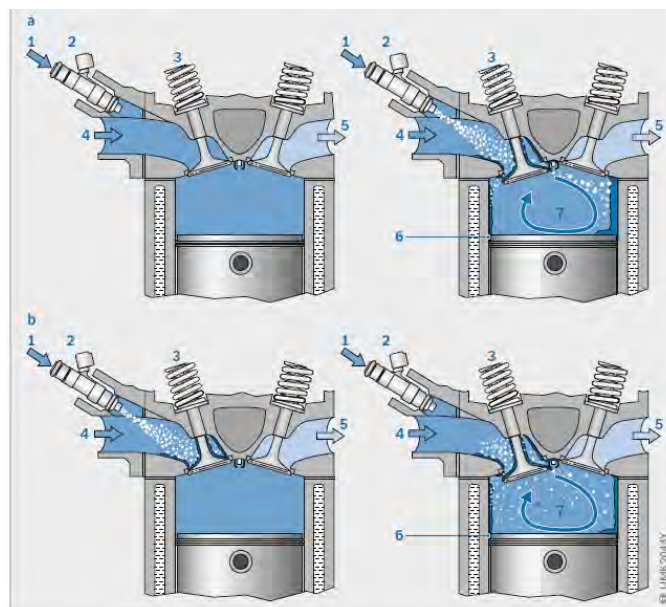
#### 7.5.1. Πρωταρχικό σταγονίδιο δέσμης

Η δέσμη καυσίμου την στιγμή που εξέρχεται από τον εγχυτήρα αποτελείται από "πρωταρχικά σταγονίδια". Το μικρό μέγεθος σταγονιδίου ευνοεί την εξάτμιση.

Όταν η μηχανή είναι κρύα, η ατμοποίηση συμβαίνει κυρίως εντός του θαλάμου. Το καύσιμο αποτίθεται στα τοιχώματα και εισέρχεται στον θάλαμο κατά την εισαγωγή με την ροή αέρα.

Όταν η μηχανή είναι ζεστή, ένα τμήμα καυσίμου ατμοποιείται ενώ βρίσκεται ακόμα στον οχετό.

#### 7.5.2. Θέση έγχυσης



a. έγχυση ταυτόχρονα με την εισαγωγή  
b. έγχυση πριν την εισαγωγή

Σχήμα 7-5 Ροή του μίγματος στον θάλαμο καύσης

Η θέση της έγχυσης παίζει σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό του μίγματος και στις εκπομπές υδρογονανθράκων.

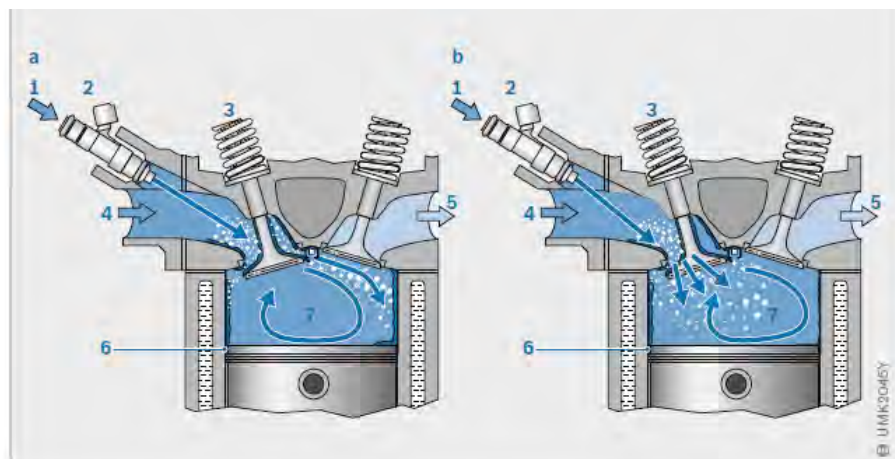
Στην έγχυση ταυτόχρονα με την εισαγωγή, τμήμα της δέσμης καυσίμου προσκρούει το τοίχωμα του κυλίνδρου στην πλευρά της βαλβίδας εξαγωγής (Σχήμα 7-5 a). Αν η μηχανή είναι κρύα αυτή η ποσότητα καυσίμου θα επικαθίσει στο τοίχωμα, δεν θα ατμοποιηθεί και θα φύγει από τον θάλαμο άκαυστη, αυξάνοντας τις εκπομπές υδρογονανθράκων. Συνεπώς η έγχυση ταυτόχρονα με την εισαγωγή αποφεύγεται στην κρύα μηχανή.

Αντίθετα, η έγχυση ταυτόχρονα με την εισαγωγή σε θερμή μηχανή έχει εφαρμογή στα υψηλά φορτία, γιατί δίνει την δυνατότητα αύξησης της μάζας της γόμωσης. Επιπλέον το καύσιμο που ατμοποιείται εντός του θαλάμου απορροφά θερμότητα και συνεπώς ψύχει το μείγμα αυξάνοντας την αντοχή του σε πυραναφλέξεις.

Με την έγχυση πριν την εισαγωγή μειώνονται σημαντικά οι ρύποι κατά την λειτουργία με ψυχρή μηχανή και γενικότερα ευνοείται η ομογενοποίηση του μίγματος.

### 7.5.3. Στόχευση δέσμης

Στο Σχήμα 7-6, παρουσιάζεται η επίδραση της θέσης στόχευσης του εγχυτήρα. Στην περίπτωση (α) ο εγχυτήρας στοχεύει στην βάση της βαλβίδας. Σε αυτή την περίπτωση το καύσιμο εισάγεται πιο διατεταγμένα και δεν ευνοείται η διασπορά του ενώ είναι πιθανότερο να επικαθίσει στα τοιχώματα. Αντίθετα στην περίπτωση (β), που η στόχευση δεν γίνεται στην έδραση της βαλβίδας αλλά παράπλευρα, ευνοείται η διασπορά του καυσίμου. Όμως σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει μια υστέρηση κατά την μεταβατική λειτουργία (αύξηση ή μείωση φορτίου) καθώς το καύσιμο που εναποτίθεται στα τοιχώματα του οχετού εισαγωγής εισέρχεται σταδιακά. Στην λειτουργία σταθερής κατάστασης δημιουργείται ισορροπία ανάμεσα στο καύσιμο που εναποτίθεται και στο καύσιμο που εισέρχεται.



a Central spray targeting onto intake valves  
b Optimal spray targeting

Σχήμα 7-6 Στόχευση δέσμης

#### 7.5.4. Ροές αέρα

Οι ροές αέρα επηρεάζονται έντονα από την ταχύτητα περιστροφής, την γεωμετρία της εισαγωγής και το προφίλ ανύψωσης της βαλβίδας. Έντονη ροή βοηθά την ομογενοποίηση του μίγματος.

#### 7.5.5. Δευτερογενής προετοιμασία μίγματος

Αν την στιγμή που ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής, η πίεση του οχετού εισαγωγής είναι πολύ μεγαλύτερη από την πίεση του θαλάμου καύσης, το μίγμα αέρα/καυσίμου και το καύσιμο που έχει επικαθίσει στον οχετό, θα εισέλθουν στον θάλαμο με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Αντίθετα, αν η πίεση του θαλάμου είναι μεγαλύτερη, τότε τα θερμά καυσαέρια θα κατευθυνθούν προς τον οχετό εισαγωγής. Σε αυτή την περίπτωση ευνοείται η επικάθιση καυσίμου στα τοιχώματα του οχετού αλλά ταυτόχρονα ευνοείται η ατμοποίηση του καυσίμου. Αυτή η πρακτική έχει εφαρμογή κατά την ψυχρή εκκίνηση.

### 7.6 Έναυση ομοιογενούς μίγματος αέρα/καυσίμου

Κατά την έναυση ιδανικά το μείγμα αέρα/καυσίμου είναι πλήρως ομογενοποιημένο. Η καύση του μίγματος αρχίζει από ηλεκτρικό σπινθήρα. Το περιβάλλον μίγμα αέρα/ ατμοποιημένου καυσίμου θερμαίνεται έντονα και αρχίζει επιταχυνόμενη αλυσιδωτή αντίδραση. Η θερμοκρασία αυξάνει γρήγορα και δημιουργείται μέτωπο φλόγας.

Η έναυση εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

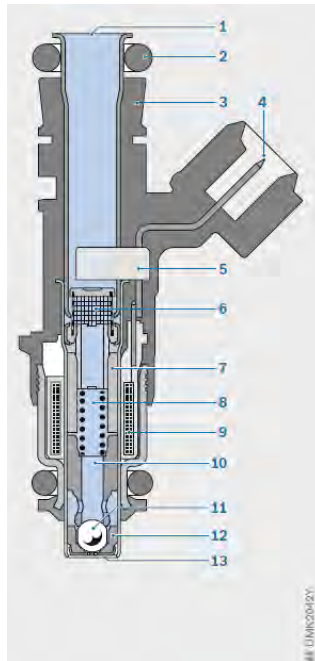
- Ενέργεια έναυσης
- Διάρκεια σπινθηρισμού
- Συνθήκες ροής στην περιοχή του σπινθηριστή
- Λόγος αέρα/καυσίμου
- Γεωμετρία σπινθηριστή και θέση του στον θάλαμο καύσης

### 7.7 Ηλεκτρομαγνητικοί εγχυτήρες

#### 7.7.1. Αρχή λειτουργίας

Στο Σχήμα 7-7 απεικονίζεται η δομή του ηλεκτρομαγνητικού εγχυτήρα. Όταν το πηνίο (9) διαρρέεται από ρεύμα αναπτύσσεται μαγνητικό πεδίο. Υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου ο σπλισμός (10) υπερνικά την δύναμη του ελατηρίου (8) και κινείται ανοδικά. Το καύσιμο ρέει από το στόμιο (13).





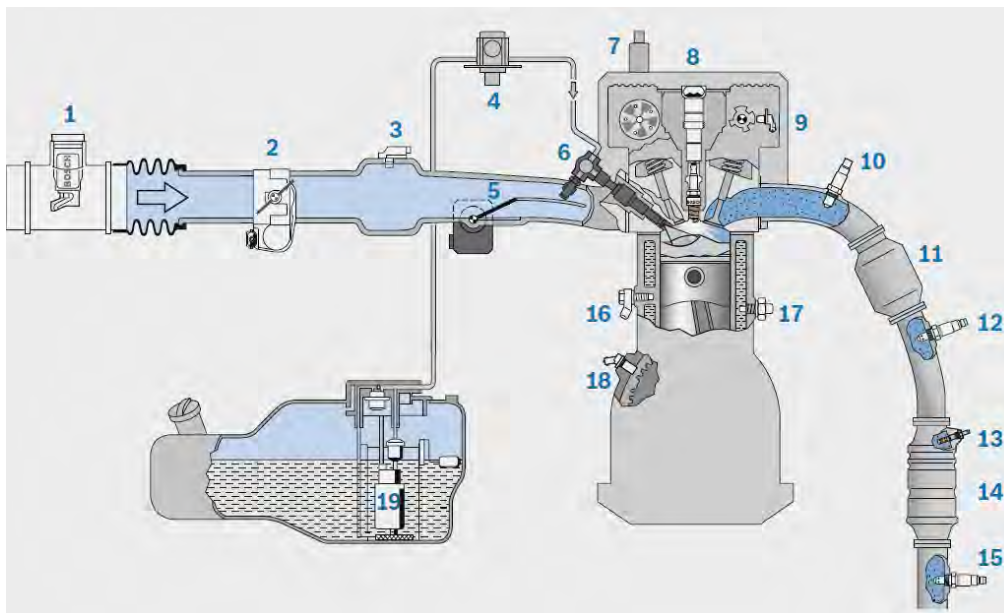
- 1 Hydraulic port
- 2 O-ring
- 3 Valve housing
- 4 Electrical connection
- 5 Plastic clip with injected pins
- 6 Filter strainer
- 7 Internal pole
- 8 Valve spring
- 9 Solenoid coil
- 10 Valve needle with armature
- 11 Valve ball
- 12 Valve seat
- 13 Injection-orifice plate

Σχήμα 7-7 Ηλεκτρομαγνητικός εγχυτήρας

## 8. Έγχυση καυσίμου στον θάλαμο καύσης

Στις μηχανές άμεσης έγχυσης το μίγμα αέρα καυσίμου σχηματίζεται εντός του θαλάμου καύσης. Γι' αυτόν τον σκοπό, το καύσιμο εγχέεται απευθείας εντός του θαλάμου καύσης κατά την φάση εισαγωγής ή/και συμπίεσης από ειδικό εγχυτήρα. Η έγχυση γίνεται σε υψηλή πίεση έτσι ώστε να είναι εφικτό να υλοποιηθεί με χρονική ακρίβεια και να αντισταθμίσει την πίεση του θαλάμου καύσης. Γι' την συμπίεσης του καυσίμου χρησιμοποιείται αντλία υψηλής πίεσης που τροφοδοτείται από ηλεκτρική αντλία (3..5 bar).

Η μέθοδος εφαρμόζεται ήδη από το 1937, ενώ το 1954 κυκλοφόρησε αυτοκίνητο (Mercedes 300 SL) με κινητήρα άμεσου ψεκασμού. Όμως τεχνολογικές παράμετροι δεν επέτρεψαν την περαιτέρω διάδοση της μεθόδου παρά μόνο σχετικά πρόσφατα.



- |  |   |
|--|---|
| 1 Hot-film air-mass meter              | 11 Primary catalytic converter                |
| 2 Throttle device (ETC)                | 12 Lambda sensor                              |
| 3 Intake-manifold pressure sensor      | 13 Exhaust-gas temperature sensor             |
| 4 High-pressure pump                   | 14 NOX accumulator type catalytic converter   |
| 5 Charge-flow control valve            | 15 Lambda sensor                              |
| 6 Fuel rail with highpressure injector | 16 Knock sensor                               |
| 7 Camshaft adjuster                    | 17 Engine-temperature sensor                  |
| 8 Ignition coil with spark plug        | 18 Speed sensor                               |
| 9 Camshaft phase sensor                | 19 Fuel-supply module with electric fuel pump |
| 10 Lambda sensor                       |   |

Σχήμα 8-1 Εξαρτήματα συστήματος έγχυσης στον θάλαμο καύσης

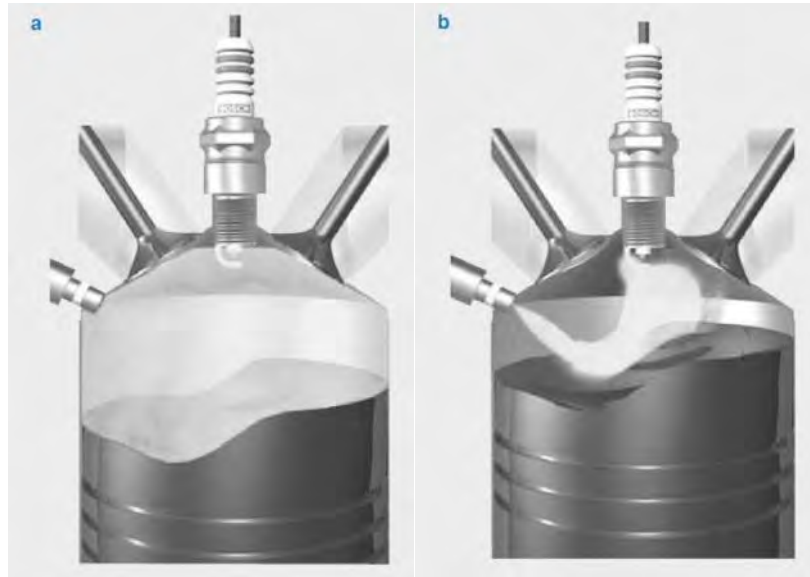
### 8.1 Διεργασία της Καύσης

Στην περίπτωση του άμεσου ψεκασμού, στην διεργασία της καύσης περιλαμβάνεται ο σχηματισμός του μείγματος και η μετατροπή ενέργειας που συμβαίνει στον θάλαμο καύσης.

Οι μηχανισμοί καθορίζονται από τις γεωμετρίες του θαλάμου καύσης και του οχετού εισαγωγής, το σημείο ψεκασμού και στιγμή έναυσης

Σημαντικό ρόλο παίζουν οι ροές αέρα εντός του θαλάμου καθώς εξασφαλίζουν την εξάτμιση και την μεταφορά του νέφους στην περιοχή του σπινθηριστή.

Η διεργασία της καύσης χωρίζεται σε δυο κατηγορίες, σε αυτές της στρωματοποιημένης γόμωσης και της ομοιογενούς.



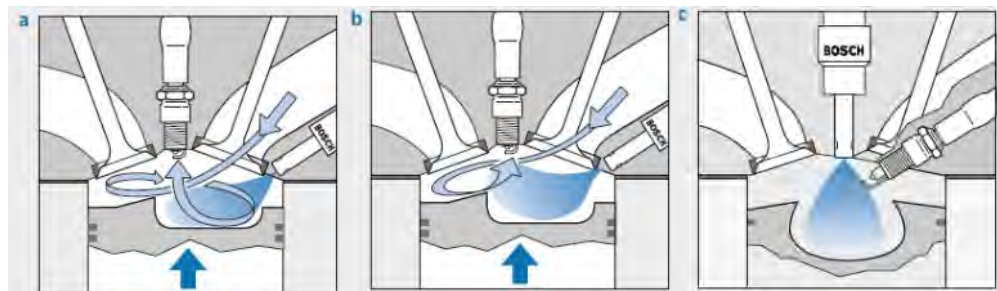
Σχήμα 8-2 Απεικόνιση ομοιογενούς (α) και στρωματοποιημένης (β) γόμωσης

### 8.1.1. Ομοιογενές μίγμα

Το ομοιογενές μίγμα επιδιώκεται να έχει στοιχειομετρική αναλογία, έτσι ώστε να είναι αποδοτική η λειτουργία του καταλύτη.

### 8.1.2. Στρωματοποιημένο μίγμα

- Εφαρμογή σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας (μικρό φορτίο, χαμηλές στροφές)
- Έγχυση στη συμπίεση
- Το νέφος καυσίμου-αέρα περιβάλλεται από φρέσκο αέρα (ή EGR...)
- Συνολικά  $\lambda > 1$  → αύξηση απόδοσης λόγω μείωσης ενέργειας άντλησης
- Μέθοδοι
  - Διεργασία οδηγούμενη από τοιχώματα/αέρα
  - Διεργασία οδηγούμενη από την δέσμη καυσίμου



Σχήμα 8-3 Διεργασία οδηγούμενη από τοιχώματα/αέρα με στροβιλισμό αέρα (α), με καταρροή αέρα (β) και διεργασία οδηγούμενη από την δέσμη καυσίμου (c)

## 8.1.2.1. Διεργασία οδηγούμενη από τοιχώματα/αέρα

Στην διεργασία οδηγούμενη από τοιχώματα/αέρα ο εγχυτήρας τοποθετείται ανάμεσα στις βαλβίδες. Σε αυτή την διεργασία το καύσιμο εγχέεται με πίεσης 50..150 bar. Το καύσιμο μείγμα οδηγείται από διαμόρφωση του εμβόλου. Ανάλογα την ροή του αέρα διακρίνονται δυο περιπτώσεις: στροβιλισμός αέρα (Σχήμα 8-3 α), καταρροή αέρα (β).

## 8.1.2.2. Διεργασία οδηγούμενη από την δέσμη καυσίμου

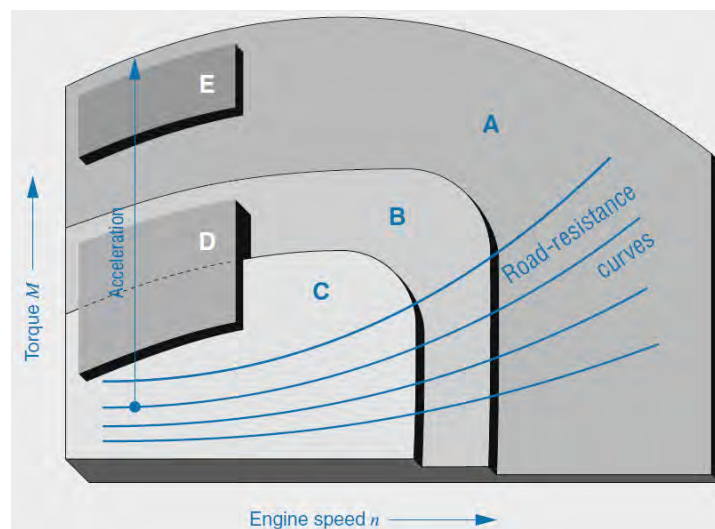
Στην διεργασία οδηγούμενη από την δέσμη καυσίμου, Σχήμα 8-3 β, ο εγχυτήρας τοποθετείται κεντρικά στην οροφή του θαλάμου καύσης.

Ο σπινθηριστής τοποθετείται δίπλα στον εγχυτήρα. Το πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι το καύσιμο οδηγείται απευθείας στον σπινθηριστή χωρίς να χρειάζεται να ακολουθήσει κάποια διαδρομή εντός του θαλάμου.

Το μειονέκτημα σχετίζεται με τον χρόνο που χρειάζεται για τον σχηματισμό του μείγματος. Για να ευνοηθεί η εξάτμιση απαιτείται πίεση έγχυσης ~200 bar. Άλλο μειονέκτημα σχετίζεται με την θερμική καταπόνηση του σπινθηριστή καθώς ψεκάζεται από το κρύο καύσιμο (ατμοποίηση). Με την κατάλληλη διαρρύθμιση της διάταξης επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με την διεργασία οδηγούμενη από τοιχώματα/αέρα.

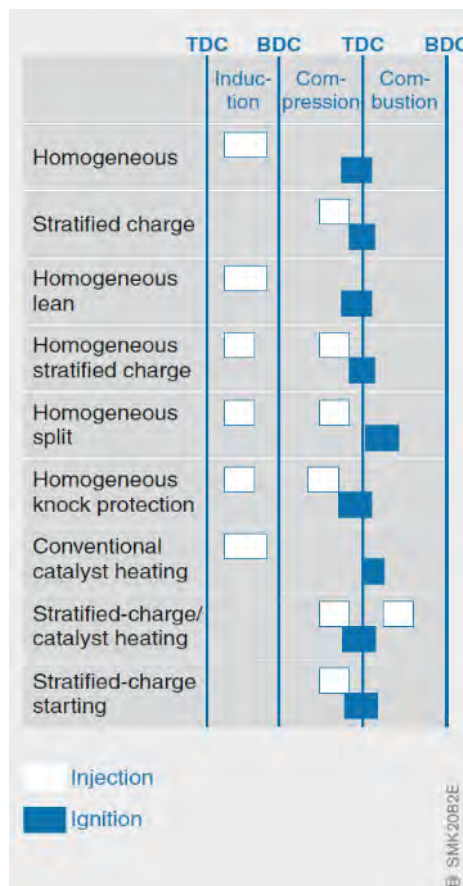
## 8.2 Μέθοδοι λειτουργίας

Το σύστημα ελέγχου του κινητήρα, ανάλογα τις λειτουργικές συνθήκες, μεταβάλλει τρόπο λειτουργίας. Ανάλογα το σημείο λειτουργία η μονάδα ελέγχου μεταβάλλει τη μέθοδο λειτουργία.



- A Homogeneous mode
- B Lean-burn ( $\lambda = 1$  with EGR)
- C Stratified-charge mode with EGR
- Διπλή Έγχυση
- C Stratified-charge/catal.-heating mode
- D Homogeneous stratified-charge mode
- E Homogeneous knock-protection mode

Σχήμα 8-4 Χάρτης ροπής με επισήμανση της μεθόδου λειτουργίας



Σχήμα 8-5 Θέση έγχυσης και έναυσης για τις διάφορες μεθόδους λειτουργίας

### **Ομοιογενής λειτουργία**

Στην ομοιογενή λειτουργία το καύσιμο εγχέεται σε στοιχειομετρική αναλογία ως προς τον διαθέσιμο αέρα. Η έγχυση γίνεται κατά την φάση της εισαγωγής, έτσι ώστε να υπάρχει αρκετός χρόνος για την ομογενοποίηση του μείγματος. Για την προστασία του καταλύτη και την αύξηση της ισχύος στο πλήρες φορτίο είναι δυνατή η λειτουργία με ελαφρώς πλούσιο μείγμα.

Η ομοιογενής λειτουργία, καθώς αξιοποιεί πλήρως το μέγεθος του θαλάμου καύσης, εφαρμόζεται κυρίως όταν απαιτείται μεγάλη ροπή. Λόγω της στοιχειομετρικής αναλογίας οι εκπομπές ρύπων είναι χαμηλές και μπορούν να υποστούν επεξεργασία από τον τριτοδικό καταλύτη.

Η ομοιογενής λειτουργία σε μεγάλο βαθμό αντιστοιχεί στην καύση με ψεκασμό στον οχετό εισαγωγής.

### **Λειτουργία στρωματοποιημένης γόμωσης**

Το καύσιμο εγχέεται στην φάση της συμπίεσης. Η ανάμειξη γίνεται με τμήμα του διαθέσιμου αέρα. Δημιουργείται νέφος καυσίμου αέρα που περιβάλλεται από φρέσκο αέρα. Η στιγμή της έγχυσης είναι πολύ σημαντική: κατά την έναυση πρέπει το νέφος να είναι ομοιογενές και στην θέση του σπινθηριστή. Το μίγμα είναι στοιχειομετρικής αναλογίας μόνο εντός του νέφους, ενώ συνολικά είναι πτωχό. Ο τριτοδικός καταλύτης δεν είναι ικανός να χειριστεί τα καυσαέρια λόγω περίσσειας οξυγόνου. Η λειτουργία στρωματοποιημένης γόμωσης εφαρμόζεται μόνο σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας γιατί σε μεγαλύτερα οι εκπομπές αιθάλης και  $\text{NO}_x$  αυξάνονται σημαντικά. Επιπλέον το όφελος στην κατανάλωση μειώνεται. Από την

άλλη σε πολύ χαμηλά φορτία η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν μπορεί να διατηρήσει τον καταλύτη στην θερμοκρασία λειτουργίας. Επιπλέον σε ταχύτητες περιστροφής μεγαλύτερες των 3000rpm δεν επαρκεί ο χρόνος για την ομογενοποίηση του νέφους.

Στα όρια του νέφους, το μίγμα είναι φτωχό σε σχέση με το κέντρο του. Σε αυτή την ζώνη, παρουσιάζεται αύξηση του σχηματισμού NO<sub>x</sub>. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου εφαρμόζεται επανακυκλοφορία καυσαερίων, που προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας του θαλάμου και συνεπώς μείωση των NO<sub>x</sub>.

### **Λειτουργία ομοιογενούς πτωχής γόμωσης**

Κατά την μετάβαση από την ομοιογενή στην στρωματοποιημένη λειτουργία ο θάλαμος πληρώνεται με ομοιογενές πτωχό μίγμα. Αυτό προφέρει μείωση την ενέργειας που απαιτείται για την εισαγωγή αέρα και συνεπώς αύξηση της απόδοσης αλλά και αδυναμία χειρισμού των NO<sub>x</sub> από τον καταλύτη.

### **Συνδυασμός λειτουργίας ομοιογενούς και στρωματοποιημένης γόμωσης.**

Αρχικά ο κύλινδρος πληρώνεται με πτωχό ομοιογενές μείγμα. Το βασική ποσότητα καυσίμου ψεκάζεται κατά την εισαγωγή. Στην συνέχεια, ψεκάζεται για δεύτερη φορά καύσιμο κατά την συμπίεση. Δημιουργείται νέφος με πλούσια σε καύσιμο σύνθεση κοντά στον σπινθηριστή, στο οποίο η έναυση γίνεται εύκολα. Αναπτύσσεται μέτωπο φλόγας το οποίο στην συνέχεια μεταδίδεται και στην ομοιογενή περιοχή πτωχής σύνθεσης.

Η λειτουργία εφαρμόζεται μεταβατικά από την στρωματοποιημένη στην ομοιογενή λειτουργία και μόνιμα (steady state) στις χαμηλές στροφές στο εύρος ανάμεσα στην στρωματοποιημένη στην ομοιογενή λειτουργία

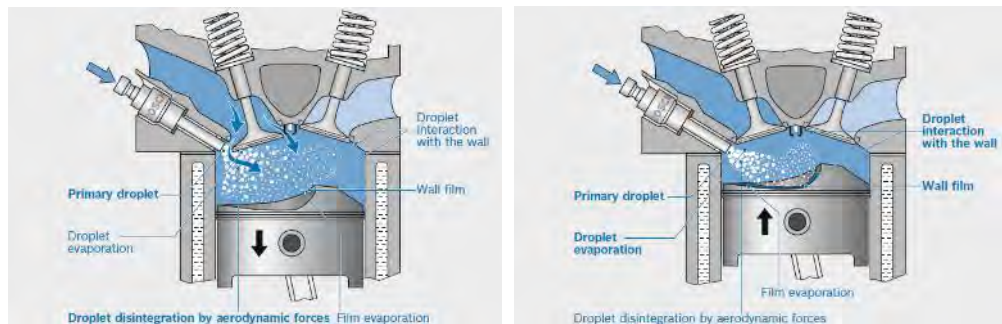
### **Συνδυασμός λειτουργίας ομοιογενούς και στρωματοποιημένης γόμωσης για προθέρμανση καταλύτη.**

Εφαρμόζεται για την προθέρμανση του καταλύτη κατά την εκκίνηση. Η έναυση γίνεται πολύ καθυστερημένα 15°.30° μετά το ANΣ βοηθούμενη από το νέφος πλούσιας σύνθεσης. Ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας της καύσης δεν συνεισφέρει στην αύξηση της ροπής αλλά αυξάνει την ενθαλπία των καυσαερίων. Λόγω της αύξησης της ροής καυσαερίων, ο καταλύτης είναι έτοιμος για λειτουργία μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

### **Συνδυασμός λειτουργίας ομοιογενούς και στρωματοποιημένης γόμωσης για προστασία από πυραναφλέξεις.**

Μια λύση για προστασία από πυραναφλέξη στα υψηλά φορτία είναι η καθυστέρηση στην έναυση. Με την συνδυασμένη λειτουργία (διπλή έγχυση) είναι δυνατή η προστασία από πυραναφλέξεις ενώ η έναυση γίνεται την ιδανική στιγμή.

### 8.3 Σχηματισμός μίγματος



Σχήμα 8-6 Μηχανισμός σχηματισμού μίγματος (α) στην ομοιογενή και (β) στην στρωματοποιημένη λειτουργία

#### 8.3.1. Απαιτήσεις

Στην λειτουργία με ομοιογενή γόμωση το μείγμα πρέπει να είναι ομοιογενές σε όλη την έκταση του θαλάμου καύσης

Από την άλλη, στην στρωματοποιημένη λειτουργία το μείγμα πρέπει να είναι ομοιογενές εντός του νέφους ενώ η υπόλοιπη έκταση να καταλαμβάνεται από φρέσκο αέρα ή αδρανή αέρια

Για να χαρακτηριστεί ομοιογενές το μείγμα πρέπει το καύσιμο να έχει πλήρως εξατμιστεί.

Η εξάτμιση επηρεάζεται κυρίως από :

- Θερμοκρασία θαλάμου καύσης: Σε χαμηλές θερμοκρασίες που δεν ευνοείται η εξάτμιση, απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου.
- Μέγεθος σταγονιδίου καυσίμου: Υψηλότερες πιέσεις έγχυσης, παράγουν μικρότερα σταγονίδια που εξατμίζονται ευκολότερα
- Διαθέσιμο χρόνο για εξάτμιση: Το εγχέομενο σταγονίδιο καυσίμου, κινείται εντός του θαλάμου μέχρι να εξατμιστεί πλήρως. Απαιτείται διαδρομή συγκεκριμένου μήκους για την πλήρη εξάτμιση. Αν προσκρούσει στο τοίχωμα νωρίτερα, θα εναποτεθεί εκεί μη εξατμισμένο, με αποτέλεσμα να είναι πιθανό να μην συμμετάσχει πλήρως στην καύση. Η γεωμετρία του θαλάμου και του οχετού εισαγωγής επηρεάζουν τις ροές αέρα και συνεπώς το μήκος κίνησης των σταγονιδίων και την δυνατότητα εξάτμισης.

#### 8.3.2. Σχηματισμός Μείγματος στην λειτουργία ομοιογενούς γόμωσης

Το καύσιμο πρέπει να εισαχθεί στον κύλινδρο το νωρίτερο δυνατό έτσι ώστε να υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για τον σχηματισμό του μίγματος. Γι' αυτό τον λόγο το καύσιμο εισάγεται κατά την εισαγωγή του αέρα. Επιπλέον η κίνηση του αέρα και ιδιαίτερα οι αεροδυναμικές δυνάμεις στην περιοχή των βαλβίδων βοηθούν την εξάτμιση

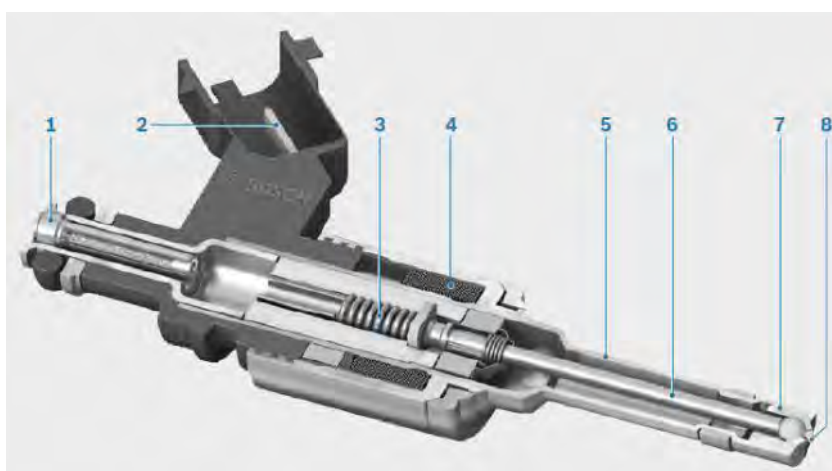
### 8.3.3. Σχηματισμός Μείγματος στην λειτουργία στρωματικής γόμωσης

Το νέφος καυσίμου αέρα πρέπει να βρίσκεται σε εγγύτητα με τον σπινθηριστή κατά την έναυση. Γι' αυτό τον λόγο το καύσιμο εγχέεται κατά την συμπίεση και το καύσιμο νέφος μεταφέρεται από την ροή αέρα και την ανοδική κίνηση του εμβόλου.

Η εξάτμιση βοηθάται από την υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Στην περίπτωση της οδηγούμενης από τα τοιχώματα διεργασίας, η συμπύκνωση στα τοιχώματα δεν μπορεί να αποφευχθεί και έτσι τμήμα της προετοιμασίας του μίγματος γίνεται από εξάτμιση στα τοιχώματα.

## 8.4 Εγχυτήρας υψηλής πίεσης

Στον εγχυτήρα, Σχήμα 8-7, οφείλεται η έγχυση ακριβούς ποσότητας καυσίμου και η παραγωγή μικρών σταγονιδίων καυσίμου.



- 1 Fuel inlet with filter
- 2 Electrical connection
- 3 Spring
- 4 Coil
- 5 Valve sleeve
- 6 Nozzle needle with solenoid armature
- 7 Valve seat
- 8 Injector outlet passages

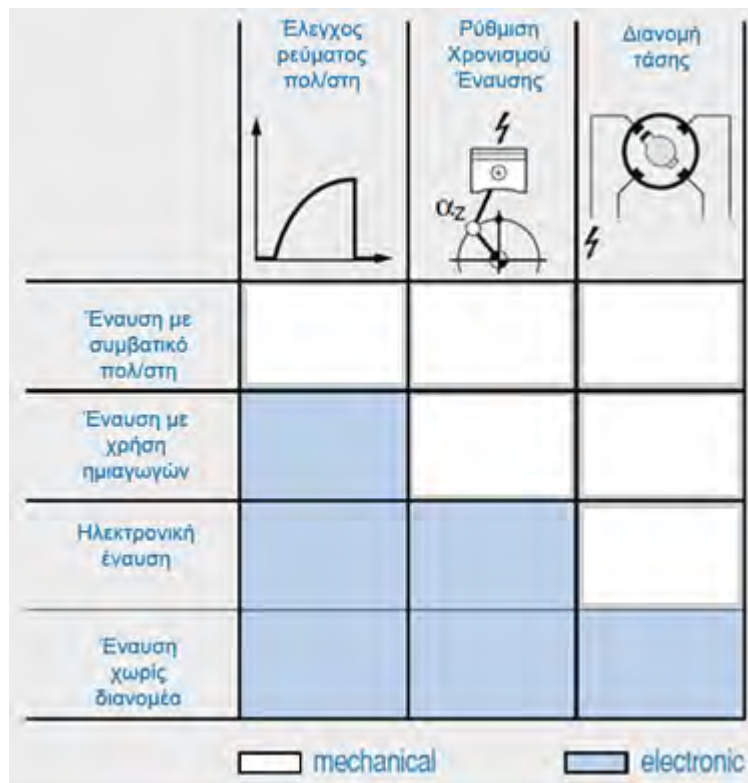
Σχήμα 8-7 Εγχυτήρας υψηλής πίεσης



## 9. Συστήματα έναυσης

Ο κινητήρας έναυσης με σπινθηρισμό εξαρτάται από την παροχή εξωτερικής ενέργειας για την έναυση. Ο σπινθηριστής προκαλεί την έναυση του συμπιεσμένου μίγματος στον θάλαμο καύσης έτσι ώστε να ξεκινήσει η διεργασία της καύσης. Το σύστημα έναυσης πρέπει να παρέχει επαρκή επίπεδα υψηλής τάσης ενέργειας και μάλιστα την κατάλληλη στιγμή.

Η εξέλιξη των συστημάτων σε βάθος χρόνου έγινε με την αντικατάσταση μηχανικών υποσυστημάτων με αντίστοιχα ηλεκτρονικά. Στο Σχήμα 9-1 φαίνεται αυτή η εξέλιξη και τα υποσυστήματα που αφορά.



Σχήμα 9-1 Εξέλιξη υποσυστημάτων συστημάτων έναυσης

### 9.1 Πρόσφατες εξελίξεις των συστημάτων έναυσης

#### 9.1.1. Συμβατική έναυση με πολλαπλασιαστή

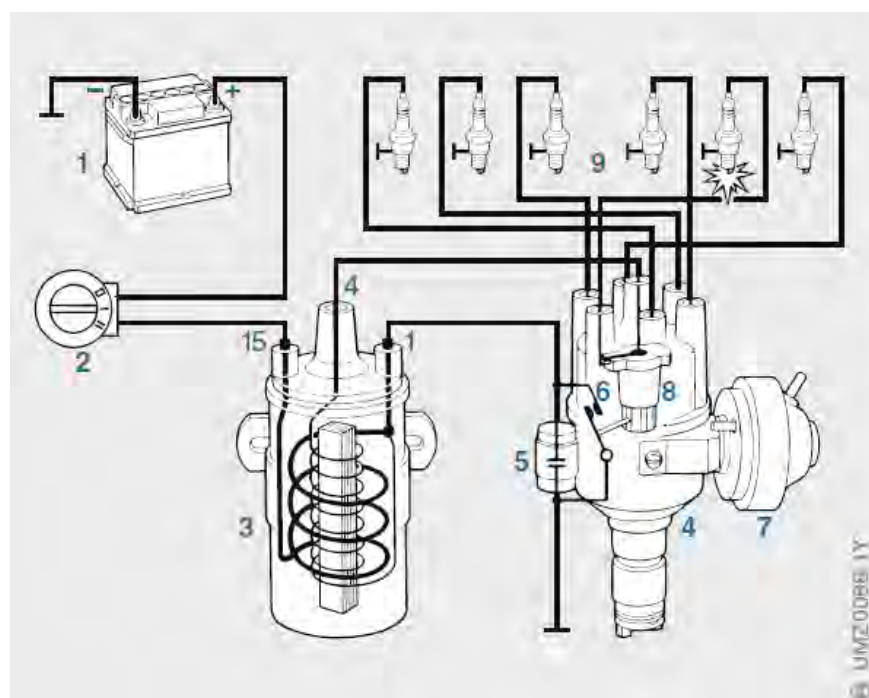
Ο πολλαπλασιαστής (Σχήμα 9-2 : 3) είναι ένα επαγωγικό πηνίο. Αποτελείται από δύο μονωμένα μεταξύ τους πηνία. Το πρώτο πηνίο, που αποτελείται από λίγες σπείρες και σύρμα μεγάλης διαμέτρου διαρρέεται από ρεύμα της μπαταρίας μέσω του διακόπτη (2) και δημιουργείται γύρω του μαγνητικό πεδίο. Η απότομη διακοπή του ρεύματος, από τον διακόπτη (6), προκαλεί τη δημιουργία υψηλής τάσης στο δεύτερο πηνίο (φαινόμενο επαγωγής).

Ο διαθέσιμος χρόνος κατά τον οποίον το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα καθορίζεται από την γωνία dwell. Η γωνία dwell καθορίζεται από το προφίλ των εκκέντρων του διανομέα, που ανοιγοκλείνει το πρωτεύον κύκλωμα. Ένα έκκεντρο αντιστοιχεί σε κάθε κύλινδρο. Ο διακόπτης που ενεργοποιείται από τα έκκεντρα (πλατίνες), φθείρεται και χρειάζεται τακτική αντικατάσταση.

Οι παράμετροι που καθορίζουν την τάση έναυσης είναι το ρεύμα που διαρρέει το πρωτεύον πηνίο, λόγος σπειρών του πηνίου και ο χρόνος dwell.

Ο πυκνωτής (5) προφυλάσσει από την δημιουργία σπινθήρα στις επαφές του διακόπτη, που θα προκαλούσε ροή ρεύματος μετά το άνοιγμά του.

Η υψηλή τάση οδηγείται στον κεντρικό ακροδέκτη του διανομέα (4). Η περιστροφή του ρότορα (8) δημιουργεί διαδοχικά επαφή μεταξύ του κεντρικού ακροδέκτη και περιφερειακών, που αντιστοιχούν στα σπινθηριστές των κυλίνδρων. Έτσι όταν κάποιος κύλινδρος βρίσκεται στο τέλος της συμπίεσης, παρέχεται ρεύμα στον σπινθηριστή για την δημιουργία τόξου. Ο ρότορας του διανομέα πρέπει να περιστρέφεται σε συγχρονισμό με τον στροφαλοφόρο με λόγο 2:1.



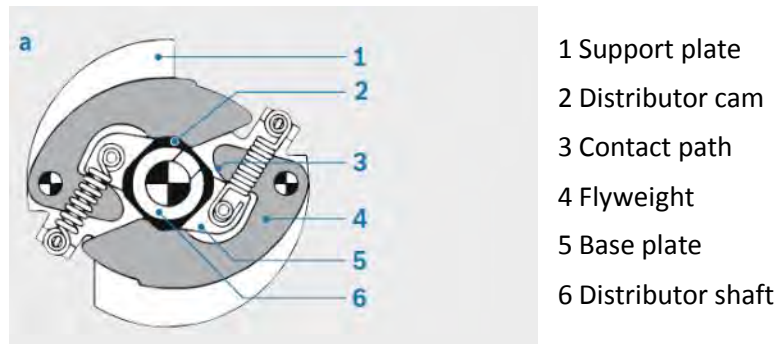
- 1 Battery
- 2 Ignition/starter switch
- 3 Ignition coil
- 4 Distributor
- 5 Capacitor
- 6 Contact-breaker points
- 7 Vacuum advance mechanism
- 8 Rotor

Σχήμα 9-2 Συμβατικό σύστημα έναυσης με πολλαπλασιαστή

### 9.1.1.1. Ρύθμιση προπορείας

#### **Φυγοκεντρικός ρυθμιστής**

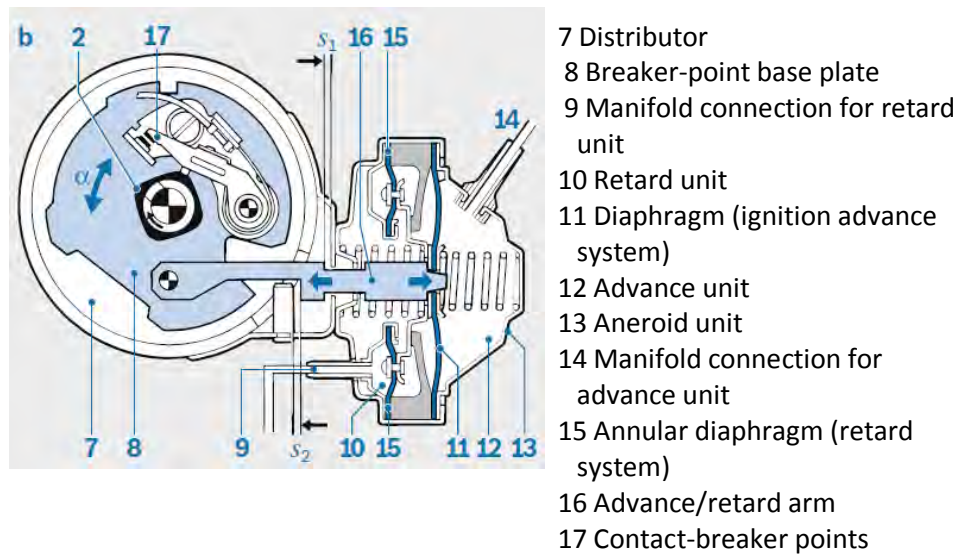
Το σώμα του διανομέα περιστρέφεται ως προς τον άξονα κίνησής του με την βοήθεια μαζών που ενεργοποιούνται από την ταχύτητα περιστροφής, προκαλώντας μεταβολή του σημείου που ανοίγει και κλείνει ο διακόπτης, και συνεπώς μεταβολή της προπορείας.



Σχήμα 9-3 Φυγοκεντρικός ρυθμιστή

**Ρυθμιστής κενού**

Στον ρυθμιστή κενού, η σχετική μετακίνηση του σώματος του διανομέα γίνεται μέσω βραχίονα που ελέγχεται από δοχείο κενού.



Σχήμα 9-4 Ρυθμιστής κενού

**9.1.2. Έλεγχος με τρανζίστορ - διακόπτη**

Στο συμβατικό σύστημα, το ρεύμα που διαρρέει το πρωτεύον κύκλωμα του πολλαπλασιαστή ελέγχεται από μηχανικό διακόπτη. Στην μετεξέλιξη, διακόπτης τοποθετημένος στην ίδια θέση, ελέγχει τρανζίστορ ισχύος. Τελικά ο έλεγχος του ρεύματος του πρωτεύοντος κυκλώματος του πολλαπλασιαστή γίνεται από το τρανζίστορ. Ο διακόπτης σε αυτή την περίπτωση διαρρέεται από το χαμηλό ρεύμα ελέγχου του τρανζίστορ.

**9.1.3. Έλεγχος με τρανζίστορ- αισθητήρα Hall**

Δεδομένου ότι το τρανζίστορ χρειάζεται μικρό ρεύμα ελέγχου, αντικαθίσταται ο διακόπτης από αισθητήρα hall, ο οποίος λειτουργεί χωρίς επαφή και συνεπώς δεν υφίσταται φθορές. Επιπλέον όφελος έρχεται από την δυνατότητα διαμόρφωσης με απλά αναλογικά ηλεκτρονικά μέσα το επαναλήψιμο σήμα του, ρυθμίζοντας για παράδειγμα την γωνία dwell.

#### 9.1.4. Έλεγχος με τρανζίστορ- επαγωγική γεννήτρια παλμών

Βελτιωμένη εκδοχή του ελέγχου του τρανζίστορ από αισθητήρα hall είναι ο έλεγχος από επαγωγική γεννήτρια παλμών. Το όφελος σχετίζεται με την ηλεκτρική συμπεριφορά αυτής της διάταξης.

#### 9.1.5. Ηλεκτρονική έναυση

Οι φυγοκεντρικοί ρυθμιστές και οι ρυθμιστές κενού δεν ικανοποιούσαν τις αυξανόμενες απαιτήσεις ακριβή έλεγχο της μηχανής. Η ηλεκτρονική τεχνολογία έδωσε άλλη διέξοδο στον έλεγχο της έναυσης.

Στην ηλεκτρονική έναυση το σήμα ελέγχου του τρανζίστορ που ανοίγει και κλείνει το πρωτεύον κύκλωμα του πολλαπλασιαστή, δεν παράγεται μηχανικά αλλά ηλεκτρονικά.

Για τον καθορισμό του χρησιμοποιούνται αισθητήρες ταχύτητας περιστροφής- γωνίας στροφάλου, πίεσης οχετούς εισαγωγής (φορτίο), τάσης μπαταρίας που επηρεάζει την γωνία dwell), θερμοκρασίας μηχανής.

#### 9.1.6. Πλήρως Ηλεκτρονική έναυση (χωρίς διανομέα)

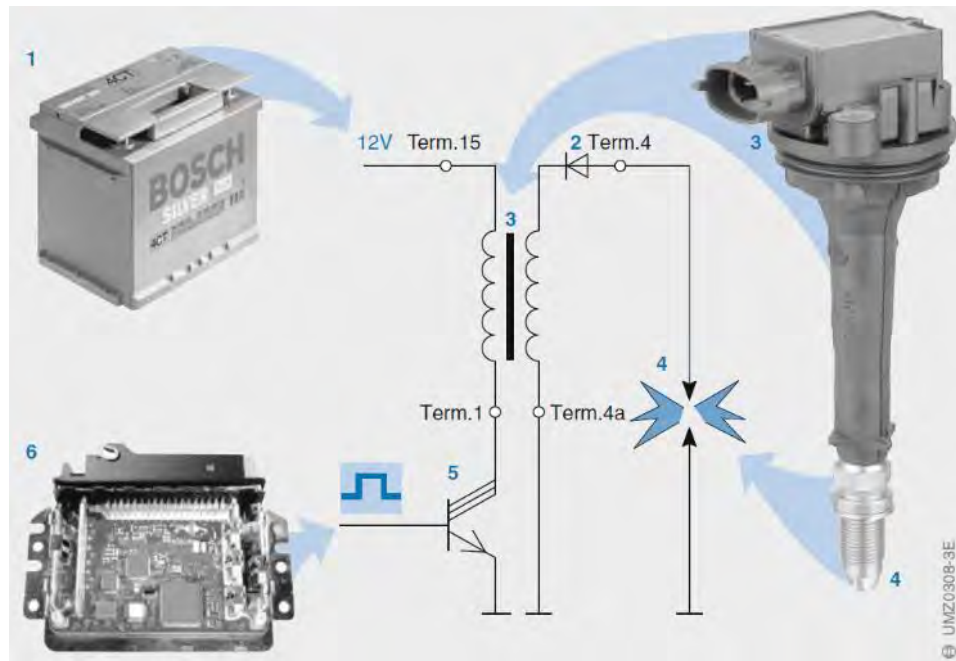
Για την πλήρως ηλεκτρονική έναυση, αντί της χρήσης κεντρικού πολλαπλασιαστή και διανομέα για διανομή της υψηλής τάσης στους αναφλεκτήρες, εφαρμόζεται ένας πολλαπλασιαστής ανα κύλινδρο ή ανα ζευγάρι κυλίνδρων.

Τα κύρια οφέλη είναι:

- Μείωση ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής
- Απαλλαγή από περιστρεφόμενα μέρη
- Λιγότερο θόρυβος
- Μείωση συνδέσεων υψηλής τάσης
- Σχεδιαστικά οφέλη

#### 9.1.7. Σύγχρονο Σύστημα έναυσης

Στο Σχήμα 9-5 απεικονίζεται ο σχεδιασμός του συστήματος έναυσης χωρίς διανομέα όπως εφαρμόζεται στις σύγχρονες εφαρμογές.



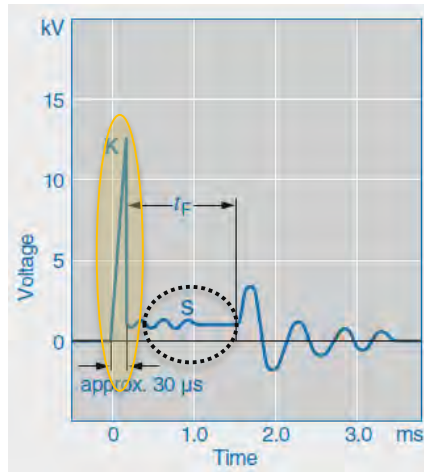
- 1 Battery
- 2 AAS diode (Activation Arc Suppression), integrated in ignition coil
- 3 Ignition coil
- 4 Spark plug

Σχήμα 9-5 Σύγχρονο επαγωγικό σύστημα έναυσης

## 9.2 Μέθοδος λειτουργίας

### 9.2.1. Παραγωγή του σπινθήρα

- Ανάπτυξη μαγνητικού πεδίου στο πολλαπλασιαστή (ρεύμα ρέει στο πρωτεύον)
- Το μαγνητικό πεδίο «αποθηκεύει» την ενέργεια έναυσης
- Από το «άνοιγμα» του κυκλώματος προκαλείται μεταβολή του μαγνητικού πεδίου με αποτέλεσμα να επάγεται υψηλή τάση στο δευτερεύον πηνίο (λόγος σπειρών πχ 1:100)
- Επίτευξη τάσης έναυσης (γκρι/κιτρινη περιοχή στο Σχήμα 9-6) → Αναπτύσσεται Σπινθήρας → Προκαλείται η έναυση μείγματος αέρα/καυσίμου



Σχήμα 9-6 Τα δυο τμήματα του απόδοσης ενέργειας του σπινθηρισμού

### 9.2.2. Κίνηση μετώπου φλόγας

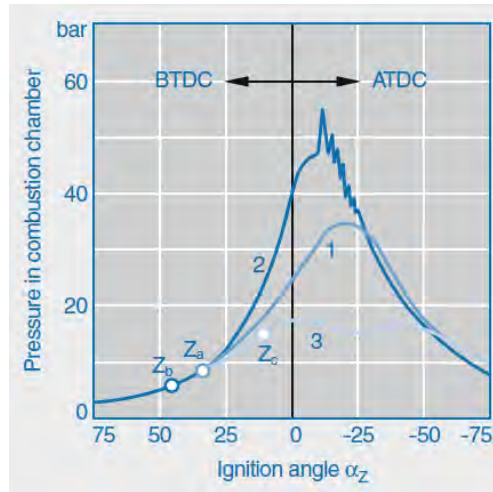
- Μετά την έναυση του σπινθήρα, η τάση του σπινθηριστή σταθεροποιείται σε χαμηλότερη τιμή, Σχήμα 9-6 περιοχή στον σιλικό κύκλο
- Η τιμή αυτή εξαρτάται από το μήκος του τόξου του σπινθήρα (κενό ηλεκτροδίων και εκτροπή λόγω ροής στον θάλαμο) και είναι της τάξης των 200..1200 V
- Ανάλογα την ενέργεια πηνίου → σπινθήρας διαρκεί 100μs ..2ms
- Σπινθήρας → θερμότητα → φλόγα → κίνηση μετώπου φλόγας

### 9.2.3. Η στιγμή της έναυσης

- Στιγμή έναυσης σπινθήρα επηρεάζει:
  - Παραγόμενη ισχύ
  - Εκπομπές ρύπων
  - Κατανάλωση καυσίμου
- Παράγοντες καθορισμού
  - Ταχύτητα περιστροφής
  - Φορτίο
  - Δευτερεύουσες παράμετροι

### 9.2.4. Έλεγχος πυραναφλέξεων

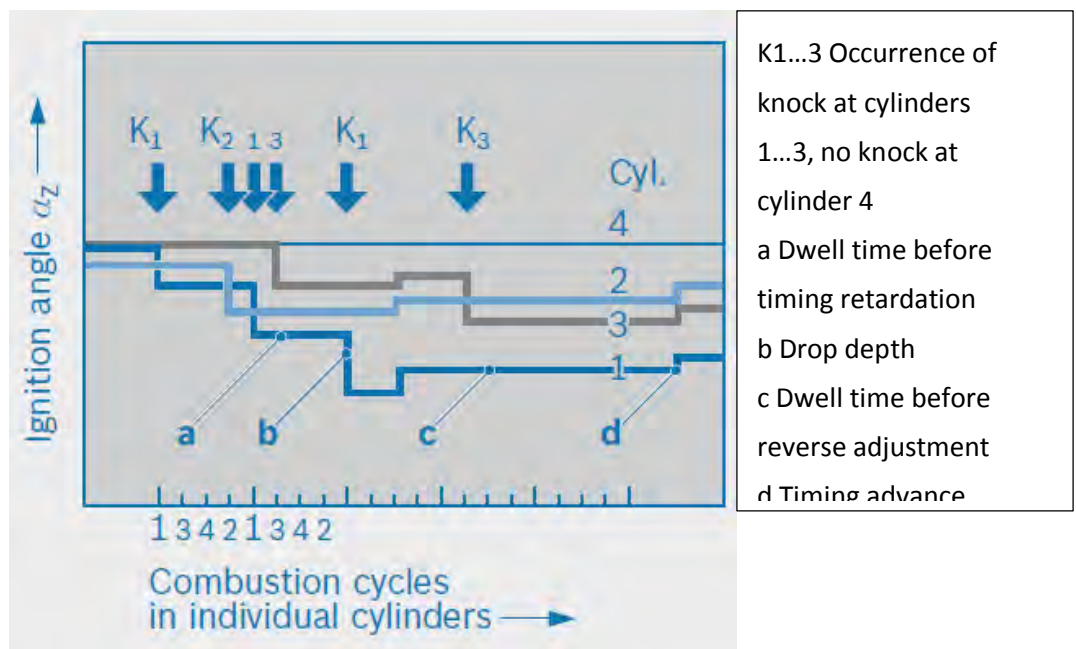
Αν η έναυση συμβεί νωρίς ( $Z_b$ ) τότε η πίεση στον θάλαμο καύσης αυξάνει πολύ με αποτέλεσμα να δημιουργεί ευνοϊκό περιβάλλον για αυτανάφλεξη άκαυστου μείγματος. Αυτές οι αυτανάφλεξεις προκαλούν «τοπικές» αυξήσεις πίεσης.



Σχήμα 9-7 Η επίδραση της θέσης έναυσης στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα

Ο αισθητήρας knock ποσοτικοποιεί την ύπαρξη πυραναφλέξεων για κάθε κύλινδρο.

Στην περίπτωση που γίνει ανίχνευση πυρανάφλεξης σε κάποιον κύλινδρο, τότε η κεντρική μονάδα καθυστερεί την ανάφλεξη για τον συγκεκριμένο κύλινδρο, βηματικά μέχρι να σταματήσει η παρουσία πυραναφλέξεων. Όταν σταματήσουν να συμβαίνουν πυραναφλέξεις, τότε επαναφέρεται βηματικά η προπορεία μέχρι την θέση που ορίζει ο χάρτης προπορείας της μηχανής ή μέχρι να ανιχνευθούν εκ νέου πυραναφλέξεις.



Σχήμα 9-8 Μηχανισμός προσαρμογής της θέσης έναυσης λαμβάνοντας υπόψη τις πυραναφλέξεις

Στο Σχήμα 9-8 οπτικοποιείται αυτή η διαδικασία. Ο κατακόρυφος άξονας είναι η θέση έναυσης. Οι τέσσερις γραμμές (1,2,3 και 4) δείχνουν τη γωνία έναυσης των τεσσάρων κυλίνδρων, συναρτήσει των κύκλων λειτουργίας. Τα βέλη με την επισήμανση  $K_i$  δείχνουν συμβάντα πυρανάφλεξης για τον κύλινδρο  $i$ .

Στον κύλινδρο Νο 4 , δεν εμφανίζονται πυραναφλέξεις και για αυτό η προπορεία διατηρείται σταθερή σε όλη την έκταση του διαγράμματος.

Αντίθετα στον κύλινδρο Νο. 2 εμφανίζεται πυρανάφλεξη (Κ2). Η κεντρική μονάδα καθυστερεί την έναυση. Έπειτα από ένα προκαθορισμένο χρόνο χωρίς πυρανάφλεξη, η κεντρική μονάδα αρχίζει να επαναφέρει την προπορεία σταδιακά.

### 9.3 Παράμετροι έναυσης

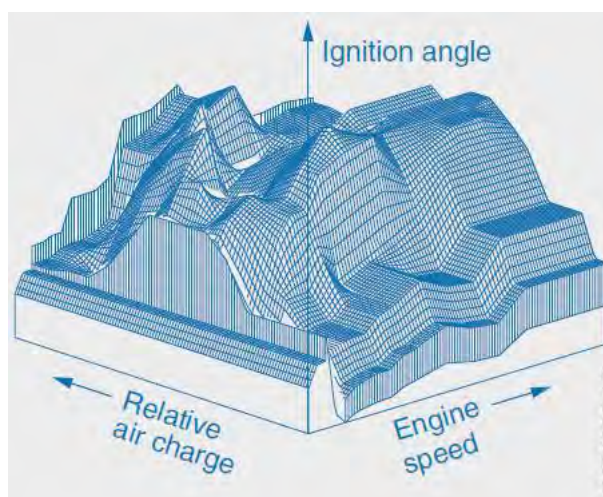
#### 9.3.1. Στιγμή Έναυσης

Εξάρτηση από τις στροφές και το φορτίο:

- Λίγα msec μετά την έναυση ολοκληρώνεται η καύση του μίγματος
- Αυτός ο χρόνος είναι περίπου σταθερός για δεδομένη σύσταση μίγματος
- Συνεπώς με την μεταβολή των στροφών πρέπει να μεταβληθεί και η θέση έναυσης
- Σύνθεση και ποσότητα της γόμωσης επηρεάζει την ταχύτητα καύσης.
- Συνεπώς για κάθε μεταβολή πρέπει να μεταβληθεί και η θέση έναυσης.
- Στην άμεση έγχυση – στρωματοποιημένη καύση: η έναυση περιορίζεται από το πέρας της έγχυσης και τον χρόνο προετοιμασίας του μίγματος

#### 9.3.2. Βασική προσαρμογή της γωνίας έναυσης

Η βασική γωνία έναυσης, η γωνία πριν τις διορθώσεις που περιγράφονται παρακάτω, καθορίζεται από χάρτη αποθηκευμένο στην μοψάδα επεξεργασίας , Σχήμα 9-9). Ο χάρτης καθορίζεται κατά την μελέτη του κινητήρα λαμβάνοντα υπόψη κριτήρια όπως οικονομία, προστασία εξαρτημάτων, θόρυβος, απόδοσης, κτλ



Σχήμα 9-9 Χάρτης βασικής γωνίας έναυσης



### 9.3.3. Διόρθωση της γωνίας έναυσης

Η «βασική» γωνία έναυσης διορθώνεται για:

- Knock
- Θερμοκρασία μηχανής
- Ιδιαίτερες καταστάσεις λειτουργίας
- Προθέρμανση μηχανής
- Στρωματοποιημένη γόμωση

Οι διορθώσεις αυτές μπορεί να είναι:

- Κατά περίπτωση
- Από γραμμική συσχέτιση αποθηκευμένη στον εγκέφαλο

### 9.3.4. Περίοδος dwell

Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο πηνίο (πολ/στη) εξαρτάται και από το ρεύμα την στιγμή της έναυσης (ρεύμα αποκοπής)

Το ρεύμα εξαρτάται από τον χρόνο (dwell) και την τάση

Συσχετίσεις αποθηκευμένες σε χάρτες

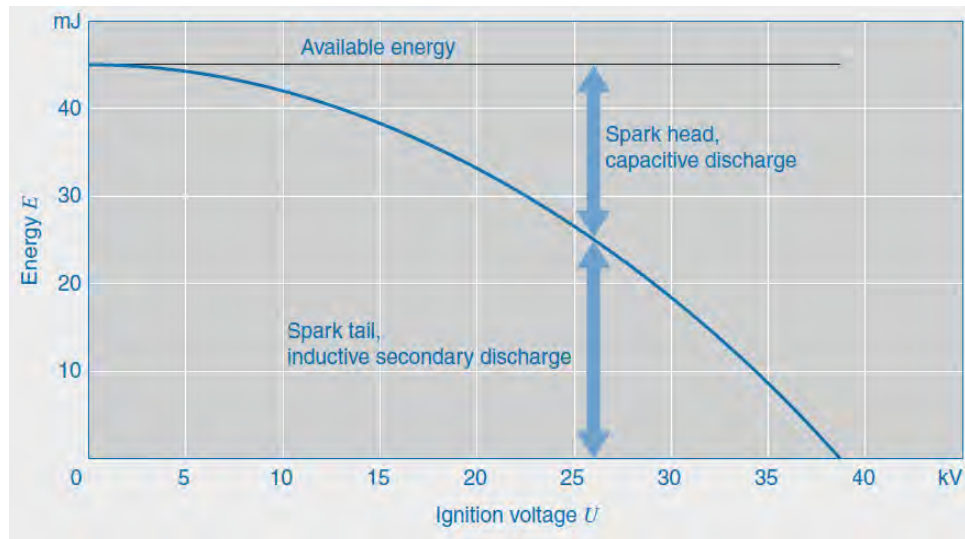
### 9.3.5. Τάση Έναυσης

Η αναγκαία τάση έναυσης εξαρτάται από :

- Πυκνότητα μείγματος και συνεπώς χρονισμό
- Σύνθεση μείγματος (λ)
- Μετακινήσεις μαζών
- Σχεδιασμό, υλικό και διάκενο ηλεκτροδίου

### 9.3.6. Ενέργεια Έναυσης

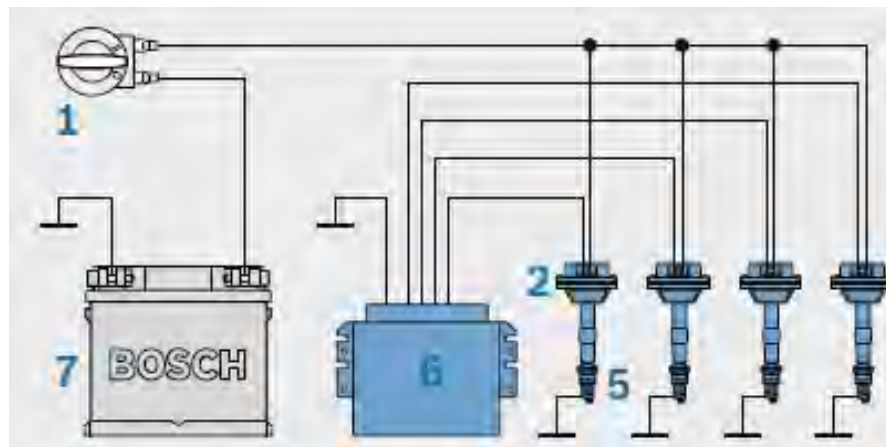
- Το ρεύμα αποκοπής και τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του πηνίου καθορίζουν την αποθηκευμένη ενέργεια .
- Η ενέργεια που προσδίδεται κατά την έναυση, έχει σημαντική επίδραση στην κίνηση του μετώπου φλόγας (απόδοση, εκπομπές)
- Η πρόσδοση ενέργειας γίνεται σε δυο φάσεις, που σημαίνονται στο Σχήμα 9-6. Η κατανομή τους φαίνεται στο Σχήμα 9-10



Σχήμα 9-10 Κατανομή της ενέργειας έναυσης φάσεις σπινθηρισμού συναρτήσεις την τάσης του πηνίου

#### 9.4 Διανομή τάσης










- **Περιστρεφόμενος Διανομέας Υψηλής Τάσης** (δεν είναι πλέον σε παραγωγή)
- **Σύστημα χωρίς διανομέα υψηλής τάσης**
  - Η διανομή γίνεται στον πρωτεύον κύκλωμα (χαμηλής τάσης)
  - Υπάρχουν δυο εκδόσεις:
    - Πολλαπλασιαστής ανα κύλινδρο
    - Ένας πολλαπλασιαστής ανα δυο κυλίνδρους: Ένας σπινθηριστής ανα άκρο δευτερεύοντος. Ζεύγη κυλίνδρων: συμπίεση - εξαγωγή. (αποφυγή έναυσης → περιορισμός χρόνου)








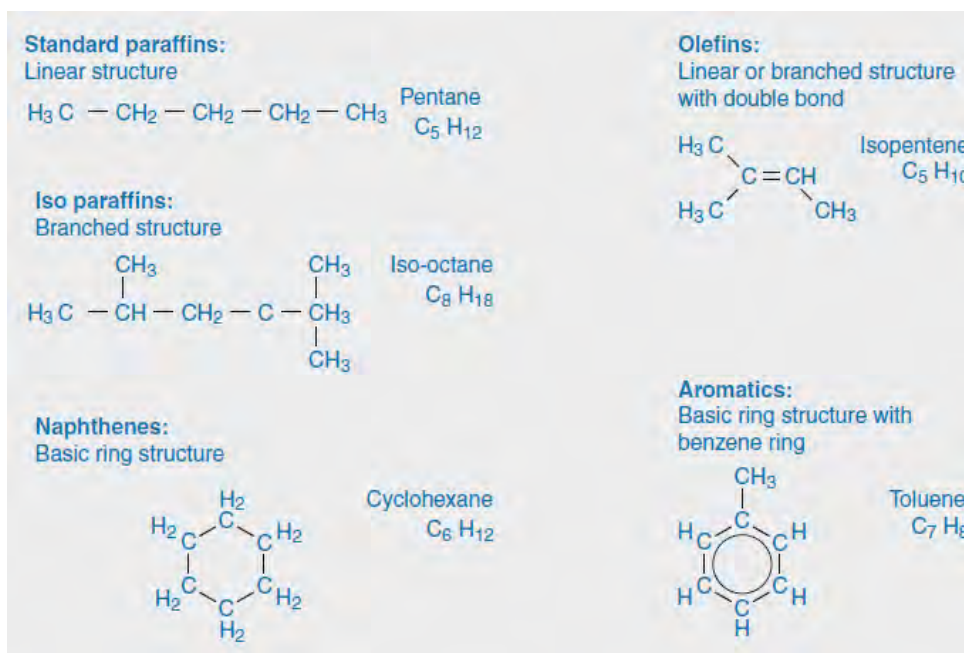
Σχήμα 9-11 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος έναυσης χωρίς διανομέα

## 10. Καύσιμα – Σχηματισμός και έλεγχος ρύπων

### 10.1 Συστατικά της Βενζίνης

-   • Παραφίνες
  - Κορεσμένοι HC –  $C_nH_{2n+2}$ , Απλοί δεσμοί, Ευθείας ή Διακλαδωμένης Αλυσίδας (ισοπαραφίνες)
-  • Ολεφίνες ή αλκένια
  - (Παραφίνες – ακόρεστοι) –  $C_nH_{2n+2}$ , 2πλοι – 3πλοι δεσμοί
-  • Ναφθένες (κύκλοπαραφίνες)
-   • Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
  - κυκλικό >6, με εναλλάξ 2πλο – 3πλο
-   • Οργανικά συστατικά με οξυγόνο
-  • Πρόσθετα

-  Premium βενζίνες
-  Πολύ καλή εναυσιμότητα
-  Μέτρια αντικροτική ικανότητα
-  Καλή αντικροτική ικανότητα
-  Κακή αντικροτική ικανότητα



Σχήμα 10-1 Βασικοί υδρογονάνθρακες της βενζίνης

### 10.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη

- Θερμογόνος δύναμη (ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση ανα μονάδα μάζας)  
Μονάδες MJ/kg, kcal/kg, ...
  - ➔ NET/ LOWER / ΚΑΤΩΤΕΡΑ : Αξιοποιήσιμο ποσό θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση
  - HIGHER / ΑΝΩΤΕΡΑ : Περιλαμβάνει την ενέργεια ατμοποίησης των υδρατμών
- Θερμογόνος δύναμη του μείγματος
- Πυκνότητα  
Οι κανονισμοί περιορίζουν την πυκνότητα σε τιμές 720...775 kg/m<sup>3</sup>

Premium βενζίνες: Αρωματικοί υδρογονάνθρακες → πυκνότεροι  
Συνήθως πυκνότητα ↗, θερμογόνος ↗

- Αριθμός Οκτανίου
  - Αντοχή σε πυρανάφλεξη, αντικροτική ικανότητα
  - 0 (ν-επτανίου : μικρή ικανότητα) .. 100 (ισο-οκτανίου : μεγάλη ικανότητα)
  - Το καύσιμο συγκρίνεται με μείγμα ισο-οκτανίου , ν-επτανίου.  
Η αναλογία ισο-οκτανίου : ν-επτανίου του ισοδύναμου μίγματος καθορίζει το αριθμό οκτανίου
  - Μέθοδοι χαρακτηρισμού: RON, MON, AKI
    - Research Octane Number (RON)
    - Motor Octane Number (MON)
    - Anti-Knock Index (AKI)
- Προσθήκες βελτιωτικών (αντικροτικών) για την αύξηση του αριθμού οκτανίου (ενώσεις μόλυβδου → βενζόλιο, αιθέρες, αλκοόλες)
- Πτητικότητα
  - + Αξιόπιστη ψυχρή εκκίνηση
  - Χειρισμός, Θέματα λειτουργίας (ατμοποιημένες εκπομπές, “vapor lock”)
  - Χαρακτηρισμός
    - Καμπύλη βρασμού
    - Πίεση ατμών
    - Λόγος ατμών/υγρού
    - Vapor-Lock index (VLI)
- Περιεκτικότητα σε θείο

Requirements	Unit	Parameter
Knock resistance		
Super/Premium, min.	RON/MON	95/85
Normal/Regular, min. <sup>1)</sup>	RON/MON	91/82.5
Super Plus <sup>1)</sup>	RON/MON	98/88
Density	kg/m <sup>3</sup>	720...775
Sulfur, max.	mg/kg	50
Benzene, max.	% vol.	1
Lead, max.	mg/l	5
Volatility		
Summer vapor pressure, min./max.	kPa	45/60
Winter vapor pressure, min./max.	kPa	60/90 <sup>1)</sup>
Evaporated volume at 70 °C in summer, min./max.	% vol.	20/48
Evaporated volume at 70 °C in winter, min./max.	% vol.	22/50
Evaporated volume at 100 °C, min./max.	% vol.	46/71
Evaporated volume at 150 °C, min./max.	% vol.	75/-
Final boiling point, max.	°C	210
VLI transition time <sup>3)</sup> , max. <sup>2)</sup>		1150 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> National values for Germany,

<sup>2)</sup> VLI = Vapor-Lock Index,

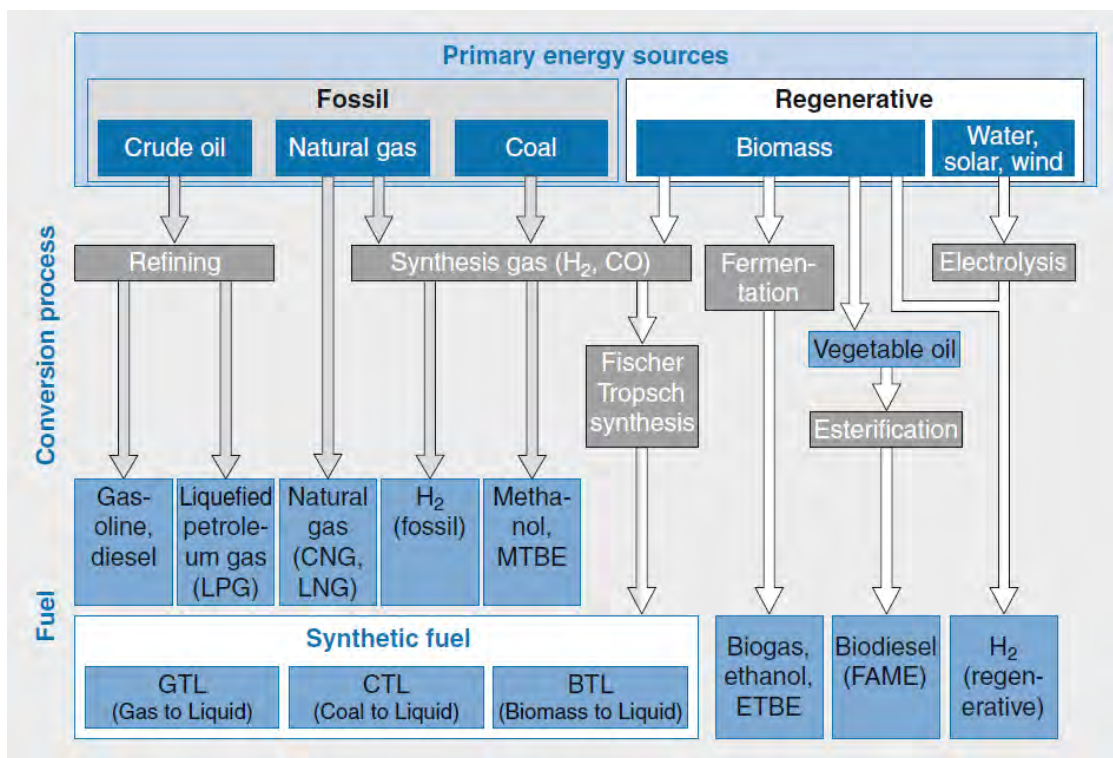
<sup>3)</sup> Spring and fall.

- Σχήμα 10-2 Βασικές ιδιότητες βενζίνης

### 10.3 Πρόσθετα

- Καθαριστικά πρόσθετα  
Προστασία εγχυτήρων, βαλβίδων κτλ από επικαθίσεις  
→ διατήρηση προβλεπόμενου λόγου αέρα καυσίμου  
→ Απομάκρυνση εστιών πυρανόφλεξης
- Αναστολείς διάβρωσης  
Διείσδυση υγρασίας στο σύστημα προσαγωγής καυσίμου  
Δημιουργία και διατήρηση προστατευτικού φιλμ
- Αντιοξειδωτικά  
«Συντηρητικά» για διατήρηση ιδιοτήτων κατά την αποθήκευση.  
Προστασία από οξείδωση από τον αέρα

### 10.4 Εναλλακτικά καύσιμα



Σχήμα 10-3 Προέλευση συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων

Κίνητρα για εναλλακτικά καύσιμα: Οικονομικά & Περιβαλλοντικά



Αξιολόγηση αποτυπώματος άνθρακα και ενεργειακού ισοζυγίου

- Πριν μπει στο ντεπόζιτο
  - Μεταφορά πρώτης ύλης (αν υπάρχει)
  - Παραγωγή
  - Μεταφορά
- Αφού μπει στο ντεπόζιτο
  - Ειδική κατανάλωση

Τύποι:

- Φυσικό αέριο - Υγραέριο
- Υδρογόνο
- Αλκοόλες (καθαρές ή σε μείγμα)
- Συνθετικά καύσιμα (έναυση με συμπίεση –diesel engines)

Λειτουργία με εναλλακτικό καύσιμο απαιτεί μετατροπές κυρίως στα συστήματα:

- Αποθήκευσης
- Προσαγωγής
- Έγχυσης

#### 10.4.1. Φυσικό αέριο

- Σύνθεση:
    - Μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) 80..99%
    - Αδρανή αέρια ( $\text{CO}_2, \text{N}_2$ )
  - Αποθήκευση
    - Compressed Natural Gas (CNG) : 200 bar
    - Liquefied Natural Gas (LNG) :  $-162^\circ\text{C}$
    - Ίδια μάζα καυσίμου  $V_{\text{CNG}} = 3 \times V_{\text{LNG}}$
    - LNG υψηλή ενέργεια για την ψύξη
  - Οφέλη
    - Χαμηλές εκπομπές  $\text{CO}_2$  ( H:C αερίου 4:1, H:C βενζίνης 2.3:1)
    - Αντικροτικές ιδιότητες (130 RON)
      - Επιδεκτικό σε υπερπλήρωση
      - Επιδεκτικό σε αύξηση λόγου συμπίεσης
- Μείωση μεγέθους μηχανής → βελτίωση απόδοσης, μείωση  $\text{CO}_2$

#### 10.4.2. Υγραέριο

- Liquefied Petroleum Gas (LPG)
- Σύνθεση
  - Μείγμα προπανίου, βουτανίου
  - Υποπροϊόν διύλισης
  - Υγροποίηση υπό πίεση

#### 10.4.3. Αλκοολικά καύσιμα

- Δυνατή λειτουργία MEK αμιγώς με
  - Αιθανόλη
  - Μεθανόλη

- Προσθήκη υπο την μορφή αλκοόλης ή αιθέρα σε βενζίνη για βελτίωση αριθμού οκτανίου
- Αιθανόλη παράγεται με ζύμωση και χρησιμοποιείται ευρέως σε Βραζιλία (ζαχαροκάλαμο) και ΗΠΑ (σιτάρι)
- Η Μεθανόλη παράγεται από χαμηλής ποιότητας καύσιμα (μέσω syngas) όπως κάρβουνο, βαριά έλαια.
- Τα αλκοολικά καύσιμα διαφέρουν σημαντικά σε ιδιότητες από τα πετρελαϊκά.
- Ανθρακικό αποτύπωμα: εξαρτάται από την μέθοδο παραγωγής

#### 10.4.4. Υδρογόνο

- Εφαρμογές
  - Άμεση καύση (υπό ανάπτυξη)
  - Κυψέλη καυσίμου
- Ανθρακικό αποτύπωμα:
  - Άμεσο μηδενικό
  - Έμμεσο: εξαρτάται από την διαδικασία παραγωγής (ηλεκτρόλυση μηδενικό, από φυσικό αέριο υπαρκτό)
- Τεχνικά πολύπλοκη και ακριβή αποθήκευση (λόγω χαμηλής πυκνότητας)
  - Υπό πίεση 350 bar : 10x όγκο βενζίνης
  - Ψυγμένο -253°C : 4x όγκο βενζίνης

### 10.5 Εκπομπές ρύπων

#### 10.5.1. Η καύση του μίγματος αέρα/καυσίμου

- Καθαρό καύσιμο, πλήρης καύση, ιδανικές συνθήκες, αρκετό οξυγόνο:  

$$n_1 C_x H_y + m_1 O_2 \rightarrow n_2 H_2 O + m_2 CO_2$$
- Στην πραγματικότητα παράγονται (επιπλέον των H<sub>2</sub>O+ CO<sub>2</sub>) τοξικά παραπροϊόντα
- Υπο την πίεση κανονισμών, γίνεται προσπάθεια περιορισμού της παραγωγής τοξικών υποπροϊόντων: βελτιστοποίηση της καύσης, βελτίωση ποιότητας καυσίμων.
- Ποσότητα CO<sub>2</sub> είναι ανάλογη της ποσότητας καυσίμου: μειώνεται μόνο με την μείωση κατανάλωσης καυσίμου.

#### 10.5.2. Συστατικά καυσαερίων

- Νερό  
 Υδρογόνο από καύσιμο  $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2 O$  ατμός  
 13% καυσαερίων
- Διοξείδιο του άνθρακα  
 Άχρωμο, άοσμο, μη τοξικό, βρίσκεται στην ατμόσφαιρα

Ευθύνεται για το φαινόμενο θερμοκηπίου

14% καυσαερίων

- Άζωτο ( $N_2$ )

Συστατικό αέρα 78%

φαινομενικά δεν συμμετέχει στην καύση

71% καυσαερίων

### 10.5.3. Ρύποι

- Ρύποι πριν τον καταλύτη: 1% καυσαερίων (για ζεστή μηχανή και  $\lambda=1$ )
- Ρύποι μετά τον καταλύτη: 0,01%

Τύποι ρύπων

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
  - Άοσμο, άχρωμο αέριο, αναστέλλει την ικανότητα του αίματος να απορροφήσει- μεταφέρει οξυγόνο.
  - Ατελής καύση πλούσιου μείγματος λόγω έλλειψης οξυγόνου
  - Παράγεται και τοπικά σε πλούσιες ζώνες ανομοιογενούς μίγματος
  - Σταγονίδια καυσίμου που δεν ατμοποιούνται σχηματίζουν σημεία πλούσιου μίγματος
- Υδρογονάνθρακες (HC)
  - Χημικές ενώσεις άνθρακα – υδρογόνου
  - Προϊόν ατελούς καύσης λόγω περιορισμένου  $O_2$
  - Παράγονται και νέοι HC που δεν βρίσκονταν αρχικά στο καύσιμο
  - Άκυκλες ενώσεις: άοσμες (αλκάνια, αλκένια, αλκίνια)
  - Κυκλικές: χαρακτηριστική οσμή (βενζόλιο, τολουένιο, κετόνες)
  - Μερικώς οξυγονωμένοι HC (αλδεύδες, κετόνες) άσχημη οσμή
  - Μακροπρόθεσμη έκθεση: κάποια είναι καρκινογόνα, ιδιαίτερα μετά την έκθεση σε ήλιο.
- Οξείδια Αζώτου ( $NO_x$ )
  - Ενώσεις αζώτου, οξυγόνου, κυρίως NO,  $NO_2$ ,  $N_2O$
  - Σχηματίζονται δευτερευόντως κατά την καύση
  - $NO_2$  τοξικό καφε-κόκκινο αέριο, έντονη οσμή
  - Ερεθίζει το αναπνευστικό
  - Προκαλεί όξινη βροχή (νιτρικό οξύ)
- Διοξείδιο του Θείου ( $SO_2$ )
  - Δεν είναι ελεγχόμενος ρύπος στην αυτοκίνηση
  - Υποβαθμίζει την λειτουργία του καταλύτη
  - Προκαλεί όξινη βροχή (θειικό οξύ)

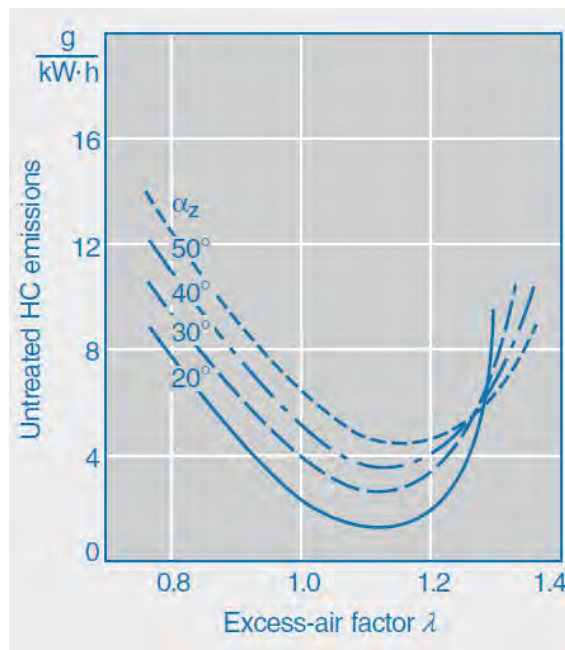


- Σωματίδια αιθάλης (Particulate Matter, PM)
  - Σωματίδια από ατελή καύση
  - Αλυσίδες σωματιδίων άνθρακα
  - Σε diesel έντονο, βενζίνη όχι τόσο.

#### 10.5.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό ρύπων

- Λόγος αέρα καυσίμου
  - Οι αντιδράσεις που γίνονται στον τριοδικό καταλύτη ευνοούνται για  $\lambda=1$
  - Άμεσος ψεκασμός : 2 τρόποι λειτουργία
    - Ομοιογενής γόμωση (απαίτηση ροπής ή πολλές στροφές)  $\lambda=1$
    - Στρωματική γόμωση (συνολικά  $\lambda>1$ )
- Ταχύτητα περιστροφή
- Φορτίο μηχανής
- Θέση έναυσης

##### 10.5.4.1. Εκπομπές HC

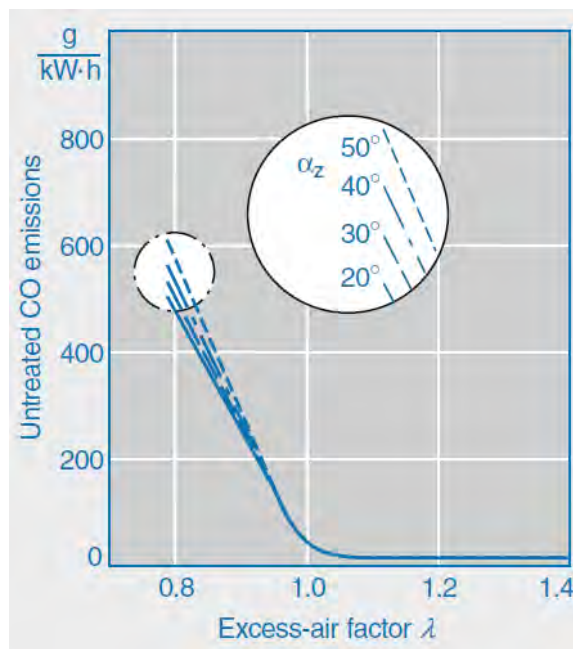


Σχήμα 10-4 Επίπεδα εκπομπών HC συναρτήσει του λόγου αέρα καυσίμου για θέσεις έναυσης

- Λόγος αέρα καυσίμου:
  - $\lambda < 1$  : ατελής καύση → παραγωγή HC
  - $\lambda = 1.1..1.2$  : ελάχιστες εκπομπές HC
  - $\lambda > 1$  : ατελής καύση στα άκρα του θαλάμου καύσης (κακή μετάδοση μετώπου φλόγας) → παραγωγή HC
  - $\lambda \gg 1$  μη-έναυση → η παραγωγή HC αυξάνεται δραματικά

- Σημαντική η ομοιογένεια γόμωσης. Αν δεν είναι ομοιογενής, στα «πλούσια» σημεία παράγονται HC.
- Στην στρωματική κατανομή, επιδρά έντονα η απόθεση καυσίμου στα τοιχώματα
- Ταχύτητα περιστροφής
  - Αύξηση με την ταχύτητα λόγω μικρού χρόνου διαθέσιμου για προετοιμασία και καύση μίγματος.
- Φορτίο μηχανής
  - Με την αύξηση του φορτίου, αυξάνεται η θερμοκρασία στον θάλαμο και μειώνονται οι εκπομπές HC επειδή:
    - Γίνεται καλύτερη μετάδοση μετώπου φλόγας και μέχρι τα τοιχώματα,
    - Γίνονται δευτερογενείς αντιδράσεις που καταλύουν τους HC μέχρι και στην εκτόνωση
- Θέση έναυσης
  - Με την αύξηση της προπορείας (έναυση νωρίτερα) –  $\alpha_z$ , γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της ενέργειας, με αποτέλεσμα μικρότερη θερμοκρασία καυσαερίων. Τότε, δεν ευνοούνται οι δευτερογενείς αντιδράσεις με αποτέλεσμα μικρή αύξηση των εκπομπών HC
  - Στα φτωχά μείγματα, που η ταχύτητα καύσης είναι μικρή λόγω κακής μετάδοσης μετώπου φλόγας, η αύξηση της προπορείας ευνοεί διότι δίνεται περισσότερος χρόνος.

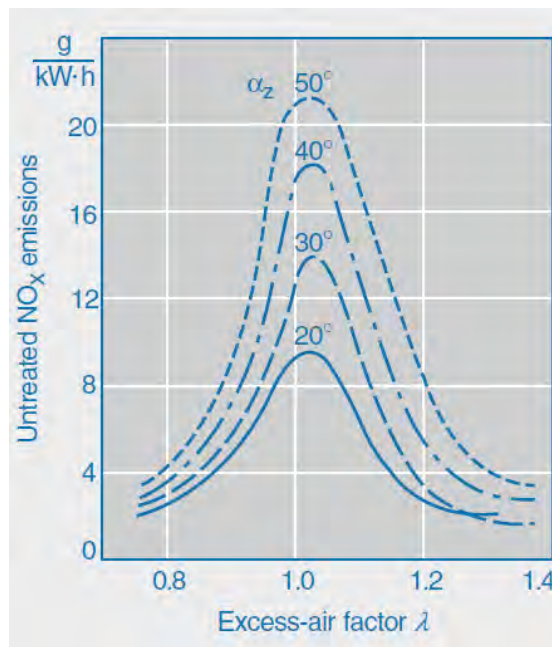
#### 10.5.4.2. Εκπομπές CO



Σχήμα 10-5 Επίπεδα εκπομπών CO συναρτήσει του λόγου αέρα/καυσίμου για θέσεις έναυσης

- Λόγος αέρα καυσίμου
  - $\lambda < 1$  : Σχεδόν γραμμική συσχέτιση  $\lambda$  με CO (ατελής καύση άνθρακα κατά την λειτουργία με έλλειψη οξυγόνου)
  - $\lambda > 1$  : CO Χαμηλά επίπεδα
- Ταχύτητα περιστροφή
  - Όμοια με HC
- Φορτίο μηχανής
  - Με την αύξηση του φορτίου, αυξάνεται η θερμοκρασία καύσης με αποτέλεσμα την καλύτερη οξείδωση του μονοξειδίου ( $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$ ) συνεπώς μειώνονται οι εκπομπές CO
- Θέση έναυσης
  - Αμελητέα επίδραση

#### 10.5.4.3. Εκπομπές $\text{NO}_x$



Σχήμα 10-6 Επίπεδα εκπομπών  $\text{NO}_x$  συναρτήσει του λόγου αέρα καυσίμου για θέσεις έναυσης

- Λόγος αέρα καυσίμου
  - Ο σχηματισμός ευνοείται από την θερμοκρασία καύσης. Μέγιστη θερμοκρασία για  $\lambda=1.05..1.1$
- Ταχύτητα περιστροφή
  - Στην μεγάλη ταχύτητα, ο διαθέσιμος χρόνος για σχηματισμό μειώνεται, συνεπώς μειώνονται οι εκπομπές  $\text{NO}_x$
- Φορτίο μηχανής
  - Με την αύξηση του φορτίου, αυξάνεται η θερμοκρασία καύσης με αποτέλεσμα την καλύτερη ενεργοποίηση των αντιδράσεων του αζώτου και την αυξημένη παραγωγή  $\text{NO}_x$
- Θέση έναυσης

- Με την αύξηση προπορείας (έναυση νωρίτερα)  $\alpha_z$  αυξάνεται η θερμοκρασία καύσης με αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών  $\text{NO}_x$

#### 10.5.4.4. Εκπομπές Σωματιδίων

- Γενικά μικρές στους βενζινοκινητήρες
- Στην στρωματική γόμωση κακή διασπορά εντός του νέφους ή εναπόθεση στα τοιχώματα προκαλεί εκπομπές σωματιδίων
  - Χρόνος  $\sim$  Διασπορά  $\rightarrow$  περιορισμός στρωματικής γόμωσης στις χαμηλές ταχύτητες

### 10.6 Καταλυτικός Έλεγχος Εκπομπών

Τα μέτρα που εφαρμόζονται στον κινητήρα δεν αρκούν για τον περιορισμό των εκπομπών



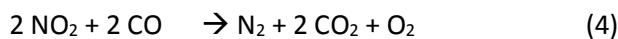
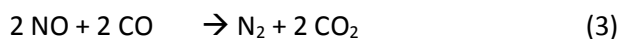
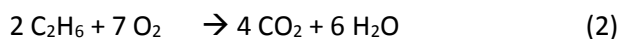
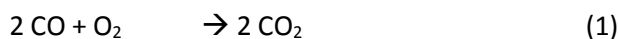
Εφαρμόζεται καταλυτικός μετατροπέας: Οι ρύποι των καυσαερίων μετατρέπονται στην επιφάνεια του καταλύτη μέσω χημικών αντιδράσεων σε αβλαβείς ουσίες.

$\lambda=1$  (διασφαλίζεται από Κλειστό Βρόγχο Ελέγχου) & Προβλεπόμενη Θερμοκρασία  $\rightarrow$  Μετατροπή  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$

Ανάγκη για  $\lambda>1 \rightarrow$  Εφαρμογή επιπλέον καταλύτη για  $\text{NO}_x$

#### 10.6.1. Τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας

##### 10.6.1.1. Αρχή λειτουργίας



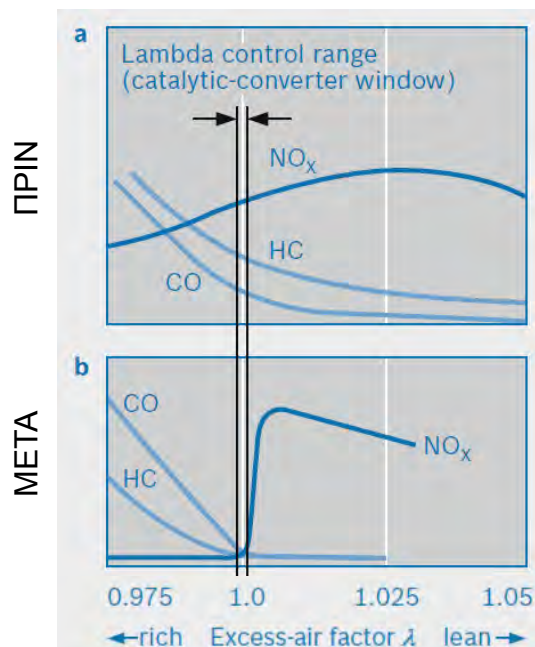
Το οξυγόνο για την οξείδωση των  $\text{CO}$  και  $\text{HC}$  (αντιδράσεις 1 και 2) προέρχεται από τα καυσαέρια ( $\sim 0.5\%$  σε  $\lambda=1$ ) ή/και από τα προϊόντα της αντίδρασης 4.

Το  $\text{CO}$  που απαιτείται για την αναγωγή των  $\text{NO}_x$  προέρχεται από τα καυσαέρια.

Σε  $\lambda=1$  υπάρχει ισορροπία για την επίτευξη των αναγωγών-οξειδώσεων. Μικρές διακυμάνσεις στο  $\text{O}_2$  εξισορροπούνται από αντιδράσεις στον καταλύτη που απορροφά και αποδίδει  $\text{O}_2$ .

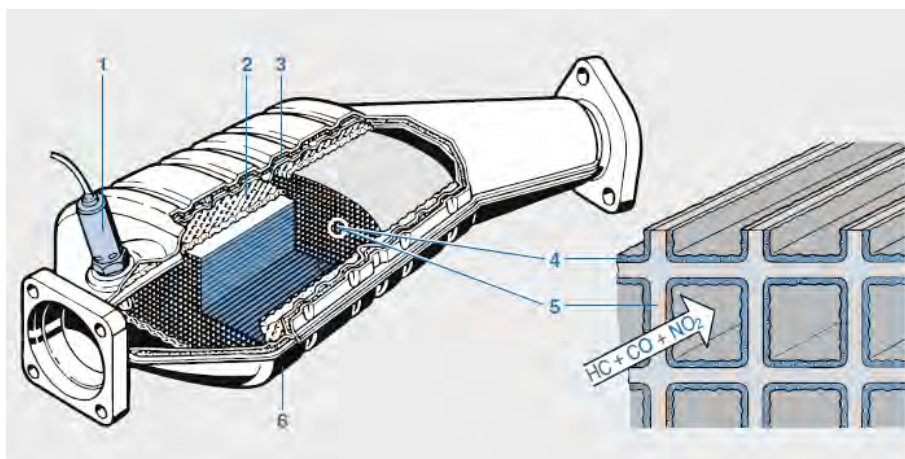
Σε  $\lambda>1$ ,  $\text{HC}$  και  $\text{CO}$  οξειδώνονται πλήρως από το  $\text{O}_2$  και δεν αρκούν για την κατάλυση των  $\text{NO}_x$ .

Σε  $\lambda<1$ , δεν αρκεί το  $\text{O}_2$  για την οξείδωση των  $\text{CO}$  και  $\text{HC}$ .



Σχήμα 10-7 Επίπεδα εκπομπών HC, CO και NO<sub>x</sub> συναρτήσει του λόγου αέρα καυσίμου για θέσεις έναυσης πριν (α) και μετά (β) τον καταλύτη.

#### 10.6.1.2. Σχεδιασμός



1 Lambda sensor  
2 Swell matting  
3 Thermally insulated double shell

4 Washcoat (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrate coating) with noble-metal coating  
5 Substrate (monolith)  
6 Housing

Σχήμα 10-8 Κατασκευή καταλυτικού μετατροπέα

- Μεταλλικό περίβλημα (6)
- Υπόστρωμα (5)
  - Κεραμικοί μονόλιθοι: Εύθραυστο πορώδες πυράντοχο κεραμικό με μαγνήσιο αλουμίνιο
  - Μεταλλικοί μονόλιθοι: “Τυλιγμένο” μεταλλικό φύλλο 0.03..0.0-5mm (πλεονέκτημα: μειωμένη αντίσταση στη ροή)
- Επένδυση υποστρώματος
  - Υλικό Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

- Σκοπός:
  - αύξηση επιφάνειας x7000
  - στέγαση καταλυτών (Πλατίνα, Παλλάδιο, Ρόδιο) 1..5 gr

#### 10.6.1.3. Συνθήκες λειτουργίας

- Θερμοκρασία Λειτουργίας
  - Για την επίτευξη της οξείδωσης – αναγωγής απαιτείται ενέργεια ενεργοποίησης : ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ
  - Τουλάχιστον 300°C
  - Ιδανικά 400 .. 800 °C
  - 800 .. 1000 °C : πυροσυσσωμάτωση → μείωση δραστική επιφάνειας
  - 1000 °C .. Ταχεία θερμική γήρανση → πολύ μειωμένη απόδοση
  - Δυσλειτουργία μηχανής (πχ μη έναυση στο θάλαμο, και έναυση στον οχετό εξαγωγής) η θερμοκρασία στον καταλύτη μπορεί να φτάσει τους 1400°C :τήξη του υποστρώματος & καταστροφή του καταλύτη.
- Ρύπανση του καταλύτη:
  - Μόλυβδος: επικάθεται και καταλαμβάνει το υπόστρωμα – κλείνει του πόρους
  - Καύσιμο: επίσης καταστρέφουν τον καταλύτη

#### 10.6.1.4. Προθέρμανση

- Προθέρμανση με λήψη μέτρων στην μηχανή: Αύξηση παροχής μάζα και θερμοκρασίας καυσαερίων
  - Προκαλείται μείωση απόδοσης μηχανής (απόρριψη ενέργειας) – προσωρινά
  - Βραδυπορία : βασική μέθοδος προθέρμανσης, μετατόπιση της καύση στην εκτόνωση
  - Άμεσο ψεκασμό, στρωματοποιημένη γόμωση: δεύτερη έγχυση στο τέλος της καύσης
  - Δευτερογενής παροχή αέρα με πλούσιο – πολύ πλούσιο μίγμα.
- Ηλεκτρική θέρμανση του καταλύτη

#### 10.6.2. Κλειστός βρόγχος ελέγχου «λ»

Η ποσότητα εγχεόμενης βενζίνης ελέγχεται από τον παλμό που τροφοδοτεί τον εγχυτήρα.

Ο έλεγχος αυτός δεν αρκεί για την ακριβή διατήρηση του λ στις περιοχή που απαιτείται από τον καταλύτη

Συνεπώς εφαρμόζεται κλειστός βρόγχος ελέγχου (βρόγχος ανάδρασης)

Όταν εφαρμόζεται βρόγχος κλειστού ελέγχου του λ, οι αποκλίσεις από μια ορισμένη τιμή ανιχνεύονται και διορθώνονται μέσω της διόρθωσης της ποσότητας καυσίμου.

Το απομένων οξυγόνο στα καυσαέρια, που μετράται από τον αισθητήρα λ, διασφαλίζει τον έλεγχο της σύνθεσης του καυσίμου μίγματος.

Η χρήση διβαθμιου αισθητήρα λ εφαρμόζεται για την διατήρηση του  $\lambda = 1$

Η χρήση αισθητήρα ευρέως φάσματος επιτρέπει την διατήρηση διαφορετικών τιμών

Μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται με την χρήση δυο αισθητήρων, ο ένας εκ των οποίων βρίσκεται μετά τον καταλύτη.