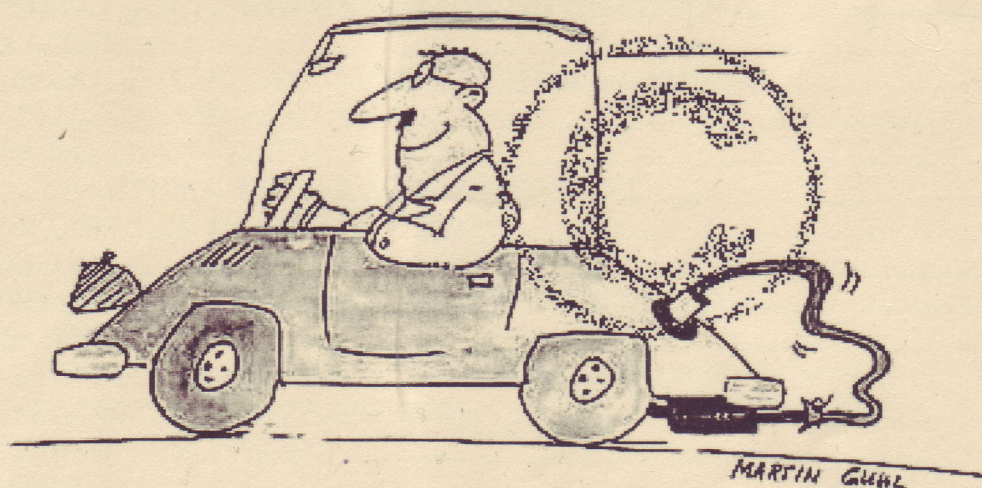


ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ



ΤΕΓΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ – ΜΠΑΤΖΙΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΣΕΡΡΕΣ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ: Δρ. Μήλτσιος Γεώργιος
Γκείβανίδης Σάββας

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	4
ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ	4
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ.....	5
1.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ	9
1.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ.....	17
1.5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	22
ΑΡΧΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	22
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
2.2. ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ.....	24
2.3. ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ	45
2.4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ.....	48
2.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗΣ ΑΝΑΘΥΜΙΑΣΕΩΝ BENZΙΝΗΣ....	49
2.6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΘΑΛΑΜΟΥ.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	53
ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΟΤΤΟ	53
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	53
3.2. ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ LAMBDA	54
3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	64
3.4. ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΚΑΙ ΡΥΠΟΙ	89
3.5. ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ (VVT)	94
3.6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΟΥ (E.G.R.)	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	106
ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL	106
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	106
4.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ (PCV) ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (EGR).....	107
4.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΧΥΣΗΣ	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	122
ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ	122
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	122
5.2. ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ ΟΤΤΟ.....	126
5.2.1. ΔΙΟΔΙΚΟΙ Η ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ	128
5.2.2. ΑΡΡΥΘΜΙΣΤΟΣ ΤΡΙΟΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ	130
5.2.3. ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟΙ ΤΡΙΟΔΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ.....	130
5.3. ΠΑΓΙΔΕΣ ΗC ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ ΟΤΤΟ	143
5.4. ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ NO _x	146
5.5. ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΙ ΤΡΙΠΛΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ	146
5.6. ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΡΥΑ ΕΝΑΡΞΗ.....	147
5.6.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΩΝ ΗC ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΥΑ ΕΝΑΡΞΗ.....	147
5.6.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ.....	150
5.6.3. ΚΑΥΣΗ BENZΙΝΗΣ	151
5.7 ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ DIESEL.....	151
5.8. ΠΑΓΙΔΕΣ DIESEL	153
5.9. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ DIESEL	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	164
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ.....	164
6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	164
6.2. ΥΓΡΑΕΡΙΟ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ.....	165
6.3. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ.....	174
6.4. ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	179
6.5. ΥΔΡΟΓΟΝΟ	185
6.6. ΗΛΙΑΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	191
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	194
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	196
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	202
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	203

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μελέτη αυτή που εκπονήθηκε στα πλαίσια των μαθημάτων Μ.Ε.Κ Ι και ΙΙ του Τμήματος Μηχανολογίας της ΣΧΟΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, έχει σκοπό την παροχή προωθημένων τεχνολογικών γνώσεων για την υποδομή και τη λειτουργία των σύγχρονων συστημάτων των αυτοκινήτων, που φέρουν και τη νέα αντιρρυπαντική τεχνολογία του περιβάλλοντος.

Η βάση για την πραγματοποίηση της μελέτης ήταν το εργαστήριο των Μ.Ε.Κ Ι και ΙΙ, όπου, αφενός με τη διεξαγωγή κάποιων πειραματικών μετρήσεων και αφετέρου με την παροχή της πλούσιας βιβλιογραφίας, στάθηκε δυνατή η ολοκλήρωση της μελέτης.

Η σπουδαιότητα του θέματος είναι τέτοια που ώθησε τις αυτοκινητοβιομηχανίες στη δαπάνη ολοένα και μεγαλύτερων κονδυλίων για την εξέλιξη όλων των επιμέρους συστημάτων, ώστε να είναι δυνατή η πραγματοποίηση των ολοένα και αυστηρότερων προδιαγραφών εκπεμπόμενων ρύπων που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην εργασία αυτή δεν περιέχονται μόνο τεχνολογίες ή συστήματα τα οποία εφαρμόζονται στα αυτοκίνητα με αποκλειστικό σκοπό τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, αλλά εξετάζονται όλα τα επιμέρους συστήματα τα οποία με την εξέλιξή τους συμβάλλουν στη δημιουργία ενός καθαρότερου περιβάλλοντος.

Το υλικό για τη σύνταξη της μελέτης αυτής, εκτός από το εργαστήριο των Μ.Ε.Κ Ι και ΙΙ, αναζητήθηκε και στη βιβλιοθήκη του Τ.Ε.Ι. Σερρών καθώς επίσης και σε διάφορες ιστοσελίδες.

Τέλος ευχαριστούμε θερμά τους εισηγητές της εργασίας Δρ. Μήλτσιο Γεώργιο και Γκείβανίδη Σάββα, όχι μόνο για την προμήθεια σε βιβλιογραφία, αλλά και την πολύτιμη βοήθειά τους, χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ένα πλήθος τοξικών και καρκινογόνων χημικών ουσιών είναι το τίμημα της βιομηχανικής ανάπτυξης και του τρόπου ζωής της σύγχρονης κοινωνίας. Η ατμοσφαιρική ρύπανση των μεγάλων αστικών κέντρων αποτελεί καθημερινή εμπειρία των κατοίκων τους σε πολλές αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Είναι μια συνηθισμένη εικόνα που παρατηρείται κυρίως σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές της χώρας μας και ιδίως στην περιοχή της Αθήνας, την τελευταία δεκαετία.

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO₂), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), η κάπνα, τα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια των βαρέων μετάλλων και μια σειρά από άλλες οργανικές ή ανόργανες τοξικές ουσίες κατακλύζουν καθημερινά την ατμόσφαιρα ρυπαίνοντας το περιβάλλον με άμεσες ή μακροπρόθεσμες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων.

Σε αντίθεση με ότι πιστεύαμε παλιά, σήμερα έχει αποδειχθεί ότι το αυτοκίνητο με την εκπομπή των καυσαερίων αποτελεί μια από τις βασικότερες πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας των αστικών κυρίως κέντρων. Οι πλέον γνωστοί και επικίνδυνοι ρύποι που εκπέμπονται με το καυσαέριο των αυτοκινήτων είναι: τα οξείδια του αζώτου (NO_x), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του μολύβδου (PO_x), η κάπνα και το διοξείδιο του θείου (SO₂). Οι παραπάνω ρύποι ονομάζονται πρωτογενείς και έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Εξ' ίσου βλαβερές επιπτώσεις έχουν και οι δευτερογενείς ρύποι οι οποίοι προκύπτουν από τις φωτοχημικές αντιδράσεις των πρωτογενών ρύπων με την ηλιακή ακτινοβολία. Τα προϊόντα αυτών των αντιδράσεων συμβάλλουν στη δημιουργία όζοντος (O₃) στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους. Μια εκτεταμένη και λεπτομερής έρευνα που έγινε στις Η.Π.Α. για την συμβολή των αυτοκινήτων στην γενικότερη ρύπανση της ατμόσφαιρας έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 1: Η συμβολή των πέντε βασικών πηγών στην ατμοσφαιρική ρύπανση [113]

Πηγή ρύπανσης	Ρυπαντές %					
	CO	NO _x	HC	SO ₂	Αιωρούμενα σωματίδια	Σύνολο
Αυτοκίνητα	91,6	37,5	63	3,8	8,3	60,5
Βιομηχανίες	2,7	15,3	21	34,4	50,0	16,2
Εργοστάσια παραγωγής ενέργειας	1,4	23	5	46,5	25,0	14,0
Κεντρικές θερμάνσεις	2,7	7,6	5	11,5	8,3	5,6
Καύση απορριμμάτων	1,4	7,6	5	3,8	8,3	3,5

Τα αποτελέσματα μιας αντίστοιχης έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Αθήνας δίδονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Συγκριτικός πίνακας των ετήσιων εκπομπών ρύπων, με τα ποσοστά συμμετοχής στην ρύπανση της Αθήνας [113]

Πηγή ρύπανσης	Ρυπαντές %			
	CO	NO _x	Καπνός	HC
Αυτοκίνητα	76	100	64	79
(Βενζινοκίνητα)	35	98	4	73
(DIESEL)	41	2	60	5,9
Βιομηχανία	20	-	20	21
Κεντρική θέρμανση	4	-	16	-

Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών δίνουν την πραγματική διάσταση της συμμετοχής του αυτοκινήτου στη ρύπανση της ατμόσφαιρας και καταρρίπτουν τον μύθο των προηγούμενων δεκαετιών που ήθελε αποκλειστικά ως κύρια πηγή μόλυνσης της ατμόσφαιρας τη βιομηχανία.

1.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

• Μονοξείδιο τον άνθρακα (CO)

Είναι αέριο προϊόν ατελούς καύσης χωρίς οσμή, χρώμα και γεύση. Από χημικής άποψης παρουσιάζει περίπου 250 φορές μεγαλύτερη συγγένεια, από ότι το οξυγόνο, με την αιμοσφαιρίνη του αίματος. Κατά συνέπεια δεσμεύει και αδρανοποιεί την αιμοσφαιρίνη προκαλώντας βλάβες στο νευρικό σύστημα και στην καρδιά. Σε ποσοστά συγκέντρωσης

πάνω από 0,3% στον αέρα, το CO καθίσταται πολύ επικίνδυνο έως και θανατηφόρο εάν το εισπνέουμε για πάνω από 30 λεπτά.

- **Υδρογονάνθρακες (HC)**

Είναι καρκινογόνες χημικές ουσίες με βασικά συστατικά τον άνθρακα και το υδρογόνο. Στα καυσαέρια υπάρχει πλήθος διαφορετικών ενώσεων υδρογονανθράκων που είναι αποτέλεσμα ατελούς ή ημιτελούς καύσης.

Οι τρεις κατηγορίες υδρογονανθράκων που ανιχνεύονται στα καυσαέρια είναι οι κορεσμένοι, οι ακόρεστοι και οι αρωματικοί. Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες, όπως είναι οι παραφίνες, είναι άοσμες ενώσεις με αναισθητικές ιδιότητες που προκαλούν ελαφρύ ερεθισμό της επιδερμίδας. Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες, όπως είναι οι διάφορες ολεφίνες και τα ακετυλένια έχουν γλυκίζουσα μυρωδιά και προκαλούν εν μέρει ερεθισμό της επιδερμίδας. Με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας συμμετέχουν σε φωτοχημικές αντιδράσεις και αποκτούν οξειδωτικές ιδιότητες, ενώ συγχρόνως ευνοούν τον σχηματισμό όζοντος (O_3) στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (π.χ βενζόνλιο, τουλουόλη) που χρησιμοποιούνται σε αρκετά μεγάλα ποσοστά στην αμόλυβδη (σε αντικατάσταση του μολύβδου) έχουν χαρακτηριστική μυρωδιά και είναι τοξικές και καρκινογόνες ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Επιπλέον ερεθίζουν τα μάτια, την μύτη και το νευρικό σύστημα. Γι' αυτό δεν πρέπει να γίνεται χρήση αμόλυβδης βενζίνης δίχως την παράλληλη χρήση του καταλυτικού μετατροπέα (καταλύτης).

- **Οξείδια του αζώτου NO_x**

Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου που ανιχνεύονται στα καυσαέρια προσμετρώνται συγχρόνως και χαρακτηρίζονται μαζί ως οξείδια του αζώτου (NO_x). Το NO είναι αέριο άχρωμο το οποίο στον ατμοσφαιρικό αέρα μετατρέπεται σε NO_2 . Αυτό είναι γνωστό ως ισχυρό δηλητήριο του αίματος, επειδή η ένωση του με την αιμοσφαιρίνη προκαλεί παράλυση, ενώ συγχρόνως ερεθίζει και τους πνεύμονες. Ως προς τις φυσικές του ιδιότητες το NO_2 είναι αέριο καφέ κόκκινου χρώματος με οξεία και παραμένουσα μυρωδιά. Η συνδυαστική δράση των NO_x με ακόρεστους υδρογονάνθρακες, κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, συντελεί στην δημιουργία O_3 (Όζοντος) στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα την εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους.

- **Οξείδια και ενώσεις μολύβδου (PbO_x).**

Είναι πολύ τοξικές ενώσεις και οφείλουν την δημιουργία τους στο μόλυβδο (Pb) που περιέχει το καύσιμο. Οι ενώσεις αυτές προκαλούν δηλητηρίαση του αίματος, δηλητηρίαση του μυελού των οστών και παράλυση του νευρικού συστήματος. Προσβάλλουν περισσότερο τις ευαίσθητες ηλικίες. Οι ενώσεις μολύβδου όπως είναι ο τετρα-αιθυλιούχος μόλυβδος Pb(C₂H₅)₄ ή ο τετρα-μεθυλιούχος μόλυβδος Pb(CH₃)₄ αποτελούν βασικά συστατικά της μολυβδούχου βενζίνης, απαραίτητα για την αύξηση της αντiekρηκτικότητάς της. Το 75% περίπου του μολύβδου, που περιέχει η βενζίνη, εκπέμπεται στο περιβάλλον μαζί με τα καυσαέρια. Το υπόλοιπο κατακρατάται από το λιπαντικό του κινητήρα. Υπολογίζεται ότι ένα αυτοκίνητο συμβατικής τεχνολογίας με μέση κατανάλωση καυσίμου 10 lit/100 km αποβάλλει 1/2 κιλό μόλυβδο για κάθε 10.000 km. Στα αυτοκίνητα βέβαια της νέας τεχνολογίας που καίνε αμόλυβδη βενζίνη (καταλυτικά), οι εκπομπές αυτές μειώνονται στο ελάχιστο επειδή η συμμετοχή των ενώσεων του μολύβδου στην συγκεκριμένη βενζίνη, περιορίζεται κατά 90% σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσοστά που περιέχει η μολυβδούχος βενζίνη.

- **Διοξείδιο του θείου SO₂**

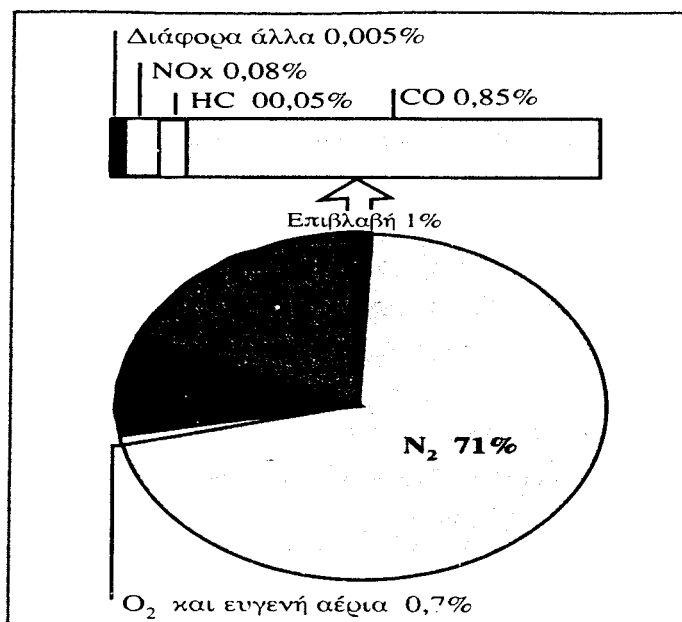
Σαν χημικό αέριο επηρεάζει μόνο τα φυτά, αλλά όταν ενώνεται με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και τους παραμένοντες στον θάλαμο καύσης υδρατμούς δημιουργεί θειικό οξύ (H₂SO₄) το οποίο καταστρέφει τις επιφάνειες των κυλίνδρων. Η περιεκτικότητα του θείου στην βενζίνη είναι μικρότερη από 0,1% και οι ρύποι του διοξειδίου του θείου είναι χωρίς ιδιαίτερη σημασία.

- **Διοξείδιο τον άνθρακα CO₂**

Είναι αέριο αβλαβές δίχως άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και δε συγκαταλέγεται στους βασικούς ρύπους. Έχει όμως μακροπρόθεσμα σοβαρές επιπτώσεις, επειδή αποτελεί τον κύριο παράγοντα δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου (αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη). Τελευταία οι έρευνες στρέφονται στην εξάλειψη και αυτού του αερίου από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων.

- Ένα άλλο πρόσθετο στοιχείο των καυσαερίων είναι η κάπνα που παράγεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις έλλειψης αέρα. Αυτή αποφεύγεται με την σωστή ρύθμιση του κινητήρα. Η εικόνα 1 παρουσιάζει σε ποσοστιαία αναλογία την σύσταση των καυσαερίων και τα σημαντικότερα επιβλαβή στοιχεία.

- Διάφορες ενώσεις φωσφόρου, χλωρίου και βρώμιου ανιχνεύονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στα καυσαέρια και δεν λαμβάνονται υπ' όψιν. (Πίνακας 3)



Εικόνα 1: Σύσταση καυσαερίων και κυριότερα επιβλαβή στοιχεία. [107]

Πίνακας 3: Βλαβερή επίδραση ρυπαντών ατμόσφαιρας [113]

Η ΒΛΑΒΕΡΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΡΥΠΑΝΤΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ		
ΡΥΠΑΝΤΗΣ	ΠΥΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	ΚΥΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΡΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ
CO	1. ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ Βενζινοκίνητα 98% Πετρελαιοκίνητα 2% 2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ — 3. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ —	<ul style="list-style-type: none"> • Εμποδίζει την εναλλαγή του οξυγόνου στο αίμα και προκαλεί δηλητηρίαση. Το ατμοσφαιρικό CO σε συγκεντρώσεις 30-40 PPM ναρκώνει το νευρικό σύστημα. Σε συγκεντρώσεις 500 PPM και πάνω, προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή και πονοκεφάλους, όταν γίνονται κάποιες κινήσεις του σώματος. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει το θάνατο.
HC	1. ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ 79% 2. ΔΙΪΛΙΣΤΗΡΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ, ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΛΥΤΙΚΩΝ κλπ. 21%	<ul style="list-style-type: none"> • Βλάπτουν το αναπνευστικό σύστημα.
NOx	1. ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ 77% 2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ, ΔΙΪΛΙΣΤΗΡΙΑ κλπ. 21%	<ul style="list-style-type: none"> • Ερεθίζουν τα μάτια, τη μύτη και το φάρυγγα. Αν ο ερεθισμός είναι σοβαρός, προκαλούνται πονοκέφαλοι και προβλήματα στους πνεύμονες. • Ατμοσφαιρικό NO₂: Παράγει μία ερεθιστική μυρωδιά σε συγκεντρώσεις 3-5 PPM. Ερεθίζει τα μάτια και τη μύτη σε συγκεντρώσεις 10-30 PPM. Προκαλεί βήξιμο, πονοκεφάλους και ζαλάδα σε συγκεντρώσεις 30-50 PPM.

1.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω οι εκπομπές των αυτοκινήτων, χωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς εκπομπές. Από αυτές, οι πραγματικές είναι οι πρωτογενείς εκπομπές.

Οι πρωτογενείς εκπομπές είναι προϊόντα που περιέχονται στα καυσαέρια και εκπέμπονται απ' ευθείας από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Αντίθετα, οι δευτερογενείς εκπομπές είναι προϊόντα που προκύπτουν από την αλληλοεπίδραση ή το μετασχηματισμό των πρωτογενών εκπομπών και δεν εκπέμπονται από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Πρωτογενείς εκπομπές, λοιπόν, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO₂), ο μόλυβδος (Pb) και οι υδρατμοί (H₂O). Στις πρωτογενείς εκπομπές τρεις είναι βασικά οι ρυπαντές και φυσικά αυτοί που ενδιαφέρουν περισσότερο.

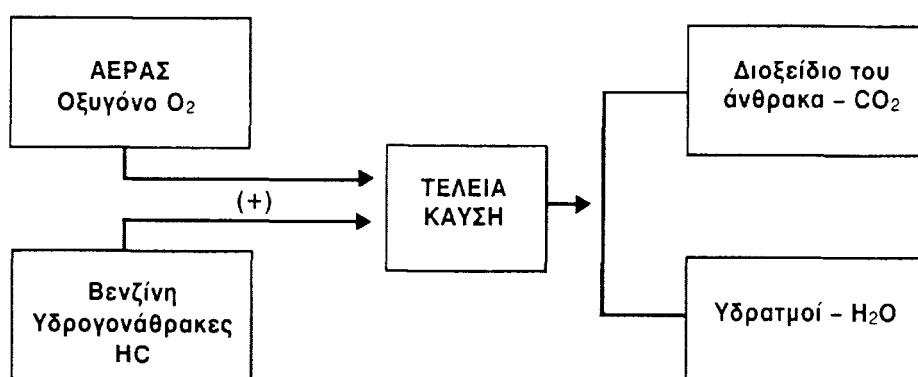
Αυτοί είναι οι εξής:

1. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
2. Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC) και
3. Οξείδια του αζώτου (NO_x).

Ειδικά για τους πετρελαιοκινητήρες, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η εκπομπή αιθάλης (καπνός), καθώς και η εκπομπή σωματιδίων που είναι στην ουσία μεγάλα μόρια άκαυστων υδρογονανθράκων.

Ρυπαντής θεωρείται κάθε εκπομπή που έχει επιβλαβείς επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου και στο άμεσο περιβάλλον του. Για το λόγο αυτό τα CO₂ και H₂O δεν θεωρούνται ρυπαντές, αφού το καθένα ξεχωριστά είναι προϊόν τέλει καύσης, όπως προκύπτει από την παρακάτω απλή χημική αντίδραση.

Εκτός από τους πρωτογενείς ρυπαντές υπάρχουν και οι δευτερογενείς, που παράγονται στην ατμόσφαιρα μέσω διάφορων χημικών αντιδράσεων. Στους ρύπους ανήκουν η όξινη βροχή, η φωτοχημική αιθαλομίχλη, το τροποσφαιρικό όζον και δευτερογενείς τύποι σωματιδιακών εκπομπών. Πιο συγκεκριμένα το όζον (O₃) αποτελεί διάσπαση του διατομικού οξυγόνου υπό την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας. Στην περίπτωση αυτή, το διατομικό οξυγόνο ενώνεται μ' ένα άτομο οξυγόνου και σχηματίζει το όζον. π.χ. $O_2 + O \leftrightarrow O_3$. Το όζον είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες δημιουργίας του νέφους στην ατμόσφαιρα και σαν κύρια πηγή προέλευσης του θεωρείται το αυτοκίνητο.



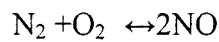
Εικόνα 2: Θεωρητική τέλεια καύση βενζίνης αέρα [113]

Γενικά οι συγκεντρώσεις των ρύπων στα καυσαέρια των μηχανών διαφέρουν από τις τιμές που προκύπτουν εάν υποθεθεί χημική ισορροπία. (Εικόνα 2) Γι' αυτό χρειάζεται η γνώση του ακριβούς χημικού μηχανισμού σχηματισμού αυτών, και η κινητική των αντιδράσεων του

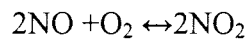
μηχανισμού αυτού, για να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι συγκεντρώσεις των ρύπων. Οι αντιδράσεις σχηματισμού και καταστροφής μερικών από τους ρύπους αυτούς, όπως π.χ. του μονοξειδίου του άνθρακα, των οργανικών ενώσεων και των σωματιδίων, είναι στενά συνδεδεμένες με τη διαδικασία καύσης του καυσίμου.

Οξειδία του αζώτου (NO_x)

Δημιουργούνται όταν το άζωτο διασπαστεί και σχηματίσει χημικές ενώσεις με το οξυγόνο κάτω από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα θα πρέπει η θερμοκρασία μέσα στο θάλαμο καύσης να ξεπεράσει τους 1800°C. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η υψηλή θερμοκρασία και η μεγάλη συγκέντρωση οξυγόνου. Συνεπώς τα NO_x σχηματίζονται κατά τη διάρκεια πλήρους και όχι ατελούς καύσης. Γνωρίζουμε ότι το 95% των οξειδίων του αζώτου που βρίσκονται στα καυσαέρια είναι μονοξείδιο του αζώτου και σχηματίζεται ως εξής :



Έπειτα το μονοξείδιο του αζώτου οξειδώνεται από το ήδη υπάρχον οξυγόνο και σχηματίζει διοξείδιο του αζώτου



Ο καλύτερος τρόπος μείωσης της ποσότητας εξερχόμενων NO_x είναι να εμποδιστεί η ανύψωση της θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο καύσης πάνω από 1800° C. Επίσης η μείωση του χρόνου κατά τον οποίο επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες με κατάλληλη ρύθμιση του χρονισμού ανάφλεξης βοηθάει αρκετά. Και τέλος η μείωση της ποσότητας συγκέντρωσης οξυγόνου με ρύθμιση της σχέσης αέρα-καυσίμου περίπου 16:1 (περιοχή φτωχού μίγματος).

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Ως προς την απόδοση του κινητήρα, οι μεγάλες συγκεντρώσεις CO που παρατηρούνται σε αρρυθμιστους και κυρίως παλαιάς τεχνολογίας βενζινοκινητήρες επιδρούν στην απώλεια ισχύος. Θεωρείται το μονοξείδιο του άνθρακα ως πρωτογενής ρυπαντής και παράγεται από ατελή καύση καυσίμου σε ποσοστό 71% λόγω έλλειψης οξυγόνου στο θάλαμο καύσης. Θεωρητικά, δεν πρέπει να παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα, αν υπάρχει περισσότερο οξυγόνο από αυτό που απαιτείτε στη σχέση αέρα – καυσίμου (π.χ. αν το μίγμα είναι φτωχό). Στην πραγματικότητα όμως παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα και στην περίπτωση αυτή.

Αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους :

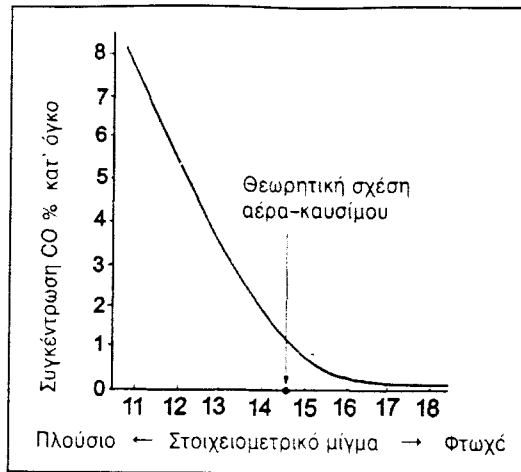
α) το μονοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα με οξείδωση αλλά αυτή η αντίδραση είναι συγκριτικά μικρή και δεν μπορεί να μετατρέψει όλο το

υπόλοιπο μονοξειδίο του άνθρακα σε διοξειδίο του άνθρακα. π.χ. $\text{CO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{CO}_2$ για αυτό το λόγο παράγεται μονοξειδίο του άνθρακα όταν το μίγμα αέρα – καυσίμου είναι πολύ φτωχό. (Εικόνα 3)

β) Λόγω της μη ομοιόμορφης διανομής καυσίμου στο θάλαμο καύσης συνεπώς και της μη ομοιομορφίας της καύσης του μίγματος αέρα – καυσίμου

γ) εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών γύρο από τα τοιχώματα των κυλίνδρων, οδηγώντας σε ψύξη πράγμα που σημαίνει ότι η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή για να πραγματοποιηθεί η καύση. Έτσι το καύσιμο φεύγει άκαυστο και στη συνέχεια βγαίνει από τον κύλινδρο καθώς ανεβαίνει για να εκτελέσει το χρόνο εξαγωγής.

Η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα στην εξαγωγή προσδιορίζεται γενικά από τη σχέση αέρα-καυσίμου. Η συγκέντρωση αυτή στα καυσαέρια ενός βενζινοκινητήρα πέφτει καθώς η σχέση αέρα-καυσίμου μεγαλώνει (π.χ το μίγμα αρχίζει να γίνεται φτωχότερο). Από ότι φαίνεται ο καλύτερος τρόπος για να μειωθεί η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα είναι να επιτευχθεί η “τέλεια” καύση κάνοντας τη σχέση αέρα-καυσίμου τόσο υψηλή (φτωχό μίγμα), όσο αυτό είναι πραγματικά δυνατό. Επίσης το μονοξειδίο του άνθρακα είναι λιγότερο στους πετρελαιοκινητήρες επειδή επικρατούν καλύτερες συνθήκες καύσης, υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις.



Εικόνα 3: Σχέση μεταξύ λόγου αέρα-καυσίμου και συγκέντρωσης του CO στα καυσαέρια.
[113]

Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)

Στην πράξη είναι άκαυστη βενζίνη η οποία δεν λαμβάνει μέρος στη διαδικασία της καύσης και εξέρχεται από την εξάτμιση. Εάν όμως η βενζίνη καεί πλήρως στο θάλαμο καύσης οι υδρογονάνθρακες δεν θα εκπέμπονται ως καυσαέρια, αν και στην πραγματικότητα ακόμα και σε αυτή την περίπτωση παράγονται συχνά υδρογονάνθρακες. (Εικόνα 4)

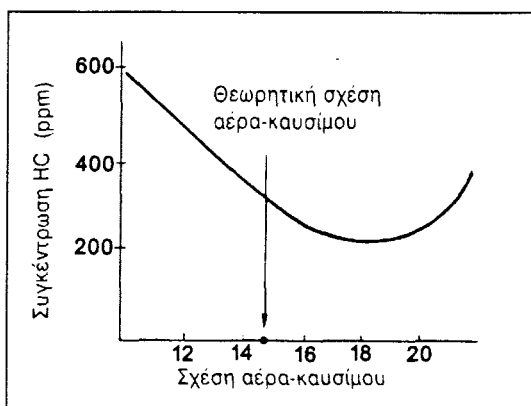
Κύριες αιτίες παραγωγής αυτών είναι οι παρακάτω:

α) λανθασμένη αναλογία μίγματος αέρα-καυσίμου. Στα καυσαέρια οι υδρογονάνθρακες αυξάνονται πέρα από ένα όριο καθώς το μίγμα αέρα-καυσίμου γίνεται φτωχότερο. Οφείλεται στην ατελή καύση (έλλειψη οξυγόνου). Εάν πάλι το μίγμα είναι πολύ πλούσιο η συγκέντρωση των υδρογονανθράκων θα αρχίσει πάλι να αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή το καύσιμο εξέρχεται από το θάλαμο καύσης πριν καεί πλήρως και πραγματοποιείται έτσι κακή ανάφλεξη

β) κατόπιν κακής ανάφλεξης άκαυστα αέρια παραμένουν μέσα στους κυλίνδρους, αν και υπάρχει κάποιο καύσιμο που παρέχεται όταν το αυτοκίνητο είναι στο ρελαντί. Ως αποτέλεσμα έχει την χαμηλή συμπίεση και συγκριτικά πλούσιο μίγμα. Οπότε τα παραπάνω προκαλούν ατελή καύση και συνεπώς την εκπομπή υδρογονανθράκων από την εξάτμιση και

γ) η ποσότητα των υδρογονανθράκων που βγαίνει έξω από το θάλαμο καύσης διαμέσου της βαλβίδας εξαγωγής πριν προλάβει να καεί κατά τη διάρκεια που οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ανοιχτές (overlap). Και εδώ συμβαίνει το ίδιο με το μονοξείδιο

του άνθρακα. Ευνοούνται οι υδρογονάνθρακες από την τελευταία καύση και όχι από την πλήρη που υπάρχει στους πετρελαιοκινητήρες, εξαιτίας υψηλότερων πιέσεων και θερμοκρασιών. Ακόμη το πετρέλαιο είναι πιο πτητικό από την βενζίνη. Έτσι έχουμε μικρότερες εκπομπές αναθυμιάσεων και άκαυστων υδρογονανθράκων τόσο από την εξάτμιση όσο και από το σύστημα τροφοδοσίας.



Εικόνα 4: Σχέση μεταξύ λόγου αέρα-καυσίμου και συγκέντρωσης HC στα καυσαέρια σε ppm.[113]

Ακόμα, εκτός από τις αιτίες αυτές οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες έχουν και άλλες πηγές σχηματισμού. Κατά τη συμπίεση και την καύση οι μεγάλες πιέσεις που επικρατούν μέσα στον κύλινδρο αναγκάζουν κάποια αέρια του κυλίνδρου να οδηγηθούν μέσα σε στενές περιοχές του κυλίνδρου, όπως είναι τα διάκενα μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των αερίων είναι άκαυστο μίγμα καυσίμου - αέρα. Επειδή οι περιοχές αυτές είναι πολύ στενές, η φλόγα της καύσης δεν μπορεί να εισχωρήσει σ' αυτές, με αποτέλεσμα να παραμένουν εκεί άκαυστοι υδρογονάνθρακες. Αργότερα, κατά την εκτόνωση και εξαγωγή, τα αέρια αυτά βγαίνουν από τις στενές περιοχές και αποτελούν μια πηγή άκαυστων υδρογονανθράκων. Άλλη πιθανή πηγή άκαυστων υδρογονανθράκων είναι τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης. Στα τοιχώματα η καύση δεν μπορεί να ολοκληρωθεί, επειδή η θερμοκρασία τους είναι σχετικά χαμηλή με αποτέλεσμα να παραμένουν εκεί άκαυστοι υδρογονάνθρακες. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει σε ένα στρώμα πάχους 0.1 mm και είναι πιο έντονο όταν πάνω στα τοιχώματα υπάρχουν διάφορες επικαθίσεις. Τρίτη πηγή άκαυστων υδρογονανθράκων πιστεύεται ότι είναι το λεπτό στρώμα λιπαντικού που επικάθεται πάνω στα τοιχώματα του κυλίνδρου, του εμβόλου και ίσως της κεφαλής. Το στρώμα αυτό του

λιπαντικού απορροφά υδρογονάνθρακες πριν την καύση, με αποτέλεσμα να μην καούν, και τους αποδίδει μετά την καύση άκαυστους. Μια τελική πηγή άκαυστων υδρογονανθράκων είναι η μη τέλεια καύση σε τμήματα του κύκλου λειτουργίας στα οποία η φλόγα δεν αναπτύσσεται κανονικά επειδή η ταχύτητα καύσης είναι μικρή. Τέτοιες συνθήκες καύσης μπορεί να δημιουργηθούν κατά τις μεταβατικές περιόδους λειτουργίας κατά τις οποίες ο συνδυασμός του λόγου αέρα - καυσίμου, της προπορείας έναυσης και του ποσοστού του ανακυκλούμενου καυσαερίου δεν είναι ο κατάλληλος.

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες βγαίνουν από τον κύλινδρο κατά τη φάση της διαφυγής των καυσαερίων, αφού αναμειχθούν με την κυρίως μάζα των καυσαερίων και κατά το τέλος της φάσης της εξαγωγής, οπότε το έμβολο αποξέει τα καυσαέρια από τα τοιχώματα του κυλίνδρου και τα ωθεί προς τη βαλβίδα εξαγωγής. Σημαντικό μέρος των άκαυστων υδρογονανθράκων που αναφέρθηκαν παραπάνω οξειδώνεται κατά την εκτόνωση και εξαγωγή. Το ποσό που οξειδώνεται εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση οξυγόνου που συναντούν κατά τη ανάμειξη με το κυρίως καυσαέριο.

Σωματιδιακές εκπομπές pm (Diesel)

Ο όρος αυτός καλύπτει τόσο τα υγρά όσο και τα στερεά σωματίδια. Οι συγκεκριμένες σωματιδιακές εκπομπές είναι κατά βάση οργανικές ουσίες. Σχεδόν αποκλειστικά, για τις εκπομπές αυτές, είναι υπεύθυνες οι μηχανές Diesel. Το μέγεθος τους είναι πολύ μικρό και σπάνια διακρίνεται με γυμνό μάτι. Συνήθως βρίσκεται ανάμεσα σε μερικά νανόμετρα και κάποια μικρόμετρα.

Τα μόρια που προορίζονται για να εκπεμφθούν ως σωματίδια, γεννιούνται ως πυρήνες αιθάλης στον ιδιαίτερα φτωχό σε οξυγόνο πυρήνα καυσίμου μίγματος. Τα μόρια αυτά, είτε με τεμαχισμό, είτε με πολυμερισμό και συμπύκνωση δίνουν τελικά τα μικρότερα και μεγαλύτερα σωματίδια. Είναι ουσιαστικό να γίνει κατανοητό ότι αντίθετα από άλλους ρύπους, οι σωματιδιακές εκπομπές, δεν είναι σταθερές στην εξάτμιση του αυτοκίνητου. Αυτό αποτελεί πονοκέφαλο για τους ερευνητές δεδομένου ότι περιπλέκει αρκετά τη λήψη ακριβών μετρήσεων.

Σύνθεση καυσαερίων

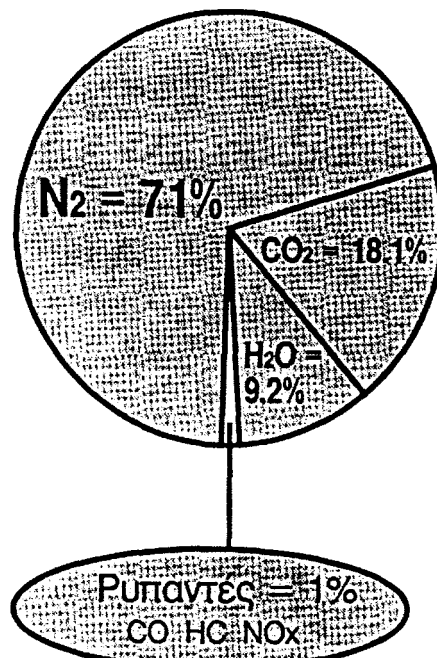
Όταν γίνεται αναφορά στη σύνθεση των καυσαερίων και στους εκπεμπόμενους πρωτογενείς ρύπους, όλοι νομίζουν ότι αυτοί αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών από την εξάτμιση. Αυτό όμως είναι λάθος. Από τις εκπομπές καυσαερίου ενός

καλορρυθμισμένου κινητήρα σε καλή μηχανική κατάσταση, τα καυσαέρια ανέρχονται σε ποσοστό 99% και μόνο το υπόλοιπο 1% είναι οι ρυπαντές.

Τα άβλαβη αέρια που περιλαμβάνονται στα καυσαέρια είναι:

- **Άζωτο N_2**
- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και**
- **Υδρατμοί (H_2O)**

Τα παραπάνω αέρια που εξέρχονται από την εξάτμιση ενός συμβατικού αυτοκίνητου αποτελούν το 99% του συνόλου των εκπομπών και δεν είναι ρυπαντές.



Εικόνα 5: Σύνθεση καυσαερίων αυτοκινήτων [113]

Όπως έχει προαναφερθεί οι τρεις βασικότεροι ρυπαντές είναι:

- **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**
- **Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)**
- **Οξείδια του αζώτου (NO_x)**

Όλοι αυτοί μαζί αποτελούν το 1% στα καυσαέρια.

Κατόπιν ακολουθεί ένας πίνακας απεικονίζοντας την αναλογία των διαφόρων συστατικών των καυσαερίων σε συνάρτηση με την ποιότητα του καυσίμου και τον κινητήρα (κατάσταση, ρύθμιση, συνθήκες λειτουργίας).

Πίνακας 4: Συστατικά καυσαερίων [113]

Συστατικά Καυσαερίων	Βραδυπορία		Μέσο φορτίο		Μέγιστο φορτίο	
	Βενζινο- κινητήρες	Πετρελαιο- κινητήρες	Βενζινο- κινητήρες	Πετρελαιο- κινητήρες	Βενζινο- κινητήρες	Πετρελαιο- κινητήρες
Οξείδια του αζώτου	0,005 - 0,03	0,005 - 0,0025	0,25 - 0,35	0,0025 - 0,008	0,15 - 0,45	0,06 - 0,15
Υδρογονάνθρακες	0,01 - 0,05	0,005 - 0,08	0,01 - 0,02	0,01 - 0,035	0,01 - 0,03	0,02 - 0,06
Μονοξείδιο του άνθρακα	2,5 - 4,5	0,01 - 0,045	0,2 - 1,0	0,01 - 0,06	0,01 - 0,06	0,035 - 0,20
Διοξείδιο του άνθρακα	10,0 - 13,0	3,5	13,5 - 14,0	6,5	6,5	12
Ατμοί νερού	11	3	9,0-11,0	4	4	12
Υδρογόνο	1,5		0,5	-		
Οξυγόνο	1,0- 1,5	16	1,5-2,5	14	14	10
Αζωτο	Υπόλοιπο	Υπόλοιπο	Υπόλοιπο	Υπόλοιπο	Υπόλοιπο	Υπόλοιπο

1.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ.

Εκτός από την χημική σύνθεση του καυσίμου και την ποιοτική σύσταση του μίγματος, υπάρχουν και διάφοροι άλλοι παράγοντες οι οποίοι συντελούν στη δημιουργία και εκπομπή ρύπων. Ορισμένοι από αυτούς έχουν σχέση με την σχεδίαση και κατασκευή του κινητήρα και αφορούν τον βαθμό συμπίεσης, την μορφή του χώρου καύσης, τον αριθμό και τη θέση των βαλβίδων καθώς επίσης και την ρύθμιση τους.

- **Ο μεγάλος βαθμός συμπίεσης ενός κινητήρα**, παρ' όλη την θετική επίδραση του στην αύξηση της ισχύος, εμπεριέχει τον κίνδυνο των αυταναφλέξεων και επιπλέον συντελεί στον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου εξαιτίας των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Σε μια υψηλή γενικά σχέση συμπίεσης δύο παράγοντες ενεργούν αντίθετα : Η αύξηση κλίσης για κρουστική καύση και η μεγάλη εκπομπή ρυπογόνων ουσιών. Με την

αύξηση της σχέσης συμπίεσης αυξάνεται το επίπεδο θερμοκρασίας στο χώρο καύσης. Έτσι οι προαντιδράσεις του καυσίμου οδηγούν στην αυτανάφλεξη μικρών τμημάτων του μίγματος αέρα - καυσίμου, πριν αναφλέγουν από την ομαλή διαδικασία ανάφλεξης. Αυτό αυξάνει την κλίση (ροπή) για κτύπους και την απαίτηση αριθμού οκτανίων της μηχανής. Με ειδικό σχεδιασμό του χώρου καύσης αυτό το φαινόμενο μπορεί να φέρει αντίθετα αποτελέσματα. Η άνοδος της θερμοκρασίας στο χώρο καύσης με την αύξηση της σχέσης συμπίεσης, δημιουργεί ακόμα αύξηση της εκπομπής NO_x . Αυτό το γεγονός συνδεδεμένο με το μικρό αριθμό οκτανίων αμόλυβδου καυσίμου οδήγησε στην κατασκευή τύπων κινητήρων, για χώρες με "αυστηρά" όρια ρύπων καυσαερίων, όπως Η.Π.Α. και Ιαπωνία (αρχικά), με χαμηλή σχέση συμπίεσης από τους ευρωπαϊκούς τύπους. Η κατανάλωση καυσίμου αυτών των τύπων μηχανών είναι σε αναλογία μεγάλη. Σε αυτοκίνητα με καταλύτη, που θα εκπληρώνουν τα ευρωπαϊκά όρια τιμών ρύπων των καυσαερίων, γίνονται προσπάθειες αυτό το μειονέκτημα της μεγάλης κατανάλωσης εξ αιτίας της χαμηλής σχέσης συμπίεσης να αρθεί με κατασκευαστικές αλλαγές στο σωλήνα αναρρόφησης και το χώρο καύσης καθώς και μ' ένα μη δαπανηρό έλεγχο της μηχανής.

- **Η εσωτερική μορφή του χώρου καύσης** επιδρά στον σχηματισμό ακουστών υδρογονανθράκων στον βαθμό που αυτή επηρεάζει τη διαδικασία της καύσης. Έτσι προτιμούνται θάλαμοι καύσης με μικρή επάνω επιφάνεια και κατάλληλη θέση του αναφλεκτήρα ώστε να επιτυγχάνεται ομαλότερη και πληρέστερη καύση όλου του μίγματος. Εκείνο που επιδιώκεται με την κατάλληλη διαμόρφωση του χώρου καύσης είναι η ομοιόμορφη και γρήγορη διασπορά του μετώπου φλόγας προς όλες τις κατευθύνσεις, μειώνοντας έτσι στο ελάχιστο την πιθανότητα μιας ατελούς καύσης στα ακρότατα σημεία και στις εσοχές του θαλάμου.

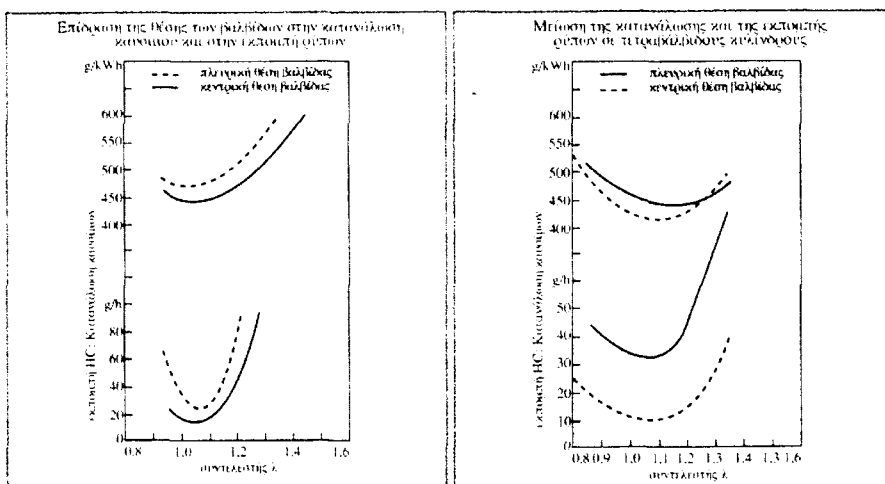
- **Σχεδίαση νέων εκκεντροφόρων με μικρότερο overlap** (παλάντζο βαλβίδων), ώστε να αποφεύγεται η άμεση διαφυγή καυσίμου από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής στην ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής. Ως βαθμός πλήρωσης χαρακτηρίζεται η ποσότητα του εισαγόμενου μίγματος σε σχέση με την χωρητικότητα του κυλίνδρου. Ένας ικανοποιητικός βαθμός πλήρωσης προϋποθέτει εκτός των άλλων και έναν εντελώς άδειο από καυσαέρια κύλινδρο, κατά την φάση της εισαγωγής. Για τον σκοπό αυτό και προκειμένου να πετύχουμε μία γρήγορη και καλύτερη απόπλυση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια, απ' ενός μεν επισπεύδουμε το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής πριν το έμβολο φθάσει στο Κ.Ν.Σ, απ'

ετέρου δε καθυστερούμε το κλείσιμο της, διατηρώντας την ανοικτή για μικρό χρονικό διάστημα και κατά την φάση της εισαγωγής. Η βαλβίδα εξαγωγής θα κλείσει αφού το έμβολο περάσει από το Α.Ν.Σ. και κινείται προς τα κάτω στην φάση της εισαγωγής.

Επομένως για ένα μικρό χρονικό διάστημα το οποίο αντιστοιχεί σε ορισμένες μοίρες περιστροφής του στροφαλοφόρου, οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι συγχρόνως ανοικτές. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι το τέλος της εξαγωγής, και η αρχή της εισαγωγής του νέου κύκλου, και ονομάζεται "επικάλυψη" (παλαντζάρισμα ή overlap). Η οριοθέτηση της αρχής ανοίγματος και του τέλους κλεισίματος των βαλβίδων αποτελούν το χρονισμό των βαλβίδων.

- **Η παραμένουσα ποσότητα καυσαερίων** μέσα στους θαλάμους μετά το κλείσιμο των βαλβίδων εξαγωγής, επηρεάζει αρνητικά το φαινόμενο της καύσης και επιδρά έτσι στην αύξηση των άκαυστων υδρογονανθράκων και στον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου.

Για τον λόγο αυτό επιδιώκεται η καλύτερη ρύθμιση των βαλβίδων σε συνδυασμό με την θέση τους στον κύλινδρο, τον αριθμό τους και την διαμόρφωση των αγωγών εισαγωγής-εξαγωγής, ώστε να επιτυγχάνεται γρηγορότερη σάρωση και καλύτερη πλήρωση με νωπό μίγμα.



Εικόνα 6: Επίδραση της θέσης και του αριθμού των βαλβίδων στην κατανάλωση καυσίμου και στη δημιουργία άκαυστων υδρογονανθράκων [107]

Η επίδραση της θέσης και του αριθμού των βαλβίδων στην κατανάλωση καυσίμου και στην εκπομπή υδρογονανθράκων δίνεται στα διαγράμματα της Εικόνας 6.

1.5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ

Τα κυριότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κινητήρα είναι: η αποδιδόμενη ισχύς, ο αριθμός στροφών, η ταχύτητα κίνησης του οχήματος και η συμπεριφορά του κινητήρα στις απότομες μεταβολές φορτίου. Όλα τα παραπάνω δυναμικά χαρακτηριστικά επιδρούν στη δημιουργία και εκπομπή ρύπων.

- Η αύξηση της ισχύος προϋποθέτει αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στους κυλίνδρους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των οξειδίων του αζώτου κατά την διάρκεια της καύσης.

- Κατά τον ίδιο τρόπο η αύξηση της ταχύτητας κίνησης του οχήματος προϋποθέτει την αύξηση της ιπποδύναμης, η οποία με την σειρά της συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας στους κυλίνδρους, με τελικό αποτέλεσμα την επιπλέον δημιουργία οξειδίων του αζώτου.

- Μια άλλη βασική παράμετρος στη δημιουργία ρύπων είναι η σχέση μεταξύ στροφών και αποδιδόμενης ισχύος. Η σχέση αυτή καθορίζει το αν ο κινητήρας είναι αργόστροφος ή πολύστροφος. Με δεδομένη την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου στις υψηλές στροφές, αντιλαμβανόμαστε ότι ένας κινητήρας που αποδίδει την ισχύ του σε χαμηλές στροφές είναι λιγότερο ρυπογόνος από έναν άλλο, που αποδίδει την ίδια ισχύ σε υψηλότερες στροφές. Όσον αφορά όμως τους (HC), αυτοί παρουσιάζουν μια τάση ελάττωσης στις υψηλές στροφές και αυτό οφείλεται στον καλύτερο στροβιλισμό του μίγματος που επιτυγχάνεται στους γρήγορους ρυθμούς περιστροφής του κινητήρα.

- Η καθυστέρηση που παρατηρείται στην άμεση και κατάλληλη προσαρμογή του μίγματος κατά τις απότομες μεταβολές του φορτίου επιδρά στην δημιουργία και εκπομπή ρύπων. Ως παράδειγμα, αναφέρουμε την απότομη μεταβολή λειτουργίας του κινητήρα από το πλήρες φορτίο στο ρελαντί. Σε μια τέτοια περίπτωση το ξαφνικό κλείσιμο της πεταλούδας του γκαζιού δημιουργεί συνθήκες μεγάλης υποπίεσης, στον χώρο μπροστά από την πεταλούδα. Η αυξημένη υποπίεση παρασέρνει το φιλμ καυσίμου που υπάρχει στα τοιχώματα της εισαγωγής και εμπλουτίζει το μίγμα, τη στιγμή που εμείς επιδιώκουμε τον άμεσο απεμπλουτισμό του. Το εμπλουτισμένο μίγμα σ' αυτήν την φάση αδυνατεί να καεί πλήρως και μέρος αυτού διαφεύγει άκαυστο ρυπαίνοντας το περιβάλλον.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει και κατά την απότομη μετάβαση του κινητήρα στο πλήρες φορτίο, όπου το ξαφνικό άνοιγμα της πεταλούδας του επιταχυντή δημιουργεί τώρα συνθήκες στιγμιαίου απεμπλουτισμού, όταν εμείς επιδιώκουμε τον άμεσο εμπλουτισμό. Ο στιγμιαίος

απεμπλουτισμός του μίγματος οφείλεται στην υγροποίηση μέρους καυσίμου εξαιτίας της άμεσης μεταφοράς υποπίεσης στο πίσω μέρος της πεταλούδας και στην καθυστέρηση αναρρόφησης καυσίμου λόγω διαφοράς ειδικού βάρους βενζίνης-αέρα. Το αποτέλεσμα ενός τέτοιου δυναμικού φαινομένου είναι η αδυναμία εύκολης ανάφλεξης και η κακή καύση του μίγματος με συνέπεια, αφ' ενός μεν την καθυστέρηση στην απόκριση του γκαζιού, αφ' ετέρου δε τη δημιουργία και εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων. Το πρόβλημα της άμεσης προσαρμογής του μίγματος στις απότομες μεταβολές του φορτίου είναι περισσότερο έντονο στους συμβατικούς κινητήρες με καρμπυρατέρ και λιγότερο στους κινητήρες έγχυσης (injection).

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό ρύπων έχει ο λόγος αέρα-καυσίμου.

Σχέση αέρα - καυσίμου

Η εκπομπή ρυπογόνων ουσιών μιας μηχανής προσδιορίζεται κατά το μεγαλύτερο μέρος από τη σχέση αέρα – καυσίμου.

Εκπομπή - CO

Στην περιοχή πλούσιου μίγματος (έλλειψη αέρα) η εκπομπή CO είναι γραμμική συνάρτηση της σχέσης αέρα - καυσίμου. Στην περιοχή φτωχού μίγματος (περίσσεια αέρα) η εκπομπή CO είναι πολύ χαμηλή. Στην περιοχή $\lambda=1$ η εκπομπή CO εξαρτάται από την καλή κατανομή του καυσίμου στον κύλινδρο.

Εκπομπή - HC

Όπως η εκπομπή CO στην περιοχή πλούσιου μίγματος έτσι και η εκπομπή HC μειώνεται με την αύξηση του λ . Ενώ στην περιοχή φτωχού καυσίμου ανέρχεται. Τη μικρότερη εκπομπή HC έχουμε για $\lambda = 1,1$ και $1,2$.

Εκπομπή - NO_x

Η συνάρτηση της εκπομπής NO_x είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον αριθμό λ . Στο πλούσιο μίγμα έχουμε αύξηση και στο φτωχό μείωση των NO_x. Η μικρότερη εκπομπή NO_x κυμαίνεται στη μικρή υπεροχή αέρα, δηλαδή για $\lambda = 1.05$ έως $1,1$.

Αναλυτικότερη αναφορά, για τη δημιουργία του μίγματος θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΧΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

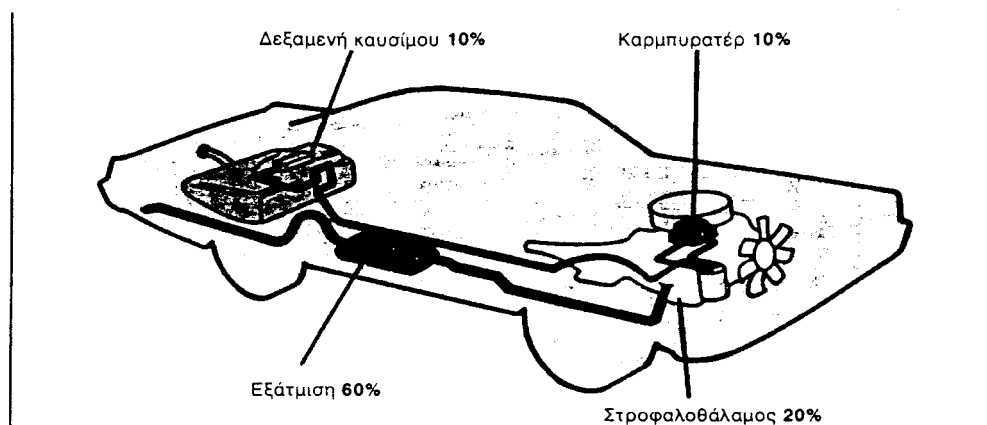
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Θεωρώντας το αυτοκίνητο ως την κατ' εξοχήν πηγή ρύπανσης, όλοι υποψιάζονται ως μοναδικό σημείο ρύπανσης την εξάτμιση και τα εκπεμπόμενα από αυτήν καυσαέρια. Κι αυτό (που φυσικά είναι λογικό) επιβεβαιώνεται από τη στροφή της τεχνολογίας προς τους καταλύτες.

Η εξάτμιση όμως από μόνη της ρυπαίνει κατά 60% περίπου σε σχέση με τη συνολική ρύπανση που "συνεισφέρει" το αυτοκίνητο στην ατμόσφαιρα. Το υπόλοιπο 40% προέρχεται από άλλα σημεία του αυτοκινήτου, τα οποία χωρίς συστήματα ελέγχου εκπομπών, ακόμα και σε στάση, ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα. Τέσσερις είναι στο σύνολο τους οι πιθανές πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, για τον παλιό στόλο κυκλοφορούντων αυτοκινήτων.

Τα σημεία αυτά που στερούνται συστημάτων ελέγχου των εκπομπών είναι τα παρακάτω:

1. Η εξάτμιση, που ρυπαίνει κατά 60% περίπου.
2. Ο σωλήνας αναθυμιάσεων του στροφαλοθαλάμου - κάρτερ, ο οποίος χωρίς την υποτυπώδη τουλάχιστον ανακύκλωση ρυπαίνει με τις αναθυμιάσεις κατά 20% περίπου.
3. Οι αναθυμιάσεις της βενζίνης από τη δεξαμενή καυσίμου (ιδίως το καλοκαίρι) κατά 10% περίπου, και
4. Η εξαέρωση της βενζίνης από το σύστημα τροφοδοσίας (καρμπυρατέρ) κατά 10% περίπου. (Εικόνα 7)



Εικόνα 7: Πηγές ρύπανσης αυτοκινήτου [113]

Όλοι αυτοί οι ρύποι διασκορπίζονται στον ατμοσφαιρικό αέρα και μερικοί από αυτούς σχηματίζουν το γνωστό απειλητικό φωτοχημικό νέφος.

Για τη μείωση αυτών των ρύπων, που προέρχονται από τον παλιό στόλο αυτοκινήτων, τα αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας εξοπλίζονται με ειδικά συστήματα ελέγχου των εκπομπών αυτών. Αυτά είναι:

- Σύστημα καταλυτικού μετατροπέα ή καταλύτη.
- Ανοικτά και κλειστά συστήματα ρύθμισης (με αισθητήρα 'λ')
- Σύστημα έγχυσης αέρα (συνδυάζεται με οξειδωτικούς ή διπλής κλίνης καταλύτες).
- Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR).
- Σύστημα ελέγχου αναθυμιάσεων (ρεζερβουάρ καρμπυρατέρ) με δοχείο ενεργού άνθρακα (ECS).
- Σύστημα θετικού αερισμού του στροφαλοθαλάμου (PCV).

Ακολουθεί ανάλυση για το καθένα από τα παραπάνω συστήματα.

2.2. ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Η διαπίστωση ότι το αυτοκίνητο αποτελεί την κατ' εξοχήν πηγή ρύπανσης της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με την ανάπτυξη μιας απόλυτα δικαιολογημένης και συγχρόνως αναγκαίας οικολογικής ευαισθησίας, οδήγησε ορισμένες τουλάχιστον χώρες, σε μια νομοθετική προσέγγιση του ζητήματος σχετικά με τις εκπομπές των ρύπων κατά τη λειτουργία του κινητήρα.

Από τη μεριά τους οι αυτοκινητοβιομηχανίες, ανταποκρινόμενες στις αυστηρές απαιτήσεις των θεσμοθετημένων πλέον οριακών τιμών ρύπανσης, επινόησαν και κατασκεύασαν διάφορα συστήματα αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Ορισμένες έξυπνες ιδέες οι οποίες βρήκαν άμεση εφαρμογή επειδή πράγματι συμβάλλουν στον περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων είναι:

- Η παρέμβαση στη διαδικασία σχηματισμού του μίγματος μέσω του συστήματος έγχυσης. (INJECTION)
- Ο κατάλληλος σχεδιασμός του θαλάμου καύσης με την οριακή μείωση της σχέσης επιφάνειας /όγκου (S/V) και την κατάλληλη εξασφάλιση του αναγκαίου στροβιλισμού για την καλύτερη ανάμειξη αέρα-καυσίμου.
- Η δυναμική ρύθμιση του χρονισμού της ανάφλεξης και του χρονισμού των βαλβίδων κ.α.

Όλα τα παραπάνω αν και έχουν αναμφισβήτητα κάποια θετική επίδραση στον περιορισμό των ρύπων, παρ' όλα αυτά από μόνα τους δεν αρκούν να περιορίσουν σε μεγάλα ποσοστά την εκπομπή των βλαβερών ουσιών.

Την ουσιαστική λύση στο πρόβλημα της δραστηκής μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων την προσφέρει τελικά η θερμική και χημική επεξεργασία των ιδίων των καυσαερίων μετά την εξαγωγή τους από τον κινητήρα.

Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια μιας ειδικής συσκευής που τοποθετείται στην έξοδο των καυσαερίων μετά την πολλαπλή εξαγωγή και ονομάζεται καταλυτικός μετατροπέας ή απλά καταλύτης. Μέσω χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του καταλυτικού μετατροπέα, αφ' ενός μεν οξειδώνονται το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οι υδρογονάνθρακες σε ακίνδυνο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O), αφ' ετέρου δε ανάγονται τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε ουδέτερο και αβλαβές άζωτο (N).

Από ιστορικής άποψης ο καταλυτικός μετατροπέας κάνει την εμφάνιση του πρώτα στις Η.Π.Α. και συγκεκριμένα στην πολιτεία της Καλιφόρνια η οποία, ως γνωστόν, από τις αρχές του '70 έχει θεσμοθετήσει αυστηρά όρια εκπομπής ρύπων, αναγκάζοντας έτσι τις αμερικάνικες αυτοκινητοβιομηχανίες FORD, CHRYSLER, G.M. να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν μια αντίστοιχη τεχνολογία.

Στην Ευρώπη η εφαρμογή της καταλυτικής τεχνολογίας καθυστερεί σχεδόν μια ολόκληρη δεκαετία εξ' αιτίας ίσως των χαλαρών νομοθετικών ρυθμίσεων και σίγουρα όχι εξ' αιτίας της έλλειψης τεχνογνωσίας.

Όσον αφορά την Ελλάδα οι έννοιες "καταλύτης" και "καταλυτικός μετατροπέας" εμφανίζονται δειλά-δειλά στο λεξιλόγιο των οδηγών και τεχνιτών μόλις την περίοδο '86-'87.

Στο σημείο αυτό πρέπει να κάνουμε μια απαραίτητη διευκρίνιση:

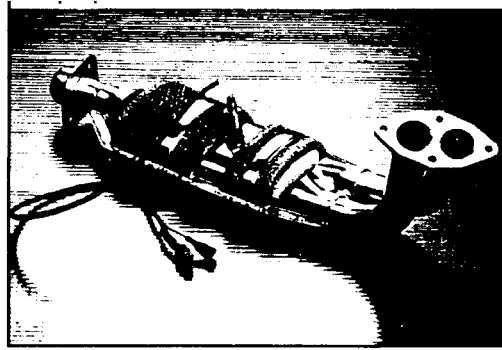
Ο χαρακτηρισμός του καταλυτικού μετατροπέα με την λέξη "καταλύτης" είναι αδόκιμος επειδή η έννοια "καταλύτης" αφορά απλά και μόνο μια χαρακτηριστική χημική ιδιότητα ορισμένων ενεργών συστατικών του καταλυτικού μετατροπέα και όχι την ίδια τη συσκευή του. Παρ' όλα αυτά ο όρος "καταλύτης" επικράτησε να δηλώνει ολόκληρο το σύστημα επεξεργασίας καυσαερίων και χάριν ευκολίας χρησιμοποιείται ευρύτατα αντί του όρου "καταλυτικός μετατροπέας". Πρέπει όμως να γνωρίζουμε ότι από χημικής άποψης, ο καταλύτης είναι ένα υλικό το οποίο διευκολύνει την πραγματοποίηση ορισμένων χημικών αντιδράσεων δίχως όμως ο ίδιος να συμμετέχει σ' αυτές. Τέτοιες χημικές αντιδράσεις ονομάζονται καταλυτικές και όλη η διαδικασία, κατάλυση. Επιπλέον πρέπει να σημειώσουμε ότι για να πραγματοποιηθεί μια καταλυτική αντίδραση, είναι αναγκαίο τα στοιχεία τα οποία παίρνουν μέρος σ' αυτήν να μπορούν να αντιδράσουν μεταξύ τους και χωρίς την παρουσία του καταλύτη. Εκείνο το οποίο προσφέρει ο καταλύτης σε μια χημική αντίδραση είναι η μεταβολή των απαιτούμενων συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας.

Έτσι λοιπόν στην συγκεκριμένη περίπτωση το CO και οι HC μπορούν να οξειδωθούν σε CO₂ και H₂O ακόμη και δίχως την δράση του καταλύτη. Για να γίνει όμως κάτι τέτοιο απαιτείται θερμοκρασία πάνω από 700° και διαθέσιμος χρόνος αντίδρασης 50ms (πολύ μεγάλος σε σχέση με την ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων). Οι υψηλές θερμοκρασίες των 700°C που απαιτούνται για την θερμική οξείδωση των HC και του CO, δίχως τη δράση καταλύτη, είναι δυνατόν να επιτευχθούν με την κατάλληλη αργοπορία της ανάφλεξης.

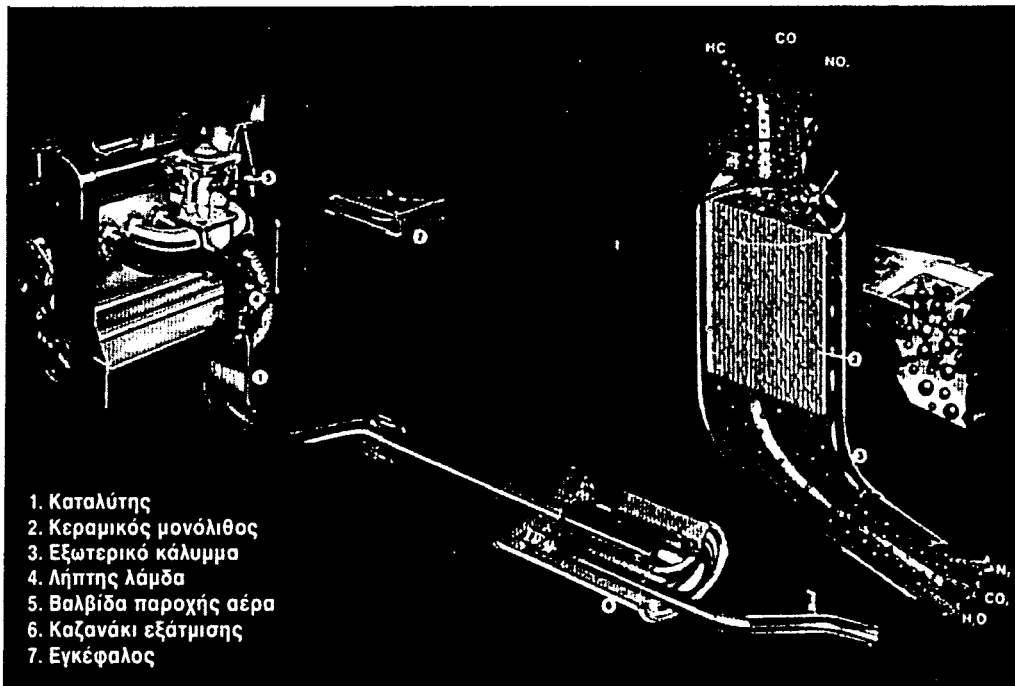
Μια τέτοια όμως επιλογή θα οδηγούσε σε προβλήματα απώλειας ισχύος, ενώ δεν θα πρόσφερε και τίποτε το ουσιαστικό στον περιορισμό των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Αντίθετα η χρήση του καταλύτη κατεβάξει την απαιτούμενη θερμοκρασία οξείδωσης των HC και του CO στους 200-250°C, ενώ συγχρόνως αποτελεί και τη μοναδική ικανοποιητική

μέθοδο αναγωγής του NO σε αδρανές άζωτο (N). Το αποτέλεσμα της καταλυτικής επεξεργασίας των καυσαερίων είναι η μείωση των βλαβερών ρύπων σε ποσοστά πάνω από 90% και σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών που καλύπτει όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, εκτός ίσως από την αρχική ψυχρή εκκίνηση.

Τα ενεργά υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα σε ευρεία κλίμακα ως καταλύτες είναι το παλλάδιο (Pd) και η πλατίνα (Pt) για τις αντιδράσεις οξείδωσης των HC και CO και το ρόδιο (Rh) για τις αντιδράσεις αναγωγής των NOx.



Εικόνα 8: Δομή καταλύτη με ενσωματωμένο αισθητήρα λάμδα [113]



Εικόνα 9: Κινητήρας με καταλύτη και αισθητήρα λάμδα [113]

Δομή καταλυτικού μετατροπέα

Οι συνηθισμένοι καταλυτικοί μετατροπείς που χρησιμοποιούνται στους βενζινοκινητήρες προστατεύονται εξωτερικά από ένα ανοξειδωτο συνήθως περίβλημα και μοιάζουν πολύ με το σιλανσιέ της εξαγωγής. Στο εσωτερικό της συσκευής βρίσκεται κατάλληλα δομημένος ο φορέας των ενεργών καταλυτικών υλικών. Ως καταλυτικά υλικά χρησιμοποιούνται συνήθως διάφορα ευγενή μέταλλα, η παρουσία των οποίων υποβοηθά τις αντιδράσεις οξειδωσης και αναγωγής που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της συσκευής. (Εικόνα 8). Τέτοια υλικά όπως είπαμε είναι η πλατίνα (Pt) και το παλλάδιο (Pd) για τις αντιδράσεις οξειδώσεως των HC και του CO καθώς επίσης και το ρόδιο (Rh) για τις αντιδράσεις αναγωγής των NOx. Πρέπει να σημειώσουμε ότι όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια του καταλυτικού υλικού με την οποία έρχονται σε επαφή τα αντιδρώντα στοιχεία τόσο πιο μεγάλος είναι και ο βαθμός κατάλυσης αυτών των στοιχείων. (Εικόνα 9)

Επομένως τα ευγενή μέταλλα πρέπει να είναι κατανεμημένα σε μια πολύ μεγάλη επιφάνεια, έτσι ώστε το ποσοστό οξειδωσης και αναγωγής των ρύπων να πλησιάζει θεωρητικά το 100%. Η αύξηση της δρώσας επιφάνειας του καταλυτικού υλικού εξασφαλίζεται από την κατάλληλη δόμηση του φορέα μέσα στον οποίο βρίσκονται διαστρωματωμένα τα ενεργά καταλυτικά υλικά (Pt, Pd, Rh). Ως φορείς διαστρωμάτωσης καταλυτικού υλικού χρησιμοποιούνται συνήθως πορώδεις κεραμικές ενώσεις αλουμινίου ή μαγνησίου με πολύ μεγάλη αντοχή σε θερμικές καταπονήσεις. Στο σώμα του φορέα έχουν σχηματισθεί χιλιάδες μικροί δίοδοι απ' όπου περνούν τα καυσαέρια. Οι δίοδοι αυτοί είναι επιφανειακά εμπλουτισμένοι με τα ενεργά καταλυτικά υλικά δημιουργώντας έτσι μια τεράστια επιφάνεια κατάλυσης.

Οι φορείς του καταλυτικού υλικού ανάλογα με την κατασκευαστική τους δομή διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

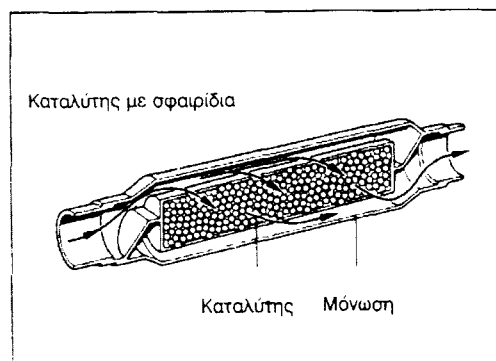
1. Στους φορείς Pellets(καταλύτης με αντικαθιστώμενα σφαιρίδια),
2. στους φορείς κεραμικού μονόλιθου και
3. στους φορείς μεταλλικού μονόλιθου.

Φορέας Pellets

Αποτελείται από πολλά μικρά και συμπαγή σφαιρίδια τοποθετημένα μέσα στο δοχείο του καταλυτικού μετατροπέα, έτσι ώστε να σχηματίζουν την πορώδη μάζα του φορέα διαμέσου της οποίας διέρχονται τα καυσαέρια. Τα σφαιρίδια είναι κατασκευασμένα από οξειδία του αλουμινίου και έχουν μέση διάμετρο περίπου 3mm. Η επιφάνεια τους είναι

επικαλυμμένη με ενεργά καταλυτικά υλικά και το βάθος της επικάλυψης είναι περίπου 250 μ m. Εξ' αιτίας μιας πιθανής έκθεσης των σφαιριδίων σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 1000°C, είναι ανάγκη το υλικό τους να αντέχει στις υψηλές θερμικές καταπονήσεις καθώς επίσης και στις δυναμικές καταπονήσεις σύνθλιψης και τριβής. Η ροή των καυσαερίων διαμέσου του φορέα Pellets είναι στροβιλώδης. Τα καυσαέρια περνώντας ανάμεσα από τα σφαιρίδια εφάπτονται με τα ενεργά καταλυτικά υλικά (Pt, Pd,Rh) και έτσι πραγματοποιούνται οι σχετικές χημικές αντιδράσεις.

Ο φορέας Pellets χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα από Αμερικάνικες και Ιαπωνικές κυρίως αυτοκινητοβιομηχανίες και ελάχιστα (σχεδόν καθόλου) από ευρωπαϊκές. Οι καταλύτες αυτοί έχουν το πλεονέκτημα ότι συνδυάζουν το μικρό κόστος κατασκευής μαζί με την απλότητα της διάταξης. Αντίθετα, το βασικότερο μειονέκτημα τους είναι ότι παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση στη ροή των καυσαερίων και άρα μειώνουν την απόδοση του κινητήρα.(Εικόνα 10)



Εικόνα 10: Καταλύτης με αντικαθιστώμενα σφαιρίδια. [113]

Φορέας κεραμικού μονόλιθου

Αποτελείται από ένα ενιαίο κεραμικό σώμα υψηλής αντοχής σε θερμοκρασιακές καταπονήσεις, που ονομάζεται μονόλιθος.

Η εσωτερική δομή του μονόλιθου μοιάζει με κυψέλη σχηματίζοντας διαμήκη κανάλια παράλληλα προς την ροή των καυσαερίων. Η διατομή των καναλιών είναι συνήθως τετραγωνική με διαστάσεις 1×1mm. Ενώ μπορεί να συναντήσουμε και κανάλια τριγωνικής διατομής ανάλογα με την κατασκευή. Ο αριθμός των καναλιών ανέρχεται σε αρκετές εκατοντάδες αφού σε μια τετραγωνική ίντσα υπολογίζεται ότι υπάρχουν από 220 μέχρι 440

τέτοια κανάλια. Το πάχος των τοιχωμάτων μεταξύ των καναλιών κυμαίνεται από 0.15 έως 0.30 mm.

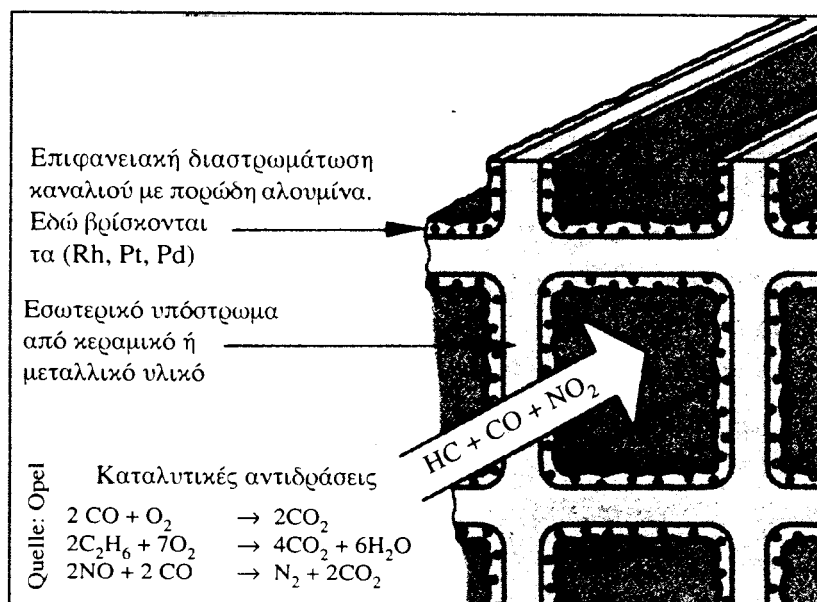
Τα τοιχώματα των καναλιών ενός φορέα μονόλιθου αποτελούνται από τα εξής μέρη.

1. Το εσωτερικό κεραμικό υπόστρωμα που κατασκευάζεται από ενώσεις μαγνησίου και αλουμινίου.

2. Το ενδιάμεσο στρώμα (wash-coat) από πορώδες οξείδιο του αλουμινίου (αλουμίνα) πάχους περίπου 20μm, το οποίο καλύπτει επιφανειακά το εσωτερικό υπόστρωμα και συμβάλλει στην μεγάλη αύξηση της καταλυτικής επιφάνειας.

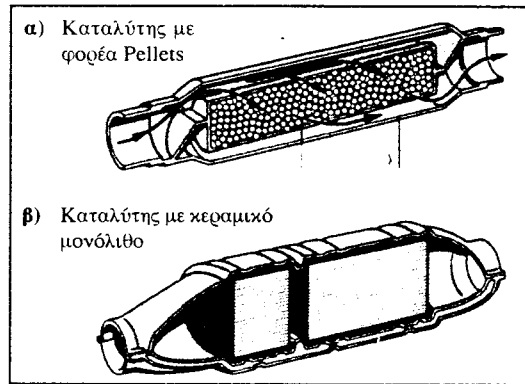
3. Τα ενεργά καταλυτικά υλικά με τα οποία διαποτίζεται το πορώδες στρώμα της αλουμίνας σχηματίζοντας έτσι την καταλυτική επιφάνεια με την οποία έρχονται σε επαφή τα καυσαέρια του κινητήρα.

Μερικά αξιοσημείωτα στοιχεία τα οποία πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι η συνολική επιφάνεια κατάλυσης ενός συνηθισμένου κεραμικού μονόλιθου ξεπερνάει τα 10.000 m², ενώ η απαιτούμενη συγκέντρωση των καταλυτικών υλικών δεν ξεπερνάει τα 1,5-2 gr για κάθε κυβική παλάμη του μονόλιθου.(Εικόνα 11)



Εικόνα 11: Εσωτερική δομή τριοδικού καταλύτη με φορέα μονόλιθο [113]

Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ποσότητα των ευγενών μετάλλων (Rh, Pt, Pd) που περιέχει ένας καταλυτικός μετατροπέας είναι περίπου 2 έως 3 το πολύ γραμμάρια. Εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι ο απαιτούμενος όγκος του κεραμικού μονόλιθου είναι περίπου ίσος με το ήμισυ του κυβισμού της μηχανής. Μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος του καταλυτικού μετατροπέα και του μονόλιθου υπάρχει ένα ελασμάτινο πλέγμα κατασκευασμένο από κράματα χάλυβα υψηλής αντοχής και ελαστικότητας.



Εικόνα 12: Συστήματα φορέων καταλυτών. α)φορέας PELLETS β)φορέας μονόλιθου [113]

Το πλέγμα αφ' ενός μεν στηρίζει τον μονόλιθο στο εσωτερικό της συσκευής, αφ' ετέρου τον προστατεύει απορροφώντας τους κραδασμούς και τις τάσεις συστολών/διαστολών που αναπτύσσονται κατά την λειτουργία του κινητήρα.

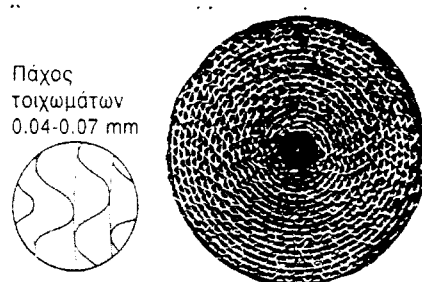
Φορέας μεταλλικού μονόλιθου.

Η δομή του είναι όμοια με του κεραμικού μονόλιθου, μόνο που εδώ ως εσωτερικό υπόστρωμα των καναλιών χρησιμοποιούνται μεταλλικά υλικά. Αυτό τον κάνει περισσότερο ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες και στις δυναμικές καταπονήσεις ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί πολύ πιο κοντά στην πολλαπλή εξαγωγής, με αποτέλεσμα να καθίσταται ενεργός αμέσως μετά το κρύο ξεκίνημα και πολύ πιο γρήγορα από ότι ο κεραμικός μονόλιθος, ο οποίος δεν μπορεί να τοποθετηθεί τόσο κοντά στην εξαγωγή δίχως τον κίνδυνο της τήξης του από μεγάλη υπερθέρμανση.

Ο μεταλλικός μονόλιθος που ονομάζεται συνήθως και "καταλύτης εκκίνησης", αν και πλεονεκτεί σε σχέση με τον κεραμικό, εν τούτοις δε βρίσκει ουσιαστική εφαρμογή λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής.

Ο φορέας αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα με μεταλλική πληθώρα κυψελών, διαφόρων σχημάτων. Η συνηθέστερη μορφή του αποτελείται από δυο ελασμάτινα στρώματα (κυματοειδή ελάσματα), τοποθετημένα σ' ένα άλλο ενδιάμεσο κυκλικό έλασμα. Η όλη κατασκευή που θυμίζει σερπαντίνα, είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει στα κυματοειδή ελάσματα να περιτυλίγονται, να διαμορφώνονται σε επιστρώσεις και μέσω μίας σκληρής συγκόλλησης να αποτελούν το συμπαγές σώμα, του μεταλλικού μονόλιθου. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι χάλυβας υψηλής θερμότητας και ανθεκτικότητας σε διάβρωση, κατάλληλος για συγκόλληση και επίστρωση του "ευγενούς" καταλυτικού υλικού.

Το πάχος του κυμαίνεται από 0.04-0.07 mm. Η τοποθέτηση του μεταλλικού μονόλιθου στο κέλυφος είναι πιο απλή απ' ότι στον κεραμικό μονόλιθο. Ο λόγος είναι ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερη διαστολή μεταξύ μονόλιθου και κελύφους. Στον μεταλλικό καταλύτη δεν χρειάζεται το ενδιάμεσο εξισωτικό στοιχείο, ενώ στον κεραμικό καταλύτη είναι απαραίτητη η αντίστοιχη προστατευτική ψάθα.(Εικόνα 13)

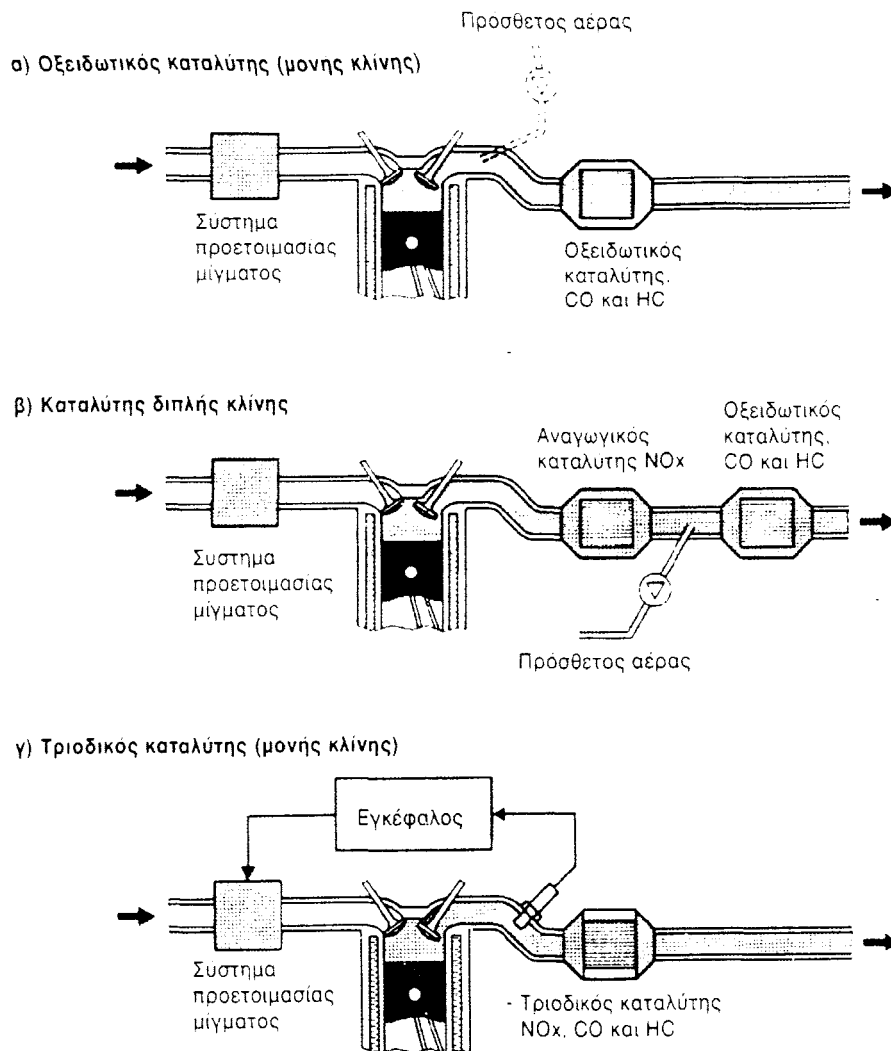


Εικόνα 13: Μεταλλικός μονόλιθος [113]

2.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ (ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥΣ)

Τέσσερα είναι τα κυριότερα συστήματα καταλυτών ανάλογα με τη λειτουργία τους:

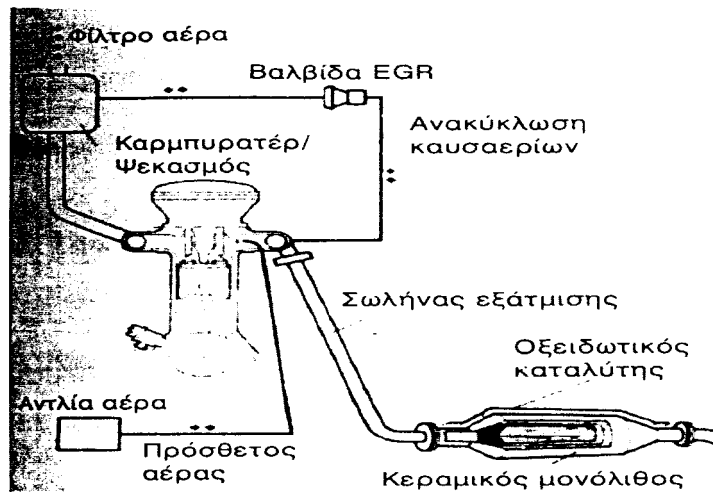
- Ο οξειδωτικός ή διοδικός καταλύτης (μονής κλίνης)
- Ο αναγωγικός καταλύτης
- Ο καταλύτης διπλής κλίνης (αναγωγικός και οξειδωτικός, σε σειρά)
- Ο τριοδικός καταλύτης (μονής κλίνης) ως αρρυθμιστος και ρυθμιζόμενος.(Εικόνα 14)



Εικόνα 14: Συστήματα καταλυτών ανάλογα με τη λειτουργία τους [113]

Οι καταλύτες αυτοί εξετάζονται ως λειτουργούντα συστήματα μετατροπής των βλαβερών ρυπαντών, ανεξάρτητα από το αν ο εσωτερικός μονόλιθος είναι κεραμικός ή μεταλλικός.

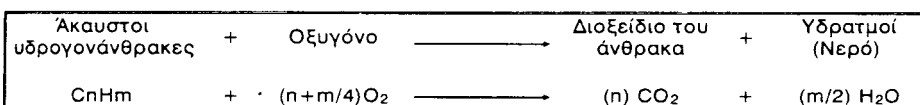
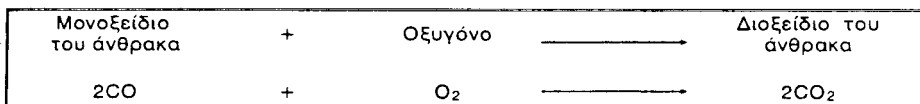
2.2.1.1. Οξειδωτικός ή διοδικός καταλύτης (Oxidation catalyst)



Εικόνα 15: Διάγραμμα λειτουργίας οξειδωτικού καταλύτη [113]

Οξειδωτικός ή διοδικός καταλύτης, ήταν ο καταλύτης που αρχικά πρωτοεφαρμόστηκε το 1973 στα αμερικάνικα αυτοκίνητα με αρκετή επιτυχία, αφού μείωνε (οξειδώνει) το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τους ακουστούς υδρογονάνθρακες (HC) κατά 50% περίπου. Ο κινητήρας λειτουργούσε με περίσσεια αέρα, δηλ. φτωχό μίγμα, χωρίς λήπτη λάμδα, ενώ υπήρχε η δυνατότητα έγχυσης αέρα από πρόσθετο σύστημα παροχής αέρα πριν τον καταλύτη. Το πρόβλημα όμως με αυτό τον τύπο του καταλύτη, ήταν ότι άφηνε ανεπηρέαστα τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Έτσι γρήγορα οι ερευνητές οδηγήθηκαν στον τριοδικό καταλύτη. (Εύλογη και η ονομασία του). Η κατανάλωση καυσίμου για τον οξειδωτικό καταλύτη δεν μεταβάλλονταν σημαντικά, ενώ η μικρή μείωση της ιπποδύναμης βρήκε γρήγορα λύση από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων με τη μικρή αύξηση του κυβισμού. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, η χρήση καταλύτη με μεταλλικό μονόλιθο, δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την ιπποδύναμη των αυτοκινήτων. (Εικόνα 15)

Χημικές αντιδράσεις οξείδωσης



2.2.1.2. Αναγωγικός καταλύτης (reducing catalyst)

Ο αναγωγικός καταλύτης δεν διατίθεται στην αγορά σαν καταλύτης από μόνος του. Πλην όμως θα εξεταστεί κι αυτός, αφού αποτελεί το πρώτο τμήμα του καταλύτη διπλής κλίνης (ή δύο βαθμίδων) και του τριοδικού καταλύτη, όπως θα αναφερθεί παρακάτω. Φυσικά πραγματοποιούνται πειράματα σε διάφορα εργαστήρια και με διάφορα υλικά π.χ. Ιρίδιο, γαληδόνιο καθώς και μη ευγενή μέταλλα. Στην Ελλάδα γίνονται ερευνητικά πειράματα σε Πανεπιστημιακό επίπεδο, που σαν σκοπό έχουν την εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων, με μη ευγενή μέταλλα όπως π.χ. χαλκός. Ο πιο εφικτός πάντως τρόπος διάσπασης του μονοξειδίου του αζώτου είναι με αναγωγή του NO ένωση με τα CO, H₂ και HC. Για την επιτυχή πραγματοποίηση των παραπάνω αντιδράσεων, πρέπει να πληρούνται κάποιοι παράγοντες όπως:

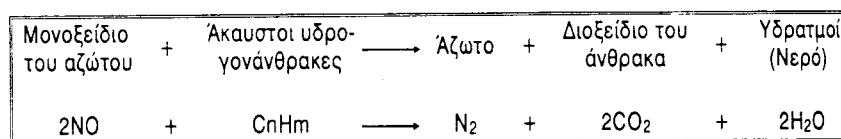
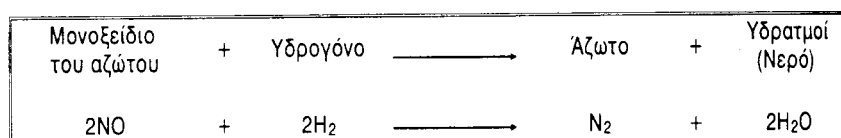
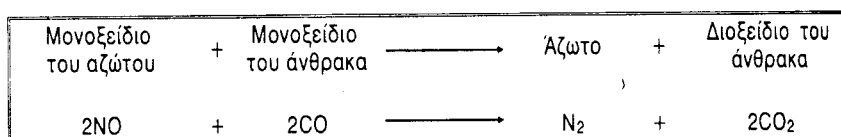
α) Να μην υπάρχει πολύ οξυγόνο στην εξάτμιση. Ο λόγος λάμδα δηλαδή θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από τη στοιχειομετρική αναλογία και ο κινητήρας να δουλεύει στην περιοχή του πλούσιου μίγματος. Το οξυγόνο είναι εμπόδιο στις πιο πάνω αντιδράσεις, αφού χρησιμοποιείται από τους καταλύτες στην οξειδωση.

β) Το μίγμα αερίων, CO, H₂ και HC χρειάζεται να είναι σε επαρκή ποσότητα για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων αναγωγής.

γ) Από την επιλογή του καταλύτη και σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία λειτουργίας εξαρτάται η δημιουργία δευτερογενών ρυπαντών, όπως είναι η αμμωνία (NH₃).

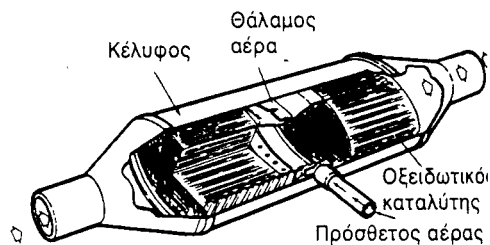
Φυσικά, όλοι οι παράγοντες που αναφέρθηκαν, έχουν σχέση με το σύστημα τροφοδοσίας και την καλή ρύθμιση του κινητήρα. Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο καταλυτικό υλικό για την αναγωγή είναι το ρόδιο (Rh).

Χημικές αντιδράσεις αναγωγής

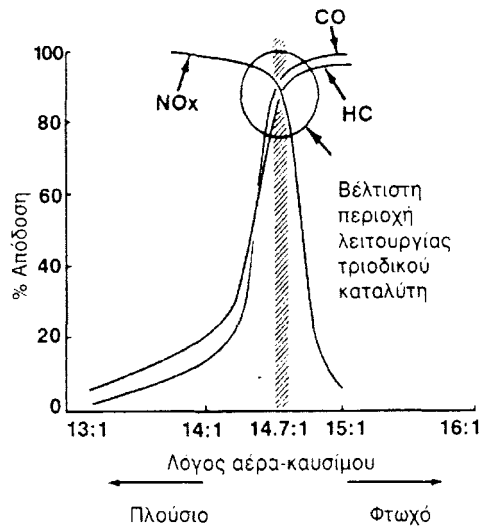


2.2.1.3. Καταλύτης διπλής κλίνης (dual bed catalyst)

Ο καταλύτης διπλής κλίνης ουσιαστικά αποτελείται από δύο καταλύτες τοποθετημένους σε σειρά. Έναν αναγωγικό καταλύτη για τα NOx και έναν οξειδωτικό καταλύτη για τους HC και το CO (γι' αυτό και ονομάζεται διπλής κλίνης). Στον καταλύτη διπλής κλίνης το μεταλλικό δοχείο έχει δύο ξεχωριστούς θαλάμους, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένας ενδιάμεσος χώρος, όπου διασκορπίζεται πρόσθετος αέρας, με τη βοήθεια ενός συστήματος παροχής αέρα από μία αεραντλία. Τα καυσαέρια περνούν πρώτα από την πρώτη κλίνη, στην οποία ανάγονται τα NOx και οξειδώνονται ορισμένοι HC και CO. Στη συνέχεια, τα καυσαέρια διέρχονται διαμέσου του χώρου προσαγωγής αέρα στη δεύτερη κλίνη, όπου η αντλία αέρα (σύστημα έγχυσης αέρα) προσάγει ικανοποιητική ποσότητα αέρα για την τελική οξείδωση του CO και των HC. Ο αέρας αυτός ονομάζεται πρόσθετος ή δευτερεύων αέρας. Με το οξυγόνο του πρόσθετου αέρα οξειδώνονται τελικά ολόκληρες οι ποσότητες των HC και του CO. Η λειτουργία του κινητήρα γίνεται με πλούσιο μίγμα, δηλαδή ο λόγος λ βρίσκεται στη στοιχειομετρική αναλογία. Αυτό φυσικά σημαίνει αυξημένη κατανάλωση καυσίμου. (Εικόνα 16)



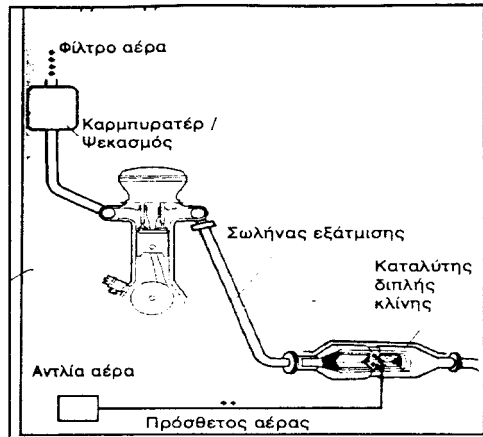
Εικόνα16: Τριοδικός καταλύτης διπλής κλίνης [113]



Εικόνα 17: Βέλτιστη περιοχή λειτουργίας του καταλύτη. [113]

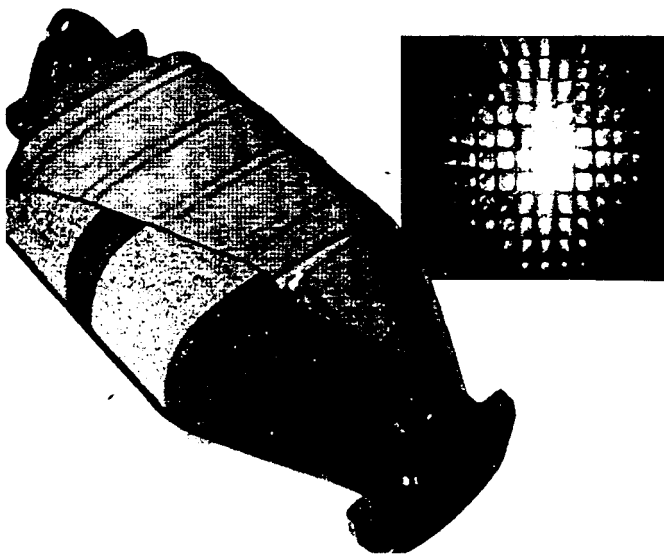
Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι η δημιουργία αμμωνίας NH_3 (κατά την αναγωγή των οξειδίων του αζώτου), η οποία μερικώς μόνο οξειδώνεται ξανά από την εν συνεχεία έγχυση αέρα. (Εικόνα 17)

Πρακτικά, το σύστημα καταλύτη διπλής κλίνης δεν εφαρμόστηκε από τους Ευρωπαίους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Στην Αμερική όμως βρήκε εφαρμογή από τους αντίστοιχους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Το σύστημα διπλής κλίνης μάλιστα συνδυάστηκε με συστήματα ψεκασμού και αισθητήρα λάμδα (κλειστά συστήματα ρύθμισης). Το μίγμα όμως σε αυτά τα αυτοκίνητα (λόγω του αισθητήρα λάμδα) ήταν στοιχειομετρικό και όχι πλούσιο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το σύστημα καταλύτη διπλής κλίνης, γενικά ήταν χειρότερο από αυτό του τριοδικού καταλύτη και γι' αυτό δεν επικράτησε. (Εικόνα 18)



Εικόνα 18: Διάγραμμα λειτουργίας καταλύτη διπλής κλίνης [113]

2.2.1.4. Τριοδικός καταλύτης (three way catalyst)

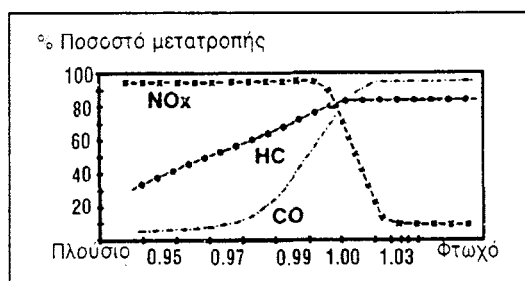


Εικόνα 19: Τομή τριοδικού καταλύτη [113]

Ο τριοδικός καταλύτης είναι σήμερα το επικρατέστερο σύστημα καταλύτη, είτε αυτό εφαρμόζεται ως ρυθμιζόμενο, είτε ως αρρυθμιστο σύστημα. Έχει εφαρμοστεί ευρέως απ' όλους σχεδόν τους κατασκευαστές αυτοκινήτων και συνδυάζεται με τον ηλεκτρονικό έλεγχο προετοιμασίας του μίγματος, καθώς και τη συνεχή διόρθωση στα επιθυμητά όρια της

περιοχής του $\lambda=1$. Κλειδί στην όλη ρύθμιση, όπως προαναφέρθηκε, για ένα κλειστό σύστημα ρύθμισης είναι ο λήπτης λάμδα (ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης). Όμως, ακόμα και για τα ανοικτά συστήματα ρύθμισης (χωρίς λήπτη λάμδα) ο τριοδικός αρρυθμιστος καταλύτης είναι η επικρατέστερη λύση.

A) Αρρυθμιστος τριοδικός καταλύτης



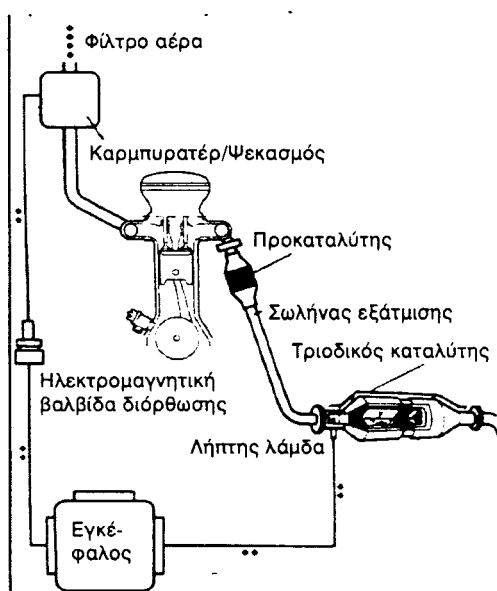
Εικόνα 20: Βαθμός μετατροπής τριοδικού καταλύτη. [107]

Με τον αρρυθμιστο τριοδικό καταλύτη επιτυγχάνονται μετατροπές των ρυπαντών CO, HC και NO_x σε ποσοστό περίπου 50%, ενώ με το ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη επιτυγχάνονται μετατροπές των ρυπαντών σε ποσοστό 90 έως 95% περίπου. Το κλειδί στο μεγάλο ποσοστό μετατροπής των ρυπαντών, είναι συνεχής διόρθωση του λόγου λάμδα ($\lambda=1$). (Εικόνα 20)

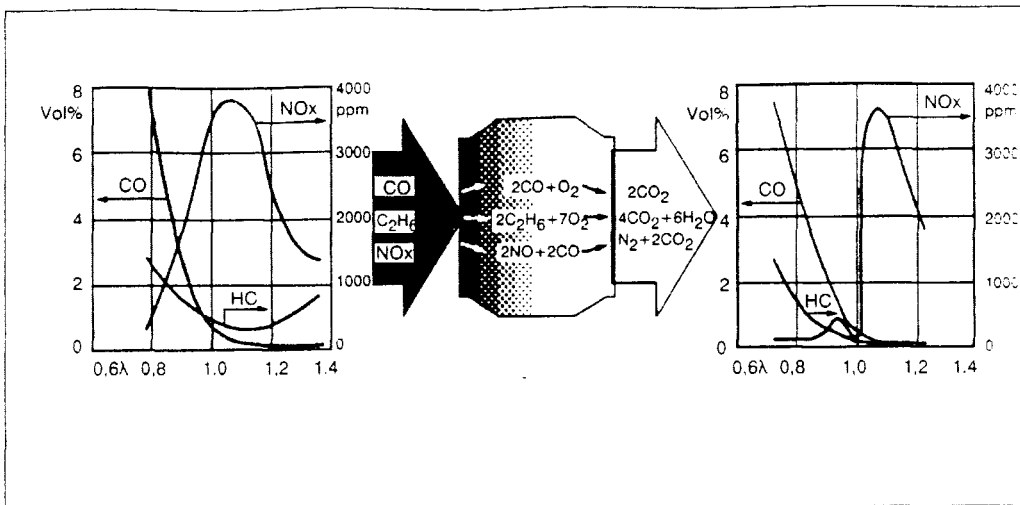
Ο τριοδικός καταλύτης είναι ο καταλύτης που μειώνει και τους τρεις ρυπαντές CO, HC και NO_x. Ο **αρρυθμιστος τριοδικός καταλύτης** δεν απαιτεί την ύπαρξη κλειστού ρυθμιστικού συστήματος με ανατροφοδότηση πληροφοριών από το αισθητήρα λάμδα, για την προετοιμασία και ηλεκτρονική ρύθμιση του μίγματος αέρα-καυσίμου στο στοιχειομετρικό μίγμα 14.7:1 (περιοχή του $\lambda=1$). Οι αρρυθμιστοι καταλύτες δεν λειτουργούν στην περιοχή του $\lambda=1$, αλλά σε περιοχή κοντά στη σχέση $\lambda=1$ (π.χ. 0.9-1.1). Για το λόγο αυτό δεν έχουν τον ίδιο βαθμό απόδοσης μ' ένα ρυθμιζόμενο καταλύτη.

B) Ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης

Ο ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μειώνει και τους τρεις ρυπαντές CO , HC και NO_x. Το ποσοστό μείωσης είναι εκπληκτικό, αφού κυμαίνεται γύρω στο 90-95%. Σ' ένα σύστημα τροφοδοσίας με ηλεκτρονικό καρμπυρατέρ ή ψεκασμό (μονό ή πολλαπλό) και καταλύτη, υπάρχει κλειστό σύστημα ρύθμισης. Το κλειστό αυτό σύστημα στηρίζει τη λειτουργία του στην ύπαρξη του αισθητήρα οξυγόνου ή αισθητήρα λάμδα. Αυτός με τη βοήθεια του εγκεφάλου στέλνει στην αντίστοιχη είσοδο πληροφορίες για την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα και επεξεργάζεται ανάλογα τις πληροφορίες. Στη συνέχεια διορθώνει την αναλογία μίγματος αέρα-καυσίμου στην περιοχή $\lambda=1$. Ο ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης (του οποίου ο όρος είναι λίγο παρερμηνευτικός), είναι ο καταλύτης που συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον επειδή επιτυγχάνει το μέγιστο ποσοστό μείωσης των επιβλαβών ρυπαντών για το περιβάλλον. Η τοποθέτηση ρυθμιζόμενου τριοδικού καταλύτη, σ' ένα αυτοκίνητο συμβατικής τεχνολογίας είναι τεχνικά δυνατή, αλλά οικονομικά ανεφάρμοστη, με οποιοδήποτε τρόπο κι αν αυτή πραγματοποιηθεί. (Εικόνα 21,22)



Εικόνα 21: Διάγραμμα λειτουργίας ρυθμιζόμενου τριοδικού καταλύτη. [113]



Εικόνα 22: Οι εκπομπές ρύπων μετά των καταλύτη μειώνονται δραστικά όταν ο λόγος αέρα-καυσίμου βρίσκεται σε στοιχειομετρική αναλογία. [113]

Όπως έγινε αντιληπτό, η χρήση των καταλυτών απαιτεί τη χρήση αμόλυβδης βενζίνης.

2.2.2. ΚΑΥΣΙΜΟ ΤΩΝ BENZINOKINHTHΡΩΝ-ΜΟΛΥΒΔΟΥΧΟΣ ΚΑΙ ΑΜΟΛΥΒΔΗ BENZINH

Η βενζίνη ως καύσιμο των κινητήρων Otto παράγεται σχεδόν αποκλειστικά από το αργό πετρέλαιο. Η διαδικασία παραγωγής συνίσταται ουσιαστικά σε τρία στάδια:

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τις επεξεργασίες του αργού πετρελαίου πριν τη διύλιση, όπως το φυσικό καθαρισμό των γαιωδών προσμίξεων και την απαερίωση και αφυδάτωση, κατά τις οποίες απομακρύνονται τα αέρια και η υγρασία. Το δεύτερο στάδιο είναι η διύλιση η οποία συνίσταται στον διαχωρισμό των επί μέρους στοιχείων του αργού πετρελαίου με την μέθοδο της κλασματικής απόσταξης. Το τρίτο στάδιο αφορά τις διάφορες επεξεργασίες μετά την διύλιση και περιλαμβάνει το θερμικό ή καταλυτικό cracking και την απομάκρυνση διαφόρων ανεπιθύμητων συστατικών όπως π.χ. το θείο.

Το cracking είναι η διάσπαση του μεγαλομόριου βαρέων ενώσεων σε μικρότερα μόρια σχηματίζοντας έτσι ελαφρύτερα προϊόντα. Η διάσπαση πραγματοποιείται με την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης (θερμικό cracking) καθώς επίσης και με την

δράση αργιλοπυριτικών ενώσεων (καταλυτικό cracking). Με την μέθοδο αυτή προκύπτει βενζίνη από βαρύτερα προϊόντα όπως είναι το Diesel και το φωτιστικό πετρέλαιο. Ανάλογα με τον συνδυασμό των ως άνω τριών σταδίων επεξεργασίας προκύπτει το τελικό προϊόν, το οποίο με την προσθήκη επιπλέον βελτιωτικών συστατικών παίρνει τις επιθυμητές του ιδιότητες.

Η βενζίνη λοιπόν που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στους κινητήρες Otto είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων στο οποίο έχουν προστεθεί διάφορα βελτιωτικά συστατικά. Ορισμένα από τα βελτιωτικά χρησιμοποιούνται για την μετατροπή των κατάλοιπων της καύσης, έτσι ώστε να αποφεύγεται η εναπόθεση τους στους χώρους των κυλίνδρων. Άλλα βελτιωτικά ενισχύουν την αντιοξειδωτική και αντιδιαβρωτική ικανότητα του καυσίμου (διατηρώντας καθαρό το σύστημα αναρρόφησης και τους θαλάμους καύσης), ενώ άλλα καθορίζουν την πτητικότητα του καυσίμου. Ο βαθμός πτητικότητας της βενζίνης σε σχέση με τις εκάστοτε επικρατούσες στον κινητήρα συνθήκες βρασμού και ατμοποίησης, παίζει μεγάλο ρόλο στη σωστή συμπεριφορά του κρύου και του ζεστού κινητήρα. Στον κρύο κινητήρα, προκειμένου να επιτύχουμε ένα καλό ξεκίνημα, μια στρωτή άφορτη λειτουργία και μια ομαλή και γρήγορη μεταβολή φορτίου είναι απαραίτητο ένα χαμηλό σημείο βρασμού και μια υψηλή πίεση ατμοποίησης που θα βοηθήσουν στη σωστή εξαέρωση και ανάμειξη του καυσίμου. Το χρησιμοποιούμενο, επομένως, καύσιμο πρέπει να είναι αρκετά πτητικό.

Αντίθετα, στον πολύ ζεστό κινητήρα πρέπει να αποφεύγεται ο σχηματισμός φυσαλίδων ατμού στο κύκλωμα και ως εκ τούτου πρέπει το καύσιμο να είναι λιγότερο πτητικό. Για τον λόγο αυτό η διατιθέμενη προς κατανάλωση βενζίνη πρέπει κατά τους καλοκαιρινούς μήνες να είναι λιγότερο πτητική και κατά τους χειμερινούς περισσότερο. Συγκεκριμένα ο βαθμός εξάτμισης της βενζίνης πρέπει το καλοκαίρι να είναι 50% στους 105°C και το χειμώνα 50% στους 90°C.

Τα βασικότερα όμως και πιο απαραίτητα πρόσθετα σε μια βενζίνη είναι εκείνα που αυξάνουν την αντιακρηκτικότητά της. Ως γνωστόν η αντιακρηκτικότητα ενός καυσίμου καθορίζει τη σχέση συμπίεσης που μπορούμε να υιοθετήσουμε και παίζει σπουδαίο ρόλο στην αύξηση της ιπποδύναμης του κινητήρα.

Αντιακρηκτικότητά είναι η αντίσταση που παρουσιάζει ένα καύσιμο στην αυτανάφλεξη κάτω από συνθήκες ισχυρής συμπίεσης. Αυτή εκφράζεται με τον αριθμό οκτανίων και καθορίζεται πειραματικά με τη χρήση ενός κινητήρα μεταβλητής συμπίεσης. Όταν μια βενζίνη είναι 96 οκτανίων συμπεριφέρεται σαν ένα μίγμα 96% ισοοκτανίου και 4% καθαρού επτανίου. (Το ισοοκτανίο έχει πολύ υψηλό βαθμό αντίστασης στην αυτανάφλεξη ενώ το καθαρό επάνιο πολύ μικρό). Επομένως όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός οκτανίων σε

μια βενζίνη τόσο πιο υψηλή είναι η αντiekρηκτικότητα της και συνεπώς τόσο πιο υψηλή η σχέση συμπίεσης που μπορούμε να εφαρμόσουμε δίχως να διατρέχουμε τον κίνδυνο αυτανάφλεξης (πιράκια). Το τελικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της ιπποδύναμης του κινητήρα.

Η αντiekρηκτικότητα ουσιαστικά περιγράφεται με δύο χαρακτηριστικούς αριθμούς, τον ROZ και τον MOZ. Ο αριθμός ROZ χαρακτηρίζει την αντiekρηκτικότητα, σε οκτάνια, που πρέπει να έχει η βενζίνη ώστε να μην αυταναφλέγεται κατά την μετάβαση του κινητήρα από τις χαμηλές στροφές στις υψηλές (κτυπήματα επιτάχυνσης). Ο MOZ αντίστοιχα προσδιορίζει τη συμπεριφορά του καυσίμου στην αυτανάφλεξη στις υψηλότερες στροφές (κτυπήματα υψηλών στροφών). Σύμφωνα με την τυποποίηση που καθορίζει το DIN 51600 πρέπει για την Super βενζίνη ο αριθμός ROZ να είναι τουλάχιστον 98 οκτάνια και ο MOZ τουλάχιστον 88. Αντίστοιχα για την απλή ο ROZ τουλάχιστον 91 και ο MOZ 82,7. Εκείνο που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι ο αριθμός οκτανίων ROZ ο οποίος πάντα είναι μεγαλύτερος και καλύπτει τον αριθμό οκτανίων MOZ.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει συγκριτικούς αριθμούς ROZ και MOZ ανάλογα με την ποιότητα της βενζίνης και τη χημική της σύσταση.

Πίνακας 5: Παρασκευή — Χημική σύσταση και χαρακτηριστικά βενζίνης [110]

Τρόπος παρασκευής Βενζίνης	Κύρια συστατικά	Πυκνότητα g/ml	ROZ	MOZ
Βενζίνα από κλασματική απόσταξη	Αλκάνια κυκλοαλκάνια	0,680...0,700	62... 64	60...62
Βενζίνα από Θερμική ή καταλυτική διάσπαση	Παραφίνη ναφθα Αλκένια Αλκάνια	0,720...0,750	88... 92	78...80
Βενζίνη από διαμόρφωση	Αρωματικά	0,740...0,790	93... 98	83...88
Βενζίνα αλκαλική	Αλκένια, Αλκάνια	0,690...0,710	92... 94	90...92
Βενζίνα από πολυμερισμό	Αλκάνια	0,720...0,740	95... 100	80...90
Βενζίνα από πυρόλυση	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,800...0,840	98... 100	83...85
Ισοπεντάνια/Ισοεξάνια	Αλκάνια	0,620...0,660	88... 92	87...90
Βενζίνη αυτοκινήτων αγώνων	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	ca. 0,875	108... 112	90...95

Ως βασικά πρόσθετα για την αύξηση της αντιακρηκτικότητας της βενζίνης χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον διάφορα αλκύλια του μολύβδου και κυρίως ο τετρααιθυλιούχος και ο τετρα-μεθυλιούχος μόλυβδος [$Pb(C_2H_5)_4$ και $Pb(CH_3)_4$].

Η μεγάλη όμως τοξικότητα του μολύβδου (καρκινογέννεση από μολυβδίαση και γενετικές ανωμαλίες) σε συνδυασμό και με την ανάπτυξη μιας ευαίσθητης οικολογικής συνείδησης, ανάγκασε τους κατασκευαστές να προσανατολιστούν σε άλλες λιγότερο βλαβερές εναλλακτικές λύσεις. Μέσα λοιπόν από μία οικολογική οπτική αναπτύχθηκε η νέα αντιρρυπαντική τεχνολογία που στηρίζεται στη χρήση βενζίνης με λιγότερο μόλυβδο και επεκτείνεται στην παραπέρα επεξεργασία των καυσαερίων από έναν καταλυτικό μετατροπέα. Η νέα βενζίνη αν και περιέχει λίγο μόλυβδο, εν τούτοις έχει επικρατήσει διεθνώς να ονομάζεται "αμόλυβδη" επειδή τα ποσοστά του μολύβδου είναι ελάχιστα. Συγκεκριμένα περιέχει 0,013gr/lit σε αντίθεση με την μολυβδόχο η οποία περιέχει 0,15-0,40gr/lit.

Η έλλειψη μολύβδου όμως, θα δημιουργούσε αναπόφευκτα φαινόμενα αυτανάφλεξης αν δεν χρησιμοποιούνταν σε αντικατάσταση του διάφορα άλλα αντικροτικά βελτιωτικά. Ως τέτοια συστατικά χρησιμοποιούνται πλέον διάφοροι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, όπως το

βενζόλιο και διάφορες άλλες οργανικές ενώσεις του οξυγόνου, όπως είναι η μεθανόλη, η αιθανόλη και η τουλουόλη. Επίσης χρησιμοποιούνται ορισμένοι αιθέρες και κυρίως το MTB (Μεθυλο-τετρα-μπουτιλο αιθέρας).

Πρέπει να επισημάνουμε ότι τα πρόσθετα αυτά είναι εξίσου τοξικά και καρκινογόνα, αν δεν τύχουν μιας επιπλέον επεξεργασίας στον καταλυτικό μετατροπέα ώστε να καταστούν ακίνδυνα. Επομένως είναι επιβεβλημένη η χρήση καταλυτικού μετατροπέα στα αυτοκίνητα της νέας τεχνολογίας που χρησιμοποιούν αμόλυβδη βενζίνη. Δυστυχώς πριν μερικά χρόνια το σλόγκαν "καίω και αμόλυβδη", που είχε επικρατήσει στην ελληνική αγορά του αυτοκινήτου, επέτρεπε, πιθανόν λόγω άγνοιας και όχι λόγω σκοπιμότητας, τη χρήση της αμόλυβδης βενζίνης δίχως τον απαραίτητο καταλυτικό μετατροπέα, με καταστροφικά για το περιβάλλον και τον άνθρωπο αποτελέσματα.

Το πλεονέκτημα της αμόλυβδης βενζίνης σε συνδυασμό πάντα με την χρήση του καταλύτη έχει μόνο οικολογική διάσταση και επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων για την προστασία του περιβάλλοντος. Σε θέματα συμπεριφοράς του κινητήρα, η αμόλυβδη προκαλεί μια μικρή πτώση ισχύος εξ' αιτίας του μειωμένου κάπως αριθμού οκτανίων (95-96 οκτάνια). Η μείωση της ισχύος είναι της τάξης του 1-2% ανά οκτάνιο. Επιπλέον ο μειωμένος αριθμός οκτανίων εγκυμονεί κινδύνους αυταναφλέξεων σε κινητήρες με υψηλή σχέση συμπίεσης. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τον ηλεκτρονικό έλεγχο της γωνίας και τον αισθητήρα αναγνώρισης κτυπημάτων και όχι με την ελάττωση της σχέσης συμπίεσης, γιατί τότε θα προέκυπταν προβλήματα απώλειας ισχύος και αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου. Παράλληλα οι έρευνες στρέφονται στην παρασκευή αμόλυβδης βενζίνης με μεγαλύτερο αριθμό οκτανίων.

Ένα άλλο μειονέκτημα της αμόλυβδης είναι η μειωμένη ικανότητα που διαθέτει ως καύσιμο για την λίπανση των μεταλλικών επιφανειών του κινητήρα και ιδίως των εδρών των βαλβίδων. Η έλλειψη ικανότητας λίπανσης οφείλεται στην απουσία του μόλυβδου, ο οποίος δρα ως λιπαντικό στις ως άνω μεταλλικές επιφάνειες. Επομένως σε κινητήρες που καίνε αμόλυβδη, πρέπει οι βαλβίδες και οι έδρες τους να κατασκευάζονται από ειδικά σκληρά μέταλλα. Πρέπει επίσης να επισημάνουμε ότι το κόστος παραγωγής της αμόλυβδης βενζίνης είναι πολύ υψηλό σε σχέση με αυτό της μολυβδούχου.

Παρ' όλα αυτά στην Ελλάδα η τιμή διάθεσης της αμόλυβδης είναι σχετικά μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή της μολυβδούχου και τούτο, μόνο και μόνο για να δημιουργηθούν κίνητρα για την απόκτηση αυτοκινήτου αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Το μεγαλύτερο όμως μειονέκτημα της αμόλυβδης βενζίνης είναι ίσως η ελλιπής ενημέρωση, που οδηγεί στην κακή χρήση της με αρρυθμιστο κινητήρα και έλλειψη ή βλάβη καταλυτικού μετατροπέα. Κάτω

από τέτοιες συνθήκες η αμόλυβδη γίνεται εξ' ίσου, αν όχι και περισσότερο, ρυπογόνος από την μολυβδόχο. Αυτό βέβαια δεν έχει να κάνει τόσο με την αμόλυβδη όσο με τον ίδιο τον άνθρωπο. Προβάλλει λοιπόν επιτακτικά η ανάγκη θέσπισης ενός πλαισίου αυστηρού ελέγχου των καυσαερίων, της κατάστασης λειτουργίας του κινητήρα και της κατάστασης του καταλυτικού μετατροπέα. Παρ' όλα αυτά η χρήση της αμόλυβδης σε συνδυασμό πάντα με τον καταλύτη αποτελούν σήμερα την προσφορότερη λύση για την προστασία του περιβάλλοντος.

2.3. ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

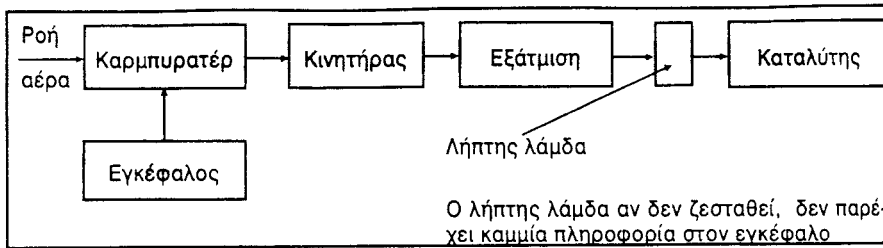
2.3.1. ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

Η δυνατότητα ηλεκτρονικής διόρθωσης και ελέγχου του μίγματος με νέες ηλεκτρονικές διατάξεις, έχει αποτελέσει την αφορμή για αναφορά σε ανοικτά και κλειστά συστήματα ρύθμισης ή ελέγχου, ή πιο σωστά, σε συστήματα ρύθμισης ανοικτού βρόγχου - OPEN LOOP CONTROL SYSTEMS.

Ένα συμβατικό αυτοκίνητο συμπεριφέρεται σαν ένα "σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόγχου", δηλαδή το μίγμα στο σύστημα τροφοδοσίας δεν μπορεί να διορθωθεί και να πλησιάσει τη στοιχειομετρική αναλογία κάθε στιγμή. Ένα αυτοκίνητο αντιρρυπαντικής τεχνολογίας με μη ρυθμιζόμενο καταλύτη, (δηλαδή χωρίς αισθητήρα λάμδα) είναι ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ανοικτού συστήματος ρύθμισης. Ακόμη και αν υπάρχει ηλεκτρονικό καρμπυρατέρ ή ηλεκτρονικός ψεκασμός (κεντρικός ή πολλαπλός) με εγκέφαλο, όταν δεν υπάρχει ο αισθητήρας λάμδα, δεν μπορεί να υπάρξει πληροφόρηση για το οξυγόνο που παραμένει στα καυσαέρια. Η πληροφόρηση αυτή είναι απαραίτητη για να διορθώσει ο εγκέφαλος το μίγμα ηλεκτρονικά και να το φέρει κοντά στο στοιχειομετρικό σημείο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένας τριοδικός καταλύτης να αυξήσει το βαθμό απόδοσης του, αφού προϋπόθεση για τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης στη μετατροπή των ρυπαντών, είναι να παράγει ο κινητήρας κατά το χρόνο της καύσης, όσο το δυνατό λιγότερους ρυπαντές. Αυτό γίνεται μόνο με συνεχή ρύθμιση στη στοιχειομετρική περιοχή ($\lambda=1$).

Αν και τα συμβατικά συστήματα τροφοδοσίας δεν μπορούν να οριστούν σαν ανοικτά συστήματα ρύθμισης, αφού σε αυτά δεν υπάρχει εγκέφαλος, ωστόσο έχουν την ίδια συμπεριφορά λειτουργίας, όπως και τα αυτοκίνητα με αρρύθμιστο καταλύτη. Η διαφορά σε μία τέτοια περίπτωση είναι ότι ο εγκέφαλος παίρνει κάποιες πληροφορίες, τις επεξεργάζεται

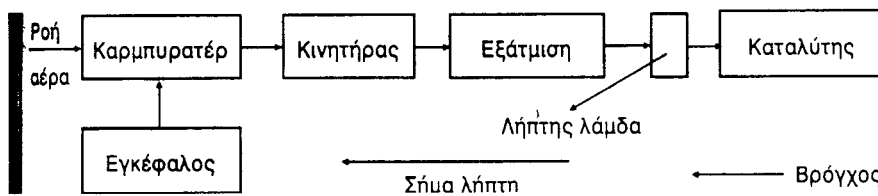
και τις αποστέλλει ως σήματα εξόδου στα διάφορα σημεία ρύθμισης. (Εικόνα 23)



Εικόνα 23: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ανοικτού συστήματος ρύθμισης. [113]

2.3.2. ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

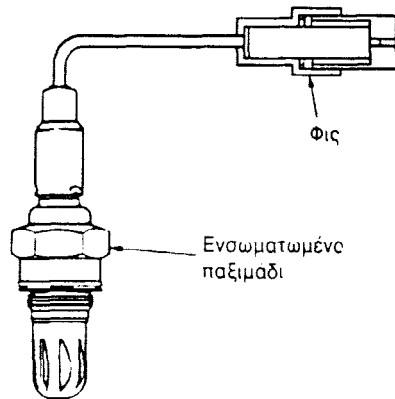
Η διαφορά στα κλειστά συστήματα ρύθμισης είναι ότι η ανατροφοδότηση μίας συγκεκριμένης πληροφορίας μαζί με τις υπόλοιπες εισερχόμενες πληροφορίες επιτρέπουν την ηλεκτρονική διόρθωση της προετοιμασίας του μίγματος αυστηρά στην περιοχή του $\lambda=1$ (περιοχή λειτουργίας 0.97-1.03). Η ακριβής αυτή ρύθμιση ανεβάζει και την απόδοση του Τριοδικού Ρυθμιζόμενου Καταλύτη στο 90-95% περίπου. Όλοι δε οι ρύποι μετατρέπονται σε αβλαβή καυσαέρια και οι εκπομπές του αυτοκινήτου κυμαίνονται σχεδόν σε μηδενικά όρια. Το κυριότερο εξάρτημα για την πραγματοποίηση της σωστής ρύθμισης είναι ο αισθητήρας οξυγόνου ή αισθητήρας λάμδα. Τα κλειστά συστήματα ρύθμισης συμπεριφέρονται σαν ανοικτά συστήματα για τα πρώτα 3-5 λεπτά περίπου της λειτουργίας τους. Ο λόγος φυσικά είναι ότι δεν έχει ζεσταθεί ο κινητήρας και ο αισθητήρας λάμδα δεν έχει φθάσει στη φυσιολογική περιοχή λειτουργίας του, απ' όπου αρχίζει και η ροή πληροφοριών και όπου φυσικά μετατρέπεται το ανοικτό σε κλειστό σύστημα ρύθμισης. (Εικόνα 24)



Εικόνα 24: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας κλειστού συστήματος ρύθμισης. Ο αισθητήρας "λ" ζεστός. [113]

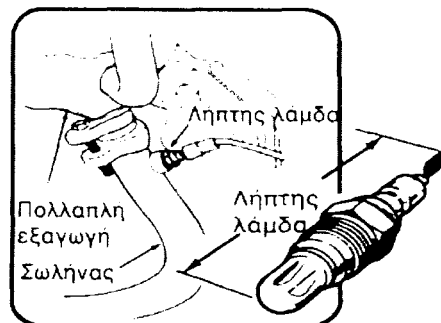
Αισθητήρας οξυγόνου ή αισθητήρας λάμδα

Ο αισθητήρας οξυγόνου ή αισθητήρας λάμδα μοιάζει εξωτερικά μ' ένα μπουζί και τοποθετείται στην πολλαπλή εξαγωγής ή και πάνω στον καταλύτη. Ο αισθητήρας λάμδα προορίζεται να ανιχνεύει τη συγκέντρωση οξυγόνου στα καυσαέρια, με εξαιρετική ακρίβεια. Η εφαρμογή αυτού του αισθητήρα ξεκίνησε το 1970, με κατασκευάστρια εταιρεία την BOSCH. (Εικόνα 25). Για την ιστορία αναφέρεται ότι ο αισθητήρας λάμδα βρίσκεται τεχνολογικά στην τρίτη γενιά, που είναι η γενιά του θερμαινόμενου αισθητήρα λάμδα.

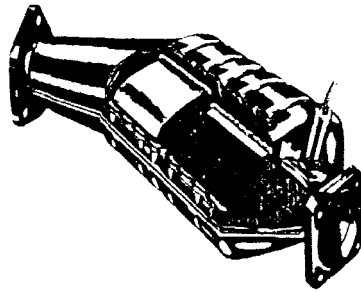


Εικόνα 25: Μη θερμαινόμενος αισθητήρας λάμδα. [110]

Ο αισθητήρας λάμδα είναι το βασικό εξάρτημα των κλειστών συστημάτων ρύθμισης. Γι' αυτό και τα κλειστά συστήματα ρύθμισης έχουν την ονομασία LAMBDA CLOSED - LOOP CONTROL. Ο αισθητήρας λάμδα παρέχει τις πληροφορίες ανατροφοδότησης στον εγκέφαλο του συστήματος τροφοδοσίας (ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο καρμπυρατέρ ή ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού-Injection) και σε συνδυασμό με τον καταλύτη επιτυγχάνει μείωση των εκπομπών καυσαερίων.



Εικόνα 26: Θέση του αισθητήρα λάμδα μετά την πολλαπλή εξαγωγή [110]



Εικόνα 27: Ο αισθητήρας λάμδα τοποθετημένος πάνω στον καταλύτη [110]

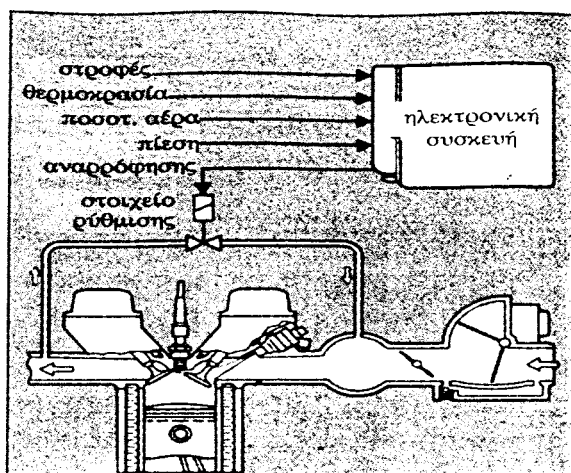
Αναλυτικότερα για τους αισθητήρες 'λ', γίνετε λόγος σε επόμενο κεφάλαιο.

2.4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Τα σύγχρονα συστήματα ψεκασμού ανταποκρινόμενα στις σύγχρονες απαιτήσεις για περαιτέρω ελαχιστοποίηση των ρύπων παρέχουν την δυνατότητα συνεργασίας με κύκλωμα επιστροφής και μετάκαυσης καυσαερίων (EGR).

Έχει αποδειχθεί ότι οι ρύποι των οξειδίων του αζώτου (NO_x) περιορίζονται δραστικά, αν ένα μέρος των καυσαερίων οδηγηθεί ξανά στους κυλίνδρους μέσω του αγωγού αλλά μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την συμπεριφορά του κινητήρα, ειδικά κατά την άφορτη λειτουργία στο πεδίο χαμηλών στροφών, καθώς επίσης και στην φάση θερμής λειτουργίας όταν ο κινητήρας είναι ακόμη κρύος. Ένας συμβιβασμός μεταξύ των απαιτήσεων για πλήρη και δραστική μείωση των NO_x με ταυτόχρονη καλή συμπεριφορά λειτουργίας του κινητήρα, επιτυγχάνεται μέσω ενός χαρακτηριστικού πεδίου ρύθμισης των επιστρεφόμενων καυσαερίων. Το πεδίο αυτό διαμορφώνεται με βάση τις στροφές και την θερμοκρασία του κινητήρα, την ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα και την επικρατούσα πίεση αναρρόφησης. Στη συνέχεια η μονάδα ελέγχου δίνει εντολή σε ένα ρυθμιστικό στοιχείο (βαλβίδα ρύθμισης EGR) έτσι ώστε, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας, να οδηγείται στον σωλήνα αναρρόφησης η επιτρεπόμενη κάθε φορά ποσότητα καυσαερίων. (Εικόνα 28)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα στα αυτοκίνητα της αγοράς των Η.Π.Α. και της Ιαπωνίας, ενώ αρχίζει να εφαρμόζεται σιγά- σιγά και στην Ευρώπη.



Εικόνα 28: Κύκλωμα ανακύκλωσης καυσαερίων

2.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗΣ ΑΝΑΘΥΜΙΑΣΕΩΝ ΒΕΝΖΙΝΗΣ

Προκειμένου να ελαττωθεί η εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων προς το περιβάλλον έχουν θεσπιστεί διάφορες νομικές οδηγίες βάσει των οποίων απαγορεύεται, να οδηγηθούν στην ατμόσφαιρα οι ατμοί καυσίμου που δημιουργούνται μέσα στο ρεζερβουάρ εξ' αιτίας των αναταράξεων και της εξάτμισης.

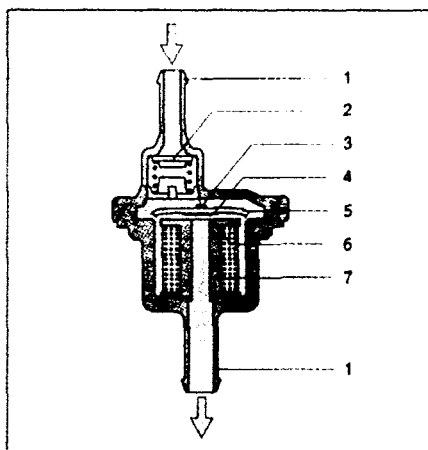
Για τον σκοπό αυτό το ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης είναι εφοδιασμένο με ένα σύστημα το οποίο οδηγεί τους ατμούς καυσίμου από το ρεζερβουάρ προς τους θαλάμους καύσης. (Εικόνα 30). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα δοχείο ενεργού άνθρακα στο οποίο συλλέγονται οι ατμοί καυσίμου και μία ρυθμιστική βαλβίδα χρονισμού, μέσω της οποίας το ατμοποιημένο καύσιμο οδηγείται από το δοχείο ενεργού άνθρακα στον αγωγό εισαγωγής κάτω από την πεταλούδα του γκαζιού.

Ο ενεργός άνθρακας έχει την ιδιότητα να δεσμεύει το καύσιμο από τις φυσαλίδες ατμού. Η επανάκτηση αυτού του καυσίμου γίνεται με την βοήθεια του αναρροφούμενου αέρα ο οποίος περνώντας μέσα από το δοχείο ενεργού άνθρακα εμπλουτίζεται με τους δεσμευμένους υδρογονάνθρακες και στην συνέχεια μέσω πολλαπλής εισαγωγής οδηγείται στους θαλάμους για καύση. Η ποσότητα του εμπλουτισμένου με υδρογονάνθρακες αέρα που

αναρροφάται για καύση, εξαρτάται κάθε φορά από τη διαφορά μεταξύ πίεσης αναρρόφησης και ατμοσφαιρικής πίεσης ($\Delta p = P_s - P_u$).

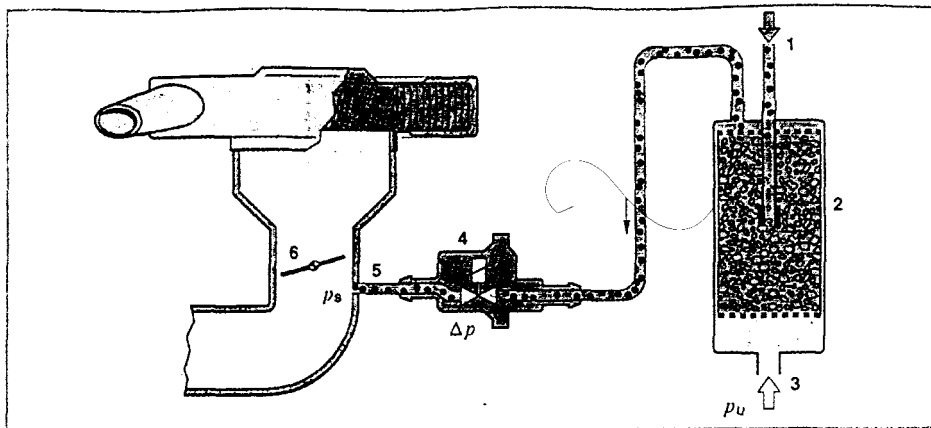
Κατά συνέπεια στην άφορτη λειτουργία όπου η πεταλούδα είναι ελάχιστα ανοικτή έχουμε μεγάλη διαφορά πίεσης, άρα και μεγάλη ποσότητα αναρρόφησης εμπλουτισμένου με υδρογονάνθρακες αέρα. Το αντίστροφο συμβαίνει στα μεγαλύτερα φορτία όπου η πεταλούδα ανοίγει πολύ και η διαφορά πίεσης μικραίνει. Στην πράξη όμως η σωστή λειτουργία του κινητήρα απαιτεί ακριβώς το αντίθετο. Συγκεκριμένα μια μικρή παροχή εμπλουτισμένου αέρα είναι επιθυμητή για τα μικρά φορτία, ενώ για τα μεγαλύτερα φορτία απαιτείται μια μεγάλη παροχή. Αυτό εξασφαλίζεται από τη ρυθμιστική βαλβίδα δύο δρόμων η οποία τοποθετείται στην ροή του εμπλουτισμένου αέρα, ακριβώς μετά το δοχείο ενεργού άνθρακα. Η ειδική κατασκευή αυτής της βαλβίδας εξασφαλίζει μια μεγάλη παροχή στα μεγάλα φορτία όπου η διαφορά πίεσης Δp είναι σχετικά μικρή και μια μικρή παροχή στην άφορτη λειτουργία όπου η διαφορά πίεσης είναι μεγάλη. Για τον σκοπό αυτό ο πυρήνας της βαλβίδας είναι στερεωμένος στη μία πλευρά ενός λεπτού επίπεδου ελατηρίου το οποίο, όταν βρίσκεται σε θέση ηρεμίας, έλκει τον πυρήνα και τον απομακρύνει από τη θέση κλεισίματος της βαλβίδας. Όσο ανεβαίνει η διαφορά πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου της βαλβίδας τόσο και ο πυρήνας κλείνει περισσότερο τη διατομή ελαττώνοντας την ροή του εμπλουτισμένου αέρα. Μια βαλβίδα αντεπιστροφής εμποδίζει την ροή του εμπλουτισμένου αέρα όταν ο κινητήρας δε λειτουργεί. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η ποσότητα του εμπλουτισμένου με καύσιμο αέρα που περνά κάθε στιγμή από την ρυθμιστική βαλβίδα, επιδρά στην ποιοτική και ποσοτική σύσταση του μίγματος. Επομένως για την σωστή φόρτιση του κινητήρα και για τον έλεγχο της στοιχειομετρίας επιβάλλεται η αναγνώριση και ρύθμιση αυτής της ποσότητας.

Όπως ήδη ειπώθηκε η ποσότητα ροής του εμπλουτισμένου αέρα εξαρτάται από το ύψος της υποπίεσης που επικρατεί στον σωλήνα εισαγωγής.



Εικόνα 29: Ρυθμιστική βαλβίδα ατμών καυσίμου
[107]

1. Υποδοχές για σύνδεση βαλβίδας
2. Βαλβίδα αντεπιστροφής
3. Επίπεδο ελατήριο
4. Στεγανοποιητικό παρέμβυσμα
5. Πυρήνας ηλεκτρομαγνήτη
- 6-Έδρα στεγανοποίησης βαλβίδας
7. Τύλιγμα ηλεκτρομαγνήτη.



Εικόνα 30: Σύστημα ανακύκλωσης και καύσης εξατμιζόμενου καυσίμου. [107]

1. Ατμοί καυσίμου από ρεζερβουάρ προς δοχείο ενεργού άνθρακα.
2. Δοχείο ενεργού άνθρακα.
3. Ατμοσφαιρικός αέρας
4. Ρυθμιστική βαλβίδα.
5. Προς πολλαπλή εισαγωγής
6. Πεταλούδα γκαζιού P_s =Πίεση πολλαπλής εισαγωγής και P_u =Ατμοσφαιρική πίεση

Η υποπίεση όμως είναι συνάρτηση της γωνίας ανοίγματος της πεταλούδας και των στροφών του κινητήρα. Κατά συνέπεια η ποσότητα του εμπλουτισμένου αέρα που αναρροφάται μπορεί να υπολογισθεί κατ' ευθείαν από τις τιμές των στοιχείων (α) και (η).

Επομένως για κάθε σημείο λειτουργίας του κινητήρα το οποίο χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη γωνία πεταλούδας και έναν συγκεκριμένο αριθμό στροφών, μπορεί να υπολογισθεί η σχέση παροχών μεταξύ εμπλουτισμένου αέρα που περνά από την ρυθμιστική βαλβίδα και εκείνου που περνά από το άνοιγμα της πεταλούδας. Η παραπάνω σχέση είναι κατά προσέγγιση γραμμική.

Όσον αφορά την ρύθμιση της ποσότητας του εμπλουτισμένου αέρα αυτή γίνεται με τον χρονισμό της ρυθμιστικής βαλβίδας και είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της στοιχειομετρίας ($\lambda=1$). Για τον σκοπό αυτό υπάρχει ένα πρόγραμμα στην μνήμη της μονάδας ελέγχου βάσει του οποίου ενεργοποιείται ο ηλεκτρομαγνήτης της βαλβίδας. Σε κατάσταση ρύθμισης, όταν δηλαδή η ηλεκτρομαγνήτης διαρρέετε από ρεύμα, ο οπλισμός έλκει τον πυρήνα ελαττώνοντας την παροχή αερίου ή κλείνοντας την εντελώς, ανάλογα με το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο.

2.6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΣΤΡΟΦΑΛΟΘΑΛΑΜΟΥ.

Περίπου 55% της ρύπανσης υδρογονανθράκων είναι στην εξάτμιση, οι εκπομπές στροφαλοφόρου αποτελούν ένα περαιτέρω 25% και η εξάτμιση δεξαμενών και εξαερωτήρων καυσίμων αποτελεί το άλλο 20%. Αυτοί οι αριθμοί, φυσικά, ποικίλλουν ελαφρώς σύμφωνα με την περιβαλλοντική θερμοκρασία. Στους γενικούς άκαυτους υδρογονάνθρακες το ποσό αυτών των δύο πηγών είναι λιγότερο από περίπου 4 έως 10% των συνολικών ρύπων.

Οι καπνοί σύρονται στην πολλαπλή επαγωγή από ένα κλειστό κύκλωμα, θετικό σύστημα εξαερισμού. Ένας σωλήνας λαμβάνεται γενικά από το εσωτερικό του φίλτρου αέρα στο κάλυμμα ζυγού βαλβίδων και άλλος από τον στροφαλοφόρο στην πολλαπλή εισαγωγής. Κατά συνέπεια, ο αέρας που έχει περάσει μέσω ενός φίλτρου σύρεται μετά από το κάλυμμα και από εκεί στην πολλαπλή, από όπου παραδίδεται στους κυλίνδρους, όπου οποιοδήποτε καπνοί υδρογονανθράκων παίρνονται από τον στροφαλοφόρο και καίγονται.

Υπάρχουν απαιτήσεις για ένα τέτοιο σύστημα: Η πιο σημαντική είναι ότι η ροή πρέπει να είναι περιορισμένη, για να υπάρξει κάποια προστασία για να αποτραπεί η ανάστροφη ροή σε περίπτωση αποτυχίας. Το σύστημα αυτό εκτός των άλλων βοηθάει και στην καλύτερη λίπανση του θαλάμου καύσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΟΤΤΟ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τρομερή επιβάρυνση του περιβάλλοντος με επιβλαβείς ρυπογόνες ουσίες και η προκληθείσα «πετρελαϊκή κρίση» στις αρχές της δεκαετίας του 1970, υποχρέωσαν τα κράτη να πάρουν αυστηρά μέτρα ως προς την κατανάλωση καυσίμου των αυτοκινήτων και ταυτόχρονα να εκδώσουν αυστηρές προδιαγραφές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας των αυτοκινήτων.

Οι προαναφερθέντες λόγοι ώθησαν τις αυτοκινητοβιομηχανίες, να κατασκευάσουν κινητήρες, που να είναι «φιλικοί» προς το περιβάλλον και οικονομικότερης κατανάλωσης καυσίμου, αξιοποιώντας και την επιτευχθείσα τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα των ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Έτσι αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν νέα συστήματα και τεχνολογίες, τα οποία έχουν σαν απώτερο σκοπό τον βέλτιστο έλεγχο όλων των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν:

- Την βελτιστοποίηση της απόδοσης του κινητήρα
- Την σημαντική μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα, λόγω της βέλτιστης καύσης του μίγματος κάτω από όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.
- Τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.
- Την καλύτερη συμπεριφορά του κινητήρα στην ψυχρή εκκίνηση.

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται σε πέντε ενότητες οι σημαντικότερες παράμετροι και τεχνολογίες, οι οποίες επιδρούν σημαντικά στη μείωση των εκπεμπόμενων στην ατμόσφαιρα ρύπων.

Οι τεχνολογίες αυτές εφαρμόζονται αποκλειστικά στους κινητήρες των αυτοκινήτων και όχι στα συστήματα εξαγωγής τους.

Οι ενότητες αυτές είναι:

- Αισθητήρες Lambda ‘λ’.
- Συστήματα έγχυσης.
- Συστήματα ανάφλεξης.
- Συστήματα μεταβλητού χρονισμού και βυθίσματος βαλβίδων .
- Σύστημα επιστροφής και μετάκαυσης καυσαερίων (EGR).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση των ρύπων σε ποσοστό άνω του 90% προήλθε από την εξέλιξη των ηλεκτρονικών συστημάτων ψεκασμού και ανάφλεξης καθώς και της χρήσης του κυκλώματος ‘λ’.

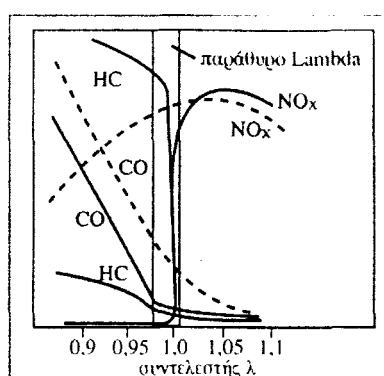
3.2. ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ LAMBDA

Η ρύθμιση “Lambda” σε συνδυασμό με σύστημα καταλυτικού μετατροπέα αποτελεί σήμερα την αποτελεσματικότερη μέθοδο ελαχιστοποίησης των εκπεμπόμενων ρύπων ενός βενζινοκινητήρα. Προς το παρόν δεν υπάρχει άλλο εναλλακτικό σύστημα το οποίο να επιτυγχάνει ελαχιστοποίηση ρύπων σε τόσο υψηλό βαθμό. Ακόμα και τα πλέον σύγχρονα συστήματα έγχυσης και ανάφλεξης δεν μπορούν να επιτύχουν από μόνα τους τιμές ρύπων κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο.

Για μια μεγαλύτερη μείωση των επιβλαβών ρύπων είναι αναγκαία η περαιτέρω επεξεργασία των καυσαερίων. Η επεξεργασία αυτή πραγματοποιείται στον καταλυτικό μετατροπέα ο οποίος τοποθετείται στην εξαγωγή των καυσαερίων.

Ιδιαίτερα αποτελεσματικός θεωρείται σήμερα ο τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας (τριοδικός καταλύτης) που έχει την ικανότητα να μειώνει τους ρύπους των HC, CO και NO_x σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, με την αυστηρή όμως προϋπόθεση ότι ο κινητήρας τροφοδοτείται με μίγμα του οποίου η σύσταση δεν αποκλίνει περισσότερο του 1% από την στοιχειομετρική αναλογία $\lambda = 1$ (Εικόνα 31). Η διατήρηση ενός τόσο μικρού επιτρεπόμενου εύρους απόκλισης από την στοιχειομετρική αναλογία είναι αναγκαία επειδή εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του καταλύτη με έναν υψηλό βαθμό απόδοσης. Δυστυχώς όμως, κανένα σύστημα έγχυσης μέχρι σήμερα δεν μπορεί από μόνο του να εξασφαλίσει την τροφοδοσία του κινητήρα σε όλες τις φάσεις λειτουργίες του με στοιχειομετρικό μίγμα.

Για το λόγο αυτό, τη διατήρηση της στοιχειομετρίας σε πολύ στενά όρια πλησίον της τιμής $\lambda=1$, την αναλαμβάνει ένα ειδικό ρυθμιστικό κύκλωμα που καλείται "ρυθμιστικό κύκλωμα λάμδα". Η λειτουργία της ρύθμισης λάμδα στηρίζεται στην μέτρηση της ποσότητας οξυγόνου που υπάρχει στα εξερχόμενα καυσαέρια. Η μεγάλη παρουσία του οξυγόνου στα καυσαέρια σημαίνει ότι το μίγμα είναι φτωχό $\lambda>1,0$ ενώ η απουσία (ή ελάχιστη παρουσία) οξυγόνου δείχνει ότι το μίγμα είναι πλούσιο $\lambda<1,0$. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται από τον αισθητήρα "λάμδα" ο οποίος με ανάλογο ηλεκτρικό σήμα πληροφορεί την μονάδα ελέγχου για το ποσοστό οξυγόνου στα καυσαέρια. Το ποσοστό αυτό αποτελεί ουσιαστικά μέτρο αναγνώρισης της σύστασης του μίγματος. Στη συνέχεια η μονάδα ελέγχου, με βάση το σήμα του αισθητήρα, ρυθμίζει την αναλογία αέρα-καύσιμου πλησίον της τιμής $\lambda=1$.



Εικόνα 31: Πεδίο ρύθμισης του αισθητήρα Lambda (παράθυρο Lambda) και μείωση των επιβλαβών ρύπων -Ρύποι χωρίς καταλύτη - Ρύποι με καταλύτη και ρύθμιση Lambda. [107]

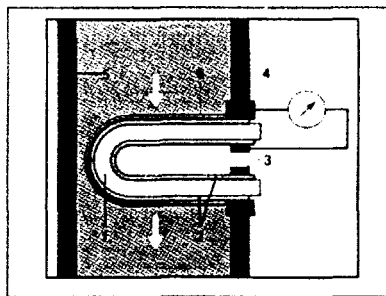
Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η διατήρηση της στοιχειομετρίας στα στενά επιτρεπτά όρια, μέσα στα οποία ο καταλύτης λειτουργεί με μέγιστο βαθμό απόδοσης περιορίζοντας έτσι τους ρύπους στο ελάχιστο. Τα στενά πλαίσια της μέγιστης επιτρεπτής απόκλισης από την τιμή $\lambda=1$ οριοθετούν το "παράθυρο λάμδα" (Εικόνα 31).

Αισθητήρας οξυγόνου (αισθητήρας - λ)

- **Κατασκευή**

Ο αισθητήρας αποτελείται βασικά από ένα σώμα ειδικού κεραμικού (συνήθως διοξείδιο του ζirkονίου ZrO_2). Η εσωτερική και εξωτερική πλευρά του κεραμικού είναι επικαλυμμένες με λεπτές επιστρώσεις πορώδους πλατίνας δημιουργώντας έτσι δύο

ηλεκτρόδια. Η κεφαλή του αισθητήρα βρίσκεται μέσα στο ρεύμα των καυσαερίων με τέτοιο τρόπο, ώστε η εξωτερική πλευρά του επιπλατινομένου κεραμικού που αποτελεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο, να είναι εκτεθειμένη στα καυσαέρια, ενώ η εσωτερική επιπλατινομένη πλευρά του κεραμικού που αποτελεί το θετικό ηλεκτρόδιο να έρχεται σ' επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος (Εικόνα 32).

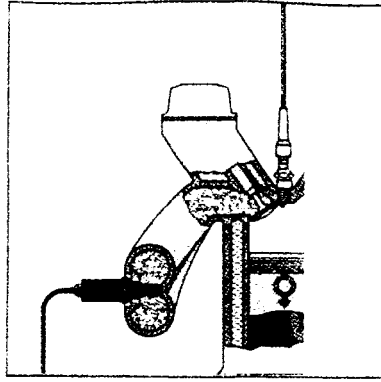


Εικόνα 32: Διάταξη του αισθητήρα Lambda στην πολλαπλή εισαγωγή [107]

1. Ενεργό κεραμικό (Συνήθως ZrO_2), 2. Εσωτερικό (+) και εξωτερικό (-) ηλεκτρόδιο, 3. Επαφή εσωτερικού ηλεκτροδίου, 4. Επαφή εξωτερικού ηλεκτροδίου, 5. Πολλαπλή εξαγωγή, 6. Πορώδης κεραμική προστασία

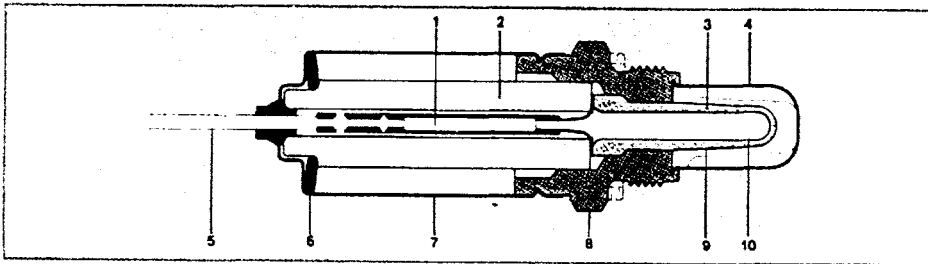
Επιπλέον το κεραμικό αισθητήριο από την εξωτερική πλευρά επαφής με τα καυσαέρια διαθέτει πάνω από το στρώμα της πλατίνας και μια άλλη προστατευτική επίστρωση πορώδους κεραμικού. Το διαπερατό αυτό στρώμα κεραμικού εμποδίζει την αρνητική επίδραση των κατάλοιπων των καυσαερίων πάνω στο στρώμα της πλατίνας. Το κεραμικό αισθητήριο στηρίζεται σε μια ειδική βάση η οποία βιδώνεται στον αγωγό εξαγωγής των καυσαερίων.

Ένας προστατευτικός μεταλλικός σωλήνας με ειδικά διαμορφωμένες εγκοπές (Εικόνα 32), τοποθετείται στην κεφαλή του αισθητήρα από την μεριά των καυσαερίων, εμποδίζοντας έτσι την επαφή των κατάλοιπων της καύσης με τον κεραμικό αισθητήρα. (Εικόνα 33)



Εικόνα 33: Θέση του αισθητήρα Lambda στην πολλαπλή εξαγωγή. [107]

Η πίσω πλευρά του αισθητήρα προστατεύεται από ένα μεταλλικό κέλυφος το οποίο φέρει οπές εξαερισμού και χρησιμεύει επιπλέον για την έδραση ενός ελατηριοτού δίσκου. Τέλος οι ηλεκτρικοί ακροδέκτες εξέρχονται από τον αισθητήρα μέσω ενός προστατευτικού κεραμικού σωλήνα.



Εικόνα 34: Μη θερμαινόμενος αισθητήρας Lambda [107]

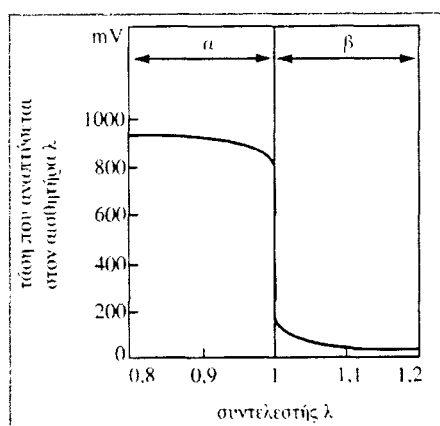
- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Επαφή | 7. Κέλυφος εξωτερικό |
| 2. Προστατευτικός κεραμικός σωλήνας | 8. Θήκη στήριξη του ενεργού κεραμικού (Βιδώνει στην εξαγωγή) |
| 3. Ενεργό κεραμικό υλικό (ZrO_2) | 9. Ηλεκτρόδιο (-) |
| 4. Προστατευτικός σωλήνας με εγκοπές | 10. Ηλεκτρόδιο (+) |
| 5. Επαφή | |
| 6. Δίσκος ελατηρίου | |

- **Λειτουργία.**

Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα στηρίζεται στην ιδιότητα του κεραμικού υλικού (ZrO_2) να δρα ως στερεός ηλεκτρολύτης, επιτρέποντας έτσι την ροή ιόντων οξυγόνου από την μία πλευρά στην άλλη. Το διοξείδιο του ζirkονίου γίνεται ηλεκτρικά αγώγιμο σε θερμοκρασίες πάνω από $300^{\circ}C$. Πάνω λοιπόν από τέτοιες θερμοκρασίες, όταν τα ποσοστά οξυγόνου στις δύο πλευρές του κεραμικού είναι διαφορετικά, αναπτύσσεται μια ηλεκτρική

τάση μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής επιπλατινομένης επιφάνειας του κεραμικού. Η τάση αυτή είναι ανάλογη με την διαφορά της ποσότητας οξυγόνου μεταξύ των δύο πλευρών. Η κατ' αναλογία όμως ποσότητα οξυγόνου από την μέσα πλευρά του κεραμικού είναι πάντα σταθερή και ίση με την περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε οξυγόνο (περίπου 21%). Αντίθετα η ποσότητα του οξυγόνου από την έξω πλευρά του κεραμικού μεταβάλλεται πάντα ανάλογα με την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο, δηλαδή ανάλογα με την σύσταση του καιγόμενου μίγματος.

Μετά από αυτό καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αναπτυσσόμενη τάση μεταξύ των δύο επιπλατινομένων επιφανειών του κεραμικού υλικού αποτελεί ουσιαστικά μετρό αναγνώρισης της στοιχειομετρίας του μίγματος. Πράγματι η τάση που δημιουργείται στον αισθητήρα Lambda, όταν ο κινητήρας λειτουργεί με πλούσιο μίγμα ($\lambda < 1$), είναι της τάξης των 800 με 1000mV ενώ αντίθετα όταν το μίγμα είναι φτωχό ($\lambda > 1$) στον αισθητήρα αναπτύσσεται μια τάση το πολύ 100-200 mV. Από την μορφή της καμπύλης της τάσης του αισθητήρα, σε σχέση με την τιμή του λ (Εικόνα 35), προκύπτει ότι κατά την αλλαγή του μίγματος από πλούσιο σε φτωχό και αντιστρόφως, δημιουργείται μια απότομη μεταβολή της τάσης. Αυτή η ακραία μεταβολή αποτελεί και το ρυθμιστικό σήμα του αισθητήρα με βάση το οποίο η μονάδα ελέγχου προβαίνει στην ταχύτατη διόρθωση του μίγματος πλησίον της τιμής $\lambda=1$. Πρέπει να επισημάνουμε ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του κεραμικού υλικού εξαρτάται από την θερμοκρασία του.



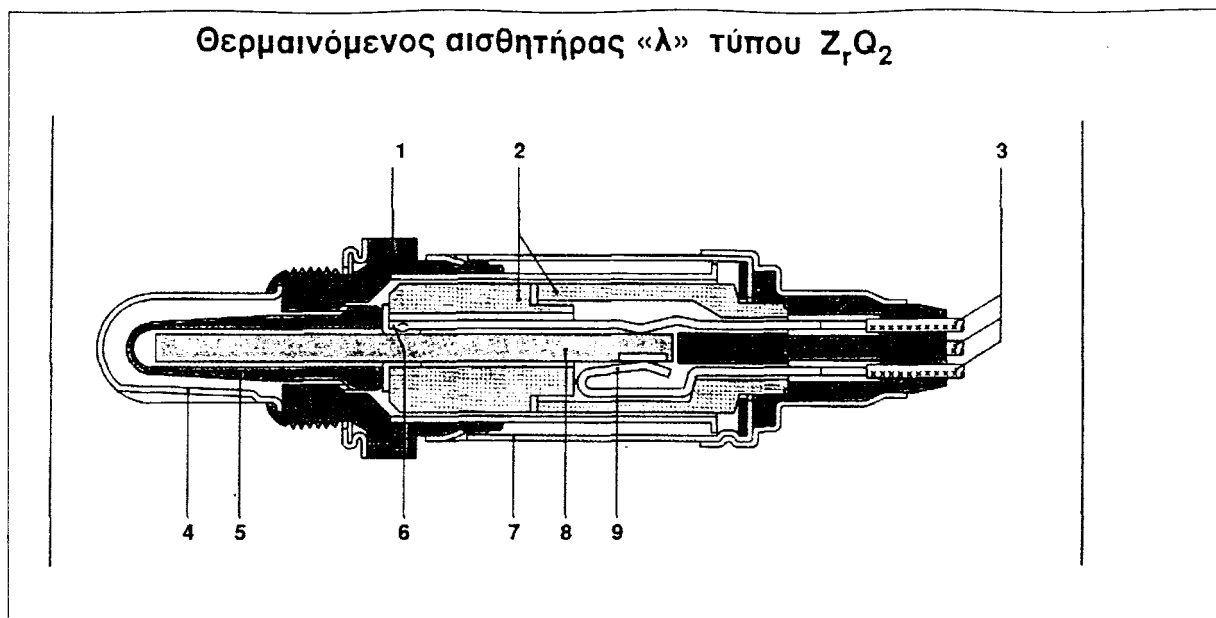
Εικόνα 35: Καμπύλη της τάσης του αισθητήρα Lambda σε σχέση με την στοιχειομετρία (λ) του μίγματος. (α. πλούσιο μίγμα, β. Φτωχό μίγμα) [107]

Ως εκ τούτου το τελικό σήμα της τάσης του αισθητήρα επηρεάζεται άμεσα από την

επικρατούσα θερμοκρασία. Είναι γνωστό ότι το ZrO_2 αρχίζει να γίνεται ηλεκτρικά αγώγιμο όταν η θερμοκρασία του ξεπεράσει τους $300^\circ C$, ενώ σε μια θερμοκρασία περίπου $600^\circ C$ η αγωγιμότητα του παίρνει την ιδανική τιμή επιτρέποντας την ελεύθερη ροή ιόντων οξυγόνου και εξασφαλίζοντας έτσι την πλήρη αξιοπιστία του σήματος του αισθητήρα.

Ένα άλλο μέγεθος που επηρεάζεται επίσης από την θερμοκρασία είναι και ο χρόνος που μεσολαβεί για την αλλαγή της τάσης του αισθητήρα σε κάθε μεταβολή της στοιχειομετρίας του μίγματος. Έχει υπολογιστεί ότι ο χρόνος απόκρισης του αισθητήρα σε μια γρήγορη μεταβολή του μίγματος είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων (πολύ μεγάλος), όταν η επικρατούσα θερμοκρασία είναι γύρω στους $300^\circ C$, ενώ όταν η θερμοκρασία πλησιάζει του $600^\circ C$ ο χρόνος αντίδρασης περιορίζεται σε λιγότερο από 50 χιλιοστά του δευτερολέπτου επιτρέποντας έτσι μια ταχύτατη διόρθωση του μίγματος στην τιμή $\lambda=1$.

Σε συνθήκες εκκίνησης ο αισθητήρας Lambda είναι εκτός λειτουργίας μέχρι να επιτευχθεί η ελάχιστη θερμοκρασία των $300^\circ C$ (Εικόνα 34). Για τον λόγο αυτό και προκειμένου να επισπευτεί η λειτουργία του αισθητήρα στο στάδιο της αρχικής εκκίνησης επινοήθηκε και κατασκευάστηκε ο θερμαινόμενος αισθητήρας Lambda (Εικόνα 36).



Εικόνα 36: Θερμαινόμενος αισθητήρας Lambda. [117]

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Κέλυφος που βιδώνει στην εξαγωγή | 6. Σώμα επαφών |
| 2. Κεραμικός προστατευτικός σωλήνας | 7. Εξωτερικό κάλυμμα |
| 3. Ηλεκτρικοί ακροδέκτες | 8. Θερμαντικό σώμα |
| 4. Προστατευτικός σωλήνας με εγκοπές | 9. Ακροδέκτες για το θερμαντικό σώμα |
| 5. Ενεργό κεραμικό υλικό | |

Η κατασκευή του θερμαινόμενου αισθητήρα λάμδα είναι όμοια με αυτήν του μη θερμαινόμενου. Η μοναδική διαφορά έγκειται στην ύπαρξη μιας εσωτερικής ηλεκτρικής αντίστασης η οποία θερμαίνει το ενεργό κεραμικό όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι πολύ χαμηλή (όπως συμβαίνει κατά την αρχική εκκίνηση και την άφορτη λειτουργία). Με αυτόν τον τρόπο το θερμικό όριο των 300°C επιτυγχάνεται μέσα σε 20 έως 30 το πολύ δευτερόλεπτα μετά την αρχική εκκίνηση, με αποτέλεσμα την αξιόπιστη λειτουργία του αισθητήρα ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες καυσαερίων. Επιπλέον η γρήγορη και ελεγχόμενη θέρμανση του κεραμικού εξασφαλίζει μια ελάχιστη ευαισθησία του αισθητήρα στις απότομες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις των καυσαερίων, επιτυγχάνει μικρούς χρόνους απόκρισης κατά την προθέρμανση του κινητήρα και συμβάλλει στον περαιτέρω περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ενεργά υλικά του αισθητήρα, πλατίνα και ζιρκόνιο, αδρανοποιούνται σε θερμοκρασίες πάνω των 930°C - 950°C , ενώ το εξωτερικό ηλεκτρόδιο (πλατίνας) καταστρέφεται από τις επικαθίσεις ενώσεων του μολύβδου. Το όριο ζωής ενός θερμαινόμενου αισθητήρα που είναι τοποθετημένος στην σωστή θέση εξαγωγής μπορεί να ξεπεράσει τα 100.000 Km, με την προϋπόθεση ότι ο κινητήρας χρησιμοποιεί

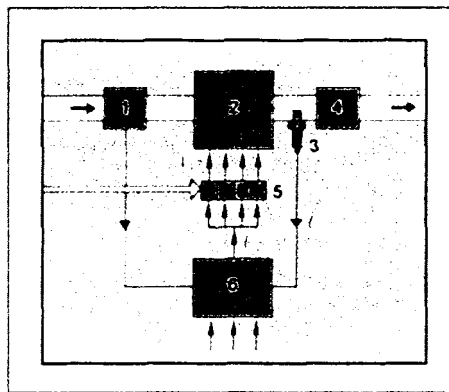
αμόλυβδη βενζίνη και οι μέγιστες θερμοκρασίες των καυσαερίων δεν ξεπερνούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα τους 850°-930°C.

Λειτουργία της ρύθμισης Lambda

Ο αισθητήρας "λάμδα" ανιχνεύοντας την ποσότητα του οξυγόνου στα καυσαέρια δίνει ένα σήμα υπό μορφή ηλεκτρικής τάσης στην κεντρική μονάδα ελέγχου (Εικόνα 37). Αυτή με τη σειρά της και ανάλογα με το ύψος του σήματος δημιουργεί την κατάλληλη ρυθμιστική εντολή προς την μονάδα παρασκευής μίγματος προκειμένου να αλλάξει η στοιχειομετρία του μίγματος. Ως μονάδα παρασκευής μίγματος χρησιμοποιείται μια εγκατάσταση έγχυσης ή ακόμη και ένα ηλεκτρονικό καρμπυρατέρ. Για την ρυθμιστική μεταβολή του μίγματος από πλούσιο σε φτωχό και αντίστροφα υπάρχει προγραμματισμένη μέσα στην μονάδα ελέγχου μια οριακή τάση αναγνώρισης που κυμαίνεται στα 500mV περίπου.

Αν το σήμα τάσης του αισθητήρα είναι κάτω από τα 500mV σημαίνει ότι το μίγμα είναι φτωχό ($\lambda > 1$) και ως εκ τούτου η μονάδα ελέγχου προβαίνει στον απαραίτητο εμπλουτισμό.

Αν αντίθετα η τάση του αισθητήρα ξεπεράσει τα 500mV τότε σημαίνει ότι, το μίγμα είναι πλούσιο ($\lambda < 1$) και πρέπει να απεμπλουτισθεί.



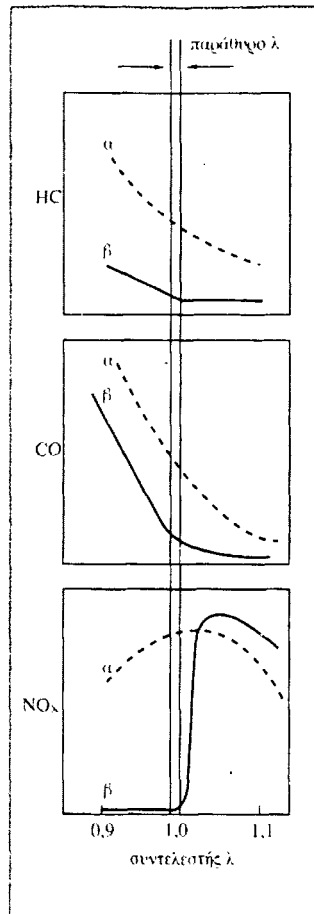
Εικόνα 37: Διάγραμμα ρύθμισης Lambda [107]

1. Μετρητής ποσότητας αέρα 2. Κινητήρας, 3. Αισθητήρας Lambda, 4. Καταλύτης, 5. Βαλβίδες έγχυσης, 6. Κύκλωμα ρύθμισης Lambda στην μονάδα ελέγχου
- Uv Ρυθμιστική τάση βαλβίδας έγχυσης Us Τάση αισθητήρα VE Εκτοξευμένη ποσότητα καυσίμου.

Η μεταβολή του μίγματος ως προς την αναλογία αέρα-καυσίμου δεν πρέπει να γίνεται απότομα επειδή τότε ο κινητήρας παρουσιάζει μια τάση να λειτουργεί με διακοπές. Για την

αποφυγή μιας τέτοιας δυσάρεστης λειτουργίας, η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου διαθέτει ένα σύστημα ομαλοποίησης της μεταβολής.

Το σύστημα αυτό μέσω μιας συνάρτησης χρόνου κάνει προοδευτικά την αλλαγή της σύστασης του μίγματος. Από την στιγμή που σχηματίζεται το νέο μίγμα στον αγωγό αναρρόφησης μέχρι την στιγμή που η μονάδα ελέγχου θα πάρει το σήμα του αισθητήρα λάμδα (αναφορικά με την σύσταση του καιγόμενου μίγματος) μεσολαβεί ένα νεκρό χρονικό διάστημα. Ο χρόνος αυτός καταναλώνεται για την είσοδο του μίγματος στον κινητήρα, την καύση του, την μεταφορά των καυσαερίων μέχρι τον αισθητήρα και τον χρόνο απόκρισης του αισθητήρα. Η διάρκεια του νεκρού χρόνου, όπως είναι φυσικό, εξαρτάται από το φορτίο του κινητήρα, τις στροφές και την θερμοκρασία του κεραμικού υλικού του αισθητήρα.



Εικόνα 38: Αποτελεσματικότητα της καταλυτικής επεξεργασίας των καυσαερίων με ρύθμιση λάμδα. [107]

HC Υδρογονάνθρακες

CO Μονοξείδιο του άνθρακα,

NO_x Οξείδια του αζώτου.

Ιδανική περιοχή ρύθμισης του μείγματος: $\lambda=0,99-1,0$.

Ποσοστό βλαβερών ουσιών.

α) Χωρίς επεξεργασία, β) Με επεξεργασία.

Η ύπαρξη του νεκρού χρόνου οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατόν να διατηρηθεί μια σταθερή στοιχειομετρία ακριβώς στην τιμή $\lambda=1$. Παρόλα αυτά, ο συνεχής επαναπροσδιορισμός της στοιχειομετρίας μέσω του ρυθμιστικού κυκλώματος λάμδα, επιτρέπει την διατήρηση της σχέσης αέρα-καυσίμου σε πολύ στενά πλαίσια γύρω από την τιμή $\lambda=1$.

Τα στενά αυτά πλαίσια οριοθετούν το " παράθυρο λ ", μέσα στο οποίο ο καταλύτης επιτυγχάνει τον μέγιστο βαθμό απόδοσης (Εικόνες 31,38). Η αναγκαιότητα υψηλής ακρίβειας στην ελεγχόμενη ρύθμιση του μίγματος φαίνεται με την μεγάλη αύξηση του βλαβερού

μονοξειδίου του άνθρακα (CO) λίγο κάτω από $\lambda=1,0$ καθώς και με την απότομη αύξηση των επίσης βλαβερών οξειδίων του αζώτου (NO_x) λίγο πάνω από $\lambda=1,0$.

3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

3.3.1. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

Οι διαφορετικές απαιτήσεις που έχουμε από τον κινητήρα σε κάθε φάση λειτουργίας, καθώς επίσης και οι διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των κυλίνδρων κατά τις διάφορες αυτές φάσεις, υπαγορεύουν μία ανάλογη προσαρμογή της αναλογίας αέρα / καυσίμου. Έτσι για συνθήκες μερικής φόρτισης είναι απαραίτητη μια επιπλέον ποσότητα αέρα (περίσσεια αέρος). Ενώ για συνθήκες πλήρους φορτίου επιτάχυνσης ή αρχικής ψυχρής εκκίνησης είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός μίγματος στο οποίο ο αέρας συμμετέχει με μικρότερο ποσοστό απ' ό,τι ορίζει η στοιχειομετρική αναλογία (πλούσιο μίγμα). Η αναγκαιότητα της περίσσειας του αέρα γίνεται αντιληπτή αν λάβουμε υπ' όψιν τον ελάχιστο χρόνο που διαρκεί η καύση (περίπου 1/1000 sec), μέσα στον οποίο είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη η ένωση όλης της ποσότητας του καυσίμου με το υπάρχον οξυγόνο.

Επομένως μια μεγαλύτερη ποσότητα αέρος πέραν της στοιχειομετρικής, βοηθάει το διασκορπισμένο σε απειροελάχιστα μικρά σταγονίδια καύσιμο (της τάξης του εκατομμυριοστού), να βρει πιο γρήγορα το απαραίτητο οξυγόνο προκειμένου να καεί μέσα στα στενά χρονικά πλαίσια που οριοθετούν την φάση της καύσης. Η περίσσεια επομένως του αέρα στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα εξασφαλίζει την ομαλή και τέλεια καύση, ενώ συγχρόνως ελαχιστοποιεί τους εκπεμπόμενους ρύπους και την ειδική κατανάλωση, καθιστώντας τον κινητήρα καθαρό και οικονομικό. Η ελαχιστοποίηση όμως της ειδικής κατανάλωσης γίνεται πάντα σε βάρος της αποδιδόμενης ισχύος του κινητήρα και κατά συνέπεια ένα μίγμα με μεγάλη περίσσεια αέρος είναι ικανό να αντεπεξέλθει μόνο σε συνθήκες μερικής φόρτισης κατά τις οποίες δεν επιζητούμε τη μέγιστη απόδοση του κινητήρα. Αν λάβουμε όμως υπ' όψιν ότι οι κινητήρες λειτουργούν το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα υπό μερικό φορτίο, αντιλαμβανόμαστε τη σημασία της περίσσειας του αέρα η οποία όμως δε μπορεί να υπερβεί ένα ανώτατο όριο, πέραν του οποίου δημιουργούνται προβλήματα στην ανάφλεξη του μίγματος. Έτσι οι σύγχρονοι κινητήρες Otto για συνθήκες πάντα μερικής φόρτισης απαιτούν για 1 kg καυσίμου (βενζίνης) 15,5-18,9 Kg αέρα. Αυτό σημαίνει ότι για την καύση 1 lit βενζίνης απαιτούνται τουλάχιστον 10.000 lit αέρος.

Αντίθετα για τις συνθήκες που ο κινητήρας λειτουργεί με πλήρες φορτίο είναι απαραίτητο ένα πλούσιο σε καύσιμο μίγμα, το οποίο καθιστά τον κινητήρα ικανό να αποδώσει την μέγιστη ισχύ του. Επιπλέον ένα πλούσιο μίγμα είναι αναγκαίο στην φάση της επιτάχυνσης κατά την οποία ο κινητήρας πρέπει να υπερνικήσει τις δυνάμεις αδράνειας των περιστρεφόμενων μερών, που αναπτύσσονται κατά την μετάβαση του κινητήρα από μία φάση λειτουργίας σε μια άλλη πιο γρήγορη. Τέλος η υπερνίκηση των τριβών και η αντιμετώπιση του φαινομένου της υγροποίησης του καυσίμου που παρατηρούνται κατά την αρχική ψυχρή εκκίνηση και την θερμή λειτουργία του κινητήρα υπαγορεύουν πάλι την ανάγκη ενός πλούσιου μίγματος.

3.3.2.ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (Lambda) λ

Προκειμένου να μπορούμε, σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα και σε κάθε χρονική στιγμή, να προσδιορίζουμε την αναλογία αέρα-βενζίνης στο μίγμα και να ελέγχουμε την απόκλιση της από την θεωρητική τιμή (14,7:1), καθιερώθηκε ένας στοιχειομετρικός συντελεστής.

Αυτός διεθνώς φέρει την ελληνική ονομασία (Lambda) λ και ορίζεται ως εξής.

λ= Αναρροφούμενη μάζα αέρος /Απαιτούμενη μάζα αέρος για στοιχειομετρική καύση

Διερεύνηση των τιμών του λ.

Για λ=1: Η αναρροφούμενη μάζα του αέρα είναι ίση με την απαιτούμενη για τη σύσταση της στοιχειομετρικής αναλογίας. Επομένως για $\lambda = 1$ η αναλογία μάζας αέρος/ βενζίνης είναι 14,7:1

Για λ<1: Η αναρροφούμενη μάζα του αέρα είναι μικρότερη από την στοιχειομετρικά απαιτούμενη, κατά συνέπεια η αναλογούσα ποσότητα καυσίμου είναι μεγαλύτερη και το μίγμα ονομάζεται πλούσιο.

Για λ>1: Η αναρροφούμενη ποσότητα του αέρα είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη στοιχειομετρικά. Το συγκεκριμένο μίγμα χαρακτηρίζεται από μία περίσσεια αέρος και ονομάζεται φτωχό.

Οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα αφ' ενός μεν απαιτούν την ποσοτική προσαρμογή του μίγματος, αφ' ετέρου δε διαμορφώνουν ανάλογα και τις συνθήκες καύσης. Οι διαφορετικές συνθήκες καύσης στις διάφορες φάσεις λειτουργίας του κινητήρα υπαγορεύουν την ανάγκη ενός συνεχούς επαναπροσδιορισμού της ποιοτικής σύστασης του

μίγματος. Κατά συνέπεια η τιμή του στοιχειομετρικού συντελεστή $\lambda=1$ δεν είναι η πλέον κατάλληλη για όλα τα πεδία λειτουργίας του κινητήρα. (Σημείωση: Αναφερόμαστε πάντα σε συμβατικό μη καταλυτικό κινητήρα)

Μια επιπλέον διερεύνηση της τιμής του λ που έχει στηριχθεί σε πειραματικά δεδομένα οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Για $0,85 < \lambda < 0,95$: Επιτυγχάνεται η απόδοση της μέγιστης ισχύος του κινητήρα. Πρόκειται για ένα πλούσιο μίγμα στο οποίο έχουμε έλλειψη αέρα 5%-15%. Με ένα τέτοιο μίγμα τα ποσοστά των εκπεμπόμενων ρύπων είναι αρκετά υψηλά.

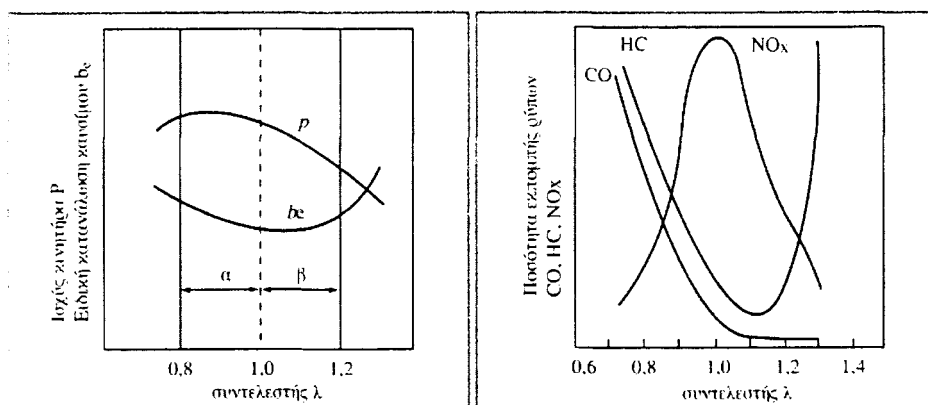
Για $1,1 < \lambda < 1,3$: Έχουμε την ελάχιστη ειδική κατανάλωση αλλά συγχρόνως και πολύ μικρή αποδιδόμενη ισχύ. Είναι ένα φτωχό μίγμα με περίσσεια αέρος 10%-20% το οποίο ελαχιστοποιεί τους εκπεμπόμενους ρύπους.

Για $\lambda=1$: Στοιχειομετρική αναλογία. Μίγμα κατάλληλο για άψογο ρελαντί και για κινητήρα εφοδιασμένο με τριοδικό ρυθμιζόμενο καταλύτη.

Για $0,75 < \lambda < 0,85$: Πολύ πλούσιο μίγμα ικανό να βοηθήσει την άμεση μετάβαση του κινητήρα από μια φάση λειτουργίας σε μια άλλη πιο γρήγορη (επιτάχυνση)

Για $\lambda > 1,3$: Πολύ φτωχό μίγμα. Μεγάλη περίσσεια αέρος. Ένα τέτοιο μίγμα παρουσιάζει αδυναμίες ανάφλεξης.

Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε, αν λάβουμε υπ' όψιν όλα τα παραπάνω, είναι ότι δεν υπάρχει ιδανική τιμή του λ , ενιαία για όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. (Εικόνα 39)



Εικόνα 39: Καμπύλες ειδικής κατανάλωσης (be), ισχύος (p) (αριστερά), και εκπεμπόμενων ρύπων (δεξιά) σε σχέση με την στοιχειομετρία του μίγματος.[113]

Μια τιμή μεταξύ του 0,9 και 1,1 αποδείχθηκε στην πράξη σαν η καλύτερη για ένα

ευρύ φάσμα λειτουργίας του κινητήρα. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι όταν ο κινητήρας είναι εφοδιασμένος με τριοδικό ρυθμιζόμενο καταλύτη τότε είναι απαραίτητη η διατήρηση της στοιχειομετρίας του μίγματος πολύ πλησίον της τιμής $\lambda=1$. Αυτό είναι αναγκαίο επειδή μια απόκλιση από την τιμή $\lambda=1$ (μεγαλύτερη από 1%) επιδρά αρνητικά στην απόδοση του καταλύτη.

3.3.3.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

Ο σκοπός αυτών των συστημάτων είναι η τροφοδοσία του κινητήρα την κατάλληλη στιγμή με το πλέον κατάλληλο μίγμα ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του.

Οι βασικές απαιτήσεις από ένα τέτοιο σύστημα είναι:

- Η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου
- Η ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων.
- Η δυνατότητα αύξησης της απόδοσης του κινητήρα σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του. Ο βαθμός εκπλήρωσης των παραπάνω απαιτήσεων αποτελεί και το κριτήριο αξιολόγησης των συστημάτων προετοιμασίας και τροφοδοσίας μίγματος.

Μια βασική διάκριση μεταξύ των συστημάτων γίνεται ανάλογα με τον τρόπο που αυτά επιτυγχάνουν την ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα.

Έτσι στα καρμπυρατέρ, το καύσιμο αναρροφάται από τον αέρα λόγω υποπίεσης στον σωλήνα εισαγωγής, ενώ στα συστήματα έγχυσης το καύσιμο εκτοξεύεται μέσα στον αέρα σε ελεγχόμενες ποσότητες. Κατά συνέπεια στα καρμπυρατέρ δεν υπάρχει καμιά ακριβής μέτρηση της ποσότητας του καυσίμου ή του αέρα. Η ποσότητα του αναρροφούμενου καυσίμου εξαρτάται από το κενό εισαγωγής ενώ η αναλογία αέρα-καυσίμου είναι σταθερή.

Αντίθετα τα συστήματα έγχυσης, αξιολογώντας όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και λαμβάνοντας υπ' όψη τις απαιτήσεις για χαμηλή εκπομπή ρύπων παρέχουν την δυνατότητα μέτρησης του καυσίμου με μεγάλη ακρίβεια, ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα.

3.3.4.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΓΧΥΣΗΣ

Η δυνατότητα αξιοποίησης των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα με σκοπό την σύσταση, την προσαρμογή και την τροφοδοσία του κινητήρα με το κατάλληλο κάθε φορά μίγμα, παρέχει στα συστήματα έγχυσης μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καρμπυρατέρ, ενισχύοντας έτσι την τάση για μεγαλύτερη χρήση αυτών των

συστημάτων.

Σαν βασικά πλεονεκτήματα μπορούμε ενδεικτικά να αναφέρουμε:

- Την μικρότερη κατανάλωση καυσίμου
- Την αύξηση της ισχύος
- Την ελάττωση των εκπεμπόμενων ρύπων.
- Την άμεση απόκριση του κινητήρα στην επιτάχυνση.
- Την δημιουργία καλύτερων συνθηκών ψυχρής εκκίνησης και θερμής λειτουργίας.

- **Μικρότερη κατανάλωση καυσίμου**

Η αναγνώριση και αξιοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα (στροφές, φορτίο, θερμοκρασία κ.λ.π.) επιτρέπουν μια ακριβή προσαρμογή του μίγματος στις συνθήκες λειτουργίας. Έτσι κάθε φορά προσμετράται τόση ποσότητα καυσίμου όση ακριβώς είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των συνθηκών λειτουργίας της δεδομένης στιγμής. Επομένως δεν γίνεται άσκοπη κατανάλωση καυσίμου.

- **Ελάττωση των εκπεμπόμενων ρύπων**

Το ποσοστό των ρύπων στα καυσαέρια εξαρτάται από την ποιότητα καύσης η οποία έχει άμεση σχέση με την σύσταση του μίγματος. Η διατήρηση της σύστασης του μίγματος στα πλαίσια της στοιχειομετρίας ελαχιστοποιεί τις εκπομπές των ρύπων, ενώ συγχρόνως καθιστά τον κινητήρα συμβατό με τους τριοδικούς καταλύτες. Τα συστήματα έγχυσης με τις ακριβείς μετρήσεις που πραγματοποιούν στο καύσιμο και στον αέρα, εξασφαλίζουν τον συνεχή έλεγχο της στοιχειομετρίας, διαμορφώνοντάς την ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

- **Αύξηση της ισχύος**

Η σωστή διαμόρφωση των διόδων εισαγωγής και εξαγωγής καθώς επίσης και η εκτίναξη του καυσίμου μέσα στον αέρα, δημιουργούν συνθήκες καλύτερης πλήρωσης των κυλίνδρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας μεγαλύτερης και ομαλότερα κατανεμημένης ροπής, καθώς επίσης και την αύξηση της ειδικής ισχύος του κινητήρα.

- **Άμεση απόκριση του κινητήρα κατά τις επιταχύνσεις**

Η καθυστέρηση απόκρισης του κινητήρα στο ξαφνικό άνοιγμα του εκτονωτικού κλαπέ τη στιγμή της επιτάχυνσης, οφείλεται στον αργό εμπλουτισμό του μίγματος ο οποίος

δυσχεραίνει τις συνθήκες μετάβασης του κινητήρα σε έναν πιο γρήγορο ρυθμό περιστροφής. Στα συστήματα έγχυσης αυτός ο εμπλουτισμός είναι άμεσος και επιτυγχάνεται είτε με τον ψεκασμό του καυσίμου κατευθείαν στο τέλος του αυλού εισαγωγής πριν από τις βαλβίδες, όταν πρόκειται για σύστημα έγχυσης πολλαπλών σημείων, είτε με την αναγνώριση της μεταβολής της γωνίας του εκτονωτικού κλαπέ και την σύγχρονη απόκριση της βαλβίδας ψεκασμού, όταν πρόκειται για κεντρικό ψεκασμό.

- **Γρήγορη ψυχρή εκκίνηση**

Οι δύσκολες συνθήκες δημιουργίας κατάλληλου μίγματος στην φάση της ψυχρής εκκίνησης δεν αποτελούν πρόβλημα για τα συστήματα έγχυσης. Αντιμετωπίζονται με την ακριβή μέτρηση του καυσίμου βάσει της θερμοκρασίας του κινητήρα και του αριθμού στροφών εκκίνησης. Έτσι επιτυγχάνεται μια γρήγορη ψυχρή εκκίνηση καθώς επίσης και μια γρήγορη σταθεροποίηση των στροφών του κινητήρα στο ρελαντί.

3.3.5.ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΓΧΥΣΗΣ

- **Μηχανικά συστήματα έγχυσης**

Η μέτρηση του καυσίμου γίνεται με μηχανικό τρόπο. Το καύσιμο ψεκάζεται από τους εγχυτήρες οι οποίοι ανοίγουν ανάλογα με την επικρατούσα πίεση στην γραμμή διανομής καυσίμου. Όλη η διαδικασία προσαρμογής του μίγματος γίνεται με μηχανισμούς από τους οποίους απαιτείται ένας τέλειος συνδυασμός κατά την λειτουργία τους προκειμένου να πετύχουν ακριβείς μετρήσεις. Από τα μηχανικά συστήματα έγχυσης εκείνο που εξελίχθηκε και εφαρμόζεται περισσότερο είναι το K-Jetronic της BOSCH

- **Ηλεκτρονικά συστήματα έγχυσης**

Σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα, εδώ ο υπολογισμός του καυσίμου γίνεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου με βάση τις πληροφορίες που συλλέγονται σ' αυτήν, σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν τη θερμοκρασία του κινητήρα, τη θερμοκρασία του αέρα, τις στροφές του κινητήρα, την βαρομετρική πίεση, την γωνία ανοίγματος του εκτονωτικού κλαπέ καθώς επίσης και το ποσοστό των ρύπων στα καυσαέρια. Επίσης οι εγχυτήρες καυσίμου(μπεκ), δεν ανοίγουν με βάση την πίεση στον αγωγό διανομής αλλά με βάση τους παλμούς ανάφλεξης εξασφαλίζοντας έτσι μια διακοπτόμενη έγχυση.

Τέτοια συστήματα είναι το L-Jetronic, το LH-Jetronic και το Mono-Jetronic. Ένας

συνδυασμός της ηλεκτρονικής έγχυσης με την ηλεκτρονική ανάφλεξη παρέχει επιπλέον δυνατότητες στο σύστημα. Η επιφόρτιση της μονάδας ελέγχου ψεκασμού με τον χρονισμό της ανάφλεξης βελτιώνει τις συνθήκες καύσης, προσαρμόζοντας τους χρόνους ανάφλεξης στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Το Motronic της Bosch αποτελεί παράδειγμα συνδυαστικού συστήματος ανάφλεξης και έγχυσης.

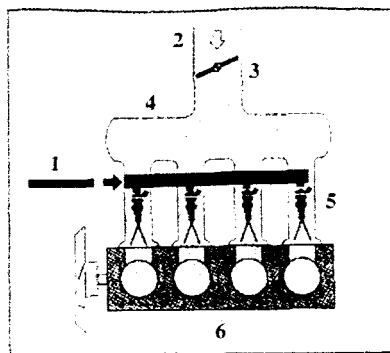
- **Συνδυασμός μηχανικού και ηλεκτρονικού συστήματος έγχυσης**

Ένα τέτοιο σύστημα είναι το KE-Jetronic της Bosch το οποίο στηρίζεται στο μηχανικό K-Jetronic. Επιπλέον όμως διαθέτει ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου η οποία συλλέγει και επεξεργάζεται ένα πλήθος δεδομένων, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα ελέγχου της ποσότητας έγχυσης σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, με μεγάλη ακρίβεια.

- **Συστήματα μονού και πολλαπλού ψεκασμού**

Ανάλογα με τη διαδικασία εκτόξευσης του καυσίμου μέσα στη ροή του αέρα, τα συστήματα έγχυσης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές χαρακτηρίζουν τα συστήματα σύμφωνα με το πλήθος και την θέση των βαλβίδων έγχυσης. Έτσι διακρίνουμε τα συστήματα πολλαπλού ψεκασμού ή ψεκασμού πολλών σημείων και τα συστήματα μονού ή κεντρικού ψεκασμού.

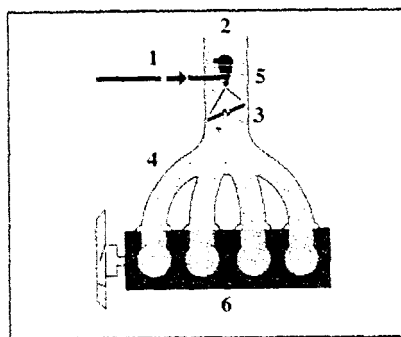
Με τον ψεκασμό πολλών σημείων η έγχυση καυσίμου πραγματοποιείται σε κάθε κύλινδρο χωριστά. Για τον σκοπό αυτό σε κάθε κύλινδρο του κινητήρα αντιστοιχεί ένας εγχυτήρας (μπεκ), ο οποίος εκτοξεύει το καύσιμο μπροστά στους χώρους των βαλβίδων εισαγωγής επιτυγχάνοντας έτσι μια έμμεση έγχυση. Στην περίπτωση αυτή η λειτουργία των εγχυτήρων μπορεί να είναι συνεχής, οπότε το σύστημα ονομάζεται συνεχούς έγχυσης και χαρακτηρίζεται με το γράμμα K, ή να είναι διακοπτόμενη με απόλυτα ευθυγραμμισμένους τους παλμούς έγχυσης πάνω στους παλμούς της ανάφλεξης, οπότε το σύστημα ονομάζεται διακοπτόμενης έγχυσης.



Εικόνα 40: Απλοποιημένη διάταξη ενός συστήματος πολλαπλής έγχυσης καυσίμου. [107]

1. Γραμμή μεταφοράς καυσίμου, 2. Αναρρόφηση αέρα, 3. Πεταλούδα επιταχυντή,
4. Πολλαπλή εισαγωγής, 5. Εγχυτήρες (Μπεκ), 6. Κινητήρας

Συστήματα συνεχούς έγχυσης πολλών σημείων είναι το K και KE-Jetronic, ενώ αντίστοιχα το L, και LE-Jetronic αποτελούν παραδείγματα συστημάτων διακοπτόμενης έγχυσης πολλών σημείων (Εικόνα 40). Σε αντίθεση με τον ψεκασμό πολλών σημείων στον μονό ή κεντρικό ψεκασμό, η εκτόξευση του καυσίμου γίνεται από έναν κεντρικό εγχυτήρα στον χώρο της πολλαπλής εισαγωγής, ακριβώς πριν από την πεταλούδα του επιταχυντή. Το Mono-Jetronic το οποίο αναπτύχθηκε από την Bosch, αποτελεί παράδειγμα ηλεκτρονικού συστήματος έγχυσης μονού σημείου (Εικόνα 41).



Εικόνα 41: Απλοποιημένη διάταξη συστήματος μονού ψεκασμού [107]

1. Προσαγωγή καυσίμου, 2. Αναρρόφηση αέρα, 3. Πεταλούδα επιταχυντή, 4. Πολλαπλή εισαγωγής, 5. Εγχυτήρας (Μπεκ), 6. Κινητήρας

Αν επιχειρούσαμε μία σύγκριση μεταξύ των συστημάτων πολλαπλού και μονού ψεκασμού, θα λέγαμε ότι ο κεντρικός ψεκασμός δίνει τη δυνατότητα ενός ακριβέστερου ελέγχου της στοιχειομετρίας, ενώ ο πολλαπλός ψεκασμός εξασφαλίζει τον καλύτερο εμπλουτισμό του μίγματος χωριστά σε κάθε κύλινδρο. Και στην μία και στη άλλη όμως περίπτωση εκείνο το οποίο επιτυγχάνεται είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, η ικανοποιητική ισχύς και η χαμηλή εκπομπή ρύπων. Οι ανωτέρω παράγοντες βελτιστοποιούν

την απόδοση του κινητήρα και σε συνδυασμό με την χρήση αμόλυβδης βενζίνης τον καθιστούν συμβατό με τους τριοδικούς ρυθμιζόμενους καταλύτες.

3.3.6. ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΈΓΧΥΣΗΣ

3.3.6.1. K-Jetronic

Το K-Jetronic είναι ένα μηχανικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού, το οποίο αναπτύχθηκε από τη Bosch. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι ο συνεχής επαναπροσδιορισμός του μίγματος αέρα-καύσιμου σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα. Το σύστημα είναι συνεχούς έγχυσης και αυτό σημαίνει ότι ψεκασμός του καύσιμου από τα μπεκ γίνεται συνεχώς και ανεξάρτητα από τη θέση των βαλβίδων εισαγωγής του κάθε κυλίνδρου. Όταν οι βαλβίδες εισαγωγής είναι κλειστές, τα μπεκ συνεχίζουν να ψεκάζουν και το καύσιμο προαποθηκεύεται σε χώρο της πολλαπλής εισαγωγής κοντά στις έδρες των βαλβίδων.

3.3.6.2. KE-Jetronic

Το KE -Jetronic είναι ένα σύστημα ψεκασμού το οποίο βασίζεται στο K-Jetronic απ' όπου δανείζεται και το μηχανοϋδραυλικό του μέρος.

Το γράμμα K χαρακτηρίζει τη συνέχεια της έγχυσης και το E χαρακτηρίζει τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του συστήματος. Το σύστημα αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε από την BOSCH όπως και το K - Jetronic. Ο σκοπός του είναι να μετράει την ποσότητα του καυσίμου συναρτήσει της ποσότητας του αναρροφούμενου αέρα και στη συνέχεια να τροφοδοτεί τον κινητήρα με το κατάλληλο μίγμα, ανάλογα με τις απαιτήσεις λειτουργίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τον διαρκή επαναπροσδιορισμό της αναλογίας αέρα-καυσίμου σε ολόκληρο το εύρος του πεδίου στροφών και φορτίου.

Εκπληρώνοντας τους παραπάνω σκοπούς, επιτυγχάνει σε ικανοποιητικό βαθμό τις τρεις επιμέρους βασικές επιδιώξεις που χαρακτηρίζουν ένα σωστό σύστημα προετοιμασίας και τροφοδοσίας μίγματος.

Αυτές είναι: α) η Οικονομία, β) η καλή απόδοση της μηχανής και γ) η ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων.

Για την ελαχιστοποίηση των ρύπων στα καυσαέρια χρησιμοποιείται ο αισθητήρας Lambda στην πολλαπλή εξαγωγής, ο οποίος ελέγχει τη σύσταση των καυσαερίων και ανάλογα πληροφορεί τη μονάδα ελέγχου, εξασφαλίζοντας έτσι τον έλεγχο της

στοιχειομετρίας του μίγματος και καθιστώντας τον κινητήρα συμβατό με τριοδικό ρυθμιζόμενο καταλύτη. Το σύστημα είναι συνεχούς έγχυσης που σημαίνει ότι η ψεκαζόμενη ποσότητα εξαρτάται άμεσα από την πίεση του καυσίμου στους εγχυτήρες, οι οποίοι λειτουργούν μηχανικά δίχως ηλεκτρονική παρέμβαση (μπεκ μηχανικά και όχι ηλεκτρονικά). Επίσης το KE-Jetronic είναι ένα σύστημα ψεκασμού πολλών σημείων. Δηλαδή η έγχυση του καυσίμου γίνεται σε κάθε κύλινδρο χωριστά. Κατά συνέπεια ο κάθε κύλινδρος είναι εφοδιασμένος με ένα μηχανικό μπεκ, το οποίο ψεκάζει το καύσιμο στο σώμα της βαλβίδας εισαγωγής. Υπάρχει και ένα πρόσθετο μπεκ ψεκασμού το οποίο ενεργοποιείται από το ηλεκτρικό ηλεκτρονικό σύστημα και επομένως είναι ηλεκτρομαγνητικό και όχι μηχανικό. Η ενεργοποίηση του γίνεται από την κεντρική ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου και ψεκάζει μόνο κατά την αρχική ψυχρή εκκίνηση, γι' αυτό ονομάζεται "ψυχρό μπεκ". Αυτό είναι ενιαίο για την τροφοδοσία όλων των κυλίνδρων γι' αυτό και ψεκάζει το καύσιμο σε κεντρικό σημείο της πολλαπλής εισαγωγής, λίγο μετά από την πεταλούδα του γκαζιού προς τη μεριά των κυλίνδρων.

3.3.6.3. Mono-Jetronic

Η αναζήτηση συστημάτων ελέγχου της λειτουργίας του κινητήρα, στα πλαίσια ενός συνεχούς οικονομικού ανταγωνισμού και με βάση πάντα τα διεθνή πρότυπα για μια αντιρρυπαντική τεχνολογία, οδήγησε τις διάφορες κατασκευάστριες εταιρίες στη σχεδίαση και ανάπτυξη οικονομικότερων λύσεων, οι οποίες συγχρόνως ικανοποιούν και τις απαιτήσεις για ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων.

Μια τέτοια-οικονομικότερη κατασκευαστικά-λύση φαίνεται ότι αποτελεί και ο μονός ή κεντρικός ψεκασμός του καυσίμου σε σχέση με τον ψεκασμό πολλών σημείων. Στα πλαίσια αυτά η Bosch ανέπτυξε το δικό της ανάλογο σύστημα μονού ψεκασμού το οποίο ονομάζεται Mono-Jetronic.

Το Mono-Jetronic είναι ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα εφοδιασμένο και με μονάδα αυτοδιάγνωσης βλαβών. Βασικό τμήμα του συστήματος είναι η κεντρική μονάδα έγχυσης με την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα η οποία σε καθορισμένους χρόνους ψεκάζει το καύσιμο πάνω από την πεταλούδα του επιταχυντή. Οι χρόνοι ψεκασμού της βαλβίδας προσδιορίζονται από την ηλεκτρική μονάδα ελέγχου και ευθυγραμμίζονται με τους παλμούς της ανάφλεξης.

Το σύστημα είναι χαμηλής πίεσης και η διανομή του μίγματος στους κυλίνδρους γίνεται μέσω της πολλαπλής εισαγωγής. Διάφοροι αισθητήρες μεταφέρουν όλα τα σημαντικά μεγέθη για την λειτουργία του κινητήρα προς την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Αυτή, με

βάση τις πληροφορίες των αισθητήρων μεταβιβάζει ρυθμιστικά σήματα (εντολές) στην βαλβίδα έγχυσης καυσίμου, στον ρυθμιστή θέσης της πεταλούδας του επιταχυντή και στην βαλβίδα δύο δρόμων, μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά και καύση των αναθυμιάσεων του καυσίμου από το ρεζερβουάρ.

Προκειμένου να ελαττωθεί η εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων προς το περιβάλλον έχουν θεσπιστεί διάφορες νομικές οδηγίες βάσει των οποίων απαγορεύεται, σε ορισμένες τουλάχιστον χώρες, να οδηγηθούν στην ατμόσφαιρα οι ατμοί καυσίμου που δημιουργούνται μέσα στο ρεζερβουάρ εξ' αιτίας των αναταράξεων και της εξάτμισης.

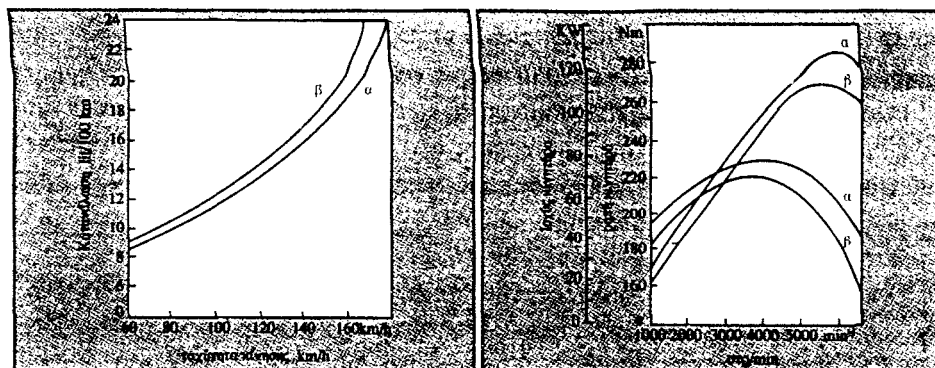
Για τον σκοπό αυτό το Mono-Jetronic είναι εφοδιασμένο με ένα σύστημα το οποίο οδηγεί τους ατμούς καυσίμου από το ρεζερβουάρ προς τους θαλάμους καύσης. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα δοχείο ενεργού άνθρακα στο οποίο συλλέγονται οι ατμοί καυσίμου και μία ρυθμιστική βαλβίδα χρονισμού, μέσω της οποίας το ατμοποιημένο καύσιμο του γκαζιού.

3.3.6.4. L-Jetronic

Το L-Jetronic είναι ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα έγχυσης καυσίμου, το οποίο αναπτύχθηκε από την BOSCH και αποτελεί την εξέλιξη του παλαιότερου D-Jetronic. Εδώ ο κατασκευαστής εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από την απ' ευθείας μέτρηση του αναρροφούμενου αέρα, συνδυάζοντας τα με τις ιδιαίτερες δυνατότητες που παρέχει η εξέλιξη της ηλεκτρονικής σε θέματα ημιαγωγών και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Η αρχή έγχυσης του συστήματος συνίσταται στην απ' ευθείας μέτρηση σε κάθε λειτουργούντα κύλινδρο τόσης ποσότητας καυσίμου όση ακριβώς χρειάζεται τη δεδομένη στιγμή λειτουργίας. Για τον σκοπό αυτό το σύστημα είναι εφοδιασμένο με μια βαλβίδα έγχυσης σε κάθε κύλινδρο γι' αυτό και χαρακτηρίζεται ως σύστημα έγχυσης πολλών σημείων. Οι βαλβίδες έγχυσης είναι ηλεκτρομαγνητικές και η χρονική στιγμή ενεργοποίησης τους καθορίζεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου με βάση τους κατάλληλα διαμορφωμένους παλμούς της ανάφλεξης. Για τη μείωση του χρόνου αδράνειας κατά την ενεργοποίηση των βαλβίδων (χρόνος ανοίγματος /κλεισίματος), αυτές συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα και την στιγμή της έγχυσης ενεργοποιούνται συγχρόνως όλες μαζί, ανεξάρτητα από το χρονικό σημείο λειτουργίας του κάθε κυλίνδρου, δηλαδή ανεξάρτητα από τη θέση των βαλβίδων εισαγωγής. Ο ψεκασμός του καυσίμου γίνεται στους αγωγούς εισαγωγής των κυλίνδρων σε σημείο μπροστά από τις βαλβίδες εισαγωγής. Η συχνότητα των παλμών έγχυσης είναι, δύο παλμοί για κάθε πλήρη κύκλο λειτουργίας του κινητήρα ή διαφορετικά ένας ενιαίος ψεκασμός όλων των μπεκ, σε κάθε μία στροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

Τα αποτελέσματα αυτού του συνδυασμού είναι αφ' ενός μεν η ελαχιστοποίηση των ρύπων και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, και αφ' ετέρου η αύξηση της ειδικής ισχύος και η καλύτερη κατανομή της ροπής στρέψης του κινητήρα (Εικόνα 42).



Εικόνα 42: Κατανάλωση καυσίμου, κατανομή ισχύος και ροπής [107].

α)Με Jetronic
β)Με καρμπυρατέρ

3.3.6.5. Motronic

Το Motronic της Bosch είναι ένα από τα πλέον εξελιγμένα συστήματα έγχυσης καυσίμου στο οποίο οι επί μέρους λειτουργίες της ανάφλεξης και της έγχυσης συνδυάζονται ηλεκτρονικά. Ο συνδυασμός αυτός πραγματοποιείται στην μονάδα ελέγχου με την βοήθεια ενός digital μικροεπεξεργαστή που είναι επιφορτισμένος συγχρόνως με την μέτρηση του καυσίμου και με τον χρονισμό της ανάφλεξης. Μια τέτοια συνδυαστική λειτουργία επιτρέπει τον συνεχή έλεγχο της ποιότητας καύσης σε όλο το πεδίο φορτίου /στροφών με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης, τον περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων, την ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα, την καλύτερη συμπεριφορά του στο κρύο ξεκίνημα, τον έλεγχο του πεδίου κτυπημάτων (πιράκια) και την αύξηση της υποδύναμης του κινητήρα σε όλο το φάσμα στροφών.

Το πεδίο τροφοδοσίας καυσίμου του Motronic στηρίζεται σε γενικές γραμμές πάνω στο δοκιμασμένο και πετυχημένο σύστημα L-Jetronic. Η επεξεργασία των σημάτων γίνεται digital από μια εξελιγμένη ηλεκτρονική μονάδα της οποίας ο μικροεπεξεργαστής περιλαμβάνει την βαθμίδα εισόδου εξόδου πληροφοριών (IN/OYT), την κεντρική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων (CPU), την μνήμη εγγραφής ανάγνωσης (RAM), και την μνήμη

αποθήκευσης των προγραμματισμένων συναρτήσεων λειτουργίας (ROM). Η συμβατική ρύθμιση της ανάφλεξης (αβάνς) μέσω φυγοκεντρικού μηχανισμού και μηχανισμού υποπίεσης (Vacum) είναι περιττή. Εδώ ο χρονισμός της γωνίας ανάφλεξης γίνεται από τη μονάδα ελέγχου μέσω ενός προγραμματισμένου πεδίου αναγνώρισης του σημείου ανάφλεξης. Το πεδίο αυτό διαμορφώνεται από τον κατασκευαστή με βάση τις στροφές και το φορτίο του κινητήρα. Για μια περαιτέρω ρύθμιση του χρονικού σημείου ανάφλεξης είναι δυνατός ο συνδυασμός του Motronic με παράλληλο κύκλωμα αναγνώρισης κτυπημάτων του κινητήρα βάσει του οποίου επαναπροσδιορίζεται το χρονικό σημείο ανάφλεξης πλησίον του ελαχίστου ορίου ασφαλείας αυταναφλέξεων. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αύξηση του βαθμού συμπίεσης, μεγαλύτερος θερμικός βαθμός απόδοσης και ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου.

Επίσης η μονάδα ελέγχου του Motronic είναι εφοδιασμένη με ένα προκαθορισμένο πεδίο στροφών και τάσης μπαταρίας που ονομάζεται 'πεδίο Duel' βάση του οποίου γίνεται αυτόματη προσαρμογή της υψηλής τάσης ανάφλεξης (των μπουζί) ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα.

Η ηλεκτρονική ρύθμιση της έγχυσης και της γωνίας ανάφλεξης περιγράφονται παρακάτω.

3.3.6.5.1. Ηλεκτρονική προσαρμογή μίγματος – Χαρακτηριστικό “Πεδίο Lamda” και ρυθμιστικό κύκλωμα Lamda

Στην μνήμη ανάγνωσης (ROM) της μονάδας ελέγχου υπάρχει καταχωρημένο ένα στάνταρ πεδίο τιμών, φορτίου και στροφών βάσει του οποίου ο μικροεπεξεργαστής υπολογίζει τη βασική διάρκεια της έγχυσης. Αυτό ονομάζεται "πεδίο Lambda" και είναι αποθηκευμένο digital. Μέσω αυτού του πεδίου επιτυγχάνεται η καλύτερη κάθε φορά προσαρμογή της σχέσης αέρα-καυσίμου σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα και προσδιορίζεται ο χρόνος έγχυσης της βασικής ποσότητας καυσίμου. Η κατασκευή ενός τέτοιου χαρακτηριστικού πεδίου γίνεται στο στάδιο δοκιμών του κινητήρα.

Για τη δημιουργία αυτού του πεδίου ο κατασκευαστής χρησιμοποιεί ένα πλήθος πιθανών τιμών φορτίου τις οποίες συνδυάζει με ένα αντίστοιχο πλήθος πιθανών τιμών στροφών. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν αλληπάλληλα ζεύγη τιμών φορτίου-στροφών καθένα από τα οποία προσδιορίζει ένα ξεχωριστό σημείο φόρτισης στο οποίο πρέπει να αντιστοιχήσουμε την κατάλληλη γι' αυτό βασική ποσότητα καυσίμου. Έτσι τελικά

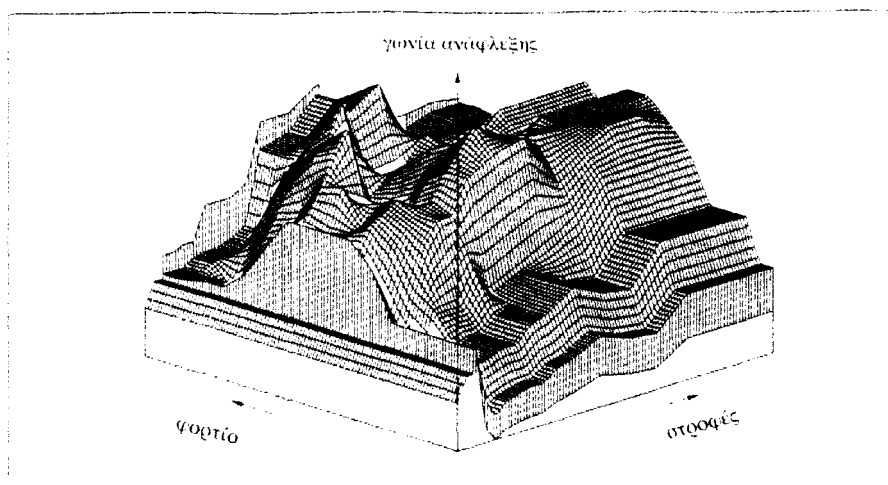
διαμορφώνεται ένα προκαθορισμένο πλήθος συναρτήσεων, φορτίου, στροφών και βασικού χρόνου έγχυσης το οποίο αποθηκεύεται digital στην μνήμη ROM της μονάδας ελέγχου. Η ηλεκτρονική ρύθμιση του μίγματος μέσω του "πεδίου Lambda" εξασφαλίζει σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα, ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου, λιγότερους ρύπους στα καυσαέρια και ικανοποιητική ισχύ του κινητήρα. Όταν η εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με τριοδικό ρυθμιζόμενο καταλύτη τότε πρέπει να γίνει ρύθμιση της στοιχειομετρίας του μίγματος στην τιμή του $\lambda = 1,0$. Η ρύθμιση αυτή ονομάζεται "ρύθμιση με τον αισθητήρα Lambda" και πραγματοποιείται μέσω ενός ειδικού ρυθμιστικού κυκλώματος "Lambda" που δρα σε συνδυασμό με το χαρακτηριστικό "πέδιο Lambda" και έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση του λ σε πολύ στενά περιθώρια γύρω από την τιμή $\lambda = 1$.

Αυτή η διαρκής και σχεδόν άμεση ρύθμιση του μίγματος $\lambda = 1$ αποτελεί προϋπόθεση ώστε ο καταλυτικός μετατροπέας (καταλύτης) να επεξεργάζεται τις βλαβερές ουσίες των καυσαερίων με υψηλότερο βαθμό απόδοσης και με τελικό αποτέλεσμα την περαιτέρω ελάττωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

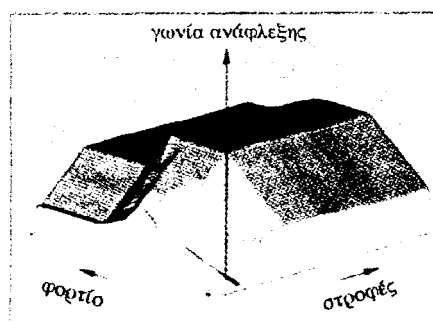
3.3.6.5.2. Ηλεκτρονική ρύθμιση της γωνίας ανάφλεξης

Ο υπολογισμός της γωνίας ανάφλεξης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του μικροεπεξεργαστή και σε συνάρτηση με τις στροφές του κινητήρα, το φορτίο του, την γωνία του στροφαλοφόρου άξονα, την θερμοκρασία και την θέση της πεταλούδας του επιταχυντή. Η ρύθμιση είναι συνεχής και επαναλαμβανόμενη μεταξύ δύο φάσεων λειτουργίας του κινητήρα. Αυτό εξασφαλίζει την γρήγορη προσαρμογή του αβάνς για κάθε σημείο φόρτισης του κινητήρα δημιουργώντας έτσι συνθήκες ομαλότερης λειτουργίας και εκπομπής ελάχιστων ρύπων. Ο προσδιορισμός της κατάλληλης γωνίας ανάφλεξης γίνεται από το χαρακτηριστικό πεδίο ανάφλεξης του Motronic το οποίο είναι αποθηκευμένο στη μνήμη ανάγνωσης της μονάδας ελέγχου. Το πεδίο ανάφλεξης διαμορφώνεται από τον κατασκευαστή στο στάδιο δοκιμών του κινητήρα όπου προσδιορίζεται εκ των προτέρων η καταλληλότερη γωνία ανάφλεξης για κάθε δεδομένο ζεύγος τιμών, φορτίου και στροφών.

Ένα τέτοιο σύνθετο χαρακτηριστικό πεδίο φαίνεται στην Εικόνα 43 ενώ στην Εικόνα 44 δείχνεται σε αντιδιαστολή ένα συμβατικό πεδίο ανάφλεξης με μηχανική ρύθμιση (φυγοκεντρικής και υποπίεσης). Το πεδίο ανάφλεξης στη συνέχεια αποθηκεύεται ψηφιακά στη μνήμη ROM της μονάδας και παραμένει αναλλοίωτο καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος.



Εικόνα 43: Σύνθετο χαρακτηριστικό πεδίο του Motronic για τον υπολογισμό της γωνίας ανάφλεξης. [107]



Εικόνα 44: Συμβατικό πεδίο ανάφλεξης για μηχανική ρύθμιση του αβάνς. [107]

Μεταξύ δύο διαδοχικών αναφλέξεων ο μικροεπεξεργαστής της μονάδας λαμβάνει τα σήματα των στροφών και του φορτίου του κινητήρα και ακολούθως ανακαλεί από το πεδίο ανάφλεξης την προκαθορισμένη γωνία προπορείας που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο ζεύγος τιμών φορτίου-στροφών. Στη συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής διορθώνει περαιτέρω την τιμή της γωνίας του χαρακτηριστικού πεδίου σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του αναρροφούμενου αέρα, την θερμοκρασία του κινητήρα, την τάση της μπαταρίας και τη θέση της πεταλούδας του επιταχυντή με σκοπό πάντα τον καταλληλότερο προσδιορισμό του χρονικού σημείου ανάφλεξης.

Με τις δυνατότητες που παρέχει το ψηφιακά αποθηκευμένο πεδίο ανάφλεξης μπορούμε να ρυθμίζουμε καλύτερα την προπορεία ανάφλεξης σε κάθε σημείο λειτουργίας

δίχως αυτό να επηρεάζει άλλα λειτουργικά πεδία. Αυτό εξασφαλίζει έναν ανώτερο συντελεστή απόδοσης του κινητήρα και μια περαιτέρω ελάττωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

Η προσαρμογή της προπορείας ανάφλεξης, όπως είναι λογικό, διαφέρει για κάθε σημείο φόρτισης του κινητήρα. Και γίνεται πάντα με βάση την σημαντικότητα (για κάθε σημείο λειτουργίας) των εξής παραμέτρων: α) Κατανάλωση καυσίμου, β) απόδοση ροπής στρέψης, γ) συμπεριφορά οδήγησης, δ) όριο κτυπημάτων. Έτσι στην άφορτη λειτουργία γίνεται μια τέτοια ρύθμιση της ανάφλεξης που εξασφαλίζει απρόσκοπτη περιστροφή του κινητήρα, σχετικά μικρή κατανάλωση καυσίμου και περιορισμένη εκπομπή ρύπων. Κατά τη λειτουργία του κινητήρα στο μερικό φορτίο πρόέχει η ομαλή οδική συμπεριφορά και η μικρή κατανάλωση καυσίμου, ενώ στο πλήρες φορτίο το κέντρο βάρους για την ρύθμιση της ανάφλεξης επικεντρώνεται στην αύξηση της ροπής στρέψης και στην αποφυγή των κτυπημάτων του κινητήρα. Για τον καλύτερο χρονισμό της ανάφλεξης σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας καθώς επίσης και για το ξεκίνημα του κινητήρα, υπάρχουν αποθηκευμένες επί πλέον διορθωτικές τιμές οι οποίες παρεμβαίνουν στην τελική διαμόρφωση των τιμών του χαρακτηριστικού πεδίου ανάφλεξης. Επίσης μέσω ενός διακόπτη στην μονάδα ελέγχου γίνεται δυνατή η ρύθμιση στο ανώτερο πεδίο ισχύος για διάφορες ποιότητες καυσίμου (διαφορετικά οκτάνια).

3.3.6.5.3. Συμπληρωματικές λειτουργίες

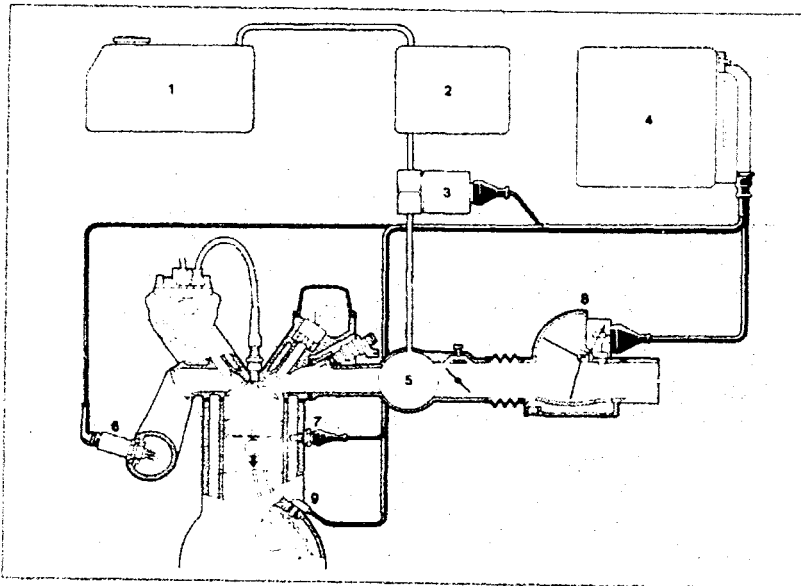
Το Motronic εκτός από τις έως τώρα περιγραφόμενες ηλεκτρονικές ρυθμίσεις της έγχυσης και της ανάφλεξης έχει τη δυνατότητα επέκτασης και σε άλλα ρυθμιστικά πεδία όπως ήδη αναφέραμε. Τέτοιες συμπληρωματικές ρυθμίσεις είναι:

- **Ο εξαερισμός του ρεζερβουάρ και η καύση των αναθυμιάσεων της βενζίνης με σκοπό την ελαχιστοποίηση των υδρογονανθράκων.**
- **Η επιστροφή και μετάκαυση μιας ελεγχόμενης ποσότητας καυσαερίων για τον περιορισμό των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου (NO_x).**
- **Το σταμάτημα της τροφοδοσίας ορισμένων κυλίνδρων σε συνθήκες ελαχίστου μερικού φορτίου, με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπεμπόμενων ρύπων.**
- **Η επιπλέον βελτίωση της κατανάλωσης με τη χρήση ηλεκτρονικού πεντάλ γκαζιού.**

- **Εξαερισμός των δεξαμενών καυσίμου**

Οι αναθυμιάσεις από τις δεξαμενές καύσιμου των αυτοκινήτων αποτελούν περίπου το 20% των συνολικών εκπομπών HC στα αυτοκίνητα. Για τον σκοπό αυτό σχεδιάστηκε ένα ειδικό κύκλωμα συλλογής και καύσης των ατμών βενζίνης το οποίο μπορεί να συνεργάζεται με διάφορα συστήματα ηλεκτρονικού ψεκασμού.

Το κύκλωμα (Εικόνα 45) περιλαμβάνει ένα δοχείο ενεργού άνθρακα στο οποίο αρχικά συλλέγονται και κατακρατούνται οι ατμοί βενζίνης που δημιουργούνται στο ρεζερβουάρ. Στην συνέχεια οι ατμοί οδηγούνται για καύση στον σωλήνα αναρρόφησης. Η διοχέτευση τους στον σωλήνα αναρρόφησης γίνεται μέσω μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας η οποία ρυθμίζεται από την μονάδα ελέγχου. Η ρύθμιση της βαλβίδας γίνεται με βάση την κατάσταση λειτουργίας και το φορτίο του κινητήρα, έτσι ώστε η διοχετευόμενη προς καύση ποσότητα ατμοποιημένου καυσίμου συνυπολογίζεται κάθε φορά στην συνολική ποσότητα έγχυσης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ένας αισθητός περιορισμός των εκπεμπόμενων υδρογονανθράκων.



Εικόνα 45: Εξαερισμός των δεξαμενών καυσίμου [107]

- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1. Ρεζερβουάρ | 5. Αγωγός αναρρόφησης |
| 2. Δοχείο ενεργού άνθρακα | 6. Αισθητήρας Lambda |
| 3. Ρυθμιστική βαλβίδα | 7. Αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρα |
| 4. Μονάδα ελέγχου | 8. Μετρητής ποσότητας αέρα |
| 9. Εντολοδοτης στροφών | |

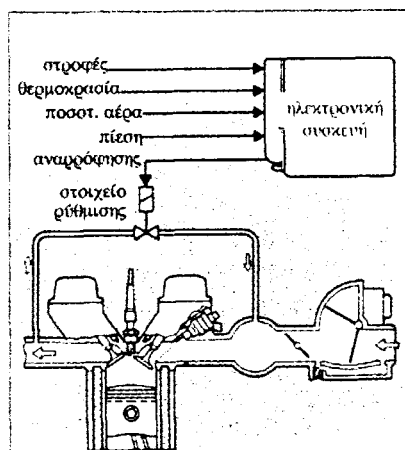
- Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (E.G.R.)

Το Motronic ανταποκρινόμενο στις σύγχρονες απαιτήσεις για περαιτέρω ελαχιστοποίηση των ρύπων παρέχει την δυνατότητα συνεργασίας με κύκλωμα επιστροφής και μετάκαυσης καυσαερίων (EGR). Έχει αποδειχθεί ότι οι ρύποι των οξειδίων του αζώτου (NO_x) περιορίζονται δραστικά, αν ένα μέρος των καυσαερίων οδηγηθεί ξανά στους κυλίνδρους μέσω του αγωγού αναρρόφησης νωπού αέρα. Τα επιστρεφόμενα καυσαέρια όμως μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την συμπεριφορά του κινητήρα, ειδικά κατά την άφορτη λειτουργία στο πεδίο χαμηλών στροφών, καθώς επίσης και στην φάση θερμής λειτουργίας όταν ο κινητήρας είναι ακόμη κρύος.

Ένας συμβιβασμός μεταξύ των απαιτήσεων για πλήρη και δραστική μείωση των NO_x με ταυτόχρονη καλή συμπεριφορά λειτουργίας του κινητήρα, επιτυγχάνεται μέσω ενός χαρακτηριστικού πεδίου ρύθμισης των επιστρεφόμενων καυσαερίων.

Το πεδίο αυτό διαμορφώνεται με βάση τις στροφές και την θερμοκρασία του κινητήρα, την ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα και την επικρατούσα πίεση αναρρόφησης. Στη συνέχεια η μονάδα ελέγχου δίνει εντολή σε ένα ρυθμιστικό στοιχείο (βαλβίδα ρύθμισης EGR) έτσι ώστε, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας, να οδηγείται στον σωλήνα αναρρόφησης η επιτρεπόμενη κάθε φορά ποσότητα καυσαερίων.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα στα αυτοκίνητα, και αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο μείωσης των εκπομπών NO_x . (Εικόνα 46)



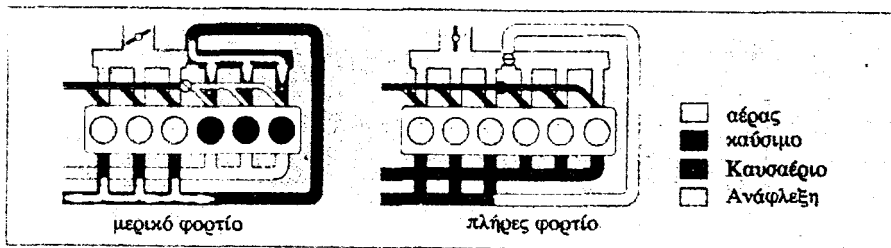
Εικόνα 46: Κύκλωμα ανακύκλωσης καυσαερίων [107]

• Παύση και επαναλειτουργία κυλίνδρων

Μία έξυπνη καινοτομία που δειλά - δειλά αρχίζει να υιοθετείται από ορισμένους κατασκευαστές, είναι η δυνατότητα δυναμικής παρέμβασης στο σταμάτημα και την επαναλειτουργία ορισμένων κυλίνδρων. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από την διαπίστωση ότι ο βαθμός απόδοσης ενός κινητήρα (και κυρίως των πολύ ισχυρών κινητήρων) δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικός όταν αυτός λειτουργεί με ελάχιστο μερικό φορτίο, όπως συμβαίνει κατά την κίνηση του οχήματος στην πόλη, και στις μικρές ταχύτητες των επαρχιακών δρόμων. Αυτό βεβαίως αντανακλά αρνητικά και στην κατανάλωση του καύσιμου όπως και στους εκπεμπόμενους ρύπους.

Η δυναμική παρέμβαση στην λειτουργία των κυλίνδρων κατά το στάδιο της μερικής φόρτισης με την διακοπή της τροφοδοσίας σε ορισμένους απ' αυτούς, αναγκάζει τους υπόλοιπους να εργάζονται με αυξημένο βαθμό απόδοσης, ενώ συγχρόνως περιορίζει την κατανάλωση καυσίμου και τους ρύπους. Κατά την αύξηση των απαιτήσεων λειτουργίας και μόλις η διατιθέμενη ισχύς δεν ικανοποιεί, τότε τίθενται σε λειτουργία οι υπόλοιποι κύλινδροι (ένας ένας ή κατά ομάδες).

Ανάφλεξη πραγματοποιείται μόνον στους κυλίνδρους που έχουν πληρωθεί με μίγμα, ενώ στους υπόλοιπους διοχετεύονται μέσω του αγωγού εξαγωγής, καυσαέρια, τα οποία αφ' ενός μεν τους καθαρίζουν αφ' ετέρου δε τους κρατούν σε θερμοκρασία αναμονής λειτουργίας (Σχήμα). Η εντολή για το σταμάτημα και την επαναλειτουργία των κυλίνδρων δίνεται από την μονάδα Motronic ανάλογα με το σήμα φορτίου του μετρητή ποσότητας αέρα.



Εικόνα 47: Ελεγχόμενη παύση και επαναλειτουργία ορισμένων κυλίνδρων [107]

Η μονάδα Motronic εξοπλισμένη με κατάλληλο πρόγραμμα μπορεί και θέτει εκτός λειτουργίας μια ομάδα κυλίνδρων (στο παράδειγμα του εξακύλινδρου κινητήρα σταματά τους τρεις κυλίνδρους). Αυτό γίνεται κατά την λειτουργία του κινητήρα στο μερικό φορτίο. Τα

πολύ θερμά καυσαέρια διαπερνούν τους κυλίνδρους που δεν παράγουν έργο και τους διατηρούν σε θερμοκρασία άμεσης επαναλειτουργίας. Κατά την μετάβαση του κινητήρα σε ανωτέρω πεδίο φόρτισης η μονάδα Motronic μεριμνά για την ομαλή επαναλειτουργία και των υπολοίπων κυλίνδρων.

- **Ηλεκτρονικό πεντάλ γκαζιού**

Η μηχανική σύνδεση της πεταλούδας του επιταχυντή με το πεντάλ έχει αντικατασταθεί από ηλεκτρονική ρύθμιση. Η ιδέα βρήκε πρακτική εφαρμογή αρχικά στο Motronic της BMW 750. Ένα ποτενσιόμετρο αναγνωρίζει την θέση του πεντάλ γκαζιού ενώ ένα άλλο την θέση της πεταλούδας του επιταχυντή. Οι πληροφορίες αυτές μαζί με τα σήματα στροφών, θερμοκρασίας κινητήρα και αλλαγής φορτίου συλλέγονται και αξιολογούνται στην μονάδα ελέγχου. Ακολούθως η εντολή μεταφέρεται στον ρυθμιστή θέσης πεταλούδας ο οποίος προσδιορίζει την τελική θέση της στην υπολογισθείσα τιμή. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται σφάλματα λόγω τζόγων, τριβών και φθορών ενώ συγχρόνως, έχουμε θετική επίδραση στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

3.3.7. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 'LEAN BURN'

Αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν αναπτυχθεί συστήματα ψεκασμού που ενσωματώνουν τη λειτουργία -Lean Burn-, δηλαδή τη λειτουργία με πολύ φτωχά μίγματα.

Στα συστήματα αυτά, οι πίνακες καυσίμου, οι οποίοι περιέχονται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα, αποτελούνται από πολύ μικρές τιμές για συνθήκες μερικού φορτίου. Αυτό επιτρέπει στους κινητήρες, να λειτουργούν με πολύ φτωχά μίγματα, της τάξης του 22:1, τη στιγμή που οι συμβατικοί κινητήρες σε συνθήκες μερικού φορτίου λειτουργούν με αναλογία 15:1. Οι κινητήρες αυτοί 'βγαίνουν' από τη φάση φτωχού μίγματος, σε συνθήκες πλήρους φορτίου όπου οι απαιτήσεις σε ισχύ είναι μεγάλες.

Έτσι επιτυγχάνουν:

- Μειωμένες εκπομπές ρύπων (ιδιαίτερα άκαυστων υδρογονανθράκων HC)
- Μειωμένη κατανάλωση καυσίμου (λόγω μίγματος)
- Ικανοποιητικές αποδόσεις σε ισχύ (λόγω ακαριαίας μετάβασης σε πλούσιο μίγμα κατά το πλήρες φορτίο).

3.3.8. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Λόγω των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων για την ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων και την της κατανάλωσης καυσίμου δημιουργήθηκαν τα συστήματα άμεσου ψεκασμού βενζίνης (Εικόνα 48). Στους κινητήρες αυτών των συστημάτων ο ψεκασμός της βενζίνης γίνεται απευθείας μέσα στους κυλίνδρους τόσο κατά το χρόνο της συμπίεσης (στις συνθήκες χαμηλού φορτίου), όσο και κατά τις φάσεις εισαγωγής και συμπίεσης, στις συνθήκες υψηλού φορτίου του κινητήρα.

Τα νέα τεχνολογικά δεδομένα αυτού του συστήματος είναι:

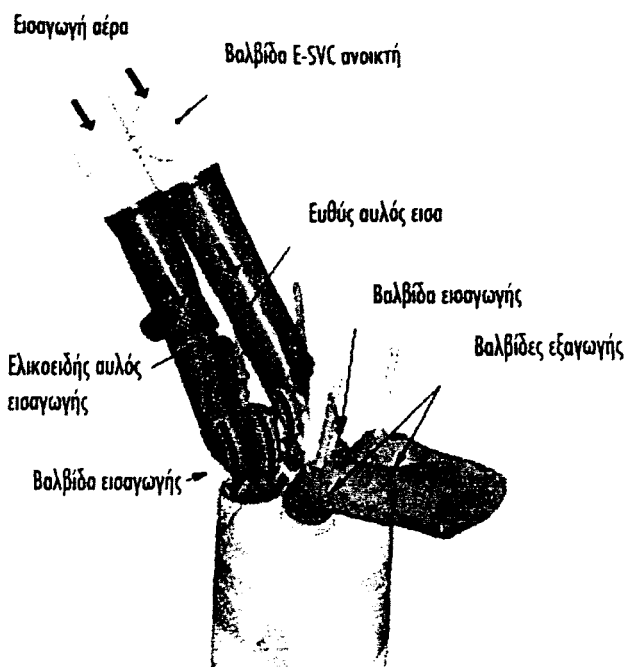
- Η λειτουργία του κινητήρα με πολύ πτωχά μείγματα, που θεωρητικά μπορεί να λειτουργήσει και με αναλογία αέρος βενζίνης 50:1, όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε χαμηλά φορτία (ρελαντί). Στις περιπτώσεις υψηλών φορτίων του κινητήρα, τότε η αναλογία διαμορφώνεται γύρω στο 15:1 έως 12:1. Στα μεσαία φορτία του κινητήρα η αναλογία κυμαίνεται μεταξύ 15:1 και 23:1.
- Η πίεση ψεκασμού της βενζίνης κυμαίνεται από 80 bar έως 120 bar, όταν τα άλλα γνωστά συστήματα ψεκασμού λειτουργούν με πίεση 3 bar. Αυτό βελτιώνει αισθητά την ποιότητα της καύσης και μειώνει τους ρύπους των καυσαερίων.
- Η χρήση συστήματος έντονου στροβιλισμού του εισερχόμενου αέρα μέσα στους κυλίνδρους του κινητήρα, πράγμα που διευκολύνει τόσο την ομογενοποίηση του μείγματος, όσο και την εξάτμιση του ψεκαζόμενου καυσίμου μέσα στους κυλίνδρους.
- Η χρήση ηλεκτρονικού επιταχυντή, καταργεί τη γνωστή πεταλούδα γκαζιού, και συμβάλλει στην άμεση απόκριση του κινητήρα στις απαιτήσεις του οδηγού και στον ακριβή έλεγχο του όγκου του αναρροφούμενου αέρα από τον κινητήρα.



Εικόνα 48: Σύστημα άμεσου ψεκασμού (αριστερά), και συμβατικό σύστημα ψεκασμού καυσίμου μέσα στην πολλαπλή εισαγωγή (δεξιά). [111]

Η καινοτομία που παρουσιάζει ο τρόπος ανάμειξης του αέρα με το καύσιμο και η εισαγωγή του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στους κύλινδρους, δημιουργεί συνθήκες επιτάχυνσης της διαδικασίας ανάμειξης βενζίνης - αέρος, λόγω του ισχυρού στροβιλισμού του εισερχόμενου αέρα στον κύλινδρο του κινητήρα, τον οποίο προκαλεί ο ελικοειδής αυλός διέλευσης του αναρροφούμενου αέρα (Εικόνα 49).

Κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλά φορτία, η δισκοειδής βαλβίδα E-SVC (κωδική ονομασία) είναι κλειστή, οπότε η εισαγωγή του αέρα γίνεται μόνον από τον ελικοειδή αυλό εισαγωγής, ενώ στα υψηλά φορτία του κινητήρα η παροχή του αέρα γίνεται τόσο από τον ελικοειδή αυλό (η βαλβίδα E-SVC ανοίγει), όσο και από τον ευθύ αυλό του συστήματος παροχής αέρα.



Εικόνα 49: Σύστημα στροβιλισμού εισερχόμενου αέρα [111]

Το σημαντικότερο τμήμα του κινητήρα είναι το σύστημα εισαγωγής και στροβιλισμού του αέρα, πάνω στο οποίο βασίζεται η δημιουργία της στρωματικής πλήρωσης των κυλίνδρων με αέρα και η βέλτιστη ανάμειξη του με τη βενζίνη. Όπως προαναφέρθηκε, το σύστημα διαθέτει δύο αυλούς, έναν για κάθε βαλβίδα εισαγωγής (ο κάθε κύλινδρος έχει δύο βαλβίδες εισαγωγής), εκ των οποίων ο ένας είναι ελικοειδής, ενώ ο δεύτερος είναι ευθύς. Ο ευθύς αυλός παροχής αέρα είναι εφοδιασμένος με μία ηλεκτρονική ελεγχόμενη στραγγαλιστική βαλβίδα, της οποίας η κωδική ονομασία είναι E-SVC.

Λειτουργία συστήματος παροχής αέρα.

Όταν η βαλβίδα E-SVC είναι κλειστή, τότε όλη η ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα περνάει από τον ελικοειδή αυλό, πράγμα που δημιουργεί, στον εισερχόμενο αέρα μέσα στον κύλινδρο έναν έντονο στροβιλισμό γύρω από το μπουζί. Η ροή του αέρα επιταχύνει την εξάτμιση του ψεκαζόμενου καυσίμου, υπό μορφή νέφους μικρών σταγονιδίων της τάξεως των 20 μικρών διάμετρο. Στην περίπτωση πλήρους φορτίου του κινητήρα ανοίγει η στραγγαλιστική βαλβίδα του ευθύ αυλού και αυξάνεται η παροχή του αέρα, ενώ ταυτόχρονα έχουμε και ψεκασμό βενζίνης κατά το χρόνο εισαγωγής. Τόσο τη χρονική στιγμή της έγχυσης καυσίμου, όσο και τη χρονική διάρκεια ψεκασμού τα καθορίζει η ηλεκτρονική μονάδα ελέγ-

χου του συστήματος ψεκασμού και ανάφλεξης, η οποία εδώ χρησιμοποιεί τρία προγράμματα ψεκασμού, ανάλογα με τα διαβαθμισμένα φορτία του κινητήρα.

- **Πρόγραμμα 1ο**

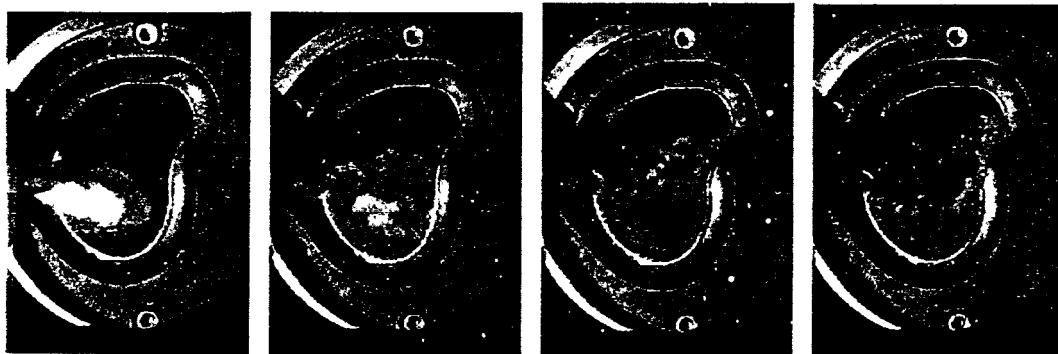
Λειτουργία του κινητήρα σε συνθήκες χαμηλού φορτίου, όπου η πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα είναι στρωματική, το μείγμα είναι πολύ πτωχό, γύρω στο 50:1 και ο ψεκασμός της βενζίνης γίνεται στη φάση της συμπίεσης.

- **Πρόγραμμα 2ο**

Λειτουργία του κινητήρα σε συνθήκες μεταβατικού φορτίου μεταξύ άφορτης λειτουργίας και λειτουργίας πλήρους φορτίου. Στην περίπτωση αυτή έχουμε περιορισμένη στρωματική πλήρωση, κατά την οποία η σύνθεση του μείγματος κυμαίνεται από 15:1 έως 23:1 και ο ψεκασμός γίνεται τόσο κατά τη φάση της εισαγωγής, όσο και κατά τη φάση της συμπίεσης.

- **Πρόγραμμα 3ο**

Λειτουργία του κινητήρα σε συνθήκες υψηλού φορτίου, όπου ο κινητήρας χρειάζεται ομοιόμορφο μίγμα και όχι στρωματικό μίγμα γύρω από το μπουζί. Ο ψεκασμός γίνεται σε δύο φάσεις, μία κατά την εισαγωγή και μία κατά τη συμπίεση. Η σύνθεση του μείγματος κυμαίνεται από 15:1 έως 12:1.



Εικόνα 50: Διαδοχικές φάσεις μετάδοσης της φλόγας γύρω από το μπουζί προς την περιφέρεια του θαλάμου καύσης [111]

Το σύστημα αυτό διαθέτει κι έναν βοηθητικό ψεκαστήρα τοποθετημένο στην πολλαπλή εισαγωγής, ο οποίος χρησιμοποιείται τόσο για την ψυχρή εκκίνηση του κινητήρα, όσο και στην υποβοήθηση του κινητήρα στις απότομες επιταχύνσεις με τον ψεκασμό

πρόσθετης ποσότητας καυσίμου.

Η λειτουργία όμως του κινητήρα με πολύ πτωχό μίγμα δημιουργεί την παραγωγή καυσαερίων με πολύ υψηλά ποσοστά οξειδίων του Αζώτου (NO_x), τα οποία δεν μπορεί να αντιμετωπίσει ένας συμβατικός ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης. Για το σκοπό αυτό έχουν σχεδιαστεί τεχνικές παρεμβάσεις, οι οποίες δίνουν λύσεις στα προβλήματα που θα δημιουργούσαν τα υψηλά επίπεδα των οξειδίων του Αζώτου.

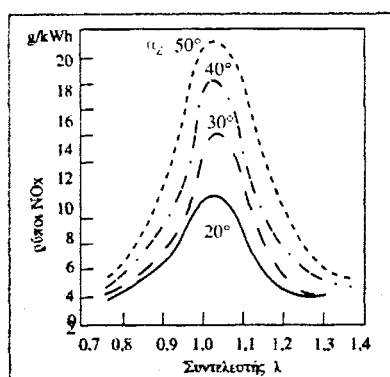
Η πρώτη παρέμβαση γίνεται με σχολαστικό σχεδιασμό του μηχανισμού ανακύκλωσης των καυσαερίων, όπου ένα ποσοστό των καυσαερίων της τάξης του 40% ανακυκλώνεται και αντί να βγει στην ατμόσφαιρα πηγαίνει μέσα στον κύλινδρο. Η παρουσία όμως μεγάλων ποσοτήτων καυσαερίου έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της στοιχειομετρικής σύνθεσης του μίγματος και κατ' επέκταση τη διατάραξη της πορείας καύσης του μίγματος. Το πρόβλημα που δημιουργεί η παρουσία μεγάλης ποσότητας καυσαερίων μέσα στον κύλινδρο, αντιμετωπίζεται από τους ελικοειδείς αυλούς των βαλβίδων εισαγωγής, καθώς και από το σύστημα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων, λόγω της ταυτόχρονης παρουσίας καυσαερίων και νωπού αέρα, την οποία εξασφαλίζει η ταυτόχρονη επικάλυψη των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής (overlap). Η αντιμετώπιση όμως του υψηλού επιπέδου διοξειδίων του Αζώτου δεν είναι ικανοποιητική, γι' αυτό το λόγο ο κινητήρας είναι εφοδιασμένος με έναν καταλύτη κατακράτησης οξειδίων του Αζώτου προσωρινά, όταν ο κινητήρας λειτουργεί με πτωχά μείγματα (εκεί παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις NO_x), και τα απελευθερώνει, όταν ο κινητήρας λειτουργεί με πλούσια μείγματα, διότι αναμειγνύονται με τους (HC) και το (CO) που περιέχουν σε μεγάλες ποσότητες τα πλούσια μείγματα. Έτσι γίνεται αποτελεσματικότερη η επεξεργασία τους και η μείωση τους από τον τριοδικό καταλύτη.

Σε περίπτωση κατά την οποία ο κινητήρας λειτουργεί μεγάλο χρονικό διάστημα με πτωχά μείγματα, τότε ο καταλύτης κάθε 60" μειώνει τα NO_x που έχει κατακρατήσει, σε μια στιγμιαία διαδικασία κλάσματος του δευτερολέπτου. Υποβοηθητικά προς τον κύριο καταλύτη υπάρχουν και δύο μικρότεροι καταλύτες τοποθετημένοι μπροστά από τον κύριο καταλύτη και αμέσως μετά την πολλαπλή εξαγωγής, για να διευκολύνουν τη λειτουργία του κύριου καταλύτη.

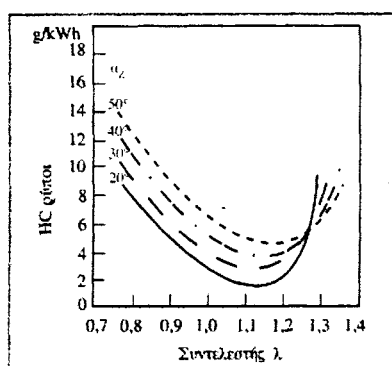
Τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί από πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες όπως το G.D.I. της Mitsubishi και το F.S.I. της Audi.

3.4. ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΚΑΙ ΡΥΠΟΙ

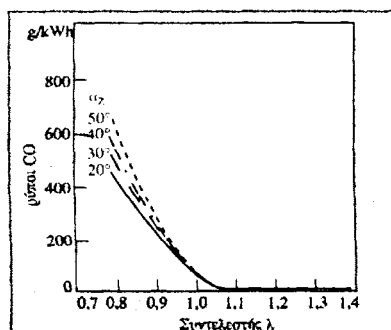
Η γωνία ανάφλεξης και η διατιθέμενη ηλεκτρική ενέργεια από τον σπινθηριστή έχουν σημαντική επίδραση στην πορεία της καύσης και στη δημιουργία των ρύπων. Η αυξημένη ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται μέσω του σπινθηριστή εξασφαλίζει την σωστή ανάφλεξη και την ομαλή καύση.



Εικόνα 51: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης και δημιουργίας NO_x ανάλογα με τη στοιχειομετρία του μίγματος. [107]



Εικόνα 52: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης, στοιχειομετρίας μίγματος και δημιουργίας υδρογονανθράκων (HC) [107]



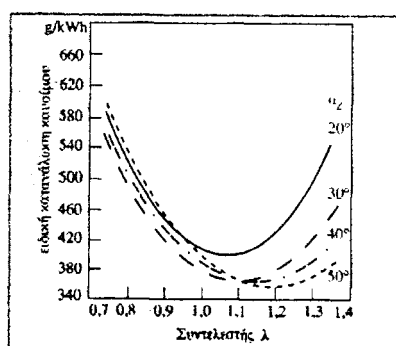
Εικόνα 53: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης, στοιχειομετρίας μίγματος και δημιουργίας μονοξειδίου του άνθρακα (CO). [107]

Ήπιες και μικρές μόνο μεταβολές της ανάφλεξης, από κύκλο σε κύκλο, συμβάλλουν στην ήρεμη λειτουργία του κινητήρα και στην μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Εκτός από τον χρονισμό της ανάφλεξης και την διατιθέμενη ηλεκτρική ενέργεια, σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της καύσης έχουν και οι ίδιοι οι σπινθηριστές (μπουζί). Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του ηλεκτροδίου των μπουζί τόσο περισσότερος χώρος ενεργοποιείται και επίσης όσο πιο λεπτά είναι τα ηλεκτρόδια τόσο πιο εύκολα γίνεται η αποβολή της θερμότητας από αυτά.

Η επίδραση της γωνίας ανάφλεξης στην παραγωγή ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου δίνεται στις εικόνες 51, 52, 53, 54.

Η μεγάλη γωνία ανάφλεξης δημιουργεί υψηλές θερμοκρασίες, ιδίως σε περιοχές στοιχειομετρικού μίγματος ($\lambda=1$), ευνοώντας έτσι τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου (NO_x). Στα πλούσια και στοιχειομετρία μίγματα όσο μεγαλώνει η γωνία ανάφλεξης τόσο αυξάνει και η δημιουργία άκαυστων υδρογονανθράκων. Στα πολύ φτωχά μίγματα ($\lambda>1,3$) όσο μικραίνει η γωνία ανάφλεξης τόσο αυξάνουν οι υδρογονάνθρακες. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία ανάφλεξης των πολύ φτωχών μιγμάτων και στην μικρή ταχύτητα διάδοσης του μετώπου καύσης (Εικόνα 52).

Ο σχηματισμός CO είναι ουσιαστικά ανεξάρτητος από τη γωνία ανάφλεξης και επηρεάζεται αποκλειστικά από την αναλογία του μίγματος αέρα-καύσιμου και μόνο για τα πολύ πλούσια μίγματα. Αντίθετα στα στοιχειομετρία και φτωχά μίγματα ($\lambda>1$) το CO μένει ανεπηρέαστο τόσο από την γωνία ανάφλεξης όσο και από την αναλογία του μίγματος (Εικόνα 53).

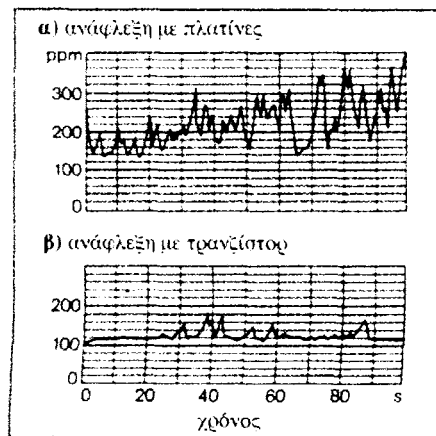


Εικόνα 54: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης, συντελεστή λ , και κατανάλωσης καυσίμου.

Όσο πλουσιότερο είναι το μίγμα ($\lambda < 1$) τόσο μικρότερη γωνία ανάφλεξης πρέπει να δώσουμε για την μείωση της κατανάλωσης. Αντίθετα στα πολύ φτωχά μίγματα ($\lambda > 1,1$), προκειμένου να εξισώσουμε την μικρή ταχύτητα καύσης, δίνουμε μεγαλύτερη γωνία ανάφλεξης, που συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης, αύξηση της ροπής στρέψης και μείωση των υδρογονανθράκων (Εικόνα 51, 54).

3.4.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Η καταλληλότητα του ηλεκτρικού σπινθήρα και η χρονική στιγμή που αυτός διατίθεται, είναι δύο βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα καύσης και κατά συνέπεια επηρεάζουν σημαντικά την ποσοτική και ποιοτική σύσταση των καυσαερίων καθώς και την κατανάλωση καύσιμου (Εικόνα 56). Επιπλέον τα διάφορα συστήματα ανάφλεξης που χρησιμοποιούνται παρέχουν διαφορετικές δυνατότητες παραγωγής και ρύθμισης του σπινθήρα και επομένως επηρεάζουν διαφορετικά την σύσταση των εκπεμπόμενων καυσαερίων. (Εικόνα 55)



Εικόνα 55: Ρύποι HC στην άφορτη λειτουργία ενός τετρακύλινδρου κινητήρα [107]

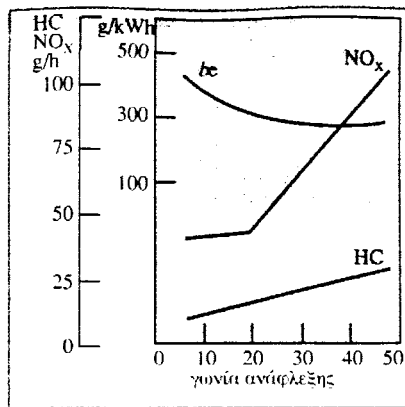
- α) Ανάφλεξη με ρυθμιζόμενες επαφές (πλατίνες)
- β) Ανάφλεξη με τρανζίστορ

- **Μια συμβατική ανάφλεξη (SZ)** με πολλαπλασιαστή και πλατίνες δεν είναι η πλέον κατάλληλη για χαμηλές τιμές ρύπων, επειδή η ενέργεια ανάφλεξης και η τάση του δευτερεύοντος οριοθετούνται σε σχετικά χαμηλές τιμές, εξ' αιτίας της μηχανικής δυνατότητας ανοίγματος και κλεισίματος των πλατινών.

Σε μια τέτοια ανάφλεξη, το ρεύμα του πρωτεύοντος δεν μπορεί να ξεπεράσει το όριο των 5A, πάνω από το οποίο κινδυνεύουν να καταστραφούν οι επαφές των πλατινών και συνεπώς η τάση του δευτερεύοντος έχει ένα σχετικά χαμηλό ανώτατο όριο. Αυτό σημαίνει ότι σε συνθήκες υψηλών ρυθμών περιστροφής του κινητήρα με αρκετά μικρή περίοδο Dwell, η αποθηκευμένη στον πολλαπλασιαστή ενέργεια ανάφλεξης δεν επαρκεί για την δημιουργία ισχυρού σπινθήρα, με αποτέλεσμα μια κακής ποιότητας καύση που οδηγεί στην εκπομπή άκαυστου μίγματος με πρόσθετη επιβάρυνση στο περιβάλλον και κίνδυνο καταστροφής του καταλυτικού μετατροπέα, (εφ' όσον αυτός υπάρχει).

- **Ανάφλεξη με τρανζίστορ (TZ)**

Η ανάφλεξη με τρανζίστορ σε συνδυασμό με γεννήτρια Hall ή επαγωγική διάταξη, αποτελεί σήμερα μια από τις στάνταρ επιλογές των συστημάτων ανάφλεξης. Η χρήση των τρανζίστορ προσφέρει σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, υψηλότερη τάση ανάφλεξης και μεγαλύτερη ενέργεια σπινθηρισμού διαμορφώνοντας έτσι συνθήκες καλύτερης καύσης. Ο ισχυρός σπινθήρας και η μεγάλη χρονική του διάρκεια λύνουν το πρόβλημα της αδυναμίας μιας τέλει καύσης του μίγματος στις υψηλές στροφές, ενώ συγχρόνως ελαχιστοποιούν τους άκαυστους υδρογονάνθρακες ακόμη και στις πολύ χαμηλές στροφές της άφορτης λειτουργίας εξ' αιτίας της ικανότητας του σπινθήρα να διατηρεί ισχυρό το μέτωπο της φλόγας μέχρι και τα πιο απομακρυσμένα σημεία του χώρου καύσης. Επιπλέον, η μεγάλη ενέργεια του σπινθήρα συμβάλλει στην καλύτερη καύση και ενός φτωχού μίγματος.



Εικόνα 56: Επίδραση του χρονικού σημείου ανάφλεξης στον σχηματισμό επιβλαβών ρύπων και στην ειδική κατανάλωση (be) καυσίμου. [107]

Για το λόγο αυτό οι κινητήρες φτωχού μίγματος απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλη ενέργεια ανάφλεξης και μεγάλης διάρκειας σπινθήρα. Γι' αυτό επιλέγουν και ένα κατάλληλο σύστημα ανάφλεξης όπως αυτό με τρανζίστορ.

Με επιφύλαξη ας αναφερθεί ότι στα συστήματα ανάφλεξης που παρέχουν υψηλή ενέργεια σπινθηρισμού, παρατηρείται μία αύξηση του μονοξειδίου του αζώτου (NO) στους θαλάμους καύσης λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας που δημιουργείται από το ισχυρό μέτωπο της φλόγας.

Περισσότερα πλεονεκτήματα από την (TZ) σχετικά με τον περιορισμό των ρύπων και την μείωση της κατανάλωσης προσφέρουν τα πιο εξελιγμένα συστήματα ανάφλεξης, όπως είναι η ηλεκτρονική (EZ) με χαρακτηριστικό πεδίο ανάφλεξης (βλέπε Motronic) καθώς και η πλήρως ηλεκτρονική (VZ) που καταργεί εντελώς τον διανομέα, ενώ χρησιμοποιεί συγχρόνως πολλαπλασιαστή διπλού σπινθήρα ή έναν πολλαπλασιαστή για κάθε κύλινδρο.

3.5. ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ (VVT)

Από 1880, σχεδόν 800 διπλώματα ευρεσιτεχνίας στο μεταβλητό χρονισμό βαλβίδων έχουν εκδοθεί στις ΗΠΑ μόνο. Ένα τεχνικό έγγραφο αριθ. 890764 SAE από Dresner και Barkan, ταξινομεί όλα τα συστήματα σε 15 βασικούς τύπους. Γενικά, μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω υπό τρεις κύριους τίτλους:

- **μεταβλητός έλεγχος φάσης (VPC),**
- **συνδυασμένο βύθισμα βαλβίδων και έλεγχος φάσης (VLPC),**
- **και μεταβλητά συστήματα διάρκειας χρονισμού (VET).**

Ο μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων εφαρμόζεται γενικά με τον έναν από δύο τρόπους: είτε το σημείο κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής καθορίζεται και αυτό του ανοίγματος της ποικίλει, ή και τα δύο καθορίζονται το ένα σχετικά με το άλλο αλλά ο χρονισμός τους (δηλ. η φάση εισαγωγής) προωθείται ή καθυστερεί ταυτόχρονα, γενικά, με την περιστροφή του εκκεντροφόρου σε σχέση με τον στροφαλοφόρο άξονα. Το τελευταίο, που καλείται αλλαγή φάσης, έχει δύο πλεονεκτήματα. Κατ' αρχάς, η δυναμική φόρτιση του σώματος των βαλβίδων είναι αμετάβλητη και, αφετέρου, οι μηχανισμοί για το χρονισμό είναι γενικά πολύ λιγότερο σύνθετοι.

Εάν μόνο το άνοιγμα των βαλβίδων μεταβάλλεται, η καθυστέρηση του χρονισμού της μειώνει όχι μόνο την επικάλυψη (overlap) αλλά και την ανοικτή περίοδο. Επομένως, εκτός αν το βύθισμα μειώνεται, η φόρτιση επιτάχυνσης στο σώμα των βαλβίδων αυξάνεται αναπόφευκτα, προκαλώντας προβλήματα στις υψηλές ταχύτητες. Η μεταβολή του κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής έχει ερευνηθεί αλλά, ακόμα δεν έχει υιοθετηθεί δεδομένου ότι δεν εμφανίζεται να προσφέρει πλεονεκτήματα επαρκή να δικαιολογήσουν την περαιτέρω περιπλοκή του μηχανισμού ελέγχου.

Πλεονεκτήματα VVT

Λόγω της αυξανόμενης αυστηρότητας της νομοθεσίας σχετικά με τις εκπομπές, συμπεριλαμβανομένου του CO₂, το ενδιαφέρον για το μεταβλητό χρονισμό βαλβίδων εντεινόταν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '90. Με τη βελτιστοποίηση του χρονισμού των βαλβίδων, η ογκομετρική απόδοση και επομένως η δύναμη και η ροπή μπορούν να αυξηθούν. Κατά τη διάρκεια της αργόστροφης λειτουργίας, η περίοδος επικάλυψης βαλβίδων μπορεί να μειωθεί για να αυξήσει την αποτελεσματική αναλογία επέκτασης, να βελτιώσει την ομαλή λειτουργία και το κρύο ξεκίνημα και, ειδικά για τις ατμοσφαιρικές μηχανές diesel, να μειώσει

τις εκπομπές σε όλη την αργόστροφη και χαμηλού φορτίου λειτουργία. Για τις μηχανές με υπερσυμπιεστή, ειδικότερα, VVT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επανακυκλοφορία του καυσαερίου. Επειδή το καυσαέριο περιέχει τον υδρατμό, το θείο και άλλα διαβρωτικά μέσα, οι διαθέσιμες σήμερα egr βαλβίδες δεν είναι τόσο αξιόπιστες, όπως επιδιωκόταν.

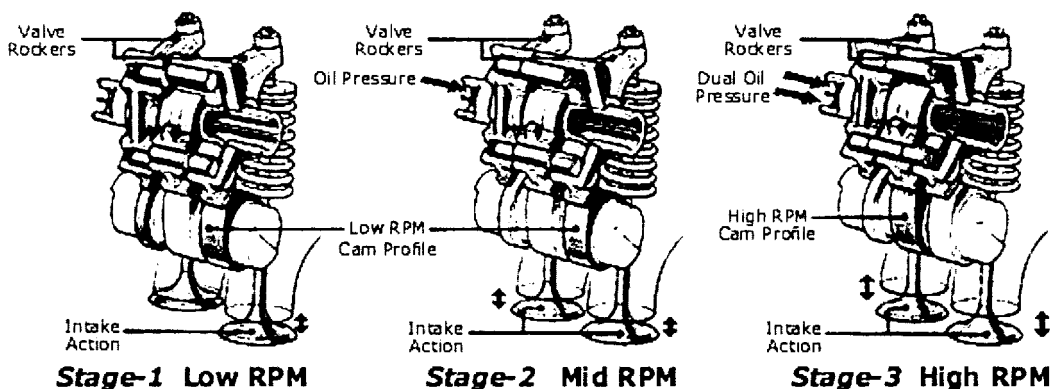
3.5.1. Αλλαγή έκκεντρων

Το σύστημα αυτό λειτουργεί σα να έχει δυο σετ έκκεντρων, τα οποία έχουν διαφορετικό σχήμα για να επιτευχθεί διαφορετικός χρονισμός και βύθισμα των βαλβίδων. Το ένα σετ λειτουργεί σε κανονικούς ρυθμούς περιστροφής της μηχανής, δηλαδή περίπου κάτω από τις 4.500 rpm. Το άλλο λειτουργεί από εκεί και μετά για να επιτευχθεί η μέγιστη ισχύς. Είναι προφανές ότι το σύστημα αυτό δεν μπορεί να επιτύχει συνεχώς μεταβαλλόμενο χρονισμό βαλβίδων.

Παρόλα αυτά, η μηχανή σε κανονικούς ρυθμούς περιστροφής λειτουργεί οικονομικά και με αρκετά μειωμένες τις εκπομπές ρύπων, ενώ σε υψηλούς ρυθμούς περιστροφής είναι εύκολη η επίτευξη πολύ μεγάλης ισχύος, σε σχέση πάντα με τη χωρητικότητα του κινητήρα.

- Παράδειγμα του συστήματος αυτού αποτελεί το VTEC τριών σταδίων της HONDA. (Εικόνα 57)

Ο μηχανισμός αυτός έχει τρία έκκεντρα με διαφορετικό χρονισμό και βύθισμα το καθένα. Οι διαστάσεις τους είναι επίσης διαφορετικές. (το μεσαίο είναι το μεγαλύτερο, το δεξιό είναι το ενδιάμεσο και το αριστερό είναι το μικρότερο).



Εικόνα 57: Τα τρία στάδια λειτουργίας του συστήματος V-TEC Honda [126]

1^ο στάδιο (γαμηλές στροφές)

Οι τρεις μοχλοβραχίονες (κοκοράκια), λειτουργούν ανεξάρτητα. Έτσι, ο αριστερός μοχλοβραχίονας ο οποίος θέτει σε λειτουργία την αριστερή βαλβίδα εισαγωγής, οδηγείται από το αριστερό έκκεντρο μικρού βυθίσματος. Ο δεξιός μοχλοβραχίονας ο οποίος ενεργοποιεί τη δεξιά βαλβίδα εισαγωγής, οδηγείται από το δεξιό έκκεντρο μεσαίου βυθίσματος. Ο χρονισμός και των δυο έκκεντρων είναι σχετικά αργός σε σχέση με το μεσαίο έκκεντρο, το οποίο στο συγκεκριμένο στάδιο δεν οδηγεί καμία βαλβίδα.

2^ο στάδιο (ενδιάμεσες στροφές)

Η υδραυλική πίεση ενώνει τον αριστερό και δεξιό μοχλοβραχίονα αφήνοντας τον μεσαίο, αλλά και το μεσαίο έκκεντρο απλά να περιστρέφονται. Αφού το δεξιό έκκεντρο είναι μεγαλύτερο από το αριστερό, οι δυο μοχλοβραχίονες ουσιαστικά οδηγούνται από το δεξιό έκκεντρο. Το αποτέλεσμα είναι και οι δυο βαλβίδες εισαγωγής να λειτουργούν με αργό χρονισμό αλλά μεσαίο βύθισμα.

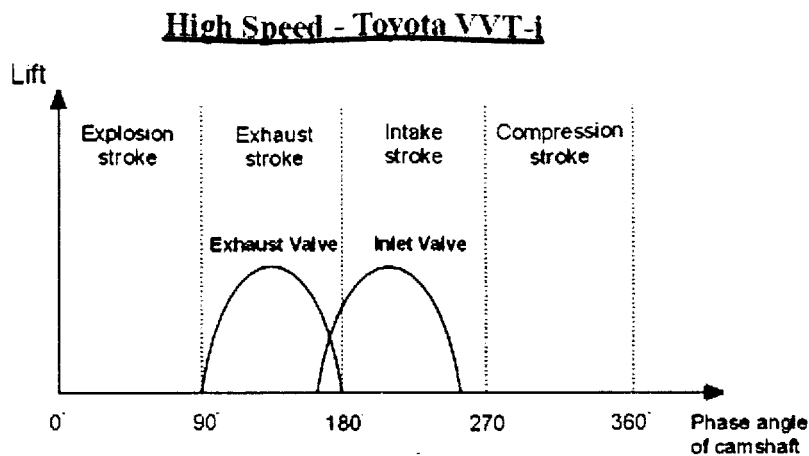
3^ο στάδιο (υψηλές στροφές)

Η υδραυλική πίεση ενώνει και τους τρεις μοχλοβραχίονες. Έτσι και οι δυο βαλβίδες οδηγούνται από το γρήγορο έκκεντρο. Αποτέλεσμα αυτού είναι να λειτουργούν με γρήγορο χρονισμό και μεγάλο βύθισμα. Το σύστημα αυτό είναι αρκετά διαδεδομένο κυρίως για τη μεγάλη ισχύ που μπορεί να επιτύχει. Τέτοιο σύστημα, εκτός από τη Honda, χρησιμοποιούν επίσης η Mitsubishi και η Nissan.

3.5.2. Αλλαγή φάσης εκκεντροφόρου.

Το σύστημα αυτό είναι το πιο φθηνό, το πιο απλό σε λειτουργία και αυτό που χρησιμοποιείται περισσότερο. Αντίθετα η απόδοση που επιτυγχάνει είναι η χειρότερη από τα συστήματα του είδους.

Βασικά αλλάζει το χρονισμό των βαλβίδων, μεταβάλλοντας τη γωνία φάσης των εκκεντροφόρων. Για παράδειγμα στις υψηλές στροφές, ο εκκεντροφόρος εισαγωγής μπορεί να περιστραφεί κατά 30°, για να επιτύχει γρηγορότερη εισαγωγή του μίγματος. Η κίνηση αυτή ελέγχεται από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του κινητήρα, λαμβάνοντας υπόψιν πολλές παραμέτρους και ενεργοποιείται από ένα υδραυλικό σύστημα.



Εικόνα 58: Επικάλυψη βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής (overlap) [117]

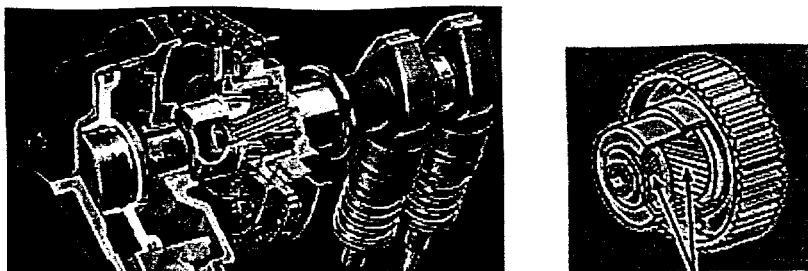
Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι τα συστήματα αυτά δεν μεταβάλλουν τη διάρκεια που παραμένουν οι βαλβίδες ανοιχτές· απλώς επιτρέπουν γρηγορότερο ή καθυστερημένο άνοιγμα των βαλβίδων (Εικόνα 58). Τα πιο απλά από αυτά τα συστήματα έχουν δυο με τρεις διακριτές φάσεις εκκεντροφόρου και προσαρμόζονται ανάλογα, με βάση το ρυθμό περιστροφής (στροφές) του κινητήρα. Τα καλύτερα, έχουν διαρκώς μεταβαλλόμενη φάση εκκεντροφόρου περίπου μεταξύ 0° και 30° .

Πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα εκτός από τους εκκεντροφόρους εισαγωγής και σε αυτούς της εξαγωγής.

- Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αποτελούν το Vanos της BMW καθώς και το VVT-i της Toyota. (Εικόνα 59, 60)

BMW's Vanos

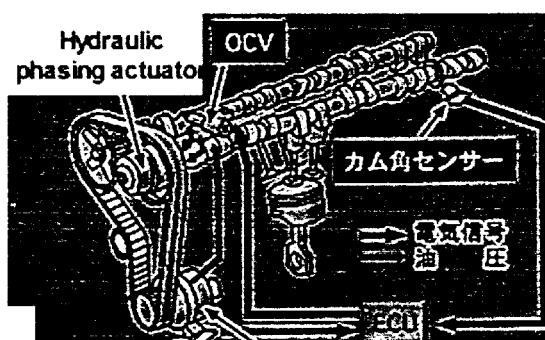
Το σύστημα αυτό λειτουργεί με ένα συνδυασμό γρاناζιών (τα οποία υπάρχουν στην άκρη του εκκεντροφόρου) και κάποιων ρυθμιστικών βαλβίδων υψηλής υδραυλικής πίεσης. Η μεταβολή της φάσης επιτυγχάνεται με την αυξομείωση της απόστασης των γρاناζιών, προς και αντίθετα με τον άξονα του εκκεντροφόρου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Vanos εφαρμόζεται σε πολλές περιπτώσεις και στους δυο εκκεντροφόρους (εισαγωγής και εξαγωγής).



Εικόνα 59: Τομή συστήματος Vanos (B.M.W) [120]

Toyota VVT-i

Η λειτουργία του είναι ανάλογη με του συστήματος της BMW με τη διάφορα ότι εφαρμόζεται μέχρι στιγμής μόνο στον εκκεντροφόρο εισαγωγής.



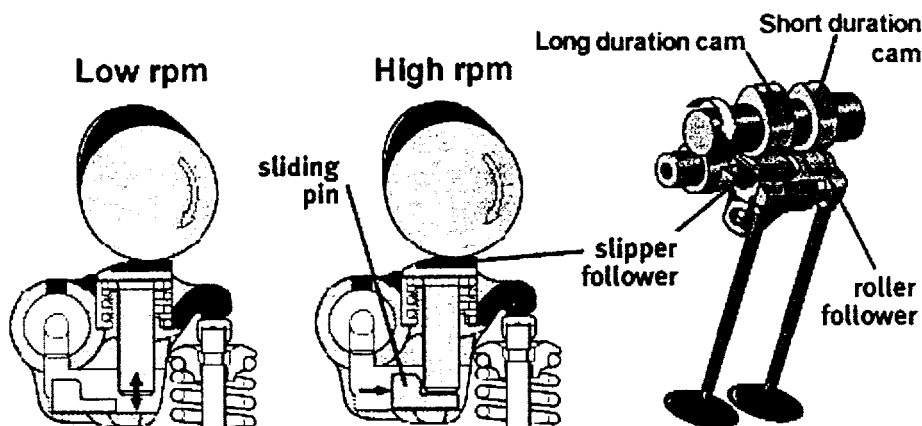
Εικόνα 60: Λειτουργία του συστήματος vvti [117]

3.5.3. Αλλαγή έκκεντρων και μεταβολή φάσης εκκεντροφόρου.

Συνδυάζοντας διαφορετικά προφίλ έκκεντρων και αλλαγή φάσης εκκεντροφόρων, μπορούμε να επιτύχουμε πολύ μεγάλη ισχύ και ελαστικότητα σε όλο το φάσμα στροφών. Έχουν δηλαδή, όλα τα πλεονεκτήματα των άλλων δυο με μοναδικό μειονέκτημα την αρκετά περίπλοκη κατασκευή και το πολύ υψηλό κόστος.

Τα συστήματα αυτού του είδους μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας συνδυασμός αυτών, των δυο προηγούμενων κατηγοριών. Συνδυάζει τον συνεχώς μεταβαλλόμενο χρονισμό των βαλβίδων με μεταβλητό βύθισμα και διάρκεια ανοίγματος αυτών, δυο σταδίων.

- Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων αποτελούν το VVTL-i της Toyota, το i-VTEC της Honda και το Variocam Plus της Porsche. (Εικόνα 61)



Εικόνα 61: Λειτουργία του συστήματος vvtli [117]

Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας μπορεί να οδηγήσει στην βελτίωση της οικονομίας καύσιμου(10- 15%) καθώς και σε μειωμένες εκπομπές ρύπων (ειδικά NO_x έως 80%), σε όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα αλλά και κατά τη διάρκεια της κρύας εκκίνησης και της προθέρμανσης της μηχανής. Φυσικά, η απόδοση της μηχανής σε όλο το εύρος λειτουργίας βελτιώνεται πολύ, αγγίζοντας σε κάποιες περιπτώσεις τα 120hp/lit. Μειονέκτημα των συστημάτων αυτών, αποτελεί μόνο η περίπλοκη κατασκευή και το υψηλό κόστος.

Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες

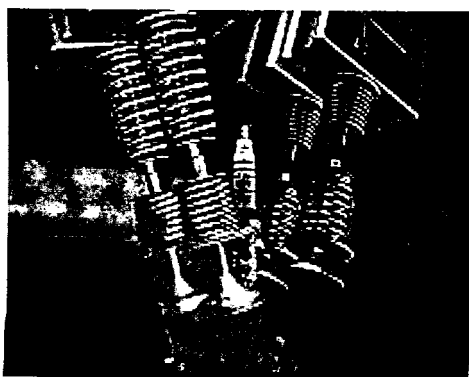
Εξέλιξη των συστημάτων μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων(VVT) αποτελούν οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες. Είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς ότι ακόμα και τα πιο εξελιγμένα από αυτά τα συστήματα, όπως το i-Vtec έχουν και αυτά μειονεκτήματα, τα οποία απορρέουν από την ύπαρξη εκκεντροφόρου: ενός εξαρτήματος πάνω στο οποίο μπορεί να αποτυπωθεί μια «μονοδιάστατη» πληροφορία και το οποίο απαιτεί μια ολόκληρη σειρά από μεταλλικά παρελκυόμενα, στην περίπτωση που θέλουμε να εισάγουμε και παραμέτρους, όπως αριθμός στροφών και φορτίο κινητήρα.

Κατόπιν αυτών δεν είναι τυχαίο ότι πολλές μεγάλες εταιρείες κατασκευής αυτοκίνητου ασχολούνται με την ερευνά και την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων. Ή ακριβέστερα για την ανάπτυξη κινητήρων με

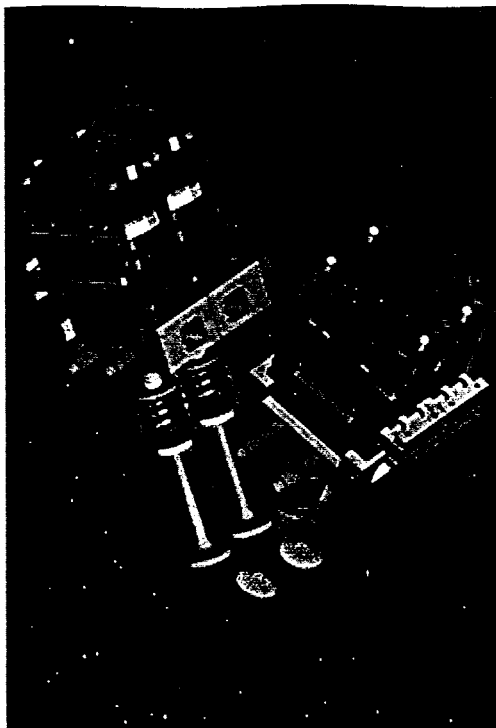
‘ηλεκτρονικούς εκκεντροφόρους’ ικανούς να προγραμματιστούν πολυπαραμετρικά, προσφέροντας στις βαλβίδες κάθε στιγμή, τη βέλτιστη εκείνη συνάρτηση κίνησης, που θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της οικονομίας καύσιμου.

Αυτό είναι εφικτό με τον ηλεκτρομαγνητικό έλεγχο των βαλβίδων. Η βαλβίδα αποτελεί τον κινούμενο πυρήνα δυο αντίθετα τοποθετημένων ηλεκτρομαγνητών οι οποίοι, ανάλογα με την πολικότητα και την ένταση του ρεύματος που τους διαρρέει, σπρώχνουν ή έλκουν τη βαλβίδα προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Προφανώς, ο έλεγχος των ρευμάτων που διαρρέουν τα τυλίγματα των ηλεκτρομαγνητών, γίνεται από μια κεντρική ψηφιακή μονάδα με πολυδιάστατο προγραμματισμό, παρόμοιο με αυτόν των συστημάτων ψεκασμού.

(Εικόνα 62, 63)



Εικόνα 62: Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες(Siemens) [125]



Εικόνα 63: Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες (Siemens) [125]

Εδώ και αρκετά χρόνια κάποιες εταιρείες έχουν καταφέρει να περάσουν από το θεωρητικό επίπεδο στο πρακτικό. Έτσι στα ερευνητικά τους εργαστήρια υπάρχουν σε πλήρη λειτουργία κινητήρες παραγωγής των οποίων οι κυλινδροκεφαλές έχουν αντικατασταθεί από πειραματικές, που διαθέτουν ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες. Με βάση τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα υπάρχει διάχυτη η αισιοδοξία, ότι η τεχνολογία αυτή θα μπει στην παραγωγή εντός περίπου πέντε ετών. Τα πλεονεκτήματα που θα έχουν, θα είναι η αύξηση της απόδοσης σε όλο το εύρος λειτουργίας του κινητήρα αλλά και μια μείωση της κατανάλωσης, της τάξης του 10%. (Με την υποσημείωση ότι, σε συνθήκες πόλης, η κατανάλωση μπορεί να πέσει ακόμα περισσότερο, καθώς στον προγραμματισμό των ‘ηλεκτρονικών εκκεντροφόρων’ θα ενσωματωθεί και η διαδικασία ‘επιλεκτικής αδρανοποίησης κυλίνδρων’ όταν οι απαιτήσεις ισχύος είναι μικρές.)

Συμπερασματικά πρέπει να αναφέρουμε ότι η τεχνολογία αυτή, θα εφαρμοστεί αρχικά σε σχετικά χαμηλόστροφους βενζινοκινητήρες, ενώ δεν προβλέπεται η χρήση της σε κινητήρες Diesel. Τέλος, τα ωφέλη θα είναι σημαντικά σε όλους τους τομείς, ενώ πιο συγκεκριμένα οι εκπομπές ρυπογόνων ουσιών αναμένεται να μειωθούν στο ελάχιστο.

3.6. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΟΥ (E.G.R.)

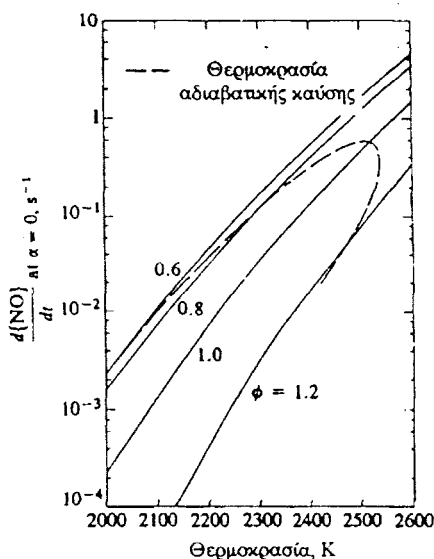
Όπως έχει εξετασθεί, τα συστήματα έγχυσης ενσωματώνουν στις συμπληρωματικές λειτουργίες τους ένα σύστημα επιστροφής και μετάκαυσης ενός ποσοστού καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation), προκειμένου να μειωθούν δραστικά οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x).

Όπως είναι γνωστό από τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο (NO) είναι αυτό που παράγεται κυρίως μέσα στον κύλινδρο των μηχανών. Κύρια πηγή είναι η οξείδωση του αζώτου του ατμοσφαιρικού αέρα. Μπορεί βέβαια να παραχθεί και από το άζωτο του καυσίμου, όταν αυτό είναι αρκετό. Η βενζίνη περιέχει ασήμαντη ποσότητα ενώσεων του αζώτου.

Οι χημικές εξισώσεις που προσδιορίζουν την παραγωγή NO είναι οι εξής:



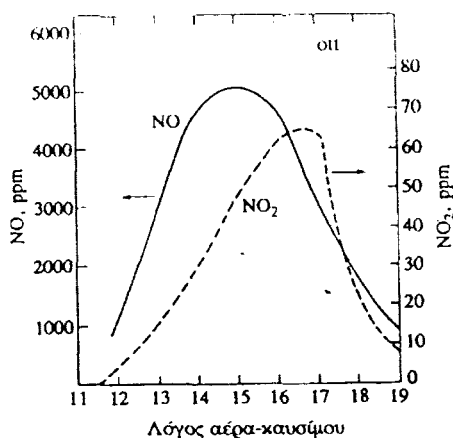
Από τις εξισώσεις αυτές προκύπτει ότι η παραγωγή NO εξαρτάται έντονα από τη θερμοκρασία. (Εικόνα 64)



Εικόνα 64: Ρυθμός παραγωγής NO σε συνάρτηση της θερμοκρασίας, για διάφορες τιμές του λόγου ϕ και πίεση 15 atm. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί σε θερμοκρασία αδιαβατικής καύσης κηροζίνης με αέρα 700 K και 15 atm. [112]

Το NO παράγεται στο μέτωπο της φλόγας και στα καυσαέρια που αφήνει πίσω της η φλόγα. Αλλά το μέτωπο της φλόγας είναι πολύ λεπτό (περίπου 0.1 mm) και ο χρόνος που διαρκεί η καύση σε ένα τόσο λεπτό στρώμα είναι ελάχιστος. Τα καυσαέρια που αφήνει πίσω της η φλόγα συμπιέζονται καθώς η καύση προχωρεί, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία τους να ανεβαίνει. Για τον λόγο αυτόν η ποσότητα NO που παράγεται μέσα στα καυσαέρια είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ποσότητα που παράγεται στο μέτωπο της φλόγας, η οποία μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Επομένως η παραγωγή NO δεν εξαρτάται βασικά από τη διαδικασία της καύσης, αλλά από τις συνθήκες που επικρατούν μέσα στα καυσαέρια μετά την καύση. Υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλες συγκεντρώσεις οξυγόνου οδηγούν σε μεγάλους ρυθμούς παραγωγής NO. Αντίθετα απ' αυτό που συμβαίνει με το ατμοσφαιρικό άζωτο, η παραγωγή NO από το άζωτο του καυσίμου δεν εξαρτάται τόσο έντονα από τη θερμοκρασία.

Η ποσότητα NO₂ που παράγεται από τις μηχανές Otto είναι αμελητέα σε σχέση με την ποσότητα του NO. Στην εικόνα 65 φαίνονται οι εκπομπές NO και NO₂ μιας μηχανής Otto.



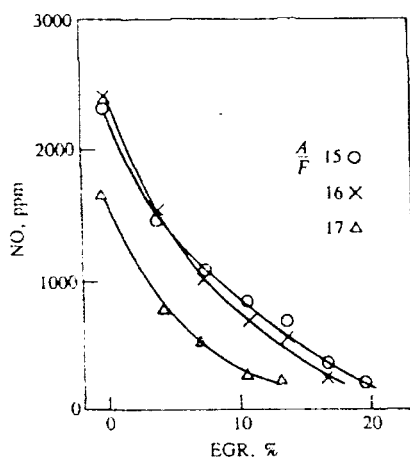
Εικόνα 65: Συγκεντρώσεις NO και NO₂ στην εξαγωγή μηχανής Otto, σε συνάρτηση του λόγου αέρα - καυσίμου, στις 1500 rpm και πλήρες φορτίο. [112]

Η λειτουργία του συστήματος είναι απλή:

Ένα ποσοστό των καυσαερίων ανακυκλώνεται με τη βοήθεια μιας βαλβίδας και οδηγείται στο σύστημα εισαγωγής, όπου αναμιγνύεται με το καθαρό μίγμα. Η ανάμειξη γίνεται κάτω ακριβώς από τη δικλείδα στραγγαλισμού της ροής. Το ανακυκλούμενο καυσαέριο μειώνει τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στους θαλάμους καύσης και άρα

μειώνει τον ρυθμό παραγωγής οξειδίων του αζώτου. Προς το σκοπό αυτό συντελεί και το εναπομένον καυσαέριο, η ποσότητα του οποίου εξαρτάται από το φορτίο, τον χρονισμό των βαλβίδων, τον λόγο αέρα-καυσίμου και τη σχέση συμπίεσης.

Στην εικόνα 66 φαίνεται η επίδραση της αύξησης του E.G.R. στη μείωση της εκπομπής NO. Μεγάλη μείωση NO παρατηρείται για ποσοστό EGR 10-25%.



Εικόνα 66: Μεταβολή της συγκέντρωσης οξειδίων του αζώτου, σε συνάρτηση του ποσοστού του ανακυκλούμενου καυσαερίου (EGR) μιας μηχανής Otto, στις 1600 rpm, με ογκομετρικό βαθμό απόδοσης 50%, προπορεία έγχυσης για μέγιστη ροπή. [112]

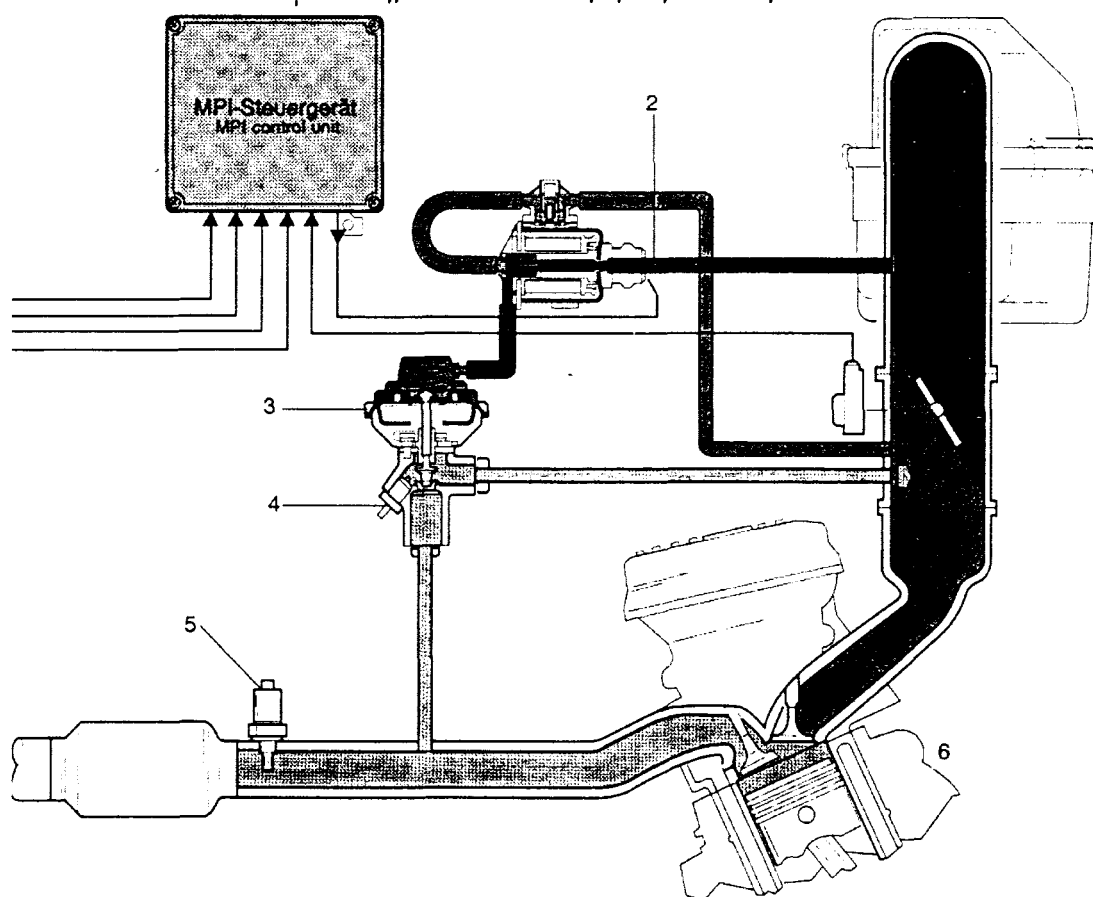
Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση του EGR δεν αποτελεί πανάκεια. Σε μεγάλα ποσοστά μειώνει πολύ την ταχύτητα της καύσης με αποτέλεσμα τη μείωση της σταθερότητας της καύσης. Το μέγιστο ποσοστό EGR που μπορεί να δεχθεί ένας θάλαμος καύσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του, το φορτίο και τις στροφές της μηχανής και τον ισοδύναμο λόγο. Το ποσοστό αυτό είναι 15% έως 30%, υπό ομαλές συνθήκες, μερικού φορτίου. Οι μηχανές που έχουν ταχύτερη καύση μπορούν να δεχτούν τα μεγαλύτερα ποσοστά. Επειδή το EGR μειώνει την ταχύτητα καύσης και αυξάνει την διαφορά καύσης από κύκλο σε κύκλο, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της, εκπομπής HC. Τέλος, η εκπομπή CO δεν επηρεάζεται σημαντικά από το EGR.

Σημαντικό στοιχείο αποτελεί επίσης, το γεγονός ότι το EGR χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε μερικά φορτία όπου οι απαιτήσεις ισχύος δεν είναι μεγάλες. Αυτό είναι ευνόητο, γιατί όσο μεγαλύτερο το ποσοστό ανακυκλούμενου καυσαερίου στον κύλινδρο, αποτρέπει την πλήρωση του με καθαρό μίγμα και κατά συνέπεια μειώνει και τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης της μηχανής.

Για το σκοπό αυτό λοιπόν, τα συστήματα έγχυσης (μέσω των οποίων ελέγχεται το ποσοστό EGR) διαθέτουν ένα χαρακτηριστικό πεδίο ρύθμισης των επιστρεφόμενων καυσαερίων, το οποίο διαμορφώνεται βάσει των στροφών του κινητήρα, της ποσότητας του αναρροφούμενου αέρα και τέλος της επικρατούσας πίεσης αναρρόφησης (φορτίο).

Η ηλεκτρονική μονάδα έλεγχου δίνει τις κατάλληλες εντολές στη ρυθμιστική βαλβίδα ροής των καυσαερίων (προς την πολλαπλή εισαγωγής), ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και της θερμοκρασίας των καυσαερίων, έτσι ώστε, να οδηγείται προς την αναρρόφηση η επιτρεπόμενη ποσότητα καυσαερίων, χωρίς να δημιουργεί επιπλοκές στην ομαλή λειτουργία του κινητήρα.

Παρακάτω φαίνεται η σχηματική διάταξη ενός συστήματος επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR). (Εικόνα 67)



Εικόνα 67: Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων [111]

1. Μονάδα ελέγχου. 2. Οδηγητική βαλβίδα της ρυθμιστικής βαλβίδας ροής καυσαερίων, 3. Βαλβίδα ρύθμισης ροής των καυσαερίων προς την αναρρόφηση του αέρα, 4. Αισθητήρας ελέγχου της θερμοκρασίας των καυσαερίων, 5. Αισθητήρας Lambda 6. Σώμα κινητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η βενζίνη ήταν πολύ ακριβή σε όλες τις χώρες εκτός από τις Η.Π.Α. Έτσι, η Ευρώπη και η Ιαπωνία ωθήθηκαν στην κατασκευή μικρών πετρελαιοκινητήρων που πλέον προοριζόταν για εκτεταμένη χρήση στα επιβατικά οχήματα αλλά και τα ελαφρά φορτηγά.

Τα συνήθη χαρακτηριστικά ενός βενζινοκινητήρα είναι η μεγάλη έκταση του αριθμού στροφών (R.P.M.) , η εύκολη εκκίνηση , η ομαλή και αθόρυβη λειτουργία και η άμεση επιτάχυνση και απόκριση. Στις εφαρμογές της αυτοκινητοβιομηχανίας οι κατασκευαστές επιθυμούσαν για τους πετρελαιοκινητήρες τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας επιτυγχάνοντας όμως μεγαλύτερη οικονομία και σταθερότητα. Τα βασικά πλεονεκτήματα του πετρελαιοκινητήρα είναι η χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου (μεγαλύτερη θερμική απόδοση) , η ανθεκτικότητα του καθώς και οι χαμηλές εκπομπές ρύπων.

Η τρομερή επιβάρυνση του περιβάλλοντος με επιβλαβείς ρυπογόνες ουσίες και η προκληθείσα «πετρελαϊκή κρίση» στις αρχές της δεκαετίας του 1970, υποχρέωσαν τα κράτη να πάρουν αυστηρά μέτρα ως προς την κατανάλωση καυσίμου των αυτοκινήτων και ταυτόχρονα να εκδώσουν αυστηρές προδιαγραφές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας των αυτοκινήτων. Έτσι αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν νέα συστήματα και τεχνολογίες, τα οποία έχουν σαν απώτερο σκοπό τον βέλτιστο έλεγχο όλων των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν:

- Την βελτιστοποίηση της απόδοσης του κινητήρα
- Την σημαντική μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα, λόγω της βέλτιστης καύσης του μίγματος κάτω από όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.
- Τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.
- Την καλύτερη συμπεριφορά του κινητήρα στην ψυχρή εκκίνηση.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα κυριότερα, τα οποία χωρίζονται στις δύο παρακάτω ενότητες:

- Συστήματα εξαερισμού του στροφαλοφόρου και επιστροφής και μετάκαυσης των καυσαερίων
- Συστήματα εγχύσεως πετρελαιοκινητήρων

4.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ (PCV) ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (EGR)

Όπως συζητήθηκε στο Κεφάλαιο 1, ο πετρελαιοκινητήρας παράγει χαμηλές τιμές ρύπων υδρογονανθράκων (HC), μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) σε σύγκριση με τους βενζινοκινητήρες. Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) μπορούν να ελαττωθούν αν μειωθεί και η θερμοκρασία του κυλίνδρου. Οι μεγαλύτερου κυβισμού πετρελαιοκινητήρες μπορεί να χρησιμοποιούν σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR=Exhaust-Gas-Recirculation) προκειμένου να ελαττωθούν οι ρύποι.

Ο καπνός εμφανίζεται, όταν δε γίνεται καλή καύση μέσα στο θάλαμο καύσεως. Το καύσιμο που δεν καίγεται σχηματίζει αιθάλη. Οτιδήποτε ελαττώνει την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται μέσα στους κυλίνδρους αυξάνει την αναλογία του καυσίμου στον αέρα που έχει εισέλθει, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται πλούσιο μίγμα. Το ίδιο μπορεί να συμβεί αν μεταβληθεί ο χρονισμός της προέγχυσης. Θα πρέπει να θυμάστε ότι οι μεγάλοι σε κυβισμό πετρελαιοκινητήρες δυσκολεύουν την ελάττωση των ρύπων επειδή οι ποσότητες καυσίμου που καίγονται είναι πολύ μεγάλες, παράγοντας έτσι μεγάλες ποσότητες αιθάλης (κάπνας).

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες τους οποίους λαμβάνουν υπόψη οι σχεδιαστές κινητήρων προκειμένου να εκπέμπονται όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα ρύπων, σε συνδυασμό με την οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου και την υψηλή απόδοση του κινητήρα. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι η μορφή του θαλάμου καύσεως, η θέση και η γωνία του μπεκ, η μορφή του νέφους των σταγονιδίων, ο χρονισμός της προέγχυσης (αβάνς) και ο χρονισμός του στροφαλοφόρου. Βασικά, με τον πετρελαιοκινητήρα, τα επίπεδα των ρύπων έχουν ελαττωθεί με την προσθήκη μερικών πρόσθετων συστημάτων πάνω στον κινητήρα. Αυτό έχει θετικό αποτέλεσμα στην οικονομία καυσίμου και στην απόδοση.

4.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΥ

Το Σύστημα Εξαερισμού του Στροφαλοφόρου εκτελεί την ίδια εργασία όπως το σύστημα (PCV=Positive Crankcase Ventilation) στο βενζινοκινητήρα. Τα αέρια (αναθυμιάσεις) που εξέρχονται από το στροφαλοθάλαμο και προσάγονται στην πολλαπλή εισαγωγής αναμειγνύονται με τον αέρα εισαγωγής. Απομακρύνοντας τα αέρια από το στροφαλοθάλαμο μειώνεται η πίεση αποτρέποντας έτσι διαρροές λαδιού από τις τσιμούχες λόγω της αυξημένης πίεσης που θα υπήρχε αν δεν απομακρύνονταν τα αέρια αυτά.

Αντί της βαλβίδας PCV, μερικοί πετρελαιοκινητήρες είναι εφοδιασμένοι με μια ρυθμιστική βαλβίδα (CDRV) για την αποσυμπίεση του στροφαλοθαλάμου. Ο καθαρός αέρας που αναρροφάται διαμέσου ενός φίλτρου μέσα στο στροφαλοθάλαμο αναμιγνύεται με τα αέρια (αναθυμιάσεις) και στη συνέχεια αναρροφούνται διαμέσου της βαλβίδας CDRV στην πολλαπλή εισαγωγή. Η ρυθμιστική βαλβίδα CDRV είναι σχεδιασμένη να διατηρεί την πίεση στο στροφαλοθάλαμο σε επιθυμητά επίπεδα. Η υπερβολικά μικρή υποπίεση όπως και η μεγάλη πίεση μπορεί να προκαλέσει διαρροές λαδιού από τις τσιμούχες του στροφαλοθαλάμου και μάλιστα ίσως την εισροή λαδιού στην πολλαπλή εισαγωγή. Στο ρελαντί, η βαλβίδα CDRV είναι πλήρως ανοιχτή ώστε να αποτραπεί η δημιουργία πίεσης στο στροφαλοθάλαμο. Καθώς η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα αυξάνεται, τραβήξτε το διάφραγμα που είναι προφορτισμένο μ' ένα ελατήριο πιο κοντά προς το σωλήνα εξόδου. Αυτό αποτρέπει την πολύ χαμηλή υποπίεση στο στροφαλοθάλαμο και την πιθανή είσοδο λαδιού μέσα στους αγωγούς εισαγωγής. Για να αποτραπεί η διαρροή λαδιού, πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν ένα διαχωριστή αναθυμιάσεων.

4.2.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Το σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μειωθούν τα επίπεδα εκπομπής των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Όπως φανερώνει και το όνομα του συστήματος, κάποια ποσότητα από τα καυσαέρια επιστρέφει και αναμιγνύεται με τον αέρα εισαγωγής για να καούν μαζί με το καύσιμο. Αναμιγνύοντας τον αέρα εισαγωγής με ποσότητα καυσαερίου μειώνεται η θερμοκρασία καύσεως. Το οξυγόνο που περιέχεται στα καυσαέρια είναι σε πολύ μικρές ποσότητες και δε θα συνεισφέρει στη διαδικασία καύσης. Όταν ξεκινήσει η διαδικασία της καύσης, αυξάνεται απότομα η θερμοκρασία προκαλώντας την εκτόνωση των αερίων. Καθώς εκτονώνονται τα αέρια, απορροφούν τη θερμότητα της

καύσης, ελαττώνοντας τη θερμοκρασία (260γ).

Η βαλβίδα EGR (ανακυκλοφορίας καυσαερίων) βρίσκεται εγκατεστημένη στον αγωγό προσαγωγής αέρα ή στην πολλαπλή εισαγωγή. Από το σημείο αυτό, οι αναθυμιάσεις εισέρχονται στο ρεύμα του αέρα εισαγωγής). Στο ρελαντί, η βαλβίδα EGR είναι τελείως ανοιχτή, έλκεται και κρατιέται ανοιχτή από την αντλία υποπίεσης. Όταν ο μοχλός του επιταχυντήρα φθάσει σ' ένα συγκεκριμένο σημείο, η βαλβίδα EGR κλείνει. Ένα εξάρτημα που λειτουργεί σε συνδυασμό με τη βαλβίδα EGR είναι, ο ρυθμιστής πίεσης του συστήματος ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EPR=Exhaust Pressure Regulator). Η βαλβίδα EPR είναι εγκατεστημένη στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων. Η βαλβίδα αυτή είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να περιορίζει ή να σταματάει τη ροή των καυσαερίων αυξάνοντας όμως και την πίεση στο στροφαλοθάλαμο, όταν αυτό απαιτείται ανάλογα με τη θέση του επιταχυντήρα. Στο ρελαντί, η βαλβίδα EPR είναι κλειστή. Σ' ένα προκαθορισμένο σημείο, η EPR ανοίγει μειώνοντας την πίεση αναστροφής. Με τη βαλβίδα EPR κλειστή στο ρελαντί, τα περισσότερα από τα καυσαέρια ωθούνται διαμέσου της βαλβίδας EGR. Θυμηθείτε ότι στο ρελαντί υπάρχει πολύ μικρή υποπίεση, πολύ μικρή για να αναρροφήσει την απαραίτητη ποσότητα καυσαερίων, έτσι στο ρελαντί, η EPR είναι πλήρως κλειστή και η EGR τελείως ανοιχτή.

Ο έλεγχος των βαλβίδων EGR και EPR μπορεί να ελέγχονται από μια ρυθμιστική βαλβίδα υποπίεσης (VRV=Vacuum Regulator Valve) ή από το διακόπτη θέσης του επιταχυντήρα (TPS=Throttle Position Switch) με τη βοήθεια ηλεκτρικών σωληνοειδών ή με μια μονάδα ελέγχου /εγκέφαλο (PCM = Powertrain Control Module). Η βαλβίδα VRV επιτρέπει στην υποπίεση να περάσει, όταν ο άξονας του επιταχυντήρα είναι στη θέση του ρελαντί, κόβει δε αυτήν, όταν είναι στην θέση τερματισμού. Στις ενδιάμεσες θέσεις του επιταχυντήρα, η θέση της βαλβίδας είναι ανάλογη της θέσης του επιταχυντήρα. Καθώς η θέση του επιταχυντήρα κινείται προς τη μέγιστη παροχή καυσίμου, η δύναμη του σήματος της υποπίεσης ελαττώνεται. Αυτό είναι απαραίτητο για τον έλεγχο των σημείων των αλλαγών ταχυτήτων του αυτόματου κιβωτίου μετάδοσης κίνησης αλλά και για τον έλεγχο της βαλβίδας EGR. Ο αισθητήρας TPS είναι απλά ένας διακόπτης που βρίσκεται εγκατεστημένος στον άξονα του επιταχυντήρα και ο οποίος είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένος με τα σωληνοειδή που ελέγχουν την υποπίεση προς την EGR και EPR. Στο ρελαντί, ο αισθητήρας TPS:

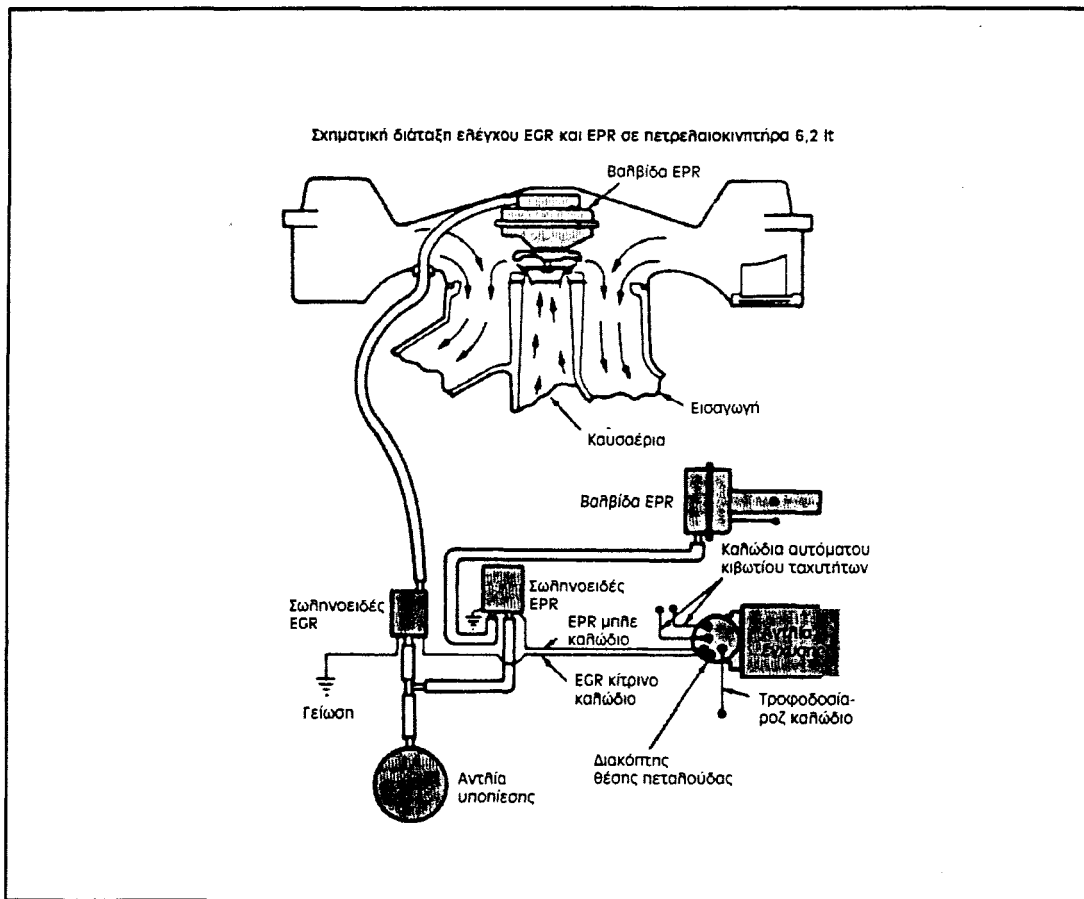
- δε θα ενεργοποιηθεί το σωληνοειδές EGR, το σωληνοειδές αυτό λοιπόν είναι ανοιχτό και η ομώνυμη βαλβίδα είναι ανοιχτή.
- θα ενεργοποιηθεί το σωληνοειδές EPR, το σωληνοειδές αυτό λοιπόν είναι ανοικτό και η ομώνυμη βαλβίδα είναι κλειστή.

Βασικά υπάρχουν δύο τύποι σωληνοειδών: αυτά που σε κανονική θέση είναι κλειστά

και αυτά που είναι ανοιχτά. Κανονική θέση σ' αυτήν την περίπτωση σημαίνει η θέση του σωληνοειδούς, όταν αυτό δεν τροφοδοτείται από ηλεκτρικό ρεύμα. Κλειστό σε κανονική θέση σημαίνει ότι δεν επιτρέπεται να περάσει οποιοδήποτε υγρό ή ακόμη και η υποπίεση αν δε διαρρέεται από ρεύμα η περιέλιξη του σωληνοειδούς. Ένα ανοιχτό σε κανονική θέση σωληνοειδές θα επιτρέψει στο υγρό ή στην υποπίεση να περάσει χωρίς να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα η περιέλιξη του. Η βαλβίδα EGR είναι ένα σωληνοειδές που σε κανονική θέση είναι ανοιχτό ενώ με τη βαλβίδα EPR συμβαίνει το αντίθετο.

Σ' ένα προκαθορισμένο σημείο, ο αισθητήρας TPS:

- θα ενεργοποιηθεί το σωληνοειδές EGR, το σωληνοειδές αυτό λοιπόν είναι κλειστό και η ομώνυμη βαλβίδα είναι κλειστή
- δε θα ενεργοποιηθεί το σωληνοειδές EPR, το σωληνοειδές αυτό λοιπόν είναι κλειστό και η ομώνυμη βαλβίδα είναι ανοιχτή. (Εικόνα 68)



Εικόνα 68: Ο αισθητήρας TPS ελέγχει τις βαλβίδες EGR και EPR [114]

Πολλά νέα συστήματα χρησιμοποιούν έναν εγκέφαλο (PCM) για να ελέγχονται τα επίπεδα των ρύπων που εκπέμπει ο πετρελαιοκινητήρας. Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται τις

διάφορες πληροφορίες, όπως η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, η θέση του επιταχυντήρα, οι στροφές του κινητήρα και η υποπίεση στη γραμμή της βαλβίδας EGR.

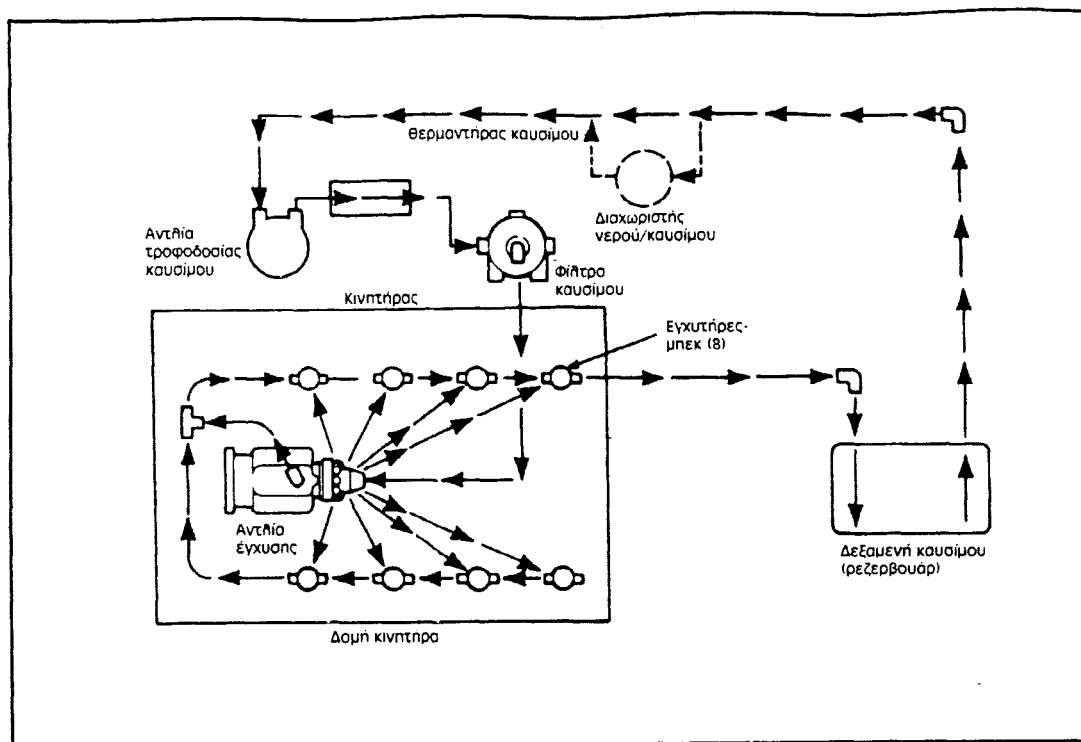
Βασιζόμενος ο εγκέφαλος σ' αυτές τις πληροφορίες ελέγχει καλύτερα τη ροή των καυσαερίων στο σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR). Ο εγκέφαλος (PCM) μπορεί να ελέγξει την ποσότητα των καυσαερίων που θα διοχετευθούν στην πολλαπλή εισαγωγή, κάτω από μεγάλη κλίμακα συνθηκών. Το αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση των επιπέδων των ρύπων σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Όπως ο αισθητήρας TPS (αισθητήρας θέσης επιταχυντήρα) ελέγχει τα σωληνοειδή, έτσι και ο εγκέφαλος λειτουργεί τις βαλβίδες EGR και EPR. Ένας αισθητήρας απόλυτης πίεσης (MAP=Manifold Absolute Pressure) ελέγχει την υποπίεση στη γραμμή υποπίεσης EGR. Το σήμα του αισθητήρα απόλυτης πίεσης (MAP) χρησιμοποιείται για μετατροπή του ελέγχου της EGR και να αποσταλεί ένας κωδικός βλάβης εάν παρουσιαστεί εσφαλμένο σήμα υποπίεσης.

4.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΧΥΣΗΣ

Το σύστημα τροφοδοσίας είναι από τα σημαντικότερα σε έναν πετρελαιοκινητήρα. Βασικός του σκοπός είναι η σωστή τροφοδοσία των κυλίνδρων με καύσιμο. Από αυτό εξαρτάται σε πολύ μεγάλο ποσοστό η σωστή λειτουργία του κινητήρα, η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου καθώς και η ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων.

Εξαρτήματα του Συστήματος Τροφοδοσίας Καυσίμου

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία συστημάτων τροφοδοσίας πετρελαιομηχανών, αλλά όλα αυτά μοιράζονται τα ίδια χαρακτηριστικά. Τα εξαρτήματα ενός συνήθους συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου σε έναν πετρελαιοκινητήρα είναι: το ρεζερβουάρ (δεξαμενή καυσίμου), η μονάδα μέτρησης της στάθμης καυσίμου, ο σωλήνας αναρρόφησης, οι αγωγοί μεταφοράς του καυσίμου (σωληνώσεις), ο αισθητήρας ανίχνευσης νερού μέσα στο καύσιμο, ο διαχωριστής νερού-καυσίμου, η αντλία τροφοδοσίας καυσίμου, ο θερμαντήρας καυσίμου, η αντλία εγχύσεως και τα μπεκ. (Εικόνα 69)



Εικόνα 69: Εξαρτήματα του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου [114]

Στο σημείο αυτό θα γίνει αναφορά για τα κυριότερα συστήματα τα οποία επιδρούν στην κατανάλωση και τους ρύπους.

4.3.1. ΑΝΤΛΙΑ ΕΓΧΥΣΕΩΣ

Η αντλία εγχύσεως εκτελεί αρκετές λειτουργίες στις οποίες περιλαμβάνονται:

- μέτρηση της παροχής του καυσίμου
- κατάθλιψη του καυσίμου
- χρονισμός της παροχής του καυσίμου (προέγχυση-αβάνς)
- έλεγχος των στροφών του κινητήρα
- σβήσιμο του κινητήρα

Μέτρηση της Παροχής του Καυσίμου. Οι αντλίες εγχύσεως μετρούν ή ελέγχουν την ποσότητα του καυσίμου που δέχεται ο κύλινδρος. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από την ισχύ του κινητήρα και τις στροφές του.

Κατάθλιψη του Καυσίμου. Το καύσιμο πρέπει να διοχετεύεται στα μπεκ κάτω από υψηλή

πίεση προκειμένου να λειτουργεί ο κινητήρας ομαλά. Η αντλία εγχύσεως μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα εξαρτήματα απαραίτητα για την κατάθλιψη του καυσίμου. Η διευθέτηση και ο αριθμός των αντλητικών στοιχείων ακολουθούν τις ανάγκες του κινητήρα. Από το αντλητικό στοιχείο εξαρτάται η πίεση του καυσίμου. Το υλικό κατασκευής των αντλητικών στοιχείων είναι χάλυβας εξαιρετικής ποιότητας.

Χρονισμός της Παροχής του Καυσίμου (Αβάνς-Προέγχυση). Υπάρχει ένα κρίσιμο σημείο στη λειτουργία του κινητήρα το οποίο είναι ο χρόνος που πρέπει να ψεκαστεί το καύσιμο μέσα στον κύλινδρο. Καθώς αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα το καύσιμο πρέπει να ψεκάζεται νωρίτερα για να υπάρχει αρκετός χρόνος για την ανάμειξη και την καύση του, έτσι εξασφαλίζεται η καλή θερμική απόδοση του καυσίμου. Η αντλία εγχύσεως χρονίζει αυτόματα το αβάνς (προέγχυση καυσίμου) μ' έναν μηχανικό μηχανισμό που υπάρχει επάνω της. Πολλοί από τους πετρελαιοκινητήρες δεν απαιτούν έξτρα απόδοση και έτσι δεν τοποθετείται σ' αυτούς ο μηχανισμός προεγχύσεως του καυσίμου.

Έλεγχος των Στροφών του Κινητήρα. Η αντλία εγχύσεως ελέγχει τις στροφές του κινητήρα κάτω από μεγάλη ποικιλία συνθηκών. Ο ρυθμιστής στροφών μπορεί να είναι τμήμα του κινητήρα ή της αντλίας εγχύσεως. Οι ρυθμιστές χρησιμοποιούνται στους τράκτορες (ρυμουλκά οχήματα) και στις γεννήτριες όπου εκεί απαιτείται μεταβλητότητα των στροφών. Με τον έλεγχο του καυσίμου απ' το χειριστή, ο ρυθμιστής στροφών αυξομειώνει ελαφρά την ποσότητα του καυσίμου για να διατηρήσει τις στροφές του κινητήρα σταθερές κάτω από τις μεταβολές του φορτίου. Για παράδειγμα, οι στροφές του κινητήρα πρέπει να είναι σταθερές, όταν λειτουργεί η γεννήτρια, έτσι ώστε η τάση και οι στροφές να παραμένουν στα επιθυμητά επίπεδα. Καθώς η γεννήτρια αντισταθμίζει τα διαφορετικά φορτία, το ίδιο πρέπει να κάνει και ο κινητήρας. Ο ρυθμιστής στροφών θα προσθέσει περισσότερο καύσιμο καθώς αυξάνεται το φορτίο της γεννήτριας, προκειμένου να διατηρηθούν σταθερές οι στροφές. Ο ρυθμιστής στροφών επίσης ελέγχει το μέγιστο του αριθμού των στροφών ώστε να αποτραπεί η ζημιά στον κινητήρα.

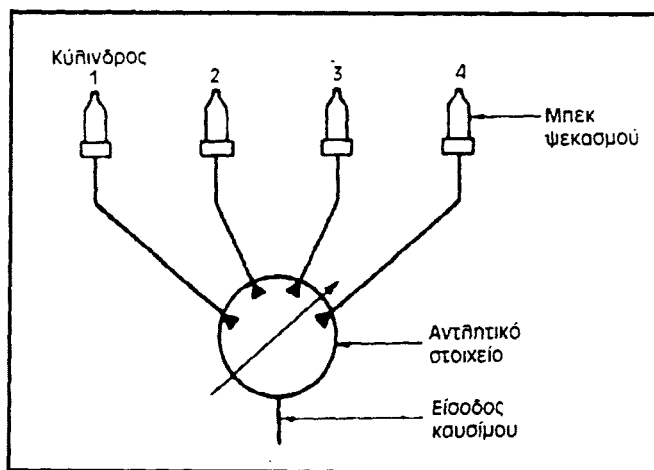
Στις εφαρμογές των αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται δύο ρυθμιστές στροφών, ένας για το μέγιστο και ένας για το ελάχιστο των στροφών. Ο ρυθμιστής ελέγχει το ρελαντί και το ανώτατο όριο. Οι στροφές του κινητήρα μεταξύ του ρελαντί και του ανώτατου ορίου ελέγχονται από τον οδηγό. Σ' ένα φορτηγό, ο οδηγός πρέπει να πατήσει το πεντάλ του γκαζιού για να διατηρεί μία σταθερή ταχύτητα καθώς παρουσιάζονται διαφορετικά φορτία. Ο ρυθμιστής στροφών αναλαμβάνει τις επιμέρους ρυθμίσεις.

Σβήσιμο του Κινητήρα. Οι πετρελαιοκινητήρες σβήνουν, όταν σταματήσει ο ψεκασμός του καυσίμου μέσα στους κυλίνδρους. Χρησιμοποιείται ειδικός μηχανισμός για να αποτρέπεται η κατάθλιψη καυσίμου μέσα στους κυλίνδρους. Με τον τρόπο αυτό παύει ο κινητήρας να λειτουργεί. Ο μηχανισμός αυτός ενεργοποιείται από ένα μοχλό ο οποίος πρέπει να τεθεί στη θέση OFF. Σ' άλλες πάλι εφαρμογές ο μηχανισμός αυτός είναι ηλεκτρικός και ενεργοποιείται από ηλεκτρικό κύκλωμα. Κόβοντας την τάση παύει ο κινητήρας να λειτουργεί.

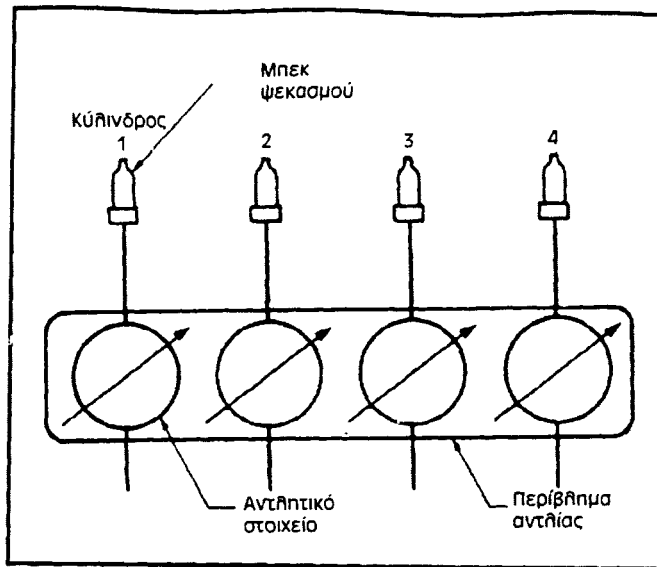
Είδη Αντλιών Εγχύσεως. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων κατάθλιψης του πετρελαίου και δυνατοτήτων των αντλιών εγχύσεως. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δύο βασικοί τύποι αντλιών:

- τύπου διανομέα
- εμβολοφόρου

Η αντλία εγχύσεως τύπου διανομέα χρησιμοποιεί ένα αντλητικό στοιχείο για να τροφοδοτεί με καύσιμο όλους του κυλίνδρους του κινητήρα. Από ένα αντλητικό στοιχείο διανέμεται το καύσιμο στο σωστό κύλινδρο την κατάλληλη στιγμή ακολουθώντας τη σειρά ανάφλεξης.



Εικόνα 70: Αντλία τύπου διανομέα που ένα αντλητικό στοιχείο για όλα τα μπεκ. [114]



Εικόνα 71: Η εμβολοφόρος αντλία εγχύσεως φέρει ένα αντλητικό στοιχείο για κάθε μπεκ.
[114]

Ο τύπος αυτός της αντλίας είναι ελαφρύς και κοστίζει λιγότερο από τον εμβολοφόρο με πολλά αντλητικά στοιχεία. (Εικόνα 70)

Ο εμβολοφόρος τύπος αντλίας, χρησιμοποιεί ένα αντλητικό στοιχείο για κάθε κύλινδρο (Εικόνα 71). Ο τύπος αυτός αντλίας εγχύσεως κυκλοφορεί σε πολλές παραλλαγές και χρησιμοποιείται από τους μικρούς πετρελαιοκινητήρες μέχρι τους πολύ μεγάλους. Είναι πολύ αξιόπιστη αντλία, αλλά απαιτεί περισσότερο χώρο και είναι πιο ακριβής από τον τύπο διανομέα. Η αντλία εγχύσεως αυτού του τύπου είναι στιβαρής κατασκευής με πολύ μικρές ανοχές και είναι κατασκευασμένη με υλικά πολύ καλής ποιότητας. Το καύσιμο που δεν έχει φιλτραριστεί καλά μπορεί να προκαλέσει ζημιά στις συναρμογές σύσφιγξης που υπάρχουν μεταξύ των εξαρτημάτων της αντλίας.

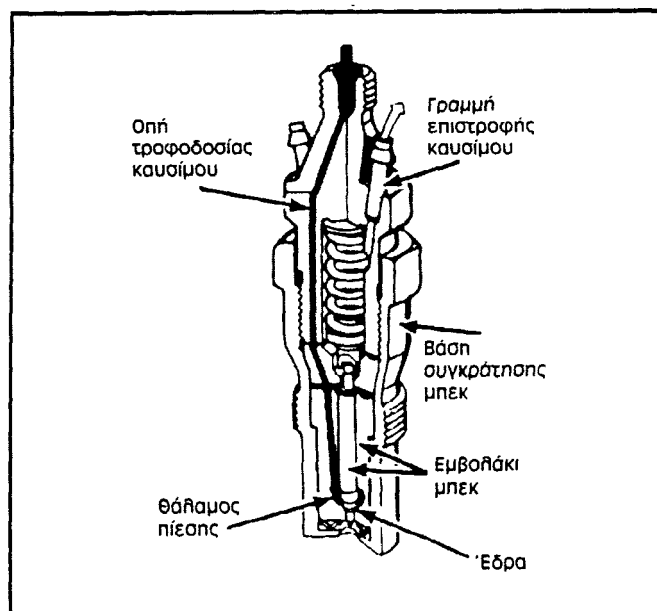
4.3.2. ΜΠΕΚ ΨΕΚΑΣΜΟΥ (ΑΚΡΟΦΥΣΙΑ)

Τα μπεκ ψεκασμού είναι εγκατεστημένα στην κυλινδροκεφαλή με το μπεκ προς το θάλαμο καύσεως. Η βάση συγκράτησης του μπεκ το συγκρατεί και το ασφαλίζει στη θέση του. Η γραμμή του καυσίμου είναι συνδεδεμένη στη βάση συγκράτησης του μπεκ με το ακροφύσιο του μπεκ μέσα στο θάλαμο καύσεως. Το μπεκ φέρει τα εξαρτήματα τα οποία κατευθύνουν το καύσιμο κάτω από υψηλή πίεση μέσα στο θάλαμο καύσης. (Εικόνα 72, 73)

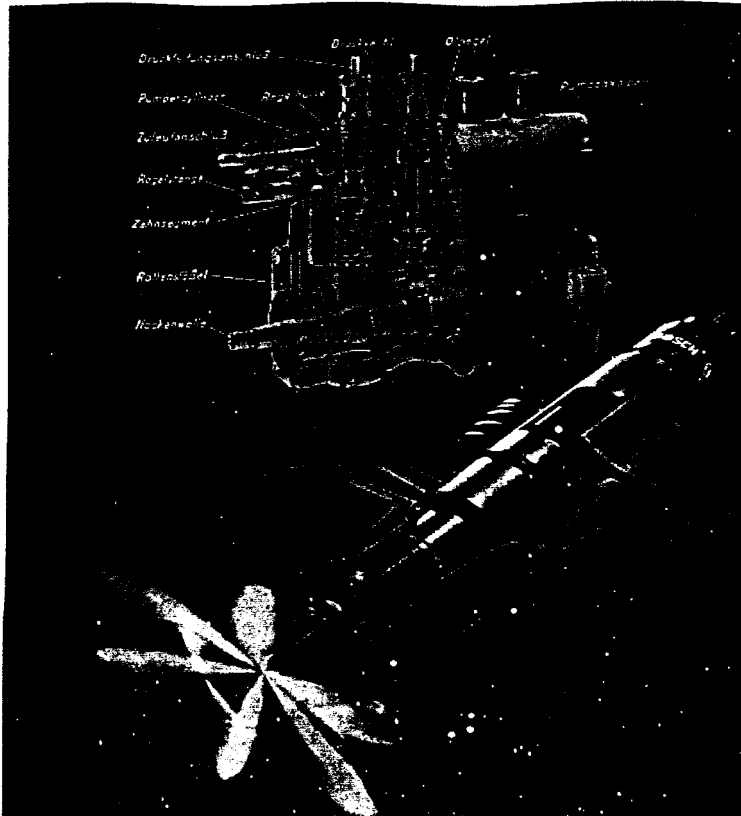
Όταν ψεκάζεται το καύσιμο μέσα στο θάλαμο καύσης, το μπεκ:

- μετατρέπει σε λεπτά σταγονίδια το πετρέλαιο
- διαχέει το νέφος των σταγονιδίων σε συγκεκριμένη μορφή (Εικόνα 74, 75)

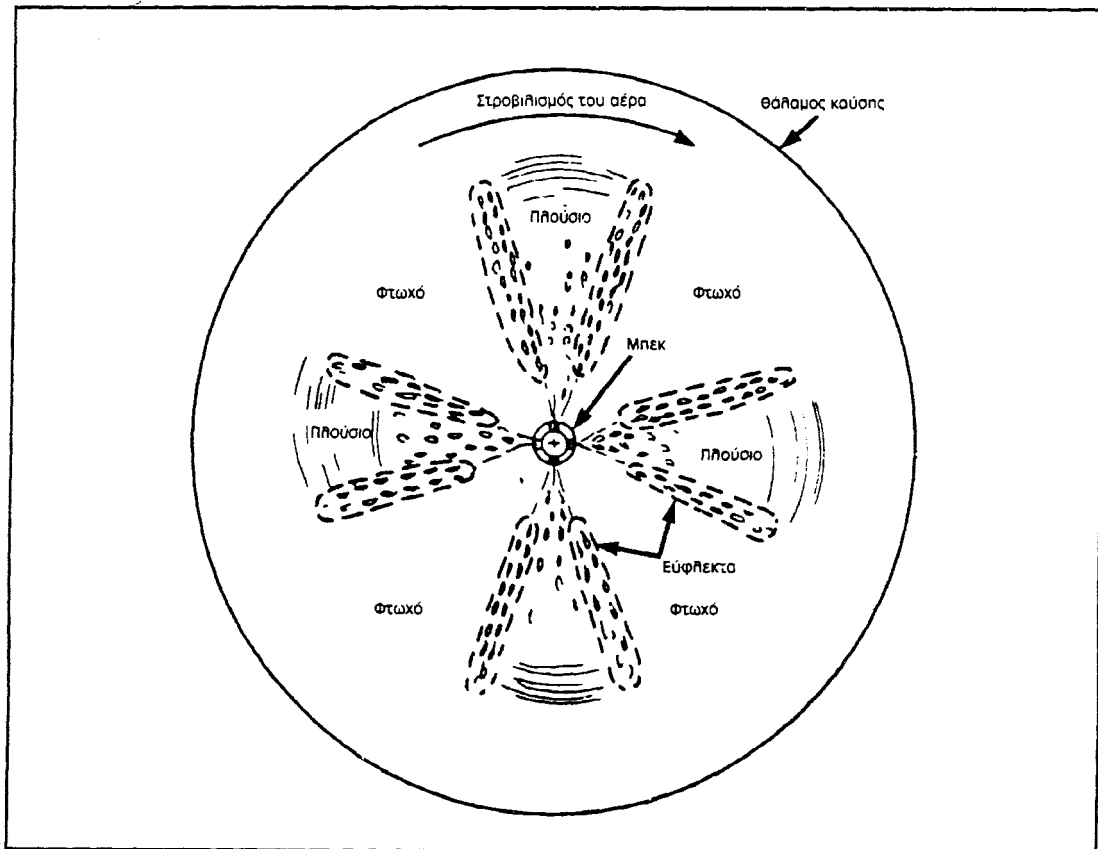
Όταν το καύσιμο μετατρέπεται σε λεπτά σταγονίδια επιτυγχάνεται η καλύτερη ανάμειξη του με τον αέρα και επιτυγχάνεται με τον τρόπο αυτόν η καλύτερη εκμετάλλευση της θερμικής του ενέργειας. Για να εξασφαλιστεί ότι όλο το καύσιμο θα αναμιχθεί με τον αέρα, το μπεκ ψεκάζει καύσιμο σε συγκεκριμένη



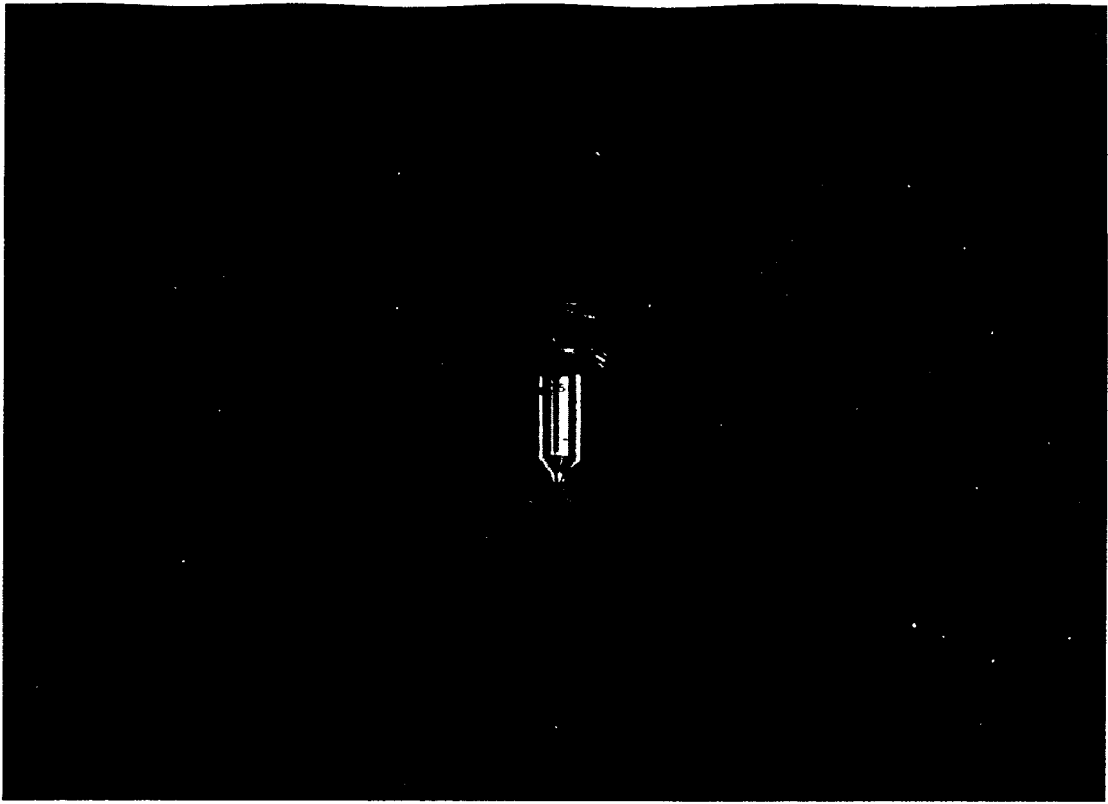
Εικόνα 72: Μπεκ ψεκασμού [115]



Εικόνα 73: Μπεκ ψεκασμού [114]



Εικόνα 74: Μορφή νέφους ψεκαζόμενων σταγονιδίων [115]



Εικόνα 75: Μορφή νέφους ψεκαζόμενων σταγονιδίων [115]

κωνική μορφή η οποία έχει μελετηθεί από τον κατασκευαστή Τα μπεκ και οι βάσεις στήριξης τους διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία σχεδιασμών, επίσης υπάρχει μεγάλη ποικιλία λειτουργιών.

Μπεκ Ψεκασμού (Χαμηλής πίεσης)

Μερικά συστήματα πετρελαιοκινητήρων δε χρησιμοποιούν αντλίες εγχύσεως για να ψεκάσουν το καύσιμο σε μεγάλη πίεση. Σ' αυτή την περίπτωση το μπεκ ψεκάζει με χαμηλή πίεση. Το έκκεντρο στον εκκεντροφόρο κινεί το έμβολο του μπεκ το οποίο καταθλίβει το πετρέλαιο που έχει παγιδευτεί στο χώρο πάνω από το έμβολο. Τα μπεκ μπορεί να ενεργοποιούνται μηχανικά ή υδραυλικά. Η μηχανική ενεργοποίηση των μπεκ χρησιμοποιείται σε πολλούς πετρελαιοκινητήρες.

Ηλεκτρονικοί Έλεγχοι

Ο ηλεκτρονικός έλεγχος του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου επιτρέπει στον κατασκευαστή του κινητήρα:

- καλύτερο έλεγχο των ρύπων
- καλή προσαρμογή του συστήματος ψεκασμού και του κινητήρα σ' ένα πολύ μεγάλο εύρος

εφαρμογών

- αυξημένη απόδοση του κινητήρα
- χαμηλά επίπεδα θορύβου

Η αντλία εγχύσεως αισθάνεται τις στροφές και το φορτίο του κινητήρα. Δεν αισθάνεται όμως παράγοντες όπως η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού του κινητήρα, τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής και άλλους. Ο εγκέφαλος (PCM = Powertrain Control Module) αισθάνεται πολλούς παράγοντες και ελέγχει τα μπεκ, τους προθερμαντήρες, το σύστημα μετάδοσης και τον αυτόματο πιλότο. Ο εγκέφαλος μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να αποτρέψει ακόμα και ζημιά στον κινητήρα.

4.3.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ‘COMMON RAIL’

Τα προηγμένα συστήματα εγχύσεων καυσίμων αποτέλεσαν τον ουσιαστικότερο λόγο ώστε οι κινητήρες diesel να διαδίδονται ολοένα και περισσότερο στην αγορά ελαφρών και βαρέων οχημάτων καθώς και επιβατικών αυτοκινήτων. Χάρη σε αυτά, οι κινητήρες diesel κατάφεραν να εναρμονιστούν πλήρως με τα ολοένα και αυστηρότερα επίπεδα εκπομπών ρύπων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το έτος 2005 υπολογίζεται ότι τα επιβατικά αυτοκίνητα με κινητήρες diesel θα ξεπερνούν σε πωλήσεις τα αντίστοιχα με βενζινοκινητήρες.

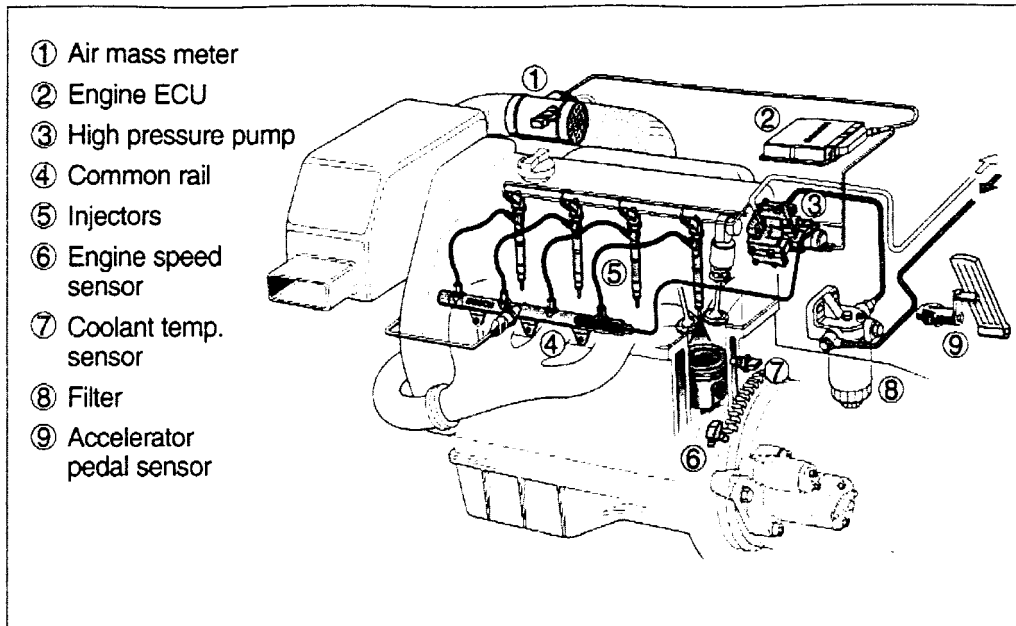
Το σημαντικό με τα συστήματα αυτά είναι ότι κατάφεραν να ανεβάσουν την πίεση έγχυσης σε πολύ υψηλές τιμές και να ελέγξουν τον αριθμό των εγχύσεων πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την καύση (δυνατότητα για προ-έγχυση και μετά-έγχυση).

Ο τρόπος με τον οποίο τα καύσιμα εγχέονται στους κυλίνδρους καθορίζει τη ροπή, την κατανάλωση καυσίμων, τις εκπομπές και το θόρυβο των μηχανών diesel. Δύο παράγοντες είναι σημαντικοί: η πίεση καυσίμων καθώς αυτά εισάγονται στον κύλινδρο, η μορφή και ο αριθμός των εγχύσεων. Ένα σύστημα “common rail” διαχωρίζει τις δύο αυτές λειτουργίες – τη δημιουργία πίεσης και τον ψεκασμό του καυσίμου στο θάλαμο καύσης. Πρώτα αποθηκεύει το καύσιμο σε υψηλή πίεση στον κεντρικό αγωγό ροής και στη συνέχεια το διανέμει στους ανεξάρτητα και ηλεκτρονικά ελεγχόμενους εγχυτήρες κατά περίπτωση. Το ουσιαστικό πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι οι πολύ υψηλές διαθέσιμες πιέσεις (αγγίζουν τα 2000 bar) είναι διαθέσιμες κάθε στιγμή, ακόμα και σε πολύ χαμηλούς ρυθμούς περιστροφής.

Ο τρόπος με τον οποίο τα συστήματα αυτού του τύπου πετυχαίνουν μεγάλη οικονομία καυσίμου και πολύ χαμηλά επίπεδα εκπομπών είναι απλός. Όλες οι μηχανές

εσωτερικής καύσεως χρειάζονται δύο βασικά συστατικά για να λειτουργήσουν: αέρα και καύσιμο. Η ακριβής παράδοση αυτών των συστατικών είναι που καθιστά την καύση καθαρή και ισχυρή. Η υψηλή πίεση παράγει μια λεπτή υδρονέφωση των καυσίμων που καίγεται καλύτερα και καθαρότερα στο θάλαμο καύσης. Επίσης για κάθε κύκλο καύσης, το σύστημα αυτό επιτρέπει μέχρι πέντε εγχύσεις. Είναι προφανής η δυνατότητα που παρέχεται για φτωχό και πλούσιο μίγμα ανάλογα με τις απαιτήσεις. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι με τον τρόπο αυτό είναι πλέον εφικτός ο έλεγχος της θερμοκρασίας του θαλάμου, η οποία αποτελεί και τον καθοριστικότερο παράγοντα για το σχηματισμό των οξειδίων του αζώτου NO_x . (Εικόνα 76)

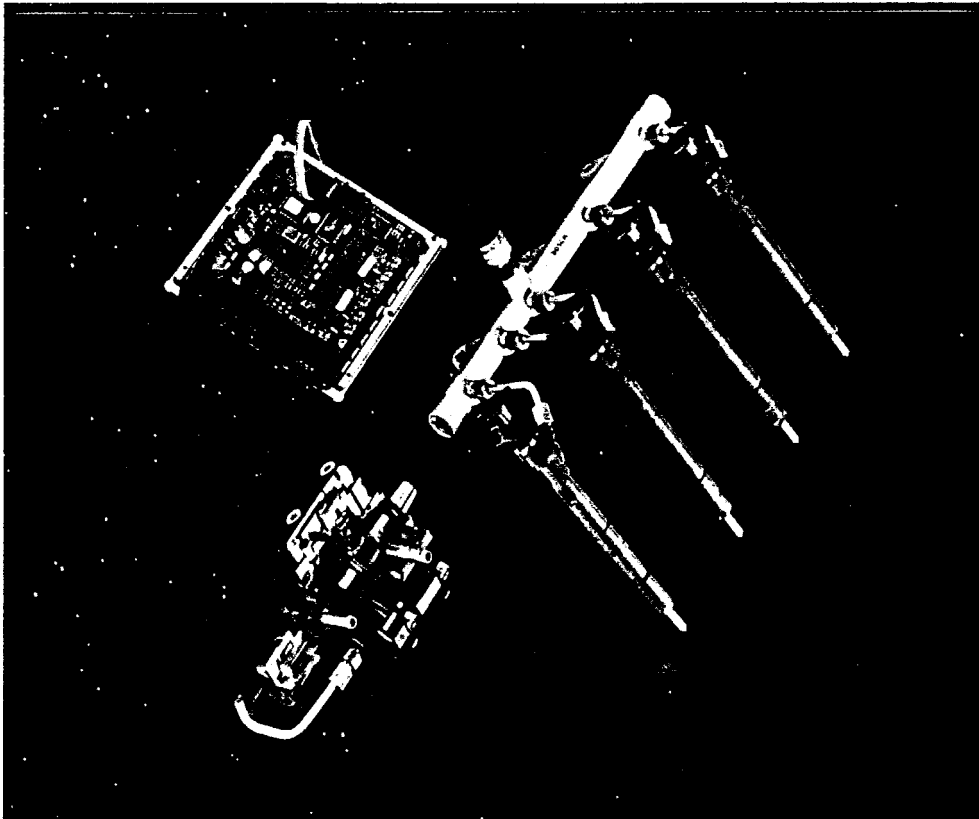
Bosch Common Rail System for Passenger Cars



BOSCH 

Reproduction free of charge with notation "Photo: Bosch"

Press photo no. 1-K5-10548



Εικόνα 76: Σύστημα common rail [115]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση οφειλόταν κυρίως στις αυτοκίνητες εκπομπές εξάτμισης. Περισσότερες από τις ανεπιθύμητες εκπομπές εξάτμισης παράγονται σε μικρές ποσότητες και αυτές είναι: τα οξειδία του αζώτου, οι άκαυτοι υδρογονάνθρακες (HC), μονοξείδιο άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), άλατα μολύβδου, πολυαρωματικοί, αιθάλες, κετόνες αλδεΐδες και νιτρολεφίμες. Από αυτούς, μόνο πρώτα τα τρία είναι σημαντικής σημασίας στις ποσότητες που παράγονται. Εντούτοις, οι συγκεντρώσεις γενικά θα μπορούσαν να γίνουν βαρύτερες καθώς έχουμε αυξανόμενους αριθμούς οχημάτων. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '80, το CO₂ άρχιζε να προκαλεί την ανησυχία, όχι επειδή είναι τοξικό αλλά επειδή υποψιάστηκε για την διευκόλυνση της διεύθυνσης των υπεριωδών ακτινών στην ατμόσφαιράς μας.

Τα αυτοκίνητα κατά τη λειτουργία τους εκπέμπουν τους εξής ρύπους (σε gr/km):

BENZINOKINΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΚΑΤΑΛΥΤΗ BENZINOKINΗΤΗΡΕΣ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑΛΥΤΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

NO _x	: 0,7	2,7	0,8
CO	: 2,2	55	1
HC _s	: 0,27	26	0,3
SO ₂			
& PM	: ~0	~0	0,22

Οι βενζινοκινητήρες δεν εκπέμπουν SO₂, γιατί από παλιότερα είχε απαγορευτεί από τη σύνθεση της βενζίνης. Στο πετρέλαιο είναι λίγο πιο δύσκολο να απομακρυνθεί λόγω του τρόπου επεξεργασίας του.

Πίνακας 6: Προδιαγραφές εκπεμπόμενων ρύπων από Ε.Ε. [107]

ΟΔΗΓΙΑ	CO		HC		NO _x		HC+NO _x		Σωματίδια
	(gr./κλμ.) βενζίνη	ντίζελ	(gr./κλμ.) βενζίνη	ντίζελ	(gr./κλμ.) βενζίνη	ντίζελ	(gr./κλμ.) βενζίνη	ντίζελ	(gr./κλμ.) ντίζελ
Ευρο I Στάδιο I (εποχή απόσυραξης)	3,16	-	-	-	-	-	1,13	-	0,18
Ευρο I Στάδιο II	2,72	-	-	-	-	-	0,97	-	0,14
Ευρο II Υποχρεωτική για ταξινόμησης από 1-10-1997	2,2	1,0	-	-	-	-	0,5	0,7	0,08
Ευρο III Υποχρεωτική για ταξινόμησης από 1-1-2001	2,3	0,64	0,2	-	0,15	0,5	-	0,56	0,05
Ευρο IV Υποχρεωτική για ταξινόμησης από 1-1-2006	1,0	0,5	0,1	-	0,08	0,25	-	0,3	0,025

Αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα, τα όρια εκπομπής των ρύπων για το CO και τους HC αυτοκίνητα είναι:

	CO%	HC ppm
οχήματα με ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη		
α)ρελαντί	0,6	130
β)2500 rpm/min	0,4	120
οχήματα με οξειδωτικό καταλύτη		
α)ρελαντί	1,2	220
β)2500 rpm/min	1	200
οχήματα μη καταλυτικά μετά το 1986		
α)ρελαντί	4	600
β)2500 rpm/min	3,5	500
οχήματα μη καταλυτικά πριν το 1986		
α)ρελαντί	5	900
β)2500 rpm/min	4,5	

Για πολλά έτη, οι κατασκευαστές των καταλυτικών μετατροπέων πίεσαν για την βόδη βενζίνη επειδή οι καταθέσεις μολύβδου κατέστησαν γρήγορα τους μετατροπείς. Η ουσιαστική λύση στο πρόβλημα της δραστηκής μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων την έφερε τελικά η θερμική και χημική επεξεργασία των ιδίων των καυσαερίων μετά την άφαιρή τους από τον κινητήρα. Ο καταλυτικός μετατροπέας κάνει την εμφάνισή τις αρχές του 1970 στο σύστημα εξαγωγής των μηχανών ΟΤΤΟ. Όσον αφορά την Ελλάδα οι έννοιες "καταλύτης" και "καταλυτικός μετατροπέας" εμφανίζονται την περίοδο '86-'87. Ο παραπομπισμός του καταλυτικού μετατροπέα με την λέξη "καταλύτης" είναι αδόκιμος επειδή ο όρος "καταλύτης" αφορά απλά και μόνο μια χαρακτηριστική χημική ιδιότητα ορισμένων ουσιών συστατικών του καταλυτικού μετατροπέα και όχι την ίδια τη συσκευή του. Ο καταλύτης είναι η ουσία που με την παρουσία της διευκολύνει μία χημική αντίδραση, χωρίς να λαμβάνει μέρος στην συγκεκριμένη αντίδραση. Στην περίπτωση του αυτοκινήτου, η χημική αντίδραση είναι η ένωση του οξυγόνου με τα προϊόντα της ατελούς καύσης που περνούν στο θάλαμο καύσης της μηχανής του αυτοκινήτου. Ο καταλύτης τώρα σαν εξάρτημα του αυτοκινήτου, έχει διαστάσεις λίγο μεγαλύτερες από ένα σιλανσιέ εξάτμισης και εγκαθίσταται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων (εξάτμιση) και αφαιρεί κατά ένα

μετατροπή των υδρογονανθράκων. Το κεραμικό υλικό που αποτελεί το βασικό υλικό του καταλύτη είναι συνήθως κορδιερίτης, ένα ιδιαίτερα ισχυρό και ανθεκτικό υλικό στις θερμοκρασιακές μεταβολές και στα χτυπήματα, με χαμηλό συντελεστή διαστολής.

Οι σημερινοί κεραμικοί μονόλιθοι περιλαμβάνουν 62 κυψέλες ανά τετραγωνικό εκατοστό, το πάχος των τοιχωμάτων των κυψελών φτάνει τα 0,15 χιλιοστά, ενώ η επιφάνεια των πόρων καλύπτει το 71% της μετωπικής επιφάνειας. Με την κατασκευή αυτή επιτυγχάνονται χαμηλές απώλειες πίεσης των καυσαερίων που διέρχονται μέσα από τον καταλύτη, και μεγάλο ανάπτυγμα επιφανείας, οπότε και καλύτερη μεταφορά θερμότητας. Σε διάσταση ο καταλύτης έχει μήκος γύρω 130- 150 χιλιοστά ενώ η διάμετρός του είναι 75-150 χιλιοστά. Η διατομή του είναι συνήθως οβάλ ή κυκλική.

Στο μέλλον τα τοιχώματα θα έχουν ακόμα μικρότερο πάχος, ίσως και 0,13 χιλιοστά, ενώ και το ανοίγματα θα φτάσουν το 90% της μετωπικής επιφάνειας, οπότε θα επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη μείωση του βάρους και μικρότερες απώλειες πίεσης. Επίσης με τον τρόπο αυτό προστατεύονται τα βασικά συστατικά του καταλύτη από επιφανειακές επικαθίσεις, οι οποίες φτάνουν μέχρι τα πρώτα 10-15 μm .

Περνώντας λοιπόν τα καυσαέρια μέσα από τους πόρους του κεραμικού υλικού έρχονται σε επαφή με το οξυγόνο (ενώνονται) και μεταμορφώνονται ως εξής: Το μονοξείδιο του άνθρακα σε διοξείδιο που είναι ακίνδυνο ($\text{CO} + \text{O} = \text{CO}_2$), τους υδρογονάνθρακες σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα ($\text{HC} + \text{CO} = \text{H}_2\text{O}$ και CO_2) και τέλος το άζωτο σε μονοξείδια και διοξείδια ($\text{N} + \text{OX} = \text{NO}$ και NO_2). Φυσικά μέσα στην βενζίνη υπάρχουν και άλλα συστατικά όπως προσμίξεις του θείου (S) οι οποίες όταν έρχονται σ' επαφή με το νερό (H_2O) εκτελείται μία χημική αντίδραση και δημιουργείται το υδρόθειο που έχει και αυτήν τη γνωστή δυσάρεστη οσμή. Όταν λοιπόν μυρίζει ο καταλύτης δεν σημαίνει ότι είναι χαλασμένος, αλλά ότι είναι εντελώς φυσιολογικό.

Ο μετατροπέας

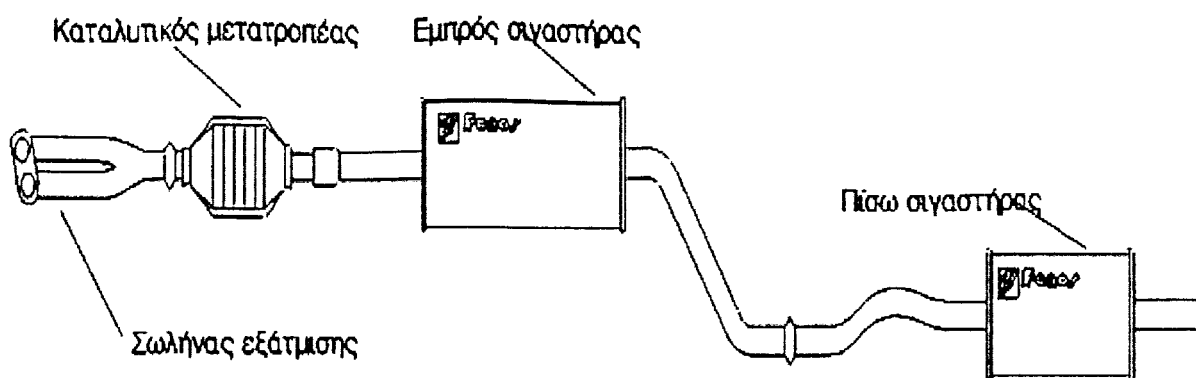
Οι διπλής κατεύθυνσης καταλυτικοί μετατροπείς περιλαμβάνουν ένα δοχείο συνήθως χάλυβα ανοξειδωτού χρωμίου και τους καταλύτες που εσωκλείονται σε μια επαργυλωμένη ασπίδα θερμότητας χάλυβα. Αρχικά, ο τύπος δισκίων αλουμίνιας για τον καταλύτη ήταν ευνοημένος επειδή ήταν αναπτυγμένος σε ένα προχωρημένο στάδιο σε άλλες βιομηχανίες. Ο μονολιθικός τύπος δεν μπήγε στην κανονική παραγωγή έως το 1977. Είτε ο λευκόχρυσος (Pt) μόνο, είτε ο λευκόχρυσος και το παλλάδιο (Pd) χρησιμοποιούνται ως καταλύτες. Το κόστος αυτής της ευγενούς περιεκτικότητας σε μέταλλα είναι της τάξης 15 έως 20 φορές αυτό του περιβλήματος του ανοξειδωτού χάλυβα που περιέχεται, έτσι άλλοι καταλύτες όπως ο χαλκός

και το χρώμιο έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία αλλά δεν έχουν μπει στη γενική χρήση επειδή είναι επιρρεπής σε επιδείνωση εξ αιτίας της επίθεσης από το θειικό οξύ που διαμορφώνεται από την καύση των ακαθαρσιών στα καύσιμα. Ένας χαρακτηριστικός διπλής κατεύθυνσης μετατροπέας για ένα αμερικανικό αυτοκίνητο περιέχει περίπου 1,6 g των ευγενών μετάλλων σε Pt και αναλογία 5: 2.

Η ιδιαίτερη προσπάθεια ανάπτυξης έχει αφιερωθεί στις υποστηρίξεις μονολιθικών καταλυτών υπό μορφή ενός μέρους κεραμικών κυψελωτών δομών που έχουν οι μεγάλες περιοχές επιφάνειας προς τις οποίες κατατίθενται οι ευγενείς καταλύτες μετάλλων. Οι πορείες ροής αερίου μέσω τους καθορίζονται καλά και η μάζα τους είναι μικρότερη από αυτόν τον τύπο δισκίων οι οποίοι γρηγορότερα στη θερμοκρασία εργασίας περίπου 550 °C. Σε μερικές εφαρμογές, για την ευκολία της κατασκευής δύο τέτοιοι μονόλιθοι εγκαθίστανται σε διαδοχικό σε ένα ενιαίο θάλαμο. Τα συστήματα δισκίων υιοθετούνται εντούτοις ευρέως για τα φορτηγά, όπου η πυκνότητα δεν είναι μια εξαιρετικά σημαντική απαίτηση αλλά η διάρκεια υπό τους εξαιρετικά δυσμενείς όρους. Οι δίσκοι είναι σχετικά αναισθητοι στη θερμική πίεση επειδή μπορούν να κινηθούν για να την ανακουφίσουν. Επιπλέον, το καυτότερο μέρος ενός τέτοιου στρώματος είναι κοντά στο κέντρο του, ενώ ενός κεραμικού μονόλιθου είναι περίπου 25 χιλ. από την αιχμή του, που τονίζει τα θερμικά προβλήματα πίεσης. Η συσκευασία για τους δίσκους είναι πιο σύνθετη έτσι και η συντήρηση του μονολιθικού τύπου είναι ευκολότερη.

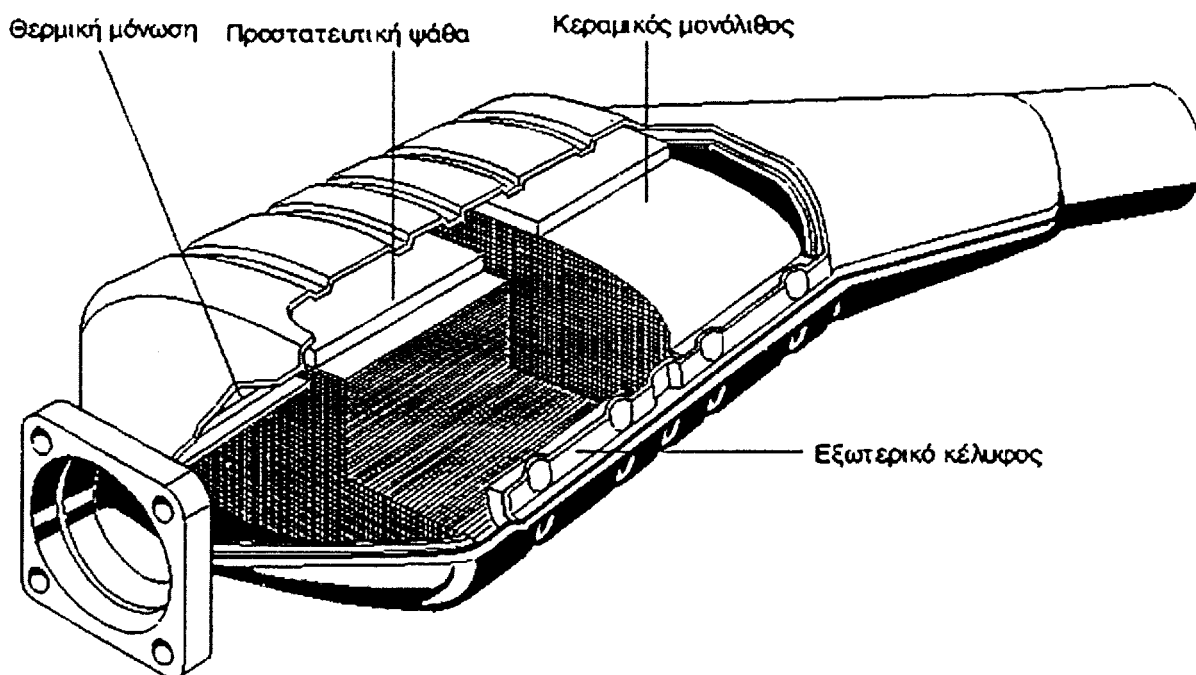
5.2. ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ ΟΤΤΟ

Οι καταλυτικοί μετατροπείς διαχωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: **διοδικούς ή οξειδωτικούς καταλύτες, αρρύθμιστους τριοδικούς καταλύτες και ρυθμιζόμενους τριοδικούς καταλύτες.** Πρέπει να διευκρινισθεί η έννοια του όρου “οδός” σε έναν καταλυτικό μετατροπέα. Δε σημαίνει ότι τα καυσαέρια έρχονται από δύο ή τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις, ούτε ότι υπάρχουν δύο ή τρεις κεραμικοί μονόλιθοι, αλλά δηλώνει τον αριθμό ρυπαντών, που μπορεί ο καταλύτης να μετατρέψει. Έτσι, ένας διοδικός καταλύτης μετατρέπει δύο ρυπαντές και ένας τριοδικός καταλύτης μετατρέπει τρεις ρυπαντές. Εξωτερικά δεν εμφανίζουν διαφορές (εκτός από τον αρρύθμιστο τριοδικό καταλύτη ο οποίος έχει έναν μικρής διαμέτρου σωλήνα εισαγωγής αέρα). Η διαφοροποίησή τους γίνεται με το είδος της ενδιάμεσης επίστρωσης αλουμίνας που χρησιμοποιούν, καθώς και το είδος ευγενούς μετάλλου που χρησιμοποιείται ως καταλύτης. Η θέση του καταλυτικού μετατροπέα φαίνεται στην Εικόνα 78.



Εικόνα 78: Θέση του καταλυτικού μετατροπέα μέσα στο σύστημα εξάτμισης [113]

Για να πραγματοποιηθούν γρήγορα και αποτελεσματικά οι χημικές αντιδράσεις, που μειώνουν τους ρυπαντές, πρέπει τα καυσαέρια να έρχονται σε επαφή με τα πολύτιμα μέταλλα που επιταχύνουν τις αντιδράσεις για χρονικό διάστημα αρκετό για να ολοκληρωθεί η χημική αντίδραση. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, τα καυσαέρια διοχετεύονται μέσα από εξαιρετικά λεπτούς σωλήνες, έτσι ώστε πρακτικά κάθε μόριο αερίου να έρχεται σε επαφή με τα πολύτιμα μέταλλα. Αυτός ο διαχωρισμός της ροής πραγματοποιείται από το εσωτερικό υλικό του καταλύτη, το οποίο μπορεί να είναι μεταλλικό ή κεραμικό. (Εικόνα 79)



Εικόνα 79: Τμήμα καταλυτικού μετατροπέα με προστατευτική ψάθα [113]

Έρευνες έδειξαν ότι οι εκπομπές στα έτη 1975-1981 κυμαίνονται ως εξής:

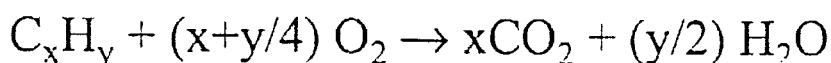
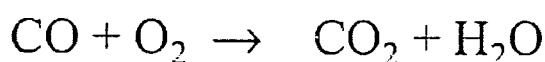
Πίνακας 7: Διακύμανση εκπεμπόμενων ρύπων. [113]

ΕΤΟΣ	HC, CO,NO _x (gm/mile)
1975	1.5, 15.0 και 3.1
1977-79	1.5, 15.0 και 2.0
1980	0.41, 7.0 και 2.0
1981	0.41, 3.4 και 1.0

5.2.1. ΔΙΟΔΙΚΟΙ Η ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ

Η πρώτη γενιά καταλυτών εμφανίστηκε στις Η.Π.Α. το 1976-79 και ήταν οξειδωτικοί, μειώνοντας μόνο τους εκπεμπόμενους υδρογονάνθρακες και το μονοξειδίου του άνθρακα.

Στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν σαν καταλυτικά στοιχείο χαλκός, χρώμιο και νικέλιο,

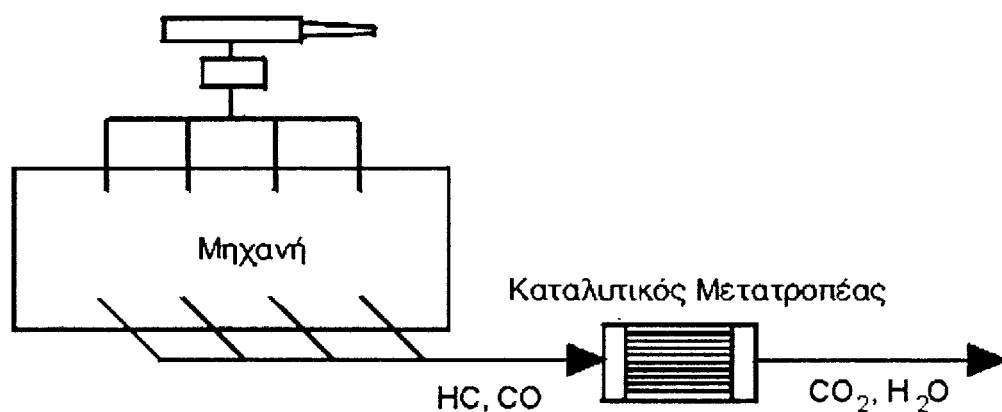


τα

οποία σύντομα αντικαταστάθηκαν από την πλατίνα και το παλλάδιο, σε περιεκτικότητα 0,12 % επί του συνολικού βάρους (και σε αναλογία πλατίνας / παλλάδιου 2,5:1), τα οποία αποδείχτηκαν πιο αποδοτικά και πιο ανθεκτικά. Με το τέλος της δεκαετίας του 1970 λύθηκε το βασικό πρόβλημα των καταλυτών (η καταστροφή τους από το μόλυβδο) με την εμφάνιση της αμόλυβδης βενζίνης. Ο μόλυβδος, ο οποίος χρησιμοποιείται σαν αντικροτικό αυξάνοντας τα οκτάνια της βενζίνης, επικάθεται στο μεταλλικό πλέγμα και το καταστρέφει μειώνοντας έτσι την αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής του καταλύτη.

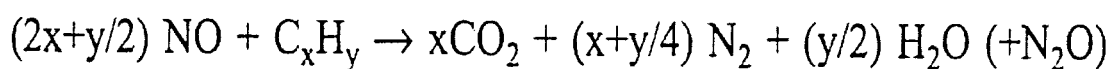
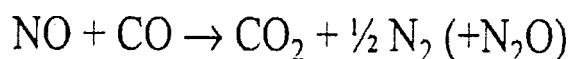
Αποτελούν εναλλακτική λύση, αντί των θερμικών μετατροπών που εξουδετερώνουν το CO και τους HC. Πετυχαίνουν μεγάλη μείωση αυτών των ρυπαντών (περίπου 50%), αλλά

οι υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες αυτές οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται, αυξάνουν τις εκπομπές NO_x. Κανονικά αυτοί οι καταλύτες χρησιμοποιούνται σε μηχανές που λειτουργούν με φτωχό μίγμα, αφού οι εκπομπές HC και CO είναι χαμηλές, ενώ τα NO_x αντιμετωπίζονται με κάποια άλλη διαδικασία, πχ. επανακυκλοφορία των καυσαερίων. Αν χρησιμοποιηθούν σε μηχανές που λειτουργούν με πλούσιο μίγμα, για να επιτευχθεί χαμηλή παραγωγή NO_x αρχικά, τότε πρέπει να εισαχθεί πρόσθετος αέρας με τη βοήθεια μιας αντλίας, έτσι ώστε να υπάρχει επάρκεια οξυγόνου στον καταλύτη για να πραγματοποιηθεί η οξείδωση. Ο οξειδωτικός καταλύτης μειώνει την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα και άκαυστους υδρογονάνθρακες μόνο κατά 60% έως 80% περίπου (Εικόνα 80). Ο κινητήρας λειτουργούσε με περίσσεια αέρα, δηλ. φτωχό μίγμα, χωρίς αισθητήρα λάμδα. Το πρόβλημα όμως με αυτό τον τύπο του καταλύτη, ήταν ότι άφηνε ανεπηρέαστα τα οξείδια του αζώτου (NO_x). Τα τελευταία χρόνια όμως δεν χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου, όπως άλλωστε και οι μειωτικοί και δυαδικοί καταλύτες.



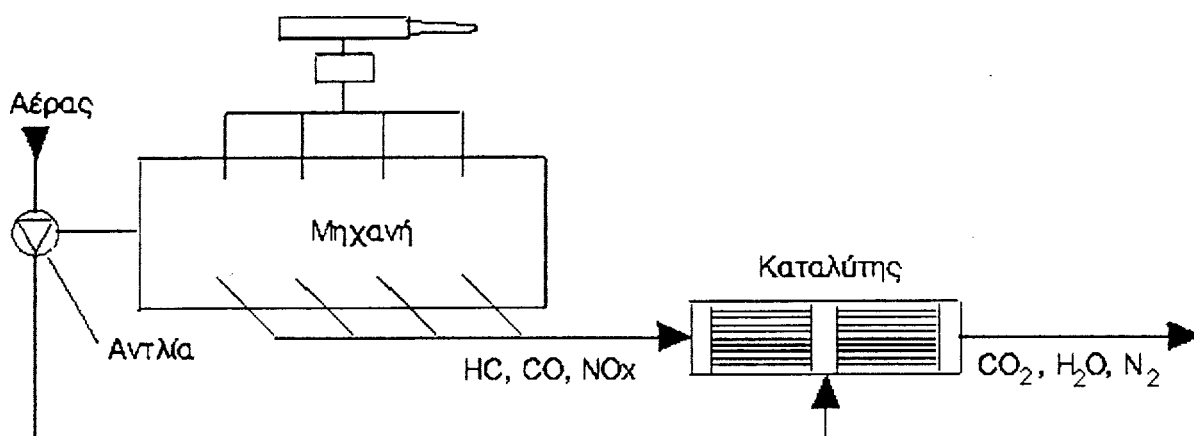
Εικόνα 80: Είσοδος και έξοδος εκπεμπόμενων ρύπων στον δυοδικό καταλυτικό μετατροπέα.
[110]

Από τη δεύτερη γενιά καταλυτών και μετά, 1979-86, μιλάμε πλέον για τριοδικούς καταλύτες οι οποίοι όχι μόνο οξείδωναν τους υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο του άνθρακα αλλά επιπλέον κατάφερναν να μειώσουν και τα οξείδια του αζώτου σε πολύ χαμηλά επίπεδα.



5.2.2. ΑΡΡΥΘΜΙΣΤΟΣ ΤΡΙΟΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ

Ονομάζεται συχνά και “τριοδικός καταλύτης ανοικτού συστήματος ρύθμισης”. Συνήθως δεν συναντάται στην Ευρώπη, γιατί έχει χρησιμοποιηθεί κατ’ αποκλειστικότητα σε οχήματα αμερικανικής κατασκευής. Αποτελείται από δύο κεραμικούς μονόλιθους τοποθετημένους ξεχωριστά μέσα στο ίδιο μεταλλικό κέλυφος. Ανάμεσα στους δύο μονόλιθους υπάρχει ένας ατσάλινος σωλήνας, στον οποίο είναι συνδεδεμένο ένα σωληνάκι αντλίας που εισάγει τον αέρα από τη μηχανή. Ο πρώτος καταλύτης προκαλεί αναγωγικές αντιδράσεις, μετατρέποντας έτσι τα NO_x , ενώ στο δεύτερο οξειδώνονται το CO και οι HC . (Εικόνα 81)



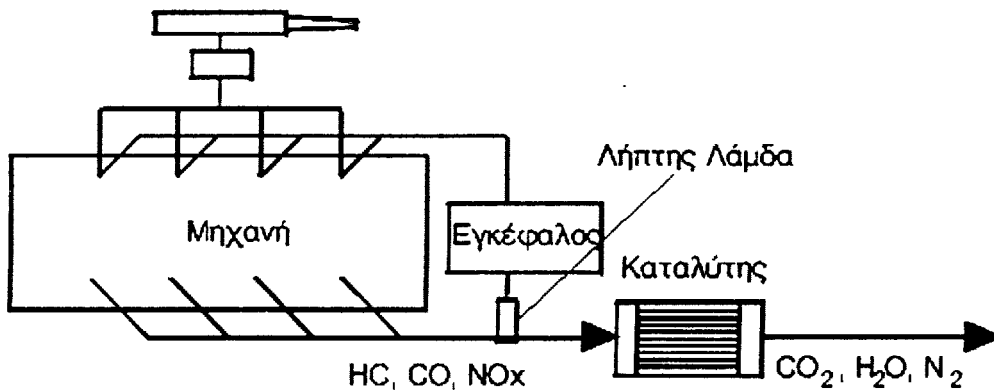
Εικόνα 81: Είσοδος και έξοδος εκπεμπόμενων ρύπων στον αρρύθμιστο τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα. [110]

Για να πραγματοποιηθούν αποτελεσματικά οι αναγωγικές αντιδράσεις στον πρώτο μονόλιθο πρέπει να υπάρχει έλλειψη οξυγόνου στα καυσαέρια, άρα η μηχανή πρέπει να λειτουργεί με πλούσιο μίγμα, το οποίο είναι αντιοικονομικό. Από την άλλη, ο δεύτερος καταλύτης χρειάζεται οξυγόνο για να λειτουργήσει, γι’ αυτό πρέπει να τροφοδοτείται με πρόσθετο αέρα μέσω μιας αεραντλίας.

5.2.3. ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟΙ ΤΡΙΟΔΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ

Ονομάζονται επίσης “τριοδικοί καταλύτες κλειστού συστήματος ρύθμισης”. Αυτή η ονομασία (όπως η αντίστοιχη “τριοδικός ανοικτού συστήματος ρύθμισης” για τους

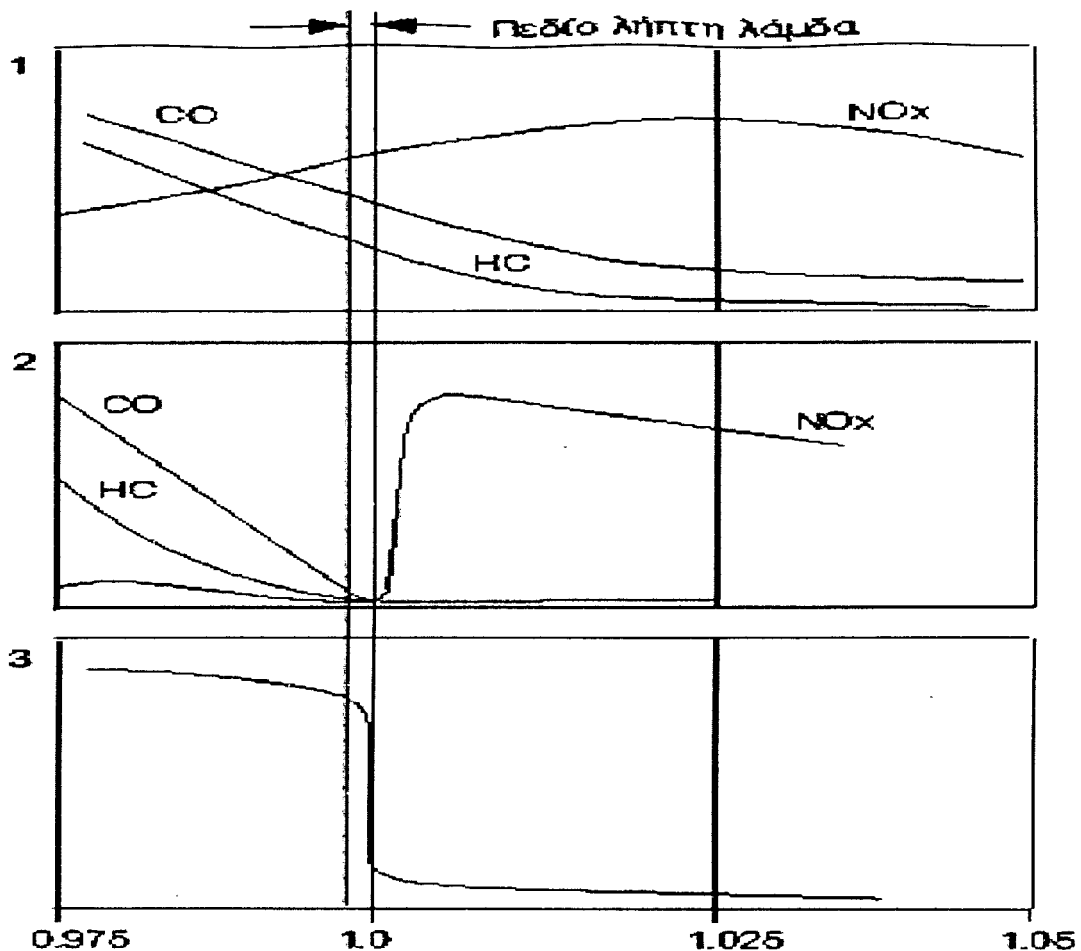
αρρυθμιστους τριοδικούς), αναφέρεται στην ύπαρξη ή μη λήπτη λάμδα, που αντιστοίχως δημιουργεί κλειστό ή ανοικτό σύστημα ρύθμισης. Σε αντίθεση με τους αρρυθμιστους τριοδικούς, που πραγματοποιούν πρώτα τις αναγωγικές και ύστερα τις οξειδωτικές αντιδράσεις, οι ρυθμιζόμενοι τριοδικοί πραγματοποιούν και τις τρεις αντιδράσεις ταυτόχρονα. (Εικόνα 82) Η οξείδωση των HC και του CO συμβαίνει συγχρόνως με την αναγωγή των NOx.



Εικόνα 82: Είσοδος και έξοδος εκπεμπόμενων ρύπων στον ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα. [110]

Για να γίνουν επαρκώς οι αντιδράσεις πρέπει το μίγμα αέρα / καυσίμου να βρίσκεται πολύ κοντά στο τέλειο μίγμα, συνεπώς είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικού συστήματος ψεκασμού καυσίμων ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενου συστήματος τροφοδοσίας, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κλειστό σύστημα ρύθμισης. Το παλλάδιο που περιέχεται στους τριπλούς καταλύτες.

Σε τέτοιους καταλύτες το παλλάδιο συνδυάζεται είτε με το ρόδιο είτε το ρόδιο και το λευκόχρυσο. Η τελευταία διατύπωση αναφέρεται συχνά ως τριμεταλλικός καταλύτης. Η λειτουργία τους είναι ίδια με τους πιο κοινούς καταλύτες λευκόχρυσου / ροδίου, οι οποίοι σχεδιάζονται για να μετατρέψουν στοιχειομετρικά τους υδρογονάνθρακες, το διοξείδιο του άνθρακα και τα οξείδια του αζώτου σε ένα όχημα βενζίνης. Οι πρόσφατοι πρόοδοι στην κατασκευή καταλυτών έχουν οδηγήσει στη βελτιωμένη διάρκεια του παλλαδίου που περιέχεται στους καταλύτες και την καλύτερη αντοχή του θείου πέρα από το προηγούμενο παλλάδιο που περιέχονταν και στους πιο κοινούς καταλύτες λευκόχρυσου / ροδίου.



Διάγραμμα 5.9

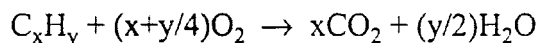
- 1: Εκπομπές πριν την κατάλυση
- 2: Εκπομπές μετά την κατάλυση
- 3: Μηνύματα λήπτη λάμδα

Εικόνα 83: Διαγράμματα εκπεμπόμενων ρύπων πριν και μετά την κατάλυση [107]

Η αποτελεσματικότητα του τριοδικού καταλύτη καθορίζεται από το **λόγο λάμδα** λειτουργίας της μηχανής. Η τέλεια καταλυτική αντίδραση είναι δυνατή μόνο μέσα στο "πεδίο λάμδα". Όταν ο λόγος λάμδα διατηρείται μέσα σε αυτά τα όρια, οι τρεις χημικές αντιδράσεις (οξείδωση του CO, οξείδωση των HC και αναγωγή των NOx) πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και πολύ αποτελεσματικά. Εάν το μίγμα γίνει φτωχότερο και ο λόγος λάμδα αυξηθεί σε βαθμό να ξεπεράσει τα όρια του "πεδίου λάμδα" της βέλτιστης περιοχής λειτουργίας του τριοδικού καταλύτη, η ποσότητα του οξυγόνου στα καυσαέρια θα εμποδίσει την πραγματοποίηση της αναγωγικής αντίδρασης και οι εκπομπές NOx θα αυξηθούν ραγδαία. Όμοια αν το μίγμα εμπλουτιστεί και ο λόγος λάμδα μειωθεί, η έλλειψη οξυγόνου θα δυσχεράνει τις οξειδωτικές αντιδράσεις, αυξάνοντας τις εκπομπές CO και HC. Η φιλοσοφία

του συστήματος τροφοδοσίας αλλάζει και πλέον, για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του καταλύτη, ο κινητήρας λειτουργεί με αναλογία αέρα / καυσίμου πολύ κοντά στη στοιχειομετρική. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες «λ» ή οξυγόνου παράλληλα με ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης του κινητήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλή καύση στον κινητήρα σε συνδυασμό με τη βέλτιστη λειτουργία του μετατροπέα. Το σύστημα διατηρεί στον κινητήρα την ανάμιξη αέρα-καυσίμου σε στοιχειομετρική αναλογία. Ο στοιχειομετρικός λόγος βάρους αέρα-καυσίμου υπολογίζεται με βάση την αντίδραση τέλει καύσης ενός υδρογονάνθρακα C_xH_y , που υποθέτουμε ότι αντιπροσωπεύει όλο το καύσιμο. Ο λόγος x/y αντιστοιχεί στην μέση αναλογία αριθμού ατόμων άνθρακα και υδρογόνου στο καύσιμο. Για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην πράξη, ο στοιχειομετρικός λόγος A/F είναι περίπου ίσος με 14.7 (δηλαδή κάτι μεταξύ των μοριακών τύπων C_7H_{13} και C_7H_{14}).

Το πηλίκο της πραγματικής προς την στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου το ονομάζουμε δείκτη λ (ή λόγο ισοδυναμίας λ).



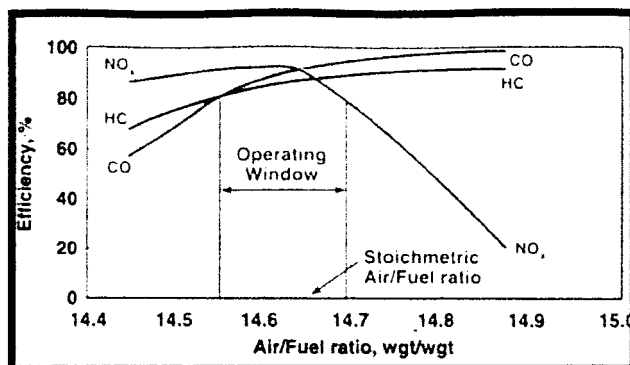
$$\begin{aligned} (A\acute{\epsilon}ρας/Καύσιμο)_{\text{στοιχ.}} &\equiv \\ &\equiv (A/F)_{\text{στοιχ.}} = \frac{28.9(100/21)(x+y/4)}{12x+y} = 34.41 \frac{4(x/y)+1}{12(x/y)+1} \end{aligned}$$

Για $\lambda > 1$ το μίγμα χαρακτηρίζεται φτωχό (σε καύσιμο), ενώ για $\lambda < 1$ πλούσιο. Από τον μετατροπέα επιτυγχάνεται πλήρης μετατροπή του CO και των υδρογονανθράκων σε

$$\lambda = \frac{A/F}{(A/F)_{\text{stoic}}}$$

συνθήκες περίσσειας αέρα, δηλαδή για $\lambda > 1$, ενώ αντίθετα μια τέτοια κατάσταση δεν ευνοεί τις αναγωγικές αντιδράσεις λόγω ανταγωνιστικής διάθεσης του οξυγόνου προς το NO. Η απομάκρυνση των NO_x ευνοείται σε $\lambda < 1$ (αναγωγικές συνθήκες). Οι τριοδικόι καταλυτικοί μετατροπέες αυτορυθμίζονται ώστε να λειτουργούν σε μια περιοχή του λ κοντά στην τιμή 1 με μια ελαφρά διάθεση προς την πλευρά του πλούσιου μίγματος ($\lambda < 1$). Η περιοχή αυτή ονομάζεται παράθυρο λ (Lambda window). Ο αισθητήρας λ (Lambda sensor) που είναι εγκατεστημένος στην είσοδο του καταλυτικού μετατροπέα, ανιχνεύει το O_2 και σε κάθε απόκλιση από την στοιχειομετρική αναλογία ($\lambda = 1$) ενεργοποιεί αυτόματα μια μεταβολή στην

ανάμιξη αέρα-καυσίμου στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα για την σχετική διόρθωση. Η αναλογία αέρα καυσίμου φαίνεται στην Εικόνα 84.



Εικόνα 84: Σχέση αναλογίας αέρα καυσίμου με ποσοστά εκπεμπόμενων ρύπων. [107]

Μετά την εμφάνιση του αισθητήρα λ εμφανίζεται πρώτη φορά το ρόδιο (αντί για παλλάδιο) το οποίο είναι πολύ αποτελεσματικό στη μείωση των οξειδίων του αζώτου αλλά και του μονοξειδίου του άνθρακα. Η περιεκτικότητα ευγενών μετάλλων διατηρείται στο 0,1% -0,15%, ενώ η αναλογία βάρους της πλατίνας με το ρόδιο είναι 5:1. Η τρίτη γενιά καταλυτών εμφανίστηκε το 1986 και περιλαμβάνει μετατροπές οι οποίες είχαν στόχο τη μείωση των απωλειών και τη βελτίωση της οικονομίας του καυσίμου στις μεγάλες ταχύτητες. Στη σημερινή τέταρτη γενιά των καταλυτών, για μοντέλα μετά το 1995, οι σχεδιαστές επιχειρούν να μειώσουν το κόστος με την αύξηση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας παλλαδίου (το οποίο είναι το πιο φθηνό) σε συνδυασμό με πλατίνα ή ρόδιο, ενώ παράλληλα μειώνεται το ρόδιο (το οποίο είναι ιδιαίτερο ακριβό). Η χρήση του παλλαδίου έγινε ακόμα πιο εύκολη από τη στιγμή που άλλαξε ο σχεδιασμός καταλύτη με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας (η θέση του καταλύτη είναι πλέον πιο κοντά στην εξαγωγή), και με την αποκλειστική χρήση πλέον αμόλυβδων βενζινών). Υπάρχουν πλέον και καταλύτες οι οποίοι περιλαμβάνουν και τα τρία υλικά, με ιδιαίτερα μεγάλη απόδοση και αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, χάρη στη χημική σταθερότητα που παρουσιάζει το παλλάδιο στις θερμοκρασίες αυτές.

Η επιστήμη της Περιβαλλοντικής κατάλυσης δραστηριοποιείται με ενδιαφέρον στην ανάπτυξη νέων καταλυτικών συστημάτων που θα έχουν ενισχυμένη απόδοση και εκλεκτικότητα για τις αντιδράσεις αναγωγής των οξειδίων του αζώτου, σε τέτοιο βαθμό που θα ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στα συνεχώς αυστηρότερα όρια που θεσπίζονται. Από την άλλη πλευρά επιδιώκουμε τα νέα αυτά τεχνολογικά προϊόντα να είναι οικονομικότερα των

υπαρχόντων. Δεν είναι υπερβολή αν πούμε ότι κάθε χρόνο καταγράφονται περισσότερες από 50 δημοσιεύσεις προσπαθειών ανεύρεσης νέων αποδοτικότερων καταλυτικών συστημάτων και περίπου 5 νέες πατέντες στον τομέα.

Οι προσπάθειες εντοπίζονται κυρίως στις παρακάτω κατευθύνσεις:

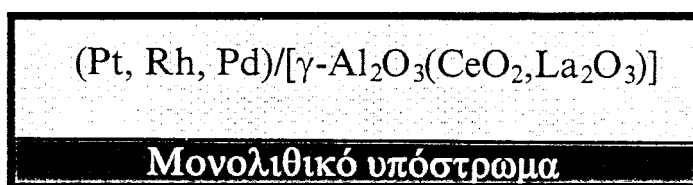
(α) Στην ενίσχυση των καταλυτικών ιδιοτήτων των ευγενών μετάλλων, σε αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος στον καταλυτικό μετατροπέα, με την χρήση ενεργών φορέων.

(β) Στην ενίσχυση των καταλυτικών ιδιοτήτων των ευγενών μετάλλων με την χρήση προωθητών.

(γ) Χρήση προσθέτων ουσιών (εμπλουτισμός φορέα) που επαυξάνουν την ενεργότητα, αντοχή και εκλεκτικότητα των ευγενών μετάλλων.

(δ) Ανεύρεση εντελώς νέων καταλυτών (κατά προτίμηση μη-ευγενών μετάλλων).

Παρακάτω θα γίνει αναφορά για μερικά σπουδαία αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν υπό



το πρίσμα των παραπάνω κατευθύνσεων. Οι προσπάθειες αυτές είναι μάλιστα εγχώριας τεχνολογίας και τεχνογνωσίας (Πανεπιστήμιο Πάτρας).

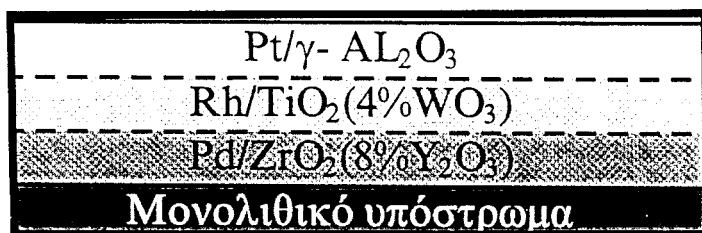
Οι φορείς (supports) που χρησιμοποιούνται στην ετερογενή κατάλυση για την διασπορά των ενεργών φάσεων των καταλυτών δεν είναι πάντοτε αθώα υλικά. Με αυτό εννοούμε ότι συχνά μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές επιδράσεις επί των καταλυτικών ιδιοτήτων (ενεργότητα, εκλεκτικότητα) των ενεργών φάσεων που υποστηρίζονται σε αυτούς. Το φαινόμενο τιτλοφορείται στην κατάλυση ως Metal-Support Interactions (MSI).

Πρόσφατα, σε μια λεπτομερειακή μελέτη της επίδρασης διαφόρων κοινών φορέων επί των καταλυτικών ιδιοτήτων των μετάλλων Pt, Pd και Rh, σε αντιδράσεις, παρατηρήθηκαν έντονες επαυξήσεις των ρυθμών και της εκλεκτικότητας από ορισμένους φορείς. Έτσι σχεδιάστηκε ένας **Προηγμένης Τεχνολογίας Καταλυτικός Μετατροπέας Αυτοκινήτων (ΠΤ-ΚΜΑ)** που είναι σημαντικά φθηνότερος και αποτελεσματικότερος των εμπορικών.

Μια σύντομη περιγραφή του νέου αυτού τεχνολογικού προϊόντος έχει ως ακολούθως: Αποτελείται από μονόλιθο κορδιερίτη ο οποίος είναι επικαλυμμένος από τρία διαδοχικά ενεργά στρώματα όπως δείχνεται στο σχήμα. Κάθε ένα από αυτά τα στρώματα περιέχει ένα

από τα ευγενή μέταλλα-καταλύτες, τα οποία είναι υποστηριγμένα σε φορείς που επιδρούν με δραματικό τρόπο στην ενεργότητά τους, αυξάνοντας την ενίοτε μέχρι και 2 τάξεις μεγέθους, σε αντιδράσεις που σχετίζονται με την καταστροφή των ρύπων που εκπέμπονται από τις μηχανές των αυτοκινήτων.

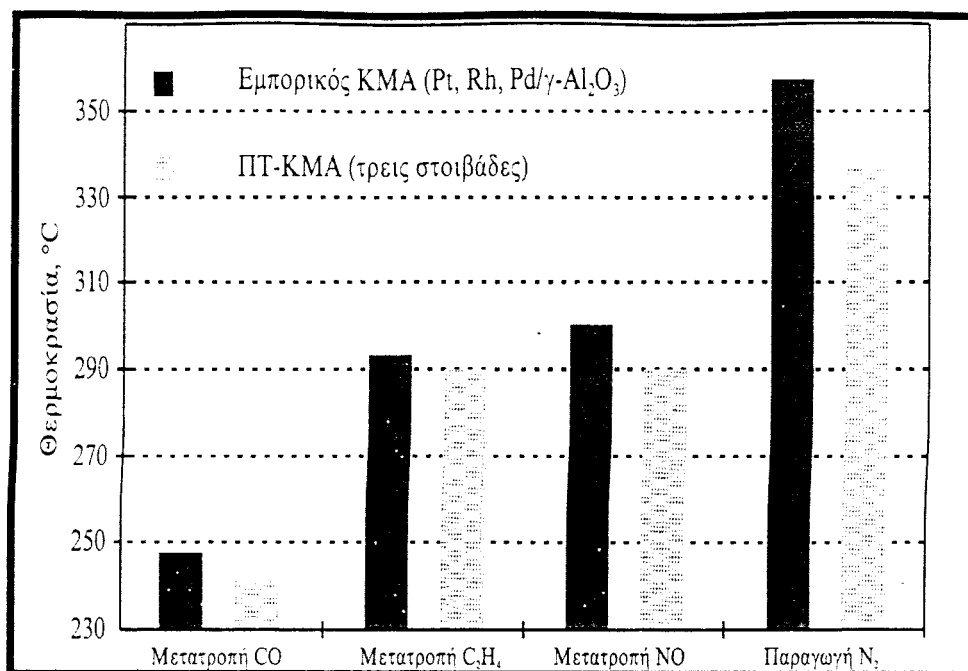
Πράγματι, βρέθηκε ότι ο Pt με $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, το Rh με TiO_2 εμπλουτισμένο με 4% WO_3 , και το Pd με ZrO_2 εμπλουτισμένο με 8% Y_2O_3 εμφανίζουν μια έντονα αυξημένη ενεργότητα και εκλεκτικότητα στις εν λόγω αντιδράσεις, σε σχέση με την ενεργότητα που τα μέταλλα αυτά εμφανίζουν όταν περιέχουν $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ όπως συνηθίζεται στους καταλυτικούς μετατροπής



του εμπορίου. Οι φορείς αυτοί βρέθηκαν να είναι οι καλύτεροι από μια ομάδα έξι επιλογών που συχνά χρησιμοποιούνται ως φορείς στην κατάλυση (δηλ., $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , ZrO_2 doped- ZrO_2 , TiO_2 και doped- TiO_2). Αιτία αυτών των δραματικών ενισχύσεων των καταλυτικών ιδιοτήτων (ενεργότητα, εκλεκτικότητα) των μετάλλων Pt, Pd και Rh είναι γνωστά στον τομέα της κατάλυσης ως φαινόμενα MSI και DIMSI (Doping Induced Metal Support Interactions).

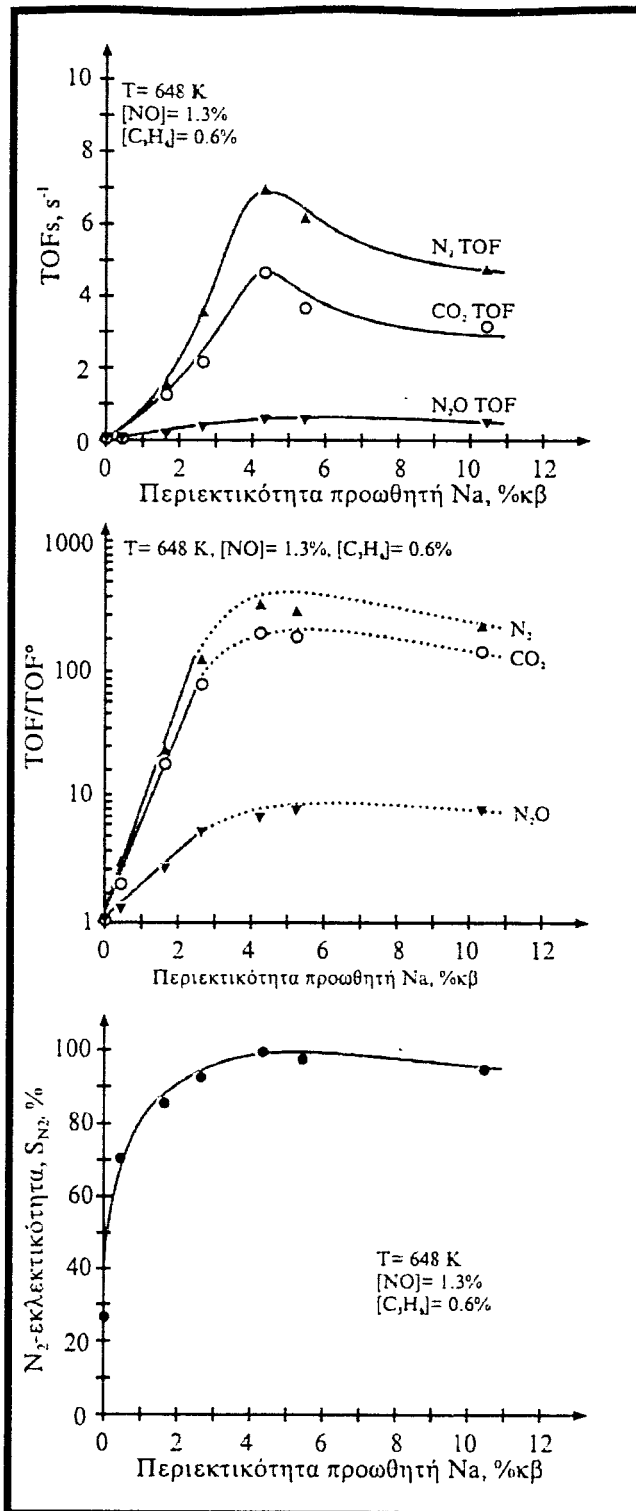
Από την άλλη πλευρά η τοποθέτηση του ενεργού στρώματος Pt- Al_2O_3 στην εξωτερική στοιβάδα έχει σαν αποτέλεσμα την προστασία των ευαίσθητων σε δηλητηρίαση μετάλλων Rh και Pd που αποτελούν τα κατώτερα στρώματα στον ΠΤ-ΚΜΑ. Όπως έχουμε αναφέρει ο Pt εμφανίζεται σημαντικά ανθεκτικός στην δηλητηρίαση από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Ο καταλυτικός μετατροπέας του εμπορίου υφίσταται με την χρήση του μια σημαντική πτώση ενεργότητας οφειλόμενη σε σύντηξη (κραματοποίηση) των ενεργών φάσεων των μετάλλων που βρίσκονται σε επαφή. Αντίθετα, ο ΠΤ-ΚΜΑ δεν υπόκειται σε τέτοια φαινόμενα εφόσον τα ευγενή μέταλλα βρίσκονται σε σαφώς διαχωρισμένα στρώματα.

Επίσης η ενίσχυση (>10 φορές) των καταλυτικών ιδιοτήτων των μετάλλων Pt, Pd και Rh από τους ενεργούς φορείς στους οποίους υποστηρίζονται, επιτρέπει την σημαντική μείωση του φορτίου τους (σχεδόν κατά το ήμισυ) στον ΠΤ-ΚΜΑ, χωρίς το τελικό προϊόν να έχει αποδόσεις χαμηλότερες των εμπορεύσιμων. Αντίθετα, παρά την μείωση του φορτίου των ευγενών μετάλλων, αυτός εμφανίζεται καλύτερος του εμπορικού, όπως φαίνεται στην εικόνα 85, όπου συγκρίνονται οι θερμοκρασίες έναυσης των δυο περιπτώσεων.



Εικόνα 85: Σύγκριση τύπων καταλυτικών μετατροπέων [113]

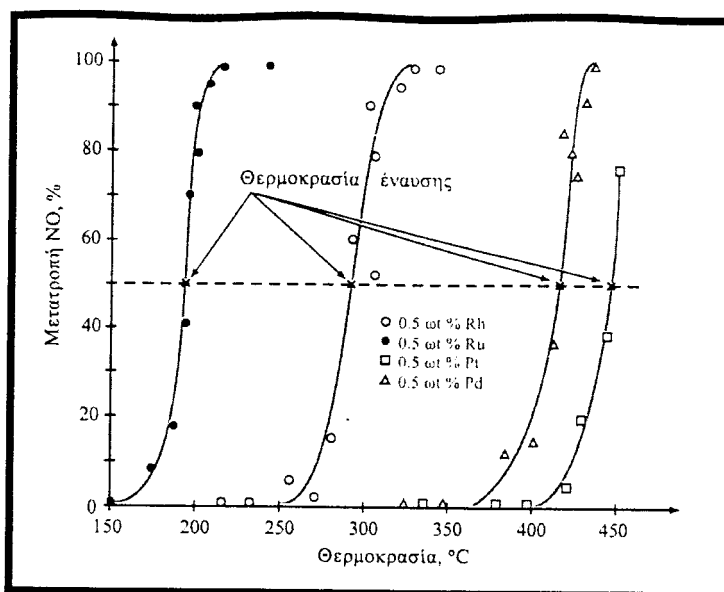
Ο ΠΤ-ΚΜΑ έχει μια ακόμη καινοτομία στον σχεδιασμό του. Το μεταλλικό κάνιστρο στο οποίο τοποθετείται είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται με ευκολία η αντικατάσταση του περιεχομένου του, σε περίπτωση ενηλικίωσης του, με αποτέλεσμα να είναι ανακυκλώσιμο. Πέραν από περιβαλλοντικούς λόγους θα είναι μεγάλη η εξοικονόμηση κέρδους από μια τέτοια ενέργεια. Ας σημειωθεί ότι ένα μεγάλο ποσοστό του κόστους ενός καταλυτικού μετατροπέα σχετίζεται με αυτό το μεταλλικό περίβλημα, και ότι οι εμπορεύσιμοι ΚΜ δεν δίνουν την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής του όταν αυτός φθάσει στο στάδιο αντικατάστασης.



Εικόνα 86: Η περιεκτικότητα του προωθητή Na (%κβ) σε σχέση με την εκλεκτικότητα διαφόρων αλκαλίων [107]

Ο σχεδιασμός αυτός διευκολύνει επίσης μια διαδικασία απογύμνωσης του μετατροπέα από τα ευγενή μέταλλα, για την επαναχρησιμοποίησή τους. Μια τέτοια διαδικασία ανακύκλωσης των ευγενών μετάλλων τα τελευταία χρόνια εμφανίζει έντονο ερευνητικό, βιομηχανικό και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον. Μια άλλη προσπάθεια αφορά την χρήση **προωθητών** για την ενίσχυση αντιδράσεων περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η χρήση των αλκαλίων, ως προωθητών των μετάλλων Pt και Pd, επιδεικνύει μια ενίσχυση της ενεργότητας και της εκλεκτικότητας αυτών των μετάλλων τόσο στις αντιδράσεις οξείδωσης CO και των υδρογονανθράκων, όσο και στις αντιδράσεις αναγωγής των NO_x από CO ή C_xH_y. Επιτεύχθηκαν αυξήσεις ενεργότητας μέχρι και δυο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τους προωθημένους καταλύτες, ενώ η φτωχή 50% N₂/N₂O εκλεκτικότητα αυτών των μη-ενισχυμένων καταλυτών έφθασε τα επίπεδα του 95% και πλέον, μετά την ενίσχυση. Με άλλα λόγια το Pd και ο Pt μπορούν με κατάλληλη ενίσχυση να συμπεριφερθούν όπως το Rh σε αντιδράσεις τριοδικής καταλυτικής χημείας. Τα αποτελέσματα αυτά είναι πολύ σημαντικά, (Εικόνα 86) εφόσον μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή πολύ φθηνότερων καταλυτικών μετατροπέων (με σημαντικά μικρότερη φόρτιση ευγενών μετάλλων), αλλά ακόμη περισσότερο να οδηγήσουν στην ολική πλέον αντικατάσταση του σπάνιου και ακριβού Rh από ενισχυμένους με αλκάλια καταλύτες Pt ή Pd.

Μερικά τυπικά αποτελέσματα της δραματικής ενίσχυσης που επιτεύχθηκε στον Pt για την αντίδραση NO + C₃H₆. Παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα της ενίσχυσης του Pt με 4.2% κ.β. Na ήταν μια επαύξηση της ενεργότητας της τάξης του 300%, συνοδευόμενη από μια αύξηση της εκλεκτικότητας, από περίπου 20% στον μη-ενισχυμένο Pt, στα επίπεδα του 95% στον ενισχυμένο με νάτριο Pt. Στο σχήμα, ο ρυθμός των αντιδράσεων εκφράζεται σε όρους ρυθμού αναστροφής (turnover frequency), δηλαδή σε μόρια παραγόμενου προϊόντος / sec / ενεργή θέση καταλύτη. Αυτός είναι ο πλέον δόκιμος όρος έκφρασης ρυθμού που χρησιμοποιείται εκτεταμένα πλέον στην κατάλυση, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύει την ικανότητα του καταλύτη σε μια δεδομένη αντίδραση και συνθήκες, χωρίς να εμπεριέχει επιδράσεις από κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα. Είναι το πλέον κατάλληλο μέγεθος για σύγκριση καταλυτών μεταξύ τους, αλλά όπως είναι κατανοητό προϋποθέτει την ακριβή γνώση των ενεργών θέσεων μιας καταλυτικής επιφάνειας. Το τελευταίο δεν είναι δύσκολο στις μέρες μας με την ραγδαία ανάπτυξη οργάνων υψηλής ικανότητας και πιστότητας.



Εικόνα 87: Μετατροπή ρύπου NO σε σχέση με τη θερμοκρασία ενισχυμένου καταλύτη Pt με Na [107]

Στην Εικόνα 87 παρουσιάζονται αποτελέσματα θερμοκρασίας έναυσης των ενισχυμένων με Na καταλυτών Pt. Είναι σημαντικό ότι ενώ ο μη-ενισχυμένος Pt εμφανίζεται σχεδόν ανενεργός για την αντίδραση, ενώ η ενίσχυσή του οδηγεί σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες έναυσης και σε ολική καταστροφή (100% μετατροπή) του ρύπου NO.

Παρόμοιες προσαυξήσεις ενεργότητας και εκλεκτικότητας παρουσιάστηκαν και κατά την ενίσχυση του Pd με Na. Τυπικά αποτελέσματα δείχνονται στην εικόνα, όπου βλέπουμε μια 10-πλάσια προσαύξηση των ρυθμών και μια βελτίωση της εκλεκτικότητας του Pd από περίπου 10% σε τιμές >95%, για την περίπτωση της βέλτιστης φόρτισης ενισχυτή που ήταν περίπου 0.068% κ.β. Na.

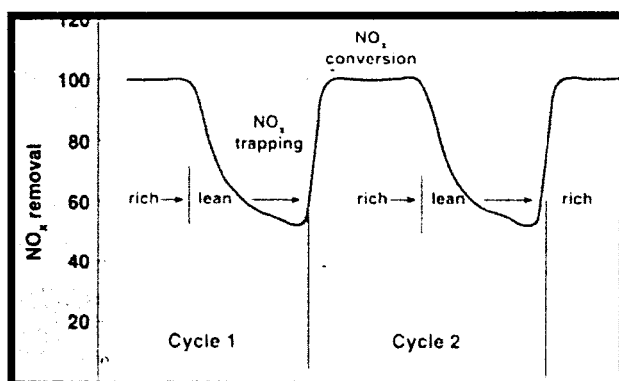
Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι αυτή η συμπεριφορά των ενισχυμένων με Na καταλυτών δουλεύει εκλεκτικά και υπό συνθήκες ύπαρξης οξυγόνου στο αντιδρών μίγμα, πράγμα που κάνει την χρήση αυτών των καταλυτών πιθανή και για την περίπτωση μηχανών lean-burn (δηλαδή μηχανών που λειτουργούν σε συνθήκες φτωχές σε καύσιμο -μια νέα, υψηλά υποσχόμενη τεχνολογία κινητήρων αυτοκινήτων).

Οι κινητήρες πτωχού μίγματος αποτελούσαν πάντοτε μια ιδιαίτερα πρόταση για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η υψηλή θερμοδυναμική απόδοσή τους και η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, δυστυχώς όμως οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν υψηλές θερμοκρασίες καύσης με αποτέλεσμα τα

εκπεμπόμενα οξείδια του αζώτου να βρίσκονται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Παράλληλα η απαίτηση των καταλυτικών κινητήρων για λειτουργία με στοιχειομετρική αναλογία μίγματος αποκλείει τους κινητήρες πτωχού μίγματος από την εφαρμογή σε αυτούς της καταλυτικής τεχνολογίας. Την τελευταία δεκαετία οι έρευνες των επιστημόνων για καταλύτες οι οποίοι θα μπορούσαν να ταιριάζουν σε κινητήρες πτωχού μίγματος δεν έχουν δώσει σημαντικά αποτελέσματα. Πρόσφατα παρουσιάστηκαν στην Ιαπωνία τεχνολογικές λύσεις με τις οποίες αναφέρεται μερικώς η ασυμβατότητα μεταξύ των κινητήρων πτωχού μίγματος με τους καταλύτες.

Η πρώτη πρόταση περιλαμβάνει το συνδυασμό ενός τριοδικού καταλύτη με μια παγίδα οξειδίου βαρίου για τα οξείδια του αζώτου (Εικόνα 88). Το σύστημα διαχειρίζεται τη λειτουργία του κινητήρα ρυθμίζει περιοδικά το μίγμα του καυσίμου από πλούσιο σε φτωχό με βάση την παρακάτω συλλογιστική: όταν είναι φτωχό η παγίδα δεσμεύει τα NO_x , ενώ στον επόμενο κύκλο το μίγμα γίνεται πλούσιο και η παγίδα τα απελευθερώνει για να οξειδωθούν στον καταλύτη.

Η δεύτερη πρόταση αναφέρεται στο σχεδιασμό ενός καταλύτη ο οποίος περιλαμβάνει



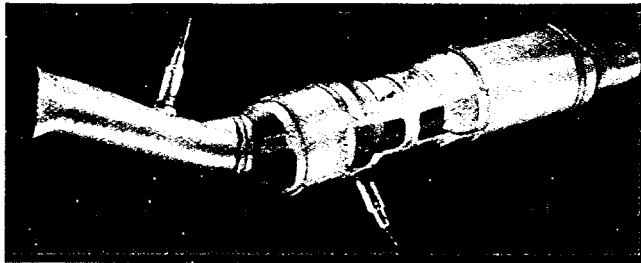
Εικόνα 88: Τριοδικός καταλύτης με μια παγίδα βαρίου για τα NO_x ανάλογα με το μίγμα [113]

πλατίνα, ρόδιο και ιρίδιο το οποίο μειώνει κατά ένα ποσοστό τα NO_x κατά τη λειτουργία του κινητήρα με πτωχό μίγμα. Και οι δύο όμως λύσεις δεν καλύπτουν ακόμα τις αυστηρές αμερικανικές προδιαγραφές για τα επίπεδα καυσαερίων, οπότε δε φαίνεται πιθανόν να εμφανιστούν σύντομα στην παραγωγή.

Σε επίπεδο παραγωγής η εταιρία Emitec παρουσίασε το καταλυτικό σύστημα EMICAT και METALIT, το οποίο τοποθετήθηκε στην BMW Alpina B12. Το EMICAT είναι ένας καταλύτης του οποίου το πλέγμα είναι κατασκευασμένο από μεταλλικά φύλλα, πάχους 0,06 χιλιοστών, διπλωμένα σε σχήμα «S». Ο καταλύτης θερμαίνεται ηλεκτρικά,

καταναλώνοντας 50 με 200 Amperes και φτάνει σε θερμοκρασία λειτουργίας μέσα σε 6-10 δευτερόλεπτα.

Σε σειρά με τον Emicat είναι τοποθετημένος ο Metalit, (Εικόνα 89) ο οποίος είναι ένας καταλύτης με μεταλλικό πλέγμα από φύλλα πάχους 0,05 χιλιοστών, με μεγάλη θερμική



Εικόνα 89: Καταλύτης Metalit [106]

αντίσταση με αποτέλεσμα να μπορεί να τοποθετηθεί πιο κοντά στην εξαγωγή, δίνοντάς του τη δυνατότητα να θερμανθεί πιο γρήγορα. Σύμφωνα με την εταιρία η χρήση των δύο καταλυτών μειώνει τις εκπομπές των υδρογονανθράκων κατά 80% και τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου κατά 50%, σε σχέση με τα όρια των ευρωπαϊκών οδηγιών που ισχύουν από το τέλος του 1996. Πολλά εργαστήρια εξετάζουν τη δυνατότητα εφαρμογής ενός συστήματος το οποίο θα περιλαμβάνει δύο καταλύτες, έναν μικρό, προκαταλύτη, κοντά στην πολλαπλή εξαγωγής και τον κύριο καταλύτη κάτω από το πάτωμα του αυτοκινήτου. Ο προκαταλύτης, (Εικόνα 90) λόγω της θέσης του, θερμαίνεται πολύ πιο γρήγορα, φτάνει τους 350 βαθμούς μέσα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα μετά την εκκίνηση του κινητήρα, με αποτέλεσμα να ενεργοποιείται και να μετατρέπει τους υδρογονάνθρακες πολύ πιο γρήγορα



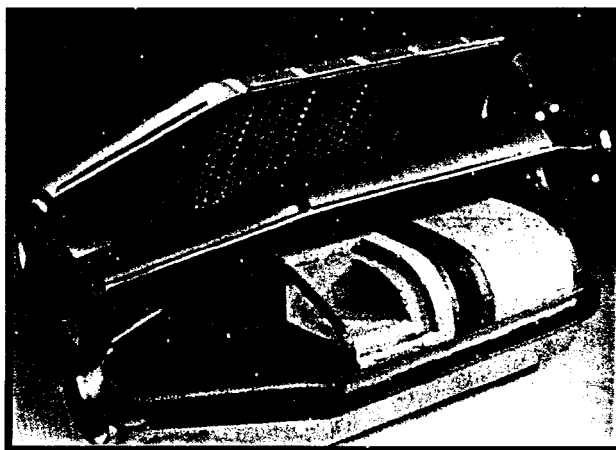
Εικόνα 90: Τομή προκαταλύτη [113]

από τον κύριο καταλύτη. Είναι κατασκευασμένος από ειδικό κεραμικό υψηλής αντοχής, με χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, αφού οι θερμοκρασίες στις οποίες λειτουργεί φτάνουν μέχρι και τους 1.050 βαθμούς.

5.3. ΠΑΓΙΔΕΣ ΗC ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ ΟΤΤΟ

Μια τρίτη πιθανή λύση στο πρόβλημα είναι η τοποθέτηση «παγίδων» οι οποίες θα κατακρατούν τους υδρογονάνθρακες στα πρώτα δύο λεπτά της λειτουργίας του καταλύτη. Οι παγίδες αυτές είναι ουσιαστικά κάνιστρα με απορροφητικό υλικό (όπως τα κάνιστρα ενεργού άνθρακα τα οποία κατακρατούν τις αναθυμιάσεις του ρεζερβουάρ) τα οποία μπορούν να συνδεθούν παράλληλα με τον καταλύτη. Μια ειδική βαλβίδα στην εξαγωγή μετά τον καταλύτη εκτρέπει τα καυσαέρια προς το κάνιστρο για τα πρώτα δύο λεπτά και ύστερα από αυτό το διάστημα κλείνει και τα αφήνει να φύγουν προς την ατμόσφαιρα. Βέβαια η λύση αυτή έχει χαμηλή απόδοση ενώ δεν είναι εγγυημένη η απόδοσή της στη διάρκεια του χρόνου.

Παρόμοια λύση είναι η τοποθέτηση ειδικών ντεπόζιτων στα οποία κατακρατούνται τα καυσαέρια μέχρι να ζεσταθεί ο καταλύτης και στη συνέχεια επιστρέφονται στην εισαγωγή του κινητήρα, όπου ξανακαίγονται.



Εικόνα 91: Επίπεδος σάκος για την κατακράτηση καυσαερίων [106]

Μια τέτοια λύση δοκιμάζουν οι μηχανικοί της **Saab** οι οποίοι έχουν τοποθετήσει δοκιμαστικά στο χώρο αποσκευών 100 αυτοκινήτων έναν επίπεδο σάκο, (Εικόνα 91) χωρητικότητας 100 λίτρων, στον οποίο αποθηκεύονται τα καυσαέρια. Η λειτουργία του

συστήματος είναι μάλλον απλή: στην εξάτμιση του κινητήρα υπάρχει μία βαλβίδα, τοποθετημένη μετά τον καταλύτη, η οποία μετά την εκκίνηση κλείνει και εκτρέπει τα καυσαέρια προς έναν σωλήνα ο οποίος τα κατευθύνει μέσα στο σάκο. Ύστερα από 25 δευτερόλεπτα ο καταλύτης έχει φτάσει σε θερμοκρασία λειτουργίας και το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα (Trionic) ανοίγει μια άλλη βαλβίδα με την οποία εισάγει τα καυσαέρια, που έχουν κατακρατηθεί στο θάλαμο καύσης, ενώ παράλληλα ανοίγει τη βαλβίδα στην εξάτμιση και τα καυσαέρια αρχίζουν να απελευθερώνονται κανονικά στην ατμόσφαιρα. Ο σάκος κατακράτησης των καυσαερίων είναι κατασκευασμένος από ειδικό συνθετικό υλικό και μπορεί να αντέξει θερμοκρασίες από -40 μέχρι 130 βαθμούς, ενώ έχει εφοδιασμένο και έναν αισθητήρα πίεσης έτσι, ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα ο σάκος να σκάσει λόγω της πίεσης των καυσαερίων. Στην περίπτωση που το σύστημα βγει στην παραγωγή οι μηχανικοί σκέφτονται να τοποθετήσουν τους σάκους αυτούς στους πίσω θόλους, ενώ το κόστος του συστήματος θα είναι από 75 μέχρι 150 δολάρια (20.000 με 40.000 δραχμές). Το μειονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι απαιτείται μεγάλος χώρος αποθήκευσης, ειδικές βαλβίδες, ενώ παράλληλα στο διάστημα της λειτουργίας του παρατηρείται πτώση της ροπής του κινητήρα και απώλεια ισχύος.

Ένας άλλος σημαντικός στόχος είναι φυσικά η διάρκεια και στις πολύ υψηλές και γρήγορα μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες. Η κεραμική δεν ικανοποιεί όλες αυτές τις απαιτήσεις έτσι οι προσπάθειες κατευθύνθηκαν στην παραγωγή των αποδεκτών μεταλλικών καλουπιών. Αυτοί προσφέρουν τα πλεονεκτήματα της πυκνότητας, ελάχιστη πίεση στο σύστημα εξάτμισης, γρήγορη προθέρμανση στην ελάχιστη αποτελεσματική λειτουργούσα θερμοκρασία για αυτόν τον τύπο μονόλιθου θεωρείται ότι είναι για 250C. Δύο εμπόδια έπρεπε να υπερνικηθούν. Πρώτα ήταν η δυσκολία στην επαρκή αντίσταση διάβρωσης με τα πολύ λεπτά τμήματα που απαιτήθηκαν για την πυκνότητα και για τον αποδεκτό τρόπο χαμηλής πίεσης. Αφετέρου, ήταν δύσκολο να ενωθούν τα πολύ λεπτά τμήματα διατηρώντας την ευρωστία απαραίτητη να αντισταθεί στις αυστηρές θερμικές φορτώσεις και την καταπόνηση. Είχαν αναπτύξει ένα ειδικό κράμα ανοξειδωτού χάλυβα, το οποίο χρησιμοποίησαν στις λουρίδες φύλλων αλουμινίου μόνο 0,04 χιλ. πάχος για να κατασκευάσουν τους μεταφορείς καταλυτών με μονολιθική μορφή. Αποτελείται από Fe, χρώμιο 20%, Al 5%, κράμα 0,05%. Είναι ένα μέταλλο αλλά με μια ισχυρή χημική ομοιότητα στη σπάνια γη, με την οποία επομένως είναι συνήθως ταξινομημένο. Τα πλεονεκτήματα που λαμβάνονται με τους μονόλιθους φτιαγμένους από αυτό περιλαμβάνουν: γρήγορη προθέρμανση, αντίσταση και στις θερμικές διαταραχές και στις γρήγορες κυκλικές αλλαγές θερμοκρασίας μέχρι άνω των 1300C, ελάχιστη πίεση, πυκνότητα λόγω λεπτότητας των

τμημάτων και της απουσίας ρύπων που απαιτείται γύρω από έναν κεραμικό μονόλιθο (για να απορροφήσει τη θερμική επέκτασή του), μεγάλη περιοχή του καταλύτη που εκτίθεται στη ροή αερίου (εξ αιτίας της υψηλής επιφάνειας: αναλογία όγκου του φύλλου αλουμινίου) και αποφυγή της τοπικής υπερθέρμανσης, και δυνάμει της πυκνότητας της μονάδας και της καλής θερμικής αγωγιμότητας του μετάλλου όπως συγκρίνεται με αυτόν κεραμικού και, τελικά, επειδή η πλήρης μονάδα είναι άμεσα ενωμένη στενά αποφεύγεται το σύστημα εξάτμισης, οι δαπάνες στους κεραμικούς μονόλιθους και τις ελαστικές υποστηρίξεις πλέγματος καλωδίων τους ή ινών στα δοχεία τους.

Οι εκπομπές από το έτος 1975 μειώθηκαν κατά 87% σε HC, 82% στο CO και 24% σε NO_x, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1960. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις ταυτόχρονα βελτιώνοντας όχι μόνο την οικονομία αλλά και την ικανότητα οδήγησης, δύο από τις οποίες είχαν επιδεινώσει σοβαρά τα αποτελέσματα του ελέγχου εκπομπής από τις τροποποιήσεις μηχανών και απαιτήθηκαν οι **διπλής κατεύθυνσης καταλυτικοί μετατροπείς**. Η διπλής κατεύθυνσης μετατροπή όρου υπονοεί την οξείδωση των δύο συστατικών στην εξάτμιση, το HC και το CO, για να διαμορφώσει το CO₂ και H₂O. Ένας τέτοιος μετατροπέας επομένως περιέχει μόνο τους καταλύτες οξείδωσης και, επιπλέον δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς οξυγόνο στην εξάτμιση. Συνεπώς, το αέριο μίγμα καυσίμου που παρέχεται στη μηχανή πρέπει να είναι τουλάχιστον στοιχειομετρικό ή καλύτερα ακόμα φτωχό.

Εάν ένας σπινθηριστής επρόκειτο να αποτύχει, το μίγμα αέρα-καυσίμου θα εισερχόταν στον διπλής κατεύθυνσης καταλυτικό μετατροπέα και η ανάφλεξη θα υπερθέμενε σοβαρά τη μονάδα. Συνεπώς, τα υψηλά συστήματα ενεργειακής ανάφλεξης έγιναν απαραίτητη προσθήκη για τα πρότυπα του 1975, και εγκαταστάθηκαν πυρήνες χαλκού στους σπινθηριστές για να προλάβουν τα στερεά κατάλοιπα μετάλλων. Το γενικό αποτέλεσμα όλων αυτών των μέτρων ήταν μια μείωση της κατανάλωσης καυσίμων **28% σε σύγκριση με αυτό των αυτοκινήτων του 1974**. Μέχρι το 1977 αυτός ο αριθμός ήταν βελτιωμένος περαιτέρω κατά 48% και, μέχρι το 1982, εξ αιτίας του ερεθίσματος της εταιρικής μέσης νομοθεσίας οικονομίας καυσίμων κατά 103%. Τυχαία η μέση κατανάλωση καυσίμων όλων των αυτοκινήτων που πωλήθηκαν από κάθε εταιρία στις ΗΠΑ έπρεπε να βελτιώσει σταδιακά, από το 18mpg το 1978, από 1 mpg κάθε έτος έως το 1980 και έπειτα 2mpg ετησίως έως το 1983 και πάλι από 1 mpg για το 1984, και έπειτα από 0,5 mpg σε 27,5mpg για το 1985.

ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ NO_x

της αποθήκευσης NO_x ενσωματώνει το οξείδιο του βαρίου σε μία τριοδική καταλύτη. Όταν η μηχανή δουλεύει με φτωχό μίγμα το οξείδιο παρά στον καταλύτη για να δημιουργήσει νιτρικό βάριο. Όταν η ηλεκτρονική δίνει ότι ο καταλύτης έχει μεγάλη συγκέντρωση σε NO_x δίνει εντολή για την εισαγωγή μίγματος (σε διάρκεια περίπου 0,3 s), το οποίο δημιουργεί άκαυστους υδρατμούς του άνθρακα. Έτσι, στον καταλύτη μετά από κάποιες αντιδράσεις που οδηγούν πολύ χαμηλά επίπεδα εκπομπών.

Η συγκεκριμένα μπορεί να μετατρέψει μέχρι και το 80% των οξειδίων του θείου από ένα συμβατικό τριοδικό καταλύτη. Το μεγάλο μειονέκτημα του είναι πολύ ευαίσθητος στο θείο και στα άλατα του θείου που περιέχονται στην καύση. Προσδιορίζει την υψηλή συγκέντρωση σε NO_x. Αυτό κάνει τη χρήση του δυνατή στα οχήματα που έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε θείο <50mg/kg.

Α ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΙ ΤΡΙΠΛΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ

Είναι παρόμοια με τους συμβατικούς τριπλούς καταλύτες αλλά τοποθετείται πιο κοντά στην εξαγωγή. Οι καταλύτες τοποθετούνται κανονικά κάτω από το σώμα του οχήματος για μέτρηση από την πολλαπλή εξαγωγή. Κατά τη διάρκεια της κρύας εκκίνησης η θερμότητα από τα αέρια εξαγωγής μπορεί να χαθεί μέσω του σωλήνα του καταλύτη βρίσκεται πιο κοντά τα αέρια εξαγωγής εισάγονται στον καταλύτη. Ο καταλύτης επομένως φτάνει τη θερμοκρασία γρηγορότερα και τα αέρια μετατρέπονται νωρίτερα. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες καταλυτών που οδηγούν στη διάρκεια υψηλών ταχυτήτων των οχημάτων επιτυγχάνουν την καλύτερη απόδοση καταλυτών με συνέπεια τη μικρότερη διάρκεια καταλυτών. Το κλειστό σύστημα περιέχεται στους καταλύτες έχει μια υψηλή θερμική σταθερότητα σε σχέση με τους ανοικτούς λευκόχρυσου /ροδίου και αποτελεί μια πιο κατάλληλη διατύπωση τοποθετείται σε ένα κλειστό συνδεδεμένο τριπλό καταλύτη. Οι βελτιωμένες εκπομπές οδηγούνται για το ίδιο κόστος πολύτιμων μετάλλων σε σχέση με το λευκόχρυσο που χρησιμοποιείται σε ανοικτούς καταλύτες μέχρι **28%HC, 30%CO, 22%NO_x**. Τέτοια συστήματα έχουν υψηλή θερμική σταθερότητα που επιτρέπει τη χρήση κλειστών συστημάτων καταλυτών.

- αρχικά να προσροφηθεί ένα μεγάλο μέρος του HC.
- ελαχιστοποίηση του δεύτερου χρόνου θέρμανσης καταλυτών έτσι ώστε να εκροφηθούν οι HC.
- μεγιστοποίηση και διατήρηση προσροφημένου HC ενώ ο δεύτερος καταλύτης θερμαίνει επάνω.

Το σύστημα απαίτησε μια μόνο ενιαία βαλβίδα παρεκτροπής μέσα στη γραμμή εξάτμισης. Στο σύστημα προσροφητών παράκαμψης η εκπομπή υδρογονανθράκων ελαχιστοποιήθηκε με τη βελτιστοποίηση των ακόλουθων βημάτων:

- προσρόφηση υδρογονανθράκων (παγίδευση) κατά τη διάρκεια κρύας έναρξης.
- θερμαίνοντας επιλεκτικά το δεύτερο καταλύτη επάνω από την υπάρχουσα θερμοκρασία.
- εκρόφηση υδρογονανθράκων και οξείδωση με πρόσθετο αέρα.

Τα στοιχεία έδειξαν ότι με την ιδιαίτερη δοκιμή το όχημα χρησιμοποίησε τη τοις εκατό υδρογονανθράκων προσρόφηση που πρέπει να είναι επάνω από 57% και η αποδοτικότητα οξείδωσης εκροφημένου υδρογονάνθρακα πρέπει να είναι πάνω από 85% για να δώσει απόδοση μέσα στη σειρά ULEV.

Για την αναφορά, τα μέγιστα όρια εκπομπής για τα ρυθμισμένα αέρια παρατίθενται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8: Όρια εκπομπής εξάτμισης (g/mile) σε 50.000 μίλια. [113]

Κατηγορίες α	NMHC	CO	NO _x
TLEV	0,12	3,4	0,40
LEV	0,07	3,4	0,20
ULEV	0,04	1,7	0,20

Ο προσροφημένος τοις εκατό HC παρουσιάζει μια τάση για τα μεγαλύτερα μεγέθη τρυπών για να δώσει τις μικρότερες αποδοτικότητες προσρόφησης. Χωρίς την τρύπα οι αποδοτικότητες προσρόφησης ήταν χαρακτηριστικά κοντά στο 60%. Το σύστημα προσροφητών αυτό μειώνεται σε 52% με μια τρύπα 2,54 εκατ. και 33% με μια τρύπα 5,1 εκατ. Η πτώση αποδοτικότητας οφείλεται σε δύο ιδιαίτερους παράγοντες. Κατ' αρχάς, με τα μεγαλύτερα μεγέθη τρυπών, ένα μεγαλύτερο μέρος του αερίου εξάτμισης περνά μέσω της τρύπας και δεν μπορεί έτσι να προσροφηθεί. Δεύτερον, με το αυξανόμενο μέγεθος τρυπών ο

συνολικός διαθέσιμος όγκος προσρόφησης μειώνεται από 2,18 L(καμία τρύπα) σε 2,08 L με μια τρύπα 2,54 εκατ. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι να ελαχιστοποιηθεί η εκρόφηση HC κατά τη διάρκεια του χρόνου προθέρμανσης καταλυτών. Ενώ το μέγεθος τρυπών είχε λίγη επίδραση στο ποσοστό θέρμανσης. Η μέγιστη εκρόφηση εμφανίζεται σε περίπου 105 δευτερόλεπτα χωρίς την τρύπα, και αυξάνεται εγκαίρως με το αυξανόμενο μέγεθος τρυπών σε 180 sec με μια τρύπα 2,54 εκατ. Όσο περισσότερο μπορεί να καθυστερήσει η εκρόφηση, τόσο καλύτερη θα είναι η οξειδωση.

Τα εμφανή αποτελέσματα προσροφημένων HC (Πίνακας 9), τα τοις εκατό του προσροφημένου HC που είναι καταλυτικά οξειδωμένος και οι τιμές δοκιμής συνοψίζονται στον πίνακα. Τα τοις εκατό αυτού του προσροφημένου HC που είναι οξειδωμένες αυξήσεις με το μέγεθος τρυπών από 0% χωρίς την τρύπα σε 35% με μια τρύπα 2.54εκατ. και 73% με μια τρύπα 5,08 εκατ.. Σε συμφωνία με αυτές τις τιμές, τα αποτελέσματα της δοκιμής δίνουν 0,081 g/mi NMHC χωρίς την τρύπα και μειώνονται σε περίπου 0,056 g/mi NMHC με τις τρύπες 1.91,2.54 και 5,08 εκατ.. Αυτή η ευθύγραμμη διαμόρφωση προσροφητών εκθέτει την απόδοση εκπομπής NMHC στη σειρά LEV.

Πίνακας 9: Πειραματικά αποτελέσματα ανάλογα με την οπή των προσροφητών [113]

COL1	COL2	COL3	COL4	COL5	COL6	COL7	COL8	COL9	COL10
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΡΥΠΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΩΝ	BAG 1A	%>A DS. BAG 1A	BAG 1B	%Οξείδωση προσροφημένου HC	BAG 2	BAG 3	ΣΥΝΘΕΣΗ (ΣΥΝΟΛΙΚΟ HC)	NM HC (g/mi)
1)	Πρώτος καταλύτης (ΓΡΑΜΜΗ ΒΑΣΕΩΝ) κανένα προσροφητή	1.357	•	0,023	•	0,065	0,098	0,096	0,085
2)	Πρώτος καταλύτης και δεύτερος καταλύτης κανένας προσροφητής	1.400		0,017	«	0,066	0,092	0,098	0,081
3)	Καμία τρύπα	0,526	61%	1.02		0,000	0,07	0,094	0,079
4)	τρύπα 1,91 εκατ.	0,581	57%	0,575	28.9	0,041	0,055	0,077	0,058
5)	τρύπα 2,54 εκατ.	0,651	52%	0,48	35.3	0,043	0,06	0,076	0,056
6)	τρύπα 2,54 εκατ., με το δεύτερο καταλύτη που κινείται 5 εκατ. πιο κοντά προς το προσροφητή	0,570	58%	0,702	13.7	0,036	0,05	0,082	0,068
7)	τρύπα 5,08 εκατ. στο προσροφητή 14,4 εκατ. διαμέτρων	0,910	33%	0,145	72.7	0,024	0,059	0,068	0,058

5.6.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ

Ο ηλεκτρικά θερμαινόμενος καταλύτης με δευτερεύουσα έγχυση αέρα τοποθετείται συνήθως πριν τον τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα του αυτοκινήτου. Τροφοδοτείται με ρεύμα από την μπαταρία του αυτοκινήτου πριν αυτό τεθεί σε λειτουργία. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι να υπάρχει μια ενεργή καταλυτική επιφάνεια για να μετατρέψει τους ρύπους κατά την κρύα έναρξη όταν ο βασικός καταλύτης του οχήματος είναι ακόμη ανενεργός. Η δευτερεύουσα έγχυση αέρα είναι απαραίτητη γιατί το αυτοκίνητο κατά την

κρύα έναρξη δουλεύει με πλούσια μίγματα και έτσι δημιουργούνται μεγάλες εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίων του άνθρακα. Έτσι ο αέρας αυτός είναι απαραίτητος για την μετατροπή τους.

Από πειραματικές μετρήσεις έχει βρεθεί ότι μέχρι να έρθει ο τριοδικός καταλύτης σε θερμοκρασία λειτουργίας χάρη στο σύστημα αυτό επιτυγχάνεται μείωση των ρύπων

CO: 75%

HC: 77%

NO_x : 74%

5.6.3. ΚΑΥΣΗ BENZINΗΣ

Είναι ένα σύστημα που τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής του οχήματος και χρησιμοποιείται για να θερμάνει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα τον καταλυτικό μετατροπέα ώστε να φτάσει σε θερμοκρασία λειτουργίας.

Αποτελείται από μια κεφαλή καύσης και ένα σπινθηριστή. Ο απαραίτητος αέρας για την καύση φτάνει εκεί με μία αντλία. Είναι πολύ αποτελεσματικό καθότι πειραματικά έχει βρεθεί ότι φτάνει τον καταλυτικό μετατροπέα σε θερμοκρασία λειτουργίας σε περίπου 15 sec.

Συγκριτικά με τον ηλεκτρικά θερμαινόμενο καταλύτη προσφέρει πολύ μεγαλύτερα ποσά θερμικής ενέργειας αλλά και πιο πολύπλοκο και πιο ακριβό σύστημα για την κατασκευή του.

5.7 ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ DIESEL

Οι μηχανές diesel μετατρέπουν τη χημική ενέργεια που περιλαμβάνεται στα καύσιμα στη μηχανική δύναμη. Τα καύσιμα diesel εγχέονται με πίεση στον κύλινδρο μηχανών όπου αναμιγνύει με τον αέρα και όπου εμφανίζεται η πίεση. Τα αέρια εξάτμισης που απαλλάσσονται από τη μηχανή περιέχουν διάφορα συστατικά που είναι επιβλαβή στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Ο πίνακας 10 απαριθμεί τις χαρακτηριστικές σειρές

παραγωγής του βασικού τοξικού υλικού στους diesel. Οι χαμηλότερες τιμές μπορούν να βρεθούν στις νέες, καθαρές μηχανές diesel, ενώ οι υψηλότερες τιμές είναι χαρακτηριστικές για τον παλαιότερο εξοπλισμό.

Πίνακας 10: Εκπομπές μηχανών diesel [110]

CO	HC	DPM	NO _x	SO ₂
vppm	vppm	g/m ³	vppm	vppm
5-1,500	20-400	0.1-0.25	50-2,500	10-150

Οι **παγίδες σωματιδίων diesel (DPM)**, όπως καθορίζεται από τους κανονισμούς και τις διαδικασίες δειγματοληψίας, είναι ένα σύνθετο σύνολο του στερεού και υγρού υλικού. Η προέλευσή της είναι ανθρακούχα μόρια που παράγονται στον κύλινδρο μηχανών κατά τη διάρκεια της καύσης. Τα αρχικά μόρια άνθρακα διαμορφώνουν τα μεγαλύτερα συσσωματώματα και συνδυάζουν με διάφορο άλλο, οργανικό και ανόργανο, συστατικά της εξάτμισης diesel.

Γενικά, DPM διαιρείται σε τρία βασικά μέρη:

- *στερεά* - ξηρά μόρια άνθρακα, συνήθως γνωστά ως αιθάλη,
- *SOF* - βαριοί υδρογονάνθρακες που προσροφώνται και που συμπυκνώνονται στα μόρια άνθρακα, αποκαλούμενα διαλυτό οργανικό μέρος,
- *SO₄* - μέρος θειικού αλάτος, ενυδατωμένο θειικό οξύ.

Η πραγματική σύνθεση DPM θα εξαρτηθεί από την ιδιαίτερη μηχανή και τους όρους της φορτίων και ταχύτητας. Τα "υγρά" μόρια μπορούν να περιέχουν μέχρι 60% του μέρους υδρογονανθράκων (SOF), ενώ τα "ξηρά" μόρια αποτελούνται συνήθως από τον ξηρό άνθρακα. Το ποσό θειικών αλάτων συσχετίζεται άμεσα με το περιεχόμενο θείου των καυσίμων diesel. Τα μόρια diesel είναι πολύ λεπτά. Τα αρχικά μόρια άνθρακα (πυρήνων) έχουν μια διάμετρο 0,01 - 0,08 μικρού, ενώ η συσσωρευμένη διάμετρος μορίων είναι στη σειρά 0,08 έως 1 μικρού. Υπό αυτήν τη μορφή, το μοριακό θέμα diesel είναι σχεδόν συνολικά αναπνεύσιμο και ασκεί σημαντική επίδραση υγείας στους ανθρώπους.

Οι εκπομπές diesel ελέγχονται είτε στην ίδια την πηγή τους, μέσω του σχεδίου μηχανών και των τροποποιήσεων, είτε από τη μετέπειτα επεξεργασία αερίου εξάτμισης. Οι δύο προσεγγίσεις είναι στην πραγματικότητα συμπληρωματικές και ακολουθούνται ταυτόχρονα στην πραγματική ζωή.

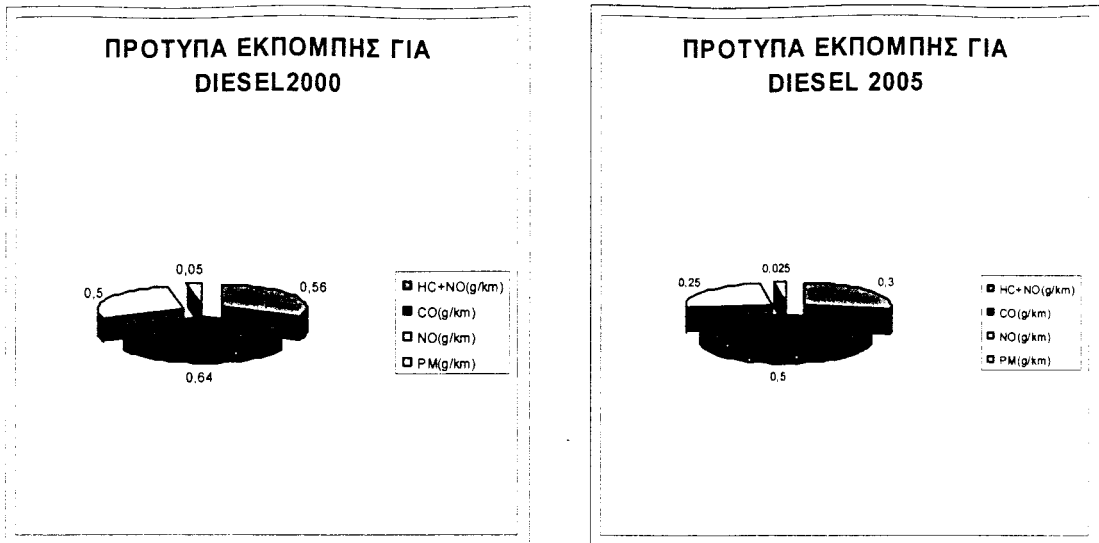
Υπάρχουν δύο ομάδες συσκευών μετέπειτα επεξεργασίας εξάτμισης diesel: **παγίδες diesel και καταλύτες diesel.**

5.8. ΠΑΓΙΔΕΣ DIESEL

Οι αρχές υγιεινής της εργασίας απαιτούν τη χρήση των μοριακών παγίδων (PT) στις μηχανές κατασκευής που χρησιμοποιούνται σε όλες τις περιοχές κατασκευής που είναι κοντά στις πόλεις. Τα συστήματα παγίδων αξιολογήθηκαν για αυτόν το λόγο και μόνο εκείνοι που παρέχουν τις αποδοτικότητες **άνω των 95%** για τα πολύ λεπτά μόρια έχουν λάβει την επίσημη σύσταση. Ευτυχώς, οι παγίδες αποδείχθηκαν μια εξαιρετικά αποδοτική μέθοδος για να περιορίσουν τα λεπτότερα μόρια. Διάφορα συστήματα κατέδειξαν ένα ποσοστό διήθησης περισσότερο από 99% για τα πολύ λεπτά μόρια. Η συγκεκριμένη ανάπτυξη μπορεί περαιτέρω να βελτιώσει το ποσοστό διήθησης.

Μια διετής δοκιμή τομέων, με την επόμενη παγίδα που επιθεωρήθηκε, επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά διήθησης των πολύ λεπτών μορίων.

Οι μοριακές παγίδες αντιπροσωπεύουν την καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία. Οι παγίδες πρέπει επομένως να χρησιμοποιηθούν για να περιορίσουν τις μοριακές εκπομπές, οι οποίες απαιτούνται από το νόμο. Οι παγίδες diesel, που είναι πρώτιστα φίλτρα diesel, **ελέγχουν τις εκπομπές σωματιδίων diesel με φυσικά σκοπό να παγιδέψουν τα μόρια.** Η σημαντικότερη πρόκληση στο σχέδιο του συστήματος φίλτρων diesel είναι να αναπαραχθεί η παγίδα από το συλλεχθέν μοριακό θέμα κατά τρόπο αξιόπιστο και οικονομικώς αποδοτικό. Μέχρι τώρα τα φίλτρα diesel χρησιμοποιούνται εμπορικά μόνο σε μερικές εξειδικευμένες εφαρμογές μηχανών diesel. Μπορούν επίσης να τοποθετηθούν όπισθεν στην ύπαρξη παλαιότερης μηχανής. Ως εκ τούτου, είναι κατάλληλοι για τη γρήγορη και διαδεδομένη βελτίωση από τις εκπομπές. Από την άποψη της μοριακής περικοπής diesel, μόνο μοριακή επίδειξη τεχνολογιών φίλτρων είναι το επιθυμητό επίπεδο πολύ λεπτού μορίου παγίδευσης για να επιτύχει τα πρότυπα υγιεινής εργασίας. Τα πρότυπα για τα νέα αυτοκίνητα diesel συνοψίζονται στην εικόνα 92.



Εικόνα 92: Πρότυπα εκπομπής ρύπων μηχανών diesel [111]

Σύμφωνα με την κατάσταση της τέχνης τα νέα πιο αυστηρά πρότυπα εκπομπής μπορούν να ανταποκριθούν μόνο από τις κατάλληλες συσκευές μετέπειτα επεξεργασίας εξάτμισης. Οι πιο ελπιδοφόρες τεχνολογίες μετέπειτα επεξεργασίας είναι αυτή τη στιγμή η μοριακή παγίδα diesel ή φίλτρο (DPF) και τα SCR (εκλεκτική καταλυτική μείωση-τεχνολογία που μειώνει τα οξειδία του αζώτου (NO_x) στο μοριακό άζωτο (N_2) και το νερό (H_2O)).

Ως μοριακές παγίδες, κάλεσαν μερικές φορές τις παγίδες αιθάλης ή DPF τα οποία είναι συστήματα για την επεξεργασία αερίου εξάτμισης μηχανών diesel. Είναι ενσωματωμένοι στο σύστημα αερίου εξάτμισης και περιέχουν τα διαφορετικά φιλτραρισμένα υλικά. Στο διαγώνιο τμήμα αυτών των υλικών η αιθάλη και οι βαριοί υδρογονάνθρακες είναι παγιδευμένοι. Η συσσώρευση της αιθάλης στην επιφάνεια φιλτραρίσματος αυξάνει την αντίθληψη που ακολουθείται από μια επιδείνωση της αποδοτικότητας μηχανών. Η αποβολή του παγιδευμένου μοριακού θέματος(αιθάλη) είναι επομένως απαραίτητη, κανονικά σε ένα ορισμένο όριο αντίθληψης που διευκρινίζεται από τον κατασκευαστή μηχανών. Αυτή η διαδικασία καλείται αναγέννηση. Η αιθάλη καίγεται (από την οξείδωση) σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 550°C . Αυτό σημαίνει ότι οι θερμοκρασίες αερίου εξάτμισης πρέπει να αυξηθούν σε αυτό το επίπεδο προκειμένου να αρχίσει η αναγέννηση. Οι σύγχρονες μηχανές diesel φθάνουν σε αυτές τις θερμοκρασίες μόνο στο πλήρες φορτίο. Συνεπώς, στο μερικό φορτίο, η παγίδα θα κλείσει. Για να αποφύγουν αυτό, έχουν αναπτυχθεί αυτόματες παγίδες C).

5.8.1. ΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΓΙΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της τεχνολογίας είναι μια νέα στρατηγική που επιτρέπει στην παγίδα να αναπαραχθεί υπό τους δυσμενείς όρους (θερμοκρασία εξαγωγής < 400°). Το σύστημα παγίδων με τη συνδυασμένη αναγέννηση λειτουργεί όπως περιγράφεται παρακάτω:

- μια ενότητα θέρμανσης προσαρμόζεται άμεσα μπροστά από την παγίδα.
- Η ενότητα θέρμανσης εφοδιάζεται για την προθέρμανση από υπάρχον ηλεκτρικό σύστημα οχημάτων.
- η ενότητα θέρμανσης ελέγχεται από ένα ECU.
- θερμοκρασία αερίου εξάτμισης, αντίθληψη και η ταχύτητα μηχανής είναι παράμετροι ελέγχου για να αρχίσει βήμα-βήμα η αναγέννηση (προθέρμανση).
- προσθήκη με έναν καύσιμο καταλύτη
- το όχημα περιέχει μια ειδική δεξαμενή για τα καύσιμα του καταλύτη.

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα αυτής της εργασίας είναι:

- οι δοκιμές οχημάτων καταδεικνύουν ότι η παγίδα στο σύστημα λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά επίσης κάτω εξαιρετικά αυστηρούς όρους (χαμηλό αέριο εξάτμισης θερμοκρασία). Η αποδοτικότητα παγίδων είναι υψηλότερη από 90% κάτω από όλη τη μηχανή που λειτουργεί τις συνθήκες αντίστοιχα οδήγησης. Η εκπομπή αιθάλης δεν είναι ανιχνεύσιμη.
- μια ευφυής στρατηγική ελέγχου επιτρέπει το βέλτιστο αλληλεπίδρασης μεταξύ του καύσιμου στον καταλύτη και της θέρμανσης. Με τη βελτιστοποίηση του σχεδίου παγίδων όσον αφορά τη θερμότητα ισορροπία και εκμετάλλευση της θερμότητας ακτινοβολίας της θέρμανσης η απαίτηση δύναμης της ενότητας θέρμανσης είναι χαμηλή (μέγιστο 2 kW για όχι περισσότερο από 2 λεπτά).

5.9. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ DIESEL

Οι εκπομπές diesel είναι ένα σημαντικό θέμα για την ευρωπαϊκή ανάπτυξη καταλυτών. Η αύξηση πωλήσεων των αυτοκινήτων diesel έχει προκαλέσει την ανησυχία σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από τα πολύ λεπτά μόρια στις εκπομπές diesel. Όλα τα με κινητήρα ντίζελ αυτοκίνητα που πωλούνται στην Ευρώπη εγκαθίστανται τώρα με τους καταλύτες οξειδωσης. Μερικοί, αλλά πολλοί, βαρέων καθηκόντων οχήματα

χρησιμοποιούν επίσης τους καταλύτες οξειδωσης. Χαμηλότερη μοριακή μάζα καταλυτών οξειδωσης μέχρι 50%, προέρχεται από την καταστροφή του οργανικού μέρους του μορίου, καθώς επίσης και έχοντας σημαντικές μειώσεις του CO, HC και της χαρακτηριστικής μυρωδιάς diesel. Εντούτοις, ο αριθμός μορίων είναι αμετάβλητος και τα ζητήματα που συνδέονται με τα αποτελέσματα των πολύ λεπτών μορίων παραμένουν εκκρεμή.

Αποτελείται από έναν κεραμικό μονολιθικό καταλύτη με PT ως ενεργό ευγενές μέταλλο για να οξειδώσει το CO, HC και τα PM (SOF) υπό τους αδύνατους όρους. Το μέρος άνθρακα του PM παραμένει απρόσβλητο. Η νέα έκδοση με την αλληλεπίδραση βελτίωσης μεταξύ της υποστήριξης, των σταθεροποιητών και των υποστηρικτών με τη συσκευασία πολύτιμων μετάλλων οδήγησε στην υψηλή δραστηριότητα CO και HC, την καλύτερη θερμική διάρκεια και την καλύτερη αντοχή θείου με τη μείωση NOX 15%. Οι καταλύτες οξειδωσης μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις μηχανές καθώς επίσης και τις 2χρονες μηχανές βενζίνης. Μια μείωση **HC (μέχρι 75%), του CO (μέχρι 70%), του NOx (μέχρι 15%) και TPM (μέχρι 30%)** μπορεί να επιτευχθεί για τα οχήματα. Υπάρχει μια γενική τάση στη μειωμένη μεταλλαξιγένεια λόγω της αποβολής PAHs και μιας βελτίωσης της μυρωδιάς εξάτμισης diesel. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γενικός καταλύτης Πιθανώς να είναι ο σχηματισμός του N₂O και αλδευδών. Ο σχηματισμός του θειικού άλατος είναι επίσης δυνατός, κατά συνέπεια υπάρχει ένας πρόσθετος σχηματισμός PM στην υψηλή θερμοκρασία λόγω της οξειδωσης SO₂ και της αποθήκευσης θειικού άλατος. Πολλή πρόοδος έχει σημειωθεί για να κάνει τον καταλύτη οξειδωσης περισσότερο ανεκτικό στο θείο (λιγότερος σχηματισμός θειικού άλατος). Η ευαισθησία των εκπομπών οχημάτων για να τροφοδοτήσει τις αλλαγές (πυκνότητα, αριθμός δεκαεξανίου) μειώνεται από τον καταλύτη. Η κατανάλωση καυσίμων θεωρείται μικρή.

5.9.1. NO_x - ΕΚΛΕΚΤΙΚΗ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΙΩΣΗ

Αυτή η τεχνολογία είναι βασισμένη στην έγχυση της ουρίας ως διάλυμα ύδατος στα αέρια εξάτμισης πριν από τον καταλύτη με ένα βοηθημένο ακροφύσιο εγχύσεων αέρος. Η χρήση της ουρίας θεωρείται επίσης, προκειμένου να αποφευχθεί το ζήτημα. Το ποσοστό εγχύσεων πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά για να αποφύγει την ολίσθηση αμμωνίας ή τη χαμηλή μετατροπή NO_x. Η ουρία αντιδρά με το NO_x στο N₂ μορφής, H₂O και CO₂. Ο καταλύτης είναι βασισμένος στα μεταλλικά οξείδια, δηλαδή V₂O₅, TiO₂ και WO₃ και η βέλτιστη λειτουργούσα σειρά θερμοκρασίας είναι 250-500C. Η υψηλή μετατροπή NO_x (60 -

90%) επιτυγχάνεται, που είναι η υψηλότερη αυτή τη στιγμή για το diesel, χωρίς οποιοδήποτε αντίκτυπο στη μηχανή. Δεν υπάρχει καμία ποινική ρήτρα ανταλλαγής NO_x/PM, το οποίο σημαίνει ότι η μείωση NO_x δεν οδηγεί σε μια αύξηση εκπομπής PM και το NO_x στις συναλλαγματικές ισοτιμίες N₂O είναι χαμηλό. Τα HDVs θα συμμορφωθούν με το υποδεδειγμένο Euro 4 στις εκπομπές NO_x. Απαιτείται ο πρόσθετος εξοπλισμός (ακροφύσιο εγχύσεων της ουρίας, δεξαμενή, ανεμιστήρας αέρα) καθώς επίσης και αισθητήρες NO_x ή NH₃ προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η έγχυση της ουρίας. Η ολίσθηση αμμωνίας είναι δυνατή, το οποίο μπορεί να προκαλέσει τα προβλήματα στον καταλύτη οξειδωσης. Αν και είναι ανεκτικό το θείο, τα καύσιμα με τα χαμηλά επίπεδα θείου προτιμούνται. Η συσκευασία και το ξαναγέμισμα των προβλημάτων πρέπει να εξεταστούν, δεδομένου ότι η κατ' εκτίμηση ελάχιστη ικανότητα δεξαμενών είναι περίπου 40 l και οι μέθοδοι για να αναγκάσουν το ξαναγέμισμα της δεξαμενής της ουρίας πρέπει να υιοθετηθούν. Άλλο μειονεκτήματα είναι το υψηλό εσωτερικό πάγωμα του διαλύματος ύδατος (-11C) και το σχετικά υψηλό κόστος. Δεν υπάρχει καμία ποινική ρήτρα στην κατανάλωση καυσίμων.

5.9.2. NO_x ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ

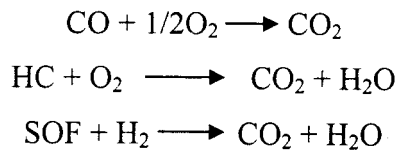
Η μείωση NO_x επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τους υδρογονάνθρακες εξάτμισης ως μέσο μείωσης. Οι όροι εξάτμισης diesel εξαρτώνται από τον τύπο μηχανών και από τον κύκλο πιστοποίησης. Ο κύκλος πιστοποίησης για τα επιβατικά αυτοκίνητα diesel οδηγεί στις θερμοκρασίες αερίου εξάτμισης χαμηλότερες από εκείνοι που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής της επιτροπής για την Ευρώπη. Καμία καταλυτική τεχνολογία δεν είναι διαθέσιμη για να μειώσει το NO_x κάτω από 150C. Μια πιθανή λύση είναι να χρησιμοποιηθεί μια παγίδα NO_x που αποθηκεύει το NO_x έως ότου είναι η θερμοκρασία καταλυτών φτάσει επάνω από 200C. Μια εναλλακτική προσέγγιση, συνήθως κατάλληλη για τις εφαρμογές είναι να παρέχει τους ικανοποιητικούς υδρογονάνθρακες για τη μείωση NO_x, και να χρησιμοποιηθούν οι καταλύτες με τους υδρογονάνθρακες δυνατότητας αποθήκευσης HC που προσροφάται στη χαμηλή θερμοκρασία όταν η παραγωγή NO_x είναι χαμηλή και εκροφώνται στην υψηλότερη θερμοκρασία όταν οι εκπομπές NO_x είναι υψηλές.

Η μείωση που μπορεί να επιτευχθεί είναι **NO_x 5-20%**. Η αποδοτικότητα της μετατροπής NO_x οφείλεται στη χαμηλή επιλεκτικότητα υδρογονανθράκων. Μόνο 5-10% των υδρογονανθράκων εξάτμισης χρησιμοποιείται για να μειώσει το NO_x ενώ το υπόλοιπο 85-90% είναι οξειδωμένοι. Ο εμπλουτισμός υδρογονανθράκων εξάτμισης έπρεπε να βελτιώσει τη μείωση NO_x. Χαμηλές θερμοκρασίες καταλυτών αναπτύσσουν (200-300C), τα υψηλά

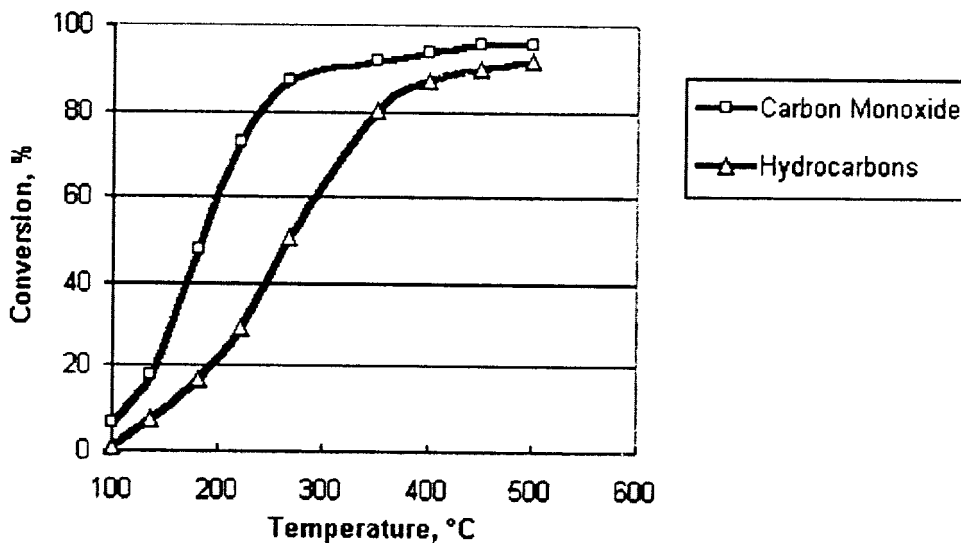
ποσοστά σχηματισμού θειικού άλατος στις υψηλές θερμοκρασίες και της υψηλής μετατροπής NO_x στο N₂O στις χαμηλές θερμοκρασίες. Οι καταλύτες υψηλής θερμοκρασίας είναι ενεργοί επάνω από 350C, έχουν τη φτωχή σταθερότητα σε ένα υγρό περιβάλλον στην υψηλή θερμοκρασία λόγω του ράβδου που έχει μια υψηλή ευαισθησία SO₂ και τον υψηλό σχηματισμό θειικού άλατος. Υπάρχει μια πιθανή ανάγκη των συνδυασμών διαφορετικών καταλυτών να καλυφθεί ολόκληρη η σειρά θερμοκρασίας εξάτμισης. Αυτή τη στιγμή, μερικές τεχνολογίες καταλυτών de- NO_x που είναι διαθέσιμες σήμερα μπορούν να απαιτήσουν τα επίπεδα θείου καυσίμων προκειμένου να αποφευχθούν το SO₂ και ο υψηλός σχηματισμός θειικού άλατος. Οι νέες διατυπώσεις καταλυτών είναι περισσότερο ανεκτικές σε θείο και παρουσιάζουν μειωμένο SO₂ και SO₃ στη μετατροπή. Ο σχηματισμός θειικού άλατος δεν είναι ένα πρόβλημα για τα ελαφριά οχήματα καθήκοντος λόγω τις χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του κύκλου δοκιμής MVEG. Δεδομένου ότι οι PT καταλύτες παρουσιάζουν καλή σταθερότητα γήρανσης, με ένα επίπεδο θείου καυσίμων 500 mg/kg, ακόμη και 500 mg/kg mA είναι επαρκή για ένα επιβατικό αυτοκίνητο που εξοπλίζεται με έναν τέτοιο καταλύτη. Εάν επιπλέον χρησιμοποιείται μια παγίδα NO_x ή και ένας καταλύτης υψηλής θερμοκρασίας (zeolite), θα αποφεύγουν τα χαμηλά επίπεδα θείου και η υπερβολική απενεργοποίηση καταλυτών. Χρησιμοποιώντας ένα PT ο καταλύτης στα οχήματα μεγάλης απόδοσης και ο σχηματισμός θειικού άλατος είναι υψηλός λόγω των υψηλών θερμοκρασιών εξάτμισης που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του κύκλου δοκιμής μηχανών. Οι καταλύτες υψηλής θερμοκρασίας απαιτούν το χαμηλό επίπεδο θείου καυσίμων λόγω της υψηλής ευαισθησίας τους στο SO₂. Δεν υπάρχει κανένας αντίκτυπος στην κατανάλωση καυσίμων. Εντούτοις, η αποδοτικότητά τους είναι πολύ μακριά από αυτόν του 3-way καταλύτη και μια σημαντική ανακάλυψη στην τεχνολογία απαιτείται ακόμα προκειμένου να βελτιωθούν οι συναλλαγματικές ισοτιμίες NO_x. Εντούτοις, προκειμένου τα επιβατικά αυτοκίνητα diesel να ανταποκρίνονται σε πρότυπα εκπομπής 2005, η ανάπτυξη ενός αποδοτικού de- NO_x καταλύτη είναι απαραίτητος. Η εναλλακτική προσέγγιση, που αποτελείται από το χαμήλωμα της εκπομπής NO_x από ανακύκλωση καυσαερίου και τη μείωση με τις παγίδες PM, θεωρείται δυσκολότερη να επιτύχει. Ο σχηματισμός N₂O θα να γίνει ένα σοβαρό ζήτημα στο μέλλον και να είναι ένα νέο κριτήριο για να αξιολογήσει τις αποδόσεις καταλυτών de- NO_x γενικά.

Οι καταλύτες diesel ελέγχουν τις εκπομπές με την προώθηση των χημικών αλλαγών στο αέριο εξάτμισης. Είναι οι αποτελεσματικότεροι προς τις αεριώδεις εκπομπές, δηλ., τους υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο άνθρακα. Οι σύγχρονοι καταλύτες diesel είναι επίσης όλο και περισσότερο αποτελεσματικοί στον έλεγχο του μοριακού θέματος diesel. Οι

καταλύτες diesel έχουν χρησιμοποιηθεί εμπορικά για πολλές εφαρμογές εθνικών οδών. Οι σύγχρονοι καταλυτικοί μετατροπείς αποτελούνται από ένα κυψελωτό υπόστρωμα μονόλιθων που ντύνεται με τον καταλύτη μετάλλων ομάδας λευκόχρυσου, που συσκευάζεται σε ένα εμπορευματοκιβώτιο ανοξειδωτού χάλυβα. Η κυψελωτή δομή με πολλούς μικρούς παράλληλους διαδρόμους παρουσιάζει μια υψηλή καταλυτική περιοχή επαφών στα αέρια εξάτμισης. Δεδομένου ότι τα καυτά αέρια έρχονται σε επαφή με τον καταλύτη, διάφοροι ρύποι εξάτμισης μετατρέπονται στις αβλαβείς ουσίες: διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ο καταλύτης οξείδωσης diesel σχεδιάζεται για να οξειδώσει το μονοξείδιο άνθρακα, τους υδρογονάνθρακες φάσης αερίου, και το μέρος SOF του μοριακού θέματος diesel στο CO₂ και H₂O:

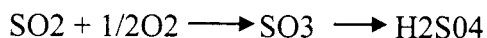


Η εξάτμιση των diesel περιέχει τα ικανοποιητικά ποσά οξυγόνου, απαραίτητα για τις ανωτέρω αντιδράσεις. Η συγκέντρωση του O₂ στα αέρια εξάτμισης από τη μηχανή diesel ποικίλλει μεταξύ 3 και 17%, ανάλογα με το φορτίο μηχανών. Οι χαρακτηριστικές αποδοτικότητες μετατροπής για το CO και HC στον καταλύτη diesel δικτύων δίνονται στην εικόνα 93. Μια ελάχιστη θερμοκρασία εξάτμισης περίπου 200C είναι απαραίτητη για τον καταλύτη για να λειτουργεί. Στις ανυψωμένες θερμοκρασίες, οι μετατροπές εξαρτώνται από το μέγεθος και το σχέδιο καταλυτών και μπορούν να είναι υψηλότερες από 90%.

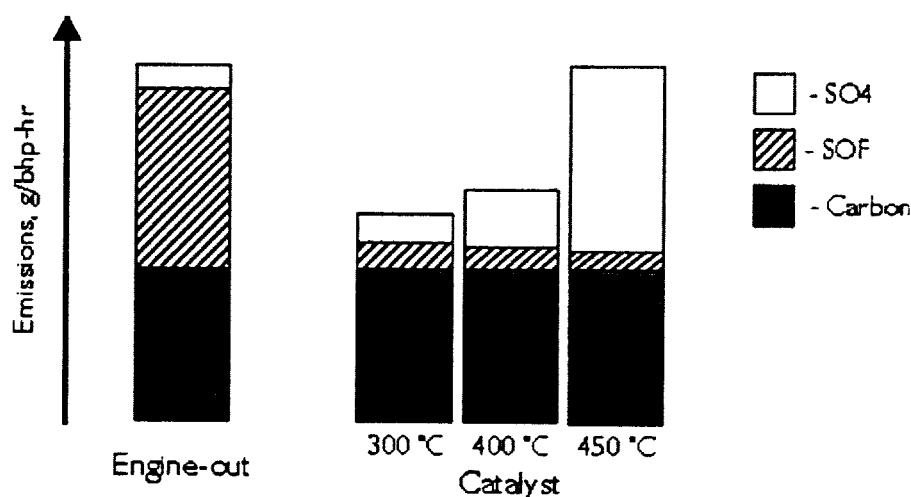


Εικόνα 93: Διάγραμμα μετατροπής ρύπων σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [111]

Η μετατροπή του **σωματιδίου diesel** είναι μια σημαντική λειτουργία του σύγχρονου καταλύτη οξείδωσης diesel. Ο καταλύτης εκθέτει μια πολύ υψηλή δραστηριότητα στην οξείδωση του οργανικού μέρους (SOF) των μορίων diesel. Η μετατροπή του SOF μπορεί να φθάσει και να υπερβεί σε 80%. Στις χαμηλότερες θερμοκρασίες, για παράδειγμα 300C, η συνολική μετατροπή DPM είναι συνήθως μεταξύ 30 και 50%. Στις υψηλές θερμοκρασίες, επάνω από 400C, μια αντιπαραγωγική διαδικασία μπορεί να εμφανιστεί στον καταλύτη. Είναι η οξείδωση του διοξειδίου θείου στο τριοξείδιο θείου, το οποίο συνδυάζει με το νερό διαμορφώνοντας το θειικό οξύ:



Ένας σχηματισμός των μορίων θειικού άλατος (SO₄) εμφανίζεται, αντισταθμίζοντας το όφελος της μείωσης SOF. Η εικόνα 94 παρουσιάζει κατάσταση παραδείγματος, όπου 450C έξω από τη μηχανή και στον καταλύτη οι συνολικές εκπομπές DPM είναι ίσες. Στην πραγματικότητα η παραγωγή των θεικών αλάτων εξαρτάται έντονα από την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων καθώς επίσης και από τη διατύπωση καταλυτών. Είναι δυνατό να μειωθούν οι εκπομπές DPM στα καύσιμα με έναν καταλύτη ακόμη και στις υψηλές θερμοκρασίες, υπό τον όρο ότι χρησιμοποιούνται κατάλληλης διατύπωσης καταλύτες και καλής ποιότητας και χαμηλού περιεχομένου θείου. Αφ' ετέρου, ο καταλύτης οξείδωσης diesel που χρησιμοποιείται με τα υψηλά καύσιμα θείου θα αυξήσει τη συνολική παραγωγή DPM στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Γι αυτό οι καταλύτες diesel γίνονται πιο διαδεδομένοι μόνο μετά από την εμπορική εισαγωγή των χαμηλών καυσίμων diesel θείου.

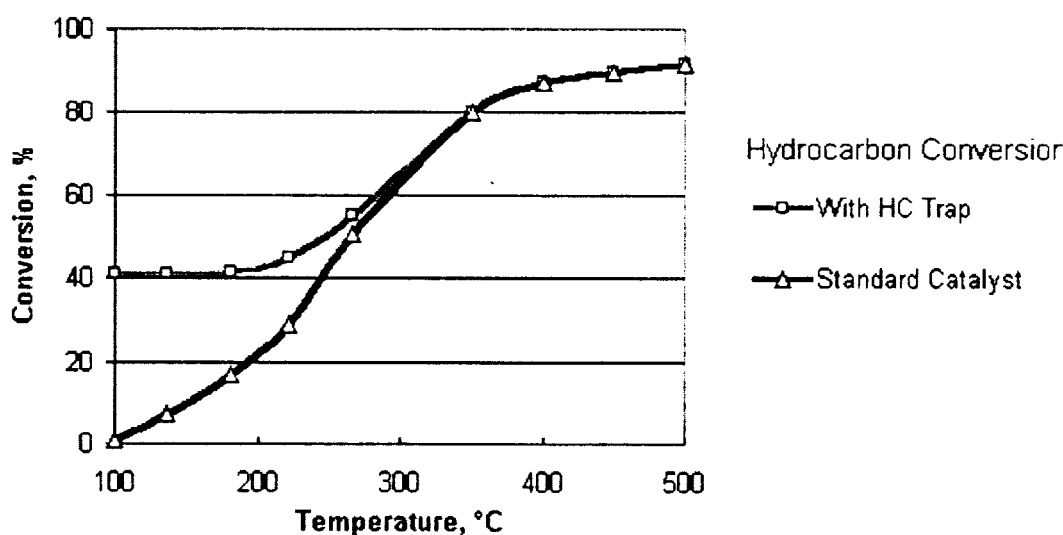


Εικόνα 94: Καταλυτική μετατροπή DPM [110]

Ο καταλύτης οξείδωσης diesel, ανάλογα με τη διατύπωσή του, μπορεί επίσης να εκθέσει κάποια περιορισμένη δραστηριότητα προς τη μείωση των οξειδίων αζώτου στην εξάτμιση diesel. Οι μετατροπές NOx παρατηρούνται συνήθως με 10-20%. Η μετατροπή NOx εκθέτει ένα μέγιστο στις μέσες θερμοκρασίες περίπου 300C.

Οι μηχανές diesel χαρακτηρίζονται από τις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες αερίου εξάτμισης. Όταν οι μηχανές diesel λειτουργούν με χαμηλό φορτίο μηχανών, η θερμοκρασία καταλυτών μπορεί να είναι χαμηλότερη από απαιτημένη για την καταλυτική μετατροπή.

Μια νέα τεχνολογία καταλυτών diesel έχει αναπτυχθεί για να ενισχύσει την απόδοση χαμηλής θερμοκρασίας του καταλύτη οξείδωσης diesel. Η τεχνολογία ενσωματώνει τα υλικά υδρογονανθράκων παγιδεύοντας στον καταλύτη υψηλής θερμοκρασίας (zeolites) που, χρησιμοποιούνται πολύ συχνά ως παγίδες υδρογονανθράκων. Οι zeolites παγιδεύουν και αποθηκεύουν τους υδρογονάνθρακες κατά τη διάρκεια των περιόδων χαμηλής θερμοκρασίας της εξάτμισης, όπως κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας της μηχανής. Κατόπιν, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, οι υδρογονάνθρακες απελευθερώνονται και οξειδώνονται στον καταλύτη. Λόγω αυτού του μηχανισμού, ο καταλύτης εκθέτει χαμηλούς HC από τις χαμηλές θερμοκρασίες. (Εικόνα 95)



Εικόνα 95: Μετατροπή υδρογονανθράκων στον καταλύτη με παγίδα HC. [110]

Οι παγίδες HC σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν στους παροδικούς όρους μηχανών. Δεδομένου ότι η απόδοση χαμηλής θερμοκρασίας εμφανίζεται μέσω της προσρόφησης παρά μέσω της καταλυτικής μετατροπής, οι περίοδοι καυτής θερμοκρασίας εξάτμισης απαιτούνται για την εκρόφιση υδρογονανθράκων και την αναγέννηση του καταλύτη. Η λειτουργικότητα (απόδοση) ενός καταλυτικού μετατροπέα υποβαθμίζεται με τον χρόνο για δύο κυρίως λόγους:

- εξαιτίας της σταδιακής δηλητηρίασης (απενεργοποίησης) των δραστικών μετάλλων,
- εξαιτίας της θερμικής γήρανσης.

Η δηλητηρίαση οφείλεται στην κατασταλτική δράση ορισμένων στοιχείων που υπάρχουν στα καύσιμα όπως ο φώσφορος (P), ο μόλυβδος (Pb), το θείο (S), το μαγγάνιο (Mn), ο άνθρακας, κτλ, τα οποία προσροφούνται ισχυρά στην ενεργή επιφάνεια των ευγενών μετάλλων προκαλώντας, συν το χρόνο, σημαντική ελάττωση της καταλυτικά ενεργής επιφάνειας και έτσι μείωση της απόδοσης του καταλύτη. Ο φώσφορος (P) περιέχεται σε μικρές ποσότητες στα καύσιμα (περίπου 0.002-0.1 mg/l), αλλά παράγεται και από την κατανάλωση των λαδιών της μηχανής, όπου βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες (1.2 g/l). Η αμόλυβδη βενζίνη περιέχει μόλυβδο (Pb) σε μικρές ποσότητες (περίπου 1 mg/l), ενώ τα καυσαέρια περιέχουν περίπου 20 ppm θείο υπό μορφή SO₂. Το μαγγάνιο είναι πρόσθετο της βενζίνης με σκοπό την βελτίωση των αντικροτικών (anti-knock) ιδιοτήτων της.

Η λειτουργία ενός καταλυτικού μετατροπέα σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλεί σοβαρή υποβάθμιση της απόδοσής του. Οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν την σύντηξη (συσσωμάτωση) των κρυσταλλιτών των ευγενών μετάλλων, και έτσι την ελάττωση της ενεργής επιφάνειας του καταλύτη. Μάλιστα ευνοείται και μια κραματοποίηση του Rh με το Pd, όπου το κράμα που προκύπτει εμφανίζει σημαντικά μειωμένη δραστηριότητα και εκλεκτικότητα στις σχετικές αντιδράσεις. Θερμοκρασίες λειτουργίας μεγαλύτερες από 900°C προκαλούν σε μικρό χρονικό διάστημα εκτεταμένες καταστροφές στον καταλύτη. Αυτός άλλωστε είναι και ο λόγος που τα καταλυτικά οχήματα δεν πρέπει να σταθμεύουν πάνω από ξηρά χόρτα και γενικά εύφλεκτα υλικά, γιατί υπάρχει ο κίνδυνος φωτιάς.

Η λειτουργικότητα των καταλυτικών μετατροπέων συνηθίζεται να παρουσιάζεται σε διαγράμματα θερμοκρασίας έναυσης (Light-off temperature). Αυτά απεικονίζουν την μετατροπή των ρύπων σε συνάρτηση της θερμοκρασίας. Ονομάζουμε δε, θερμοκρασία έναυσης, την θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε 50% μετατροπή του ρύπου. Είναι προφανές ότι όσο καλύτερος είναι ένας καταλυτικός μετατροπέας, τόσο χαμηλότερη θα είναι η τιμή των θερμοκρασιών έναυσης που επιτυγχάνει. Το μεγαλύτερο δηλαδή πρόβλημα των καταλυτών ακόμη και σήμερα είναι η μειωμένη απόδοσή τους κατά την εκκίνηση του κινητήρα μέχρι να φτάσουν σε θερμοκρασία πλήρους λειτουργίας (κρύα εκκίνηση). Στα πρώτα δύο λεπτά της λειτουργίας η μείωση των εκπεμπόμενων υδρογονανθράκων είναι σχεδόν μηδενική, και μόνον όταν ο καταλύτης φτάσει τη θερμοκρασία των 350-400°C, ξεκινάει η οξειδωσή τους. Ιδιαίτερα έντονο είναι το πρόβλημα στις βόρειες χώρες όπου οι χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες του χειμώνα μεγαλώνουν το χρονικό διάστημα της προθέρμανσης του καταλύτη. Οι επιστήμονες της παγκόσμιας αυτοκινητοβιομηχανίας προχωρούν στην

εφαρμογή διαφόρων λύσεων, οι οποίες σαν πρώτο στόχο έχουν την αύξηση της θερμοκρασίας του καταλύτη κατά το διάστημα αυτό. Μια απλή σχετικά λύση είναι ο ηλεκτρικά θερμαινόμενος μονολιθικός καταλύτης κατασκευασμένος από λεπτά μεταλλικά φύλλα ή σπιδάλ, τα οποία λειτουργούν σαν θερμαντική αντίσταση. Σε πειραματικό επίπεδο απαιτήθηκαν γύρω στα 3kW ισχύος για τουλάχιστον 25 δευτερόλεπτα μετά την εκκίνηση του κινητήρα για να μπορέσει να αυξηθεί η θερμοκρασία του καταλύτη κατά 100°C. Έτσι ο καταλύτης με προθέρμανση φτάνει τους 300 βαθμούς μέσα σε 17 δευτερόλεπτα, αντί για 30 δευτερόλεπτα σε καταλύτη χωρίς προθέρμανση, ενώ και οι ρύποι που μετρήθηκαν είναι μόλις το ένα τρίτο σε σχέση με αυτούς του καταλύτη χωρίς προθέρμανση. Το σύστημα φαίνεται ικανό να ανταποκριθεί με επιτυχία στις απαιτήσεις, έχει όμως ορισμένα μειονεκτήματα, όπως την υψηλή απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια, τη χρήση επιπλέον μπαταρίας, την αύξηση του βάρους, ενώ δεν μπορεί να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του στη διάρκεια του χρόνου.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω η εφαρμογή της καταλυτικής τεχνολογίας αποτέλεσε έναν από τους σταθμούς της αυτοκίνησης, καθώς απέδειξε ότι μπορεί να υπάρξουν καθαρά και φιλικά προς το περιβάλλον αυτοκίνητα. Η μαζική τους παραγωγή επέτρεψε στις εταιρίες να τους εξελίξουν και να μειώσουν στο ελάχιστο τις παρενέργειες και τα ελαττώματα που κουβαλούσαν στην αρχή της εφαρμογής τους (υψηλή κατανάλωση, μείωση της ισχύος του κινητήρα, κ.λπ). Σήμερα αποτελούν μια αξιόπιστη και αποτελεσματική λύση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από τα αυτοκίνητα, ενώ παράλληλα επιτρέπουν στους κινητήρες εσωτερικής καύσης να παραμείνουν η πλέον πρόσφορη επιλογή για την κίνηση των αυτοκινήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και η έλλειψη των υγρών καυσίμων μετά από δεκαετίες, είναι τα κύρια αίτια ώστε ο άνθρωπος να καταφύγει σε αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων κίνησης των οχημάτων. Οι απαιτήσεις αυξάνουν όλο και περισσότερο για λήψη μέτρων κατά της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

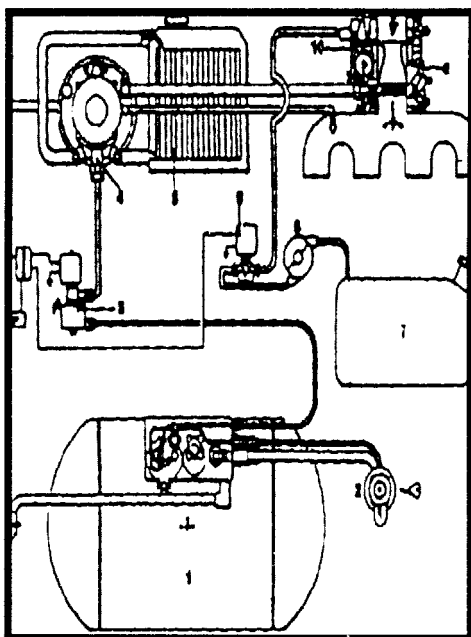
Οι κυριότερες νέες λύσεις που ήρθαν στο προσκήνιο και έφεραν τα πλέον επιθυμητά αποτελέσματα είναι τα εξής:

- Υγραέριο και φυσικό αέριο
- Ηλεκτροκίνηση
- Υβριδικά οχήματα
- Υδρογονοκίνηση
- Ηλιακά οχήματα

Αυτές οι πέντε ενότητες εξετάζονται διεξοδικά παρακάτω:

6.2. ΥΓΡΑΕΡΙΟ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

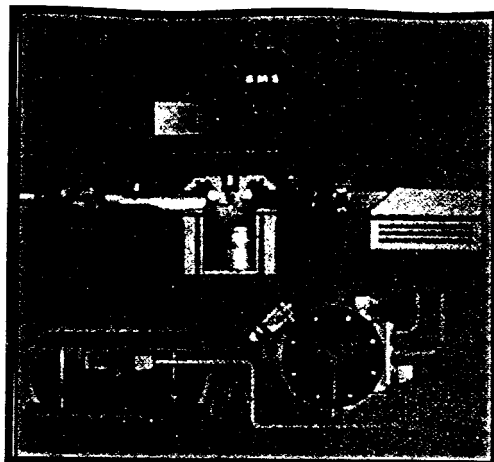
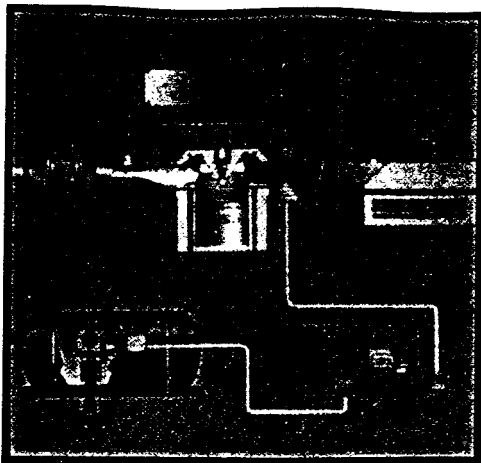
Ως εναλλακτικό καύσιμο το υγραέριο είναι διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες. Επίσης, σε ότι αφορά στις ωφέλειες σε σχέση με το περιβάλλον από την αύξηση της χρήσης του υγραερίου, όλοι συμφωνούν ότι πρόκειται για ένα καθαρό και αποδοτικό καύσιμο. Είναι ένα προϊόν της κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου και χαρακτηρίζεται με το γράμμα L.P.G (LIQUIFIED PETROLEUM GAS). (Εικόνα 96)



Εικόνα 96: Σχηματική διάταξη συστήματος με υγραέριο [107]

Με τον όρο υγραέριο (ή LPG στη γλώσσα των ειδικών) αναφερόμαστε σε όλα τα υγροποιημένα αέρια, που προέρχονται από το πετρέλαιο. Το LPG είναι γνωστό από τις φιάλες, που προορίζονται για οικιακή χρήση. Το LPG που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα είναι μίγμα υδρογονανθράκων, κυρίως προπανίου και βουτανίου. Η αναλογία του είναι 50% προπάνιο και 50% βουτάνιο, σε πίεση 6 bar περίπου και θερμοκρασία 15⁰ C. Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη είναι 11.000 kcal περίπου σε σχέση με το μεγάλο αριθμό οκτανίου που έχει (πάνω από 100 οκτάνια), γι αυτό και δεν χρειάζεται πρόσθετα καύσιμα. Σαν καύσιμο θεωρείται από τα πιο καθαρά. Κατά την καύση του σε βενζινοκινητήρες εκπέμπει τους λιγότερους ρύπους.

Το πιο απλό σύστημα υγραεριοκίνησης είναι αυτό που τοποθετείται σε αυτοκίνητα με καρμπιρατέρ. Μία βαλβίδα ανοίγει ή κλείνει την παροχή υγραερίου από τη δεξαμενή προς έναν εξαερωτή, που ταυτόχρονα λειτουργεί και σαν ρυθμιστής πίεσης. Λόγω της πτητικότητας του υγραερίου δε χρειάζεται αντλία καυσίμου. Μετά την εξαέρωση, το υγραέριο περνά από έναν εναλλάκτη θερμότητας και πριν μπει στην εισαγωγή αναμιγνύεται με αέρα. Το σύστημα τροφοδοσίας βενζίνης παραμένει στη θέση του με τη μόνη διαφορά ότι η παροχή της βενζίνης μπορεί να διακόπτεται με μία βαλβίδα. Η εκκίνηση του κινητήρα γίνεται με βενζίνη και στη συνέχεια με μια κίνηση κλείνει η βαλβίδα της βενζίνης και ανοίγει αυτή του υγραερίου. Τα συστήματα αυτού του τύπου είναι τα πλέον διαδεδομένα σε Ιταλία και Ολλανδία. Τα πρώτα χρόνια της διάδοσής τους έγινε αντιληπτό, εκτός από την οικονομία, ότι το υγραέριο ήταν ένα ιδιαίτερα καθαρό καύσιμο. Με την ολοκληρωτική επικράτηση, όμως, των συστημάτων ψεκασμού βενζίνης στους κινητήρες των αυτοκινήτων έπρεπε να εξελιχθούν αντίστοιχα συστήματα και για το υγραέριο. Τα νέα αυτά συστήματα έχουν ήδη κάνει την εμφάνισή τους στην αγορά και τα αποτελέσματα από τη χρήση τους είναι ενθαρρυντικά. Στη χειρότερη περίπτωση ένα σύγχρονο σύστημα υγραεριοκίνησης επιτυγχάνει εκπομπές ρύπων ανάλογες με αυτές ενός σύγχρονου καταλυτικού αυτοκινήτου και στην καλύτερη (όπου δηλαδή έχει συνεργαστεί και κάποια αυτοκινητοβιομηχανία) η μείωση των εκπομπών ακόμα και σε σύγκριση με τα σύγχρονα αυτοκίνητα είναι σημαντική. Σε σύγκριση με τους κινητήρες ντίζελ τα αποτελέσματα είναι ακόμα πιο θεαματικά. Σήμερα δύο τέτοια συστήματα είναι τα πιο σημαντικά. Το ένα ψεκάζει το υγραέριο σε αέρια φάση και το άλλο σε υγρή φάση (Εικόνα 97). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν είτε ψεκασμό μονού σημείου είτε πολλαπλού σημείου.



Εικόνα 97: Σύστημα ψεκασμού υγραερίου σε αέρια και υγρή φάση. [107]

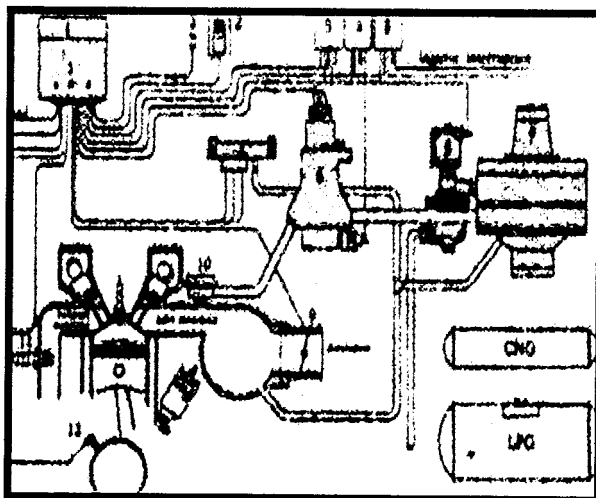
Το σύστημα ψεκασμού του υγραερίου σε **αέρια φάση** ονομάζεται MEGI (Multipoint Electronic Gas Injection) και στην αγορά είναι γνωστότερο ως MEGI. Η λειτουργία του συστήματος ελέγχεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπως συμβαίνει και με τα συστήματα βενζίνης. Επειδή η πίεση του καυσίμου στη δεξαμενή δεν είναι σταθερή (μεταβάλλεται με την εξωτερική θερμοκρασία) η πίεση του ψεκαζόμενου καυσίμου ελέγχεται από ένα ρυθμιστή πίεσης.

Στο σύστημα πολλαπλών σημείων το υγραέριο ψεκάζεται ακριβώς πριν από τη βαλβίδα εισαγωγής. Ένα αυτοκίνητο με σύστημα MEGI κανονικά παίρνει μπροστά με το σύστημα βενζίνης και στη συνέχεια γίνεται μία πολύ ομαλή μετάβαση από το ένα καύσιμο στο άλλο. Ο οδηγός μπορεί να επιλέξει το καύσιμο με ένα διακόπτη στον πίνακα οργάνων. Όπως ήδη είπαμε, το σύστημα MEGI έχει κεντρικό ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο μπορεί να συνδυαστεί με τριοδικό καταλύτη και αισθητήρα «λ», οπότε και επιτυγχάνεται **μείωση των ρύπων** σε επίπεδα αντίστοιχα ή και καλύτερα από αυτά των συστημάτων βενζίνης της ίδιας τεχνολογίας.

Με στοιχειομετρικό μίγμα μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές των τριών βασικών ρύπων (CO , HC και NO_x). Η διαφορά είναι πιο θεαματική, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε ψυχρή εκκίνηση. Αυτό συμβαίνει, διότι σε μία τέτοια περίπτωση, όταν το καύσιμο είναι βενζίνη, απαιτείται **εμπλουτισμός του μίγματος**, οπότε, με δεδομένο ότι και ο καταλύτης δεν έχει αναπτύξει ακόμα τη θερμοκρασία λειτουργίας του, έχουμε κατακόρυφη αύξηση των εκπομπών. Το πρόβλημα αυτό είναι ένα από τα σημαντικότερα που πρέπει να λυθούν για τη βελτίωση του περιβάλλοντος στις πόλεις, αφού τα περισσότερα αυτοκίνητα κινούνται σε μικρές αποστάσεις με κρύο κινητήρα. Με το υγραέριο ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί με στοιχειομετρικό μίγμα από τη στιγμή που θα τεθεί σε λειτουργία οπότε μένει το πρόβλημα του κρύου καταλύτη στο οποίο οι

αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν ήδη δώσει διάφορες λύσεις. Όσο για την κατανάλωση, αυτή μπορεί σε λίτρα/100 χλμ. να είναι μεγαλύτερη με το υγραέριο αλλά αν λάβουμε υπόψη μας το διαφορετικό ενεργειακό περιεχόμενο των δύο καυσίμων και κάνουμε τον υπολογισμό, καταλήγουμε στην ίδια περίπου κατανάλωση ενέργειας.

Το άλλο σημαντικό σύστημα υγραερίου τελευταίας γενιάς ψεκάζει το υγραέριο σε **υγρή φάση**. Ο ψεκασμός είναι πολλαπλών σημείων. Επειδή το υγραέριο ψεκάζεται σε υγρή φάση, ο έλεγχος της λειτουργίας του κινητήρα μπορεί να γίνεται από τη μονάδα ελέγχου του συστήματος της βενζίνης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μη μεταβάλλεται η απόδοση του κινητήρα. Το σύστημα IPI, όπως ονομάζεται, αποτελείται από μία αντλία στο εσωτερικό της δεξαμενής καυσίμου, που συμπιέζει και κυκλοφορεί το καύσιμο, εμποδίζοντάς το να εξατμιστεί πριν φτάσει στους εγχυτήρες. Ένας ρυθμιστής πίεσης διατηρεί την πίεση στο σύστημα τροφοδοσίας κατά 5 bar μεγαλύτερη από την πίεση της δεξαμενής καυσίμου. Οι εγχυτήρες τοποθετούνται στους αυλούς εισαγωγής κοντά στις βαλβίδες. Αυτό δεν είναι εύκολο σε όλα τα αυτοκίνητα, γι' αυτό και είναι υπαρκτή η ανάγκη συνεργασίας των κατασκευαστών αυτοκινήτων, έτσι ώστε να είναι εύκολη, αξιόπιστη και αποτελεσματική η τοποθέτηση τέτοιων συστημάτων σε όλα τα αυτοκίνητα. Το καύσιμο που τελικά δεν εισέρχεται στους κυλίνδρους επιστρέφει στη δεξαμενή μέσω του ρυθμιστή πίεσης. Η μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου του συστήματος IPI χρησιμοποιεί σαν σήμα εισόδου το σήμα που στέλνει η μονάδα του συστήματος βενζίνης στους εγχυτήρες βενζίνης. Η μοναδική άλλη είσοδος στη μονάδα του IPI είναι η πίεση του υγραερίου. Με βάση αυτές τις δύο παραμέτρους η μονάδα ελέγχου του IPI στέλνει τις αντίστοιχες εντολές ελέγχου στους εγχυτήρες του υγραερίου.



Εικόνα 98: Σχηματική διάταξη συστήματος με υγραέριο [107]

Ο ψεκασμός γίνεται διαδοχικά σε κάθε έναν από τους 4 κυλίνδρους (Εικόνα 98). Όλες οι άλλες παράμετροι λειτουργίας ελέγχονται από τη μονάδα ελέγχου του συστήματος βενζίνης. Αυτό εξασφαλίζει την ίδια απόδοση του κινητήρα και εκπομπές ανάλογες με αυτές, όταν το καύσιμο είναι βενζίνη, σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, ενώ και σε αυτήν την περίπτωση δε χρειάζεται εμπλουτισμός του μίγματος στην ψυχρή εκκίνηση, οπότε υπάρχουν και εδώ τα πλεονεκτήματα του συστήματος MEGI. Η επιλογή του καυσίμου γίνεται πάλι από τον οδηγό.

Με το σύστημα IPI πολλαπλών σημείων η μείωση των ρύπων σε σχέση με σύστημα βενζίνης MPI έχει ως εξής:

CO -20,15%, HC -45.83%, NO_x -10% και CO₂ -14,75%.

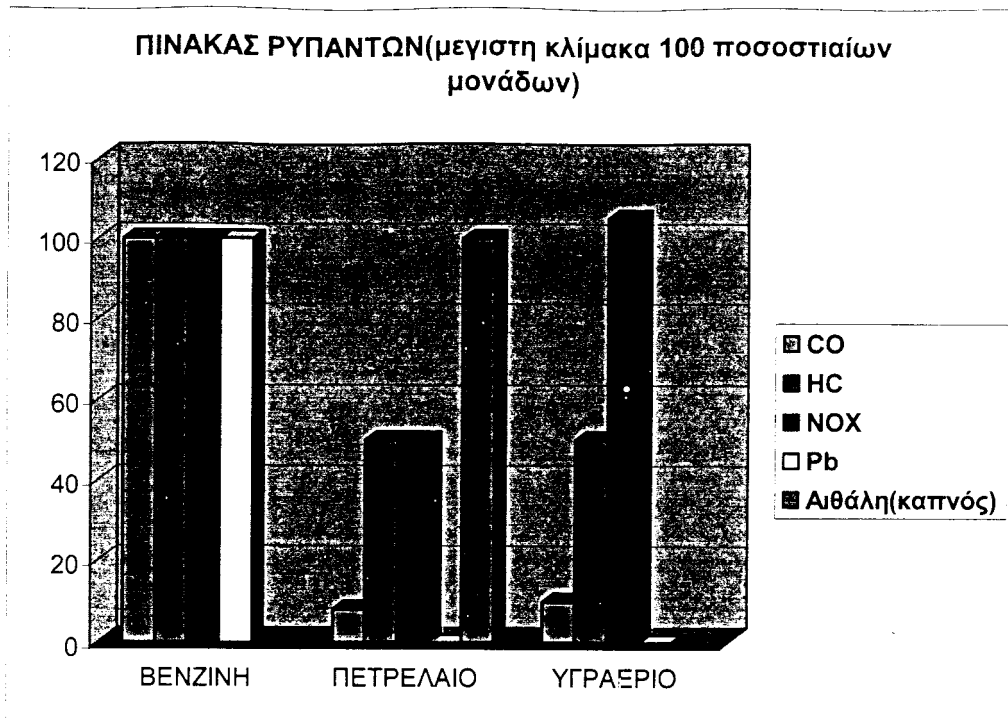
Κατά την καύση του υγραερίου εμφανίζονται στις εκπομπές καυσαερίων οι εξής ρυπαντές :

Το μονοξειδίο του άνθρακα CO, οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες HC και τα οξείδια του αζώτου NO_x.

Στις εκπομπές των καυσαερίων των κινητήρων που καίνε υγραέριο δεν υπάρχουν ενώσεις μολύβδου, καθόσον οι ενώσεις αυτές προστίθενται μόνο στη βενζίνη, για την αύξηση του αριθμού των οκτανίων. Το υγραέριο έχει καλή από άποψη ανάφλεξης του καυσίμου μίγματος (περίπου 110 οκτάνια).

Σχετικά με τη δημιουργία μονοξειδίου του άνθρακα (CO), αυτό είναι πολύ λιγότερο όταν χρησιμοποιείται για καύσιμο υγραέριο απ' ότι όταν χρησιμοποιείται βενζίνη, λόγω του ότι εξασφαλίζεται καλύτερη συμπεριφορά ομοιογένεια του μίγματος υγραερίου-αέρα από το μίγμα βενζίνης-αέρα. Για το λόγο αυτό, στα καυσαέρια υπάρχουν μειωμένες ποσότητες ακουστών υδρογονανθράκων. Σε ότι αφορά τα οξείδια του αζώτου (NO_x), αυτά πρακτικά είναι τα ίδια στο υγραέριο και τη βενζίνη. Στον πίνακα 11 παρακάτω δίνονται ενδεικτικά οι αναλογίες ρυπαντών στις περιπτώσεις βενζινοκίνητου, πετρελαιοκίνητου και υγραεριοκίνητου οχήματος. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το υγραεριοκίνητο αυτοκίνητο, είναι ένα αυτοκίνητο με σχετικά "καθαρά" καυσαέρια.

Πίνακας 11: Πίνακας ρυπαντών [110]



Γι' αυτό και η Πολιτεία προώθησε την εφαρμογή του στα ταξί στο Λεκανοπέδιο Αττικής, όπου υπάρχει σοβαρό πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη χρησιμοποίηση καταλυτικών μετατροπέων στα αυτοκίνητα αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, μειώνονται στο ελάχιστο οι ρυπαντές CO, HC και NOx. Μία τέτοια καινοτομία εφάρμοσε η OPEL στα "αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας", που πωλήθηκαν σαν ταξί. Το OPEL KADETT εισήχθηκε στην Ελλάδα το 1988 και είναι ένα αυτοκίνητο που εκπέμπει εξαιρετικά καθαρά καυσαέρια, είτε σαν βενζινοκίνητο (καίγοντας αμόλυβδη βενζίνη), είτε σαν υγραεριοκίνητο, με δυνατότητα επιλογής του ενός ή του άλλου καυσίμου. Είναι εφοδιασμένο με ένα κινητήρα 1.3 N (91 οκτάνια) και με σύστημα ψεκασμού (SINGLE POINT INJECTION), που συνεργάζεται με ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη, για τη μείωση των εκπεμπόμενων καυσαερίων.

Η κατανάλωση υγραερίου που μετρήθηκε ήταν σε ισοδύναμα λίτρα βενζίνης, περίπου, η ίδια με την αντίστοιχη κατανάλωση βενζίνης. Επίσης πρέπει να πούμε ότι τα αποτελέσματα αυτά έχουν ληφθεί με τη χρησιμοποίηση κανονικού καταλύτη για βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, «παλιωμένου» κατά 2.500 χιλιόμετρα. Αν χρησιμοποιηθούν καταλύτες περισσότερο κατάλληλοι για υγραέριο, τα αποτελέσματα είναι ακόμα καλύτερα.

Με όλα τα παραπάνω συστήματα η λειτουργία του αυτοκινήτου με βενζίνη δεν επηρεάζεται από την παρουσία του συστήματος υγραερίου, αφού καμία επέμβαση δε γίνεται στο σύστημα βενζίνης. Μοναδική πιθανή ενόχληση είναι η μείωση του χώρου των αποσκευών λόγω της δεξαμενής υγραερίου.

Εκτός από τα δύο παραπάνω συστήματα που αποτελούν την αιχμή του δόρατος, στην αγορά κυκλοφορούν διάφορα άλλα συστήματα για σύγχρονα αυτοκίνητα τα οποία παρέχουν **υγραέριο σε αέρια φάση πριν από την πεταλούδα του συστήματος τροφοδοσίας**. Τα συστήματα αυτά ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος ρυθμίζει συνεχώς την παροχή του καυσίμου για την επίτευξη των ελάχιστων δυνατών εκπομπών ρύπων, ικανοποιώντας έτσι τα όρια της σημερινής νομοθεσίας.

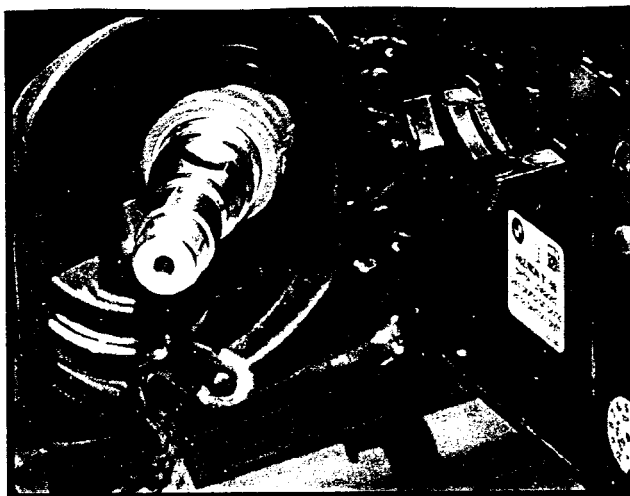
Πολλά υποσχόμενη είναι και η χρήση του υγραερίου ως καυσίμου βαρέων οχημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για διαδρομές μέσα στην πόλη. Τέτοια οχήματα είναι τα αστικά λεωφορεία, τα απορριμματοφόρα, τα διάφορα φορτηγά και βαν διανομής, τα σχολικά λεωφορεία κ.λπ. Στα περισσότερα από αυτά τα οχήματα, αν χρησιμοποιηθεί υγραέριο, τότε αυτό θα είναι το μοναδικό καύσιμό τους (σε αντίθεση με τα μικρά επιβατικά). Αυτό συμβαίνει, γιατί το υγραέριο σε αυτήν την περίπτωση αντικαθιστά το πετρέλαιο κίνησης, γεγονός που συνεπάγεται τη μετατροπή του κινητήρα ντίζελ σε κινητήρα 'Otto (με αλλαγή της κυλινδροκεφαλής και μερικών ακόμα τμημάτων). Έτσι η μόνη τεχνολογία που μπορεί να εφαρμοστεί είναι αυτή των συστημάτων IPI.

Η χρησιμοποίηση υγραερίου σε στόλους βαρέων οχημάτων δεν είναι καινούργια ιδέα. Από το 1963 η εταιρία αστικών λεωφορείων της Βιέννης χρησιμοποίησε το υγραέριο ως καύσιμο για τα λεωφορεία της με τη μέθοδο εμπλουτισμού του πετρελαίου.

Η μείωση του κόστους λειτουργίας, λόγω της χαμηλότερης τιμής του υγραερίου, και η μείωση του καπνού ενθάρρυναν τους ανθρώπους της εταιρίας να δρομολογήσουν το 1976 λεωφορεία με τροποποιημένους κινητήρες, που καταναλώναν μόνο υγραέριο. Ο κύριος λόγος, που τους οδήγησε σε αυτήν την απόφαση, ήταν η πλήρης απουσία του μαύρου καπνού από τα καυσαέρια. Η επιτυχία της χρήσης του υγραερίου και η επικείμενη είσοδος του φυσικού αερίου στην αγορά ήταν το κίνητρο για την εξέλιξη τροποποιημένων κινητήρων ντίζελ, που καταναλώνουν υγραέριο ή φυσικό αέριο. Όλοι σχεδόν οι μεγάλοι κατασκευαστές βαρέων οχημάτων, όπως η MAN, η IVECO, η VOLVO και η DAF, έχουν σήμερα έτοιμες τις δικές τους προτάσεις.

Συγκρίνοντας μεταξύ τους τα τρία καύσιμα -βενζίνη, πετρέλαιο ντίζελ και υγραέριο- σε σχέση με τις εκπομπές των τριών κυριότερων ρύπων, η κατάταξη έχει ως εξής:

Τις μικρότερες εκπομπές NO_x έχει πάλι το υγραέριο, αλλά τις μεγαλύτερες τις έχει το πετρέλαιο.



Εικόνα 99: Δικλείδα ανεφοδιασμού [107]

Το πλεονέκτημα του υγραερίου έναντι του πετρελαίου όμως, είναι μεγαλύτερο λόγω της **απουσίας των οξειδίων του θείου και των σωματιδίων αιθάλης** (καπνού).

Από οικονομικής πλευράς, τώρα, η μετατροπή ενός επιβατικού αυτοκινήτου σε υγραεριοκίνητο κοστίζει περίπου όσο και ένα φτηνό αirkοντίσιον, χωρίς να χάνει το αυτοκίνητο τη δυνατότητα κατανάλωσης βενζίνης. Για να είναι συμφέρουσα η μετατροπή, πρέπει η τιμή του υγραερίου που θα διαμορφώσει η κυβέρνηση να είναι τέτοια, ώστε η απόσβεση του κόστους να γίνεται το πολύ σε 20.000 χιλιόμετρα.

Η τιμή ενός λεωφορείου, που καταναλώνει υγραέριο, είναι 10% μεγαλύτερη από αυτήν ενός πετρελαιοκίνητου. Αν τοποθετηθεί στο πετρελαιοκίνητο κάποια παγίδα αιθάλης, τότε οι τιμές κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι περίπου οι ίδιες. Η κατανάλωση υγραερίου σε σχέση με το πετρέλαιο σε πραγματικά λίτρα ανά 100 Km είναι 70-80% μεγαλύτερη, ενώ σε σχέση με τη βενζίνη είναι κατά 50-70% μεγαλύτερη. Ανάλογα και ακόμα περισσότερο πιο χαμηλή πρέπει να είναι η τιμή του υγραερίου για να υπάρξει κίνητρο για τη διάδοση της χρήσης του.

Ανάμεσα στο υγραέριο και το φυσικό αέριο οι ειδικοί δείχνουν να προτιμούν για τις μεταφορές το υγραέριο, όπως για τις βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές προτιμούν το φυσικό αέριο.

Το φυσικό αέριο πρέπει να αποθηκεύεται υπό πίεση 200 bar στα οχήματα. Η πίεση αυτή απαιτεί την ύπαρξη δεξαμενών με χοντρά τοιχώματα, οι οποίες πρέπει να έχουν μεγάλη χωρητικότητα για την εξασφάλιση ικανοποιητικής αυτονομίας. Αυτό από μόνο του αποκλείει

τη χρήση φυσικού αερίου στα μικρά επιβατικά. Στις βαριές εφαρμογές και ειδικότερα στα λεωφορεία το βάρος των δεξαμενών φτάνει τα 1.000 κιλά. Οι δεξαμενές πρέπει να τοποθετούνται για λόγους ασφαλείας στη σκεπή (επειδή το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα), οπότε τίθεται και θέμα ενίσχυσης της δομής της κατασκευής του λεωφορείου. Το συνολικό κόστος είναι κατά 30-40% αυξημένο.

Λόγω της υψηλής πίεσης αποθήκευσης του φυσικού αερίου απαιτούνται 6-8 ώρες για τον ανεφοδιασμό ενός οχήματος με καύσιμα. Ο χρόνος αυτός μπορεί να πέσει σε μερικά λεπτά της ώρας, αλλά το κόστος της εγκατάστασης υψηλής πίεσης ανεβάζει το κόστος ενός πλήρως εξοπλισμένου αμαξοστασίου στο διπλάσιο του κόστους, αν ως καύσιμο επιλεγόταν το υγραέριο.

Αντίθετα το υγραέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα επιβατικά αυτοκίνητα, η τοποθέτηση των δεξαμενών μπορεί να γίνει κάτω από το δάπεδο των βαρέων οχημάτων, δεν υπάρχουν περιορισμοί για το χρόνο ανεφοδιασμού και το κόστος επένδυσης για να γίνει συστηματική χρήση του είναι σημαντικό μικρότερο.

Όσο ελκυστικό και να είναι το υγραέριο ως εναλλακτικό καύσιμο, δεν παύει να είναι πτητικό και πολύ εύφλεκτο. Οι πραγματικοί, όμως, κίνδυνοι από αυτό δεν είναι μεγαλύτεροι από αυτούς οποιουδήποτε άλλου καυσίμου, φτάνει να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα ασφαλείας.

Οι κλειστοί χώροι στάθμευσης πρέπει να έχουν κοντά στο δάπεδό τους ανιχνευτές διαρροής, επειδή το υγραέριο είναι βαρύτερο από τον αέρα και σε μία πιθανή διαρροή γεμίζει έναν κλειστό χώρο από κάτω προς τα πάνω. Για τον ίδιο λόγο ο φωτισμός τέτοιων χώρων πρέπει να είναι τοποθετημένος όσο το δυνατόν πιο ψηλά και μέσα σε αεροστεγείς θαλάμους για να μειώνεται ο κίνδυνος ανάφλεξης. Επίσης προσοχή πρέπει να δίνεται στον εξαερισμό τέτοιων χώρων. Ο ανεφοδιασμός των πρατηρίων από βυτιοφόρα πρέπει να γίνεται σε σημείο απομακρυσμένο από το δρόμο και ασφαλές. Οι αντλίες του πρατηρίου πρέπει να έχουν διακόπτη, που πρέπει να είναι συνεχώς πατημένος κατά τον ανεφοδιασμό ενός αυτοκινήτου. Έτσι δε θα μπορεί να απομακρυνθεί ο χειριστής τους. Επίσης θα πρέπει το στόμιο του σωλήνα τροφοδοσίας να είναι έτσι κατασκευασμένο, ώστε να μην καταστρέφεται, αν κάποιος οδηγός φύγει αφηρημένος χωρίς να αποσυνδέσει το σωλήνα, ούτε να επιτρέπει διαρροή υγραερίου σε τέτοια περίπτωση. Τα πρατήρια πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 20 μέτρα από βιομηχανικά κτίρια και 40-80 μέτρα (ανάλογα με τη χωρητικότητα των δεξαμενών τους) από τις περιοχές κατοικίας.

Στα αυτοκίνητα οι διατάξεις ασφαλείας είναι αυτές που χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια. Σύστημα αυτόματου γεμίσματος που διακόπτει την τροφοδοσία, όταν η δεξαμενή

φτάσει το 80% της πληρότητάς της. Σύστημα διακοπής της παροχής καυσίμου μόλις σβήσει ο κινητήρας. Δείκτης στάθμης υγραερίου στον πίνακα οργάνων. Βαλβίδα εκτόνωσης για αποφυγή έκρηξης σε περίπτωση που για οποιονδήποτε λόγο αυξηθεί πολύ η εξωτερική θερμοκρασία.

Το υγραέριο λοιπόν είναι εδώ, φτηνό, άμεσα χρησιμοποιήσιμο και διαθέσιμο σε άφθονες ποσότητες. Με τη νομιμοποίηση έστω καθυστερημένα και αναγκαστικά από την ευρωπαϊκή ένωση της χρήσης του, είναι θέμα δικής μας απόφασης, αν θα εκμεταλλευτούμε την ευκαιρία που μας προσφέρει να βελτιώσουμε το περιβάλλον.

6.3. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ

Εκτός από τη χρήση του υγραερίου για τη κατασκευή ενός οχήματος μηδενικών ρύπων μας έρχεται στο μυαλό μας η **ηλεκτροκίνηση**. Όμως η ιδέα της ηλεκτροκίνησης δεν είναι καινούργια αφού τα αυτοκίνητα πρώτα κινήθηκαν από ηλεκτροκινητήρες και αργότερα από κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίοι τελικά και επικράτησαν. Δεν είναι καινούργια και η ιδέα της αντικατάστασης του κινητήρα εσωτερικής καύσης από τον ηλεκτροκινητήρα κάτω από την πίεση της απαίτησης για καθαρότερο περιβάλλον. Σε αρκετές μάλιστα περιπτώσεις, η αντικατάσταση αυτή έγινε με επιτυχία. Όμως αυτό αφορά ορισμένες μόνο κατηγορίες οχημάτων για έναν κυρίως λόγο: τη δυσκολία εξεύρεσης πηγής που θα παρείχε την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, δίνοντας ικανοποιητική αυτονομία στο ηλεκτροκίνητο όχημα χωρίς παράλληλα να περιορίζει την ευελιξία του.

Ρίχνοντας μιά ματιά στην πορεία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου βλέπουμε ότι οι προσπάθειες των επιστημόνων οδήγησαν στη διαμόρφωση δύο βασικά τύπων ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τα καθαυτό ηλεκτρικά τα οποία κινούνται **μόνο** από ηλεκτροκινητήρες, και τα υβριδικά τα οποία διαθέτουν εκτός από τον ηλεκτροκινητήρα, **και** κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Το κύριο πρόβλημα που έχουν να επιλύσουν οι επιστήμονες με δεδομένο το ότι υπάρχουν οι κατάλληλοι για την κίνηση ενός οχήματος ηλεκτροκινητήρες, των οποίων μάλιστα τα πλεονεκτήματα τους έφεραν στην επικαιρότητα, είναι να βρουν μία πηγή ενέργειας για να τροφοδοτήσουν τους κινητήρες αυτούς. Η λύση του εναέριου δικτύου ηλεκτροφόρων συρμάτων, μπορεί να είναι καλή για τα τρόλεϊ, που εκτελούν πολύ συγκεκριμένα δρομολόγια, αλλά είναι παράλογο ένα ανάλογο δίκτυο και για όλα τα υπόλοιπα αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στους δρόμους. Ούτε βέβαια η λύση ενός υπόγειου δικτύου

από πηνία που θα τροφοδοτούσαν τα RPEV (οχήματα που παίρνουν ενέργεια από το δρόμο) είναι μέσα στα πλαίσια του εφικτού. Όσο για τις ενεργειακές κυψέλες, αν και σε διάφορες μορφές τους έχουν χρησιμοποιηθεί σε υποβρύχια, δεν φαίνεται να μπορούν στο άμεσο μέλλον να αποτελέσουν τη λύση στο πρόβλημα. Γιατί έχουν βέβαια μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής, αλλά έχουν ταυτόχρονα και υψηλό κόστος και επικίνδυνες είναι, τουλάχιστον αυτές που χρησιμοποιούν υδρογόνο.

Η πιο πρόσφορη λύση, μέχρι στιγμής τουλάχιστον, στο πρόβλημα της ενεργοδότησης των ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο λόγω της συμβατικότητας της τεχνολογίας που απαιτείται για την κατασκευή τους, όσο και λόγω της ευκινησίας που προσδίδουν στα οχήματα που τροφοδοτούν, είναι οι συσσωρευτές. Δεν είναι τυχαίο το ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που κατά καιρούς παρουσιάζουν οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν συσσωρευτές, ούτε είναι υπερβολή ότι από την εξέλιξη των τελευταίων εξαρτάται σε καθοριστικό βαθμό και η τύχη των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Δεν είναι υπερβολή επίσης πως το γεγονός ότι τα αυτοκίνητα που βλέπουμε στους δρόμους είναι βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα και όχι ηλεκτροκίνητα, οφείλεται κατά κύριο λόγο στο ότι οι συσσωρευτές δεν έχουν φτάσει ακόμα στο απαιτούμενο στάδιο εξέλιξης που θα έκανε τα ηλεκτροκίνητα ικανά να ανταγωνιστούν τα συμβατικά οχήματα. Οι ιδιότητες που πρέπει να έχουν οι συσσωρευτές είναι:

Ο ιδανικός συσσωρευτής θα πρέπει κατ' αρχήν να είναι αρκετά ισχυρός, για να παρέχει την απαιτούμενη για την επιτάχυνση του οχήματος ισχύ, χωρίς να είναι αρκετά βαρύς, να έχει δηλαδή υψηλό λόγο ισχύος-βάρους, και να μπορεί να αποθηκεύει μεγάλη ποσότητα ενέργειας, η οποία να επαρκεί για να κινήσει το όχημα για όσο το δυνατό περισσότερα χιλιόμετρα, να έχει δηλαδή μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα. Οι γνωστοί σε όλους κοινοί συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέος που τοποθετούνται σήμερα σε όλα τα αυτοκίνητα δεν ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις. Γι' αυτό και χρειάστηκε να αναπτυχθεί η έρευνα για την κατασκευή νέων τύπων η οποία μάλιστα άρχισε να αποδίδει καρπούς. Έτσι σήμερα υπάρχουν διάφοροι τύποι από τους οποίους όμως κανείς δεν έχει φτάσει σε κείνο το σημείο εξέλιξης που να μπορεί να αλλάξει τη μορφή του σύγχρονου αυτοκινήτου.

Οι συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέος προηγμένου τύπου με ηλεκτρολύτη σε στερεά μορφή, έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από τους κοινούς, δεν χρειάζονται συντήρηση και προσφέρουν ικανοποιητική αυτονομία για μετακινήσεις μέσα στην πόλη. Επιπλέον δεν υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης που υπήρχε στους κοινούς συσσωρευτές Μολύβδου κατά την επαναφόρτιση τους λόγω της δημιουργίας μίγματος οξυγόνου-υδρογόνου. Τέτοιου τύπου συσσωρευτές χρησιμοποιεί το LA301 που έχει διατεθεί στην

αγορά του Λος Άντζελες, το ELECTRO-CLIO, τα PEUGEOT 106 και CITROEN SAXO της PSA που χρησιμοποιούνται από τη Γαλλική επιχείρηση ηλεκτρισμού και άλλες εταιρίες στη Γαλλία και το Βέλγιο, κ.ά.

Οι συσσωρευτές Νατρίου-θείου έχουν πολλαπλάσια ενεργειακή πυκνότητα από τους συσσωρευτές Μολύβδου αλλά έχουν υψηλό κόστος και το σοβαρό μειονέκτημα, ότι η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι πολύ υψηλή και πρέπει να διατηρείται σε ψηλά επίπεδα ακόμα και όταν το όχημα είναι σταματημένο, γεγονός που απαιτεί την ύπαρξη τόσο συστήματος θέρμανσης όσο και θερμομόνωσης. Τέτοιους συσσωρευτές χρησιμοποιεί το E-1 της BMW.

Άλλοι τύποι συσσωρευτών είναι οι Νικελίου-Σιδήρου με ενεργειακή πυκνότητα 30% μεγαλύτερη από αυτή των συσσωρευτών Μολύβδου, οι Ψευδαργύρου-Αέρα οι οποίοι προσφέρουν αρκετά μεγάλη αυτονομία (200-300 χλμ.) αλλά έχουν μικρή διάρκεια ζωής, οι λιθίου αλουμινίου-θείου σιδήρου με αυτονομία 300 χλμ. αλλά με μεγάλη θερμοκρασία λειτουργίας, οι Νικελίου-Καδμίου τους οποίους χρησιμοποιεί το Τσίκο της VW, κ.ά. Πρέπει ακόμα να γίνει αναφορά στους συσσωρευτές λιθίου-αέρα οι οποίοι έχουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από όλους τους γνωστούς τύπους συσσωρευτών και προσφέρουν κατά συνέπεια τη μεγαλύτερη αυτονομία, αλλά έχουν το μειονέκτημα να μην επαναφορτίζονται. Για να επαναχρησιμοποιηθούν αφαιρείται το ανθρακικό λίθιο που δημιουργείται κατά τη λειτουργία τους και τοποθετείται νέο λίθιο.

Το πρώτο ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι αν υπάρχει η δυνατότητα «εξηλεκτρισμού» του αυτοκινήτου, με την έννοια του αν και κατά πόσον οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι κατάλληλοι για την κίνηση των αυτοκινήτων, χωρίς να εξετάζουμε το πρόβλημα της «τροφοδοσίας» των κινητήρων αυτών. Υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα που μπορούμε να αναφέρουμε, για ν' αποδείξουμε το ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες όχι μόνο είναι κατάλληλοι για την κίνηση κάθε είδους οχήματος, αλλά σε πολλές περιπτώσεις είναι καταλληλότεροι από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, λόγω του ότι έχουν διαθέσιμο το μέγιστο της ροπής τους από τη στιγμή που θα τεθούν σε λειτουργία δηλαδή από... μηδέν στροφές.

Παρατηρείται δηλαδή ότι πέρα από τα πειραματικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα που παρουσιάζονται στις διεθνείς εκθέσεις αυτοκινήτου, οι ηλεκτρικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και πάρα πολλά χρόνια για να κινούν διάφορα οχήματα. Το ότι τα αυτοκίνητα που βλέπουμε να κυκλοφορούν στους δρόμους δεν είναι ηλεκτρικά, δεν οφείλεται σε κάποια σοβαρά μειονεκτήματα των ηλεκτροκινητήρων, αλλά, όπως είπαμε και πριν, στο

ότι δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα κάποια πηγή ενέργειας που να προσφέρει αυτονομία που να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με αυτήν των συμβατικών αυτοκινήτων.

Ο πρώτος και κυριότερος λόγος που καταβάλλονται προσπάθειες να αντικατασταθούν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης από ηλεκτρικούς είναι το ότι ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, που είναι και ο στόχος ολόκληρης της συζήτησης την οποία κάνουμε. Είναι βέβαια γεγονός, ότι η ηλεκτρική ενέργεια που ένας ηλεκτροκινητήρας καταναλώνει προέρχεται στις περισσότερες περιπτώσεις από πηγές που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Επιπλέον δεδομένης της απώλειας ενέργειας κατά τη μεταφορά αυτής, ενδέχεται ο συνολικός βαθμός απόδοσης να είναι μικρότερος από τη χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης, δηλαδή για τη λειτουργία όλων των οχημάτων να χρειαζόμαστε μεγαλύτερες ποσότητες υγρών καυσίμων από ότι αν αθροίσουμε τα καύσιμα που χρειάζονται όλα τα αυτοκίνητα μεμονωμένα. Έτσι ο συνολικός όγκος των ρύπων είναι αυξημένος, υπάρχει όμως το πλεονέκτημα ότι αυτοί εκλύονται μακριά από τα αστικά κέντρα, όποτε αποφεύγουμε τις γνωστές συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των πόλεων. Τα προβλήματα όμως της όξινης βροχής και του φαινομένου του θερμοκηπίου αναμένεται να ενταθούν, αφού η αυξημένη δραστηριότητα των σταθμών παραγωγής ενέργειας θα έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη εκπομπή CO₂ και SO₂. Αυτά όμως είναι υποθετικά και στον αγώνα για την δημιουργία πιο καθαρού αστικού περιβάλλοντος τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ίσως η καλύτερη θεωρητικά λύση. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες όμως εκτός από «καθαροί» είναι και πρακτικά αθόρυβοι. Κάνουν κάποιο θόρυβο ο οποίος όμως σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να συγκριθεί με το θόρυβο που κάνουν οι μηχανές εσωτερικής καύσης, ο οποίος παρά τα μέτρα που παίρνουν οι κατασκευαστές για τον περιορισμό του, παραμένει σε υψηλά επίπεδα κάνοντας ακόμα πιο δύσκολη τη ζωή των κατοίκων των πόλεων. Επιπλέον οι ηλεκτροκινητήρες δεν δημιουργούν κραδασμούς, αφού είναι «ζυγισμένοι», δεν υπάρχουν δηλαδή σ' αυτούς (συγκεκριμένα στο δρομέα) ανομοιόμορφα κατανεμημένες μάζες οι οποίες να δημιουργούν κατά την περιστροφή τους φυγόκεντρες, μη εξισορροπημένες χωρίς την προσθήκη αντίβαρων, δυνάμεις. Στα πλεονεκτήματα των ηλεκτροκινητήρων πρέπει να προσθέσουμε τις σχετικά μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης, οι οποίες βέβαια εξαρτώνται και από το είδος του κινητήρα. Οι ασύγχρονοι κινητήρες για παράδειγμα απαιτούν ελάχιστες εργασίες συντήρησης, ενώ οι συνεχούς ρεύματος κάπως αυξημένες. Η ηλεκτροκίνηση είναι εδώ και καιρό πραγματικότητα για ορισμένες κατηγορίες οχημάτων.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελούν τον πόλο έλξης των εκθέσεων αυτοκινήτων, σηματοδοτούν την εξέλιξη της τεχνολογίας, αλλά μόλις σβήσουν τα φώτα της σκηνης αποσύρονται ξανά στα εργαστήρια των εταιριών.

Ένα ακόμη σοβαρό πρόβλημα είναι το πρόβλημα της υποδομής. Μια έννοια αρκετά γενική η οποία δεν περιλαμβάνει μόνο τους σταθμούς φόρτισης, αλλά και την οικιακή φόρτιση των μπαταριών και γενικότερα την τεχνολογία υποστήριξης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Και ενώ τα σημερινά πρατήρια είναι το αποτέλεσμα της εξέλιξης των τελευταίων 90 χρόνων, τα «πρατήρια ηλεκτρικού» του μέλλοντος θα πρέπει ουσιαστικά να δημιουργηθούν σχεδόν ‘εν μία νυκτί’ ή τέλος πάντων σε όσο χρόνο μας μένει μέχρι τα πρώτα ηλεκτροκίνητα αρχίσουν να κυκλοφορούν μαζικά.

Είναι προφανές, λοιπόν, ότι οι καταναλωτές δεν πρόκειται να αγοράσουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χωρίς την ύπαρξη υποδομής, η δημιουργία της οποίας όμως απαιτεί την ύπαρξη αυτοκινήτων στους δρόμους.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κάλυψαν κατά 80% τις ανάγκες των οδηγών τους για τις μετακινήσεις τους, αν και οι περισσότεροι αναγκάστηκαν να αλλάξουν αυτοκίνητο για τις μακρινές μετακινήσεις ή να μειώσουν τις αποστάσεις που διανύουν. Όμως το βασικό πρόβλημα των χρηστών δεν ήταν η περιορισμένη αυτονομία, αλλά ο χρόνος και η μέθοδος φόρτισης, καθώς και η διαθεσιμότητα σταθμών φόρτισης. Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν πολύ δρόμο να διανύσουν ακόμα μέχρι τα γκαράζ μας, ώστε να αποτελέσουν μια σοβαρή εναλλακτική λύση απέναντι στα σημερινά επιβατικά με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Και αυτό γιατί ο σημερινός χρήστης αυτοκινήτου δε φαίνεται διατεθειμένος να αλλάξει τις συνήθειές του και να συμβιβαστεί με τις περιορισμένες δυνατότητες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ως πιο ρεαλιστική λύση διαφαίνεται η ύπαρξη **υβριδικών οχημάτων**, λύση η οποία θα εξετασθεί αργότερα. Η αξία όμως της ηλεκτροκίνησης ακόμη και έτσι είναι αδιαμφισβήτητη, αφού αποτελεί το μισό για την υλοποίηση της χρυσής τομής.

6.4. ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Μια βιώσιμη εναλλακτική πρόταση της περιβαλλοντικής τεχνολογίας στη χαραυγή της τρίτης χιλιετηρίδας φαίνεται να είναι τα «υβριδικά αυτοκίνητα». Αυτά περιορίζουν τόσο την ποσότητα των εκπεμπόμενων καυσαερίων, όσο και την πολυπόθητη κατανάλωση καυσίμου, διότι το υβριδικό αυτοκίνητο μέσα στις πόλεις, και γενικά για ταχύτητες κάτω των 50km/h, θα χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό και για ταχύτητες άνω των 50km/h, έξω από την πόλη τον κύριο κινητήρα, εσωτερικής καύσης ή άλλη πηγή ενέργειας ``π.χ. ενεργειακές κυψέλες``.

Η αρχή χρησιμότητας των υβριδικών αυτοκινήτων προκύπτει από το γεγονός ότι κάθε υβριδικό αυτοκίνητο διαθέτει μια πηγή παραγωγής ενέργειας (θερμικός κινητήρας ενεργειακές κυψέλες κλπ), μια ηλεκτρογεννήτρια, ηλεκτροκινητήρες και συστοιχεία συσσωρευτών, με αποτέλεσμα να είναι ηλεκτροκίνητο μέσα στην πόλη και εκτός πόλης να χρησιμοποιεί τον θερμικό κινητήρα, κυρίως ή και την ηλεκτρική παροχή του συστήματος όταν οι συνθήκες οδήγησης το απαιτούν.

Επειδή ο θερμικός κινητήρας μπορεί να φορτίζει τις μπαταρίες το αυτοκίνητο δεν θυσιάζει ούτε τις επιδόσεις του ούτε και την αυτονομία του, σε σχέση με τα άλλα αυτοκίνητα, κυρίως τα αμιγώς ηλεκτροκίνητα.

Οι ταχύτητες που έχουν κατοχυρώσει είναι γύρω στα 165km/h και η κατανάλωση βενζίνης γύρω στα 3,5lit/100km.

Πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν κατασκευάσει υβριδικά αυτοκίνητα, τα οποία ελπίζουν να τα θέσουν σε παραγωγική διαδικασία μετά το 2003.

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν τα υβριδικά αυτοκίνητα της Ευρώπης και Ιαπωνίας και συγκεκριμένα της Renault και της TOYOTA, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι και οι άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες, δεν έχουν ασχοληθεί με τα υβριδικά αυτοκίνητα, διότι είναι γνωστό ότι η έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση χρονολογείται πριν 30 χρόνια.

Πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν κατασκευάσει υβριδικά αυτοκίνητα, τα οποία ελπίζουν να τα θέσουν σε παραγωγική διαδικασία μετά το 2003.

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν τα υβριδικά αυτοκίνητα της Ευρώπης και Ιαπωνίας και συγκεκριμένα της Renault και της TOYOTA, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι και οι άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες, δεν έχουν ασχοληθεί με τα υβριδικά αυτοκίνητα, διότι είναι γνωστό ότι η έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση χρονολογείται πριν 30 χρόνια.

6.4.1 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΤΟΥΥΟΤΑ

Αρχίζοντας από τα θεαματικά αποτελέσματα των αυτοκινήτων με της (Toyota Hybrid System)ως προς το θέμα των εκπεμπόμενων ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου, σε σύγκριση με τα συμβατικά καταλυτικά αυτοκίνητα:

Εκπέμπουν κατά 50% λιγότερο CO₂ και 80-90% λιγότερο CO, HC και NO_x.

Καταναλώνουν, κατά τον ιαπωνικό κύκλο μετρήσεων, το 1/2 του συμβατικού αυτοκινήτου, δηλαδή 28 km/lt έναντι των 14 km/lt του συμβατικού.

Τα βασικά τμήματα του συστήματος είναι:

- * Ο θερμικός κινητήρας εσωτερικής καύσης.
- * Ο ηλεκτροκινητήρας.
- * Η γεννήτρια
- * Το συγκρότημα συσσωρευτών.
- * Το πλανητικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης.

Το πρωτεύον πλεονεκτικό στοιχείο αυτού του συστήματος είναι η ευελιξία που διαθέτει στη χρήση των πηγών ενέργειας, ως προς τη δημιουργία του βέλτιστου συνδυασμού θερμικού κινητήρα με μπαταρία και γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος.

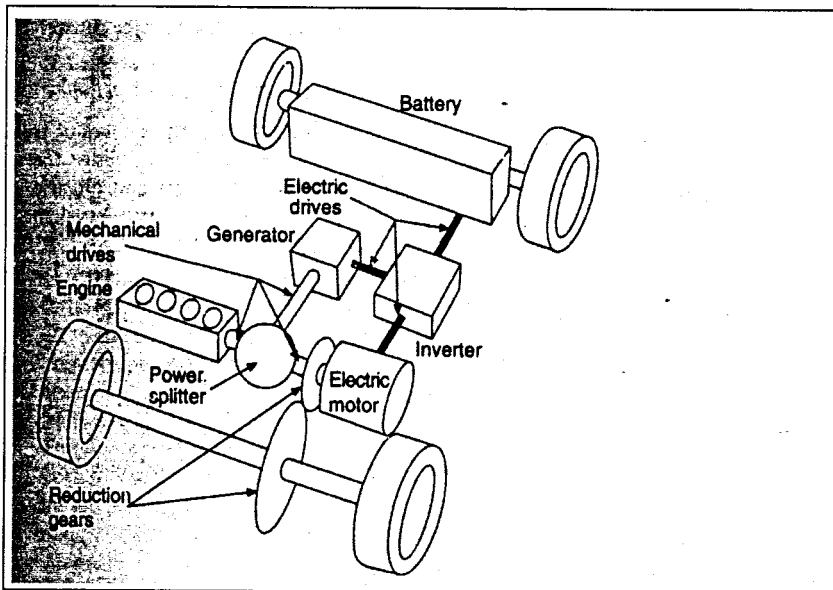
Η εντυπωσιακή όμως καινοτομία του εμφανίζεται στο σχεδιασμό του πλανητικού συστήματος μετάδοσης της κίνησης στους τροχούς και τη διαφορετικότητα μεταξύ σχέσης συμπίεσης 9:1 και σχέσης εκτόνωσης 14:1. Η μεταβλητή σχέση επιτυγχάνεται με την παράκαμψη μέρους του μείγματος προς την πολλαπλή εισαγωγή, κατά τη φάση της συμπίεσης, όπου ο εκκεντροφόρος κρατάει ανοικτές τις βαλβίδες εισαγωγής για καθορισμένη διαδρομή του εμβόλου, λόγω και του υπάρχοντος συστήματος μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων.

Επίσης ενθαρρυντική εξέλιξη υπάρχει και στον τομέα των συσσωρευτών, όπου οι χρησιμοποιούμενοι συσσωρευτές Νικελίου / Υβριδίου μετάλλου έχουν πάνω από 3 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα ηλεκτρικής ενέργειας, από τις αντίστοιχες μπαταρίες Νικελίου / Καδμίου και καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο χώρο, λόγω του μικρού τους όγκου, έτσι, ώστε να τοποθετούνται ακόμη και στην πλάτη του πίσω καθίσματος.

6.4.2. PRIUS

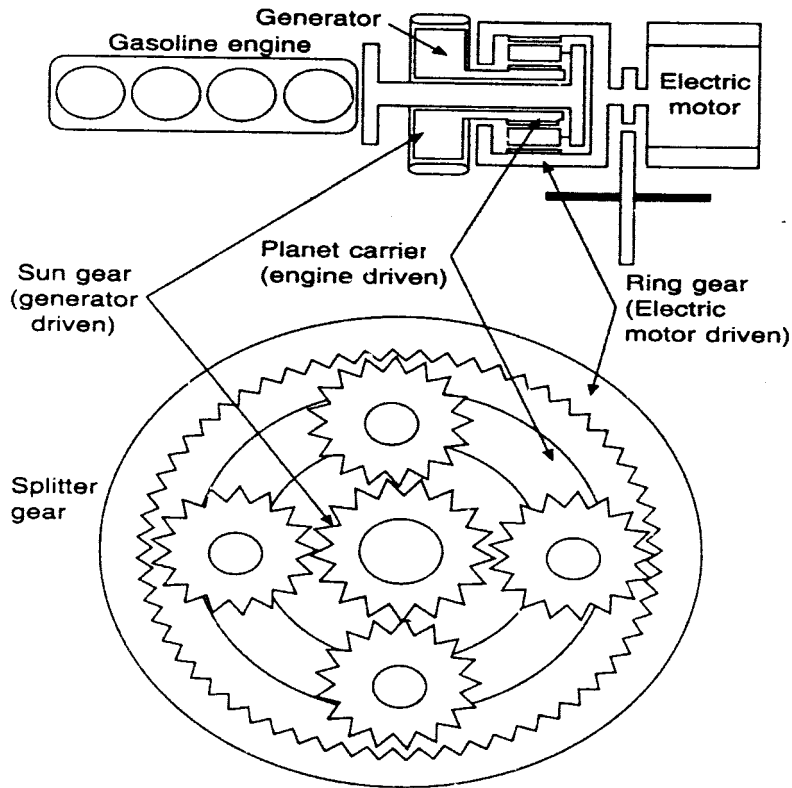
Κατά την διάρκεια των χρόνων, η TOYOTA παράγει το αυτοκίνητο Prius (Εικόνα 100) για την πώληση στην Ιαπωνία σε ένα ποσοστό 2000 το μήνα, και σκοπεύει να το εξαγάγει στις ΗΠΑ. Μια ευθύγραμμη μηχανή τεσσάρων κυλίνδρων 1,5 λίτρων. Λειτουργούν σε μια υψηλή αναλογία επέκτασης (με το μεταβλητό συγχρονισμό βαλβίδων), αναπτύσσει 42,6 kW σε 4000 rev/min και η εκτίμηση ροπής της είναι 101,8 Nm. Η παραγωγή της χωρίζεται, από ένα πλανητικό σύνολο εργαλείων, μεταξύ μιας υψηλής αποδοτικότητας μόνιμης γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος μαγνητών και του τελικού εργαλείου κίνησης. Η αναλογία της διάσπασης, που ποικίλλει, εξαρτάται από τις οδηγίες που δίνονται από τον έλεγχο υπολογιστών και τις σχετικές αντιστάσεις στην περιστροφή που παρουσιάζεται από το τελικές εργαλείο κίνησης και τη γεννήτρια.

Για να περιορίσει και την κατανάλωση και τις εκπομπές καυσίμων, η μηχανή συνεχίζεται μέσα στην αποδοτικότερη σειρά ταχύτητάς της. Εάν το όχημα κινείται κάτω από το πολύ ελαφρύ φορτίο ή είναι στάσιμο, ο ανεφοδιασμός καυσίμων στη μηχανή κόβεται και χρησιμοποιείται μόνο η δύναμη μπαταριών. Όταν απαιτείται περισσότερη ροπή, η μηχανή ξεκινά ξανά και συμπληρώνει τη δύναμη από την ηλεκτρική μηχανή.



Εικόνα 100: Διάταξη συστήματος Toyota Prius [117]

Εγκαθίστανται 12V μπαταρίες υδρίδιων νικέλιο-μετάλλων με ικανότητα 6,5 Ah και η τελική κίνηση είναι μια μόνιμη ηλεκτρική μηχανή μαγνητών που παράγει 30 kW με εκτιμημένη σειρά ταχύτητας 940 έως 2000 rev/min. Η ενέργεια από τη γεννήτρια εκτρέπεται στις μπαταρίες μόνο όταν πρέπει να επαναφορτιστούν. Δεδομένου ότι οι ταχύτητες της μηχανής εσωτερικής καύσεως, της ηλεκτρικής γεννήτριας και της ηλεκτρικής μηχανής ρυθμίζονται συνεχώς για να φροντίσουν για τα ποικίλα φορτία, ολόκληρο το σύστημα μπορεί να συγκριθεί με μια συνεχώς μεταβλητή μετάδοση. (Εικόνα 104)



Εικόνα 101: Σύστημα υβριδικών [107]

Λειτουργία

Η εκκίνηση του αυτοκινήτου δεν γίνεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, αλλά από τον ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος τροφοδοτείται με ρεύμα από τις μπαταρίες Νικελίου/Υβριδίου μετάλλου, το ίδιο συμβαίνει και στις μικρές ταχύτητες και στα μικρά φορτία, ιδίως στην πορεία μέσα στην πόλη.

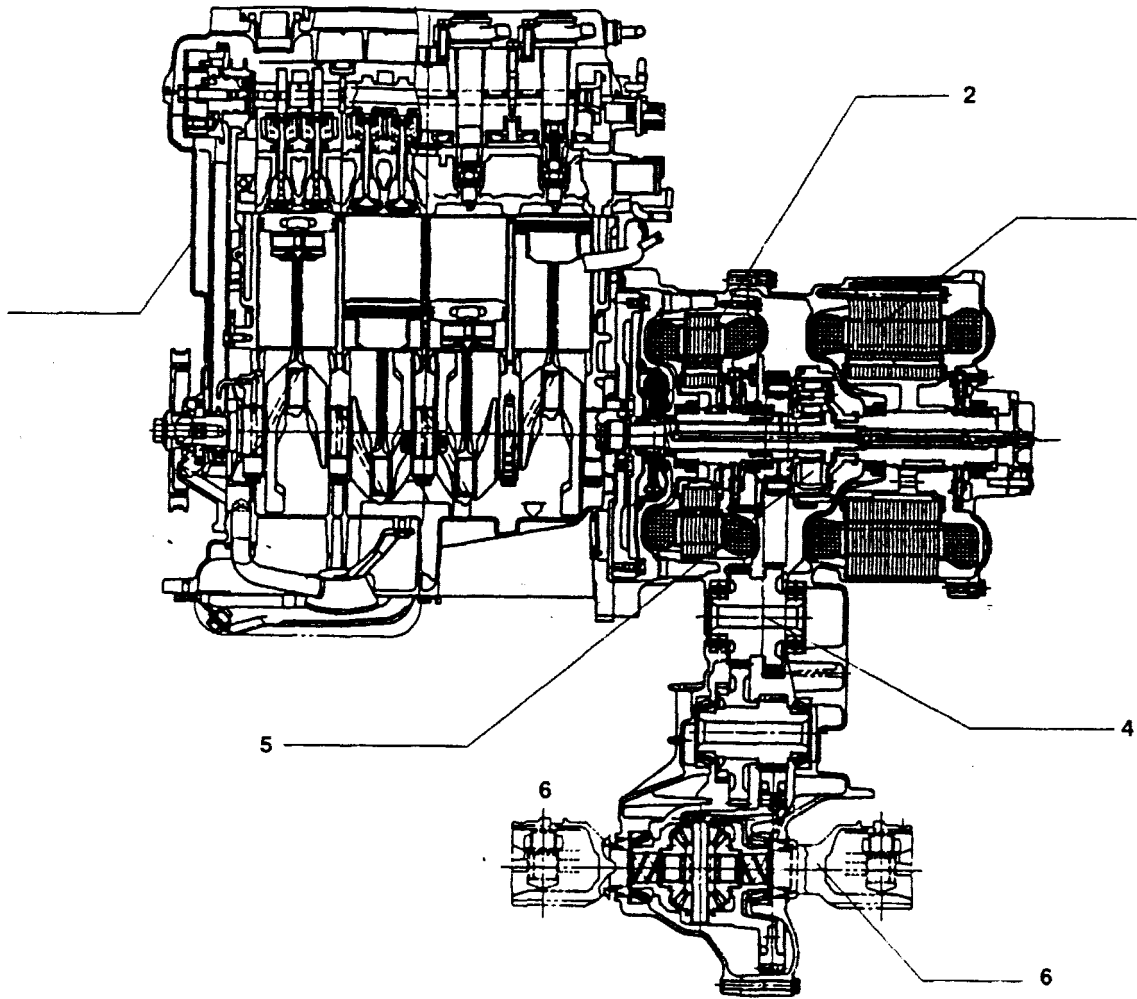
Στην κανονική πορεία του αυτοκινήτου μπαίνει σε λειτουργία ο θερμικός κινητήρας, ο οποίος δίνει ένα μέρος της ισχύος του στους κινητήριους τροχούς του αυτοκινήτου και το

υπόλοιπο στη γεννήτρια, η οποία φορτίζει τις μπαταρίες (αν χρειάζεται) αφ' ενός, και τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα αφ' ετέρου, ο οποίος συμβάλλει συμπληρωματικά στις απαιτήσεις της ισχύος του αυτοκινήτου.

Όταν οι συνθήκες οδήγησης απαιτήσουν πρόσθετη ισχύ π.χ. επιτάχυνση προσπεράσματος, τότε μπαίνει στο ηλεκτρικό κύκλωμα κίνησης και η συστοιχία των συσσωρευτών, η οποία τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα με ηλεκτρική ενέργεια.

Αντίθετα, όταν το αυτοκίνητο επιβραδύνει, τότε ο θερμικός κινητήρας σβήνει και οι τροχοί κινούν τον ηλεκτροκινητήρα (λόγω αδράνειας,) ο οποίος λειτουργεί ως γεννήτρια και φορτίζει τις μπαταρίες του αυτοκινήτου, αν η τάση τους έχει πέσει κάτω από το καθορισμένο όριο, όπως συμβαίνει και με τη φόρτιση των μπαταριών από την κανονική γεννήτρια του αυτοκινήτου. Το πλανητικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης συνδέει όλες τις κινητήριες μονάδες του συστήματος, μέσω μιας αλυσίδας, με το διαφορικό και τους κινητήριους τροχούς.

Ο άξονας του βενζινοκινητήρα συνδέεται με τα γρανάζια του πλανητικού συστήματος, το οποίο μεταφέρει την κίνηση στον εξωτερικό δακτύλιο. Παρακάτω φαίνεται η τομή υβριδικού κινητήρα. (Εικόνα 102)



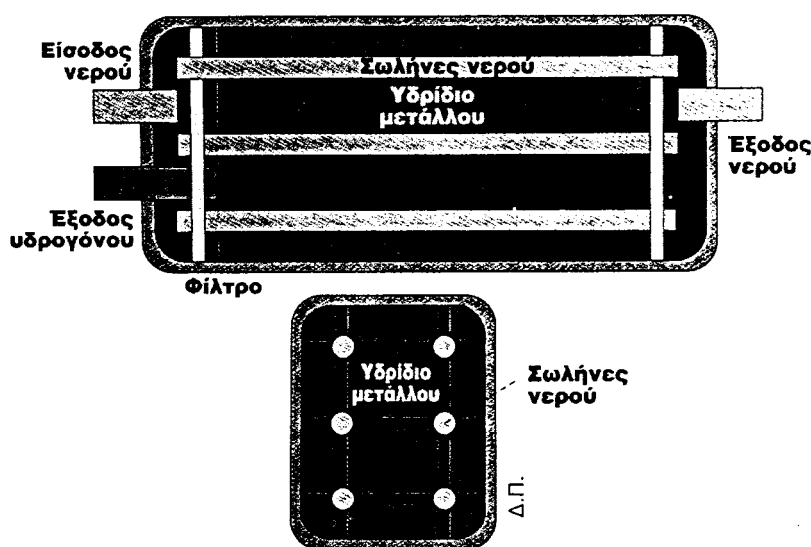
Εικόνα 102: Τομή υβριδικού κινητήρα [111]

1. Μηχανή Εσωτ. Καύσης.
2. Γεννήτρια,
3. Ηλεκτροκινητήρας,
4. Μειωτήρας στροφών,
5. Πλανητικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης,
6. Ημιαξόνια, 7. Διαφορικό.

6.5. ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Μία από τις πιο προηγμένες λύσεις στο πρόβλημα των εναλλακτικών καυσίμων δίνει η MAZDA προτείνοντας σαν εναλλακτικό καύσιμο το υδρογόνο. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του υδρογόνου είναι πως όταν καίγεται δεν ρυπαίνει καθόλου ή μάλλον σχεδόν καθόλου όπως θα δούμε παρακάτω το περιβάλλον, αφού το κυριότερο προϊόν της καύσης είναι το νερό. Επίσης το υδρογόνο είναι μία ανανεώσιμη, άρα οικολογική, πηγή ενέργειας, αφού η ποσότητα του νερού που παράγει κατά την καύση του είναι σχεδόν ίση με την ποσότητα του νερού που καταναλώθηκε για την παραγωγή του καυσίμου. Η αρχή της σημαντικής αυτής έρευνας της MAZDA έγινε χρησιμοποιώντας το γνωστό μας MX-5.

Το δυσκολότερο πρόβλημα για τους μηχανικούς της εταιρίας ήταν η ασφαλής αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου. Αυτό έγινε δυνατό με τη χρήση υδριδίων μετάλλου (ιόντων υδροξειδίου μετάλλου) τα οποία έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν το υδρογόνο όταν ψύχονται υπό συνθήκες πίεσης και να το απελευθερώνουν όταν θερμαίνονται. Το ρεζερβουάρ γεμίζει από ένα στόμιο τροφοδοσίας, (όπως φαίνεται στην εικόνα 103) κρύο νερό, που παρέχεται από εξωτερική πηγή, κυκλοφορεί στα τοιχώματα του ρεζερβουάρ υδριδίου μετάλλου, έτσι ώστε να δεσμεύεται το υδρογόνο με την ψύξη.



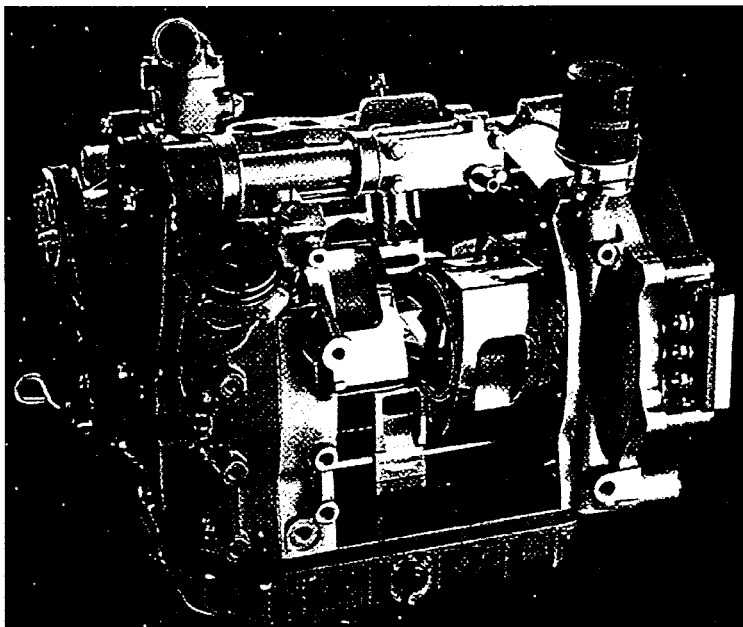
Εικόνα 103: Διάταξη συστήματος με υδρογόνο [111]

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί, το ζεστό νερό που προέρχεται από την ψύξη του κινητήρα, κυκλοφορεί σε ειδικές κοιλότητες του ρεζερβουάρ. Το ρεζερβουάρ έτσι θερμαίνεται και το υδρογόνο απελευθερώνεται. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται υπό σταθερές συνθήκες πίεσης και όγκου του υδρογόνου. Για το λόγο αυτό η ροή του ζεστού νερού είναι ελεγχόμενη και το ίδιο το υδρογόνο περνά από μία βαλβίδα ρύθμισης πίεσης.

Μετά από αυτή τη βαλβίδα το υδρογόνο περνά μέσα από μία ηλεκτρονικά ελεγχόμενη βαλβίδα που ρυθμίζει την ποσότητα με την οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας. Τέλος το υδρογόνο ψεκάζεται στον κινητήρα με μηχανικά ελεγχόμενες βαλβίδες ψεκασμού, οι οποίες λειτουργούν σαν ωρολογιακοί μηχανισμοί.

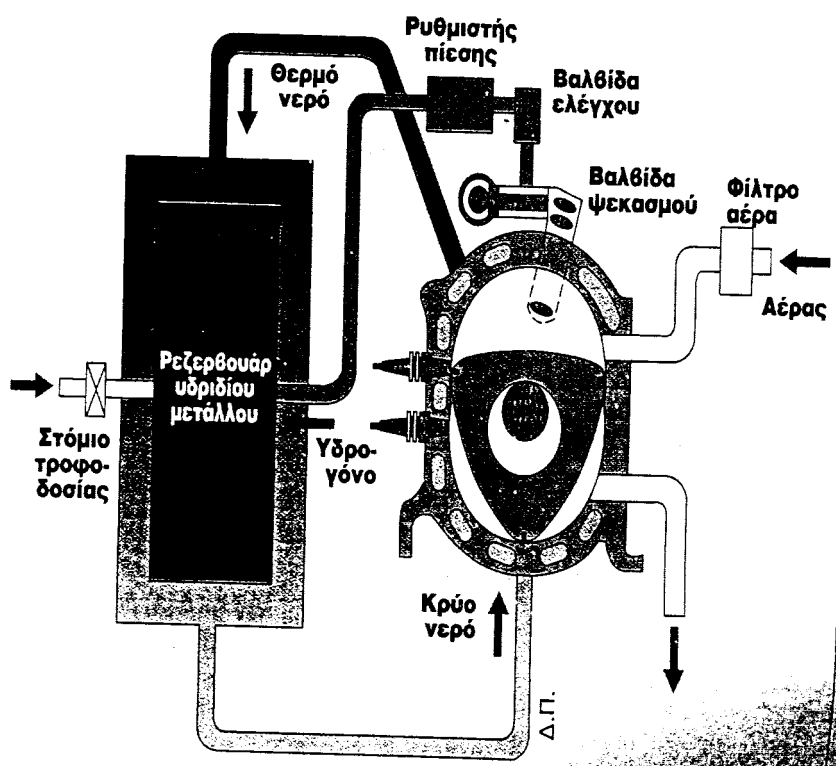
Το εσωτερικό του ρεζερβουάρ υδριδίου μετάλλου φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα. Όπως φαίνεται, στο εσωτερικό υπάρχει ένα πλέγμα που σχηματίζει κυψέλες. Στην επιφάνεια των κυψελών βρίσκεται το υδρίδιο απλωμένο με τη μορφή σκόνης, ενώ εκεί που ενώνονται οι κυψέλες υπάρχουν κοιλότητες για την κυκλοφορία του νερού. Το ρεζερβουάρ του MX-5 αποτελείται από δεκαοχτώ τέτοιες μονάδες κυψελών. Οι μονάδες αυτές ονομάζονται κελιά.

Το ρεζερβουάρ αυτό υποβλήθηκε στις σκληρότερες δοκιμασίες και αποδείχτηκε απόλυτα ασφαλές. Στη χειρότερη περίπτωση η διαφυγή του υδρογόνου ήταν μόλις 1 % με 2%. Ο κινητήρας που χρησιμοποίησε η MAZDA στα πειράματά της με το MX-5 είναι ο περιστροφικός κινητήρας Βάνκελ των 1,3 λίτρων με τους δύο ρότορες (Εικόνα104). Ο λόγος συμπίεσης ήταν ο ίδιος με τη βενζινοκίνητη έκδοση, δηλαδή 9,7:1.



Εικόνα 104: Κινητήρας Wankel [111]

Η επιλογή του κινητήρα Βάνκελ έγινε για την αντιμετώπιση κάποιων προβλημάτων καύσης που οφείλονται στις φυσικές ιδιότητες του υδρογόνου. Το υδρογόνο είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο και όταν χρησιμοποιείται σε παλινδρομικούς κινητήρες παρουσιάζει κάποια αστάθεια στην καύση (π.χ. προανάφλεξη} λόγω της συνεχούς του επαφής με τα θερμά τοιχώματα του κυλίνδρου. Αυτό όμως δεν συμβαίνει στον κινητήρα Βάνκελ στον οποίο το μίγμα συμπιέζεται, αναφλέγεται, καίγεται και εκτονώνεται σε διαφορετικές περιοχές του κελύφους μέσα στο οποίο κινείται το τριγωνικό στροφείο, επειδή ο θάλαμος καύσης μετατοπίζεται συνεχώς λόγω της κίνησης του στροφείου. Έτσι πριν την έναυση του σπινθήρα, το υδρογόνο δεν έρχεται ποτέ σε επαφή με ιδιαίτερα θερμές επιφάνειες ώστε να αυτοαναφλεγεί. Αυτό το πλεονέκτημα του Βάνκελ επιτρέπει την καύση του υδρογόνου σε στοιχειομετρική αναλογία, κάτι που αυξάνει την απόδοση του κινητήρα. Επίσης το υδρογόνο έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα και έτσι καταλαμβάνει πολύ περισσότερο όγκο στο στοιχειομετρικό μίγμα αέρα καυσίμου (περίπου 28% αντί 2% της βενζίνης). Για να ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα η MAZDA χρησιμοποίησε την ακόλουθη τεχνική άμεσου ψεκασμού (Εικόνα 105). Ο αέρας και το καύσιμο εισέρχονται στο θάλαμο καύσης υπό δύο διαφορετικές διόδους. (κατά τη φάση της εισαγωγής ο αέρας εισέρχεται απευθείας στο θάλαμο καύσης. Σχεδόν ταυτόχρονα αρχίζει και η ροή του υδρογόνου προς τη βαλβίδα άμεσου



Εικόνα 105: Τεχνική άμεσου ψεκασμού για τη μείωση όγκου υδρογόνου [111]

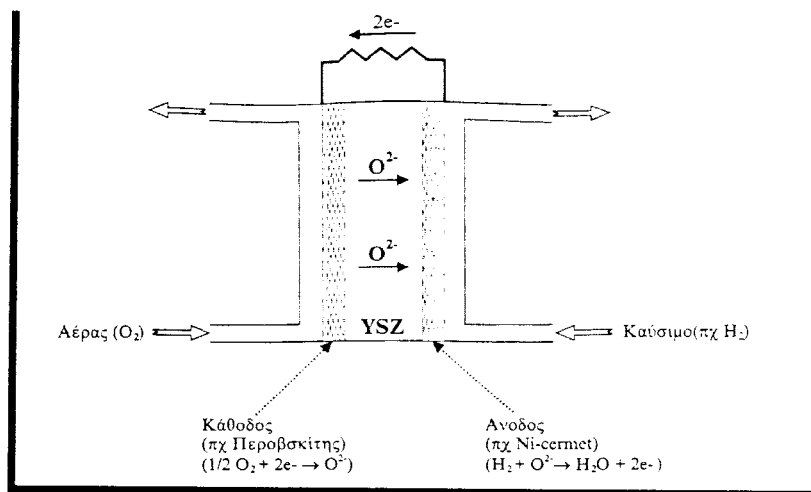
ανασταλτικός παράγοντας στην ιστορική ανάπτυξη και εξέλιξη των κελιών καυσίμου ήταν το γεγονός ότι η τεχνολογία τους απαιτούσε πολύ εξειδικευμένα υλικά (π.χ. στερεούς ηλεκτρολύτες ηλεκτρόδια-καταλύτες υψηλής απόδοσης, κτλ). Η πρόοδος στα υλικά οδήγησε σε ραγδαία ανάπτυξη των κελιών καυσίμου. Διαβλέποντας τα κελιά καυσίμου σαν μια αποτελεσματική μέθοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έστρεψαν την προσοχή τους στην χρήση του άνθρακα ως καύσιμο.

Τα κελιά καυσίμου φαίνεται να υπερέχουν συντριπτικά σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους εφόσον αποτελούν "καθαρές" τεχνολογίες, τεχνολογίες δηλαδή με περιορισμένη έως καθόλου ρυπογόνο απόδοση στην ατμόσφαιρα γεγονός που περιορίζει τα έξοδα ελέγχου εκπομπών των ρύπων, που ως γνωστόν αποτελούν σήμερα ένα από τα σημαντικότερα κονδύλια που πρέπει να διαθέσει μια βιομηχανία για να προσαρμόσει την παραγωγή της με τους αυστηρούς κανόνες που έχουν θεσπιστεί από την σύγχρονη κοινωνία για την ποιότητα του περιβάλλοντος. Τα κελιά καυσίμου είναι δηλαδή εκ φύσεως "φιλικά" προς το περιβάλλον.

Μια παραστατική εικόνα ενός κελιού καυσίμου που λειτουργεί με H_2 σαν καύσιμο (το οποίο μπορεί να προέρχεται από μια διεργασία αναμόρφωσης κάποιου υδρογονάνθρακα) και αέρα σαν οξειδωτικό, φαίνεται στην εικόνα 106.

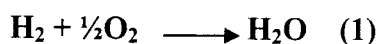
Το κελί απαρτίζεται από τρία βασικά μέρη: Την κάθοδο, τον ηλεκτρολύτη και την άνοδο. Η κάθοδος τροφοδοτείται συνεχώς με οξειδωτικό (π.χ., αέρα) ενώ η άνοδος με το καύσιμο, και το αποτέλεσμα όπως θα διαφανεί παρακάτω είναι η ολοκλήρωση μιας χημικής αντίδρασης, επιτελούμενης σε δυο επιμέρους ηλεκτροχημικές αντιδράσεις (ημιαντιδράσεις) με επακόλουθο την συνεχή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για να αποφευχθεί η σύγχυση των κελιών καυσίμου με τις μπαταρίες, μια έννοια που κατά κάποιον τρόπο είναι γνωστή σε όλους, αξίζει εδώ να τονίσουμε μια ουσιώδη διαφορά τους. Ένα κελί καυσίμου είναι μια συσκευή συνεχούς μετατροπής ενέργειας, ενώ μια μπαταρία είναι μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας και άρα περιορισμένης χρήσης.

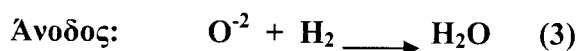
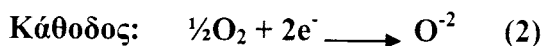


Εικόνα 106: Κελί καυσίμου που λειτουργεί με H_2 σαν καύσιμο [107]

Αν και η συνολική χημική αντίδραση που θα επιτελείται στο κελί του σχήματος θα είναι απλά η καύση του H_2 από το O_2 για παραγωγή νερού,



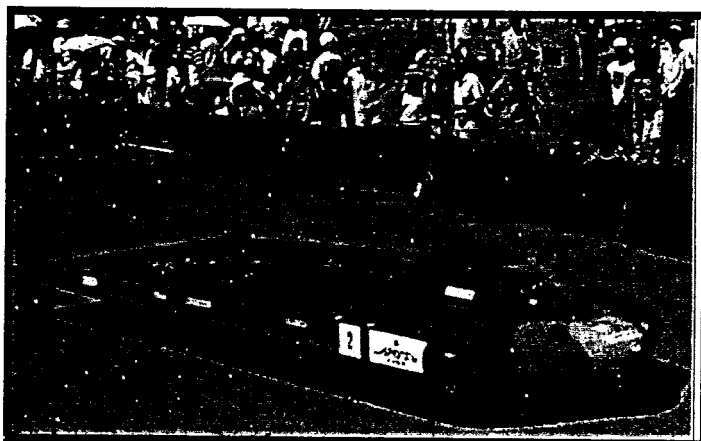
εκείνο που διακρίνει την παρούσα διεργασία από μια απλή καύση είναι ότι η παραπάνω αντίδραση επιτελείται κατά το ήμισυ στο καθοδικό μέρος του κελιού και κατά το ήμισυ στο ανοδικό, υπό μορφή ημιαντιδράσεων ηλεκτροχημικής φύσης (αντιδράσεων μεταφοράς φορτίου), έτσι ώστε το συνολικό αποτέλεσμα, δηλαδή το άθροισμα των δύο ημιαντιδράσεων να δίνει την συνολική αντίδραση :



Ο ηλεκτρολύτης μπορεί να είναι ένα υγρό ή ένα στερεό και εκτός του ότι λειτουργεί ως μια ιοντική γέφυρα μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, της ανόδου και της καθόδου, από πρακτική άποψη διαδραματίζει και τον ρόλο του διαχωριστή των αντιδρώντων στα δύο μέρη του κελιού και μονώνει ηλεκτρονιακά την άνοδο από την κάθοδο. Δεν είναι δηλαδή σε καμιά περίπτωση καλός ηλεκτρονιακός αγωγός. Στην περίπτωση που αναλύουμε ο ηλεκτρολύτης που επιλέχθηκε ως παράδειγμα είναι ζirkονία (ZrO_2) σταθεροποιημένη με ίττρια (Y_2O_3), ένας αγωγός ιόντων O^{2-} , που παίζει τον ρόλο της γέφυρας για την μεταφορά των ιόντων O^{2-} που σχηματίζονται στην κάθοδο, προς την άνοδο όπου θα συναντήσουν και θα μετατρέψουν το καύσιμο (H_2) σύμφωνα με την εξίσωση 3.

Η μεταφορά αυτή ιόντων O^{-2} είναι αυθόρμητη. Κινούσα δύναμη για αυτή τη μεταφορά είναι το διαφορετικό ηλεκτροχημικό δυναμικό του O^{-2} στις δύο διεπιφάνειες (καθοδική και ανοδική). Αυτή η προκύπτουσα, κατευθυνόμενη και αυθόρμητη κίνηση ιόντων θα γίνεται εφόσον τα τμήματα του κελιού τροφοδοτούνται συνεχώς με καύσιμο και οξειδωτικό και εφόσον το εξωτερικό κύκλωμα είναι κλειστό με κάποιο εξωτερικό φορτίο αντίστασης (R_{ex}), ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί ο κύκλος του ηλεκτρονιακού φορτίου. Τονίζεται ότι στο εξωτερικό κύκλωμα θα ρέουν ηλεκτρόνια σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στο εσωτερικό του κελιού (στον στερεό ηλεκτρολύτη), όπου μετακινούνται ιόντα.

6.6. ΗΛΙΑΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ



Εικόνα 107: Ηλιακό όχημα [107]

Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό γίνεται με ηλιακά κύτταρα (στοιχεία που βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φαινόμενο αυτό συνίσταται στην εμφάνιση διαφοράς δυναμικού όταν το φως πέσει σε υλικό στο οποίο υπάρχει εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που προκύπτει από κάποιο φράγμα δυναμικού. Στα αυτοκίνητα, οι σχετικές έρευνες ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980.

Όλη η έρευνα για τις ηλιακές κυψέλες εστιάζεται στη παραγωγή ελαφρών κυττάρων και στη μείωση του κόστους. Σ' όλες βέβαια τις εφαρμογές έχει μεγάλη σημασία η απόδοση της μετετροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Μέχρι σήμερα τα διαθέσιμα στην αγορά στοιχεία είναι αυτά που χρησιμοποιούν το πυρίτιο, ερευνητικά όμως έχουν κατασκευαστεί πάρα πολλά είδη φωτοστοιχείων. Το κόστος σήμερα είναι περίπου 5 δολάρια ανά Watt υπό

συνθήκες μέγιστου φωτισμού ($\$5/\text{peak watt}$) στα πιο γνωστά (μονοκρυσταλικά). Η απόδοση είναι περίπου 15%, ενώ στα εργαστηριακά έχουμε αποδόσεις περίπου 20%. Τα τελευταία χρόνια η μείωση του κόστους είναι συνεχής. Η ανάπτυξη της αγοράς οδηγεί σε φθηνότερα συστήματα. Τα πλεονεκτήματα των διατάξεων αυτών είναι ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, λειτουργούν χωρίς θορύβους, και έχουν μικρό βάρος. Στο σημείο αυτό αξίζει να δούμε τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Ας θεωρηθεί μια επαφή p-n (p-n junction) σε μονοκρύσταλλο πυριτίου με προσμίξεις φωσφόρου και βορίου.

Η περιοχή p βορίου δέχεται ηλεκτρόνια από την περιοχή n (φωσφόρου) και η n οπές από την p περιοχή με διάχυση. Αυτό συμβαίνει επειδή τα άτομα του βορίου έχουν ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο από του πυριτίου και επομένως κάθε άτομο βορίου ισοδυναμεί με έλλειμμα ενός ηλεκτρονίου δηλαδή με μια θετική οπή. Αντίθετα ο φώσφορος έχει ένα ηλεκτρόνιο παραπάνω και ισοδυναμεί με περίσσειμα ενός ηλεκτρονίου. Με τη διάχυση στη περιοχή της επαφής οι οπές και τα ηλεκτρόνια πηγαίνουν στις περιοχές n και p αντίστοιχα για να καλυφθεί η διαφορά. Όμως η διάχυση έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ηλεκτρικού πεδίου E από τη περιοχή n προς τη περιοχή p με αποτέλεσμα στο ενεργειακό διάγραμμα οι ζώνες αγωγιμότητας και σθένους της περιοχής p να μετατεθούν ψηλότερα από τις αντίστοιχες της περιοχής n. Το πεδίο αυτό στη περιοχή της επαφής έχει τέτοια φορά ώστε να οδηγεί τους δημιουργούμενους φορείς ηλεκτρισμού μέσα στο υλικό, ηλεκτρόνια ή οπές αντίστοιχα στη n ή p περιοχή αντίστοιχα. Οι φορείς αυτοί δημιουργούνται όταν φως ενέργειας φωτονίων $h\nu > E_g$ προσπέσει στη περιοχή και διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Δηλαδή οι φορείς ηλεκτρισμού που σχηματίζονται στη περιοχή της επαφής κινούνται σε περιοχές του κρυστάλλου όπου όμοια φορτία αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των φορέων. Έτσι αναπτύσσεται ένα δυναμικό και μπορούμε να πάρουμε ρεύμα σε ένα εξωτερικό κύκλωμα.

Όπως είναι γνωστό, η μέγιστη ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της Γης από τον Ήλιο είναι $1000\text{watt}/\text{m}^2$ (άμεση και διάχυτη). Προφανώς αυτή η ισχύς ακόμη και αν ήταν 100% αξιοποιήσιμη από κάποια διάταξη, σε συνδυασμό και με το γεγονός ότι αυτή δεν είναι όλες τις μέρες και όλες της ώρες της μέρας άμεσα διαθέσιμη, δε θα έφτανε για τη κίνηση ενός οχήματος με τη μορφή που τα γνωρίζουμε σήμερα. Συνεπώς η μελέτη των 'ηλιακών' οχημάτων δεν έχει άμεσο ορατό και πρακτικό ενδιαφέρον, επιτρέπει όμως την διεξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων για την εξοικονόμηση ενέργειας, την εκμετάλλευση εναλλακτικών ενεργειακών πηγών και τη δημιουργία πρακτικών ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Οι βασικές αρχές που διέπουν ένα ηλεκτρικό όχημα, είναι το πολύ χαμηλό βάρος (περίπου 150-200 κιλά), ο πολύ χαμηλός συντελεστής αεροδυναμικής οπισθέλκουσας δύναμης (C_d 0,15 περίπου), η μηχανική απλότητα, το πεπλατυσμένο σχήμα για την επίτευξη μεγάλης επιφάνειας συλλογής ηλιακής ενέργειας και η πολύ χαμηλή ισχύς των ηλεκτροκινητήρων, όλα με στόχο την ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης ενέργειας.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Παραπάνω, εξετάστηκαν όλες σχεδόν οι σύγχρονες τεχνολογίες για τα περισσότερα συστήματα και υποσυστήματα του αυτοκινήτου, που φέρουν και τη νέα αντιρρυπαντική τεχνολογία του περιβάλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα, είναι φανερό ότι έχει δοθεί πολύ μεγάλη βαρύτητα τα τελευταία χρόνια στα συστήματα έγχυσης, τους αισθητήρες 'λ', την ηλεκτρονική διαχείριση της ανάφλεξης, και τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων.

Η βελτιστοποίηση των συστημάτων αυτών και ειδικά η χρήση των αισθητήρων 'λ', είναι που έκανε εφικτή την δημιουργία και την εξέλιξη των καταλυτικών μετατροπέων, που για την αποδοτική λειτουργία τους είναι απαραίτητο να έχουμε στοιχειομετρική αναλογία μίγματος αέρα - καυσίμου.

Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί και η ραγδαία ανάπτυξη των κινητήρων diesel στην αγορά αυτοκινήτου τα τελευταία χρόνια, και ειδικά στην Ευρωπαϊκή. Περίπου το 35% των συνολικών πωλήσεων των αυτοκινήτων επί Ευρωπαϊκού εδάφους είναι με κινητήρες diesel. Η ραγδαία αυτή ανάπτυξη οφείλεται εν πολλοίς στην πολύ χαμηλή κατανάλωση καυσίμου καθώς και στα ανάλογα ποσοστά εκπεμπόμενων ρύπων.

Η πρόοδος αυτή στην εκπομπή ρυπογόνων ουσιών που αγγίζει ένα ποσοστό της τάξης του 95% σε σχέση με προηγούμενες δεκαετίες έγινε εφικτή χάρη στα πολύ αυστηρά όρια που επέβαλλε η Ε.Ε.

Πίνακας 12: Προδιαγραφές εκπεμπόμενων ρύπων από την Ε.Ε. [107]

ΟΔΗΓΙΑ	CO		HC		NOx		HC+NOx		Σωματίδια
	(γρ./χλμ.)		(γρ./χλμ.)		(γρ./χλμ.)		(γρ./χλμ.)		(γρ./χλμ.)
	βενζίνη	ντίζελ	βενζίνη	ντίζελ	βενζίνη	ντίζελ	βενζίνη	ντίζελ	ντίζελ
Euro I Στάδιο I (εποχή απόσυρσης)	3,16	-	-	-	-	-	1,13	-	0,18
Euro I Στάδιο II	2,72	-	-	-	-	-	0,97	-	0,14
Euro II Υποχρεωτική για ταξινόμησης από 1-10-1997	2,2	1,0	-	-	-	-	0,5	0,7	0,08
Euro III Υποχρεωτική για ταξινόμησης από 1-1-2001	2,3	0,64	0,2	-	0,15	0,5	-	0,56	0,05
Euro IV Υποχρεωτική για ταξινόμησης από 1-1-2006	1,0	0,5	0,1	-	0,08	0,25	-	0,3	0,025

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων θα εξελιχθούν ακόμα περισσότερο με την πάροδο του χρόνου έως ότου σταδιακά δώσουν τη θέση τους στα υβριδικά οχήματα. Αυτά, θα είναι αυτοκίνητα που θα χρησιμοποιούν θερμικό και ηλεκτρικό κινητήρα μαζί. Τότε αναμένεται οι εκπομπές ρύπων να μειωθούν σε θεαματικά χαμηλά επίπεδα, έως ότου αντικατασταθούν και αυτά από αυτοκίνητα με κυψέλες καυσίμων και δη από την ‘υδρογονοκίνηση’, της οποίας οι εκπομπές ρύπων θα είναι ανύπαρκτες. Αν και είναι άγνωστο ακόμη πότε θα περάσουμε σε τέτοιο επίπεδο, είναι σίγουρο ότι τα συστήματα αυτά χρειάζονται πολύ χρόνο εξέλιξης έως ότου φτάσουν σε επίπεδο να αντικαταστήσουν σταδιακά τις Μ.Ε.Κ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Svein Daniel Bjordal, Craig Lucas Goodfellow, Paul Bennet, Paul Beckwith, (1996) 'Relative effects of catalyst and fuel formulation on gasoline vehicle exhaust emissions.' SAE Paper No. 961902. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
2. Bennett, P.J. (1996) 'Relative effects of vehicle technology and fuel formulation on gasoline vehicle exhaust.' SAE Paper No.961901. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
3. S.Bates, R. Brisley,P. Gagneret, E. Lox,G. Rickert, R. Searles, S.Van houtte,U. Zink.(1996) 'The attainment of Stage 111 gasoline European emissions limits utilizing advanced catalyst technology.' SAE Paper No.961897. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
4. Umehara ,K. et al (1996) 'Catalytic performance improvement by high cell density/thin wall ceramic substrate.' ISATA Paper 96ENO44.
5. Bennet, P.J. et al (1996) 'A review of the effects of gasoline sulphur content on emission performance.' ISATA Paper 96ENO43.
6. Robert P. Lucchesi (1993) 'Fuel effects on emissions from two electrically heated catalyst equipped vehicles.' SAE Paper No. 932760. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
7. Hanel, F.J.(1997) 'Practical experience with the EHC system in the BMW ALPINA B12.' SAE Paper No.970263. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
8. Leslie E.Hampton, Carol L. Buhrmaster, David F. Thompson, David S. Weiss.(1996) 'Durability of advanced electrically heated catalyst design.' SAE Paper No.960345. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
9. Hapton, L.E. (1996) 'Durability of advanced electrically heated catalyst design.' SAE Paper No.960345. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
10. Jeffrey S. Hepburn, Andrew A. Adamczyk, Robert A. Pawlowicz. (1994) 'Gasoline burner for rapid catalyst light-off.' SAE Paper No.942072. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
11. Eade, D. et al (1995) 'Fast light-off underbody catalyst using exhaust gas ignition (EGI)' SAE Paper No.952417. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
12. Hurleys.R. et al (1996) 'Combined catalysed hydrocarbon trap (CHT) and exhaust gas ignition (EGI).' ISATA Paper 96ENO41.
13. Baliinger, T.H. et al (1997) 'Hydrocarbon trap technology for the reduction of cold start hydrocarbon emissions.' SAE Paper No.970741. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
14. Buhrmaster, C.L.(1997) 'Evaluation of in-line adsorber technology.' SAE Paper No.970267. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
15. Noda, M.(1997) 'In-line hydrocarbon (HC) adsorberstem for cold start emissions.' SAE Paper No.970266. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
16. Pakko, J.D et al (1994) 'Measurements of total and speciated hydrocarbon removal from engine exhaust using activated carbon.' SAE Paper No.941999. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
17. Philips, P. et al (1997) 'Fiesta lean burn concept for stage 111 emissions.' 6th Aachener Kolloquium, 20-22 October 1997, p.149-179.

18. Brogan, M.S. et al (1996) 'Evaluation of NO_x adsorber catalyst system to reduce emissions of lean running gasoline engines.' SAE Paper No.962045. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
19. Strehlau, W. et al (1996) 'New developments in lean NO_x catalysis for gasoline fuelled passenger cars in Europe.' SAE Paper No.962047. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
20. Browning, .LH. and Moyer, C.B(1995) 'Sulfur effects on California OBD-11 systems.' SAE Paper No.952422. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
21. EPA White Paper, March 1997
22. Killman,ag.(1995) 'The lean burn engine: recent developments by Toyota.' Presentation at the course "Spark ignition engine emissions",27 November-1 December 1995
23. Boosman, D.J.(1993) 'Verbeterde Toyota lean burn motor: zuing, maar ssk schoon?(improve Toyota lean burn motor) Auto and Motortechiek 53, 11,30-333.Honda (1998) develops new 3-stage VTEC engine.' Asia Pacific Automotive Report 218,25-27.
24. Honda ULEV System (CC catalyst and optimized metals, real time adaptive control for transient conditions) Asia Pacific Automotive Report 216
25. De Boer, C.D. et al (1992) 'Advanced gasoline combustion systems for fuel economy and emissions.' SAE Paper No.920670. Warrendale PA:Society of Automotive Engineers.
26. Oka, K. et al (1995) 'Development of a new 1.5-1 4-valve DOHC lean burn engine with the wider air/fuel range three way catalyst.' JSAE Paper No.9530418
27. Takami, A. et al (1995) 'Development of lean burn catalyst.' SAE Paper No.950746. Warrendale PA:Society of Automotive Engineers.
28. Birch, S. et al (1994) 'Nissan's lean burn engine powers Sunny sedan.' Automotive Engineering, August 1994, 33-35
29. Ando, H. et al (1997) 'Mitsubishi GDI engine strategies to meet the European requirements.' Proceedings of AVL Conference "Engine and Enviroment", Graz 1997
30. FT Auto. Anal., No.33,Oct.1997
31. DeNO_x cat. Zeolite based plus TWC (Nissan). Asia Pacific Automotive Report 216
32. Ando, H. et al (1997) 'Mitsubishi GDI engine strategies to meet the European requirements.Proceedings of AVL conference "Engine and environment"' Graz 1997, Vol.2
33. Pbquet, T. et al (1997) 'The development of Toyota s direct injection gasoline engine .Presentation at the course "Spark ignition engine emissions"', 24-28 November 1997
34. Jackson, N.S. et al (1997) 'STRATIFIED and homogeneous charge operation for the direct injection gasoline engine -high power with low fuel consumption and emissions' SAE Paper No.970453. Warrendale PA:Society of Automotive Engineers.
35. l. Ando .H. et al (1997) 'Mitschubishi GDI engine strategies to meet the European requirements.' Proceedings of AVL Conference "Engine and Enviroment", Graz 1997 Vol. 2
36. Honda (1997) 'Honda readies activated radical combustion two-stroke engine for production motorcycle.' Automotive Engineerring January 1997,90
37. Masao Hori , Akihisa Okumura Hideki Goto ,Makoto Horiuchi, Martin Jenkins .Keisuke Tashiro.(1997) 'Development of new selective NO_x reduction catalyst for gasoline lean burn engines.' SAE Paper No.972850. Warrendale PA:Society of Automotive Engineers.

38. Paramins post, Spring 1998-2. Piccone, A. and Rinolfi, R.(1997) 'Fiat third generation DI diesel engines.' Paper No.S490/004/97. Presented at IMechE-Richardo seminar "The Euro 4 challenge-future technologiew and systemw " London, 03-04.12.1997
39. Automotive Engineer, Dec. 1997
40. Concave (1994) 'Diesel fuel emissions performance with oxidation catalyst equipped diesel passenger vehichlies-Part 1' Report No.94/55. BrusselsCONCAME
41. Concave (1994) 'Diesel fuel emissions performance with oxidation catalyst equipped diesel passenger vehichlies-Part 11' Report No.94/56. BrusselsCONCAME
42. Smedler ,G. et al (1995) 'High performance diesel catalyst for Europe beyond 1996.' SAE Paper No.950750. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
43. Unsworth, J.F.et al (1996) 'Fuel quality effects on oxidation exhayst catalyst in light-duty diesel motor vehicles.' SAE Paper No.961183. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
44. Wyatt, M. et al (1993) 'The design of flow-through diesel oxidation catalyst.' SAE Paper No.930130. Warrendale PA:Society of Automotive Engineers.
45. Zelenka, P. et al (1994) 'Diesel oxidation catalyst application strategies with special emphasis on odour reduction.' SAE Paper No.942066. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
46. Lui, Y.k. et al (1996) 'SMART catalyst development approach applied to automotive diesel application. SAE Paper No.962048. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
47. Standt, U-D. and Kning, A (1995) 'Performance of zeolite-based diesel catalyst.'SAE Paper No.950749. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
48. Neeft ,M. et al (1996) 'Diesel particulate emission control.' Fuel Processing Technology 47 ,1-69
49. Deeba, M. et al (1995) 'Catalytic abatement of NOx from diesel engines: Development of four way catalyst.' SAE Paper No.952491. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
50. Feeley, J.S.. (1995) 'Abatement of NOx from diesel engines' SAE Paper No.950747. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
51. Kawanami, M. et al (1996) 'Advanced catalyst studies of diesel NOx reduction for heavy-duty trucks.' SAE Paper No.961129. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
52. Kning , A. et al (1996) 'Research results on processes and catalyst material for lean NOx conversion.' SAE Paper No.962041. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
53. Kharas, K.C.C. and Theis , J.R. (1995) 'Performance demonstration of a previus metal lean NOx catalysts in native diesel exhaust.' SAE Paper No.950751 Warrendale PA:Society of Automotive Engineers.
54. Walsh, M. (1995) 'Global trends in diesel particulate control- a 1995 update.' SAE Paper No.950149 Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
55. Richardo (1996) 'Current technology and future trends in automotive catalyst after-treatment development.Shoreham-by-Sea' Richardo Consulting Engineers
56. Bailey, O.H. et al (1997) 'Regeneration strategies for NOx absorber catalyst.' SAE Paper No.972845 Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
57. HOj, J.W.et al (1995) 'Thermal loading in SiC particle filters.' SAE Paper No.950151 Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
58. Okazoe et al (1996) 'Development of a full-flow burner regeneration type diesel particulate filter using SiC honeycomb.' SAE Paper No.960130. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.

59. Bloom, R.L. (1995) 'The development of fiber wound diesel particulate filter cartridges.' SAE Paper No.950152. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
60. Houben, H. et al (1994) 'The optimized Duetz Service Diesel Particulate Filter System DPFS 11.' SAE Paper No.942264. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
61. Romero-Lopez,A.(1996) 'Soot combustion during regeneration of filter ceramic traps for diesel engines.' SAE Paper No.960469.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
62. Kumagai, Y.et al (1996) 'Development of PM trap system for urban buses.' SAE Paper No.960470.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
63. Menta, S. et al (1995) 'A thermally regenerated diesel particulate trap using high-temperature glass-fiber filters.' SAE Paper No.950737.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
64. Shirk, R. et al (1995) 'Fiber wound electrically regenerable diesel particulate filter cartridge for small diesel engines.' SAE Paper No.950153.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
65. Tan, J.C. et al (1996) 'A study of the regeneration process in diesel particulate traps using a copper fuel additive.' SAE Paper No.960136.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
66. McKinnon, D. L. et al (1994) 'Results of North American field trials using diesel filters with a copper additive for regeneration.' SAE Paper No.940455.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
67. Pattas ,K.et al (1996) 'Diesel particulate trap protection against uncontrolled regeneration via selective flow modulation.' SAE Paper No.960128.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
68. Pattas , K. et al (1996) 'Regeneration of DPF at low temperatures with the use of a cerium-based fuel additive.' SAE Paper No.960135.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
69. Lepperhof, G. et al (1995) 'Quasi-continuous particle trap regeneration by cerium additives.' SAE Paper No.950369.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
70. Lemaire, J. et al (1994) 'Fuel additive supported particulate trap regeneration possibilities by engine management system measures.' SAE Paper No.942069.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
71. Ichikawa, Y. (1996) 'The regeneration efficiency improvement of the reverse pulse air regenerating DPF system.' SAE Paper No.930127.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
72. Larsen, C.(1996) 'An optimization study on the control of NOx and particulate emissions from diesel engines.' SAE Paper No.960473.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
73. Oey, F. et al (1995) 'Diesel vehicle application of an aerodynamically regenerated trap and EGR system.' SAE Paper No.950370.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
74. Caceres, J.I.(1995) 'An aerodynamically regenerated diesel particulate trap coupled to an electric soot incinerator with dual wall-flow filters.' SAE Paper No.950371.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
75. Abrams, R.F. (1995) 'Reducing diesel particulate and NOx emissions via filtration and particle-free exhaust gas recirculation.' SAE Paper No.950736.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
76. Ichikawa, Y. et al (1995) 'Development of wall-flow type diesel particulate filter system with efficient reverse pulse air regeneration.' SAE Paper No.950735.Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.

77. Uchiyama T. et al (1994) 'Development of particulate trap system with cross flow ceramic filter and reverse flow cleaning regeneration 2.' SAE Paper No.940463. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
78. Romero , A.F. et al (1995) 'Self regenerating catalyzed diesel aftertreatment system.' SAE Paper No.950367. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
79. Gortan, L. et al (1995) 'Fuzzy logic employed in an autonomous ICC vehicle.' SAE Paper No.950472. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
80. Dementhon , J-B.(1995) 'Novel additive for particulate trap regeneration.' SAE Paper No.952355. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
81. Pattas, K. (1997) 'The effect of size and positioning of ceramic DPFs on the regeneration induced by a cerium-based additive.' SAE Paper No.970184. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
82. Hawker, P. (1997) 'Experience with a new particulate trap technology in Europe.' SAE Paper No.970182. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
83. Zelenka, P. et al (1998) 'Cooled EGR-a key technology for future efficient HD diesels.' SAE Paper No.980190. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers 95 report no.99/62.
84. Weston, A.K. (1998) 'Technology trends and options for heavy duty engines.' Document No. DP 98/0872-Unrestricted. Shoreham-by-Sea: Ricardo Consulting Engineers Ltd.
85. AVL (1998) 'Worldwide trend of heavy duty truck diesel engine technologies to meet future stringent exhaust emission legislations-Keynote' Lecture held by Wolfgang Cartellieri(AVL) at JSME Conference in Tokyo, Japan, April 1998.
86. VM Motori-Detroit Diesel Press release on new C.R. engine series meeting Euro 3.
87. Stoekli, M. et al (1997). 'The influence of cooled EGR on exhaust emissions and fuel consumption of passenger car DI diesel engines with common rail injection.' MTZ/EHT 1/97.
88. Beart, R. et al (1996) 'EGR technologies for lowest emissions.' TNO paper VM9607 presented at International seminar on Application of powertrain and fuel technologies to meet emissions standards for the 21st century London , 24-26 June 1996
89. Piccone, A and Rinolfi, R.(1997) 'Fiat third generation DI diesel engines.' Paper No. S490 004/97. Imeche-Richardo seminar "The Euro 4 challenge" future technologies and systems "London" 03-04.12.1997
90. Peters ,H. et al (1998) 'Catalytic NOx reduction on a passenger car diesel common rail engine.' SAE Paper No.980191. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
91. Berger, H. et al (1998) 'The EU-3 exhaust concept for the new four cylinder diesel engine OM611 with common rail injection Part 1': Engine design and mechanical features. MTZ11/97
92. Christmann, U. et al (1997) 'OPELS NEW Ecotec engines with direct injection', MTZ9/97
93. Hoffmann, K-H. et al (1997) 'The common rail injection system' -a new chapter in diesel injection technology
94. Concave (1996) 'Diesel fuel /engine interaction and effect on exhaust emissions- Part 1: diesel fuel density , Part 2: heavy duty diesel engine technology.' Report No.96/60. Brussels: CONVAWE
95. Heize ,P . et al (1996) 'The interaction between diesel fuel density and electronic engine management systems.' SAE Paper No.961975. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
96. EPEFE (1995) 'European programme on emissions, fuels and engine technologies.' EPEFE Report on behalf of ACEA and EUROPA

97. Porter, B. et al (1996) 'Control technology for low emissions diesel passenger cars.' Imeche-Richardo seminar "The Euro 4 challenge" future technologies and systems "London" 03-04.12.1997
98. Klingmann, R. and Brogermann, H (1997) 'The new four cylinder diesel engine OM611 with common rail injection Part 1 engine design and mechanical features.' MTZ11/97
99. Herzog ,P.L. (1996) Status und Pottentier Verlaufsformung am schnellauffenden Dieselmotor MTZ12/96.
100. Penetrante, B.M et al (1997) 'Fundament NOx reduction by plasma.' SAE Paper No.971715. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
101. Tonkyn, R. (1997) 'Vehicle exhayst treatmen using electrical discharge methods.' SAE Paper No.971716. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
102. Whealton ,J.H. et al (1997) 'Non thermal plasma exhaust aftertreatment.' SAE Paper No.971718. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
103. Abrams ,L.M. (1997) 'Plasma enbanced catalysis for automotive exhausts.' SAE Paper No.971719. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
104. Lake ,T.H. et al (1996) 'Simulation and development experience of stratified charge gasoline direct injection engine.' SAE Paper No.962014. Warrendale PA: Society of Automotive Engineers.
105. Plasma /catalyst combo tolerates diesel sulphur. Hart s Diesel Fuels News 19 February 1998
106. T.K Garret, K. Newton, W.Steeds "The motor vehicle" (13th edition), Plantatree., 2001
107. Νικόλαος Δότσιος, Αντώνιος Ρέχας, Γεώργιος Γιαννακόπουλος, "Νέα τεχνολογία αυτοκινήτου (injection-καταλύτες)" Γραφικές τέχνες Art of texts, 1999
108. Terrence S.Brown, W.Stuart, Neil, "Diesel combustion emissions and exhaust aftertreatment". SAE paper 6292506 from "International off Highway & Powerplant cogress & exposition, 1992
109. Sh.Hodjati, F.Semehe, N.Moral, C.Bert and M.Rigand. "Effects of fuels and lubricants on aftertreatment" SAE paper 6292528, from "Sring fuels and lubricant" 2000
110. Θ.Ζαχμάνογλου, Γ.Καπετανάκης, Π.Καραμπίλας, Γ.Πατσιάβος "Τεχνολογία αυτοκινήτων" 1999
111. www.bosch.com,
112. www.dieselnet.com,
113. www.toyota.com
114. www.siemens.com
115. www.leecao.com,
116. www.canadiandriver.com,
117. www.hybrid.com
118. www.bmw-tech.com,
119. www.dieselnet.com,
120. www.audi.com,
121. www.liquifiedpetroleumgas.com
122. www.saab.com

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Η συμβολή των πέντε βασικών πηγών στην ατμοσφαιρική ρύπανση [113].....	5
Πίνακας 2: Συγκριτικός πίνακας των ετήσιων εκπομπών ρύπων, με τα ποσοστά συμμετοχής στην ρύπανση της Αθήνας [113].....	5
Πίνακας 3: Βλαβερή επίδραση ρυπαντών ατμόσφαιρας [113].....	9
Πίνακας 4: Συστατικά καυσαερίων [113].....	17
Πίνακας 5: Παρασκευή — Χημική σύσταση και χαρακτηριστικά βενζίνης [110]	43
Πίνακας 6: Προδιαγραφές εκπεμπόμενων ρύπων από Ε.Ε. [107]	122
Πίνακας 7: Διακύμανση εκπεμπόμενων ρύπων. [113]	128
Πίνακας 8: Όρια εκπομπής εξάτμισης (g/mile) σε 50.000 μίλια. [113].....	148
Πίνακας 9: Πειραματικά αποτελέσματα ανάλογα με την οπή των προσροφητών [113].....	150
Πίνακας 10: Εκπομπές μηχανών diesel [110].....	152
Πίνακας 11: Πίνακας ρυπαντών [110].....	170
Πίνακας 12: Προδιαγραφές εκπεμπόμενων ρύπων από την Ε.Ε. [107].....	194

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σύσταση καυσαερίων και κυριότερα επιβλαβή στοιχεία. [107].....	8
Εικόνα 2: Θεωρητική τέλεια καύση βενζίνης αέρα [113].....	10
Εικόνα 3: Σχέση μεταξύ λόγου αέρα-καυσίμου και συγκέντρωσης του CO στα καυσαέρια. [113].....	13
Εικόνα 4: Σχέση μεταξύ λόγου αέρα-καυσίμου και συγκέντρωσης HC στα καυσαέρια σε ppm.[113].....	14
Εικόνα 5: Σύνθεση καυσαερίων αυτοκίνητων [113].....	16
Εικόνα 6: Επίδραση της θέσης και του αριθμού των βαλβίδων στην κατανάλωση καυσίμου και στη δημιουργία άκαυστων υδρογονανθράκων [107].....	19
Εικόνα 7: Πηγές ρύπανσης αυτοκινήτου [113].....	23
Εικόνα 8: Δομή καταλύτη με ενσωματωμένο αισθητήρα λάμδα [113].....	26
Εικόνα 9: Κινητήρας με καταλύτη και αισθητήρα λάμδα [113].....	26
Εικόνα 10: Καταλύτης με αντικαθιστώμενα σφαιρίδια. [113].....	28
Εικόνα 11: Εσωτερική δομή τριοδικού καταλύτη με φορέα μονόλιθο [113].....	29
Εικόνα 12: Συστήματα φορέων καταλυτών. α)φορέας PELLETS β)φορέας μονόλιθου [113]	30
Εικόνα 13: Μεταλλικός μονόλιθος [113].....	31
Εικόνα 14: Συστήματα καταλυτών ανάλογα με τη λειτουργία τους [113].....	32
Εικόνα 15: Διάγραμμα λειτουργίας οξειδωτικού καταλύτη [113].....	33
Εικόνα 16: Τριοδικός καταλύτης διπλής κλίνης [113].....	35
Εικόνα 17: Βέλτιστη περιοχή λειτουργίας του καταλύτη. [113].....	36
Εικόνα 18: Διάγραμμα λειτουργίας καταλύτη διπλής κλίνης [113].....	37
Εικόνα 19: Τομή τριοδικού καταλύτη [113].....	37
Εικόνα 20: Βαθμός μετατροπής τριοδικού καταλύτη. [107].....	38
Εικόνα 21: Διάγραμμα λειτουργίας ρυθμιζόμενου τριοδικού καταλύτη. [113].....	39
Εικόνα 22: Οι εκπομπές ρύπων μετά των καταλύτη μειώνονται δραστικά όταν ο λόγος αέρα-καυσίμου βρίσκεται σε στοιχειομετρική αναλογία. [113].....	40
Εικόνα 23: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ανοικτού συστήματος ρύθμισης. [113].....	46
Εικόνα 24: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας κλειστού συστήματος ρύθμισης. Ο αισθητήρας "λ" ζεστός. [113].....	46
Εικόνα 25: Μη θερμαινόμενος αισθητήρας λάμδα. [110].....	47
Εικόνα 26: Θέση του αισθητήρα λάμδα μετά την πολλαπλή εξαγωγή [110].....	47
Εικόνα 27: Ο αισθητήρας λάμδα τοποθετημένος πάνω στον καταλύτη [110].....	48
Εικόνα 28: Κύκλωμα ανακύκλωσης καυσαερίων.....	49
Εικόνα 29: Ρυθμιστική βαλβίδα ατμών καυσίμου [107].....	50
Εικόνα 30: Σύστημα ανακύκλωσης και καύσης εξατμιζόμενου καυσίμου. [107].....	51
Εικόνα 31: Πεδίο ρύθμισης του αισθητήρα Lambda (παράθυρο Lambda) και μείωση των επιβλαβών ρύπων -Ρύποι χωρίς καταλύτη - Ρύποι με καταλύτη και ρύθμιση Lambda. [107]	55
Εικόνα 32: Διάταξη του αισθητήρα Lambda στην πολλαπλή εισαγωγή [107].....	56
Εικόνα 33: Θέση του αισθητήρα Lambda στην πολλαπλή εξαγωγής. [107].....	57
Εικόνα 34: Μη θερμαινόμενος αισθητήρας Lambda [107].....	57
Εικόνα 35: Καμπύλη της τάσης του αισθητήρα Lambda σε σχέση με την στοιχειομετρία (λ) του μίγματος. (α. πλούσιο μίγμα, β. Φτωχό μίγμα) [107].....	58
Εικόνα 36: Θερμαινόμενος αισθητήρας Lambda. [117].....	60
Εικόνα 37: Διάγραμμα ρύθμισης Lambda [107].....	61
Εικόνα 38: Αποτελεσματικότητα της καταλυτικής επεξεργασίας των καυσαερίων με ρύθμιση λάμδα. [107].....	63

Εικόνα 39: Καμπύλες ειδικής κατανάλωσης (be), ισχύος (p) (αριστερά), και εκπεμπόμενων ρύπων (δεξιά) σε σχέση με την στοιχειομετρία του μίγματος.[113].....	66
Εικόνα 40: Απλοποιημένη διάταξη ενός συστήματος πολλαπλής έγχυσης καυσίμου. [107]..	71
Εικόνα 41: Απλοποιημένη διάταξη συστήματος μονού ψεκασμού [107]	71
Εικόνα 42: Κατανάλωση καυσίμου, κατανομή ισχύος και ροπής [107].	75
Εικόνα 43: Σύνθετο χαρακτηριστικό πεδίο του Motronic για τον υπολογισμό της γωνίας ανάφλεξης. [107].....	78
Εικόνα 44: Συμβατικό πεδίο ανάφλεξης για μηχανική ρύθμιση του αβάνς. [107].....	78
Εικόνα 45: Εξαερισμός των δεξαμενών καυσίμου [107].....	80
Εικόνα 46: Κύκλωμα ανακύκλωσης καυσαερίων [107].....	81
Εικόνα 47: Ελεγχόμενη παύση και επαναλειτουργία ορισμένων κυλίνδρων [107]	82
Εικόνα 48: Σύστημα άμεσου ψεκασμού (αριστερά), και συμβατικό σύστημα ψεκασμού καυσίμου μέσα στην πολλαπλή εισαγωγή (δεξιά). [111].....	85
Εικόνα 49: Σύστημα στροβιλισμού εισερχόμενου αέρα [111]	86
Εικόνα 50: Διαδοχικές φάσεις μετάδοσης της φλόγας γύρω από το μπουζί προς.....	87
Εικόνα 51: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης και δημιουργίας NO _x ανάλογα με τη.....	89
Εικόνα 52: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης, στοιχειομετρίας μίγματος και δημιουργίας υδρογονανθράκων (HC) [107]	89
Εικόνα 53: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης, στοιχειομετρίας μίγματος και δημιουργίας.....	89
Εικόνα 54: Σχέση μεταξύ γωνίας ανάφλεξης, συντελεστή λ, και κατανάλωσης καυσίμου. [107]	90
Εικόνα 55: Ρύποι HC στην άφορτη λειτουργία ενός τετρακύλινδρου κινητήρα [107]	91
Εικόνα 56: Επίδραση του χρονικού σημείου ανάφλεξης στον σχηματισμό επιβλαβών ρύπων και στην ειδική κατανάλωση (be) καυσίμου. [107].....	93
Εικόνα 57: Τα τρία στάδια λειτουργίας του συστήματος V-TEC Honda [126]	95
Εικόνα 58: Επικάλυψη βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής (overlap) [117].....	97
Εικόνα 59: Τομή συστήματος Vanos (B.M.W) [120].....	98
Εικόνα 60: Λειτουργία του συστήματος nvti [117]	98
Εικόνα 61: Λειτουργία του συστήματος nvtli [117]	99
Εικόνα 62: Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες(Siemens) [125]	100
Εικόνα 63: Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες (Siemens) [125].....	101
Εικόνα 64: Ρυθμός παραγωγής NO σε συνάρτηση της θερμοκρασίας, για διάφορες τιμές του λόγου φ και πίεση 15 atm. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί σε θερμοκρασία αδιαβατικής καύσης κηροζίνης με αέρα 700 K και 15 atm. [112]	102
Εικόνα 65: Συγκεντρώσεις NO και NO ₂ στην εξαγωγή μηχανής Otto, σε συνάρτηση του λόγου αέρα - καυσίμου, στις 1500 rpm και πλήρες φορτίο. [112].....	103
Εικόνα 66: Μεταβολή της συγκέντρωσης οξειδίων του αζώτου, σε συνάρτηση του ποσοστού του ανακυκλούμενου καυσαερίου (EGR) μιας μηχανής Otto, στις 1600 rpm, με ογκομετρικό βαθμό απόδοσης 50%, προπορεία έγχυσης για μέγιστη ροπή. [112]	104
Εικόνα 67: Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων [111].....	105
Εικόνα 68: Ο αισθητήρας TPS ελέγχει τις βαλβίδες EGR και EPR [114]	110
Εικόνα 69: Εξαρτήματα του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου [114].....	112
Εικόνα 70: Αντλία τύπου διανομέα που ένα αντλητικό στοιχείο για όλα τα μπεκ. [114]	114
Εικόνα 71: Η εμβολοφόρος αντλία εγχύσεως φέρει ένα αντλητικό στοιχείο για κάθε μπεκ. [114]	115
Εικόνα 72: Μπεκ ψεκασμού [115].....	116
Εικόνα 73: Μπεκ ψεκασμού [114].....	117
Εικόνα 74: Μορφή νέφους ψεκαζόμενων σταγονιδίων [115]	117
Εικόνα 75: Μορφή νέφους ψεκαζόμενων σταγονιδίων [115]	118
Εικόνα 76: Σύστημα common rail [115].....	121

Εικόνα 77: Τομή τριοδικού καταλύτη με ενσωματωμένο αισθητήρα "λ". [113]	124
Εικόνα 78: Θέση του καταλυτικού μετατροπέα μέσα στο σύστημα εξάτμισης [113].....	127
Εικόνα 79: Τμήμα καταλυτικού μετατροπέα με προστατευτική ψάθα [113].....	127
Εικόνα 80: Είσοδος και έξοδος εκπεμπόμενων ρύπων στον δυοδικό καταλυτικό μετατροπέα. [110]	129
Εικόνα 81: Είσοδος και έξοδος εκπεμπόμενων ρύπων στον αρρυθμιστο τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα. [110]	130
Εικόνα 82: Είσοδος και έξοδος εκπεμπόμενων ρύπων στον ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα. [110]	131
Εικόνα 83: Διαγράμματα εκπεμπόμενων ρύπων πριν και μετά την κατάλυση [107].....	132
Εικόνα 84: Σχέση αναλογίας αέρα καυσίμου με ποσοστά εκπεμπόμενων ρύπων. [107].....	134
Εικόνα 85: Σύγκριση τύπων καταλυτικών μετατροπέων [113].....	137
Εικόνα 86: Η περιεκτικότητα του προωθητή Na (%κβ) σε σχέση με την εκλεκτικότητα διαφόρων αλκαλίων [107].....	138
Εικόνα 87: Μετατροπή ρύπου NO σε σχέση με τη θερμοκρασία ενισχυμένου καταλύτη Pt με Na [107].....	140
Εικόνα 88: Τριοδικός καταλύτης με μια παγίδα βαρίου για τα NO _x ανάλογα με το μίγμα [113]	141
Εικόνα 89: Καταλύτης Metalit [106]	142
Εικόνα 90: Τομή προκαταλύτη [113].....	142
Εικόνα 91: Επίπεδος σάκος για την κατακράτηση καυσαερίων [106]	143
Εικόνα 92: Πρότυπα εκπομπής ρύπων μηχανών diesel [111]	154
Εικόνα 93: Διάγραμμα μετατροπής ρύπων σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [111].....	159
Εικόνα 94: Καταλυτική μετατροπή DPM [110]	160
Εικόνα 95: Μετατροπή υδρογονανθράκων στον καταλύτη με παγίδα HC. [110].....	161
Εικόνα 96: Σχηματική διάταξη συστήματος με υγραέριο [107].....	165
Εικόνα 97: Σύστημα ψεκασμού υγραερίου σε αέρια και υγρή φάση. [107].....	167
Εικόνα 98: Σχηματική διάταξη συστήματος με υγραέριο [107].....	168
Εικόνα 99: Δικλείδα ανεφοδιασμού [107]	172
Εικόνα 100: Διάταξη συστήματος Toyota Prius [117]	181
Εικόνα 101: Σύστημα υβριδικών [107].....	182
Εικόνα 102: Τομή υβριδικού κινητήρα [111]	184
Εικόνα 103: Διάταξη συστήματος με υδρογόνο [111].....	185
Εικόνα 104: Κινητήρας Wankel [111].....	186
Εικόνα 105: Τεχνική άμεσου ψεκασμού για τη μείωση όγκου υδρογόνου [111].....	187
Εικόνα 106: Κελί καυσίμου που λειτουργεί με H ₂ σαν καύσιμο [107].....	190
Εικόνα 107: Ηλιακό όχημα [107].....	191