

## **Συστήματα ελέγχου και εκπομπής ρύπων για βενζινομηχανές**

### **4.1 Συστήματα ελέγχου εκπομπών ρύπων-**

**Έλεγχος αναθυμιάσεων από τη δεξιά μενή καυσίμου**

**Ανακύκλωση καυσαερίων E.G.R.**

**Εξαερισμός - καύση αναθυμιάσεων στροφαλοθάλαμου P.C.V.**

### **4.2 Καταλύτης καυσαερίων (οξειδωτικός αναγωγικός τριοδικός αρρύθμιστος - ρυθμιζόμενος διάρκεια ζωής μετατροπή συμβατικών αυτοκινήτων σε καταλυτικά)**



### **Διδακτικοί στόχοι:**

- Να αναφέρετε και να περιγράψετε τους απαραίτητους ελέγχους που πρέπει να γίνονται πριν, κατά και μετά τη λειτουργία των συστημάτων ελέγχου εκπομπών των ρύπων.
- Να αναφέρετε το σκοπό και τον τρόπο που γίνονται οι έλεγχοι καθώς και τα σχετικά μέσα.
- Να αναφέρετε και να περιγράψετε τα ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία, τους τρόπους και τα μέσα των κάθε είδους ρυθμίσεων που είναι απαραίτητες για την καλή λειτουργία των συστημάτων ελέγχου εκπομπών των ρύπων.

## 4.1 Συστήματα ελέγχου εκπομπής ρύπων

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της εκπομπής ρύπων από το αυτοκίνητο εκτός από το σύστημα του καταλύτη είναι τα εξής:

1. Το σύστημα ελέγχου αναθυμιάσεων από το ρεζερβουάρ.
2. Το σύστημα ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (EGR) για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx).
3. Το σύστημα θετικού εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου (PCV).

MAP αισθητήρας υποπίεσης πολλαπλής εισαγωγής

FRP ρυθμιστής πίεσης καυσίμου

PCV βαλβίδα ελέγχου αναθυμιάσεων του στροφαλοθαλάμου

EGR σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων

PCSV βαλβίδα ελέγχου αναθυμιάσεων του κυκλώματος τροφοδοσίας

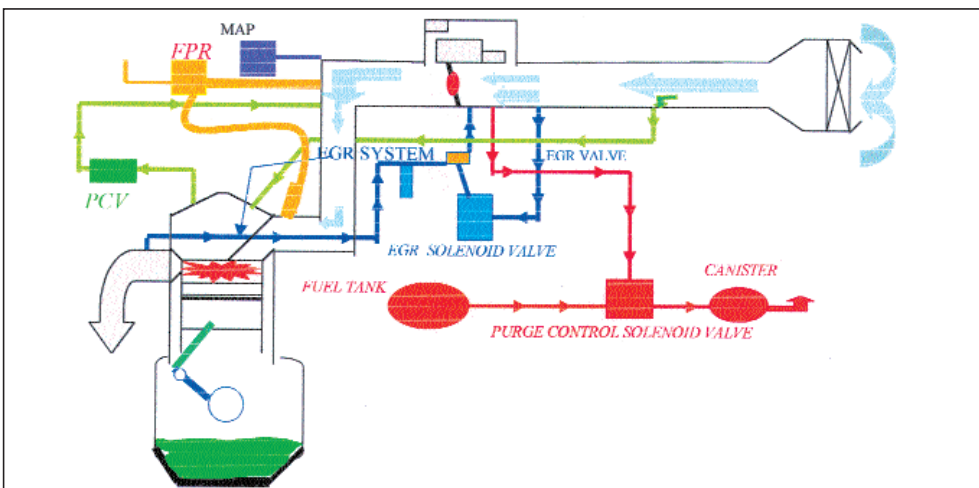
### 4.1.1 Σύστημα ελέγχου αναθυμιάσεων ρεζερβουάρ

Το σύστημα ελέγχου αναθυμιάσεων του ρεζερβουάρ καυσίμου αποτελείται από το δοχείο ενεργού άνθρακα με την ρυθμιστική βαλβίδα του και τις σωληνώσεις.

Το δοχείο ενεργού άνθρακα EVAP περιέχει ενεργό άνθρακα σε μορφή κόκκων. Συνδέεται με ένα σωληνάκι με τη βαλβίδα ανατροπής του ρεζερβουάρ. Ένα άλλο σωληνάκι συνδέει το δοχείο ενεργού άνθρακα με τη βαλβίδα καθαρισμού ή εξαερισμού του δοχείου. Από εκεί οι αναθυμιάσεις που έχουν παγιδευτεί στο δοχείο ενεργού άνθρακα οδηγούνται στους θαλάμους καύσης του κινητήρα για να καούν.

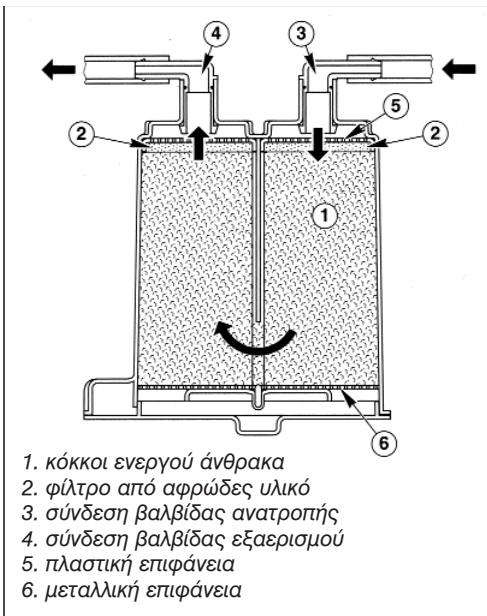
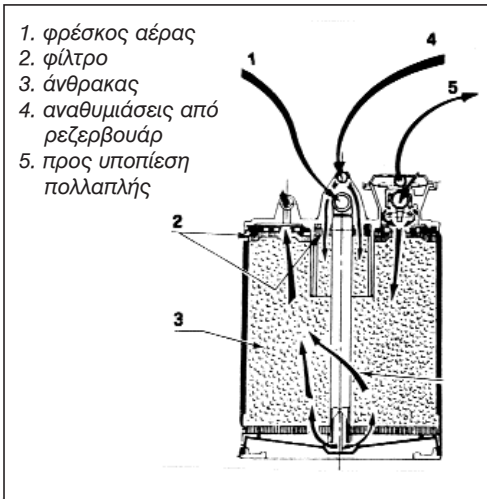
Κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα ανοίγει η βαλβίδα εξαερισμού του δοχείου ενεργού άνθρακα για να είναι δυνατή η διαφυγή των αναθυμιάσεων προς τους θαλάμους καύσης του κινητήρα.

Εικόνα 4.1.1 Συνδεσμολογία και συστήματα ελέγχου ρύπων



Οι ετήσιες αναθυμιάσεις από το ρεζερβουάρ καυσίμου ενός αυτοκινήτου είναι περίπου ίσες με αυτές που εκπέμπονται από την εξάτμιση ενός καταλυτικού αυτοκινήτου στη διάρκεια ενός έτους.

Εικόνα 4.1.2 Τομή φίλτρου ενεργού άνθρακα με βαλβίδα (ACC) και χωρίς ενσωματωμένη βαλβίδα (EVAP)



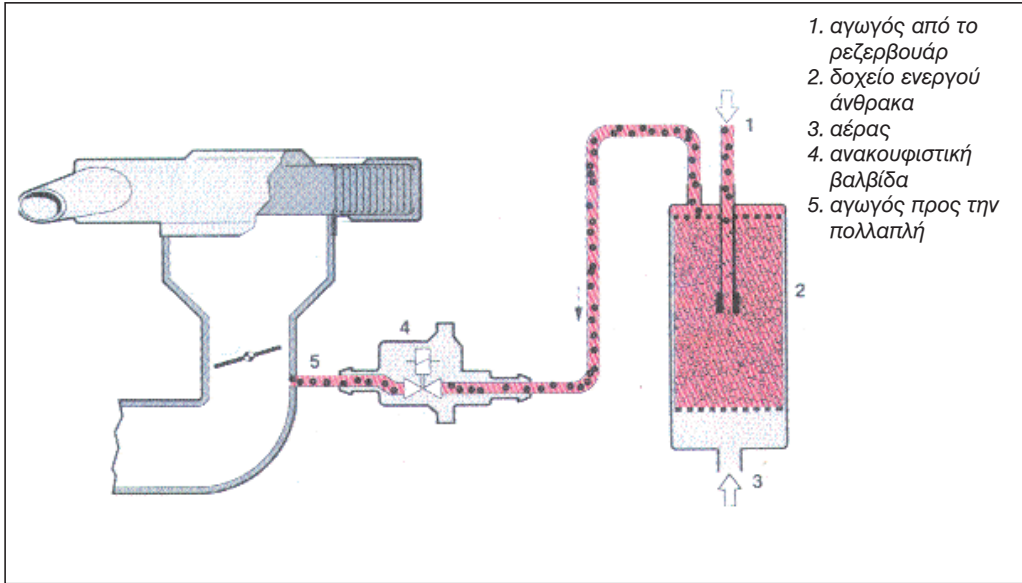
Στο φίλτρο ενεργού άνθρακα υπάρχει η βαλβίδα εξαερισμού η οποία ενεργοποιείται (ανοίγει) από την υποπίεση που αναπτύσσεται στην πολλαπλή εισαγωγής. Όταν ανοίγει αυτή η βαλβίδα οι αναθυμιάσεις βενζίνης διοχετεύονται στην πολλαπλή εισαγωγής όπου αναμιγνύονται με τον αναρροφούμενο αέρα. Η βαλβίδα εξαερισμού βρίσκεται εσωτερικά στο δοχείο ενεργού άνθρακα ή είναι τοποθετημένη εξωτερικά στο χώρο του κινητήρα.

Ένας άλλος τύπος βαλβίδας εξαερισμού είναι η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχου αναθυμιάσεων (PCSV) η οποία ελέγχει την ποσότητα των αναθυμιάσεων σύμφωνα με τα φορτία του κινητήρα. Ο εγκέφαλος του συστήματος ψεκασμού καυσίμου ελέγχει τη ρυθμιστική βαλβίδα ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα.

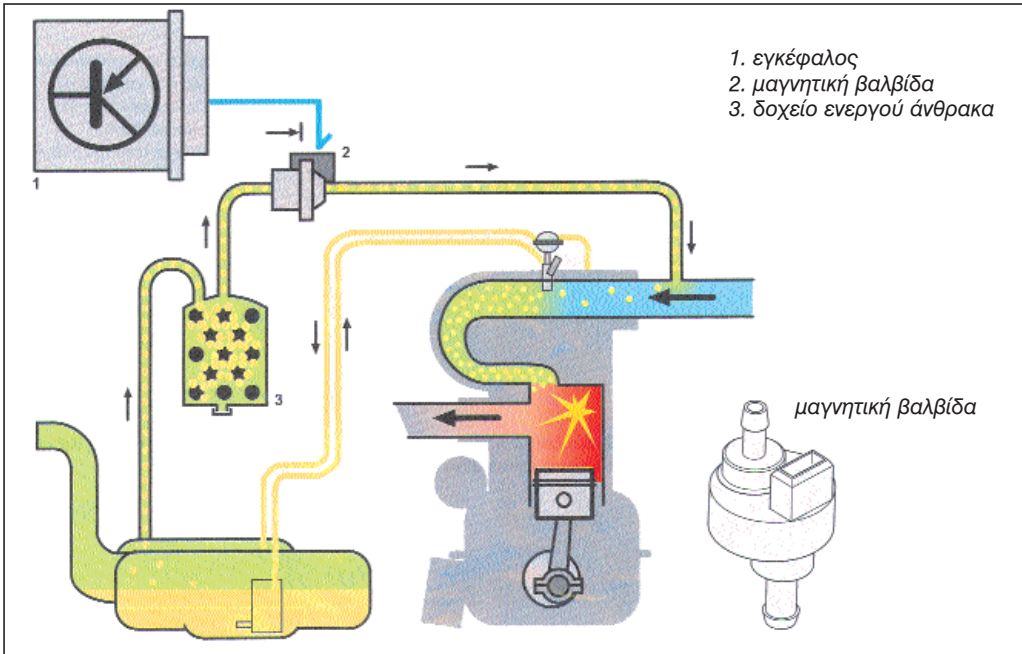
Ο εγκέφαλος του συστήματος ψεκασμού ενεργοποιεί τη βαλβίδα εξαερισμού του δοχείου στέλνοντας ρεύμα όταν ο κινητήρας λειτουργεί στις μεσαίες στροφές και κάτω από μεσαία φορτία. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί η βαλβίδα εξαερισμού του δοχείου ενεργού άνθρακα παραμένει κλειστή. Επίσης κατά την εκκίνηση η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα εξαερισμού είναι κλειστή και ανοίγει όταν θερμανθεί ο κινητήρας.

Όταν ανοίξει η βαλβίδα εξαερισμού του δοχείου ενεργού άνθρακα εμπλουτίζεται το καύσιμο μείγμα εξαιτίας των αναθυμιάσεων καυσίμου που εισρέουν στην πολλαπλή εισαγωγής. Για το λόγο αυτό ο εγκέφαλος του συστήματος ψεκασμού μειώνει την ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται ώστε να μην γίνει σχηματισμός πολύ πλούσιου μείγματος.

Εικόνα 4.1.3 Ανακούφιση δοχείου ενεργού άνθρακα



Εικόνα 4.1.4 Εξαερισμός ρεζερβουάρ



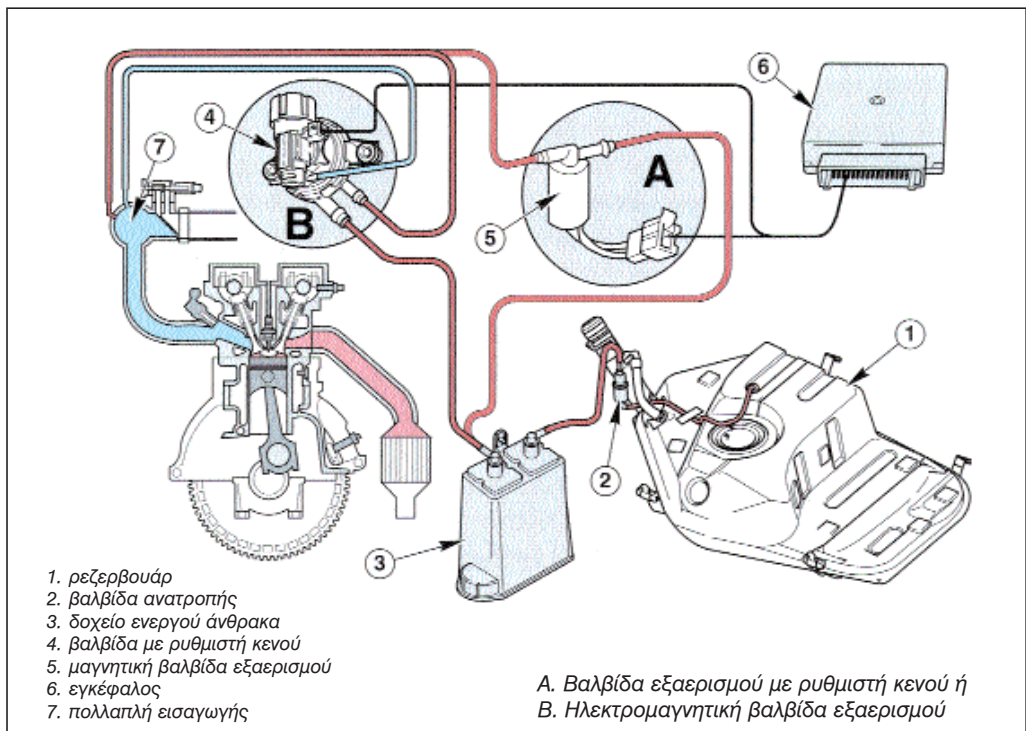
Κατά τον ανεφοδιασμό με καύσιμο η πίεση στο εσωτερικό του ρεζερβουάρ γίνεται ίση με την πίεση που επικρατεί στο περιβάλλον. Όταν κλείσει η τάπα του ρεζερβουάρ βενζίνης η δημιουργία βενζίνης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης μέσα στο ρεζερβουάρ. Για να μην παρατηρηθεί διαρροή των αναθυμιάσεων στο περιβάλλον η τάπα του ρεζερβουάρ διαθέτει μία αντεπίστροφη βαλβίδα.

Κατά τη λειτουργία του κινητήρα οι αναθυμιάσεις που έχουν συσσωρευτεί στο ρεζερβουάρ καυσίμου διαφεύγουν προς το δοχείο ενεργού άνθρακα όταν ανοίξει μία βαλβίδα που συνδέει το ρεζερβουάρ με το δοχείο ενεργού άνθρακα.

Εάν δημιουργηθεί υποπίεση λόγω ψύξης του ρεζερβουάρ ή λόγω πτώσης της στάθμης του καυσίμου πρέπει να γίνει εισαγωγή αέρα από το περιβάλλον στο ρεζερβουάρ καυσίμου γιατί διαφορετικά αυτό καυσίμου θα παραμορφωθεί. Η εισαγωγή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον γίνεται με το άνοιγμα μίας άλλης βαλβίδας μονής κατεύθυνσης.

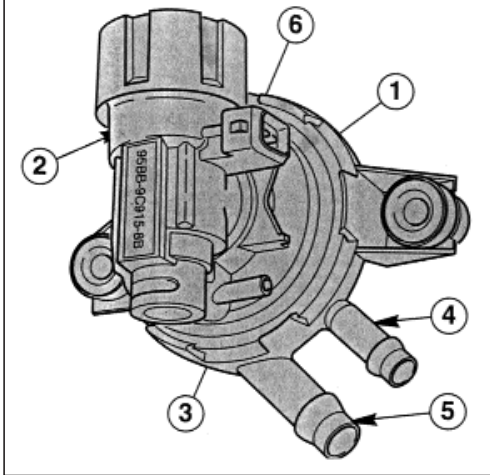
Σε ορισμένα αυτοκίνητα υπάρχει μία α δύοδοος βαλβίδα που επιτρέπει μέσω του σωλήνα εκπομπής να μπαίνει ή να βγαίνει αέρας στο ρεζερβουάρ.

Εικόνα 4.1.5 Είδη βαλβίδων εξαερισμού και η συνδεσμολογία τους



Εικόνα 4.1.6 Βαλβίδα εξαερισμού με υποπίεση

1. διάφραγμα
2. ρυθμιστής κενού
3. σύνδεση υποπίεσης
4. προς πολλαπλή
5. από το δοχείο EVAP
6. ηλεκτρική σύνδεση



Η βαλβίδα εξαερισμού του δοχείου ενεργού άνθρακα διαθέτει ένα διάφραγμα και ένα ρυθμιστή κενού. Η βαλβίδα ανοίγει μόνο όταν στην πολλαπλή εισαγωγής έχει αναπτυχθεί υποπίεση συγκεκριμένης τιμής.

Ο ρυθμιστής κενού δέχεται υποπίεση από την πολλαπλή εισαγωγής. Στη σύνδεση για το σωληνάκι υπάρχει μία μικρή οπή ελέγχου με την οποία η βαλβίδα ελέγχου αποσυνδέεται από την πίεση της πολλαπλής εισαγωγής. Η υποπίεση ασκείται στο μεταλλικό έλασμα της βαλβίδας που πιέζεται πάνω στην επίπεδη έδρα βαλβίδας με τη δύναμη του ελατηρίου. Η υποπίεση μειώνεται με την εισροή αέρα από το περιβάλλον.

Στην περίπτωση αυτή η βαλβίδα παραμένει κλειστή γιατί δεν μπορεί να ανοίξει η έδρα της βαλβίδας.

Όταν ο ρυθμιστής κενού ελέγχεται από τον εγκέφαλο του συστήματος ψεκασμού και ενεργοποιείται με ηλεκτρικούς παλμούς το μαγνητικό πεδίο του πηνίου αυξάνει τη δύναμη κλεισίματος της βαλβίδας που έχει επίπεδη έδρα καθώς το σιδερένιο έλασμα της βαλβίδας έλκεται μαγνητικά. Έτσι δημιουργείται υποπίεση που παράγει μία ελεγχόμενη δύναμη για το άνοιγμα της βαλβίδας στη μονάδα διαφράγματος.

#### **4.1.2 Σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR**

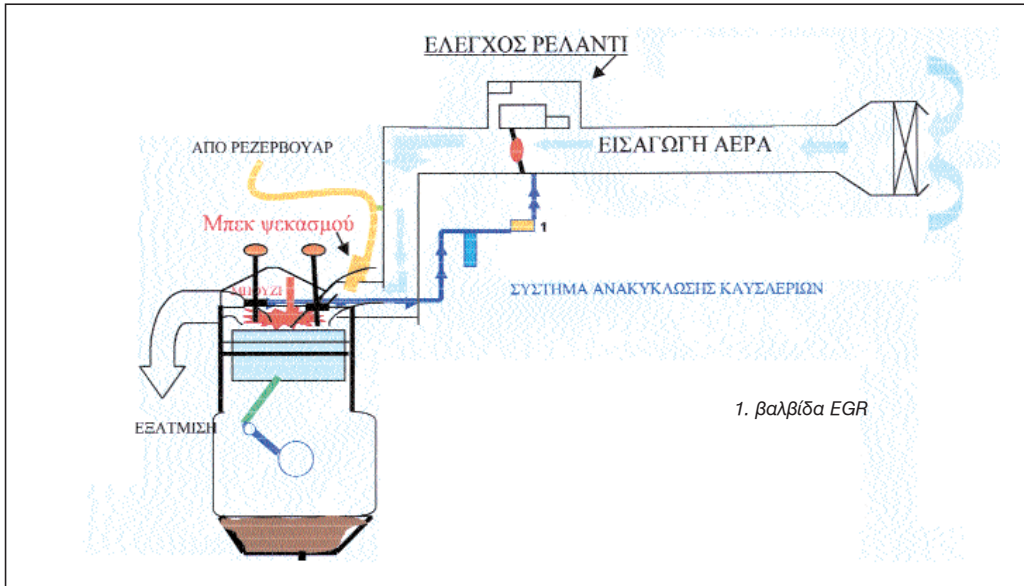
Με την ανακυκλοφορία των καυσαερίων περιορίζεται κατά 30% η ποσότητα των οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub> που παράγονται κατά την καύση όταν στους θαλάμους καύσης του κινητήρα επικρατούν υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Αυτό γίνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας που επικρατεί στους θαλάμους καύσης με την ανακυκλοφορία μίας μικρής ποσότητας καυσαερίων στην πολλαπλή εισαγωγής.

Η ροή των καυσαερίων προς την πολλαπλή εισαγωγής ελέγχεται από τη βαλβίδα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) που βρίσκεται ενσωματωμένη σε έναν αγωγό που συνδέει την πολλαπλή εξαγωγής με την πολλαπλή εισαγωγής.

Τα καυσαέρια διοχετεύονται στο θάλαμο καύσης. Με την εισαγωγή των σχετικά ψυχρών καυσαερίων (T= 600 °C) μειώνεται η θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης και με αυτό τον τρόπο ελαττώνονται τα οξείδια NO<sub>x</sub>.

Η ανακυκλοφορία του καυσαερίου

Εικόνα 4.1.7 Σύστημα ανακύκλωσης καυσαερίων EGR

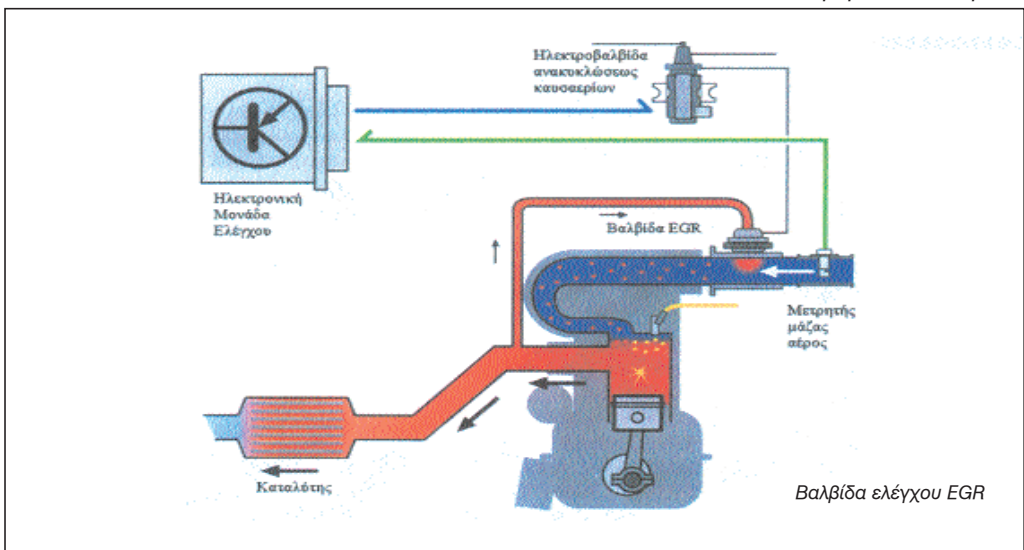


δεν εκτελείται όταν η πεταλούδα γκαζιού βρίσκεται στις ακραίες θέσεις δηλαδή στο ρελαντί ή όταν έχουμε υψηλά φορτία.

Το σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων ελέγχεται από τον εγκέφαλο

του συστήματος που ανοιγοκλείνει τη βαλβίδα ελέγχου EGR και κατά συνέπεια ελέγχει τη διέλευση των καυσαερίων προς την πολλαπλή εισαγωγής.

Εικόνα 4.1.8 Ανακυκλοφορία καυσαερίων

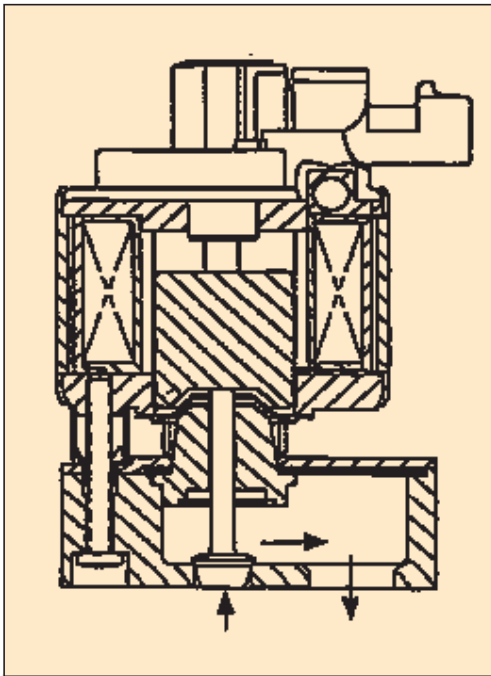




Η βαλβίδα είναι ηλεκτρομαγνητική και ελέγχεται από τον εγκέφαλο του συστήματος ψεκασμού. Ο εγκέφαλος με τη βοήθεια των σημάτων εισόδου από τους αισθητήρες υπολογίζει τις παραμέτρους του κινητήρα όπως π.χ. τον αριθμό στροφών και το φορτίο του κινητήρα.

Το άνοιγμα της βαλβίδας εξαρτάται από το ρεύμα από το οποίο διαρρέεται το πηνίο της και ελέγχεται από το σήμα του εγκέφαλου. Ένα ελατήριο εξασφαλίζει τη δύναμη επαναφοράς που απαιτείται για να διατηρηθεί η βαλβίδα επιστροφής καυσαερίων κλειστή όταν αυτή δεν τροφοδοτείται με ρεύμα.

Εικόνα 4.1.9 Βαλβίδα ελέγχου EGR



Οι βαλβίδες ελέγχου EGR λειτουργούν με διάφραγμα και ελατήριο. Όταν

στο διάφραγμα ασκείται υποπίεση από το άνοιγμα της πεταλούδας γκαζιού μετατοπίζεται κάθετα η κωνική βαλβίδα και το καυσαέριο διαφεύγει προς την πολλαπλή εισαγωγής.

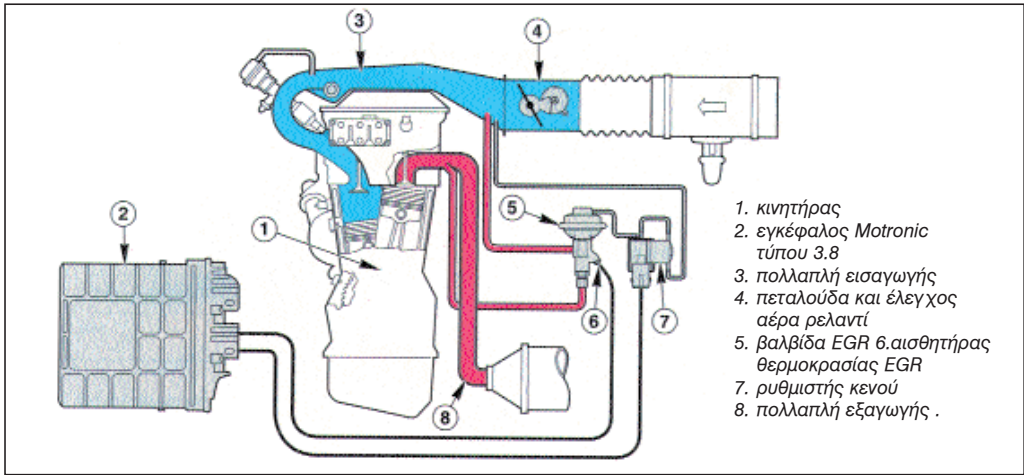
Μερικές βαλβίδες ελέγχου έχουν ένα θερμικό διακόπτη που αναγνωρίζει τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού της μηχανής και ενεργοποιεί τη βαλβίδα όταν ολοκληρωθεί η προθέρμανση του κινητήρα.

Ο εγκέφαλος υπολογίζει την επιτρεπτή ποσότητα καυσαερίων προς ανακυκλοφορία μετά από επεξεργασία διαφόρων παραμέτρων και ενεργοποιεί ανάλογα τη βαλβίδα ελέγχου EGR με ηλεκτρικούς παλμούς.

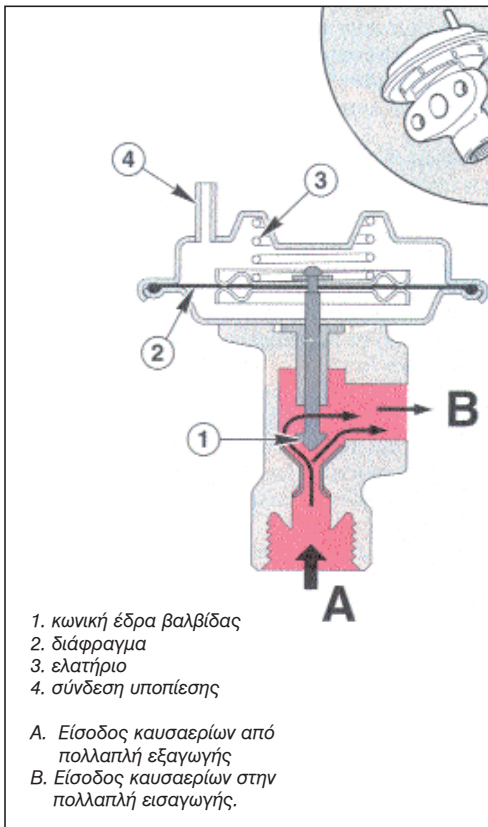
Σε ορισμένες περιπτώσεις στη βαλβίδα ελέγχου EGR υπάρχει ενσωματωμένος ένας αισθητήρας θερμοκρασίας (EGRT). Ο αισθητήρας EGRT χρησιμεύει στη παρακολούθηση και διάγνωση βλαβών στο σύστημα .

Εάν η θερμοκρασία της βαλβίδας ελέγχου EGR είναι πολύ μεγάλη η βαλβίδα είναι διαρκώς ανοιχτή. Ενώ στην περίπτωση που η θερμοκρασία της βαλβίδας ελέγχου EGR είναι πολύ χαμηλή η βαλβίδα δεν ανοίγει σωστά.

Εικόνα 4.1.10 Συνδεσμολογία συστήματος επανακυκλοφορίας καυσαερίων



Εικόνα 4.1.11 Συνδεσμολογία συστήματος επανακυκλοφορίας καυσαερίων



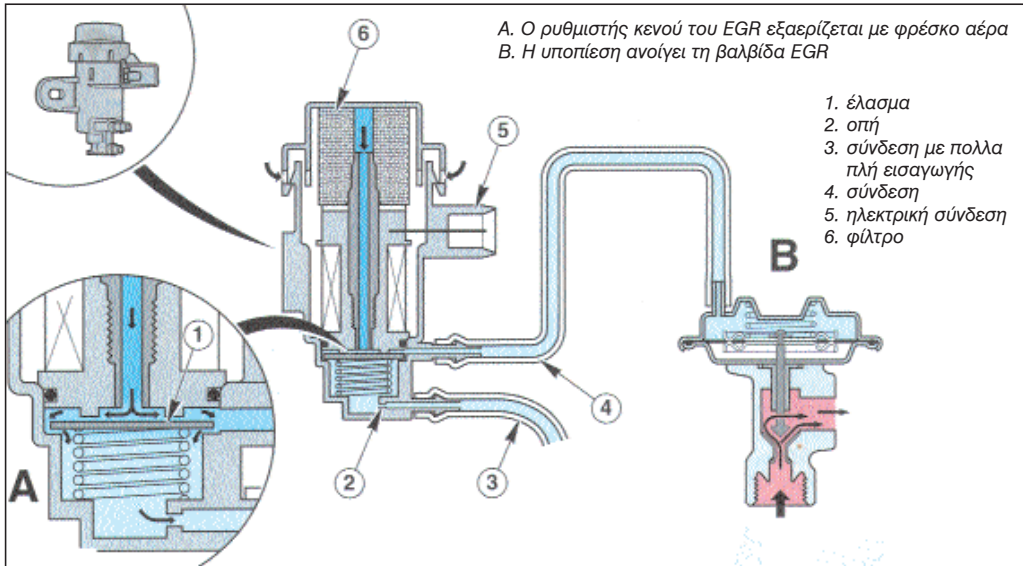
Ο ρυθμιστής κενού του EGR βρίσκεται στον αγωγό υποπίεσης από την πολλαπλή εισαγωγής προς τη βαλβίδα EGR .

Όταν ο ρυθμιστής κενού του EGR απενεργοποιείται η υποπίεση ενεργεί πάνω στο μεταλλικό έλασμα της βαλβίδας που πιέζει την έδρα της βαλβίδας με τη δύναμη του ελατηρίου και η υποπίεση μειώνεται με την είσοδο αέρα από το περιβάλλον. Ο αέρας περνάει μέσα από ένα φίλτρο στο πάνω περίβλημα του ρυθμιστή κενού. Η υποπίεση που εξακολουθεί να υπάρχει δεν επαρκεί για να ανοίξει τη βαλβίδα επανακυκλοφορίας καυσαερίων.

Όταν ο ρυθμιστής κενού ενεργοποιείται από τον εγκέφαλο το μαγνητικό πεδίο του πηνίου αυξάνει τη δύναμη κλεισίματος της βαλβίδας με την επίπεδη έδρα καθώς το σιδερένιο έλασμα της βαλβίδας έλκεται μαγνητικά. Αυτό επιτρέπει το σχηματισμό υποπίεσης που ενεργεί πάνω στο διάφραγμα της βαλβίδας επανακυκλοφορίας καυσαερίων και το ανοίγει.

Η υποπίεση στο ρυθμιστή κενού ελέγχεται με τους μεταβλητούς παλμούς.

Εικόνα 4.1.12 Λειτουργία βαλβίδας με το κενό

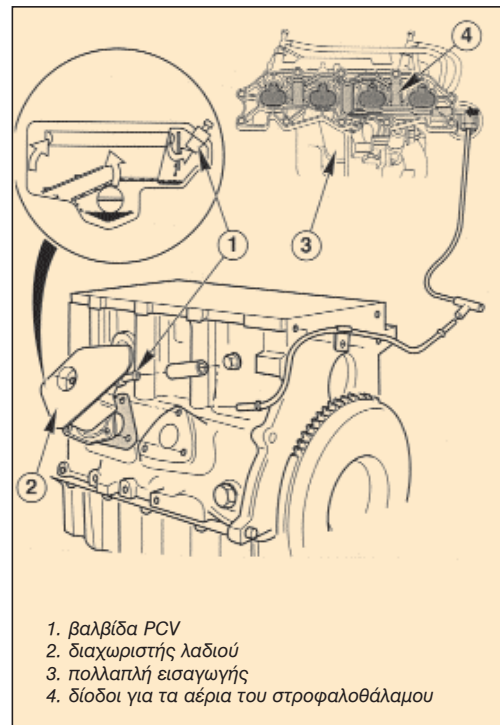


Εικόνα 4.1.13 Εξαερισμός στροφαλοθάλαμου

### 4.1.3 Σύστημα θετικού εξαερισμού στροφαλοθάλαμου PCV

Μία ποσότητα αερίων από το θάλαμο καύσης διαφεύγει από τα ελατήρια προς το στροφαλοθάλαμο. Τα αέρια αυτά καθώς και οι ατμοί του λαδιού που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία του κινητήρα πρέπει να απομακρύνονται ώστε να μη δημιουργηθεί μεγάλη εσωτερική πίεση στον στροφαλοθάλαμο του κινητήρα.

Σκοπός του συστήματος θετικού εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου είναι η διοχέτευση των αναθυμιάσεων του στροφαλοθαλάμου στην πολλαπλής εισαγωγής.



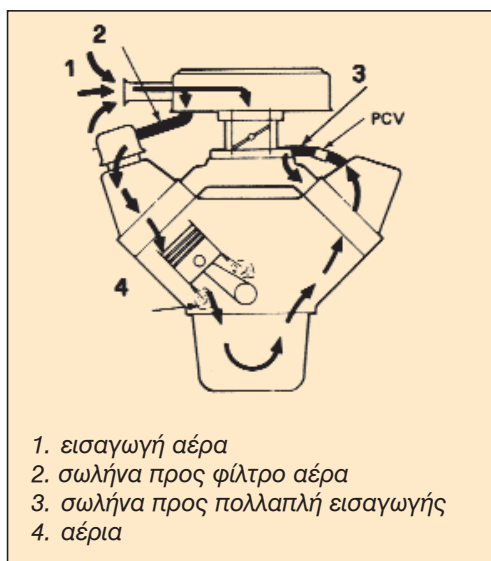
Οι αναθυμιάσεις από το στροφαλοθάλαμο περνούν μέσα από το διαχωριστή λαδιού και τη βαλβίδα υποπίεσης (PCV) στην πολλαπλή εισαγωγής.

Παλαιότερα, όταν δεν εφαρμοζόταν το σύστημα θετικού εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου οι αναθυμιάσεις διέφευγαν στην ατμόσφαιρα. Έτσι υπήρχε ρύπανση του περιβάλλοντος με άκαυστους υδρογονάνθρακες. Η θέση της βαλβίδας εξαερισμού του συστήματος PCV είναι πάνω στο καπάκι των βαλβίδων. Είναι μονόδρομη και ανοίγει μόνον όταν η πίεση είναι θετική. Η βαλβίδα έχει ένα προφορτισμένο ελατήριο που ελέγχει το άνοιγμα της και επομένως τη ροή των αναθυμιάσεων.

Η εισαγωγή των αναθυμιάσεων γίνεται πριν από την πεταλούδα γκαζιού.

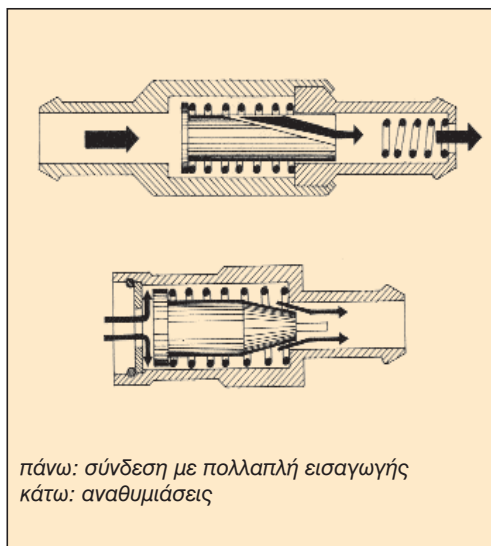
Η βαλβίδα PCV ανοίγει μόνο με την εφαρμογή υποπίεσης από την πολλαπλή εισαγωγής μόνο και μόνο όταν ανοίγει η πεταλούδα του γκαζιού.

Εικόνα 4.1.14 Αερισμός στροφαλοθαλάμου



Σε άλλα συστήματα ψεκασμού, αναρροφάται αέρας στο στροφαλοθάλαμο στις μεσαίες στροφές και συμπαρασύρει τα αέρια που προωθούνται στην πολλαπλή εισαγωγής μέσω της βαλβίδας PCV η οποία βρίσκεται στο καπάκι του εκκεντροφόρου.

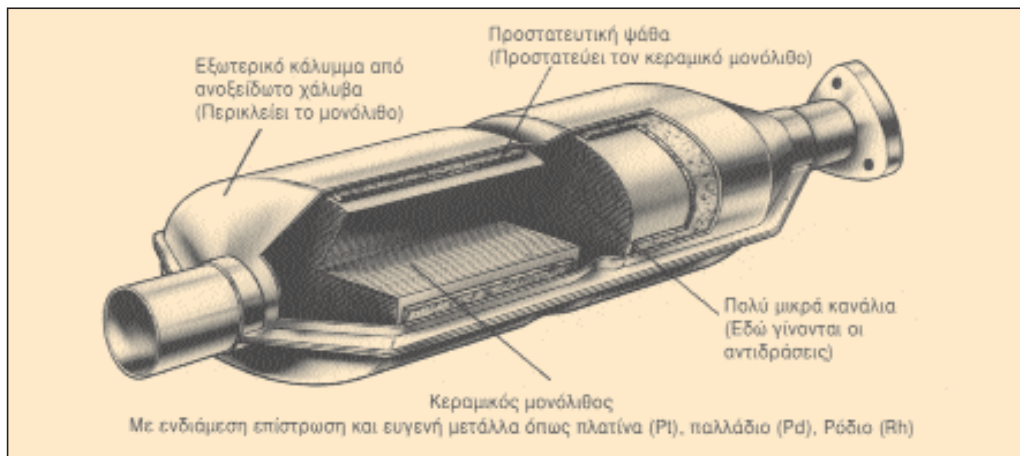
Εικόνα 4.1.15 Είδη βαλβίδων PCV



## 4.2 Καταλύτες καυσαερίων.

Αν κοιτάξει κανείς κάτω από ένα σύγχρονο αυτοκίνητο καταλυτικής τεχνολογίας θα διακρίνει εύκολα στο σύστημα απαγωγής καυσαερίων δηλαδή στην εξάτμιση και σχετικά κοντά στην πολλαπλή εξαγωγής ένα “καζανάκι” σαν αυτό του σιλανσιέ (Εικόνα 4.2.1). Το καζανάκι αυτό είναι καλά μονωμένο προς τα επάνω ώστε να προστατεύεται το δάπεδο από υψηλές θερμοκρασίες και περιέχει τον καταλυτικό μετατροπέα που μειώνει τους ρύπους που περιέχονται στα καυσαέρια με τη χρήση ενός καταλύτη.

Εικόνα 4.2.1 Καταλυτικός μετατροπέας αυτοκινήτου.



### 4.2.1 Καταλυτικός μετατροπέας

Καταλύτης στη χημεία από την οποία προέρχεται ο όρος, είναι ένα υλικό (μία ουσία) που με την παρουσία του διευκολύνει και επιταχύνει μία αντίδραση χωρίς όμως να λαμβάνει μέρος στην ίδια την αντίδραση με αποτέλεσμα να μη μεταβάλλονται η μάζα του και η σύστασή του. Οι καταλύτες μπορεί να είναι στοιχεία ή χημικές ενώσεις.

Υπάρχει και ένα ανέκδοτο σχετικά με τον τρόπο που επιδρά ο καταλύτης: *Μια ομάδα φαντάρων καθαρίζει το προαύλιο του στρατώνα. Όμως βαριούνται κουβεντιάζουν χαζεύουν και γενικά δεν προχωράει η δουλειά. Τότε βγαίνει στο μπαλκόνι ο στρατηγός και αμέσως όλοι πέφτουν στην δουλειά και το προαύλιο καθαρίζεται σε λίγα λεπτά.*

Στο παράδειγμά μας ο στρατηγός δεν πήρε μέρος στον καθαρισμό όμως η παρουσία του ήταν σημαντική για τη σύντομη περάτωση της εργασίας. Η παρουσία του λέμε ήταν καταλυτικής ση-

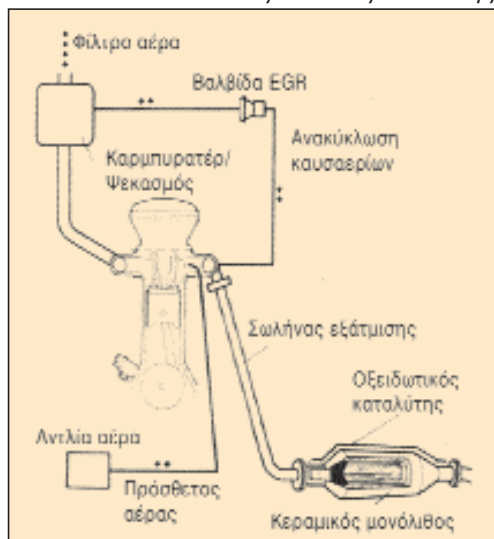
μασίας για τη δουλειά.

Καταλύτες βρίσκουμε παντού στην καθημερινή μας ζωή. Καταλύτες υπάρχουν και στο σώμα μας χωρίς τους οποίους δεν θα μπορούσαμε να ζήσουμε όπως πχ η πτυελίνη μία ουσία που βρίσκεται στο σάλιο μας και διευκολύνει τη διάσπαση του αμύλου που τρώμε.

Στα αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας χρησιμοποιούμε τους καταλυτικούς μετατροπείς που συχνά ονομάζονται χάριν συντομίας “καταλύτες” προκειμένου να οξειδώσουμε δηλαδή να κάψουμε ολοκληρωτικά όσους υδρογονάνθρακες (καύσιμο) δεν πρόφτασαν να καούν μέσα στον χώρο καύσης των κυλίνδρων ή να μετατρέψουμε τα μονοξειδία του άνθρακα και τα οξειδία του αζώτου(CO, NOx) σε αβλαβή αέρια. (Εικόνα 4.2.1)

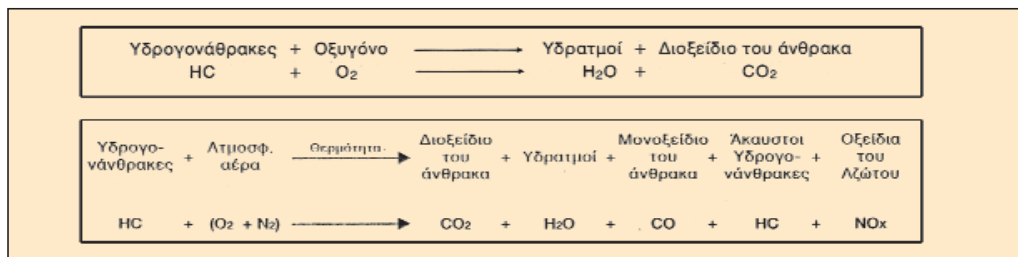
Προσπάθειά μας είναι οι υδρογονάνθρακες που αποτελούν τη βενζίνη να καούν πλήρως, ώστε τα καυσαέρια που βγαίνουν από την εξάτμιση να είναι διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και νερό (H<sub>2</sub>O). (Εικόνα 4.2.3)

Εικόνα 4.2.2 Οξειδωτικός καταλύτης



Οι υψηλές στροφές λειτουργίας των σύγχρονων κινητήρων δεν αφήνουν τα απαιτούμενα χρονικά περιθώρια για μία τέλεια καύση. Έτσι μέσα στο λίγο χρόνο που διατίθεται και παρ' όλα τα κατασκευαστικά μέτρα, μία μικρή ποσότητα βενζίνης (υδρογονανθράκων) δεν προφταίνει να καεί. Για τον ίδιο λόγο ο άνθρακας δεν βρίσκει μερικές φορές σύντομα ένα δεύτερο άτομο οξυγόνου για να ενωθεί και να ολοκληρώσει την καύση του και παραμένει ενωμένος με ένα μόνο άτομο οξυγόνου σχηματίζοντας το δηλητηριώδες μονοξείδιο του άνθρακα CO. (Εικόνα 4.2.3)

Εικόνα 4.2.3 Τέλεια καύση - Ημιτελής καύση



## 4.2.2 Οξειδωτικός καταλύτης

Τα δύο αυτά συστατικά των καυσαερίων δηλαδή οι άκαυτοι υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο του άνθρακα οξειδώνονται με τη χρήση ενός καταλύτη που στην περίπτωση αυτή είναι η πλατίνα ή λευκόχρυσος (Pt) και ο οποίος βρίσκεται ενσωματωμένος στην εξάτμιση του αυτοκινήτου. Όταν τα καυσαέρια έρθουν σε επαφή με την πλατίνα ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο φροντίζουμε να υπάρχει κοντά τους. Η καύση ολοκληρώνεται και από την εξάτμιση βγαίνουν σε μεγάλο βαθμό αβλαβή καυσαέρια που αποτελούνται από διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και νερό (H<sub>2</sub>O).

Ένας τέτοιος καταλυτικός μετατροπέας λέγεται οξειδωτικός καταλύτης. Εμφανίστηκε στην αρχή της καταλυτικής τεχνολογίας ιδιαίτερα στις ΗΠΑ και συναντάται σε παλαιότερα αυτοκίνητα λόγω ορισμένων μειονεκτημάτων του.

Τα μειονεκτήματά του είναι :

1. Η αδυναμία του να επιδράσει σε ένα τρίτο βλαβερό αέριο, που περιέχουν τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, τα οξειδία του αζώτου.
2. Η ανάγκη να υπάρχει πρόσθετη παροχή αέρα στην περιοχή του καταλύτη για να μπορεί να ολοκληρωθεί η οξείδωση. Ο αέρας αυτός συνήθως στέλνεται στο κέλυφος του καταλυτικού μετατροπέα από μία ειδική αντλία αέρα.

(Εικόνα 4.2.2)

### 4.2.3 Τριοδικός καταλύτης

Στο χώρο καύσης ενός σύγχρονου βενζινοκινητήρα ή πετρελαιοκινητήρα και στις συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν, δημιουργούνται ενώσεις του αζώτου με το οξυγόνο, τα οξειδία του αζώτου. Οι ενώσεις αυτές είναι καρκινογόνες και ευθύνονται για τη δημιουργία του “νέφους” που καλύπτει σε ειδικές ατμοσφαιρικές συνθήκες τις μεγαλουπόλεις.

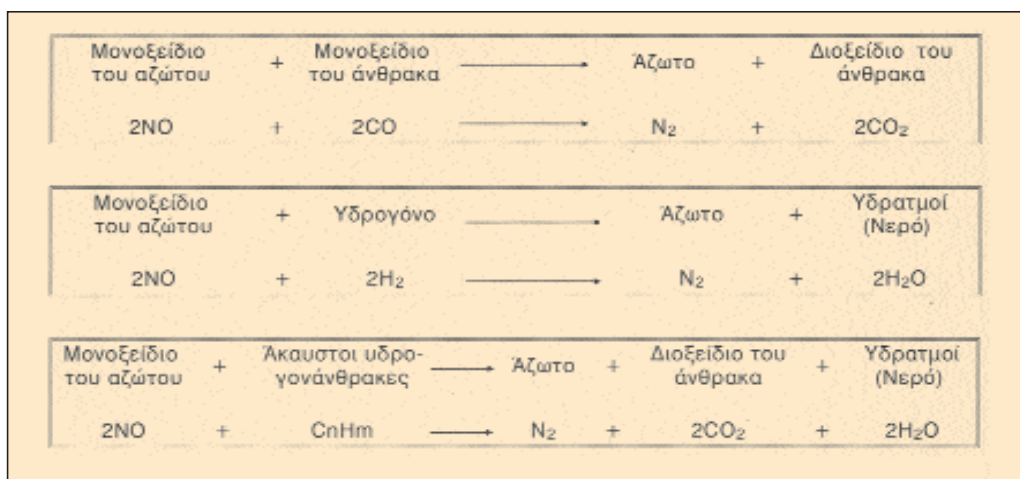
Προσπάθεια των κατασκευαστών κινητήρων αμέσως μετά τον εντοπισμό του παραπάνω ρύπου ήταν η εξάλειψη αυτών των ενώσεων. Η εξάλειψη είναι σκόπιμο να γίνει με την αφαίρεση του οξυγόνου από τις ενώσεις αυτές. Αυτό έχει το εξής πλεονέκτημα: αν η αφαίρεση γίνει μέσα στο χώρο του οξειδωτικού καταλύτη, μας προσφέρεται ταυτόχρονα και το απαιτούμενο οξυγόνο που θα χρησιμοποιηθεί για την οξείδωση των άκαυτων υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Η αφαίρεση του οξυγόνου από τα οξειδία του αζώτου και γενικότερα η αφαίρεση του οξυγόνου από τις ενώσεις λέγεται αναγωγή και πραγματοποιείται με την παρουσία ενός καταλύτη από ρόδιο (Rh), ένα σπάνιο σχετικά χημικό στοιχείο (μέταλλο).

Εάν το μείγμα καυσίμου - βενζίνης είναι στοιχειομετρικό, δηλαδή περιέχει ακριβώς τόσον αέρα όσος χρειάζεται για την καύση της συγκεκριμένης ποσότητας βενζίνης, τότε το οξυγόνο που αφαιρείται από το άζωτο είναι ακριβώς αυτό που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η οξείδωση των δύο άλλων ρύπων.

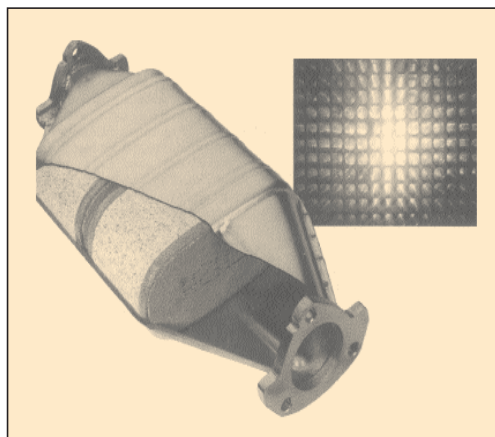
Τρία λοιπόν ρυπογόνα αέρια μετατρέπονται με τη χρήση ενός καταλυτικού μετατροπέα που περιέχει πλατίνα για τις οξειδωτικές αντιδράσεις και ρόδιο για την αναγωγή: οι άκαυτοι υδρογονάνθρακες το μονοξείδιο του άνθρακα και τα οξειδία του αζώτου, τα οποία μπορεί να είναι NO, NO<sub>2</sub> και άλλα. (Εικόνα 4.2.4)

Εικόνα 4.2.4 Αντιδράσεις αναγωγής και οξείδωσης.



Καταλύτες αυτής της δομής λέγονται τριδοικοί καταλύτες επειδή επενεργούν σε τρία αέρια (Εικόνα 4.2.5).

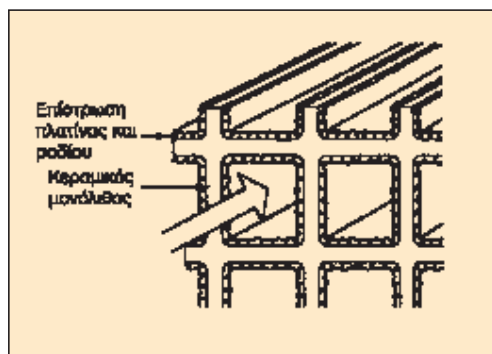
Εικόνα 4.2.5 Τριδοικός καταλύτης



αυτή εφαρμόζεται όλο και περισσότερο.

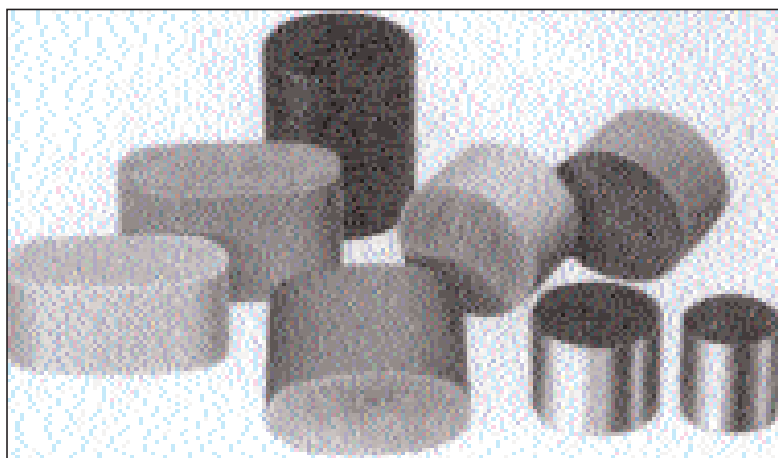
Αν τεμαχίσουμε το κέλυφος ενός καταλυτικού μετατροπέα εντοπίζουμε ένα κεραμικό στοιχείο το οποίο διαπερνούν πολλά μικρά κανάλια με τετραγωνική διατομή (Εικόνα 4.2.6), τον κεραμικό μονόλιθο (Εικόνα 4.2.7). Το κεραμικό αυτό στοιχείο αποτελεί την επιφάνεια στην οποία ψεκάζονται οι καταλύτες. Στο εσωτερικό των καναλιών αυτών ψεκάζονται σε ένα ιδιαίτερα λεπτό στρώμα για λόγους εξοικονόμησης υλικού τα σπάνια και ακριβά αυτά μέταλλα που αποτελούν τα καταλυτικά στοιχεία δηλαδή η πλατίνα ή το ρόδιο.

Εικόνα 4.2.6 Διατομή καναλιού.



Παλαιότερα, ο αναγωγικός καταλύτης τοποθετιόταν πριν από τον οξειδωτικό ώστε να προηγείται η αναγωγή και στη συνέχεια με το οξυγόνο που απελευθερωνόταν να εξασφαλίζεται η οξείδωση. Σήμερα θεωρείται αποτελεσματικότερη η ανάμειξη της πλατίνας με το ρόδιο σε όλο το ενεργό μήκος του καταλυτικού μετατροπέα και η μέθοδος

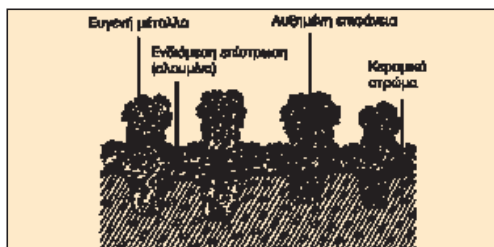
Εικόνα 4.2.7 Κεραμικοί και μεταλλικοί μονόλιθοι





Με τα πολλά μικρά κανάλια επιτυγχάνεται η αύξηση της ενεργού Επιφάνειας του καταλυτικού μετατροπέα. Μία σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση της ενεργού επιφάνειας του καταλύτη επιτυγχάνεται με την επίστρωση στην επιφάνεια των καναλιών ενός στρώματος αλουμίνας (οξειδίο του αλουμινίου  $Al_2O_3$ ). Η επίστρωση αυτή έχει το πλεονέκτημα να συρρικνώνεται (ζαρώνει) και να αποκτά με τον τρόπο αυτό μία πολύ μεγάλη επιφάνεια (Εικόνα 4.2.8). Η επιφάνεια έχει μέγεθος 10-25  $m^2$  ανά γραμμάριο και συμπεριφέρεται παρόμοια με τον ανθρώπινο εγκέφαλο, όπου στη μεμβράνη που τον καλύπτει το φλοιό υπάρχουν ζάρρες ή έλικες που έχουν σκοπό να αυξήσουν την επιφάνεια του. Η αύξηση που προκύπτει από το σύνολο των παραπάνω μέτρων είναι τόσο μεγάλη που σε ένα κέλυφος με μήκος 35 περίπου εκατοστών του μέτρου επιτυγχάνεται ενεργός επιφάνεια στο μέγεθος ενός ή και δύο γηπέδων ποδοσφαίρου.

Εικόνα 4.2.8 Επίστρωση αλουμίνας.



Στη μεγάλη αυτή επιφάνεια ψεκάζεται ένα τόσο λεπτό στρώμα καταλυτικού υλικού σε μοριακό σχεδόν πάχος, που το συνολικό του βάρος δεν ξεπερνά συχνά τα 2,5 γραμμάρια. Παρ' όλα αυτά η αποτελεσματικότητα του καταλυτικού μετατροπέα είναι εξασφαλισμένη γιατί αρκεί η ελάχιστη επαφή του καυσαερίου με τον καταλύτη για να επιτευχθεί η οξειδωση ή η αναγωγή.

Τα σπάνια και ακριβά ευγενή μέτα-

λα που χρησιμοποιούνται στους καταλυτικούς μετατροπέες έχουν οδηγήσει στην περισυλλογή και ανάκτηση (ανακύκλωση) της πλατίνας και του ροδίου. Οι διαδικασίες είναι δύσκολες και πολυδάπανες λόγω των πολύ μικρών ποσοτήτων και της δομής των καταλυτικών μετατροπέων, αλλά απαραίτητες στα πλαίσια των γενικότερων προσπαθειών που γίνονται για τη χρήση ανακυκλώσιμων υλικών. Ένα άλλο ευγενές μέταλλο που χρησιμοποιείται αντί της πλατίνας ως οξειδωτικός καταλύτης είναι το παλλάδιο (Pd).

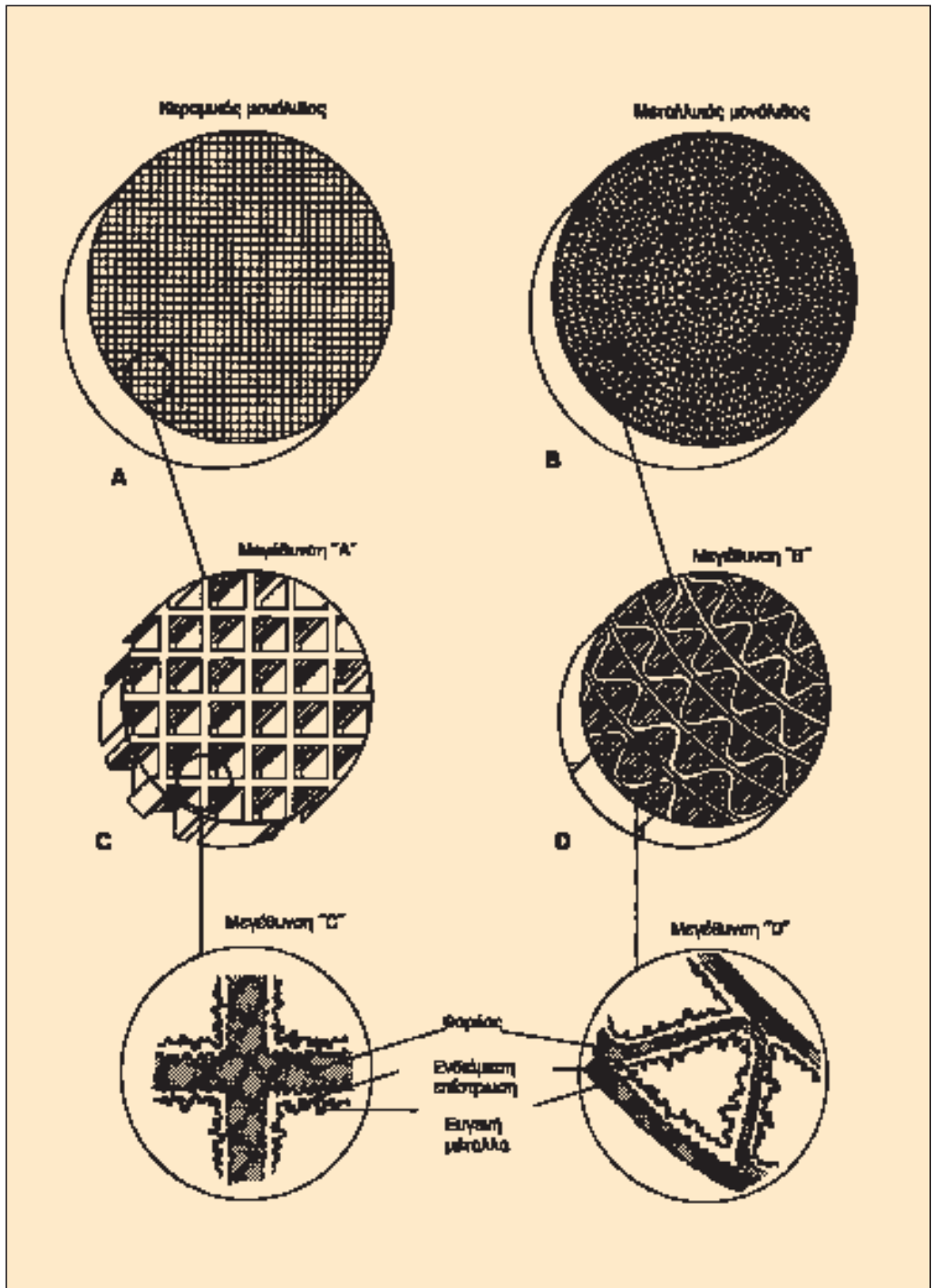
Γίνονται επίσης προσπάθειες για τη χρησιμοποίηση άλλων λιγότερο ακριβών καταλυτών πχ οξειδίων του χαλκού αντί των ευγενών μετάλλων, για τους καταλυτικούς μετατροπέες. Οι δοκιμές είναι πολύ ενθαρρυντικές με μόνο πρόβλημα την ευαισθησία τους σε καύσιμα που περιέχουν θείο.

#### **4.2.4 Κατασκευαστικά δεδομένα**

Κατασκευαστικά οι καταλυτικοί μετατροπέες διαχωρίζονται σε διπλής ή μονής κλίνης και σε κεραμικούς ή μεταλλικούς.

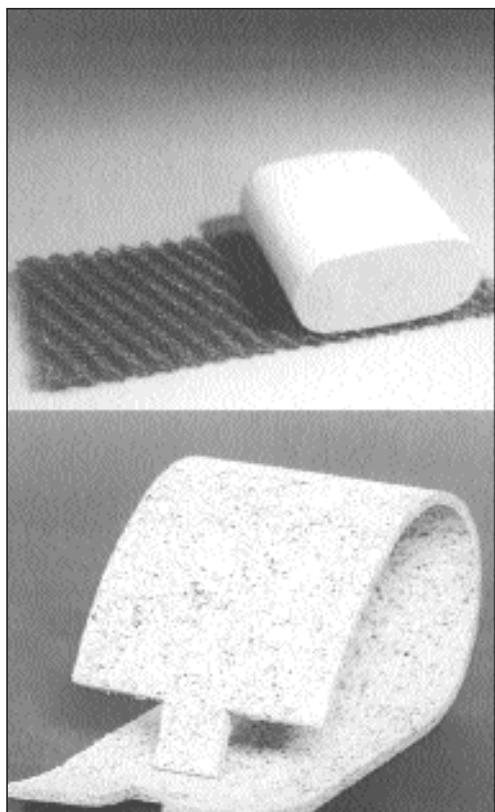
Στους καταλύτες διπλής κλίνης ο αναγωγικός και ο οξειδωτικός καταλύτης είναι χωρισμένοι μεταξύ τους. Το ρόδιο δηλαδή και η πλατίνα βρίσκονται σε διαφορετικά κεραμικά στοιχεία, που αν και είναι τοποθετημένα μέσα στο ίδιο κέλυφος απέχουν μεταξύ τους και συγκρατούνται στην δεδομένη απόσταση από μία εγκάρσια εσοχή που υπάρχει σε αυτό. Οι κεραμικοί μονόλιθοι έχουν γύρω στα 240 κανάλια ανά τετραγωνική ίντσα και πάχος τοιχωμάτων αρχικά 0,30 χιλ. που στην πορεία της εξέλιξής τους έχει μειωθεί έως τα 0 15 χιλ. ώστε να περιοριστεί η αντίθλιψη δηλαδή η αντίσταση στη διέλευση των καυσαερίων (Εικόνα 4.2.9).

Εικόνα 4.2.9 Χαρακτηριστικά καταλυτικών μετατροπών.



Επειδή το κεραμικό υλικό είναι ευαίσθητο στα κτυπήματα, υπάρχει μεταξύ του κελύφους και του κεραμικού μονόλιθου ένα ελαστικό υλικό. Συνήθως είναι ένα συρμάτινο πλέγμα ή μία ψάθα από κεραμικές ίνες ή ρητίνη με αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Το προστατευτικό αυτό στρώμα απορροφά και τις διαφορετικές συστολές και διαστολές μεταξύ του κεραμικού υλικού και του μεταλλικού περιβλήματος.

*Εικόνα 4.2.10 Προστατευτική ψάθα.*



Οι μεταλλικοί καταλύτες είναι δαπανηρότερες κατασκευές που παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους κεραμικούς μονόλιθους και χρησιμοποιούνται σε ακριβά συνή-

θως αυτοκίνητα.

Υπερτερούν των κεραμικών λόγω της 10πλάσιας θερμοαγωγιμότητάς τους στην αποβολή υψηλών θερμοκρασιών, στους μικρότερους χρόνους προθέρμανσης, στην ψυχρή εκκίνηση και δεν είναι ευαίσθητοι σε τυχόν κτυπήματα. Αποτελούνται στο σύνολό τους από μεταλλικό υλικό. Τα διαμήκη κανάλια είναι τριγωνικής διατομής και διαμορφώνονται από μία κυματοειδή λαμαρίνα που είναι τυλιγμένη ομοκεντρικά. Τα τοιχώματα των καναλιών έχουν πάχος μόλις 0,07 έως και 0,04 χιλ. ώστε να παρουσιάζουν τη μικρότερη δυνατή αντίθλιψη. Στα μεταλλικά αυτά κανάλια ψεκάζεται η αλουμίνα και το καταλυτικό υλικό, όμοια όπως και στους κεραμικούς καταλύτες.

#### **4.2.5 Θερμοκρασία λειτουργίας**

Απαραίτητη προϋπόθεση για την οξείδωση και την αναγωγή, πέραν της παρουσίας των καταλυτών, είναι η σωστή θερμοκρασία λειτουργίας, που για τους περισσότερους από τους καταλύτες είναι υψηλότερη από 250° C. Κατά την εκκίνηση επομένως με κρύο κινητήριο, ο καταλύτης δεν είναι ενεργός, έως ότου ο κινητήρας και στην συνέχεια ο ίδιος ο καταλύτης αποκτήσουν τη θερμοκρασία λειτουργίας τους.

Για να περιοριστεί η χρονική διάρκεια της απαιτούμενης προθέρμανσης χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι:

1. Η προθέρμανση. Επιτυγχάνεται με μία ηλεκτρική αντίσταση, η οποία ενεργοποιείται από τον κεντρικό εγκέφαλο (ECU) που είναι ενήμερος για τις θερμοκρασίες του κινητήρα και του περιβάλλοντος και κλείνει ή ανοίγει το συ-

γκεκριμένο κύκλωμα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε ακριβά αυτοκίνητα μεγάλου κυβισμού. Το μειονέκτημά της είναι το μεγάλο κόστος της κατασκευής και η απαίτηση ηλεκτρονικής ρύθμισης.

2. Η τοποθέτηση του καταλυτικού μετατροπέα κοντά στην πολλαπλή εξαγωγής. Με τον τρόπο αυτό τα καυσαέρια φθάνουν στον καταλύτη σχετικά ζεστά και τον θερμαίνουν σύντομα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε αυτοκίνητα μικρού κυβισμού. Το μειονέκτημά της είναι ότι ο καταλύτης μπορεί να υπερθερμανθεί όταν το όχημα κινείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα με υψηλές ταχύτητες.

3. Σε αυτοκίνητα πολλαπλού ψεκάσμου -που δεν έχουν προβλήματα εμπλουτισμού του μείγματος λόγω εναπόθεσης καυσίμου στην κρύα πολλαπλή εξαγωγής αμέσως μετά την εκκίνηση με κρύο κινητήρα- ο κεντρικός εγκέφαλος πττωχάινει σημαντικά το μείγμα αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία στους κυλίνδρους και συνεπώς στα καυσαέρια. Με τη μέθοδο αυτή ο χρόνος προθέρμανσης μειώνεται σημαντικά.

Οι μεταλλικοί καταλύτες λόγω της μικρής τους θερμοχωρητικότητας προθερμαίνονται γρηγορότερα από τους κεραμικούς, αποβάλλουν πιο εύκολα τη θερμότητα και δεν κινδυνεύουν από τη διαρκή λειτουργία του αυτοκινήτου με υψηλές ταχύτητες, ακόμα και αν βρίσκονται κοντά στον κινητήρα (πχ PORSCHE).

### 4.2.6 Ρυθμιζόμενα και μη ρυθμιζόμενα συστήματα αντιρρύπανσης

Ο τριοδικός καταλύτης για να είναι

απολύτως αποτελεσματικός, ακόμα και χωρίς πρόσθετη προσαγωγή αέρα, πρέπει να συνεργάζεται με κινητήρες που εξασφαλίζουν στοιχειομετρική αναλογία μείγματος αέρα - καυσίμου. Στη στοιχειομετρική αναλογία μείγματος το εκάστοτε βάρος (μάζα) της βενζίνης αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο βάρος (μάζα) αέρα, το οποίο προκύπτει από τις χημικές αντιδράσεις οξειδωσης, δηλαδή ταχείας καύσης που αναφέρονται στη σελίδα 148.

Η αναλογία (αγγλικά AFR = air fuel ratio) διαφέρει για τα διάφορα καύσιμα ανάλογα με τους είδους των υδρογονανθράκων από τους οποίους αυτά αποτελούνται. Συνηθίζεται όμως να χρησιμοποιείται για απλούστευση ένας μέσος όρος, που και αυτός διαφέρει λίγο από το χημικό τύπο, λόγω της ύπαρξης και μικρών ποσοτήτων αλκοόλης (που περιέχει οξυγόνο) στα καύσιμα των αυτοκινήτων. Ο μέσος όρος αυτός είναι 14,7 kg αέρα προς 1 kg βενζίνης.

Δηλαδή 14,7 μέρη αέρα αντιδρούν (καίνε ή οξειδώνουν) ένα μέρος βενζίνης μετρούμενα πάντοτε σε βάρος, ώστε να μην επηρεάζεται η στοιχειομετρία από τις εναλλαγές της θερμοκρασίας και της πίεσης που μεταβάλλουν τον όγκο του αέρα.

Η αναλογία AFR σε έναν κινητήρα μπορεί να αποκλίνει από τη θεωρητική στοιχειομετρική αναλογία αέρα - βενζίνης. Η διαφορά, που προκύπτει από την πραγματική αναλογία του μείγματος σε σύγκριση με τη στοιχειομετρική, ονομάζεται συντελεστής "λ" και εκφράζεται με ένα κλάσμα ως το πηλίκο της αναλογίας του υπάρχοντος μείγματος ως προς αυτήν που απαιτείται για την τέλεια καύση:

$\lambda$  = προσδιδόμενη μάζα αέρα : στοιχειομετρικά απαιτούμενη μάζα αέρα

Για να επιτύχουμε τη στοιχειομετρική αναλογία του μείγματος σε κάθε φάση της λειτουργίας ενός κινητήρα χρησιμοποιήθηκαν διάφορες κατασκευές. Σε όλες τις εναλλακτικές λύσεις το μείγμα ρυθμίζεται αδιάκοπα μετά από συνεχείς μετρήσεις ενός αισθητήρα, του αισθητήρα “λ”.

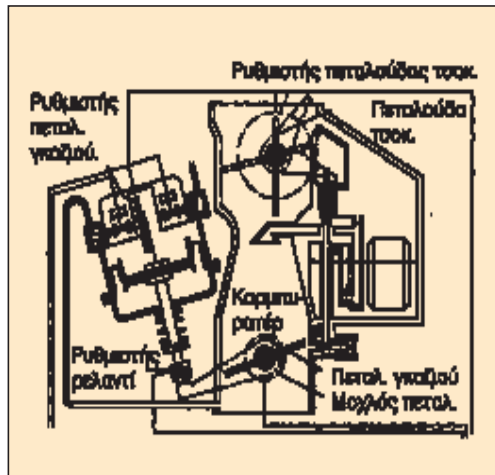
Στους παλαιότερους προ καταλυτικής τεχνολογίας κινητήρες με καρμπυρατέρ, η ρύθμιση του μείγματος γινόταν αρχικά από τον κατασκευαστή και απαιτούσε σποραδικά μόνο ρυθμίσεις κατά τα service, αν κάτι δεν λειτουργούσε σωστά. Αργότερα στις αρχές της εφαρμογής ρυθμιζόμενων συστημάτων, χρησιμοποιήθηκαν καρμπυρατέρ με ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο μείγμα.

Η ρύθμιση σε αυτά γίνεται μέσω ενός βηματικού ηλεκτρικού μοτέρ που ρυθμίζεται από την ηλεκτρονική κεντρική μονάδα. Το βηματικό μοτέρ ανοίγει ή κλείνει την πεταλούδα του αέρα (τσोक αέρα) εμπλουτίζοντας ή πτωχαίνοντας έτσι το μείγμα (Εικόνα 4.2.11), ενώ σε άλλες κατασκευές επεμβαίνει για το ίδιο σκοπό σε μία βαλβίδα παροχής πρόσθετου αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής κάτω από την πεταλούδα γκαζιού.

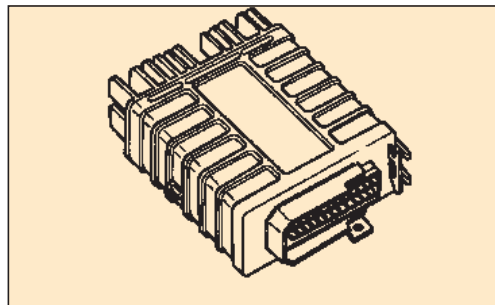
Τα συστήματα αυτά αποδείχτηκαν πολύπλοκα και δύσκολα στις απαιτούμενες ρυθμίσεις τους και σύντομα αντικαταστάθηκαν από πολύ απλούστερα συστήματα ψεκασμού.

Σήμερα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σχεδόν συστήματα μονού ή πολλαπλού ψεκασμού που ρυθμίζονται από τους ηλεκτρονικούς εγκεφάλους τις λεγόμενες **κεντρικές μονάδες ελέγχου του κινητήρα (ECU)**. (Εικόνα 4.2.12)

Εικόνα 4.2.11 Ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο καρμπυρατέρ



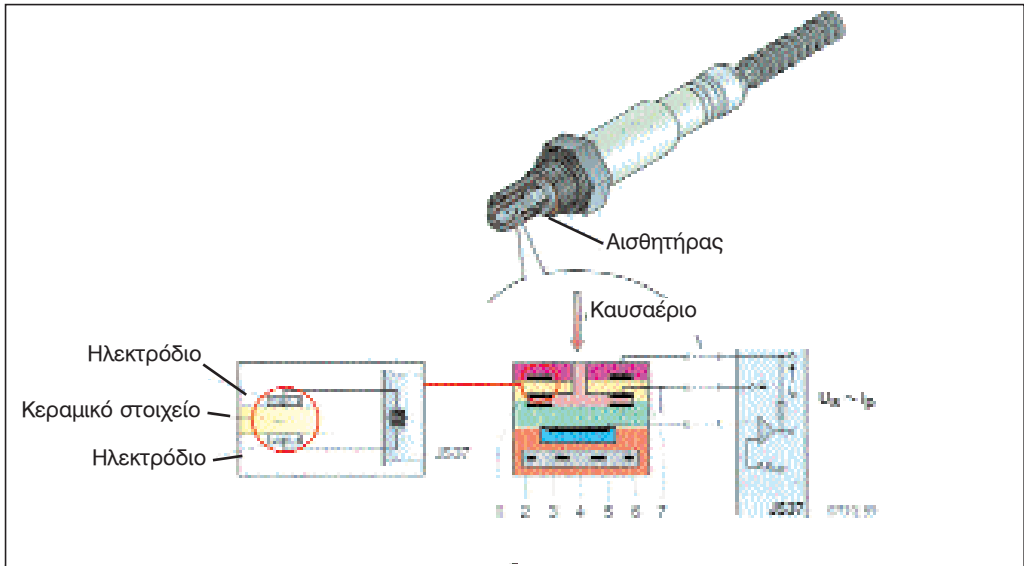
Εικόνα 4.2.12 Κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU).



Οι κεντρικές ηλεκτρονικές μονάδες προκειμένου να ρυθμίσουν το μείγμα χρειάζονται μία συνεχή πληροφόρηση σχετικά με τη σύστασή του. Πρέπει να γνωρίζουν κάθε στιγμή αν το μείγμα είναι πλούσιο ή φτωχό και να το ρυθμίσουν στη στοιχειομετρική αναλογία που είναι 14,7 μέρη αέρα για ένα μέρος βενζίνης (σε μάζα πάντοτε) δηλαδή  $\lambda = 1$ .

Η πληροφόρηση αυτή δίδεται στην κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU) από έναν ειδικής κατασκευής αισθητήρα τον αισθητήρα “λ” ή λήπτη “λ” (Εικόνα 4.2.13).

Εικόνα 4.2.13 Αισθητήρας “λ”.

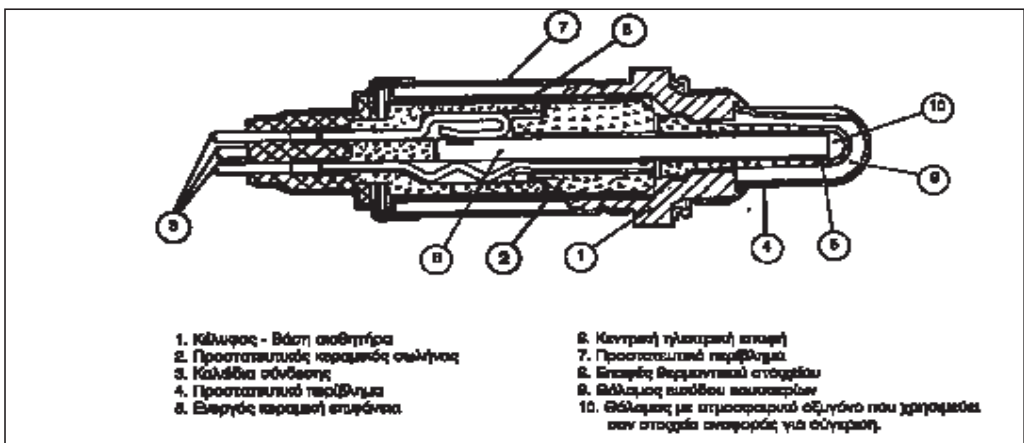


Ο αισθητήρας “λ” μετρά συνεχώς το οξυγόνο που περιέχεται ακόμα στα καυσαέρια, όπως αυτά βγαίνουν από την πολλαπλή εξαγωγής. Όταν το οξυγόνο είναι λίγο σημαίνει ότι το μείγμα κατά την καύση ήταν πλούσιο σε βενζίνη και καταναλώθηκε όλο σχεδόν το οξυγόνο του αέρα που εισήλθε μαζί του στους κυλίνδρους. Όταν το οξυγόνο στην πολλαπλή εξαγωγής είναι πολύ τό-

τε το μείγμα ήταν φτωχό σε βενζίνη, περιείχε δηλαδή περισσότερο αέρα από ό,τι απαιτούσε η χημική αντίδραση με συνέπεια να περισσέψει μεγάλη ποσότητα οξυγόνου μετά την καύση.

Ο αισθητήρας “λ” βιδώνεται στο σωλήνα της εξάτμισης μετά την πολλαπλή εξαγωγής και πριν από τον καταλύτη.

Εικόνα 4.2.14 Τομή αισθητήρα “λ”.



Αποτελείται από ένα κυλινδρικό κεραμικό υλικό το εσωτερικό του οποίου έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η εξωτερική του πλευρά που βρίσκεται μέσα στην εξάτμιση προστατεύεται από ένα μεταλλικό περίβλημα με τρύπες μέσα από τις οποίες εισέρχεται το καυσαέριο (Εικόνα 2.4.14).

Ο αισθητήρας μετράει τη διαφορά σε περιεκτικότητα οξυγόνου που υπάρχει μεταξύ της εσωτερικής πλευράς του, όπου υπάρχει ατμοσφαιρικός αέρας και της εξωτερικής του πλευράς, η οποία έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια της εξάτμισης.

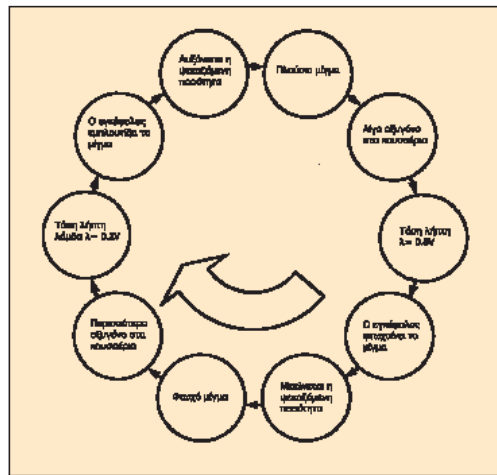
Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά σε περιεκτικότητα οξυγόνου των δύο πλευρών, τόσο πλουσιότερο είναι το μείγμα.

Οι διαπιστώσεις του λήπτη “λ” εκφράζονται σε VOLT (V) με τιμές από 0 (φτωχό μείγμα) έως 1 V (πλούσιο μείγμα) και μεταφέρονται ως τιμές ηλεκτρικής τάσης στη κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU) που ρυθμίζει ανάλογα το μείγμα.

Αν λοιπόν διαπιστωθεί η ύπαρξη φτωχού μείγματος, η κεντρική μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU) εμπλουτίζει το μείγμα. Αν ο εμπλουτισμός είναι μεγαλύτερος από ό,τι θα έπρεπε, η μονάδα φτωχαίνει το μείγμα κοκ.

Οι συνεχείς αυτές ρυθμίσεις εκφράζονται σχηματικά με τον κύκλο ρύθμισης. (Εικόνα 2.4.15)

Εικόνα 2.4.15 Κύκλος ρύθμισης μέσω αισθητήρα “λ”.



Ο αισθητήρας “λ” λειτουργεί σε θερμοκρασίες άνω των 250 C<sup>0</sup>, απαιτείται δηλαδή προθέρμανση του κινητήρα για να αρχίσει η αντιρρυπαντική λειτουργία του.

Για να περιοριστεί ο ανενεργός χρόνος, πολλοί αισθητήρες περιέχουν μία θερμαντική ηλεκτρική αντίσταση. Οι αισθητήρες αυτοί διακρίνονται από τα τρία ή τέσσερα ηλεκτρικά καλώδια που έχουν, σε αντίθεση με τους μη θερμαινόμενους που έχουν μόνο ένα ή δύο. Το δεύτερο και το τέταρτο καλώδιο χρησιμοποιούνται μερικές φορές ως γείωση για ασφαλέστερη λειτουργία του λήπτη λ, επειδή οι μεταλλικές επιφάνειες που βρίσκονται τόσο κοντά στην πολλαπλή με τα καυτά καυσαέρια, οξειδώνονται εύκολα και δεν εξασφαλίζεται η ηλεκτρική επαφή ιδιαίτερα όταν η τάση είναι μικρότερη από 1 Volt.

Ένας άλλος τρόπος για να επιταχυνθεί η προθέρμανση του λήπτη λ είναι να λειτουργεί ο κινητήρας για ένα διάστημα, μετά την κρύα εκκίνηση, με

πολύ φτωχό μείγμα. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η θερμοκρασία στους κυλίνδρους και στα καυσαέρια ώστε να θερμαίνεται σύντομα ο λήπτης λ.

### 4.2.7 Κίνδυνοι καταστροφής του καταλύτη ενός οχήματος

Δύο είναι οι μεγαλύτεροι εχθροί του καταλύτη ενός οχήματος: ο μόλυβδος ο οποίος υπάρχει στην Super βενζίνη με τη μορφή του τετρααιθυλιούχου μολύβδου και το άκαυστο μείγμα αέρα - καυσίμου.

Ο μόλυβδος (και μερικές άλλες ενώσεις ή ουσίες) επικάθεται στις καταλυτικές ουσίες την πλατίνα, το ρόδιο κλπ και τις καλύπτει, οπότε ο καταλύτης απενεργοποιείται.

Η επικάλυψη αυτή γίνεται σταδιακά και προσθετικά, έτσι ώστε κάθε φορά που εισχωρούν μολυβδούχες ενώσεις στον καταλύτη να απενεργοποιούν ένα μέρος του, έως ότου τελικά αχρηστευτεί ολοσχερώς.

Δυνατότητα απομάκρυνσης του μολύβδου από τον καταλυτικό μετατροπέα δεν υπάρχει.

Η δεύτερη αιτία καταστροφής του καταλύτη προέρχεται από τις υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται σε αυτόν, όταν άκαυστο μείγμα αέρα - καυσίμου φθάνει ως τον καταλύτη. Με τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας που επικρατούν σε αυτόν το μείγμα καίγεται εκεί και αυξάνει σημαντικά τη θερμοκρασία του, που όταν υπερβεί τους 1100 - 1200 °C επιφέρει το λιώσιμο του καταλύτη. Αρχικά ρευστοποιείται η αλουμίνα με αποτέλεσμα να επιπεδώνονται οι ανωμαλίες στις οποίες οφείλεται η σημαντική αύξηση της επιφάνειάς της. Στη συνέχεια ο κεραμικός μονόλι-

θος λιώνει και γίνεται μία άμορφη μάζα, η οποία αποβάλλεται από την εξάτμιση (σε υψηλές ταχύτητες) ή καταρρέει και φράζει εντελώς την έξοδο των καυσαερίων (εάν σβήσει ο κινητήρας), οπότε η μηχανή δεν παίρνει πλέον εμπρός.

Αντίθετα με το άκαυστο μείγμα, ένα πλούσιο μείγμα ( $\lambda < 1$ ) δεν είναι επικίνδυνο για τον καταλυτικό μετατροπέα, διότι δεν υπάρχει επάρκεια οξυγόνου ώστε να καεί στο εσωτερικό του καταλύτη όσο μείγμα δεν κήκε στους κυλίνδρους.

Περισσότερο επικίνδυνα είναι τα φτωχά μείγματα ( $\lambda > 1$ ), διότι με αυτά οι θερμοκρασίες λειτουργίας του κινητήρα είναι υψηλές. Τα ιδιαίτερος φτωχά μείγματα δεν είναι πάντοτε αναφλέξιμα και εκτός των άλλων, το άκαυστο μείγμα καταλήγει στον καταλύτη ο οποίος πλέον κινδυνεύει να καταστραφεί.

Οι κίνδυνοι επομένως που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην καταστροφή του καταλυτικού μετατροπέα ενός αυτοκινήτου είναι:

1. Κακή λειτουργία της ανάφλεξης (χαλασμένα μπουζί, ελαττωματικά μπουζοκαλώδια, “μικροδιακοπές” στη λειτουργία του κινητήρα κλπ) από την οποία άκαυστο μείγμα καταλήγει στον καταλύτη.

2. Παρατεταμένη ρυμούλκηση με ζεστό κινητήρα στην προσπάθεια να εκκινήσουμε ένα όχημα, που παρουσιάζει βλάβη ή είναι κακοσυντηρημένο.

3. Χρήση μολυβδούχων καυσίμων.

4. Εξωτερικά κτυπήματα στο κέλυφος του καταλύτη (από πέτρες κλπ) που οδηγούν στο σπάσιμο του κεραμικού μονόλιθου.



#### 4.2.8 Διάρκεια ζωής καταλύτη.

Τα καταλυτικά υλικά πλατίνα ρόδιο κλπ δεν αναλώνονται, αφού δεν παίρνουν μέρος στις χημικές αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής, αλλά απλώς τις διευκολύνουν με την παρουσία τους.

Ένας καταλυτικός μετατροπέας επομένως δεν υπόκειται σε φθορά ή γήρανση από τη λειτουργία του.

Η ύπαρξη όμως μικρών ποσοτήτων μολυβδούχων ενώσεων ακόμα και στην αμόλυβδη βενζίνη, τα κατάλοιπα λαδιών από τη λειτουργία του κινητήρα που επικάθονται ή καίγονται στα κανάλια του καταλύτη, ακόμα και μολυβδούχα καυσαέρια από την εξάτμιση προπορευόμενων μη καταλυτικών αυτοκινήτων που εισέρχονται με τον αέρα στον καταλυτικό κινητήρα, απενεργοποιούν με την πάροδο του χρόνου τον καταλύτη ενός οχήματος, ακόμα και αν ο οδηγός του προσέχει υποδειγματικά τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Η διάρκεια ζωής ενός καταλύτη αυτοκινήτου δεν είναι συνεπώς συγκεκριμένη, αλλά εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του οχήματος και κυμαίνεται από 80.000 χλμ μέχρι και το όριο ζωής του οχήματος.

#### 4.2.9 Retrofit

Με τη λέξη αυτή προσδιορίζουμε την εκ των υστέρων τοποθέτηση ενός καταλυτικού μετατροπέα σε έναν κινητήρα “παλαιάς” συμβατικής τεχνολογίας.

Στους κινητήρες παλαιάς τεχνολογίας δεν υπάρχει συνήθως πρόβλεψη για τοποθέτηση καταλύτη.

Πρέπει συνεπώς να καθορισθεί:

- Η θέση του καταλύτη διότι εκτός από την επάρκεια χώρου σημαντική είναι και η απόσταση από την πολλαπλή εξαγωγής. Πολύ κοντά σε αυτή σημαίνει επικίνδυνα υψηλές θερμοκρασίες σε παρατεταμένη κίνηση του οχήματος με μεγάλες ταχύτητες. Μακριά από αυτή σημαίνει μεγάλο απαιτούμενο χρόνο προκειμένου να φθάσει η θερμοκρασία του καταλύτη στα όρια της λειτουργίας του (250 - 300( C) κατά την ψυχρή εκκίνηση.

- Το μέγεθος του καταλύτη ώστε να ανταποκρίνεται στον κυβισμό και τις στροφές του κινητήρα, δηλαδή στην ποσότητα των καυσαερίων τα οποία πρέπει αυτός να επεξεργαστεί.

Τέλος πρέπει να εξασφαλισθεί η σωστή λειτουργία του κινητήρα, ώστε να αποφευχθούν διακοπές στην ανάφλεξη.

Προβληματικά μπουζί, μπουζοκαλώδια, πλατίνες κλπ κακός χρονισμός και άλλες βλάβες, δημιουργούν συνθήκες που ευνοούν την είσοδο άκαυτου μείγματος στον καταλύτη και επιταχύνουν την καταστροφή του.

Εκ των υστέρων, τοποθετούνται οξειδωτικοί ή τριοδικό καταλύτες, ενώ δύσκολα μπορούν να συνοδεύονται από συστήματα ρύθμισης, μέσω αισθητήρα λ, αν δεν υπάρχει σχετική πρόβλεψη από το εργοστάσιο.

Η εκ των υστέρων τοποθέτηση ενός καταλύτη χωρίς ρύθμιση λάμδα, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων σε ποσοστό περίπου 50%, ενώ η τοποθέτηση ενός τριοδικού καταλύτη με ρύθμιση μέσω αισθητήρα λάμδα, μειώνει τους ρύπους κατά 90% περίπου.

## Ανακεφαλαίωση

Για να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον, εκτός από τους καταλύτες έχουν αναπτυχθεί τα παρακάτω συστήματα αντιρρύπανσης α. σύστημα ελέγχου των αναθυμιάσεων του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου β. σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων για τη μείωση των οξειδίων του αζώτου και γ. σύστημα θετικού εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου.

Οι αναθυμιάσεις της βενζίνης συγκεντρώνονται σε ένα δοχείο ενεργού άνθρακα και διοχετεύονται μέσα από το σύστημα εισαγωγής στους κυλίνδρους για καύση κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Κατά την καύση στις υψηλές θερμοκρασίες του κινητήρα και όταν υπάρχει περίσσεια οξυγόνου δημιουργούνται οξειδία του αζώτου (NOx). Για να μειωθεί αυτή η παραγωγή οξειδίων πρέπει να μειωθεί η θερμοκρασία. Η μείωση της θερμοκρασίας γίνεται με την ανακυκλοφορία μίας μικρής ποσότητας καυσαερίων. Τα καυσαέρια διοχετεύονται από την πολλαπλή εξαγωγής μέσα από ένα σωλήνα στο σύστημα εισαγωγής.

Στο στροφαλοθάλαμο δημιουργούνται αναθυμιάσεις από τα αέρια καύσης που διαφεύγουν από τα ελατήρια των εμβόλων και τις αναθυμιάσεις του λαδιού. Οι αναθυμιάσεις αναρροφούνται με τον αέρα εισαγωγής του κινητήρα μέσω του συστήματος εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου και καίγονται.

Η αποτελεσματική μείωση των καυσαερίων επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση καταλυτικών μετατροπών παλαιότερα οξειδωτικών σήμερα αποκλειστικά και μόνο τριοδικών. Οι καταλύτες

συνοδεύονται από συστήματα που ρυθμίζουν την αναλογία αέρα - καυσίμου στα στοιχειομετρικά δεδομένα (14 7:1) μέσω του αισθητήρα λ. Τα συστήματα αυτά οδηγούν σε μία σημαντική μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τους κινητήρες των αυτοκινήτων.

## Ερωτήσεις

1. Ποια είναι τα συστήματα ελέγχου των εκπομπών ρύπων;
2. Γιατί είναι αναγκαία η εξαέρωση του ρεζερβουάρ καυσίμου;
3. Πώς γίνεται η ανακυκλοφορία των καυσαερίων και γιατί;
4. Τι είναι ο εξαερισμός στροφαλοθαλάμου και πώς γίνεται η καύση των αναθυμιάσεων από τον στροφαλοθάλαμο;
5. Πόσα είδη καταλυτών ως προς τη μέθοδο κατασκευής υπάρχουν και ποιες οι διαφορές τους;
6. Από ποια θερμοκρασία και πάνω ενεργοποιείται ο καταλύτης;
7. Ένας οξειδωτικός καταλύτης ποιους ρύπους μειώνει;
8. Πως μετρά ο αισθητήρας λάμδα ένα πλούσιο και ένα φτωχό μείγμα αέρα - καυσίμου;
9. Τι σημαίνει στοιχειομετρικό μείγμα αέρα - καυσίμου;