



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε

Πτυχιακή εργασία

***Πρωτοποριακά συστήματα μείωσης  
ρύπων στα αυτοκίνητα***

Σπουδαστής: ***Τσίρος Κωνσταντίνος***

A.M. : 5744

Επιβλέπων καθηγητής: ***Δρ. Σακκάς Νικόλαος***  
***Καθηγητής ΤΕΙ Κρήτης***

## Ευχαριστίες

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας πτυχιακής εργασίας Δρ. Σακκά Νικόλαο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να αναπτύξω το θέμα αυτό, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την γιαγιά μου που με στήριξαν τόσο ψυχολογικά όσο και οικονομικά καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Περικλή και τον φίλο μου Γιάννη, για την πολύτιμη και ανεκτίμητη συμπαράστασή τους.

## Περίληψη

Ένα αυτοκίνητο εκπέμπει από την εξάτμιση του διάφορους ρύπους. Για τη διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν κατασκευάσει οχήματα με προηγμένα συστήματα μείωσης ρύπων, τόσο για τα βενζινοκίνητα όσο και για τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα, με θεαματικά αποτελέσματα στην ελάττωση των ρυπογόνων αερίων. Μερικά πολύ σημαντικά συστήματα είναι οι καταλύτες, ιδιαίτερα οι τριοδικοί, το φίλτρο συγκράτησης σωματιδίων DPF, η βαλβίδα EGR, το σύστημα PCV, το σύστημα evap, το σύστημα SCRκ.α. Παρόλα αυτά, οι κινητήρες εσωτερικής καύσης ποτέ δεν θα πάψουν να εκπέμπουν έστω και μικρές ποσότητες καυσαερίων. Για τον λόγο αυτό οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν στραφεί στην ανάπτυξη και κατασκευή υβριδικών – ηλεκτρικών αυτοκινήτων που παράγουν σχεδόν μηδενικούς ρύπους, με τις κυψέλες καυσίμων να αποτελούν τον πιο πρόσφατο τομέα ερευνητικής δραστηριότητας.

## **Abstract**

A car emits from the exhaust various pollutants. To secure human health and the environment, automobile industries have built vehicles with advanced pollution reduction systems for both gasoline and diesel cars, with spectacular results in reducing pollutants. Some important systems are the catalytic converters, especially the three way catalyst, the DPF filter, the EGR valve, the PCV system, the evap system, the SCR system and so on. Nevertheless, internal combustion engines will never stop emitting even small amounts of exhaust. For this reason, the automobile industries have turned to the development and manufacture of hybrid - electric cars producing virtually zero pollutants, with fuel cells being the most recent research activity.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	III
Abstract .....	IV
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης .....	4
2.1. Βενζίνη.....	4
2.1.1. Πτητικότητα.....	4
2.1.2. Αντικρουστικότητα .....	5
2.1.3. Περιεκτικότητα σε θείο .....	5
2.1.4. Περιεκτικότητα σε νερό .....	6
2.1.5. Βαθμός οκτανίων .....	6
2.2. Πετρέλαιο .....	7
2.2.1. Ποιότητα ανάφλεξης.....	7
2.2.2. Πυκνότητα .....	7
2.2.3. Ιξώδες .....	7
2.2.4. Λυπαντική ικανότητα .....	8
2.2.5. Περιεκτικότητα σε νερό .....	8
2.2.6. Αριθμός Κετανίου.....	8
2.2.7. Σημείο ανάφλεξης .....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	10
3.1. Βασικός κινηματικός μηχανισμός παραγωγής έργου στις ΜΕΚ .....	10
3.1.1. Σώμα κινητήρα .....	11
3.1.2. Βαλβίδες εισαγωγής- εξαγωγής.....	12
3.1.3. Εκκεντροφόρος άξονας .....	13
3.1.4. Έμβολο.....	14
3.1.5. Διωστήρας .....	15

3.1.6. Στροφαλοφόρος άξονας.....	16
3.1.7. Σφόνδυλος-βολάν .....	17
3.2. Χρόνοι μηχανών εσωτερικής καύσης.....	18
3.2.1. Τετράχρονοι βενζινοκινητήρες.....	18
3.2.2. Δίχρονοι βενζινοκινητήρες.....	20
3.2.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα δίχρονου βενζινοκινητήρα .....	22
Πλεονεκτήματα .....	22
Μειονεκτήματα .....	22
3.3. Στοιχειομετρική αναλογία μίγματος .....	23
3.3.1. Ο λόγος λάμδα ( $\lambda$ ) .....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Καυσαέρια μηχανών εσωτερικής καύσης .....	26
4.1. Καυσαέρια και ρυπαντές.....	27
4.1.1. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	27
4.1.2. Υδρογονάνθρακες (HC) .....	28
4.1.3. Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).....	29
4.1.4. Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) .....	29
4.1.5. Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ).....	30
4.1.6. Στερεά σωματίδια (PM).....	31
4.2. Επιπτώσεις των καυσαερίων στο Περιβάλλον και στην υγεία .....	33
4.2.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	33
4.2.2. Φωτοχημικό νέφος.....	34
4.2.3. Θερμοκρασιακή αναστροφή.....	35
4.2.4. Όξινη βροχή.....	36
4.2.5. Αιωρούμενα σωματίδια και επιπτώσεις.....	38
4.2.6. Τρύπα του όζοντος .....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συστήματα και τεχνολογίες μείωσης ρύπων αυτοκινήτων.....	41
5.1. Καταλύτες.....	41
5.1.1. Ιστορική αναδρομή καταλυτών .....	42

5.1.2. Οξειδωτικός ή διοδικός καταλύτης.....	43
5.1.3. Αναγωγικός καταλύτης.....	44
5.1.4. Καταλύτης διπλής κλίνης .....	45
5.1.5. Τριοδικός καταλύτης .....	46
5.1.6. Δομή καταλυτών .....	48
5.1.7. Καταλυτικές ύλες.....	52
5.2. Ηλεκτρονικός έλεγχος συστήματος τριοδικού καταλύτη .....	54
5.2.1. Κλειστό σύστημα ρύθμισης ελέγχου καυσαερίων .....	54
5.2.2. Κατασκευαστικά μέρη και αρχή λειτουργίας αισθητήρα λ ζirkονίου.....	55
5.2.3. Κατασκευαστικά μέρη και αρχή λειτουργίας αισθητήρα λ τιτανίου.....	59
5.2.4. Κατασκευαστικά μέρη και αρχή λειτουργίας αισθητήρα λ ευρέως φάσματος ...	62
5.2.5. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ECU .....	64
5.3. Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων – EGR.....	69
5.3.1. Βασικές αρχές λειτουργίας βαλβίδας EGR.....	69
5.3.2. Τύποι βαλβίδων επανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR .....	73
5.3.3. Διάταξη DEGR και NoEGR μέσω VVT .....	78
5.4. Σύστημα θετικού εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου - βαλβίδα (pcv). .....	79
5.5. Σύστημα ελέγχου αναθυμιάσεων του ρεζερβουάρ.....	81
5.6. Φίλτρο συγκράτησης σωματιδίων DPF.....	83
5.6.1. Λειτουργία φίλτρου σωματιδίων.....	84
5.6.2. Αναζωογόνηση φίλτρου σωματιδίων .....	87
5.7. Σύστημα επιλεκτικής κατάλυσης SCR .....	90
5.7.1. Σωστή χρήση υγρού διαλύματος AdBlue .....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ .....	93
6.1. Εναλλακτικά καύσιμα.....	93
6.1.1. Βιοντίζελ .....	93
6.1.2. Βιοαιθανόλη .....	94
6.1.3. Υδρογόνο .....	95

6.2. Υβριδικά –ηλεκτρικά οχήματα .....	96
6.2.1. Διατάξεις υβριδικών οχημάτων .....	97
6.2.2. Συσσωρευτές .....	100
6.2.3. Τρόποι φόρτισης συσσωρευτή .....	102
6.2.4. Κυψέλες καυσίμου – fuel cells .....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ EURO .....	109
7.1. Τεχνικός έλεγχος οχημάτων ΚΤΕΟ.....	110
7.1.1. Έλεγχος καυσαερίων - καυσανάλυση .....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	116



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1.</b> Το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής από τον Karl Benz το 1885.....	3
<b>Εικόνα 3.1.</b> Βασική δομή και εξαρτήματα ενός τετράχρονου βενζινοκινητήρα κινητήρα σε διάταξη V (Wikipedia). .....	11
<b>Εικόνα 3.2.</b> Μπλοκ οκτακύλινδρου κινητήρα με διάταξη κυλίνδρων V (GearHeadBanger, 2011).....	12
<b>Εικόνα 3.3.</b> 2ος χρόνος συμπίεσης καυσίμου, όπου οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής παραμένουν κλειστές (Auto Tech Lambs, 2015).....	13
<b>Εικόνα 3.4.</b> Σύστημα διπλών εκκεντροφόρων, όπου ο ένας χρησιμοποιείται για να κινεί τις βαλβίδες εισαγωγής και ο δεύτερος για τις βαλβίδες εξαγωγής (mountoune). .....	14
<b>Εικόνα 3.5.</b> Χαρακτηριστικά εμβόλου σε σκίτσο, το οποίο είναι σε τομή. ....	15
<b>Εικόνα 3.6.</b> Αποσυναρμολογημένος διωστήρας και τα χαρακτηριστικά του σε σκίτσο (ΤΖΙΡΑΚΗΣ, 2017). .....	16
<b>Εικόνα 3.7.</b> Διάταξη διωστήρων-εμβόλου πάνω στον στροφαλοφόρο άξονα (AUTOXPAT, 2016).....	17
<b>Εικόνα 3.8.</b> Μπροστινή και πίσω όψη, ενός βολάν συμβατικού αυτοκινήτου (AMS ΑΥΤΟΜΟΤΙΒΕ).....	18
<b>Εικόνα 3.9.</b> Χρόνοι τετράχρονου βενζινοκινητήρα (encyclopedia britannica, 2007).....	20
<b>Εικόνα 3.10.</b> Χρόνοι δίχρονου βενζινοκινητήρα (encyclopedia britannica, 2007).....	21
<b>Εικόνα 3.11.</b> Στοιχειομετρική αναλογία αέρα/μίγματος. Όταν ο συντελεστής $\lambda=1$ , τότε υπάρχει ισορροπία στην απόδοση του κινητήρα και στην κατανάλωση καυσίμου (Φατσής ). .....	24
<b>Εικόνα 4.1.</b> Παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από το 2000-2015 και οι μελλοντικοί στόχοι μείωσης του το 2020-2025 (European Automobile Manufacturers Association ACEA, 2017).....	30
<b>Εικόνα 4.2.</b> Παγκόσμιες εκπομπές SO <sub>2</sub> . Στοιχεία από το 1850-2010 (Our world in Data). ...	31
<b>Εικόνα 4.3.</b> Ημερήσιες εκπομπές σωματιδίων PM <sub>2.5</sub> και PM <sub>10</sub> , σε ένα κομμάτι της Ευρώπης (Air pollution in the world, 2017). .....	32
<b>Εικόνα 4.4.</b> Διάγραμμα που δείχνει την ανωμαλία της θερμοκρασίας σε όλους τους μήνες του χρόνου(χρωματισμένες γραμμές), από το 1880-2016 (Samenow, 2016).....	34
<b>Εικόνα 4.5.</b> Φαινόμενο φωτοχημικού νέφους στο κέντρο της Αθήνας (VORIA.gr, 2016). ....	35
<b>Εικόνα 4.6.</b> Φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής, στο Lochcarron της Σκωτίας (Wikipedia, 2006). .....	36

<b>Εικόνα 4.7.</b> Αλλοίωση μαρμάρινου αγάλματος στο κάστρο της περιοχής Westphalia της Γερμανίας, από το φαινόμενο της όξινης βροχής.....	38
<b>Εικόνα 5.1.</b> Καταλύτης διπλής κλίνης-διοδικός, με ενδιάμεσο επιπρόσθετο αέρα (PRO Import Tuners).....	46
<b>Εικόνα 5.2.</b> Τριοδικός καταλύτης και η εσωτερική του δομή (motor.ONEHOWTO, 2018). ..	48
<b>Εικόνα 5.3.</b> Εσωτερική δομή τριοδικού καταλύτη με κεραμικό μονόλιθο (Global Muffler, 2018).....	50
<b>Εικόνα 5.4.</b> Δομή-μορφή κεραμικού και μεταλλικού μονόλιθου (dieselnet.com, 1998). ....	51
<b>Εικόνα 5.5.</b> Σχηματικό διάγραμμα κλειστού συστήματος ελέγχου τριοδικού καταλύτη. ....	55
<b>Εικόνα 5.6.</b> Κατασκευαστικά μέρη αισθητήρα λ ζirkονίου, ο οποίος είναι σε τομή. (elektronika.ba, 2018). ....	57
<b>Εικόνα 5.7.</b> Αναλογικό σήμα-τάση που παράγει ο αισθητήρας λ, ανάλογα με τον χαρακτήρα του μίγματος. ....	58
<b>Εικόνα 5.8.</b> Σκίτσο κυκλώματος αισθητήρα λ τιτανίου. ....	60
<b>Εικόνα 5.9.</b> Κατασκευαστικά μέρη αισθητήρα λ ευρέως φάσματος (TiePie). ....	63
<b>Εικόνα 5.10.</b> Τάση εξόδου τελεστικού ενισχυτή, ανάλογα με τον χαρακτήρα του μίγματος (φτωχό ή πλούσιο). ....	64
<b>Εικόνα 5.11.</b> Συνδεσμολογία αισθητηρίων οργάνων και ενεργοποιητών στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (slideshare.net, 2017).....	65
<b>Εικόνα 5.12.</b> Επεξεργασία αναλογικού σήματος σε ψηφιακό τετραγωνικό παλμό (PWM), που πραγματοποιεί η κεντρική μονάδα ελέγχου. ....	66
<b>Εικόνα 5.13.</b> Παράδειγμα της επίδρασης της ανακύκλωσης των καυσαερίων, στην θερμοχωρητικότητα του εισερχόμενου αέρα και τη σύσταση του ρεύματος σε μηχανή diesel (Abd-Alla, 2002).....	70
<b>Εικόνα 5.14.</b> Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας βαλβίδας EGR.....	72
<b>Εικόνα 5.15.</b> Λειτουργία βαλβίδας EGR με διάφραγμα (ACGO). ....	74
<b>Εικόνα 5.16.</b> Λειτουργία βαλβίδας EGR με θετική αντίθλιψη. Στη δεξιά εικόνα, η πίεση του συστήματος της εξάτμισης δεν είναι επαρκής για να ανοίξει το διάφραγμα και έτσι δεν παρατηρείται ροή καυσαερίων (ACGO).....	75
<b>Εικόνα 5.17.</b> Ψηφιακός παλμός PWM και καταστάσεις ON και OFF. ....	76
<b>Εικόνα 5.18.</b> Διάταξη γραμμικής EGR (Reinler, 2016). ....	77
<b>Εικόνα 5.19.</b> Λειτουργία της βαλβίδας pcv, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας - φορτίο του κινητήρα (AutoZone). ....	80
<b>Εικόνα 5.20.</b> Συνδεσμολογία, συστήματος ελέγχου αναθυμιάσεων από το ρεζερβουάρ. ...	82

<b>Εικόνα 5.21.</b> Εξωτερική όψη φίλτρου σωματιδίων, το οποίο είναι συνδεδεμένο στο σύστημα εξαγωγής του αυτοκινήτου. ....	84
<b>Εικόνα 5.22.</b> Ενσωματωμένο σε ίδιο κέλυφος το φίλτρο DPF μαζί με τον οξειδωτικό καταλύτη, του αυτοκινήτου Audi A8 3.0 TDI Quattro (autoevolution, 2015).....	86
<b>Εικόνα 5.23.</b> Εμφάνιση λυχνίας στον πίνακα οργάνων, σχετικά για την προειδοποίηση της επείγων αναζωογόνησης φίλτρου σωματιδίων από τον οδηγό (GARAGEWIRE, 2015). ....	90
<b>Εικόνα 5.24.</b> Σχηματικό διάγραμμα διάταξης συστήματος επιλεκτικής κατάλυσης SCR (fuelogic).....	91
<b>Εικόνα 5.25.</b> Προειδοποιητική λυχνία πλήρωσης διαλύματος AdBlue, λόγω χαμηλών επιπέδων (Volkswagen). ....	92
<b>Εικόνα 6.1.</b> Σειριακή συνδεσμολογία υβριδικού οχήματος (PORTER AND CHESTER INSITUTE). ....	97
<b>Εικόνα 6.2.</b> Παράλληλη συνδεσμολογία υβριδικού οχήματος, όπου και οι δυο κινητήρες συνδέονται απευθείας στο κινητήριο άξονα (PORTER AND CHESTER INSITUTE). ....	98
<b>Εικόνα 6.3.</b> Συνδεσμολογία υδραυλικού υβριδικού οχήματος (Liggett, 2011). ....	100
<b>Εικόνα 6.4.</b> φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου BMW I3 σε σταθμό φόρτισης (Konrad, 2017). ....	102
<b>Εικόνα 6.5.</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικά μέσα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση κυψελών καυσίμου. ....	103
<b>Εικόνα 6.6.</b> Σύγκριση της απόδοσης των κυψελών καυσίμου σε σχέση με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (micro-vett). ....	104
<b>Εικόνα 6.7.</b> Παρουσίαση κελιού καυσίμου και μπαταρίας. ....	105
<b>Εικόνα 6.8.</b> Βασικότερες οικογένειες κελιών καυσίμων. ....	107
<b>Εικόνα 7.1.</b> Αναλυτής καυσαερίων MGT 5 (MAHA IRELAND). ....	112
<b>Εικόνα 7.2.</b> Φορητό αιθαλόμετρο-νεφελόμετρο (KANE, Auto 600).....	113

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.</b> Επίπεδα του δείκτη ποιότητας αέρα μικροσωματιδίων $PM_{2.5}$ .....	39
<b>Πίνακας 2.</b> Χημικές αντιδράσεις οξείδωσης που πραγματοποιούνται στον οξειδωτικό καταλύτη. ....	43
<b>Πίνακας 3.</b> Χημικές αντιδράσεις αναγωγής που πραγματοποιούνται στον αναγωγικό καταλύτη. ....	44
<b>Πίνακας 4.</b> Μετατροπή δυαδικού αριθμού στον αντίστοιχο δεκαδικό. ....	68
<b>Πίνακας 5.</b> Προδιαγραφές euro1-euro6 βενζινοκίνητων συμβατικών αυτοκινήτων. ....	109
<b>Πίνακας 6.</b> Προδιαγραφές euro1-euro6 πετρελαιοκίνητων συμβατικών αυτοκινήτων.....	110

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η εν λόγω πτυχιακή χωρίζεται σε 8 κεφαλαία εκ των οποίων το τελευταίο είναι τα τελικά συμπεράσματα.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια μικρή ιστορική αναδρομή των αυτοκινήτων, από τις πρώτες προσπάθειες που έγιναν από μηχανικούς για την κατασκευή οχήματος μέχρι το πρώτο εμπορικό αυτοκίνητο παραγωγής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρονται οι πηγές ενέργειας ενός αυτοκινήτου δηλαδή τα καύσιμα, καθώς και κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά των καυσίμων αυτών, που τα καθιστούν ιδανικά για την κίνηση ενός οχήματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην βασική ιδέα του τρόπου λειτουργίας των μηχανών εσωτερικής καύσης, με απώτερο σκοπό την κατανόηση της δημιουργίας καυσαερίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύονται οι ρυπαντές που εξάγονται από το αυτοκίνητο, καθώς και τα προβλήματα που δημιουργούνται στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία από αυτούς.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύονται τα σύγχρονα και επικρατέστερα συστήματα ελέγχου των ρύπων για πετρελαιοκίνητα και για βενζινοκίνητα αυτοκίνητα.

Στο έκτο κεφάλαιο, αναφέρονται εναλλακτικές λύσεις για μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, όπως τα βιοκαύσιμα, το υδρογόνο, καθώς και η υβριδική κίνηση.

Στο έβδομο κεφάλαιο, αναφέρονται οι προδιαγραφές που πρέπει να έχει ένα ευρωπαϊκό αυτοκίνητο, καθώς επίσης και ο έλεγχος των εκπεμπόμενων ρύπων του μέσω της καυσανάλυσης στο ΚΤΕΟ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο τροχός είναι μια κυκλική κατασκευή η οποία είναι γνωστή σε όλο τον κόσμο. Πρόκειται για μια από τις αρχαιότερες και σημαντικότερες εφευρέσεις, η οποία μέχρι και σήμερα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρωπότητας. Σύμφωνα με αρχαιολόγους, η εφεύρεση του τροχού πραγματοποιήθηκε στην Μεσοποταμία κατά την 5<sup>η</sup> χιλιετία π.Χ. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε από τους ανθρώπους της εποχής για σκοπούς παραγωγής, όπως για την δημιουργία κεραμικών αγγείων και άλλων προϊόντων. Διαδίδοντας την εφεύρεση αυτή σε πολλά μέρη του κόσμου και με την πάροδο του χρόνου, οι άνθρωποι κατάφεραν να κατασκευάσουν άξονες, οι οποίοι συνδεόντουσαν με τους τροχούς και το σύστημα αυτό το προσάρμοσαν σε ειδικά καρότσια με αποτέλεσμα η περιστροφική κίνηση των τροχών να δημιουργεί ευθύγραμμη κίνηση στο καρότσι. Το γεγονός αυτό επέφερε αλλαγές στην μεταφορά προϊόντων από το ένα μέρος στο άλλο, στην γεωργία ακόμη και στην μεταφορά ανθρώπων. Η ώθηση και η δύναμη που χρειαζόντουσαν τα καρότσια για να κινηθούν δινόταν μέσω ζώων π.χ. με τη βοήθεια αλόγων. Για πολλές χιλιετίες, η μεταφορά προϊόντων και ανθρώπων επιτυγχάνονταν με την χρήση του καροτσιού, όπως προαναφέρθηκε. Η εξέλιξη όμως των επιστημών και της τεχνολογίας, άνοιξε ένα παράθυρο για την κάλυψη της ανάγκης του ανθρώπου για συμπίεση των χωρικών αποστάσεων και γρήγορες μετακινήσεις. Έτσι, το 1769, ο Γάλλος Nicola Joseph Cugnot κατασκεύασε το πρώτο αυτοκινούμενο - ατμοκινούμενο όχημα, γνωστό και ως fardier. Το όχημα αυτό λόγω της αστάθειας του και της έλλειψης ισορροπίας ανετράπη, δημιουργώντας έτσι, το πρώτο ατύχημα με αυτοκινούμενο όχημα στην ιστορία.

Το 1862, ο Étienne Lenoir κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο με μηχανή εσωτερικής καύσης ισχύος 0.5 ίππων και με αυτό πραγματοποίησε ταξίδι 19.3 χιλιομέτρων, με ταχύτητα 6.4 χιλιόμετρα την ώρα. Όμως το όχημα αυτό ποτέ δεν μπόρεσε να αποκτήσει εμπορικό χαρακτήρα, διότι ο κινητήρας του λειτουργούσε με αέριο και λόγω της υψηλής κατανάλωσης αερίου και λιπαντικού δεν κατάφερε να βγει στην παραγωγή εξαιτίας του ότι ήταν οικονομικά ασύμφορο.

Στη συνέχεια, το 1885 παρήχθη στην Γερμανία, από τον Karl Benz, ένα τρίκυκλο αυτοκίνητο με κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο οποίος είχε κατασκευαστεί από τον Nicolaus Otto και λειτουργούσε με βενζίνη. Όμως το έτος 1886-1887 ο Karl Benz, αντικατέστησε τον προηγούμενο κινητήρα, με ένα κινητήρα που λειτουργούσε με τις ίδιες αρχές αλλά είχε κατασκευαστεί από τον ίδιο. Δημιούργησε παράλληλα πιο εξελιγμένα οχήματα με σύστημα

επιλογής ταχυτήτων, ψυγείο νερού και ανάφλεξη του καυσίμου με μπουζί. Αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών ήταν να αρχίσει, το 1888 ,η παραγωγή του πρώτου ολοκληρωμένου επιβατικού αυτοκινήτου, αποτελώντας το πρώτο κεφάλαιο στην ιστορία της εμπορικής αυτοκίνησης.

Η κατασκευή και παραγωγή αυτοκινήτων διαδόθηκε πολύ γρήγορα και σε άλλες χώρες, με αποτέλεσμα την δημιουργία πολλών αυτοκινητοβιομηχανιών και γραμμών παραγωγής, οι οποίες ήλθαν ως συνέπεια της χρονικά αυξανόμενης ζήτησης. Έτσι, με την συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας, τα αυτοκίνητα συνέχισαν να εξελίσσονται ραγδαία και πλέον αποτελούν αναγκαίο κομμάτι της καθημερινότητας, καθώς εξυπηρετούν τις ανάγκες μεταφοράς τόσο των εμπορευμάτων όσο και των ανθρώπων. Οι κινητήρες των αυτοκινήτων, από παλαιότερα έως και σήμερα, λειτουργούν με καύσιμα, όπως την βενζίνη και το πετρέλαιο, τα οποία κατά την καύση τους απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα ρυπογόνες ουσίες που είναι επιβλαβείς τόσο για την υγεία του ανθρώπου όσο και για το περιβάλλον. Έτσι, με την μαζική παραγωγή και τη συνεχή αγορά αυτοκινήτων, αυξάνεται διαρκώς η περιβαλλοντική πίεση. Συνεπώς, η δημιουργία διαφόρων συστημάτων μείωσης των ρύπων αποτελεί επιτακτική ανάγκη, ώστε να αναχαιτισθεί η επιδείνωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων.



**Εικόνα 1.1.** Το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής από τον Karl Benz το 1885.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης

Τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης, για να κινηθούν χρειάζονται μια πηγή ενέργειας. Την ενέργεια αυτή την αντλούν από την χρήση ορυκτών καυσίμων όπως την βενζίνη και το πετρέλαιο. Τα καύσιμα αυτά θεωρούνται ιδανικά για την πρόκληση θερμικής ενεργείας, αφού είναι αναφλέξιμα, έχουν μεγάλη θερμογόνο δύναμη δηλαδή μεγάλη ικανότητα παραγωγής ενέργειας κατά την καύση τους, καθώς επίσης και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

### 2.1. Βενζίνη

Τα καύσιμα αποτελούνται γενικά από διάφορους τύπους υδρογονανθράκων. Η βασική δομή των υδρογονανθράκων περιλαμβάνει κυρίως τα στοιχεία Άνθρακας (C) και Υδρογόνο (H) και σε μικρότερη συχνότητα άλλα στοιχεία, όπως το οξυγόνο (O), το άζωτο (N), το θείο (S) κ.τ.λ. Οι υδρογονανθρακικές ενώσεις, χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με ατμοσφαιρικό οξυγόνο και η εκτόνωση των αερίων που παράγονται κατά την καύση τους μετατρέπεται σε έργο κίνησης.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος καυσίμου είναι η βενζίνη. Η βενζίνη είναι ένα μίγμα διάφορων υδρογονανθράκων και χρησιμοποιείται κατά κόρον σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή έργου εκτόνωσης, το οποίο με μετατροπή προκαλεί την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Η διαδικασία αυτή θα αναφερθεί αναλυτικότερα στην συνέχεια. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της βενζίνης αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω.

#### 2.1.1. Πτητικότητα

Το χαρακτηριστικό αυτό της βενζίνης, περιγράφει το βαθμό ευκολίας και ταχύτητας της εξάτμισης του καυσίμου και του απαιτούμενου ποσού θερμότητας που χρειάζεται, έτσι ώστε να μεταβεί από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Όσο πιο πολύ αυξάνεται η πτητικότητα τόσο ευκολότερη και πιο άμεση γίνεται η εκκίνηση ενός κινητήρα καθώς και η θέρμανση του είναι γρηγορότερη. Όμως μια βενζίνη με πολύ υψηλή πτητικότητα μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία του κινητήρα, λόγω της δημιουργίας θυλάκων αερίων στις γραμμές ροής του καυσίμου, οι οποίοι μειώνουν τη ροή του καυσίμου. Αντίθετα, τα καύσιμα που έχουν χαμηλή πτητικότητα, δηλαδή εξατμίζονται δύσκολα, δημιουργούν



πρόβλημα στην εκκίνηση του κινητήρα. Πιο συγκεκριμένα, προκαλούν ανομοιόμορφη λειτουργία του κινητήρα λόγω μη σωστής ροής καυσίμου στον κύλινδρο, μειωμένες επιδόσεις και χαμηλή επιτάχυνση. Συμπερασματικά, η πτητικότητα των καυσίμων πρέπει να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η σωστή λειτουργία ενός κινητήρα (Καραμπίλας, 2010).

### **2.1.2. Αντικρουστικότητα**

Όταν εισέρχεται μέσα στους κυλίνδρους της μηχανής συνδυασμός αέρα και βενζίνης, το μίγμα αυτό βρίσκεται υπό πίεση και αναφλέγεται με την βοήθεια των σπινθήρων που παράγονται μέσω του σπινθηριστή. Όταν όμως η πίεση αυτή για κάποιο λόγο αυξηθεί και ξεπεράσει κάποια όρια, η ανάφλεξη του μίγματος δεν πραγματοποιείται κανονικά. Αντιθέτως, προκαλείται το φαινόμενο της αυτανάφλεξης. Στην περίπτωση της αυτανάφλεξης η θερμοκρασία του υλικού φτάνει σε μια ειδική τιμή που λέγεται θερμοκρασία αυτανάφλεξης, πάνω από την οποία το μίγμα αναφλέγεται αυτόματα (χωρίς την ανάγκη φλόγας ή σπινθήρα). Εξαιτίας του φαινομένου αυτού, δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο ένα χτύπημα λόγω του κρουστικού κύματος της απότομης έκρηξης του καυσίμου, με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του κινητήρα και την φθορά του χώρου καύσης-κυλίνδρου της μηχανής.

Αντικρουστικότητα ή αντικροτικότητα, είναι η ικανότητα της βενζίνης να καίγεται σωστά και ομαλά μέσα στον χώρο της καύσης, χωρίς να προκαλείται το φαινόμενο της αυτανάφλεξης. Εξαρτάται από το είδος των υδρογονανθράκων που βρίσκονται στο καύσιμο. Παλαιότερα για να μειωθεί η αντικροτικότητα γινόταν προσθήκη ενός χημικού, γνωστό και ως τετρααιθυλιούχος μόλυβδος, η χρήση του οποίου απαγορεύτηκε λόγω του ότι αποτελεί ένα πολύ τοξικό και επικίνδυνο (Καραμπίλας 2010).

### **2.1.3. Περιεκτικότητα σε θείο**

Η περιεκτικότητα της βενζίνης σε θείο είναι πολύ χαμηλή και δεν ξεπερνάει τα 10 mg/kg. Η παρουσία του στα καύσιμα, είναι ανεπιθύμητη και πρέπει να βρίσκεται σε χαμηλά ποσοστά, διότι μπορεί να σχηματιστεί διοξείδιο του θείου, μία ένωση που μπορεί να προκαλέσει διαβρώσεις στα μέταλλα του κινητήρα και είναι πολύ επιβλαβής για την ατμόσφαιρα. Το θείο επίσης που υπάρχει στην βενζίνη, είναι της μορφής μερκαπτανών οι οποίες έχουν μεγάλη διαβρωτική ικανότητα, καθώς είναι και δύσοσμες (Λόης et al, 2014).

#### 2.1.4. Περιεκτικότητα σε νερό

Κατά την είσοδο της βενζίνης στην δεξαμενή των καυσίμων δημιουργούνται υδρατμοί, οι οποίοι κατά την πτώση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας υγροποιούνται και συσσωρεύονται στον πυθμένα του ρεζερβουάρ. Έτσι, δημιουργούνται θύλακες νερού στην βενζίνη, κάτι το οποίο είναι ανεπιθύμητο διότι μπορεί να προκληθούν διαβρώσεις και μεγάλες φθορές σε διάφορα μέρη του κινητήρα όπως στο σύστημα τροφοδοσίας και άλλα (Λόης et al, 2014).

#### 2.1.5. Βαθμός οκτανίων

Το οκτάνιο, είναι ένας άκυκλος κορεσμένος υδρογονάνθρακας και ο χημικός του τύπος είναι  $C_8H_{18}$ . Είναι ένα ευθύγραμμο μόριο, παρουσιάζει 8 άτομα άνθρακα ανά μόριο της ένωσης και τα άτομα του συνδέονται με απλούς δεσμούς.

Ο αριθμός οκτανίου μίας βενζίνης, αποτελεί έναν δείκτη ή μια μονάδας μέτρησης, η οποία δείχνει κατά πόσο μπορεί να συμπιεστεί το μίγμα αέρα-καυσίμου χωρίς να εκραγεί και εκφράζει το επί τοις εκατό κατ' όγκο ποσοστό μίγματος ισοοκτανίων σε μίγμα κανονικού επτανίου. Το ισοοκτάνιο, παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στην αυτανάφλεξη και υψηλή αντικροτικότητα και του έχει δοθεί η τιμή 100, ενώ το κανονικό επτάνιο έχει πολύ μικρή αντίσταση στο φαινόμενο αυτό και του έχει δοθεί η τιμή 0. Επομένως μια βενζίνη 95 οκτανίων είναι ένα μίγμα όπου το 95% αποτελείται από ισοοκτάνια και το υπόλοιπο 5% είναι κανονικό επτάνιο. Επισημαίνεται στο σημείο αυτό ότι, ο βαθμός οκτανίων δεν αντιπροσωπεύει πάντα το ποσοστό ισοοκτανίων του μίγματος, αλλά την αντικροτική ποιότητα του καυσίμου με αναγωγή στην αντίστοιχη ποιότητα που παράγει το ισοοκτάνιο.

Γενικότερα τα καύσιμα, πρέπει να παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στο φαινόμενο της αυτανάφλεξης δηλαδή, πρέπει να έχουν μεγάλο σχετικά βαθμό οκτανίων. Η εύρυθμη λειτουργία και η καλή απόδοση ενός κινητήρα, εξαρτάται από την σχέση συμπίεσης του κινητήρα δηλαδή, το πόσο πολύ θα συμπιεστεί το μίγμα αέρα/καυσίμου πριν αυτό αναφλεγεί και εκτονωθεί. Στην περίπτωση που ένα καύσιμο παρουσιάζει χαμηλό αριθμό οκτανίων σε σχέση με τις κατασκευαστικές απαιτήσεις ενός κινητήρα, τότε αυτό σημαίνει ότι το μίγμα δεν θα αναφλεχθεί στον σωστό χρόνο που απαιτείται και θα δημιουργηθεί το φαινόμενο της κρουστικής ανάφλεξης δηλαδή, η καύση του μίγματος θα γίνει με βίαιο και γρήγορο τρόπο (IKE, 2006).

## 2.2. Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο ή αλλιώς ντίζελ, είναι ένα καύσιμο που χρησιμοποιείται εδώ και πάρα πολλά χρόνια τόσο στις βιομηχανίες όσο και στην κίνηση βαρέων οχημάτων, πλοίων και συμβατικών αυτοκινήτων. Εισάγεται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης και η ανάφλεξή του δεν γίνεται με σπινθηρισμό, όπως στην βενζίνη, αλλά προκαλείται με συμπίεση. Το όνομα του καυσίμου αυτού προέρχεται από τον Γερμανό Rudolf Diesel, ο οποίος ήταν ο πρώτος παγκοσμίως που κατασκεύασε κινητήρα ανάφλεξης με συμπίεση. Το πετρέλαιο είναι ένα σύνθετο μίγμα κυρίως από υγρούς υδρογονάνθρακες. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες πετρελαίου, όπως το πετροντίζελ, το οποίο παρασκευάζεται από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου μεταξύ 150 ως 380 βαθμών Κελσίου. Το τελικό μείγμα μετά την απόσταξη, περιέχει από 8 έως 21 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω.

### 2.2.1. Ποιότητα ανάφλεξης

Η ποιότητα ανάφλεξης, είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του ντίζελ και αναφέρεται στο βαθμό ευκολίας στον οποίο αυταναφλέγεται. Ανάλογα με το είδος των υδρογονανθράκων που εμπεριέχονται μέσα στο καύσιμο καθορίζεται και η ποιότητα ανάφλεξης. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων άνθρακα του μορίου, τόσο πιο πολύ αυξάνεται η τάση του καυσίμου για αυτανάφλεξη (Λόης et al, 2014).

### 2.2.2. Πυκνότητα

Η πυκνότητα ενός ρευστού, εκφράζει την μάζα που περιέχεται σε μια μονάδα όγκου. Η μονάδα πυκνότητας στο SI είναι ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Η πυκνότητα του πετρελαίου, επηρεάζει σημαντικά χαρακτηριστικά σχετικά με την λειτουργία του κινητήρα, όπως η ισχύς, η οικονομία κ.τ.λ.

### 2.2.3. Ιξώδες

Το ιξώδες ενός ρευστού εκφράζει την αντίσταση που προβάλλει το υγρό κατά την ροή του. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες, τόσο πιο μεγάλη είναι η αντίσταση στη ροή. Επομένως το ιξώδες του πετρελαίου είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα που πρέπει να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων. Όταν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό παρουσιάζονται προβλήματα, π.χ. ατελής καύση, που έχουν ως αποτέλεσμα τη ρύπανση των κυλίνδρων και τη μειωμένη

απόδοση. Επίσης, ένα πετρέλαιο χαμηλού ιξώδους, μειώνει το χρόνο ζωής του κινητήρα και προκαλεί σημαντικές φθορές στο σύστημα τροφοδοσίας.

#### **2.2.4. Λιπαντική ικανότητα**

Η λιπαντική ικανότητα του πετρελαίου κίνησης, είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα καθώς, κατά την ροή του καυσίμου προς τον χώρο καύσης λιπαίνει πολλά συστήματα, όπως τις αντλίες και τα ακροφύσια – μπεκ ψεκασμού καυσίμου. Επομένως η σωστή λειτουργία ενός πετρελαιοκινητήρα εξαρτάται από την λιπαντική ικανότητα του καυσίμου. Επίσης για να βελτιωθεί η ικανότητα της λίπανσης που διαθέτει από μόνο του το καύσιμο χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα.

#### **2.2.5. Περιεκτικότητα σε νερό**

Το νερό, υπάρχει σε μικρές ποσότητες στο ντίζελ και δεν μπορεί να απομακρυνθεί εντελώς. Εισέρχεται στο καύσιμο κυρίως κατά την διεργασία παραγωγής του ή από τα δίκτυα όπου αποθηκεύεται και μεταφέρεται. Το νερό στο καύσιμο, αποτελεί πρόσφορο έδαφος για τη δημιουργία και την ανάπτυξη μυκήτων και βακτηρίων, που μπορούν να οδηγήσουν σε φράξιμο των φίλτρων καυσίμου καθώς διαβρώσεις στο σύστημα ψεκασμού.

#### **2.2.6. Αριθμός Κετανίου**

Η ιδιότητα ενός καυσίμου να αναφλέγεται με ευκολία όταν αυτό ψεκάζεται σε έναν κινητήρα, χαρακτηρίζεται από τον αριθμό κετανίου του. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο ευκολότερα επιτυγχάνεται η ανάφλεξη. Το κετάνιο, είναι μια χημική ένωση με τύπο ( $n-C_{16}H_{34}$ ). Ανήκει στην κατηγορία των αλκανίων με μια κορεσμένη αλυσίδα υδρογονανθράκων, χωρίς κυκλικά τμήματα και έχει ως σημαντικό του χαρακτηριστικό την ευκολία σε ανάφλεξη όταν υποστεί συμπίεση.

#### **2.2.7. Σημείο ανάφλεξης**

Το σημείο ανάφλεξης του πετρελαίου, είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία συμβαίνει ανάφλεξη του μίγματος. Πιο συγκεκριμένα, στο σημείο ανάφλεξης, οι ατμοί που παράγονται κατά την σταδιακή θέρμανση του πετρελαίου σχηματίζουν ικανή ποσότητα, έτσι ώστε όταν αναμειχθούν με τον αέρα, το μίγμα αυτό να αναφλεχθεί. Το σημείο ανάφλεξης εξαρτάται, τόσο από τη σύστασή του, όσο και από το πού φυλάσσεται το καύσιμο, δηλαδή αν βρίσκεται σε ανοιχτή ή κλειστή δεξαμενή. Τέλος ο προσδιορισμός του

σημείου ανάφλεξης πρέπει να είναι ακριβής, κυρίως για λόγους ασφάλειας κατά την αποθήκευση του σε δεξαμενές ή δοχεία (ΑΡΚΟΥΛΗΣ et al, 2014).

Άλλα χαρακτηριστικά του πετρελαίου είναι:

- Η θερμογόνος δύναμη
- Η πτητικότητα
- Η περιεκτικότητα σε θείο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

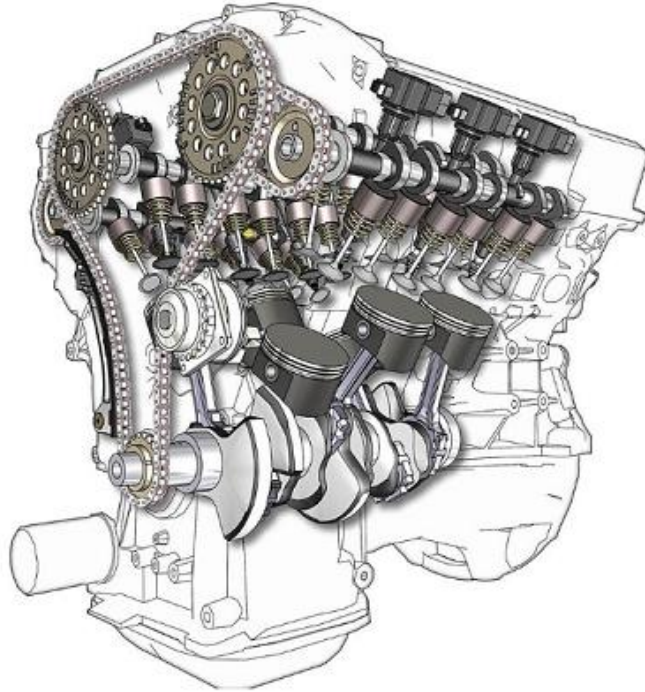
### 3.1. Βασικός κινηματικός μηχανισμός παραγωγής έργου στις ΜΕΚ

Οι θερμικές μηχανές ή αλλιώς εμβολοφόρες-παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης, μπορούν να διακριθούν από πάρα πολλά διαφορετικά στοιχεία και χαρακτηριστικά που διαθέτουν. Οι πιο εμπορικές και σύνηθες ΜΕΚ, είναι οι βενζινοκινητήρες και οι πετρελαιοκινητήρες, που η βασική τους διαφορά είναι στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η έναυση μέσα στον κύλινδρο, η οποία έχει ως σκοπό την πρόκληση θερμικής ενέργειας.

Με λίγα λόγια η ανάφλεξη του μείγματος στις βενζινομηχανές, γίνεται μέσω του σπινθήρα που δίνει ο αναφλεκτήρας-μπουζί, σε συνεργασία και με άλλα μέρη του γενικότερου συστήματος ανάφλεξης. Αντιθέτως η ανάφλεξη στους πετρελαιοκινητήρες, διαφέρει από αυτή των βενζινομηχανών, καθώς κατά την διαδικασία της εισαγωγής στον κύλινδρο, εισέρχεται μόνο ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος συμπιέζεται με αποτέλεσμα να αυξηθεί τόσο πολύ η θερμοκρασία του, που κατά την έγχυση του πετρελαίου στον κύλινδρο πραγματοποιείται η αυτανάφλεξη του. Παρόλα αυτά, η βασική δομή των κινητήρων αυτών δεν διαφοροποιείται, καθώς τα μηχανικά μέρη για την παραγωγή ισχύος παραμένουν τα ίδια.

Η βασική δομή ενός κινητήρα αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- Βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής
- Εκκεντροφόρος άξονας
- Κεφαλή κινητήρα
- Σώμα κινητήρα
- Σφόνδυλος - βολάν
- Κύλινδρος
- Έμβολο
- Διωστήρας
- Στροφαλοφόρος άξονας



*Εικόνα 3.1. Βασική δομή και εξαρτήματα ενός τετράχρονου βενζινοκινητήρα κινητήρα σε διάταξη V (Wikipedia).*

### **3.1.1. Σώμα κινητήρα**

Το σώμα, ή αλλιώς block, είναι το βασικότερο μέρος ενός κινητήρα διότι αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία εφαρμόζονται όλα τα μηχανικά εξαρτήματα που συμμετέχουν στη λειτουργία του κινητήρα και οδηγούν στην παραγωγή ισχύος. Κατασκευάζεται συνήθως από ειδικά κράματα χυτοσιδήρου ή χυτοχάλυβα με άνθρακα, έτσι ώστε να αντέχει τις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες καθώς και τις εσωτερικές φθορές που δέχεται με την τριβή των εμβόλων.

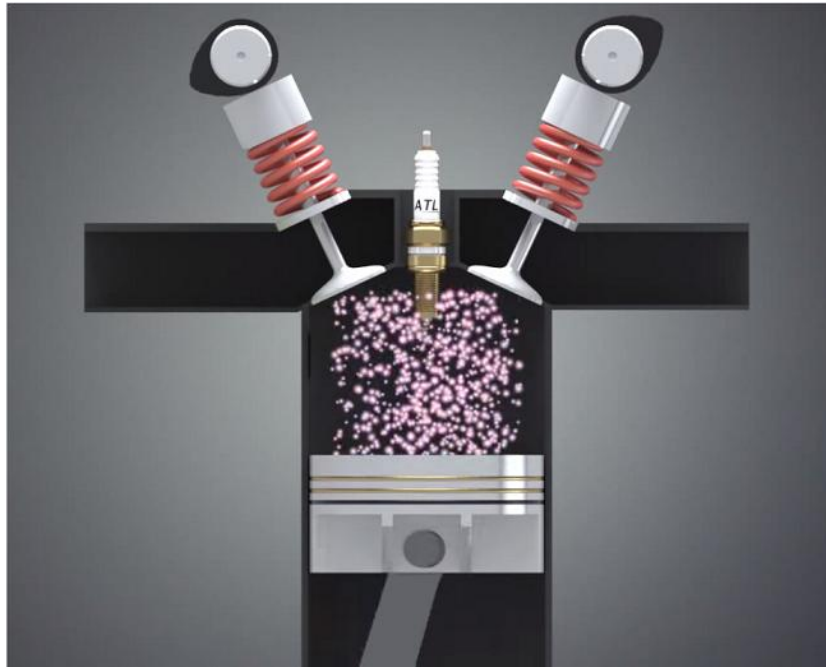


*Εικόνα 3.2. Μπλοκ οκτακύλινδρου κινητήρα με διάταξη κυλίνδρων V (GearHeadBanger, 2011).*

### **3.1.2. Βαλβίδες εισαγωγής- εξαγωγής**

Σε κάθε κύλινδρο ενός κινητήρα, βρίσκονται βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Ο σκοπός τους, είναι να επιτρέπουν την ροή και εισαγωγή του μίγματος αέρα-καυσίμου στον κύλινδρο, καθώς και την εξαγωγή των καυσαερίων που δημιουργούνται στον χώρο καύσης, σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Οι βαλβίδες αυτές αποτελούν σημαντική παράμετρο για την απόδοση της μηχανής. Λειτουργούν με ελατήρια και μπορούν σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα να ανοίξουν και να κλείσουν, κάτι το οποίο σε πολύ υψηλές ταχύτητες βοηθάει την ομαλή λειτουργία του κινητήρα. Αν οι βαλβίδες δεν λειτουργούν σωστά, τότε η μηχανή ταλαιπωρείται σημαντικά και μειώνεται η απόδοση της. Οι βαλβίδες, τοποθετούνται σε έδρες οι οποίες βρίσκονται πάνω στην κυλινδροκεφαλή. Οι έδρες των βαλβίδων, κατασκευάζονται από ανθεκτικά κράματα, όπως ειδικό ατσάλι με νίκελ για να αντέχουν τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται από τα καυσαέρια. Τέλος οι βαλβίδες εισαγωγής έχουν λίγο μεγαλύτερη διάμετρο από τις βαλβίδες εξαγωγής διότι λόγω της υπερπίεσης των καυσαερίων γίνεται ευκολότερη η έξοδος τους από την βαλβίδα εξαγωγής.





**Εικόνα 3.3.** 2ος χρόνος συμπίεσης καυσίμου, όπου οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής παραμένουν κλειστές (Auto Tech Lambs, 2015).

### 3.1.3. Εκκεντροφόρος άξονας

Ο εκκεντροφόρος, είναι ένας άξονας πάνω στον οποίο υπάρχει ένα σύνολο έκκεντρων. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα ή χυτοσίδηρο. Όταν ο άξονας αυτός περιστρέφεται, επιτυγχάνεται η κίνηση των βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής, εξαιτίας των έκκεντρων, οι οποίοι σπρώχνουν με δύναμη μεγαλύτερη της αντίστασης των ελατηρίων, με αποτέλεσμα το άνοιγμα των βαλβίδων. Ανάλογα με την διάταξη του κινητήρα μπορεί να υπάρχουν ένας οι και περισσότεροι εκκεντροφόροι άξονες. Οι κινητήρες με τον εκκεντροφόρο τοποθετημένο πάνω από τις βαλβίδες, είναι τύπος εκκεντροφόρου επί κεφαλής (OHC), ο οποίος παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα μέσω ιμάντα, οδοντωτών τροχών ή αλυσίδας. Τα πιο εξελιγμένα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν δυο εκκεντροφόρους οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω από τις βαλβίδες και είναι τύπου διπλού εκκεντροφόρου επί κεφαλής (DOHC). Ο πρώτος χρησιμεύει για να κινεί τις βαλβίδες εισαγωγής και ο δεύτερος για να κινεί τις βαλβίδες εξαγωγής (ΑΡΚΟΥΛΗΣ et al, 2014).



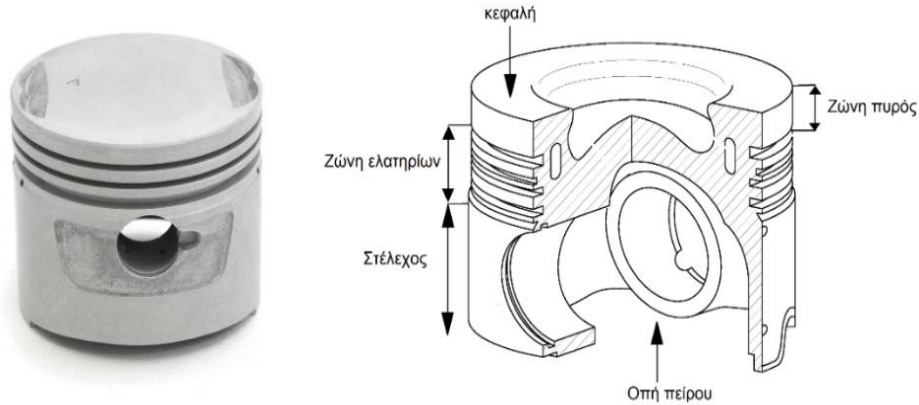
*Εικόνα 3.4. Σύστημα διπλών εκκεντροφόρων, όπου ο ένας χρησιμοποιείται για να κινεί τις βαλβίδες εισαγωγής και ο δεύτερος για τις βαλβίδες εξαγωγής (mountoune).*

### 3.1.4. Έμβολο

Σε κάθε σώμα-block, περιέχονται κάποιες μεγάλες οπές, οι οποίες αποτελούν τους κυλίνδρους μιας μηχανής. Μέσα στους κυλίνδρους αυτούς βρίσκονται τα έμβολα, τα οποία έχουν κυλινδρικό σχήμα και αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά μέρη του κινητήρα. Λόγω των αερίων που δημιουργούνται από την καύση των καυσίμων, τα έμβολα στην επιφάνεια τους δέχονται μεγάλες πιέσεις καθώς και μεγάλα ποσοστά θερμικής ενέργειας η οποία, μετατρέπεται σε κινητική. Συνήθως το έμβολο, εργάζεται κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες που φτάνουν έως και τους 2.500 βαθμούς κελσίου. Επομένως λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, τα έμβολα κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου πυριτίου.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται το έμβολο είναι τα εξής:

- 1) Κεφαλή
- 2) Ζώνη ελατηρίων
- 3) Ζώνη πυρός
- 4) Ποδιά
- 5) Οπή πείρου



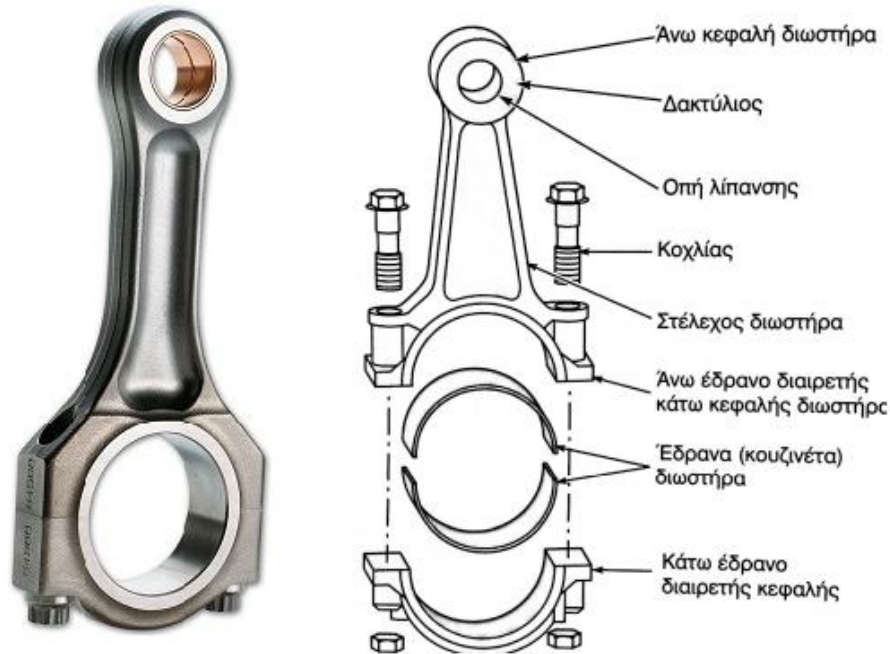
**Εικόνα 3.5.** Χαρακτηριστικά εμβόλου σε σκίτσο, το οποίο είναι σε τομή.

Ανάλογα με τον τύπο μηχανής, η επάνω επιφάνεια-κεφαλή των εμβόλων μπορεί να είναι επίπεδη, σφαιρική ή κοίλη. Επειδή η κεφαλή και η ζώνη πυρός δέχονται μεγάλες πιέσεις και θερμικά φορτία, πρέπει να υπάρχει στεγανότητα μεταξύ του θαλάμου καύσης και του στροφαλοθαλάμου. Γι' αυτό τον λόγο δημιουργήθηκε η ζώνη ελατηρίων, η οποία είναι αυλακώσεις στην περιφέρεια του κυλίνδρου, όπου μέσα σε αυτές τοποθετούνται τα ελατήρια, τα οποία προσφέρουν στεγανότητα αλλά και λίπανση των τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Επίσης τα έμβολα περιέχουν μια οπή, όπου τοποθετείται ο πείρος του εμβόλου, όπου αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ του εμβόλου και του διωστήρα. Λόγω της μεγάλης καταπόνησης του από τις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την εκτόνωση, ο πείρος είναι κατασκευασμένος από χρωμονικελιούχο χάλυβα υψηλής αντοχής (ΤΖΙΡΑΚΗΣ, 2017).

### 3.1.5. Διωστήρας

Ο διωστήρας ή αλλιώς μπιέλα, αποτελεί βασικό μηχανισμό μετατροπής της ευθύγραμμης παλινδρομικής κίνησης του εμβόλου σε περιστροφική του στροφαλοφόρου άξονα και αντίστροφα. Διαθέτει δυο κυλινδρικά έδρανα, τα όποια είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με κοχλίες, ενώ το σχήμα της διατομής του στο σώμα είναι της μορφής Η. Στην κορυφή του άνω εδράνου-κεφαλή, υπάρχει ένας δακτύλιος ο οποίος συνδέεται με το έμβολο, ενώ ο δακτύλιος που δημιουργείται κατά την σύνδεση του άνω και κάτω εδράνου συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα. Ανάμεσα στα δυο στελέχη άνω και κάτω έδρανα, τοποθετούνται μέσα στον δακτύλιο κουζινέτα από μαλακό μέταλλο. Τέλος επειδή ο διωστήρας καταπονείται σε θλιπτικές και καμπτικές δυνάμεις, πρέπει να κατασκευάζεται από χαλυβοκράματα ή ελαφρά κράματα. Πλέον όμως παρατηρείται να κατασκευάζονται

διωστήρες από ελαφριά συνθετικά κράματα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ισχύς του κινητήρα λόγω της μείωσης της μάζας.



**Εικόνα 3.6.** Αποσυναρμολογημένος διωστήρας και τα χαρακτηριστικά του σε σκίτσο (ΤΖΙΡΑΚΗΣ, 2017).

### 3.1.6. Στροφαλοφόρος άξονας

Ο στροφαλοφόρος άξονας, αποτελεί ένα από τα πιο βασικά εξαρτήματα ενός κινητήρα, καθώς μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική. Πάνω στον άξονα αυτό, τοποθετούνται σε ειδικά τμήματα υποδοχής το κατώτερο τμήμα του διωστήρα. Όταν γίνεται η καύση του μίγματος, τα καυσαέρια που δημιουργούνται, πιέζουν το έμβολο και τον διωστήρα προς τα κάτω με αποτέλεσμα να κινούν περιστροφικά τον στρόφαλο. Κατασκευάζεται από υλικά υψηλής αντοχής όπως χυτοσίδηρο, χυτοχάλυβα ή χάλυβα και υφίστανται μηχανουργικές κατεργασίες υψηλής ακριβείας για την μορφοποίηση του τελικού σχήματος τους. Αποτελείται από τα κομβία βάσης και τα κομβία των διωστήρων, τα οποία μεταξύ τους συνδέονται με βραχίονες. Οι δυο βραχίονες μαζί με το κομβίο του διωστήρα αποτελούν τον αγκώνα του στροφαλοφόρου οι οποίοι, δεν είναι τοποθετημένοι στο ίδιο επίπεδο. Επίσης όσος είναι ο αριθμός των αγκώνων, τόσο είναι και ο αριθμός των κυλίνδρων της μηχανής. Τέλος στους βραχίονες τοποθετούνται αντίβαρα για την επίτευξη

της ζυγοστάθμισης του άξονα, την ομαλή λειτουργία και την εξασφάλιση των μηδενικών ταλαντώσεων.



*Εικόνα 3.7. Διάταξη διωστήρων-εμβόλου πάνω στον στροφαλοφόρο άξονα (AUTOXPAT, 2016).*

### **3.1.7. Σφόνδυλος-βολάν**

Στο άκρο ενός στροφαλοφόρου άξονα, συνδέεται ο σφόνδυλος ή αλλιώς βολάν. Το εξάρτημα αυτό είναι ένας μεταλλικός δίσκος, που το μέγεθος του εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των εμβόλων που έχει η μηχανή. Ο ρόλος του οποίου έχει το εξάρτημα αυτό, είναι να αποθηκεύει ενέργεια από τον ωφέλιμο χρόνο της εκτόνωσης λόγω της ανάφλεξης του καυσίμου, όπου την αποδίδει στις επόμενες φάσεις οι οποίες είναι η εισαγωγή, η συμπίεση και η εξαγωγή. Λόγω της σχετικά μεγάλης του μάζας, όταν αρχίζει και περιστρέφεται, παρασέρνει με την περιστροφή του το έμβολο, με αποτέλεσμα την ολοκλήρωση και των άλλων χρόνων. Ο σφόνδυλος με τον στροφαλοφόρο άξονα, πρέπει να είναι μεταξύ τους ζυγοσταθμισμένοι, έτσι ώστε να μην προκαλούνται φυγοκεντρικές δυνάμεις λόγω της ανομοιομορφίας στην κατανομή της μάζας. Στην περιφέρεια του βολάν, διαμορφώνονται οδοντώσεις πάνω στις οποίες εμπλέκεται η μίζα για την αρχική εκκίνηση της μηχανής. Τέλος στην εξωτερική και λεία του πλευρά, στηρίζεται ο συμπλέκτης και έτσι μεταφέρεται η κίνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων (Αγερίδης et al, 2001).



*Εικόνα 3.8. Μπροστινή και πίσω όψη, ενός βολάν συμβατικού αυτοκινήτου (AMS AUTOMOTIVE).*

## 3.2. Χρόνοι μηχανών εσωτερικής καύσης

### 3.2.1. Τετράχρονοι βενζινοκινητήρες

Οι δυο πιο βασικές κατηγορίες κινητήρων εσωτερικής καύσης, που διαφέρουν ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους είναι οι τετράχρονες μηχανές και οι δίχρονες. Οι πιο συνηθέστεροι και οι πιο διαδεδομένοι είναι οι τετράχρονοι κινητήρες. Σύμφωνα και με την ονομασία τους, οι βενζινοκινητήρες αυτοί έχουν τέσσερις φάσεις λειτουργίας η αλλιώς χρόνους. Ως χρόνος λειτουργίας, ορίζεται η διαδρομή που θα πραγματοποιήσει το έμβολο από το άνω νεκρό σημείο ως το κάτω νεκρό σημείο και αντίστροφα. Έτσι για να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας, το έμβολο θα κάνει 4 διαδρομές- χρόνους.

Οι τέσσερις χρόνοι που πραγματοποιούνται σε έναν τετράχρονο βενζινοκινητήρα είναι οι εξής:

- 1<sup>ος</sup> χρόνος-ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 2<sup>ος</sup> χρόνος-ΣΥΜΠΙΕΣΗ
- 3<sup>ος</sup> χρόνος-ΚΑΥΣΗ-ΕΚΤΟΝΩΣΗ
- 4<sup>ος</sup> χρόνος-ΕΞΑΓΩΓΗ

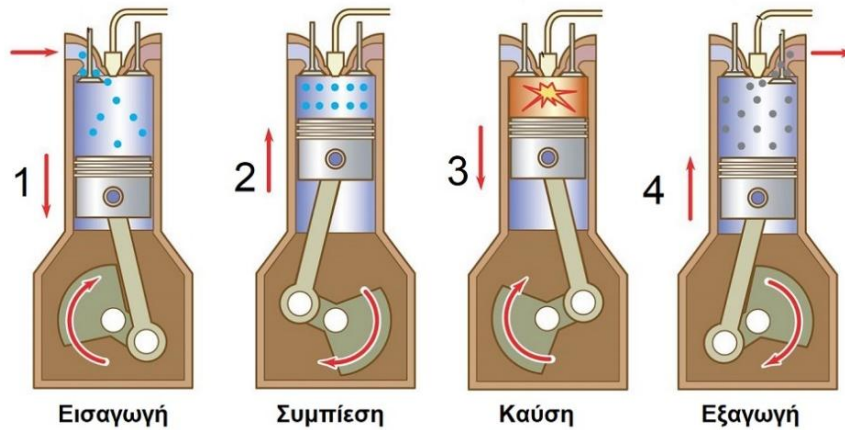
Κατά τον χρόνο εισαγωγής, το πιστόνι κατεβαίνει από το Άνω Νεκρό Σημείο προς το Κάτω Νεκρό Σημείο, δημιουργώντας μια υποπίεση. Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει έτσι ώστε να

εισέλθει το μίγμα αέρα καυσίμου (για τους βενζινοκινητήρες) ή μόνο αέρας (για τους πετρελαιοκινητήρες) και η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει κλειστή.

Στον δεύτερο χρόνο της συμπίεσης, το έμβολο ανεβαίνει από το Κάτω Νεκρό Σημείο προς το Άνω Νεκρό Σημείο. Έτσι το πιστόνι συμπιέζει το μείγμα αέρα-καυσίμου, καθώς οι δυο βαλβίδες εισαγωγής- εξαγωγής παραμένουν κλειστές. Λίγο πριν το τέλος της συμπίεσης θα δοθεί σπινθήρας από το μπουζί (για τους βενζινοκινητήρες) ή θα συμπιεστεί ο αέρας (για τους πετρελαιοκινητήρες).

Στον τρίτο χρόνο, καθώς το έμβολο βρίσκεται στο Άνω Νεκρό Σημείο, δίνεται ο σπινθήρας από το μπουζί και πραγματοποιείται η καύση του μίγματος. Για τους πετρελαιοκινητήρες, η έγχυση πετρελαίου θα γίνει στην έναρξη εκκίνησης του εμβόλου για το κάτω νεκρό σημείο με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί η αυτανάφλεξη. Κανονικά στο πραγματικό διάγραμμα λειτουργίας, ο σπινθήρας (για τους βενζινοκινητήρες), θα δοθεί λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο Άνω Νεκρό, έτσι ώστε να προλάβει να καεί πλήρως το μίγμα. Εν συνεχεία τα αέρια – καυσαέρια που δημιουργούνται από την καύση, σπρώχνουν με μεγάλη ώθηση το έμβολο προς τα κάτω. Έτσι σε αυτόν και μόνο από τους 4 συνολικά χρόνους παράγεται έργο, το οποίο αποθηκεύεται στον σφόνδυλο. Τέλος και σε αυτό τον χρόνο οι βαλβίδες θα παραμείνουν κλειστές.

Στον τέταρτο και τελευταίο χρόνο, το έμβολο κινείται από το Κάτω Νεκρό Σημείο στο Άνω Νεκρό Σημείο. Στον χρόνο αυτό η βαλβίδα εισαγωγής είναι κλειστή, καθώς η βαλβίδα εξαγωγής θα ανοίξει και το έμβολο θα διώξει τα καυσαέρια μέσω της βαλβίδας στην πολλαπλή εξαγωγή. Τέλος λίγο πριν το πιστόνι φτάσει στο Άνω Νεκρό Σημείο και οι δυο βαλβίδες για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (γνωστό και ως παλάτσο) θα παραμείνουν ανοιχτές. Αυτό συμβαίνει για να καθαρίσει ο κύλινδρος πριν ξεκινήσει ένας νέος κύκλος λειτουργίας.



Εικόνα 3.9. Χρόνοι τετράχρονου βενζινοκινητήρα (encyclopedia britannica, 2007).

Όπως έχει αναφερθεί και στην αρχή του κεφαλαίου, τόσο η δομή όσο και οι χρόνοι λειτουργίας των κινητήρων DIESEL και OTTO παραμένουν ίδιοι, καθώς η μόνη τους διαφορά πέρα από το καύσιμο, είναι ότι στον πρώτο χρόνο της εισαγωγής, η ανάφλεξη γίνεται με διαφορετικό τρόπο.

### 3.2.2. Δίχρονοι βενζινοκινητήρες

Ένας δίχρονος βενζινοκινητήρας, διαφέρει από έναν τετράχρονο κινητήρα ως προς τον τρόπο λειτουργίας του αλλά και την κατασκευή του. Σύμφωνα και από την ονομασία τους οι δίχρονοι κινητήρες ολοκληρώνουν τον κύκλο λειτουργίας σε δυο χρόνους, δηλαδή το έμβολο θα πραγματοποιήσει δυο διαδρομές ή θα πραγματοποιηθεί μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Έπειτα οι κινητήρες αυτοί δεν διαθέτουν βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής, αλλά έχουν αντίστοιχες θυρίδες που βρίσκονται κοντά στο Κάτω Νεκρό Σημείο και περιφερειακά του κυλίνδρου. Επίσης σε τέτοιου είδους κινητήρες, περιέχεται λάδι λίπανσης στον στροφαλοθάλαμο όπου το μίγμα αναρροφάται αρχικά εκεί και έπειτα εισάγεται στον χώρο καύσης συμπιεζόμενο από το έμβολο.

Οι χρόνοι που πραγματοποιεί ένας δίχρονος κινητήρας είναι οι εξής:

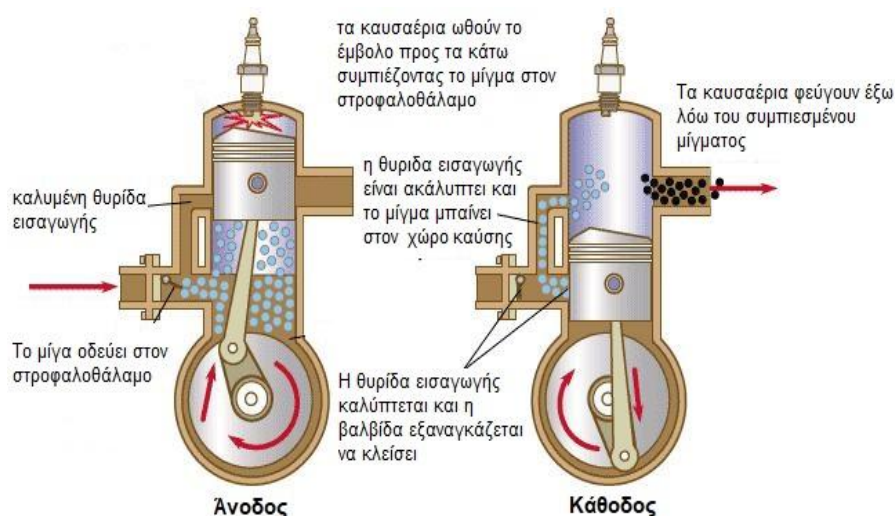
- 1<sup>ος</sup> χρόνος
- 2<sup>ος</sup> χρόνος

Στον πρώτο χρόνο το έμβολο κινείται από το Κάτω Νεκρό Σημείο στο Άνω Νεκρό Σημείο. Όταν το έμβολο αρχίζει και ανεβαίνει προς τα πάνω γίνεται η εισαγωγή του μίγματος από τον στροφαλοθάλαμο μέσω της πρώτης θυρίδας στον χώρο καύσης. Επειδή η ροή του



μίγματος έχει μεγάλη ορμή και λόγω του ειδικού σχήματος της κεφαλής του εμβόλου, τα καυσαέρια απομακρύνονται από την θυρίδα εξαγωγής, επιτυγχάνοντας έτσι τον καθαρισμό του χώρου καύσης. Στην συνέχεια το μίγμα γεμίζει τον χώρο καύσης και γίνεται η συμπίεση του όταν το πιστόνι φτάσει στο Άνω Νεκρό Σημείο. Παράλληλα με την ενέργεια αυτή γίνεται εισαγωγή μίγματος από την τρίτη θυρίδα όπου προορίζεται για τον επόμενο χρόνο.

Στον δεύτερο χρόνο και όταν πια το έμβολο έχει φτάσει στον Άνω Νεκρό Σημείο, το μπουζί δίνει τον σπινθήρα και πραγματοποιείται η καύση του μίγματος. Έπειτα γίνεται η εκτόνωση λόγω των καυσαερίων όπου τα αέρια, ωθούν το έμβολο προς το Κάτω Νεκρό Σημείο. Στην διαδρομή αυτή του εμβόλου, αποκαλύπτεται η θυρίδα εξαγωγής όπου επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των καυσαερίων. Η θυρίδα εισαγωγής όπου εισάγει μίγμα στον στροφαλοθάλαμο θα κλείσει. Το μίγμα θα συμπιεστεί και θα οδηγηθεί από τον στροφαλοθάλαμο και μέσω της πρώτης θυρίδας στον χώρο καύσης με αποτέλεσμα να αρχίσει ο επόμενος κύκλος λειτουργίας της μηχανής ( Εργαστήριο MEK & τεχνολογίας αυτοκινήτου, "Γενικές αρχές λειτουργίας MEK" <http://iceal.wikidot.com/vasikes-arches-leitoyrgias-katataxi>)



**Εικόνα 3.10.** Χρόνοι δίχρονου βενζινοκινητήρα (*encyclopedia britannica, 2007*).

### **3.2.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα δίχρονου βενζινοκινητήρα**

Ένας δίχρονος βενζινοκινητήρας παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με έναν τετράχρονο βενζινοκινητήρα. Παρουσιάζει αρκετά θετικά στοιχεία, όμως τα αρνητικά του στοιχεία είναι τέτοια έτσι ώστε να μην προτιμάτε καθόλου από τις αυτοκινητοβιομηχανίες και οι λόγοι θα αναφερθούν παρακάτω.

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Παρουσιάζει θεωρητικά διπλάσια ισχύ από έναν τετράχρονο κινητήρα στον ίδιο κυβισμό, λόγω των μισών χρόνων έναντι των τετράχρονων για έναν πλήρη κύκλο.
2. Έχει απλούστερη δομή, διότι έχει λιγότερα εξαρτήματα από τον τετράχρονο κινητήρα όπως βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής, εκκεντροφόρος άξονας και τα λοιπά.
3. Είναι ελαφρύτερος λόγω των λιγότερων εξαρτημάτων.
4. Παρουσιάζει μεγαλύτερη ροπή.

#### **Μειονεκτήματα**

1. Έχει μεγαλύτερη κατανάλωση από έναν τετράχρονο κινητήρα, εξαιτίας της ατελέστερης καύσης και της διπλάσιας καύσης σε έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας, έναντι των τετράχρονων.
2. Έχει μεγάλη κατανάλωση λαδιού, λόγω της λίπανσης διαφόρων εξαρτημάτων όπως ο στροφαλοθάλαμος, με αποτέλεσμα το λάδι να οδηγείται στον χώρο καύσης.
3. Μεγαλύτερη φθορά σε εξαρτήματα, όπως οι κύλινδροι και τα έμβολα, λόγω των συχνότερων καύσεων όπου δημιουργούν μεγαλύτερες θερμοκρασίες.
4. Προκαλεί μεγαλύτερη ρύπανση λόγω της μεγάλης ποσότητας υδρογονανθράκων που επιτυγχάνεται από την καύση του λαδιού.
5. Είναι πολύ θορυβώδες λόγω των συχνών καύσεων.

Λόγω των μειονεκτημάτων αυτών και κυρίως λόγω της μεγάλης κατανάλωσης καυσίμου αλλά και λόγω της ρύπανσης που προκαλούν οι δίχρονοι βενζινοκινητήρες, οι αυτοκινητοβιομηχανίες δεν προτιμούν την τοποθέτηση τέτοιων κινητήρων στα αυτοκίνητα που παράγουν, γιατί αν γινόταν αυτό θα δημιουργούταν μεγάλη ρύπανση στην ατμόσφαιρα καθώς τα αυτοκίνητα δεν θα ήταν τόσο εμπορικά. Οι κινητήρες αυτοί προτιμάτε να χρησιμοποιούνται μόνο, σε μοτοσυκλέτες χαμηλής ισχύος, σε ταχύπλοα σκάφοι, καθώς και σε πλοία.

Σε αυτό το κεφάλαιο, έγινε αναφορά στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί μια συμβατική μηχανή εσωτερικής καύσεως. Παρότι ο κινητήρας ΜΕΚ είναι πολύ σπουδαία εφεύρεση, κατά τον τελευταίο χρόνο της διαδρομής του εμβόλου, εξέρχονται στην ατμόσφαιρα τα καυσαέρια αυτά που δημιουργούνται και βοηθάνε στο να κινηθεί επί της ουσίας η μηχανή. Στα επόμενα κεφάλαια θα αναφερθούν αναλυτικά, τα προβλήματα που παρουσιάζονται λόγω των καυσαερίων αυτών, τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στην ανθρώπινη και όχι μόνο υγεία, καθώς και τις τεχνολογικές λύσεις που έχουν δώσει οι επιστήμονες των αυτοκινητοβιομηχανιών στο να λυθούν ή έστω να μειωθούν τα προβλήματα αυτά.

### **3.3. Στοιχειομετρική αναλογία μίγματος**

Για να πραγματοποιηθεί τέλεια καύση, πρέπει το καύσιμο να αναμιχθεί σωστά με τον αέρα έτσι ώστε να σχηματιστεί το κατάλληλο μίγμα. Σε μια θεωρητικά τέλεια καύση που θα πραγματοποιήσει ένας κινητήρας ενός αυτοκινήτου, τα προϊόντα καύσης που θα παραχθούν θα είναι διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμοί. Η Στοιχειομετρική αναλογία μίγματος είναι η αναλογία μίγματος σε αέρα και βενζίνη που αντιστοιχεί σε 14.7:1, δηλαδή σε 14.7 κιλά αέρα προς ένα κιλό βενζίνη. Η αναλογία αυτή ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, μπορεί να μεταβληθεί και να αλλάξει. Ανάλογα λοιπόν με την περίπτωση, το μίγμα μπορεί να χαρακτηριστεί σε πλούσιο μίγμα ή φτωχό.

Πλούσιο ονομάζεται ένα μίγμα το οποίο περιέχει αναλογία βενζίνης προς αέρα μεγαλύτερη από αυτή που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μια πλήρη καύση. Παραδείγματος χάρη, ένα μίγμα γίνεται πλουσιότερο κατά την επιτάχυνση ενός κινητήρα έτσι ώστε να μπορέσει να ανταποκριθεί σωστά στην ισχύ που απαιτείται. Επίσης, όταν γίνεται καύση με πλούσιο μίγμα παρουσιάζεται μια αυξημένη κατανάλωση λόγω της ατελούς καύσης.

Φτωχό ονομάζεται ένα μίγμα, το οποίο περιέχει αναλογία βενζίνης προς αέρα μικρότερη από αυτή που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μια πλήρη καύση. Όταν ένα μίγμα είναι φτωχό, παρουσιάζεται μεγαλύτερη κατανάλωση στον κινητήρα εξαιτίας της μεγαλύτερης ποσότητας του θερμού αέρα. Η θερμότητα αυτή εξάγεται στην ατμόσφαιρα από την εξάτμιση του αυτοκινήτου με την μορφή καυσαερίων.

### 3.3.1. Ο λόγος λάμδα ( $\lambda$ )

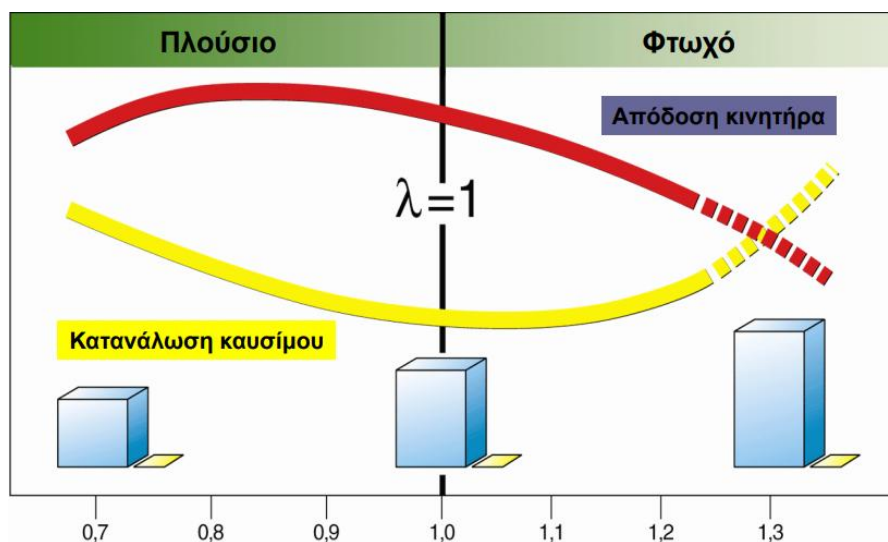
Ο λόγος  $\lambda$  είναι το αποτέλεσμα του κλάσματος: πραγματικός απαιτούμενος αέρας προς τον θεωρητικά απαιτούμενο. Όταν το αποτέλεσμα του λόγου αυτού ισούται με ένα ή περίπου με ένα ή αναλογία του μίγματος είναι Στοιχειομετρική. Υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις όταν:

- $\lambda=1$
- $\lambda>1$
- $\lambda<1$
- $\lambda>1.3$

Όταν ο λόγος  $\lambda$  είναι μεγαλύτερος από 1, αυτό σημαίνει ότι είναι μεγάλη η ποσότητα εισερχόμενου αέρα, άρα το μίγμα θα είναι φτωχό, με αποτέλεσμα την μειωμένη απόδοση του κινητήρα.

Όταν ο λόγος  $\lambda$  είναι μικρότερος από 1, αυτό σημαίνει ότι είναι λιγότερη η ποσότητα του εισερχόμενου αέρα, άρα το μίγμα θα είναι πλούσιο, με αποτέλεσμα την αυξημένη απόδοση του κινητήρα.

Τέλος όταν ο λόγος  $\lambda$  είναι μεγαλύτερος από 1.3, αυτό σημαίνει ότι το μίγμα είναι τόσο φτωχό που δεν μπορεί να είναι αναφλέξιμο.



**Εικόνα 3.11.** Στοιχειομετρική αναλογία αέρα/μίγματος. Όταν ο συντελεστής  $\lambda=1$ , τότε υπάρχει ισορροπία στην απόδοση του κινητήρα και στην κατανάλωση καυσίμου (Φατσης).

Όπως θα αναλυθεί και στο κεφάλαιο 5, η στοιχειομετρική αναλογία του μίγματος είναι πολύ σημαντικός παράγοντας όχι μόνο στην απόδοση του κινητήρα, αλλά και στην εξασφάλιση των μειωμένων ρύπων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Καυσαέρια μηχανών εσωτερικής καύσης

Πλέον είναι κοινά αποδεκτό, ότι υπάρχει μια μεγάλη ανησυχία σχετικά με την ρύπανση του περιβάλλοντος, όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά γενικότερα σε όλο τον κόσμο. Μπορεί η τεχνολογία να έχει ακμάσει και να βοηθάει τους ανθρώπους στην καθημερινότητα, όμως αυτή έχει άμεση σύνδεση με το πρόβλημα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, η οποία έχει τεράστιες επιπτώσεις τόσο στην οικολογία όσο και στον ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα από την έκθεση Ευρωπαϊκού οργανισμού για το περιβάλλον, λέγεται ότι οφείλονται 60.000 θάνατοι ετησίως στην Ευρώπη λόγω της μακροχρόνιας έκθεσης σε ρύπους και 3.000.000 θάνατοι σε παγκόσμιο επίπεδο. Το πρόβλημα αυτό παίρνει τρομακτικές διαστάσεις με την πάροδο του χρόνου, κυρίως όμως σε μεγάλα αστικά κέντρα όπου το πρόβλημα είναι αρκετά συσσωρευμένο, λόγω της πυκνής κατοίκησης πληθυσμού.

Οι πηγές της ρύπανσης είναι κυρίως ανθρωπογενείς και οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Μια από αυτές δραστηριότητες οι οποίες έχουν άμεση σχέση με την ρύπανση του περιβάλλοντος είναι η χρήση των αυτοκινήτων. Σήμερα κυκλοφορούν μόνο στου δρόμους της Ευρώπης εκατομμύρια αυτοκίνητα, προφέροντας μεγάλη άνεση και ευκολία κίνησης στους επιβάτες οι οποίοι τα χρησιμοποιούν. Ταυτόχρονα όμως, λόγω της μεγάλης εξυπηρέτησης που προσφέρει ένα τέτοιο όχημα, αυξάνεται με ραγδαίο ρυθμό ο αριθμός των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν σε όλο τον κόσμο, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται όλο και περισσότερο ο πλανήτης και η παγκόσμια υγεία λόγω των καυσαερίων που εκπέμπονται από αυτά.

Όπως έχει ήδη αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, ένα αυτοκίνητο χρησιμοποιεί κινητήρες εσωτερικής καύσης. Οι κινητήρες αυτοί, χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας ορυκτά καύσιμα. Κατά την καύση των καυσίμων (μίγμα), απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα διάφοροι ρύποι οι οποίοι προκαλούν διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι ρύποι αυτοί χωρίζονται σε δυο σημαντικές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Πρωτογενείς ρύποι
2. Δευτερογενείς ρύποι

Οι πρωτογενείς ρύποι, είναι τα προϊόντα αυτά που υπάρχουν στα καυσαέρια και εξάγονται απευθείας από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Οι δευτερογενείς ρύποι είναι προϊόντα που προκύπτουν από τον μετασχηματισμό ή την αλληλεπίδραση των πρωτογενών εκπομπών. Οι πρωτογενείς ρύποι είναι οι κύριες πραγματικές εκπομπές που είναι υπεύθυνες για την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Οι εκπομπές αυτές είναι οι εξής:

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)
- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)
- Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)
- Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)
- Υδρατμοί (H<sub>2</sub>O)
- Στερεά μικροσωματίδια PM

Αυτές οι πρωτογενείς εκπομπές εκτός των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα, θεωρούνται ρυπαντές. Ρυπαντής, θεωρείται κάθε εκπομπή η οποία είναι επιβλαβής και επικίνδυνη με σοβαρές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα είναι προϊόντα τέλειας καύσης γι' αυτό δεν θεωρούνται ρυπαντές. Όμως η τέλεια καύση είναι δύσκολο να πραγματοποιείται συνέχεια για αυτό δημιουργούνται όλες αυτές οι εκπομπές. Αυτό συμβαίνει λόγω των διαφόρων συνθηκών και διότι μαζί με τον εισερχόμενο ατμοσφαιρικό αέρα στον κινητήρα δεν περιέχεται μόνο οξυγόνο αλλά και άζωτο, χάρης στο οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί ατελή καύση.

Το άζωτο είναι ένα μη δηλητηριώδες αέριο. Αποτελεί κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας με ποσοστό 78%. Το μεγαλύτερο μέρος του, εξάγεται με τα καυσαέρια σε καθαρή μορφή, ενώ ένα πολύ μικρό του μέρος ενώνεται με το οξυγόνο και σχηματίζει οξείδια του αζώτου (Καπετανάκης et al, 2003).

## **4.1. Καυσαέρια και ρυπαντές**

### **4.1.1. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένας πρωτογενής ρυπαντής. Είναι ένα αέριο το οποίο, είναι άχρωμο και άοσμο. Επειδή το βάρος του ρυπαντή αυτού είναι περίπου ίσο με αυτό του αέρα και επειδή έχει μεγάλο συντελεστή διάχυσης, το μονοξείδιο του άνθρακα διαχέεται και απλώνεται με γρήγορους ρυθμούς σε όλα τα ύψη του χώρου. Παράγεται

κυρίως από ατελή καύση, κυρίως λόγω έλλειψης οξυγόνου στον θάλαμο καύσης, δηλαδή όταν το μίγμα είναι πλούσιο. Όμως ακόμα και όταν το μίγμα είναι φτωχό, δηλαδή όταν υπάρχει μεγαλύτερη αναλογία οξυγόνου σε σχέση με το καύσιμο, παράγεται και πάλι μονοξείδιο του άνθρακα και οι λόγοι είναι οι εξής:

- Λόγω της εισαγωγής μεγαλύτερης ποσότητας οξυγόνου στον χώρο καύσης, έχει ως αποτέλεσμα το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), να μετατραπεί σε ένα μεγάλο ποσοστό σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), λόγω της οξειδωσης. Επίσης λόγω της ανομοιογενούς διανομής του καυσίμου στον χώρο καύσης, πραγματοποιείται ανομοιόμορφη καύση του μίγματος με αποτέλεσμα την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα.
- Τέλος όταν η θερμοκρασία στα τοιχώματα των κυλίνδρων είναι σχετικά χαμηλή, πραγματοποιείται ψύξη και η καύση λόγω χαμηλής θερμοκρασίας δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Η φλόγα που δημιουργείτε κατά την καύση στα σημεία αυτά όπου τα τοιχώματα του κυλίνδρου έχουν χαμηλή θερμοκρασία (ζώνες ψύξης) σβήνει, με αποτέλεσμα να διακόπτεται η καύση και να δημιουργείτε μονοξείδιο του άνθρακα.

Όπως φαίνεται η Στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου, παίζει πολύ σημαντικό κομμάτι για την σωστή λειτουργία ενός κινητήρα, που αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μη παραγωγή μεγάλων ποσοστών ρυπαντών όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, όταν η καύση πλησιάζει την “τέλεια” (Καπετανάκης et al, 2003).

#### 4.1.2. Υδρογονάνθρακες (HC)

Οι υδρογονάνθρακες είναι επίσης ένας πρωτογενής ρυπαντής, οι οποίοι είναι στην ουσία άκαυστη βενζίνη (άκαυστοι υδρογονάνθρακες UHC) που δεν λαμβάνει μέρος στην διαδικασία της καύσεως. Θεωρητικά όταν το καύσιμο καεί πλήρως, οι υδρογονάνθρακες δεν δημιουργούνται και δεν εξέρχονται στην ατμόσφαιρα με την μορφή καυσαερίων. Όμως στην πραγματικότητα ακόμα και σε αυτή την περίπτωση εξέρχονται στην ατμόσφαιρα και οι λόγοι είναι οι εξής:

- Κατά το χρονικό σημείο αυτό όπου οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ανοιχτές έτσι ώστε να καθαρίσει ο κύλινδρος (παλάτσο βαλβίδων), ένα μικρό ποσοστό HC εξέρχεται διαμέσου της βαλβίδας εξαγωγής στην ατμόσφαιρα χωρίς αυτό να έχει καεί. Επίσης όταν για κάποιο λόγο το μίγμα γίνει πλούσιο και υπάρχει δηλαδή έλλειψη οξυγόνου, η ανάφλεξη του μίγματος θα είναι κακή με αποτέλεσμα την εκπομπή υδρογονανθράκων.



- Αντιθέτως όταν το μίγμα γίνει φτωχό και πάλι θα εκπέμπονται ποσοστά υδρογονανθράκων από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω της μικρής ποσότητας καυσίμου, η φλόγα που δημιουργείται κατά την καύση θα είναι λιγοστή με αποτέλεσμα το καύσιμο να εξέρχεται από τον χώρο καύσης πριν αυτό προλάβει να καεί πλήρως (Καπετανάκης et al, 2003)

#### **4.1.3. Οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>)**

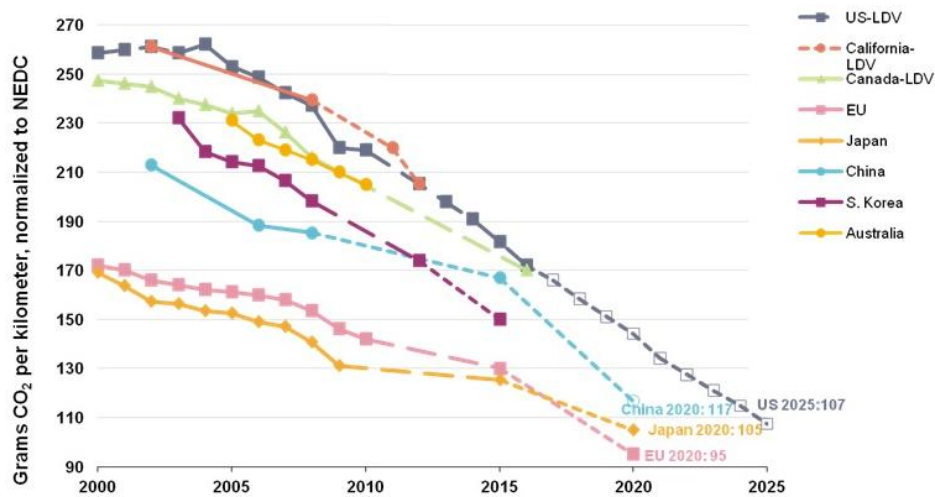
Όπως έχει ήδη προαναφερθεί το άζωτο υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα σε μεγάλα ποσοστά και παρέχεται στον κινητήρα με τον αέρα εισαγωγής. Κατά την διάρκεια της καύσης σχηματίζει χημικές ενώσεις με το οξυγόνο, με αποτέλεσμα της δημιουργίας οξειδίων του αζώτου. Για να δημιουργηθούν όμως οξειδία του αζώτου η θερμοκρασία μέσα στον χώρο καύσης πρέπει να ξεπεράσει τους 1540<sup>0</sup>C, καθώς και να υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση οξυγόνου, δηλαδή το μίγμα να είναι φτωχό. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία στον θάλαμο καύσης ξεπεράσει τους 1800<sup>0</sup>C, το άζωτο μαζί με το οξυγόνο παράγουν το μονοξείδιο του αζώτου το οποίο οξειδώνεται με γρήγορους ρυθμούς από το οξυγόνο και δημιουργείται το διοξείδιο του αζώτου, που αποτελεί έναν από τους πιο επιβλαβείς ρυπαντές.

#### **4.1.4. Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)**

Το διοξείδιο του άνθρακα, είναι ένα αέριο άχρωμο μη δηλητηριώδη και σε μικρές συγκεντρώσεις είναι και άοσμο. Το διοξείδιο του άνθρακα γενικότερα δεν θεωρείται ρυπαντής διότι βρίσκεται στην ατμόσφαιρα από φυσικές πηγές. Όμως η συγκέντρωση του αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Από την αρχή της εκβιομηχάνισης το CO<sub>2</sub> έχει αυξηθεί περίπου κατά 30-35%, κάτι που έχει προκαλέσει σοβαρές ζημιές τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία, όπως θα αναλυθούν και στην συνέχεια. Από την δημιουργία CO<sub>2</sub> λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, το 50% διαλύεται στους ωκεανούς και το υπόλοιπο 50 % πηγαίνει στην ατμόσφαιρα. Η περιεκτικότητα CO<sub>2</sub> σε καυσαέρια μηχανών εσωτερικής καύσης, καθώς και η περιεκτικότητά σε υδρατμούς καθορίζουν την σωστή λειτουργία ενός κινητήρα, δηλαδή την πραγματοποίηση της “τέλειας” καύσης.

Το πρόβλημα της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα δεν προέρχεται μόνο από την χρήση των αυτοκινήτων αλλά και από άλλους παράγοντες οι οποίοι συμβάλουν στην αύξηση αυτή. Στην Ευρώπη σύμφωνα με την ACEA (European Automobile Manufacturers

Association), από το 2004 τα επιβατικά αυτοκίνητα ευθύνονται για το 12% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη, καθώς συνυπολογίζοντας και τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιούν ως μέσο κίνησης κινητήρα εσωτερικής καύσης, είναι υπεύθυνα για το 26% του συνολικού CO<sub>2</sub> στην Ευρώπη.



**Εικόνα 4.1.** Παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από το 2000-2015 και οι μελλοντικοί στόχοι μείωσης του το 2020-2025 (European Automobile Manufacturers Association ACEA, 2017).

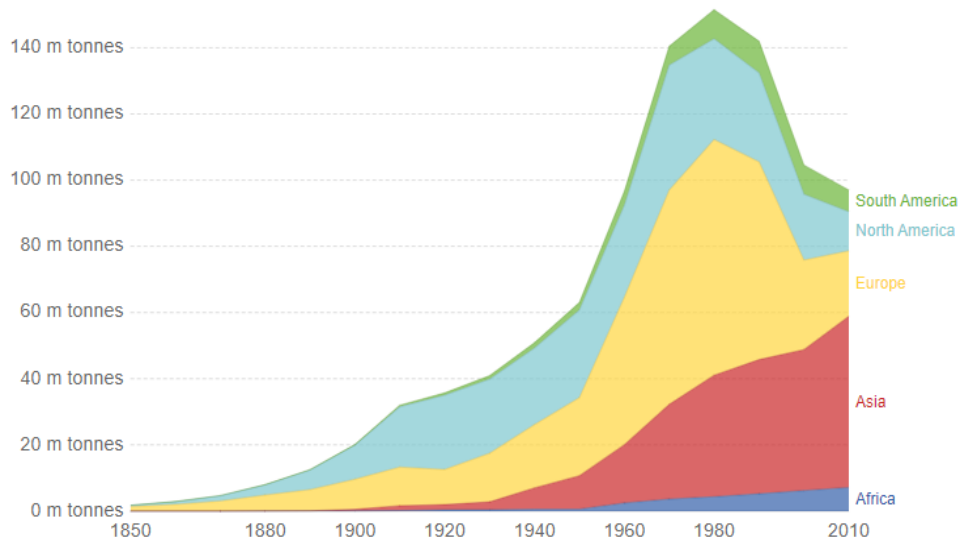
#### 4.1.5. Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του θείου, είναι ένα αέριο άχρωμο με πολύ χαρακτηριστική οσμή, και αποτελεί προϊόν της καύσεως καυσίμων που περιέχουν ποσότητα σε θείο. Επειδή το πετρέλαιο περιέχει ποσότητες σε θείο, κατά την καύση του εκλύει διοξείδιο του θείου σε μικρές όμως ποσότητες.

Τα αυτοκίνητα με πετρελαιοκινητήρες, δεν ευθύνονται σε μεγάλο ποσοστό για το συνολικό SO<sub>2</sub> που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Την κύρια ευθύνη για αυτήν την εκπομπή την έχουν οι βιομηχανίες, που συνήθως χρησιμοποιούν καύσιμα κακής ποιότητας με μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο.

Στην υγρασία που υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα το SO<sub>2</sub> διαλύεται και δημιουργείτε το θειώδες οξύ με χημικό τύπο (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>). Επίσης σε ξηρό αέρα το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>), όπου μετατρέπεται σε θειικό οξύ με χημικό τύπο

( $H_2SO_4$ ), το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο της όξινης βροχής και αποτελεί κύριο της συστατικό. Το διοξείδιο του θείου εκτός από περιβαλλοντικές επιπτώσεις, προκαλεί και σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και αποτελεί πολύ μεγάλο κίνδυνο για το αναπνευστικό σύστημα όπως αναφέρεται παρακάτω.



**Εικόνα 4.2.** Παγκόσμιες εκπομπές  $SO_2$ . Στοιχεία από το 1850-2010 (Our world in Data).

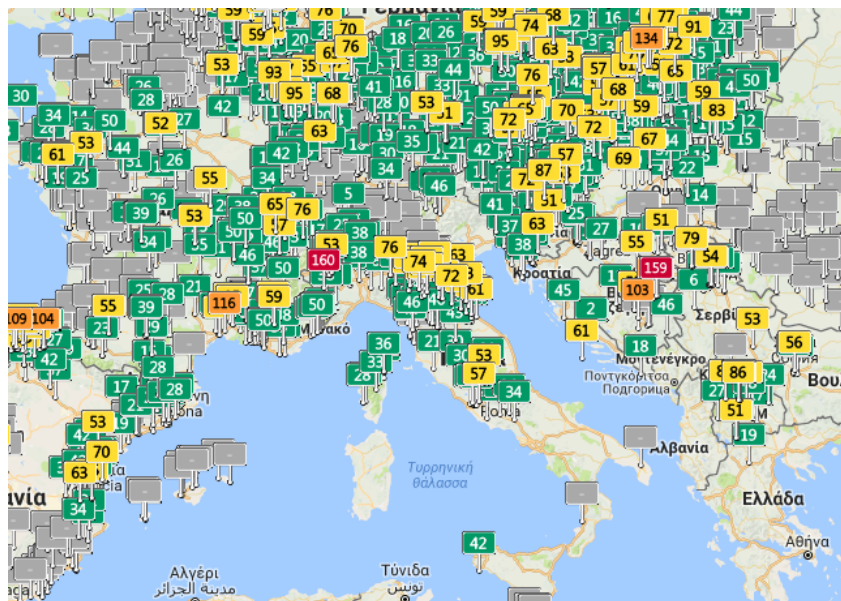
#### 4.1.6. Στερεά σωματίδια (PM)

Ένας πετρελαιοκινητήρας εκτός των αέριων ρύπων, εκπέμπει και στερεά σωματίδια μαζί με τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, τα οποία συνήθως δεν είναι αντιληπτά με το μάτι και είναι σε μορφή σκόνης. Ως αιωρούμενα σωματίδια θεωρείται κάθε σώμα στερεό ή υγρό εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,0002  $\mu m$  και μικρότερη από 500  $\mu m$ . Η νομοθεσία των ΗΠΑ, έχει ορίσει ότι κάθε υλικό που περιλαμβάνεται στα καυσαέρια ως στερεό σώμα ή υγρό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως PM. Τα PM, χωρίζονται σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα σωματίδια. Τα σωματίδια τα οποία η διάμετρός τους είναι κάτω από 2.5  $\mu m$  χαρακτηρίζονται ως λεπτόκοκκα, ενώ τα σωματίδια τα οποία η διάμετρος τους είναι από 2.5-10  $\mu m$ , χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες σωματιδίων τα οποία εκπέμπονται από τους πετρελαιοκινητήρες αυτοκινήτων είναι τα  $PM_{10}$  (σωματίδια με διάμετρο 10  $\mu m$ ) και τα  $PM_{2.5}$  (σωματίδια με διάμετρο 2.5  $\mu m$ ). Τα μικροσωματίδια PM, λέγονται και αλλιώς σωματίδια αιθάλης.

Όταν η καύση είναι ατελής, δηλαδή το μίγμα είναι πλούσιο και δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα οξυγόνου, δημιουργούνται τέτοια σωματίδια. Η δημιουργία των σωματιδίων

αυτών εξαρτάται σε έναν μεγάλο βαθμό από την στοιχειομετρική αναλογία μίγματος σε αέρα και καύσιμο και όσο η καύση παραμένει ατελής, τόσο πιο πολύ εκπέμπονται τα σωματίδια αυτά. Με την πάροδο του χρόνου, έγινε αντιληπτό ότι τα σωματίδια αυτά αποτελούν αόρατο εχθρό για την ανθρώπινη υγεία καθώς προκαλεί πολλές ασθένειες ακόμα και θάνατο (Αρκούλης et al, 2014).

Παρακάτω φαίνεται μια φωτογραφία του 2017 από την ιστοσελίδα air pollution in the world, η οποία δείχνει σε ένα κομμάτι της Ευρώπης την ημερήσια συγκέντρωση  $PM_{2.5}$  στις 15 Αυγούστου του 2017. Το πράσινο χρώμα δηλώνει ότι η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων είναι χαμηλή, ενώ το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο χρώμα, δηλώνουν είναι οι συγκεντρώσεις είναι πολύ υψηλές, ανθυγιεινές και πολύ επικίνδυνες. Οι περιοχές με συγκεντρώσεις χρώματος κίτρινο και πορτοκαλί σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις  $PM_{2.5}$  είναι μέτριες. Όπως φαίνεται στην Ελλάδα, δεν υπάρχουν συγκεντρώσεις γιατί δεν μετρείται η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων αυτών οπότε δεν εμφανίζονται σχετικά στοιχεία.



**Εικόνα 4.3.** Ημερήσιες εκπομπές σωματιδίων  $PM_{2.5}$  και  $PM_{10}$ , σε ένα κομμάτι της Ευρώπης (Air pollution in the world, 2017).

## 4.2. Επιπτώσεις των καυσαερίων στο Περιβάλλον και στην υγεία

Οι ρυπαντές που αναφέρθηκαν παραπάνω αποτελούν επικίνδυνες ουσίες και προκαλούν σοβαρές ζημιές στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Μπορεί τα αυτοκίνητα να εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα αυτούς τους ρύπους, όμως η αλήθεια είναι ότι η βιομηχανία έχει τεράστιο μερίδιο ευθύνης, καθώς τα ποσοστά εκπομπής των ρύπων της είναι πολύ μεγαλύτερα σε σχέση με τα αυτοκίνητα. Η ρύπανση που έχει προκληθεί στην ατμόσφαιρα λεγόμενη και ως ατμοσφαιρική ρύπανση, κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να φτάσει σε τέτοια επίπεδα έτσι ώστε να δημιουργηθούν μη βιώσιμες συνθήκες διαβίωσης. Η ρύπανση και η καταστροφή του περιβάλλοντος ένα κοινωνικό και διεθνές πρόβλημα, διότι δημιουργεί διάφορα κακά φαινόμενα στον πλανήτη με αποτέλεσμα να επηρεάζεται άμεσα και η ανθρώπινη υγεία και όχι μόνο.

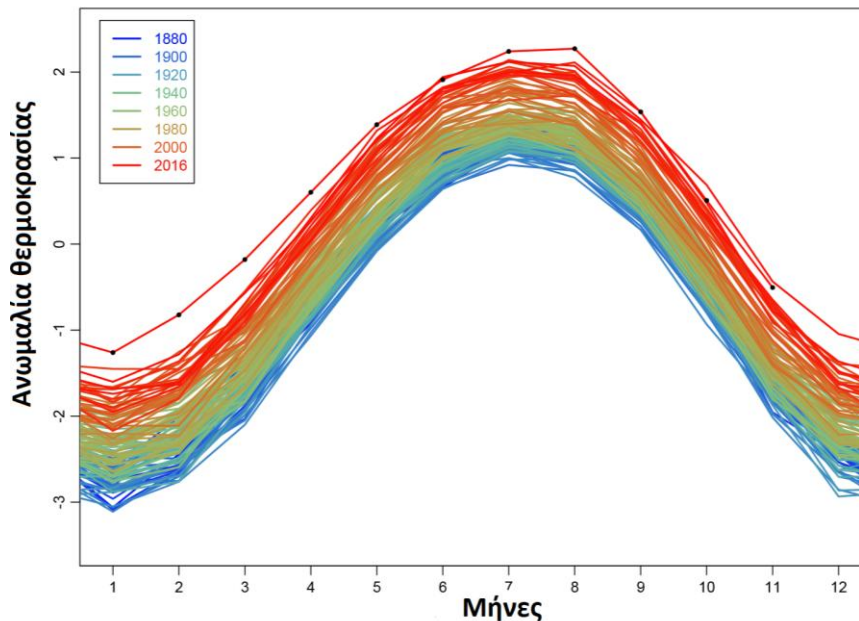
### 4.2.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι ένα φυσικό φαινόμενο τόσο παλιό όσο και ο πλανήτης. Χωρίς την ύπαρξη του φαινομένου η παγκόσμια θερμοκρασία θα ήταν πολύ χαμηλή καθ' όλη την διάρκεια του έτους, με αποτέλεσμα ο πλανήτης να μην ήταν βιώσιμος και να μην υπήρχε ανάπτυξη ζωής.

Όπως είναι γνωστό, ο ήλιος εκπέμπει ακτινοβολία στην γη, την οποία χρειάζεται για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών. Το 51% της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται στην γη, απορροφάτε από την επιφάνεια της και χρησιμοποιείται για την θέρμανση για την τήξη των πάγων. Επίσης απορροφάτε από τα φυτά για την πρόκληση της φωτοσύνθεσης. Από το υπόλοιπο 49%, το 4% επιστρέφει προς το διάστημα, το 26 % ανακλάται πίσω από τα νέφη και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και το 19 % απορροφάτε από τα ατμοσφαιρικά αέρια, σωματίδια και νέφη. Με λίγα λόγια το φαινόμενο αυτό εξυπηρετεί την γη και την καθιστά βιώσιμη και κατοικήσιμη διότι τα επίπεδα θερμότητας γίνονται πολύ ευνοϊκά για τους οργανισμούς.

Όμως το πρόβλημα στο φαινόμενο αυτό είναι η διαρκεί αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα. Το  $\text{CO}_2$  διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα και εγκλωβίζει περισσότερη ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια της γης, αφού την εμποδίζει να επιστραφεί πίσω στο διάστημα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επίσης τα δάση που είναι ένας τρόπος μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα λόγω του ότι απορροφούν ένα μέρος του  $\text{CO}_2$ , καταστρέφονται με μεγάλους ρυθμούς, με αποτέλεσμα η απορρόφηση αυτή να μειώνεται όλο και περισσότερο και τα ποσοστά του  $\text{CO}_2$  να αυξάνονται.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου παίρνει τρομακτικές διαστάσεις, αφού υπάρχει είδη μεγάλη παγκόσμια ανησυχία για την υπερθέρμανση του πλανήτη και ήδη έχουν αρχίσει η πρώτες σοβαρές ζημιές όπως η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, καθώς και η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, λόγω των λιώσιμο των πάγων της ανταρκτική.



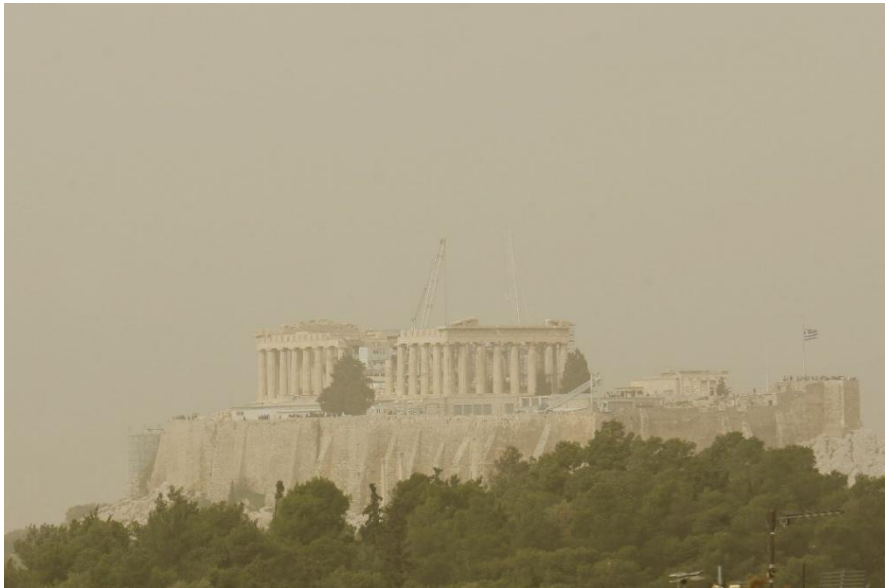
*Εικόνα 4.4. Διάγραμμα που δείχνει την ανωμαλία της θερμοκρασίας σε όλους τους μήνες του χρόνου(χρωματισμένες γραμμές), από το 1880-2016 (Samenow, 2016).*

#### 4.2.2. Φωτοχημικό νέφος

Μια ακόμη μορφή ρύπανσης είναι το φωτοχημικό νέφος, το οποίο εμφανίζεται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές κυρίως σε μεγάλες πόλεις. Για να συμβεί όμως το φαινόμενο αυτό, χρειάζονται και οι κατάλληλες συνθήκες. Στην περιοχή που θα δημιουργηθεί το νέφος αυτό θα πρέπει να παρουσιάζονται υψηλές θερμοκρασίες, χαμηλή υγρασία μεγάλη ηλιοφάνεια και μαζί με τον συνδυασμό και την συσσώρευση αέριων ρύπων δημιουργείται το φωτοχημικό νέφος.

Το φωτοχημικό νέφος, προέρχεται από την υψηλή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα και άλλων δευτερογενών προϊόντων τους. Δημιουργείται κυρίως από την ένωση του ηλιακού φωτός με του ρύπους αυτούς, οι οποίοι είναι απελευθερωμένοι στην ατμόσφαιρα. Όταν τα οξείδια του αζώτου ενωθούν με την ηλιακή ακτινοβολία, παράγεται και ένας δευτερογενείς ρύπος το όζον.

Η δημιουργία του φαινομένου αυτού έχει κυρίως επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Οι ασθένειες που οφείλονται στο φαινόμενο αυτό, είναι κυρίως αναπνευστικές με αποτέλεσμα την δυσκολία αναπνοής, την εμφάνιση βήχα, καθώς επίσης μπορεί να προκαλέσει βρογχίτιδα και άσθμα. Τέλος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το ανοσοποιητικό σύστημα με αποτέλεσμα να εξασθενίσει ο οργανισμός και να γίνει ευάλωτος σε οποιαδήποτε ίωση ή ασθένεια (Καπετανάκης et al, 2003).



*Εικόνα 4.5. Φαινόμενο φωτοχημικού νέφους στο κέντρο της Αθήνας (VORIA.gr, 2016).*

### **4.2.3. Θερμοκρασιακή αναστροφή**

Όσο αυξάνεται η απόσταση από την επιφάνεια της γης, τόσο η θερμοκρασία ελαττώνεται σε κανονικές συνθήκες. Η θερμοκρασιακή αναστροφή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο, όσο αυξάνεται η απόσταση από την επιφάνεια της γης, η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται τοπικά.

Οι αέριοι ρύποι, είναι θερμότερες μάζες από τα στρώματα του αέρα με αποτέλεσμα να ανεβαίνουν προς την ατμόσφαιρα, να ψύχονται λόγω συμπίεσης του αέρα και να διασπώνται ομοιόμορφα. Όταν όμως ο αέρας είναι θερμότερος στα ψηλότερα στρώματα εμποδίζει λόγω μεγαλύτερης πίεσης, τα αέρια να μετακινηθούν προς τα πάνω και έτσι διασπείρονται ανομοιόμορφα. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι να εγκλωβίζονται οι ρυπαντές μεταξύ του εδάφους και του στρώματος της ατμόσφαιρας, προκαλώντας

συνήθως στις μεγάλες πόλεις, ένα νέφος με μεγάλες επιδράσεις στην υγεία προκαλώντας μη βιώσιμες και ιδανικές συνθήκες ζωής.

Το νέφος στην ανθρώπινη υγεία, προκαλεί αναπνευστικές ασθένειες, διάφορες μορφές καρκίνου, καθώς και διαταραχές στο νευρικό σύστημα με αποτέλεσμα την αύξηση του στρες, διαταραχές του ύπνου και άλλων συμπτωμάτων.



*Εικόνα 4.6. Φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής, στο Lochcarron της Σκωτίας (Wikipedia, 2006).*

#### **4.2.4. Όξινη βροχή**

Η βροχή σε κανονικές συνθήκες έχει τιμή PH 5.5–6.5. Όμως σε βιομηχανικές ζώνες και σε μεγάλες πόλεις, το PH της βροχής είναι όξινο και έχει τιμή που κυμαίνεται από 4.2–4.4. Όταν η βροχή έχει όξινο PH, οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την καύση ορυκτών καυσίμων κυρίως της βενζίνης και του πετρελαίου, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ρύποι όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου.

Τα αέρια αυτά, και γενικότερα τα οξείδια αέρια, αντιδρούν με τους υδρατμούς που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και φυσικά την βροχή. Πιο συγκεκριμένα το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του αζώτου, οξειδώνονται σε τριοξείδια, τα οποία θα μετατραπούν σε θειικό και νιτρικό οξύ στην επαφή τους με την υγρασία της ατμόσφαιρας. Έτσι η βροχή σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές χαρακτηρίζεται ως όξινη λόγω των οξέων που περιέχει. Φυσικά για να δημιουργηθεί το φαινόμενο αυτό, χρειάζεται να απελευθερωθούν



στην ατμόσφαιρα πολύ μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του θείου και αζώτου, όπου αυτές οι εκπομπές δεν μπορούν να δημιουργηθούν μόνο από τα αυτοκίνητα. Μπορεί η χρήση των αυτοκινήτων να συμβάλει στο φαινόμενο αυτό όμως η κύρια πηγή ευθύνης είναι οι βαριές βιομηχανίες καθώς και μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού.

Οι επιπτώσεις της όξινης βροχής είναι μεγάλες καθώς επηρεάζει τόσο το περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα όταν δημιουργηθούν τα οξέα στην ατμόσφαιρα λόγω κυρίως του διοξειδίου του θείου, θα επιστρέψουν αυτά μέσω της βροχής στο έδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή των δέντρων λόγω της αυξημένης οξύτητας του χώματος, όπως επίσης και την καταστροφή υδρόβιων οργανισμών που ζουν σε λίμνες, λόγω του ΡΗ που θα αποκτήσουν τα νερά εκείνα. Επίσης η όξινη βροχή, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την υγεία του ανθρώπου, λόγω του ότι εισχωρεί στα υπόγεια ύδατα και αυξάνει την οξύτητα του πόσιμου νερού. Επίσης τα βρώσιμα προϊόντα που αναπτύσσονται στο επίπεδο του εδάφους και στα δέντρα, έρχονται σε επαφή με τα οξέα της βροχής κάτι το οποίο αποτελεί κίνδυνο για την υγεία. Είναι πλέον επιβεβαιωμένο από επιστήμονες ότι, λόγω του φαινομένου αυτού, μπορεί να δημιουργηθούν διάφορες μορφές καρκίνου, καθώς και αναπνευστικά προβλήματα σε ανθρώπους που έχουν άσθμα ή προδιάθεση στο άσθμα (United states Environmental Protection Agency EPA).

Τέλος η όξινη βροχή, παρουσιάζει διαβρωτικές ικανότητες κάτι το οποίο αποτελεί απειλή για τα κτήρια και κυρίως για τα μνημεία. Τα ιστορικά μνημεία που είναι κατασκευασμένα συνήθως από μάρμαρο καταστρέφονται επειδή, τα οξείδια του θείου και του αζώτου που υπάρχουν στην βροχή αντιδρούν με τις ενώσεις ασβεστίου που υπάρχουν στα μάρμαρα με αποτέλεσμα να τα αλλοιώνουν. Το γεγονός συμβαίνει και με τα μνημεία της Ελλάδας, όπως στον Παρθενώνα, ο οποίος πλέον έχει λάβει μέτρα προστασίας.



*Εικόνα 4.7. Αλλοίωση μαρμάρινου αγάλματος στο κάστρο της περιοχής Westphalia της Γερμανίας, από το φαινόμενο της όξινης βροχής.*

#### 4.2.5. Αιωρούμενα σωματίδια και επιπτώσεις

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μια μορφή ρύπανσης, η οποία εκπέμπεται από τους πετρελαιοκινητήρες των αυτοκινήτων και γενικότερα από όσες μηχανές χρησιμοποιούν ως καύσιμο diesel. Θεωρείται ένας ρύπος πολύ επικίνδυνος, καθώς αποτελεί προτεραιότητα για όλους τους φορείς που ασχολούνται με την προστασία της ανθρώπινης και υγείας και του περιβάλλοντος. Τα μικροσωματίδια αυτά, έχουν αρνητικές επιπτώσεις κυρίως στην ανθρώπινη υγεία, καθώς μπορεί να προκαλέσουν:

- Παθήσεις στο αναπνευστικό σύστημα, διότι μπορούν με ευκολία να εισχωρήσουν λόγω της πολύς μικρής διαμέτρου τους.
- Προκαλούν αύξηση πιθανότητας θανάτου από καρκίνο, κυρίως των πνευμόνων.
- Προκαλεί καρδιοαγγειακές παθήσεις.
- Μειώνουν το προσδόκιμο ζωής κατά πολύ καιρό.
- Μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά εγκεφαλικά επεισόδια.
- Δημιουργούν άσθμα (κυρίως σε άτομα που έχουν προδιάθεση).

Σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες της COMEAP (Committee On the Medical Effects of Air Pollutants), στην Βρετανία τα μικροσωματίδια  $PM_{10}$ , ευθύνονταν για πάνω από 8.000 πρόωρους θανάτους και πάνω από 10,000 έκτακτες εισαγωγές ασθενών σε νοσοκομεία ετησίως. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας (WHO), σύμφωνα με έρευνες που έχει πραγματοποιήσει, δείχνουν πως κάθε φορά που τα  $PM_{10}$  ξεπεράσουν την τιμή των  $50 \text{ mg/m}^3$  για μερικές ώρες συνεχόμενα, τότε θα υπάρξουν 4 επιπλέον θάνατοι ανά

εκατομμύριο, σε πληθυσμό ο οποίος είναι εκτεθειμένος σε τέτοιους ρύπους. Το ίδιο επικίνδυνα είναι και τα σωματίδια  $PM_{2.5}$  που κατά την αύξηση τους, μπορεί να επηρεάσουν ιδιαίτερα τον παιδικό πληθυσμό προκαλώντας συμπτώματα βρογχίτιδας και άλλων αναπνευστικών λειτουργιών. Επίσης τα μικροσωματίδια αυτά είναι υπεύθυνα για την αύξηση θανάτων από στεφανιαία νόσο, αφού σύμφωνα με μελέτες τα  $PM_{2.5}$  ευθύνονται για το 9.5% των θανάτων παγκοσμίως από τη νόσο αυτή. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας ο οποίος αφορά τις επιτρεπόμενες ημερήσιες τιμές των  $PM_{2.5}$ , καθώς τις οριακές και τις επικίνδυνες τιμές των σωματιδίων αυτών, οι οποίες προφανώς δημιουργούν όλα αυτά τα προβλήματα υγείας που έχουν αναφερθεί.

*Πίνακας 1. Επίπεδα του δείκτη ποιότητας αέρα μικροσωματιδίων  $PM_{2.5}$*

<b>Δείκτης ποιότητας αέρα</b>	<b>Ημερήσια συγκέντρωση <math>PM_{2.5}</math> (<math>mg/m^3</math>)</b>
Καλός	0 – 12.0
Μέτριος	12.1 – 35.4
Ανθυγιεινός για ευαίσθητες ομάδες	35.5 – 55.4
Ανθυγιεινός	55.5 – 150.4
Πολύ ανθυγιεινός	150.5 – 250.4
Επικίνδυνος	250.5

#### **4.2.6. Τρύπα του όζοντος**

Το όζον όπως έχει αναφερθεί, είναι ένας δευτερογενής ρυπαντής, δηλαδή είναι ένα προϊόν αλληλεπίδρασης μεταξύ των πρωτογενών ρυπαντών που εκπέμπονται από την εξάτμιση των αυτοκινήτων. Γενικότερα, το όζον αποτελεί φίλτρο της υπεριώδους ακτινοβολίας και βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας σαν ένα στρώμα και το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντικό προνόμιο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Όμως το στρώμα αυτό επηρεάζεται από άλλα αέρια/ρύπους, περιορίζεται και μειώνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα να δημιουργείται η τρύπα του όζοντος και να εισέρχεται περισσότερη

ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης. Η υπεριώδη ακτινοβολία χωρίζεται σε 3 είδη, την UV-A, UV-B, και την UV-C, η οποία είναι πολύ επικίνδυνη και απορροφάτε από το όζον που υπάρχει στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Όταν όμως δημιουργείτε η τρύπα του όζοντος, η ακτινοβολία αυτή περνάει στην επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα να:

- Διαπερνάει με ευκολία τον αμφιβληστροειδή του ματιού, με αποτέλεσμα να δημιουργεί καταρράκτη.
- Αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αιτίες για την δημιουργία μελανώματος, η οποία είναι μια θανατηφόρα μορφή καρκίνου.
- Επηρεάζει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, καθώς μπορεί να τους μεταλλάξει και να τους αλλοιώσει το DNA τους.

Η υπεριώδης ακτινοβολία που περνάει και προσκρούει στην γη λόγω της τρύπας του όζοντος, προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και γενικότερα στους ζωντανούς οργανισμούς. Όμως το φαινόμενο αυτό επηρεάζει και το περιβάλλον. Όσο το όζον μειώνεται και δημιουργείται το φαινόμενο αυτό, τόσο πιο πολύ θα περνάει ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης και σε συνδυασμό με το φαινόμενο του θερμοκηπίου πραγματοποιείται υπερθέρμανση του πλανήτη. Ωστόσο η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας είναι πλέον δεδομένη, με ήδη σοβαρές συνέπειες στην οικολογία. Αν συνεχιστούν με αυτό τον ρυθμό οι ανθρώπινες ενέργειες, η θερμοκρασία του πλανήτη θα αυξηθεί πολύ περισσότερο και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο την καταστροφή του περιβάλλοντος, αλλά και την δημιουργία μη βιώσιμου κλίματος για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συστήματα και τεχνολογίες μείωσης ρύπων αυτοκινήτων

Το αυτοκίνητο, αποτελεί για όλους τους ανθρώπους ένα εργαλείο, καθώς εξυπηρετεί στις γρήγορες μετακινήσεις χωρίς κούραση και με μεγάλη άνεση. Όμως τα καύσιμα που χρησιμοποιεί για την κίνηση του, είτε βενζίνη είτε πετρέλαιο, κατά την καύση τους απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα ρύπους, οι οποίοι αποτελούν τεράστιο κίνδυνο τόσο για τον άνθρωπο όσο κι για το περιβάλλον όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Όμως από την συνολική συμμετοχή του αυτοκινήτου στην ρύπανση της ατμόσφαιρας και οι ρύποι που παράγονται από αυτό, δεν εκπέμπονται μόνο από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Στο αυτοκίνητο, υπάρχουν και άλλες πηγές ρύπανσης όπως αναθυμιάσεις της βενζίνης από το δοχείο του καυσίμου, αναθυμιάσεις στον στροφαλοθάλαμο και άλλα. Λόγω όλων αυτών των προβλημάτων και έχοντας οι ανθρωπογενείς ενέργειες επιβαρύνει πολύ τον πλανήτη, κάποιοι άνθρωποι και κάποιες ομάδες ανθρώπων πήραν την πρωτοβουλία, να σχεδιάσουν συστήματα τα οποία θα μπορούν να μειώσουν τους ρύπους των αυτοκινήτων. Σήμερα λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης και λόγω των πιέσεων που δέχονται οι αυτοκινητοβιομηχανίες από τις κυβερνήσεις, τα αυτοκίνητα περιέχουν συστήματα τα οποία μειώνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό του ρύπους, καθώς πλέον τα σύγχρονα αυτοκίνητα χαρακτηρίζονται ως οικολογικά αφού “σέβονται” το περιβάλλον.

### 5.1. Καταλύτες

Ο καταλυτικός μετατροπέας ή αλλιώς καταλύτης, είναι ένα σύστημα το οποίο τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων των αυτοκινήτων και έχει ως στόχο την μετατροπή των αέριων τοξικών ρύπων σε όσο το δυνατόν αβλαβή για την ατμόσφαιρα και τον άνθρωπο αέρια. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται από ορυκτά καύσιμα. Η μετατροπή των ρυπαντών που κάνει ο καταλύτης σε λιγότερα βλαβερά αέρια, πραγματοποιείται μέσω χημικών αντιδράσεων στο εσωτερικό του που θα αναλυθούν στην συνέχεια.

### 5.1.1. Ιστορική αναδρομή καταλυτών

Ιστορικά, το πρώτο ενδιαφέρον για την χρησιμοποίηση των καταλυτικών μετατροπέων, έδειξαν οι ΗΠΑ λόγω του μεγάλου προβλήματος της ρύπανσης που είχε δημιουργηθεί από τις βιομηχανίες αλλά και την ευρεία χρήση οχημάτων. Το σύστημα αυτό, αρχικά επινοήθηκε από τον Γάλλο μηχανικό Eugene Houdry, ο οποίος είχε μετακομίσει το 1930 στην Αμερική. Λόγω του έντονου προβληματισμού του σχετικά με την εκπομπή καυσαερίων και της ρύπανσης του αέρα, ίδρυσε την εταιρεία Oxy-Catalyst η οποία αρχικά κατασκεύαζε καταλύτες για καπνοδόχους και για περονοφόρα οχήματα, τα οποία χρησιμοποιούσαν κακής ποιότητας καύσιμα. Στα μέσα της δεκαετίας του 1950 ο Houdry, είχε αρχίσει να ερευνά και να κατασκευάζει τον πρώτο καταλυτικό μετατροπέα για αυτοκίνητα που χρησιμοποιούσαν βενζινοκινητήρες και για αυτό του αποδόθηκε μια ευρεσιτεχνία από το κράτος των ΗΠΑ. Όμως μέχρι το 1970, οι καταλύτες δεν χρησιμοποιήθηκαν, διότι ο μόλυβδος που χρησιμοποιούνταν στην βενζίνη ως τετρααιθυλιούχος μόλυβδος, δηλητηρίαζε την “συσκευή” αυτή και στην ουσία απενεργοποιούσε την δράση της με αποτέλεσμα να έχει πρόωρη ημερομηνία λήξης ( Science history institute, 2017). Έπειτα οι καταλύτες μελετήθηκαν και αναπτύχθηκαν περισσότερο και από άλλους μηχανικούς και έτσι περίπου στα μέσα της δεκαετίας του 1970, μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η CHRYSLER και η FORD στην Αμερική, εφάρμοσαν στα αυτοκίνητα τους καταλυτικούς μετατροπέες. Στην Ευρώπη η τεχνολογία αυτή άργησε πολύ να έρθει διότι οι κυβερνήσεις των κρατών της πίστευαν, ότι πρέπει να πάρουν τέτοια νομοθετικά μέτρα για την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων έτσι ώστε να μην πληγούν οι αυτοκινητοβιομηχανίες. Η πρώτη παρουσία των καταλυτών στην Ελλάδα έγινε το 1987 και από της αρχές της δεκαετίας του 1990 όλα τα αυτοκίνητα που εισάγονται στην χώρα είναι πλέον καταλυτικά, δηλαδή είναι αυτοκίνητα αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.

Σήμερα οι καταλύτες αποτελούν την πλέον αποτελεσματική τεχνολογική λύση στο πρόβλημα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, που όμως και πάλι δεν εξαλείφει 100% τους ρυπαντές που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα.

Ανάλογα με την λειτουργία τους, οι καταλύτες χωρίζονται σε:

- Οξειδωτικούς ή διοδικούς καταλύτες.
- Αναγωγικούς καταλύτες.
- Καταλύτες διπλής κλίνης.
- Τριοδικούς καταλύτες.

### 5.1.2. Οξειδωτικός ή διοδικός καταλύτης

Ο καταλύτης αυτός ήταν ο πρώτος ο οποίος εφευρέθηκε και χρησιμοποιήθηκε από τις Αμερικάνικες αυτοκινητοβιομηχανίες περίπου το 1973-1974 και είχε αρκετά μεγάλη επιτυχία, σαν την πρώτη τεχνολογία που μείωνε αποτελεσματικά τους ρύπους των αυτοκινήτων. Ο οξειδωτικός καταλύτης είχε την ικανότητα να οξειδώνει – μειώνει το μονοξείδιο του άνθρακα και τους υδρογονάνθρακες κατά 50%, ένα ποσοστό μεγάλο αλλά και αναγκαίο για εκείνη την εποχή. Ο κινητήρας λειτουργούσε με φτωχό μίγμα, δηλαδή η αναλογία αέρα σε σχέση με την βενζίνη ήταν μεγαλύτερη, ενώ συνήθως υπήρχε παροχή επιπρόσθετου αέρα με την τοποθέτηση αντλίας αέρα πριν τον καταλύτη. Όμως λόγω της ανικανότητας τους να μην μειώνουν σχεδόν καθόλου τα οξείδια του αζώτου, που αποτελούν έναν πολύ επικίνδυνο ρύπο, οι διοδικοί καταλύτες, καταργήθηκαν περίπου το 1981 και γρήγορα αντικαταστάθηκαν με άλλους καταλύτες ικανούς να μειώνουν με μεγάλη επιτυχία και τα οξείδια του αζώτου, οι οποίοι θα αναφερθούν στην συνέχεια (Καραμπίλας, 2010).

Οι χημικές αντιδράσεις οξείδωσης που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του διοδικού καταλύτη είναι οι εξής όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 2.** Χημικές αντιδράσεις οξείδωσης που πραγματοποιούνται στον οξειδωτικό καταλύτη.

Αντιδρώντα	Προϊόντα
Μονοξείδιο του άνθρακα + οξυγόνο $2\text{CO} + \text{O}_2$	Διοξείδιο του άνθρακα $2\text{CO}_2$
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες + Οξυγόνο $\text{C}_n\text{H}_m + (n+m/4)\text{O}_2$	Διοξείδιο του άνθρακα + υδρατμοί $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

### 5.1.3. Αναγωγικός καταλύτης

Ο αναγωγικός καταλύτης δεν είναι από μόνος του ένα είδος καταλύτη, αλλά αποτελεί το πρώτο τμήμα ενός καταλύτη διπλής κλίνης και του τριοδικού καταλύτη οι οποίοι θα αναφερθούν στην συνέχεια. Ο εσωτερικός τους μονόλιθος είναι κεραμικός ή και μεταλλικού ελάσματος και το καταλυτικό υλικό για την αναγωγή είναι το Ρόδιο (Rh), το οποίο είναι ευγενή μέταλλο. Στην χημεία γενικότερα αναγωγή, είναι η διάσπαση του οξυγόνου από μια ένωση και στην περίπτωση του αναγωγικού καταλύτη επιτυγχάνεται διάσπαση του οξυγόνου από το μόριο του οξειδίου του αζώτου. Γι' αυτό το τον λόγο ο καταλύτης αυτός πήρε την ονομασία αυτή, διότι αυτό που επιτυγχάνεται στο εσωτερικό του είναι η διάσπαση των οξειδίων του αζώτου σε άζωτο, που αποτελούν έναν πολύ επικίνδυνο ρύπο. Οι χημικές αντιδράσεις αναγωγής που πραγματοποιούνται σε αυτόν τον καταλύτη είναι οι εξής:

*Πίνακας 3. Χημικές αντιδράσεις αναγωγής που πραγματοποιούνται στον αναγωγικό καταλύτη.*

Αντιδρώντα	Προϊόντα
Μονοξείδιο του αζώτου + μονοξείδιο του άνθρακα $2\text{NO} + 2\text{CO}$	Άζωτο + Διοξείδιο του άνθρακα $\text{N}_2 + 2\text{CO}_2$
Μονοξείδιο του αζώτου + Υδρογόνο $2\text{NO} + 2\text{H}_2$	Άζωτο + Υδρατμοί $\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Μονοξείδιο του αζώτου + Άκαυστοι υδρογονάνθρακες $2\text{NO} + \text{C}_n\text{H}_m$	Άζωτο + Διοξείδιο του άνθρακα + Υδρατμοί $\text{N}_2 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



Για να πραγματοποιηθούν σωστά όμως αυτές οι αντιδράσεις, θα πρέπει να μην υπάρχει πολύ οξυγόνο, δηλαδή ο κινητήρας θα πρέπει να λειτουργεί με πλούσιο μείγμα, διότι το οξυγόνο αποτελεί εμπόδιο στην πραγματοποίηση των αντιδράσεων της αναγωγής. Επίσης το μίγμα αερίων μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογόνου και άκαυστων υδρογονανθράκων, θα πρέπει να είναι σε σχετικά μεγάλη ποσότητα για να πραγματοποιηθούν σωστά οι αντιδράσεις αναγωγής. Φυσικά οι παράγοντες αυτοί εξαρτιούνται με το πόσο καλά είναι ρυθμισμένος ο κινητήρας.

#### **5.1.4. Καταλύτης διπλής κλίσης**

Ο καταλύτης διπλής κλίσης, αποτελείται στην ουσία από δυο καταλύτες οι οποίοι βρίσκονται σε σειρά. Παλαιότερα ήταν δυο ξεχωριστοί καταλύτες σε σειρά στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, ενώ αργότερα ενώθηκαν στο ίδιο κέλυφος όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.1 παρακάτω. Στο πρώτο τμήμα του τοποθετείται ένας αναγωγικός καταλύτης ο οποίος χρησιμοποιείται για την διάσπαση των οξειδίων του αζώτου και στο δεύτερο τμήμα, τοποθετείται ένας οξειδωτικός καταλύτης για την οξείδωση των άκαυστων υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα. Ανάμεσα στο πρώτο και το δεύτερο τμήμα, υπάρχει ένα κενό στο οποίο καταλήγει επιπρόσθετος αέρας μέσω μιας αντλίας αέρα.

Τα καυσαέρια που εξάγονται από τον χώρο καύσης, διέρχονται αρχικά στο πρώτο τμήμα του καταλύτη δηλαδή στον αναγωγικό καταλύτη όπου πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις αναγωγής, καθώς επιτυγχάνεται και μια μικρή και μη επαρκή οξείδωση των HC και CO. Για τον λόγο αυτό, τα καυσαέρια έπειτα διέρχονται στο δεύτερο τμήμα όπου εκεί ο οξειδωτικός καταλύτης θα πραγματοποιήσει χημικές αντιδράσεις οξείδωσης με αποτέλεσμα την οξείδωση των ρυπογόνων αερίων. Βέβαια όπως ήδη έχει αναφερθεί, για την οξείδωση των αερίων αυτών απαιτείται επαρκή ποσότητα οξυγόνου και γι αυτό τον λόγο τοποθετείται μια επιπλέον παροχή αέρα από αεραντλία για την σωστή και ικανοποιητική ποσότητα αέρα που χρειάζεται η χημική αντίδραση αυτή.

Στις αρχές της εφεύρεσης του αναγωγικού καταλύτη ως καταλυτικό υλικό χρησιμοποιούνταν το ρουθίνιο (Ru). Το υλικό αυτό κάτω από πολύ μεγάλες θερμοκρασίες και συνθήκες οξείδωσης, σχημάτιζε πτητικά οξείδια κάτι το οποίο δεν ήταν επιθυμητό. Για

την σταθεροποίηση του έγιναν προσμίξεις του στοιχείου αυτού με άλλα μεικτά οξείδια, με αποτέλεσμα την εντέλει καλή λειτουργία του αναγωγικού καταλύτη ως προς την αναγωγή των  $\text{NO}_x$ , αλλά ένα μεγάλο μειονέκτημα ήταν η δημιουργία αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ). Αργότερα το ρουθίνιο αντικαταστάθηκε από το παλλάδιο (Pd) και τον λευκόχρυσο (Pt). Το πρόβλημα όμως και πάλι ήταν η δημιουργία  $\text{NH}_3$ , όπου κατά την είσοδο των καυσαερίων στο δεύτερο τμήμα του καταλύτη, δηλαδή πριν την είσοδο των καυσαερίων στον οξειδωτικό καταλύτη, η αμμωνία μετατρέπεται πάλι σε οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ). Αργότερα την οριστική λύση στο πρόβλημα που παρουσίαζαν τα προηγούμενα καταλυτικά, την έδωσε το ρόδιο (Rh).

Τέλος είχε παρατηρηθεί ότι, όσο ο λόγος αέρα/καυσίμου γινόταν στοιχειομετρικός, τόσο πιο πολύ αποτελεσματικοί ήταν οι καταλύτες, ως προς την εξουδετέρωση των επιβλαβών ρύπων. Έτσι την θέση του καταλύτη διπλής κλίνης, την αντικατέστησε ο τριοδικός καταλύτης ο οποίος με την εφαρμογή του αισθητήρα λ ο οποίος θα αναλυθεί στην συνέχεια, μπορεί να κρατήσει σταθερή την αναλογία αέρα/καυσίμου.



*Εικόνα 5.1. Καταλύτης διπλής κλίνης-διοδικός, με ενδιάμεσο επιπρόσθετο αέρα (PRO Import Tuners).*

### 5.1.5. Τριοδικός καταλύτης

Με την πάροδο του χρόνου, οι απαιτήσεις για την βελτίωση των εκπεμπόμενων ρύπων έγιναν μεγαλύτερες με αποτέλεσμα από της αρχές του 1990, οι αυτοκινητοβιομηχανίες να χρησιμοποιούν την νέα γενιά καταλυτικών μετατροπέων τους τριοδικούς καταλύτες. Οι καταλύτες αυτοί μέχρι και σήμερα, αποτελούν το επικρατέστερο σύστημα καταλυτών και έχει εφαρμοστεί από όλους σχεδόν τους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Η λειτουργία του,

είναι τα μετατρέπει και τους τρεις επιβλαβείς ρύπους HC, NO<sub>x</sub>, CO σε H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>. Οι σύγχρονοι αυτοί καταλύτες, συνεργάζονται με τον αισθητήρα – λήπτη λ, καθώς η υποστήριξη της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου, προετοιμάζει συνεχώς σωστά το μίγμα για να βρίσκεται στα επιθυμητά όρια περίπου δηλαδή σε λ=1. Η συνεργασία του καταλύτη με τον λήπτη λ και την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, αποτελούν ένα κλειστό σύστημα ρύθμισης και έτσι ο καταλύτης ονομάζεται ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης. Αντιθέτως οι καταλύτες οι οποίοι δεν χρησιμοποιούν αισθητήρα λ αποτελούν ένα ανοικτό σύστημα ρύθμισης και ονομάζονται τριοδικοί αρρυθμιστοι καταλύτες.

Ο αρρυθμιστος τριοδικός καταλύτης είχε την ικανότητα να μειώνει τους 3 επιβλαβέστερους ρύπους HC, NO<sub>x</sub>, και CO κατά 50% περίπου. Οι καταλύτες αυτοί δεν λειτουργούσαν με ακρίβεια στην περιοχή του λ=1, αλλά στην περιοχή με λ από 0.9 – 1.1, λόγω της απώλειας του αισθητήρα λ. Για τον λόγο αυτό οι αυτοκινητοβιομηχανίες προτίμησαν άλλες λύσεις με καλύτερες αποδόσεις ως προς του ρύπους και πολύ γρήγορα ο καταλύτης αυτός αντικαταστάθηκε με τον ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη. Ο ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης, έχει την ικανότητα να μειώνει κατά 90 – 95% τους τρεις βλαβερούς ρυπαντές CO, HC, NO<sub>x</sub>. Επιτυγχάνει σε σχεδόν μέγιστο ποσοστό, την μείωση των ρυπαντών και είναι μέχρι και σήμερα το καλύτερο σύστημα μείωσης ρύπων για τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Όπως έχει είδη προαναφερθεί, τα αυτοκίνητα που εφοδιάζονται με τον νέο αυτό γενιάς καταλύτη, χαρακτηρίζονται από το κλειστό σύστημα ρύθμισης έγχυσης και προετοιμασίας καυσίμου χρησιμοποιώντας έναν ή ακόμα και δυο λήπτες λ, των οποίων η λειτουργία θα αναφερθεί στην συνέχεια. Έτσι η αποτελεσματικότητα του καταλύτη αυτού, εξαρτάται άμεσα από τις μετρήσεις του αισθητήρα λ, καθώς αυτός εξασφαλίζει την αναλογία αέρα/καυσίμου σε στοιχειομετρικό σημείο ,δηλαδή λ=1. Όταν ο κινητήρας δεν λειτουργεί σε αυτή την ζώνη, παραδείγματος χάρη λειτουργεί με φτωχό μίγμα, οι χημικές αντιδράσεις αναγωγής για τα οξείδια του αζώτου δεν πραγματοποιούνται. Αντιθέτως όταν ο κινητήρας λειτουργεί με περίσσεια καυσίμου, δεν επαρκεί το οξυγόνο για την αποτελεσματικότητα των χημικών αντιδράσεων οξειδωσης. Έτσι το υπολογιστικό κλειστό κύκλωμα, εξισορροπεί συνεχώς την αναλογία του μίγματος μετατρέποντάς την σε στοιχειομετρική, με αποτέλεσμα την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία του ρυθμιζόμενου τριοδικού καταλύτη.



*Εικόνα 5.2. Τριοδικός καταλύτης και η εσωτερική του δομή (motor.ONEHOWTO, 2018).*

### 5.1.6. Δομή καταλυτών

Οι πρώτοι καταλυτικοί μετατροπείς που βγήκαν στο εμπόριο, ήταν αυτοί με τα αντικαθιστώμενα σφαιρίδια, στα οποία εμπεριέχονταν τα ενεργά καταλυτικά συστατικά. Οι καταλύτες αυτοί, ήταν στο εσωτερικό τους γεμάτοι από πολύ μικρά σφαιρίδια διαμέτρου περίπου 1/8 της ίντσας, τα οποία είχαν μια στρώση από καταλυτικά μέταλλα όπως η πλατίνα. Έτσι τα σφαιρίδια αυτά δημιουργούσαν στο εσωτερικό του καταλύτη μια πορώδη μάζα, μέσα από την οποία περνούσαν τα καυσαέρια, όπου τα καταλυτικά υλικά έκαναν τις διάφορες χημικές αντιδράσεις. Όμως το σημαντικό μειονέκτημα των καταλυτών αυτών, ήταν ότι λόγω των μηχανικών καταπονήσεων είχαν μειωμένη ανθεκτικότητα σε τριβή. Αργότερα οι καταλύτες με αυτή την δομή καταργήθηκαν, αφού η πρόοδος στον τομέα της τεχνολογίας, έφερε στο προσκήνιο της νέας γενιάς καταλυτών, τους καταλύτες με κεραμικό μονόλιθο.

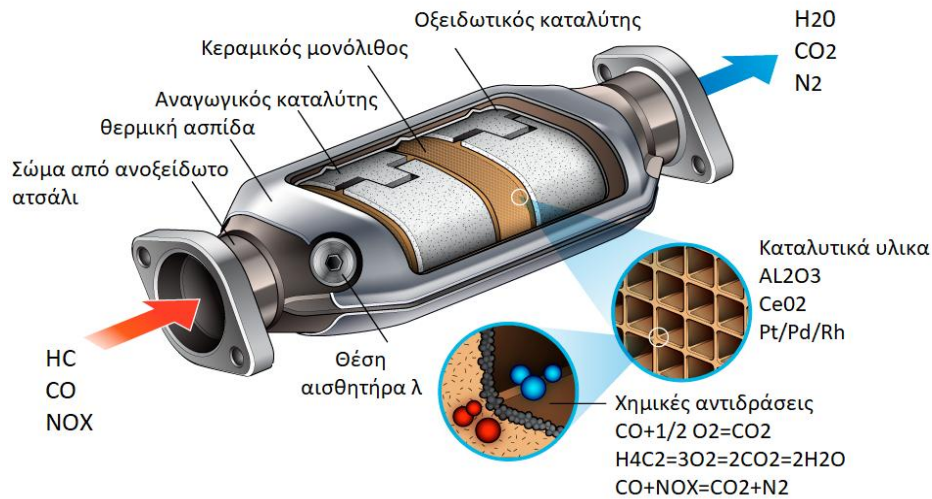
#### 5.1.6.1. Καταλύτες με κεραμικό μονόλιθο

Οι καταλύτες με κεραμικό μονόλιθο είναι πλέον ευρέως γνωστοί, αφού έχουν χρησιμοποιηθεί από τους περισσότερους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Ο μονόλιθος είναι ένα ενιαίο κεραμικό σώμα το οποίο έχει κυψελοειδή μορφή και περιέχει παράλληλα κανάλια διαφόρων διατομών όπως τετραγωνικής, τριγωνικής, κυκλικής, αλλά και

κυλινδρικής. Ο αριθμός των καναλιών είναι μερικές εκατοντάδες, αφού υπολογίζεται ότι σε μια τετραγωνική ίντσα κατά μέσο όρο υπάρχουν πάνω από 200 τέτοια κανάλια ροής καυσαερίων. Το πάχος των τοιχωμάτων αυτών ανέρχεται στα 0.20-0.25mm και είναι αρκετά μειωμένοι σε διαστάσεις από ότι παλιότερα. Λόγω του μειωμένου πάχους των καναλιών αυτών, επιτρέπουν μείωση της αντίθλιψης, αλλά και αύξηση της ισχύος.

Στην επιφάνεια των καναλιών όπου από εκεί κατευθύνονται τα καυσαέρια, είναι εμποτισμένα με μια επίστρωση αλουμίνα, η οποία είναι μια βάση οξειδίου του αλουμινίου με χημικό τύπο ( $Al_2O_3$ ). Η επίστρωση αυτή επιτυγχάνει την αύξηση των χημικών αντιδράσεων. Επίσης τα τοιχώματα καναλιού του κεραμικού μονόλιθου, εκτός από το κεραμικό στρώμα μονόλιθου και την ενδιάμεση επίστρωση – αλουμίνα, αποτελούνται και από την επίστρωση ευγενών μετάλλων. Η επίστρωση αυτή τοποθετείται στην ενδιάμεση επίστρωση και αποτελεί τον κύριο καταλύτη με τον οποίο έρχονται σε επαφή τα καυσαέρια. Τα ευγενή μέταλλα αυτά που χρησιμοποιούνται για τις χημικές αντιδράσεις αναγωγής και οξείδωσης είναι η πλατίνα(Pt), το παλλάδιο(Pd) και το ρόδιο(Rh) τα οποία θα αναλυθούν στην συνέχεια.

Η εξωτερική δομή του καταλύτη αυτού, αποτελείται από το εξωτερικό κέλυφος – μεταλλικό κάλυμμα. Ο κεραμικός μονόλιθος περικλείεται από δυο μισά μεταλλικά τμήματα τα οποία είναι συγκολλημένα μεταξύ τους και τα οποία κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα. Επίσης υπάρχουν και καταλύτες που διαθέτουν σωλήνα παροχής επιπρόσθετου αέρα για την καλύτερη οξείδωση των ρυπαντών. Στην συνέχεια στο κάτω μέρος του καταλύτη, τοποθετείται μια προστατευτική σχάρα, η οποία τον προφυλάσσει από διάφορα χτυπήματα όπως πέτρες, λακκούβες και τα λοιπά. Επίσης οι καταλύτες αυτοί στο επάνω μέρος τους έχουν ενσωματωμένη μια ασπίδα, η οποία τον προφυλάσσει από της υψηλές θερμοκρασίες και ονομάζεται ασπίδα θερμικής προστασίας. Τέλος ο κεραμικός μονόλιθος περικλείεται από μια προστατευτική ψάθα, η οποία τον προστατεύει από τους κραδασμούς καθώς τον μονώνει από το εξωτερικό κέλυφος. Υπάρχουν δυο τύποι προστατευτικής ψάθας, με συρμάτινο πλέγμα και με διαστελλόμενο τάπητα (Καραμπίλας, 2010)



Εικόνα 5.3. Εσωτερική δομή τριοδικού καταλύτη με κεραμικό μονόλιθο (Global Muffler, 2018).

### 5.1.6.2. Καταλύτες με μεταλλικό μονόλιθο

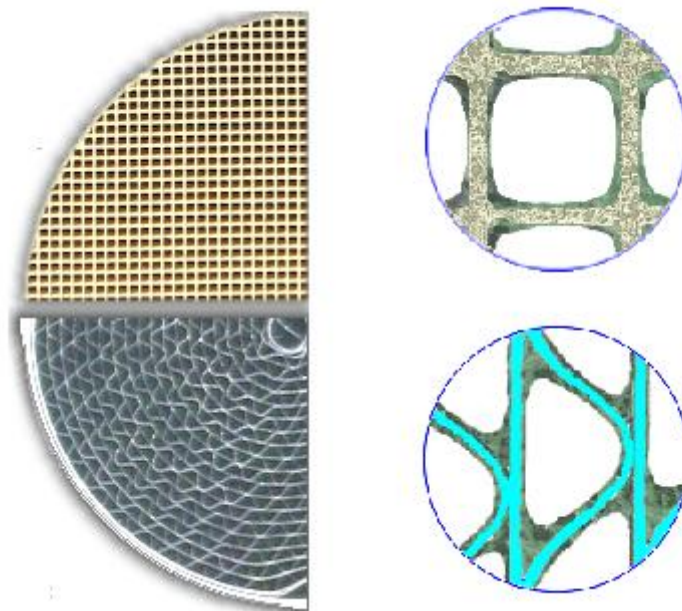
Ο καταλύτης με μεταλλικό μονόλιθο, αποτελεί τον πιο σύγχρονο και επικρατέστερο καταλύτη σήμερα. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε ως προκαταλύτης (βοηθητικός καταλύτης πριν τον κύριο καταλύτη), αλλά στην συνέχεια αντικατάστησε τον ρόλο του κύριου καταλύτη ανεξάρτητα από το υψηλό του κόστος, λόγω των μεγάλων του πλεονεκτημάτων όπως την αντοχή του σε μεγάλες θερμικές καταπονήσεις, σε σχέση με αυτή του κεραμικού μονόλιθου. Ο καταλύτης αυτός, χρησιμοποιείται από πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες κυρίως ως κύριος καταλύτης στα ακριβά τους μοντέλα.

Ο φορέας αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα με μεγάλη αφθονία κυψελών διαφόρων σχημάτων. Ο συνηθέστερος τύπος μεταλλικού μονόλιθου αποτελείται από δυο κυματοειδή ελάσματα, τα οποία τοποθετούνται σε ένα ενδιάμεσο κυκλικό έλασμα. Αποτελούνται από κατάλληλο επεξεργασμένο ανοξείδωτο χάλυβα με προσμίξεις αργιλίου υψηλής αντοχής σε θερμότητα και ανθεκτικότητας σε διάβρωση. Το πάχος των τοιχωμάτων των καναλιών από τα οποία περνάνε τα καυσαέρια, είναι λεπτότερα κατά 25% σε σχέση με του κεραμικού μονόλιθου. Επίσης στον μεταλλικό καταλύτη δεν χρησιμοποιείται ενδιάμεσο εξισωτικό στοιχείο όπως η αντίστοιχη προστατευτική ψάθα στον κεραμικό μονόλιθο.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του μεταλλικού καταλύτη είναι ότι, στις υψηλές θερμοκρασίες η πιθανότητα δημιουργίας τήξης είναι μικρότερη σε σχέση με τους κεραμικούς καταλύτες, διότι το μέταλλο έχει πολύ μεγάλη θερμοαγωγιμότητα και έτσι η

Θερμότητα αποβάλλεται ταχύτερα στο περιβάλλον. Αποτέλεσμα αυτού, είναι ότι ο καταλύτης αυτός έχει μεγαλύτερο προσδόκιμο ζωής από ότι τον κεραμικό. Επίσης ο όγκος του καταλύτη αυτού, είναι κατά 30% μικρότερος από ότι του κεραμικού χωρίς να μειώνεται η καταλυτική του ικανότητα. Επίσης η καταλυτική λειτουργία του είναι πιο άμεση, λόγω της χαμηλής θερμοχωρητικότητας που έχει, με αποτέλεσμα κατά την ψυχρή εκκίνηση να έχει μεγάλη καταλυτική απόδοση.

Τέλος πέρα από το υψηλό του κόστος, μερικά από τα μειονεκτήματα που έχει ο μεταλλικός καταλύτης, είναι ότι παρουσιάζει μικρότερη μηχανική αντοχή σε σχέση με τους κεραμικούς καταλύτες. Αυτό συμβαίνει επειδή τα κυματοειδή ελασμάτινα στρώματα, μπορεί να διαχωριστούν μετά από πολλά χιλιόμετρα που θα κάνει ένα αυτοκίνητο. Επίσης, λόγω της χαμηλής θερμοχωρητικότητας που έχει, μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στην ροή των καυσαερίων επειδή ο μεταλλικός καταλύτης ψύχεται γενικά γρήγορα. Παρόλα αυτά είναι ένας ανθεκτικός καταλύτης και αν μειωθεί με κάποιο τρόπο το κόστος του, όλες οι αυτοκινητοβιομηχανίες θα επιλέξουν για όλα τους τα μοντέλα από τα πιο φτηνά μέχρι τα πιο ακριβά αυτόν τον τύπο καταλύτη (Καραμπίλας, 2010).



**Εικόνα 5.4.** Δομή-μορφή κεραμικού και μεταλλικού μονόλιθου (dieselnet.com, 1998).

### 5.1.7. Καταλυτικές ύλες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ως καταλυτικές ύλες χρησιμοποιούνται ευγενή μέταλλα, τα οποία είναι πολύτιμα και έχουν ορισμένα κοινά φυσικά χαρακτηριστικά, όπως το ότι είναι μαλακά, όλκιμα και έχουν αντοχή στην θέρμανση καθώς και στην διάβρωση. Για να επιλεγθεί ένα μέταλλο ως προτεινόμενο καταλυτικό μέσο, θα πρέπει να έχει μεγάλη δραστικότητα, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία κάνει τις διάφορες χημικές αντιδράσεις να είναι μεγάλη, να παράγει σωστά το επιθυμητό προϊόν, να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς επίσης να έχει και μεγάλη χημειορόφηση. Με το όρο χημειορόφηση, εννοείται η απορρόφηση όλων των αντιδρώντων από τον καταλύτη έτσι ώστε να μην αντιδράσουν μεταξύ τους και δημιουργήσουν ένα μη επιθυμητό προϊόν. Η πιο σημαντική καταλυτική ύλη είναι η πλατίνα(Pt). Η πλατίνα, ανήκει στην ίδια κατηγορία με άλλα πέντε στοιχεία τα οποία είναι το Ρουθήνιο(Ru), το Ρόδιο(Rh), το Παλλάδιο(Pd), το Όσμιο (Os) και το Ιρίδιο (Ir). Τα μέταλλα αυτά έχουν παρόμοιες ιδιότητες μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό ονομάζονται και ως μέταλλα-στοιχεία της ομάδας της πλατίνας, PGEs (Platinum group elements) (Μιχάλης Σ. Παρασκευάς, Αθήνα 2013). Τέλος η πλατίνα(Pt), το παλλάδιο(Pd) και το ρόδιο(Rh), έχουν αποδειχθεί πολύ αποδοτικά για την απομάκρυνση και την μείωση των τριών πιο επιβλαβών ρύπων  $\text{NO}_x$ , CO και HC, καθώς καλύπτουν όλες τις προδιαγραφές που πρέπει να παρουσιάζουν ως καταλυτικές ύλες.

#### 5.1.7.1. Πλατίνα (Pt)

Η πλατίνα ή αλλιώς λευκόχρυσος, είναι ένα χημικό στοιχείο το οποίο είναι σπάνιο, όλκιμο και με ισχυρή λάμψη μέταλλο. Η πλατίνα χρησιμοποιείται κυρίως στους καταλύτες των αυτοκινήτων ως καταλυτική ενεργός ύλη, καθώς και στην κατασκευή κοσμημάτων. Την περίοδο 2005 – 2009, παρήχθησαν παγκοσμίως 1.113 τn λευκόχρυσου, όπου το 45% χρησιμοποιήθηκε για τους καταλύτες αυτοκινήτων. Το μέταλλο αυτό βρίσκεται υπό μορφή νανοσωματιδίων τα οποία είναι διασκορπισμένα στην επιφάνεια των πορώδη τοιχωμάτων των καναλιών του κεραμικού ή του μεταλλικού μονόλιθου. Ο ρόλος του λευκόχρυσου στους καταλύτες είναι, κυρίως για την οξείδωση ρυπαντών, όπως του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των άκαυστων υδρογονανθράκων (HC), με αποτέλεσμα να δημιουργείται διοξείδιο του άνθρακα ως προϊόν των χημικών αντιδράσεων οξείδωσης. Όμως το μέταλλο αυτό, παρουσιάζει μικρή ενεργητικότητα ως προς την αναγωγή των  $\text{NO}_x$ , λόγω του ότι με την ύπαρξη οξυγόνου έχει μειωμένη ικανότητα για την διασπαστική ρόφηση του NO. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται άλλα μέταλλα-καταλυτικά υλικά, για τις χημικές αντιδράσεις αναγωγής των  $\text{NO}_x$  (Matthey, 2007). Επίσης η πλατίνα έχει και άλλα πλεονεκτήματα όπως:



1. Έχει μεγάλο σημείο τήξης και μεγάλη θερμική αντοχή
2. Μπορεί να ανακυκλωθεί εύκολα
3. Οι αλληλεπιδράσεις του με τα δηλητήρια (όπως ενώσεις θείου), περιορίζονται στην επιφάνεια του μετάλλου.

#### 5.1.7.2. Παλλάδιο (Pd)

Το παλλάδιο, θεωρείται ένα ευγενή μέταλλο το οποίο είναι σπάνιο, έχει ασημόγκριζο χρώμα και έντονη μεταλλική λάμψη. Η χρήση του γίνεται συνήθως σε βενζινοκίνητα οχήματα, διότι σε πετρελαιοκινητήρες οι οποίοι ως ενέργεια χρησιμοποιούν καύσιμο πετρέλαιο, περιέχονται σε αυτό μικρές ποσότητες θείου, κάτι το οποίο δηλητηριάζει εύκολα το παλλάδιο. Για τον λόγο αυτό τα πετρελαιοκίνητα οχήματα χρησιμοποιούν ως βασικό καταλυτικό μέταλλο την πλατίνα, η οποία επηρεάζεται λιγότερο, από το θείο το οποίο βρίσκεται στο πετρέλαιο σε σχέση με το παλλάδιο. Σε υψηλές θερμοκρασίες και σε λεπτό διαμερισμό, το παλλάδιο έχει την ικανότητα να απορροφάει το υδρογόνο, όπου αυτό ενώνεται με το οξυγόνο με αποτέλεσμα τον σχηματισμό υδρατμών. Έτσι το μέταλλο αυτό χρησιμοποιείται με επιτυχία για την επίτευξη χημικών αντιδράσεων οξειδωσης των CO και των HC. Τέλος το παλλάδιο βρίσκει εφαρμογή πέρα από τους καταλύτες, σε ηλεκτρονικές συσκευές, στην οδοντιατρική καθώς επίσης και στα κοσμήματα (Παρασκευάς, 2013).

#### 5.1.7.3. Ρόδιο (Rh)

Το ρόδιο προέρχεται από την ελληνική λέξη ρόδο δηλαδή τριαντάφυλλο. Ονομάστηκε έτσι διότι, ορισμένα από τα υδατικά διαλύματα αλάτων του έχουν χρώμα ροζ. Είναι ένα ευγενές μέταλλο, σπάνιο, με πάρα πολύ υψηλή τιμή, καθώς θεωρείται ένα από τα πιο ακριβά υλικά σε όλο τον κόσμο. Το Rh, είναι ένα πολύτιμο μέταλλο το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στους καταλύτες και είναι υπεύθυνο για την αναγωγή του NO<sub>x</sub>, καθώς μετατρέπει το NO σε N<sub>2</sub>. Επίσης πέρα από την δυνατότητα του να πραγματοποιεί χημικές αντιδράσεις αναγωγής, συνεισφέρει αποτελεσματικά στην οξείδωση και των δυο άλλων βλαβερών ρύπων των CO και HC. Για τον λόγο αυτό σε ένα τριοδικό καταλύτη βρίσκεται στο πρώτο τμήμα – κλίνη, γιατί μειώνει σημαντικά ταυτόχρονα και τους τρεις ρύπους, ενώ στο δεύτερο τμήμα υπάρχει στην ουσία ένας δεύτερος καταλύτης του οποίου τα καταλυτικά υλικά είναι η πλατίνα ή το παλλάδιο. Επίσης ανάμεσα σε αυτά τα δυο τμήματα υπάρχει επιπρόσθετος αέρας που θα βοηθήσει τον καταλύτη στην αποτελεσματικότητα της οξείδωσης. Τέλος η ανακύκλωση καταλυτών με χρήση αυτού του υλικού, αποτελεί μια πολύ σημαντική πηγή για την ανάκτηση του ροδίου. Το έτος 2007, μετά από την ανακύκλωση των καταλυτών,

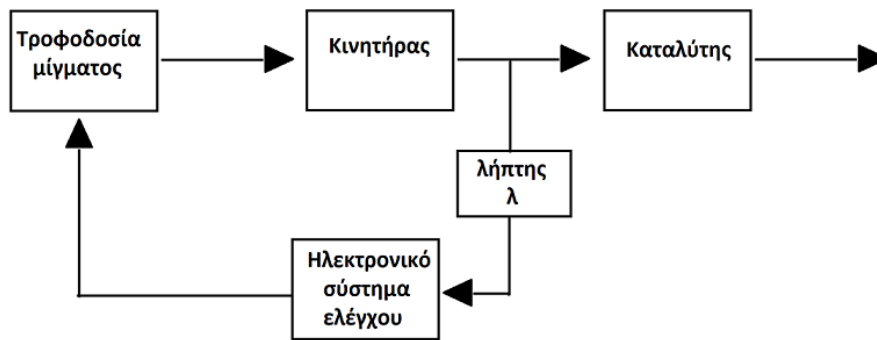
περισυλλέχθηκαν περίπου 5.7 tn ροδίου. Επίσης το μέταλλο αυτό πέρα από τους καταλύτες, βρίσκει εφαρμογή στην βιομηχανία καθώς και στην κατασκευή κοσμημάτων (Παρασκευάς, 2013).

## **5.2. Ηλεκτρονικός έλεγχος συστήματος τριοδικού καταλύτη**

### **5.2.1. Κλειστό σύστημα ρύθμισης ελέγχου καυσαερίων**

Γενικά ρύθμιση, είναι μια διαδικασία κατά την οποία το μέγεθος το οποίο θα τεθεί προς ρύθμιση παρακολουθείται συνεχώς, συγκρίνεται με το επιθυμητό μέγεθος και επηρεάζεται με αποτέλεσμα την εξίσωση του με αυτό. Για να συμβεί όμως αυτό, χρειάζεται το σύστημα να είναι κλειστής ρύθμισης.

Πλέον η εγκατάσταση ενός τριοδικού καταλυτικού μετατροπέα σε ένα σύγχρονο αυτοκίνητο, συνοδεύεται από ένα κλειστό σύστημα βρόγχου, το οποίο περιέχει τον αισθητήρα οξυγόνου και την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του αυτοκινήτου. Με το σύστημα αυτό γίνεται μια συνεχή ανατροφοδότηση - ανάδραση των πληροφοριών που δίνει ο αισθητήρας λ, σχετικά με την ποσότητα οξυγόνου που υπάρχουν στα καυσαέρια. Την πληροφορία που δίνει ο αισθητήρας, την επεξεργάζεται η ΗΜΕ (ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου) και στην συνέχεια επιτυγχάνεται διόρθωση του μίγματος εάν χρειάζεται με ηλεκτρονικό τρόπο. Αποτέλεσμα της ύπαρξης του συστήματος αυτού, είναι η συνεχής διόρθωση του λόγου αέρα/καυσίμου (A/F), με άριστα αποτελέσματα στην μείωση των ρύπων και την διατήρηση της στοιχειομετρικής αναλογίας στο  $\lambda=1$ . Αυτό συμβαίνει διότι ο τριοδικός καταλύτης συμπεριφέρεται άρτια, καθώς μπορεί να λειτουργήσει σχεδόν με το 100% των δυνατοτήτων του όταν το σύστημα ρύθμισης είναι κλειστό.



Εικόνα 5.5. Σχηματικό διάγραμμα κλειστού συστήματος ελέγχου τριοδικού καταλύτη.

### 5.2.2. Κατασκευαστικά μέρη και αρχή λειτουργίας αισθητήρα λ ζιρκονίου

Ο λήπτης λ είναι ένας αισθητήρας με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ο ρόλος του είναι πολύ σημαντικός καθώς ανιχνεύει την συγκέντρωση του οξυγόνου στα καυσαέρια τα οποία εκπέμπονται από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Οι μετρήσεις που κάνει είναι συνεχές, με αποτέλεσμα να στέλνει τις κατάλληλες πληροφορίες στην κεντρική μονάδα ελέγχου του αυτοκινήτου, εάν η περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια που μέτρησε είναι ικανοποιητική ή όχι, και έτσι ο εγκέφαλος προετοιμάζει κατάλληλα το μίγμα έτσι ώστε να είναι όσο πιο στοιχειομετρικό γίνεται. Η περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια σε μεγάλα ποσοστά σημαίνει ότι το μίγμα είναι φτωχό, ενώ η απουσία οξυγόνου σημαίνει ότι το μίγμα είναι πλούσιο. Έτσι ο αισθητήρας αυτός αποτελεί πολύ σημαντικό ρόλο καθώς η πληροφορίες που δίνει στον εγκέφαλο είναι πολύ σημαντικές για την επίτευξη σωστού μίγματος με αποτέλεσμα την σωστή λειτουργία του κινητήρα και την μείωση των ρύπων. Ο λήπτης λ, τοποθετείται στην πολλαπλή εξαγωγής ή πάνω στον καταλύτη πριν την είσοδο των καυσαερίων. Οι δυο πιο διαδεδομένα τύποι αισθητήρων οξυγόνου είναι ο αισθητήρας οξυγόνου διοξειδίου του ζιρκονίου και ο αισθητήρας οξυγόνου διοξειδίου του τιτανίου. Όμως αυτός που χρησιμοποιείται πλέον περισσότερο είναι ο αισθητήρας οξυγόνου διοξειδίου του ζιρκονίου.

Ο αισθητήρας αυτός αποτελεί στην ουσία έναν ηλεκτρολύτη, του οποίου το σώμα του είναι αεροστεγές κεραμικό και το ένα από τα δυο άκρα του είναι κλειστό. Το υλικό το οποίο κατασκευάζεται το σώμα του ηλεκτρολύτη είναι από οξειδίο του Ζιρκονίου ( $ZrO_2$ ), το οποίο σταθεροποιείται με τη βοήθεια ενός οξειδίου του Υτρίου ( $Y_2O_3$ ). Το σώμα του αισθητήρα

καλύπτεται και εσωτερικά και εξωτερικά από ηλεκτρόδια από πορώδες στρώμα πλατίνας. Η πλευρά της πλατίνας η οποία έρχεται αντιμέτωπη με τα καυσαέρια, καλύπτεται από οξειδίο του αργιλίου ( $Al_2O_3$ ), το οποίο αποτελεί ασπίδα προστασίας της πλατίνας από την μόλυνση των καυσαερίων. Το εξωτερικό μέρος του αισθητήρα που έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια, καλύπτεται από έναν αστάλινο σωλήνα ο οποίος τον προστατεύει από μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις. Ο σχεδιασμός του σωλήνα αυτού φέρει πάνω του αυλακώσεις, όπου μέσα από αυτές οδηγούνται τα καυσαέρια στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Το μέρος του αισθητήρα το οποίο δεν είναι εκτεθειμένο στα καυσαέρια αλλά έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, χρησιμεύει σαν στοιχείο αναφοράς για σύγκριση.

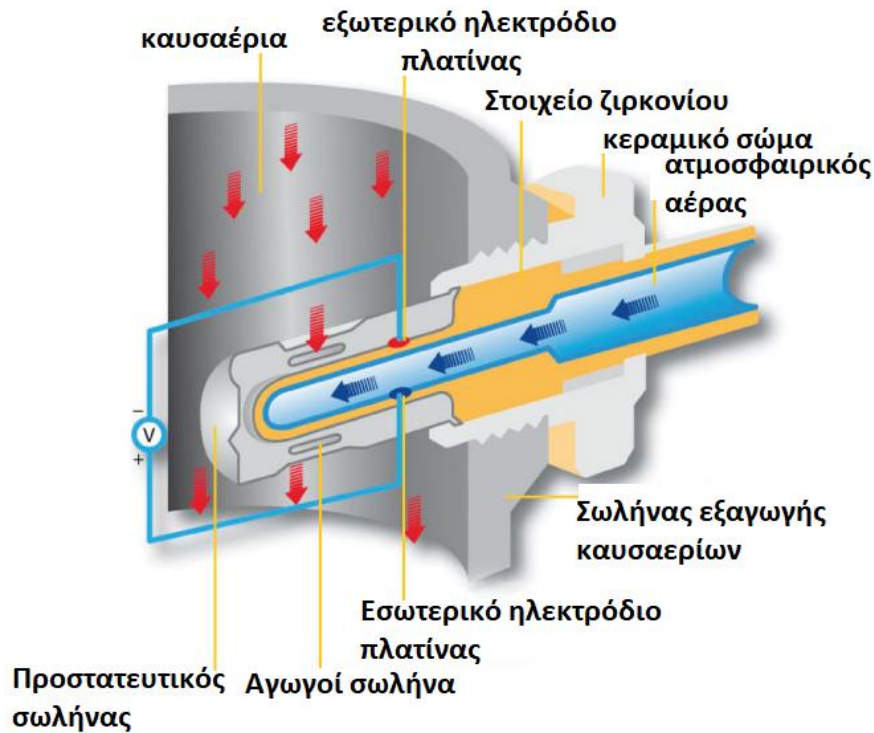
Η αρχή της λειτουργίας του αισθητήρα λ ζirkονίου, βασίζεται στην ανίχνευση τάσης-διαφοράς δυναμικού, μεταξύ 2 ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο εσωτερικό και εξωτερικό περίβλημα του στοιχείου του ζirkονίου. Στο εσωτερικό τμήμα του αισθητήρα (διοξειδίο του ζirkονίου), εισρέει καθαρός ατμοσφαιρικός αέρας, ενώ το εξωτερικό τμήμα έρχεται σε επαφή με τα διερχόμενα καυσαέρια. Η δημιουργία διαφοράς δυναμικού, εξαρτάται τόσο από την διαφορά συγκέντρωσης των ιόντων οξυγόνου των δυο αερίων, όσο και από την αγώγιμη φύση του διοξειδίου του ζirkονίου την οποία παρουσιάζει σε υψηλές θερμοκρασίες. Η θέρμανση του στοιχείου του ζirkονίου, παρέχεται από έναν θερμαντικό αγωγό και έχει ως συνέπεια την αύξηση της κινητικής ενέργειας των ιόντων οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα. Στην υψηλή αυτή θερμοκρασία, το στοιχείο του ζirkονίου επιτρέπει την διέλευση των ιόντων οξυγόνου του καθαρού αέρα από την περιοχή υψηλής συγκέντρωσης ιόντων οξυγόνου (εσωτερική πλευρά ζirkονίου), προς την πλευρά χαμηλής συγκέντρωσης ιόντων οξυγόνου (εξωτερική πλευρά ζirkονίου). Αυτή η ροή ιόντων που περιγράφεται είναι αποτέλεσμα διαφοράς δυναμικού που αναπτύσσεται εξαιτίας της διαφοράς συγκεντρώσεων ιόντων οξυγόνου, στην εσωτερική και εξωτερική πλευρά του στοιχείου του ζirkονίου (Mohammed et al, 2017). Άλλωστε, η συγκεκριμένη τάση περιγράφεται και από τον νόμο του Nernst:

$$E = \frac{RT}{zF} \times \ln \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

Όπου:

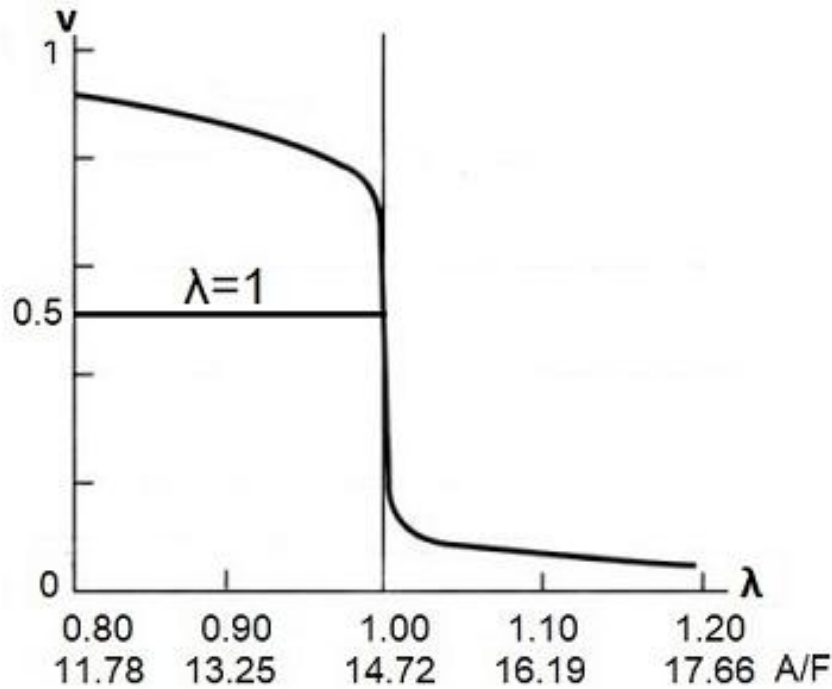
- R, είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων και είναι  $8.314 (j \times mol^{-1} \times k^{-1})$
- F, αριθμός faraday και είναι  $96485.33289 (C \times mol^{-1})$
- $P_{in}$  και  $P_{out}$ , είναι οι συγκεντρώσεις ιόντων σε mol

- Z, το φορτίο ιόντος κατά μήκος μια μεμβράνης



**Εικόνα 5.6.** Κατασκευαστικά μέρη αισθητήρα λ ζιρκονίου, ο οποίος είναι σε τομή. (elektronika.ba, 2018).

Η τάση αυτή που δημιουργείται, μεταφέρεται σαν πληροφορία στην κεντρική μονάδα ελέγχου η οποία με την σειρά της δίνει εντολή – σήμα στα συστήματα τροφοδοσίας για την διόρθωση του μίγματος, έτσι ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο στοιχειομετρικό γίνεται. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας στην έξοδο του αισθητήρα, παράγεται μια τάση – σήμα, η οποία είναι συνάρτηση του λόγου λ. Όταν λοιπόν το μίγμα γίνει φτωχό  $\lambda > 1$ , ο λήπτης λ θα παράγει μια χαμηλή τάση περίπου 100 mV, ενώ όταν το μείγμα είναι πλούσιο  $\lambda < 1$ , ο αισθητήρας παράγει μια υψηλή τάση περίπου 800 mV. Όταν το μίγμα είναι στοιχειομετρικό δηλαδή  $\lambda = 1$ , τότε παράγεται από τον αισθητήρα μια τάση της τάξεως των 400 mV, το οποίο ο εγκέφαλος το αναγνωρίζει ως σήμα σωστής αναλογίας αέρα/καυσίμου (Καραμπίλας, 2010).



**Εικόνα 5.7.** Αναλογικό σήμα-τάση που παράγει ο αισθητήρας  $\lambda$ , ανάλογα με τον χαρακτήρα του μίγματος.

Τέλος, η αγωγιμότητα των ιόντων του οξυγόνου επηρεάζεται άμεσα από την θερμοκρασία του κεραμικού σώματος του αισθητήρα  $\lambda$ . Όπως προαναφέρθηκε ο αισθητήρας αυτός για να λειτουργήσει σωστά, χρειάζονται υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι όταν η θερμοκρασία φτάνει τους 600 °C, ο λήπτης αντιδρά και αποκρίνεται σε χρόνο μικρότερο των 50  $\mu\text{sec}$ . Όπως είναι λογικό κατά την έναρξη ενός κινητήρα και μέχρι την προθέρμανση του, η θερμοκρασία είναι μικρή και αναπτύσσεται σταδιακά, με αποτέλεσμα ο αισθητήρας να μην λειτουργεί σωστά και με ακρίβεια όταν τα καυσαέρια δεν έχουν πιάσει ακόμα υψηλή θερμοκρασία. Γι' αυτόν τον λόγο οι αισθητήρες αυτοί ονομάζονται και θερμαινόμενοι λήπτες, διότι σε αυτούς τοποθετείται μια αντίσταση η οποία συμβάλει στην θέρμανση του κεραμικού υλικού του σώματος όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα από το ξεκίνημα του κινητήρα, περίπου σε 30 – 40 δευτερόλεπτα, η εσωτερική αντίσταση αυτή έχει εξασφαλίζει στον αισθητήρα είδη θερμοκρασίες λειτουργίας με αποτέλεσμα ο λήπτης  $\lambda$  να παίρνει σωστές και αξιόπιστες μετρήσεις κατά την κρύα εκκίνηση του κινητήρα. Η αντίσταση αυτή τροφοδοτείται από την μπαταρία με τάση περίπου 12V.

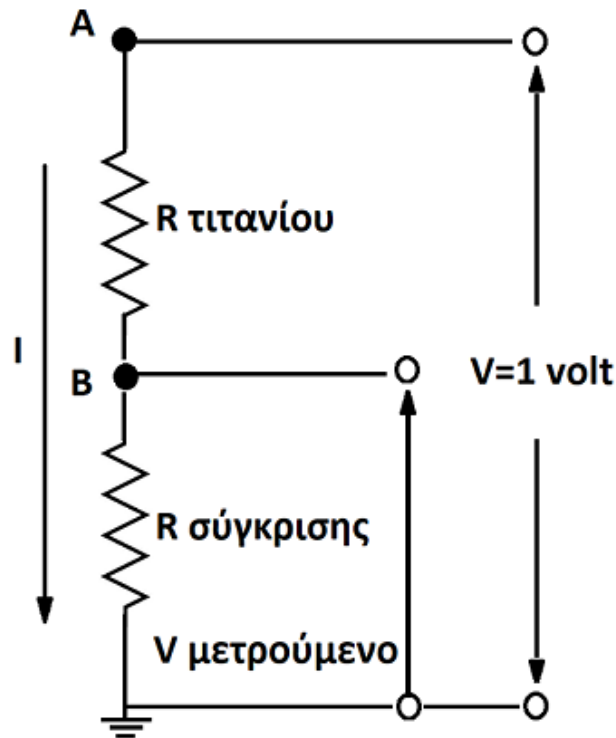
### 5.2.3. Κατασκευαστικά μέρη και αρχή λειτουργίας αισθητήρα λ τιτανίου

Ο αισθητήρας λ τιτανίου, χρησιμοποιείται σε πολύ λίγα αυτοκίνητα που διαθέτουν συστήματα ψεκασμού. Είναι θερμαινόμενος και το αισθητήριο στοιχείο του, είναι από κεραμικό υλικό και καλύπτεται από ένα στρώμα από διοξείδιο του τιτανίου. Αυτός ο τύπος αισθητήρα, δεν παράγει τάση και δεν έχει ως σημείο αναφοράς τον ατμοσφαιρικό αέρα σαν τον αισθητήρα λ ζirkονίου. Αντίθετα τροφοδοτείται με τάση, η οποία προέρχεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, και αυτή η τάση θα συγκριθεί με την τάση που θα στείλει ο αισθητήρας στην ECU. Συνήθως οι αισθητήρες αυτοί στην έξοδο τους έχουν 3 καλώδια. Τα 2 καλώδια χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση τάσης του θερμαντήρα και την γείωση, καθώς το τρίτο χρησιμοποιείται για την μετάδοση της τάσης στην ECU.

Η λειτουργία του στην ουσία, βασίζεται στην αντίσταση του στοιχείου ανίχνευσης (διοξείδιο του τιτανίου), η οποία αλλάζει ανάλογα με την ποσότητα οξυγόνου που υπάρχει στα καυσαέρια. Δηλαδή, το διοξείδιο του τιτανίου παρουσιάζει μια μεγάλη αλλαγή βημάτων αντίστασης ανάλογα με την στοιχειομετρία του μίγματος. Πιο αναλυτικά, το  $TiO_2$  όταν θερμαίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες χάνει προσωρινά από την κρυσταλλική του δομή μια μικρή ποσότητα οξυγόνου, κάνοντας το ελαφρώς αγώγιμο. Αυτές οι κενές θέσεις του κρυσταλλικού πλέγματος του  $TiO_2$ , μπορούν να γεμιστούν από ιόντα οξυγόνου που βρίσκονται στα καυσαέρια ενός φτωχού μίγματος, με αποτέλεσμα το διοξείδιο του τιτανίου να έχει μικρή αγωγιμότητα. Όταν το μίγμα είναι πλούσιο, δηλαδή δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο στα καυσαέρια, οι κενές θέσεις του κρυσταλλικού πλέγματος μένουν κενές, διότι δεν υπάρχουν ελεύθερα ιόντα για να τις γεμίσουν με αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας. Όταν υπάρχει αύξηση της αγωγιμότητας (πλούσιο μίγμα), η αντίσταση του στοιχείου  $TiO_2$  μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της τάσης που ανέρχεται περίπου στα 5 volt. Αντιθέτως όταν υπάρχει μείωση της αγωγιμότητας (φτωχό μίγμα), η αντίσταση του στοιχείου  $TiO_2$  αυξάνεται, με αποτέλεσμα την μείωση της τάσης που ανέρχεται περίπου στα 0.5 volt.

Ο αισθητήρας λ τιτανίου, αποτελεί ένα απλό κύκλωμα το οποίο τροφοδοτείται με μια μικρή τάση 1 volt. Την τάση αυτή την δίνει ο θερμαντήρας, ο οποίος τροφοδοτείται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου με τάση που ανέρχεται στα 5 volt. Ο ρόλος λοιπόν του θερμαντικού στοιχείου του αισθητήρα έχει διπλό σκοπό. Πρώτον για να θερμάνει το στοιχείο του διοξειδίου του τιτανίου έτσι ώστε να λειτουργήσει σωστά και δεύτερον για να τροφοδοτήσει το κύκλωμα του αισθητήρα με τάση. Προηγουμένως έχει αναφορά στο ότι ο αισθητήρας δεν παράγει δική του τάση, αντιθέτως τροφοδοτείται με μία τάση η οποία

συγκρίνεται με την τάση την οποία θα στείλει στην ECU. Παρακάτω φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα του αισθητήρα και αναλύεται το πώς αυτό το κύκλωμα λειτουργεί σε σχέση με την στοιχειομετρική αναλογία μίγματος (tomco-inc, 1994).



Εικόνα 5.8. Σκίτσο κυκλώματος αισθητήρα λ τιτανίου.

Στο κύκλωμα παρουσιάζονται 2 αντιστάσεις. Η αντίσταση του διοξειδίου του τιτανίου η οποία είναι μεταβαλλόμενη ανάλογα με την στοιχειομετρία του καυσίμου, καθώς και μια συγκριτική αντίσταση η οποία έχει σταθερή τιμή. Το κύκλωμα τροφοδοτείται με τάση 1 volt και η αντιστάσεις R τιτανίου και R σύγκρισης είναι σε σειρά, δηλαδή διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Στόχος του κυκλώματος είναι η εύρεση του V μετρούμενου, το οποίο μέσω ενός ηλεκτροδίου με επίστρωση πλατίνας, θα σταλθεί για ανάλυση στην ECU.

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, ισχύει ότι:  $I = \frac{V}{R}$ . Όμως στο συγκεκριμένο κύκλωμα του αισθητήρα, επειδή οι αντιστάσεις είναι σε σειρά και διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα ισχύει ότι:



$$I = \frac{V}{R_{ολ}} \Rightarrow I = \frac{V_A}{R_{ολ}} \Rightarrow I = \frac{V_A}{R_T + R_{\Sigma}}, (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta\ 1)$$

Επίσης εάν εφαρμοστεί ο νόμος του ohm και στις δυο αντιστάσεις ξεχωριστά ισχύει ότι:

$$I = \frac{V_A - V_B}{R_T}, (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta\ 2)$$

$$I = \frac{V_B}{R_{\Sigma}}, (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta\ 3)$$

Από τις σχέσεις 1 και 3 προκύπτει ότι:

$$\frac{V_A}{R_T + R_{\Sigma}} = \frac{V_B}{R_{\Sigma}} \Rightarrow V_B = \frac{R_{\Sigma}}{R_T + R_{\Sigma}} \times V_A, (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta\ 4)$$

Η τάση  $V_B$ , είναι επί της ουσίας η  $V$  μετρούμενη, η τάση δηλαδή που στέλνεται και εξετάζεται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η  $V$  μετρούμενη η αλλιώς  $V_B$ , αλλάζει ανάλογα με την στοιχειομετρία του μίγματος. Υπάρχουν δηλαδή 2 περιπτώσεις αλλαγής του  $V_B$ :

1. Όταν το μίγμα είναι πλούσιο
2. Όταν το μίγμα είναι φτωχό

Για την περίπτωση πλούσιου μίγματος και λόγω του μειωμένου οξυγόνου στα καυσαέρια, η αντίσταση  $R_T$ , είναι πολύ μικρή. Αν υποθετικά ισχύει ότι  $R_T \rightarrow 0$  και  $V_A=1\text{volt}$ , από την σχέση 4 ισχύει ότι:

$$V_B = \frac{R_{\Sigma}}{R_T + R_{\Sigma}} \times V_A \Rightarrow V_B = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \times V_A \Rightarrow V_B = 1\text{volt}$$

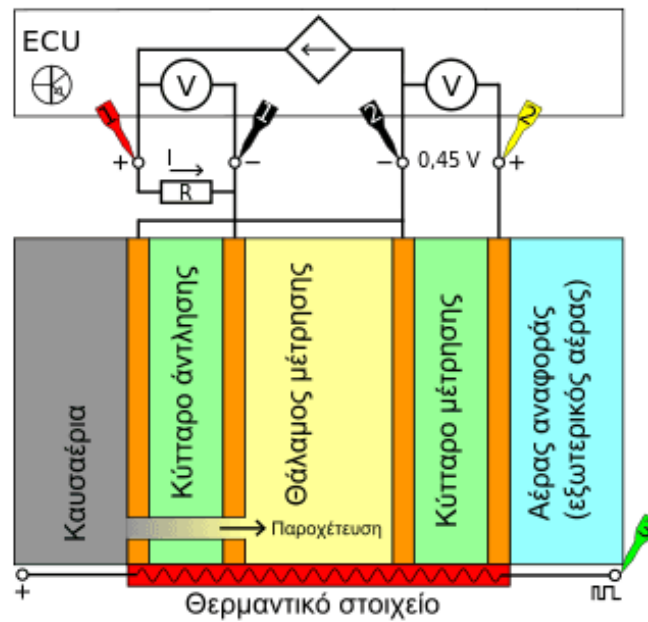
Για την περίπτωση του φτωχού μίγματος και λόγω του αυξημένου οξυγόνου στα καυσαέρια, η αντίσταση  $R_T$  θα μεγαλώσει και θα γίνει πολύ μεγαλύτερη από την  $R_{\Sigma}$ . Αν υποθετικά ισχύει ότι  $R_T \rightarrow \infty$  και  $V_A=1\text{ volt}$ , από την σχέση 4 ισχύει ότι:

$$VB = \frac{R\Sigma}{RT + R\Sigma} \times VA \Rightarrow VB \cong 0volt$$

Συμπερασματικά, όποια και αν είναι η στοιχειομετρική αναλογία του μίγματος, το κύκλωμα του αισθητήρα λ τιτανίου θα στείλει στην ECU την τάση εξόδου VB, η οποία θα μετατραπεί σε σήμα στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια, θα συγκριθεί με την αρχική τάση VA και τέλος το υπολογιστικό σύστημα του εγκεφάλου του αυτοκινήτου θα συγκρίνει και θα αποφασίσει εάν χρειάζεται κάποια διόρθωση στην αναλογία αέρα/καύσιμου, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί όσο το δυνατότερο τέλεια καύση στον θάλαμο καύσης.

#### 5.2.4. Κατασκευαστικά μέρη και αρχή λειτουργίας αισθητήρα λ ευρέως φάσματος

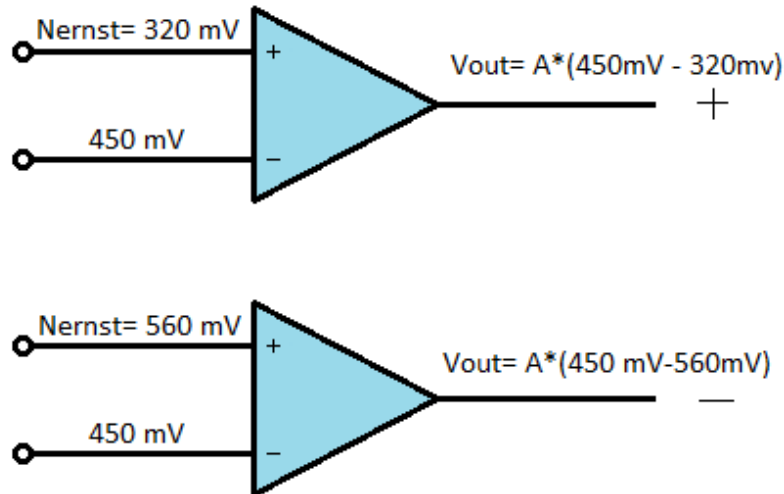
Ένας αισθητήρας λ ευρέως φάσματος, αποτελείται από 3 ξεχωριστά τμήματα. Υπάρχουν 2 τμήματα από κυψελίδες. Η πρώτη, είναι η κυψελίδα άντλησης και η δεύτερη είναι η κυψελίδα του Nernst. Ανάμεσα σε αυτά τα δυο τμήματα, βρίσκεται ο θάλαμος μέτρησης που αποτελεί το τρίτο τμήμα του αισθητήρα. Τα τμήματα των κυψελίδων αποτελούνται από διοξείδιο του ζirkονίου και στις πλευρές τους υπάρχουν ηλεκτρόδια με επίστρωση πλατίνας. Η κυψελίδα άντλησης είναι ένα στοιχείο, το οποίο όταν τεθεί υπό τάση συγκεκριμένης πολικότητας, όταν δηλαδή διαρρέεται από ρεύμα με συγκεκριμένη φορά, έχει την δυνατότητα να απωθεί ή να προσελκύει ιόντα οξυγόνου. Η κυψελίδα του Nernst, έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα στην εξωτερική πλευρά της. Η εσωτερική πλευρά της κυψελίδας αυτής, έρχεται σε επαφή με τα αέρια-καυσαέρια του θαλάμου μετρήσεων. Ο θάλαμος αυτός έχει μια εγκοπή, μέσα από την οποία εισέρχονται καυσαέρια. Ακριβώς όπως και στον αισθητήρα λ ζirkονίου, λόγω διαφοράς συγκέντρωσης ιόντων οξυγόνου μεταξύ του μίγματος του θαλάμου μέτρησης και του ατμοσφαιρικού αέρα αναπτύσσεται τάση Nernst, η οποία μετράται στα ηλεκτρόδια της αντίστοιχης κυψελίδας. Στόχος του αισθητήρα είναι να διατηρήσει την τάση αυτή σταθερή στα 450 mV, τιμή που αντιστοιχεί σε στοιχειομετρία λ=1. Για να το επιτύχει αυτό, η μετρούμενη τάση Nernst οδηγείται ως είσοδος στην μια θύρα εισόδου ενός τελεστικού ενισχυτή, ενώ στην άλλη θύρα παρέχεται σταθερή τάση 450 mV. Ο ενισχυτής υπολογίζει την διαφορά (450 mV-VNernst).



**Εικόνα 5.9.** Κατασκευαστικά μέρη αισθητήρα λ ευρέως φάσματος (TiePie).

Γενικότερα, αν η τιμή τάσης Nernst είναι κάτω από 450 mV, σημαίνει ότι το μίγμα έχει φτωχό χαρακτήρα, ενώ αν η τιμή της τάσης Nernst είναι πάνω από 450 mV, σημαίνει ότι το μίγμα έχει πλούσιο χαρακτήρα. Το σήμα εξόδου του ενισχυτή, οδηγείται σε μια μονάδα ελέγχου, η οποία παράγει ως αποτέλεσμα ένα ρεύμα. Το ρεύμα αυτό, διεγείρει την κυψελίδα άντλησης διαπερνώντας την με μια συγκεκριμένη φορά. Αν η διαφορά 450 mV-Nernst είναι αρνητική, τότε θεωρείται ότι το ρεύμα έχει αρνητική φορά. Αντιθέτως αν η διαφορά (450 mV-V<sub>Nernst</sub>) είναι θετική, τότε θεωρείται ότι το ρεύμα έχει θετική φορά. Σε περίπτωση που το μίγμα είναι φτωχό, η τάση του Nernst είναι μικρότερη από 450 mV, άρα σε αυτή την περίπτωση η έξοδος του ενισχυτή θα έχει θετική τιμή, με αποτέλεσμα να παράγεται ρεύμα θετικής φοράς. Το ρεύμα αυτό, αναγκάζει την κυψελίδα άντλησης να απωθήσει οξυγόνα από τον θάλαμο μέτρησης, καθιστώντας το μίγμα πιο στοιχειομετρικό (στον θάλαμο μέτρησης). Επίσης το ρεύμα αυτό ανιχνεύεται από την ECU, οδηγώντας την στο να αυξήσει τους παλμούς PWM στα μπεκ ψεκασμού, έτσι ώστε το μίγμα να γίνει πιο στοιχειομετρικό. Σε αντίθετη περίπτωση που το μίγμα του θαλάμου είναι πλούσιο, η έξοδος του ενισχυτή θα έχει αρνητική τιμή, με αποτέλεσμα να παράγεται ρεύμα αντίθετης φοράς. Το ρεύμα αυτό θα αναγκάσει την κυψελίδα να αντλήσει ιόντα οξυγόνου από τον σωλήνα εξαγωγής καυσαερίων, προσπαθώντας να δημιουργηθεί όσο τον δυνατόν πιο στοιχειομετρικό μίγμα (στον θάλαμο μέτρησης). Εκ νέου η ECU παρατηρώντας το ρεύμα αυτό, θα μικραίνει τους παλμούς PWM στα μπεκ καυσίμου, έτσι ώστε το μίγμα να γίνει όσο

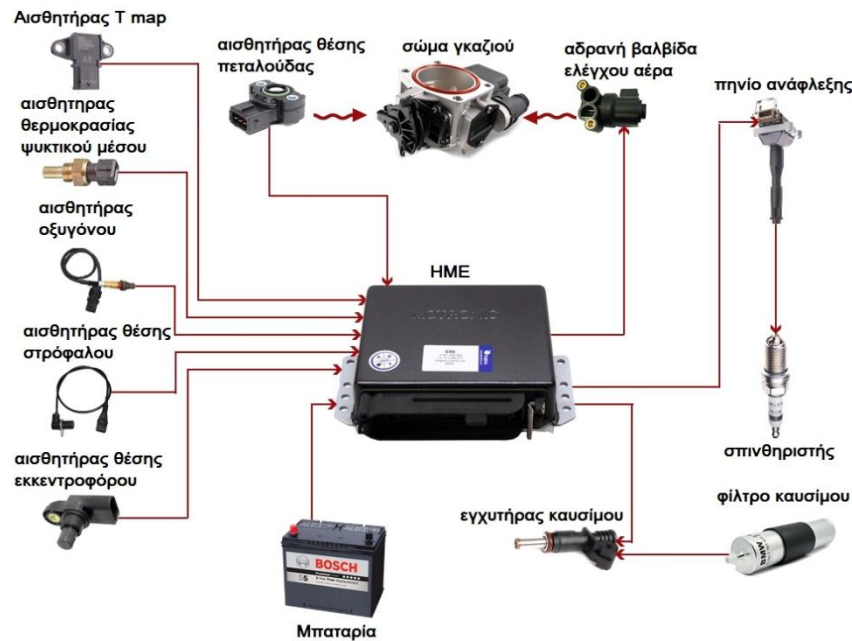
το δυνατόν στοιχειομετρικό. Με λίγα λόγια η κεντρική μονάδα ελέγχου παρακολουθεί συνεχώς το ρεύμα που διαρρέει την κυψελίδα και με βάση αυτό καθορίζει την λειτουργία του συστήματος ψεκασμού, πράττοντας έτσι έναν διαρκεί έλεγχο αλλά και διόρθωση του μίγματος αέρα/καυσίμου.



*Εικόνα 5.10. Τάση εξόδου τελεστικού ενισχυτή, ανάλογα με τον χαρακτήρα του μίγματος (φτωχό ή πλούσιο).*

### 5.2.5. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ECU

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ή αλλιώς εγκέφαλος του αυτοκινήτου, είναι μια ολοκληρωμένη μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή, η οποία ελέγχει όλες τις λειτουργίες των ηλεκτρικών - ηλεκτρονικών συστημάτων του αυτοκινήτου. Η μονάδα αυτή, δέχεται συγχρόνως πολλά σήματα από διάφορους αισθητήρες που υπάρχουν, όπου με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα τα επεξεργάζεται και τα διορθώνει εάν χρειαστεί, με αποτέλεσμα την σωστή λειτουργία όλων των ηλεκτρονικών συστημάτων που συνεργάζονται μαζί της.



**Εικόνα 5.11.** Συνδεσμολογία αισθητηρίων οργάνων και ενεργοποιητών στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (slideshare.net, 2017).

Τα κύρια μέρη τα οποία αποτελείται η κεντρική μονάδα ελέγχου είναι τα εξής:

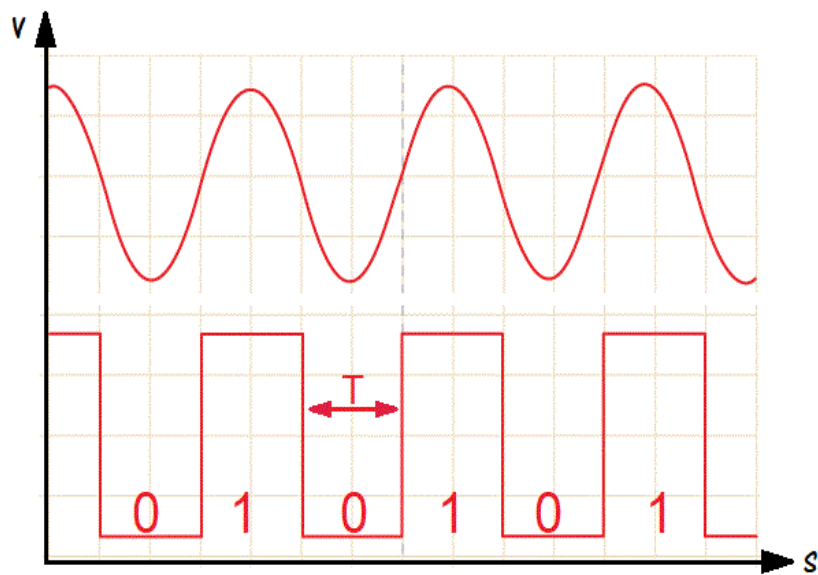
- Το σύστημα εισόδου πληροφοριών
- Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας
- Το σύστημα εξόδου πληροφοριών
- Η μνήμη
- Το τροφοδοτικό της ECU
- Το βοηθητικό πρόγραμμα SOS
- Το σύστημα αυτοδιάγνωσης

### 5.2.5.1. Είσοδοι και έξοδοι πληροφοριών

Τα σήματα τα οποία λαμβάνει η ECU στις θύρες εισόδου, προέρχονται από αισθητήρια όργανα. Οι αισθητήρες που διαθέτει πλέον ένα σύγχρονο αυτοκίνητο είναι πάρα πολλοί, και ένα από αυτούς είναι και ο αισθητήρας οξυγόνου. Το σήμα το οποίο δέχεται ο εγκέφαλος από τον λήπτη λ είναι σε αναλογική μορφή. Έχει ημιτονοειδή μορφή και είναι στην ουσία μια εναλλασσόμενη τάση. Πριν λοιπόν τα σήματα αυτά εισαχθούν στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας ECU μετατρέπονται από αναλογικά σε ψηφιακά (ADC converter), με την βοήθεια ενός ειδικού μετατροπέα I/O interface. Στην συνέχεια το

ψηφιακό ολοκληρωμένο κύκλωμα επεξεργάζεται το ψηποποιημένο σήμα παλμού (PWM) που έχει δημιουργηθεί με το ενσωματωμένο δυαδικό σύστημα αρίθμησης.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα - τσιπ που διαθέτει η κεντρική μονάδα επεξεργασίας, αναγνωρίζουν στις εισόδους τους ηλεκτρικές τάσεις στις οποίες αντιστοιχούν οι τιμές 0 ή 1, OFF ή ON, HIGH ή LOW. Επίσης στην έξοδο ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος, οι τιμές που δίνει είναι πάλι οι τιμές 0 και 1. Οι τιμές αυτές λέγονται λογικές τιμές. Παραδείγματος χάρη, η τάση που αναπτύσσεται από την διαφορά δυναμικού των ηλεκτροδίων του αισθητήρα λ δεν είναι ποτέ σταθερή 100%, καθώς δεν πραγματοποιείται συνέχεια τέλεια καύση. Για το λόγο αυτό ορίζονται μόνο δυο περιοχές τάσης όπου η μία αντιστοιχεί στο λογικό 1 και η άλλη στο λογικό 0. Η τιμή της τάσης ανάμεσα σε αυτές τις περιοχές δεν μπορούν να αναγνωριστούν από το κύκλωμα ως 0 ή 1. Ανάλογα με τον κάθε κατασκευαστή κεντρικών μονάδων ελέγχου οι περιοχές των τάσεων αναγράφονται στα datasheets των εγχειριδίων τους.



**Εικόνα 5.12.** Επεξεργασία αναλογικού σήματος σε ψηφιακό τετραγωνικό παλμό (PWM), που πραγματοποιεί η κεντρική μονάδα ελέγχου.

Πολλά ολοκληρωμένα κυκλώματα αναγνωρίζουν συνήθως στις εισόδους τους ως λογικό 0 τάσεις από 0-1.5 volt και ως λογικό 1 τάσεις από 2.8-5 volt. Παραδείγματος χάρη όταν το μίγμα αέρα/καυσίμου είναι φτωχό ο αισθητήρας παράγει μια μικρή τάση της τάξεως των 100 mV (αισθητήρας λ ζirkονίου), η οποία αντιστοιχεί στο λογικό 0 και όταν το μείγμα είναι πλούσιο, παράγεται από τον αισθητήρα μια μεγαλύτερη τάση 400 mV (αισθητήρας λ

ζηρκονίου), ή οποία αντιστοιχεί στο λογικό 1. Στην συνέχεια το ολοκληρωμένο κύκλωμα, δίνει τις ανάλογες τάσεις στην CPU, η οποία τις επεξεργάζεται, σε συνεργασία με αποθηκευμένες πληροφορίες που υπάρχουν στο σύστημα μνήμης.

Τα σήματα τα οποία βγαίνουν από τον εγκέφαλο έχουν και αυτά ψηφιακή μορφή. Γι αυτό τον λόγο μετατρέπονται κατά την έξοδο τους από ψηφιακά σε αναλογικά, με την βοήθεια του ειδικού μετατροπέα I/O interface, έτσι ώστε να πάρουν πάλι την μορφή μιας αναλογικής εναλλασσόμενης τάσης. Τα σήματα εξόδου προέρχονται από τις κατάλληλες αποφάσεις που πήρε η κεντρική μονάδα επεξεργασίας CPU, έτσι ώστε να διορθωθούν οι οποιεσδήποτε αστοχίες που υπήρχαν σε ένα συγκεκριμένο ηλεκτρονικό σύστημα του αυτοκινήτου (Καραμπίλας, 2010)

Τέλος στις κεντρικές μονάδες ελέγχου των αυτοκινήτων, υπάρχουν βοηθητικά προγράμματα SOS, τα οποία στην ουσία αποτελούν βοηθητικά υποπρογράμματα του εγκεφάλου. Όταν παρουσιαστεί σε έναν αισθητήρα ένα πρόβλημα και αυτός σταματάει να δίνει σήμα στην ECU, τότε αυτή ενεργοποιεί το βοηθητικό πρόγραμμα το οποίο λειτουργεί με τον μέσο όρο των αποθηκευμένων τιμών του αισθητήρα που χάλασε, όποιος και αν είναι αυτός. Αποτέλεσμα του προγράμματος αυτού, είναι να μην σταματάει η λειτουργία του αυτοκινήτου όταν ένας αισθητήρας χαλάσει ή δυσλειτουργεί και η λειτουργία του κινητήρα σταθεροποιείται μέσα σε φυσιολογικά πλαίσια.

#### **5.2.5.2. Πρόγραμμα κεντρικής μονάδας ελέγχου**

Η ECU, είναι μια μονάδα η οποία παρέχει στην είσοδο της pins – θύρες οι οποίες δέχονται τα σήματα από τα αισθητήρια όργανα. Τα σήματα αυτά αποτελούν τα δεδομένα- data, τα οποία ο εγκέφαλος θα τα επεξεργαστεί και αυτή η διαδικασία επεξεργασίας ονομάζεται πρόγραμμα. Η γλώσσα προγραμματισμού στην οποία λειτουργεί ο εγκέφαλος και η οποία χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του χρήστη με την ECU, είναι ο δυαδικός κώδικας.

Γενικότερα οι υπολογιστές και όλα τα ψηφιακά συστήματα, αναγνωρίζουν και υλοποιούν προγράμματα μόνο με δυαδικούς αριθμούς. Για αυτό τον λόγο τα σήματα από τα αισθητήρια μετατρέπονται – κωδικοποιούνται σε ψηφιακά, έτσι ώστε η CPU να καταλάβει τι σημαίνει η κάθε πληροφορία και αντιστοίχως να την επεξεργαστεί και να ενεργήσει αναλόγως. Κάθε δυαδικός αριθμός παριστάνεται από μια σειρά με ψηφία 0 και 1 που ονομάζονται δυαδικά ψηφία ή bits. Η θέση κάθε ψηφίου παριστάνει μια δύναμη του 2. Για να γίνει αναπαράσταση ενός συνόλου  $2^n$  στοιχείων με έναν δυαδικό κώδικα, θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον  $n$  bits για κάθε ένα στοιχείο του συνόλου, αφού το κάθε bit θα

παίρνει μόνο δυο τιμές το 0 και το 1. Έτσι θα πραγματοποιηθούν  $2^n$  δυαδικές καταστάσεις, όπου η κάθε μια από αυτές αντιστοιχεί σε ένα μόνο στοιχείο του υπό κωδικοποίηση συνόλου.

Ένας αριθμός ο οποίος είναι οκταψήφιος δηλαδή έχει οκτώ bits ονομάζεται και byte. Η κάθε θέση μνήμη της κεντρικής μονάδας ελέγχου αποθηκεύει πληροφορίες σε 8 bits. Η χωρητικότητα της μνήμης μετριέται σε Kilobytes, όπου το έναν K ισούται με 1024 bits. Σήμερα λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας του αυτοκινήτου και για να καλυφθούν όλες αυτές οι σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές, οι υπολογιστές των αυτοκινήτων έχουν βελτιωθεί και η χωρητικότητά τους έχει τετραπλασιαστεί σε σχέση με παλαιότερα (Καραμπίλας, 2010).

*Πίνακας 4. Μετατροπή δυαδικού αριθμού στον αντίστοιχο δεκαδικό.*

<b>Δυαδικοί αριθμοί</b>	<b>Δεκαδικοί αριθμοί</b>
<b>0000</b>	<b>0</b>
<b>0001</b>	<b>1</b>
<b>0010</b>	<b>2</b>
<b>0011</b>	<b>3</b>



### 5.3. Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων – EGR

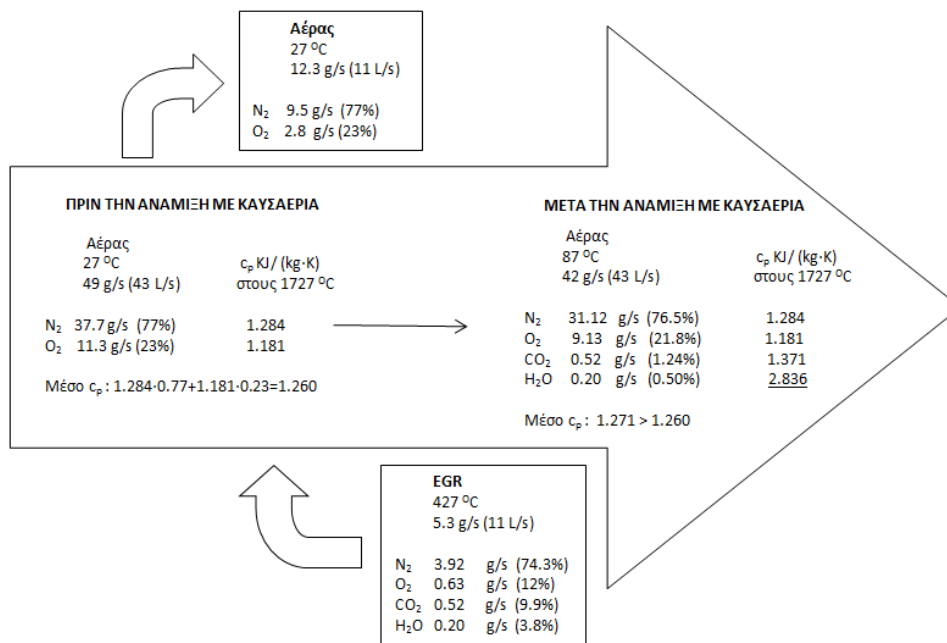
Το σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR), είναι μία τεχνολογία ελέγχου των εκπομπών καυσαερίων, η οποία επιτρέπει σημαντική μείωση στην εκπομπή οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) στους περισσότερους τύπους μηχανών εσωτερικής καύσης (βενζίνη και πετρέλαιο). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανακύκλωσης ενός μέρους των καυσαερίων πίσω στους κυλίνδρους της μηχανής, όπου αναμιγνύονται με το εισερχόμενο ρεύμα αέρα/καυσίμου (Jain et al., 2013).

Τα  $\text{NO}_x$  δημιουργούνται στον θάλαμο καύσης μετά την παρουσία φλόγας, στην περιοχή που επικρατούν υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες πάνω από  $1400^\circ\text{C}$ . Οι βασικοί λόγοι σχηματισμού  $\text{NO}_x$  είναι η υψηλή θερμοκρασία και η διαθεσιμότητα οξυγόνου, ενώ η παραγωγή του είναι μεγαλύτερη σε φτωχά μίγματα σε σχέση με τα πλούσια μίγματα (Jain et al., 2013). Έτσι, οποιαδήποτε διεργασία μειώνει τη μέγιστη θερμοκρασία εντός του κυλίνδρου ή και τη συγκέντρωση οξυγόνου, πετυχαίνει μείωση της παραγωγής  $\text{NO}_x$ . Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η αραίωση του εισερχόμενου μίγματος καυσίμου-αέρα με μη καύσιμο υλικό, όπως τα καυσαέρια, καταφέροντας την απορρόφηση μίας ποσότητας της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την καύση, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά την καύση και κατ' επέκταση τη μείωση των εκπομπών  $\text{NO}_x$ . Πιο συγκεκριμένα, τα καυσαέρια στις μηχανές diesel, εκτοπίζουν ένα μέρος του ατμοσφαιρικού αέρα ενώ στις βενζινομηχανές αναμιγνύεται με το μίγμα αέρα/καυσίμου. Και στις δύο περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι να φτάνει στο θάλαμο καύσης μικρότερη συγκέντρωση οξυγόνου, μειώνοντας έτσι την αναλογία αέρα/καυσίμου, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά τις εκπομπές (Naresh et al., 2015). Επιπλέον, τα καυσαέρια έχουν μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον ατμοσφαιρικό αέρα και έτσι η ανάμιξή τους με το μίγμα εισόδου αυξάνει την θερμοχωρητικότητα αυτού, γεγονός που συντελεί στη μείωση της θερμοκρασίας της φλόγας. Έτσι ο συνδυασμός μείωσης του διαθέσιμου οξυγόνου και της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο θάλαμο καύσης, συντελεί στο μειωμένο σχηματισμό  $\text{NO}_x$ .

#### 5.3.1. Βασικές αρχές λειτουργίας βαλβίδας EGR

Στην εικόνα 5.13, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανακύκλωσης καυσαερίων σε μηχανή diesel με εκτοπισμό αέρα. Καταρχάς φαίνεται ότι τα αέρια, λόγω της θερμοκρασίας στην οποία βρίσκονται, καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο όγκο σε σχέση με τον ατμοσφαιρικό αέρα και έτσι παρότι ο συνολικός όγκος δεν αλλάζει και παραμένει 43 L/s, η συνολική μάζα

που φτάνει στο θάλαμο καύσης είναι μικρότερη αλλοιώνοντας έτσι το λόγω αέρα/καύσιμο. Επιπλέον, λόγω της διάλυσης με τα καυσαέρια, η συνολική % συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται. Τέλος, φαίνεται η αλλαγή της θερμοχωρητικότητας του αέρα, που από μέση θερμοχωρητικότητα 1.26 έγινε 1.27, κυρίως λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας των ατμών. Αυτό σημαίνει ότι, για να ανέβει κατά 1 βαθμό Κέλβιν 1 kg αέρα, απαιτούνται 1270 αντί για 1260 Joule. Έτσι, από τη θερμότητα που θα αποδοθεί κατά την καύση, θα καταναλωθεί περισσότερη ενέργεια για την ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα και τελικά η τελική θερμοκρασία εντός του θαλάμου θα είναι χαμηλότερη.



**Εικόνα 5.13.** Παράδειγμα της επίδρασης της ανακύκλωσης των καυσαερίων, στην θερμοχωρητικότητα του εισερχόμενου αέρα και τη σύσταση του ρεύματος σε μηχανή diesel (Abd-Alla, 2002).

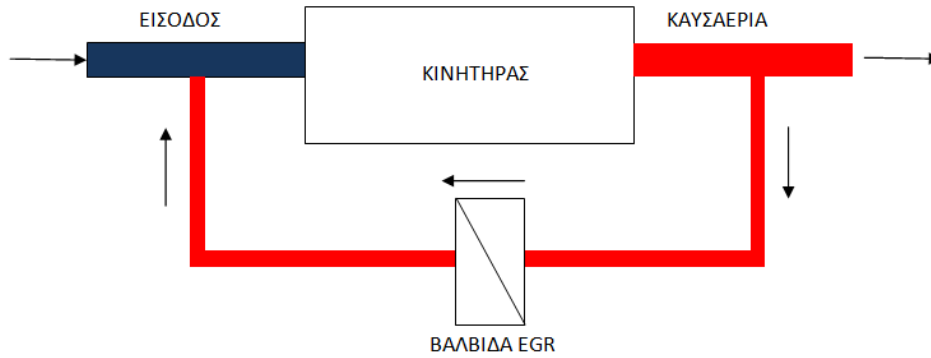
Ένας βασικός δείκτης της λειτουργίας της EGR, είναι το ποσοστό επανακυκλοφορίας (EGR %) το οποίο ορίζεται ως :

$$EGR\% = \frac{m_{EGR}}{m_i} \times 100$$

Όπου  $m_{EGR}$ , είναι η μάζα των καυσαερίων της επανακυκλοφορίας και  $m_i$ , είναι η μάζα του μίγματος αέρα/καυσίμου της εισόδου. Συνήθως μέχρι περίπου το 30 % των καυσαερίων μπορεί να ανακυκλωθεί. Βάση των από πάνω, έχει βρεθεί ότι στις μηχανές Diesel με EGR %  $\approx 20$  % επιτυγχάνεται μείωση των  $NO_x$  μέχρι και 50%.

Παρόλα αυτά, η χρήση της EGR επιφέρει και κάποια μειονεκτήματα. Στην περίπτωση των μηχανών Diesel, η ειδική κατανάλωση καυσίμου γίνεται χειρότερη και αυξάνεται η εκπομπή σωματιδίων, ειδικότερα κατά τις συνθήκες υψηλού φορτίου. Επίσης, η εφαρμογή της EGR μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα του λιπαντικού της μηχανής και την ανθεκτικότητα του κινητήρα. Η φθορά του κινητήρα έχει βρεθεί ότι συνδέεται άμεσα με τα οξείδια του θείου που περιέχονται στα καυσαέρια και των οποίων η συγκέντρωση αυξάνεται με αύξηση του EGR %. Έχει ακόμα βρεθεί ότι, καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του  $CO_2$  με την αύξηση της επανακυκλοφορίας καυσαερίων, αυξάνονται τα επίπεδα θορύβου κατά την καύση (Abd-Alla, 2002).

Η ανακύκλωση των καυσαερίων πίσω στην πολλαπλή εισαγωγή, γίνεται μέσα από έναν αγωγό που συνδέει την πολλαπλή εισαγωγής με την πολλαπλή εξαγωγής και η όλη διεργασία ελέγχεται από τη βαλβίδα EGR. Μια απλοποιημένη σχηματική αναπαράσταση παρουσιάζεται στην εικόνα 5.14. Το κενό της εισόδου στην πολλαπλή εισαγωγή ρουφά τα καυσαέρια πίσω στη μηχανή. Η ποσότητα των καυσαερίων που καταλήγει πίσω στον κινητήρα ελέγχεται πολύ προσεκτικά ώστε να μην επιδεινώσει την απόδοση του κινητήρα. Τα παλαιότερα συστήματα χρησιμοποιούσαν βαλβίδα EGR, η οποία ρυθμιζόταν μέσω του κενού, ενώ τα καινούργια συστήματα χρησιμοποιούν βαλβίδες οι οποίες ελέγχονται ηλεκτρονικά από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Σε πολλές περιπτώσεις, τα καυσαέρια πριν εισέλθουν στον χώρο καύσης, ψύχονται μέσω του ψυγείου της EGR, βελτιώνοντας έτσι της αποτελεσματικότητα της βαλβίδας αυτής. Επιπλέον, περνάνε μέσα από φίλτρο για να αφαιρεθούν οποιαδήποτε σωματίδια βρίσκονται στο ρεύμα των καυσαερίων, μειώνοντας έτσι τη φθορά των μηχανικών κομματιών.



**Εικόνα 5.14.** Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας βαλβίδας EGR.

Όταν η θέση της πεταλούδας του γκαζιού βρίσκεται στην πάνω ακραία θέση, δηλαδή στο ρελαντί και όταν τα φορτία είναι πολύ χαμηλά, η εκπομπή  $\text{NO}_x$  είναι μικρή και έτσι η EGR παραμένει απενεργοποιημένη, φράζοντας έτσι την είσοδο των καυσαερίων προς την πολλαπλή εισαγωγής. Η βαλβίδα ενεργοποιείται όταν πλέον ο κινητήρας έχει ζεσταθεί και λειτουργεί υπό φορτίο. Όσο πιο πολύ αυξάνεται το φορτίο και ανεβαίνει η θερμοκρασία της καύσης εντός των κυλίνδρων, ανοίγει περισσότερο η βαλβίδα, με αποτέλεσμα όπως προαναφέρθηκε, την πτώση της θερμοκρασίας.

Γενικά η ροή επανακυκλοφορίας ακολουθεί τις παρακάτω λειτουργικές συνθήκες:

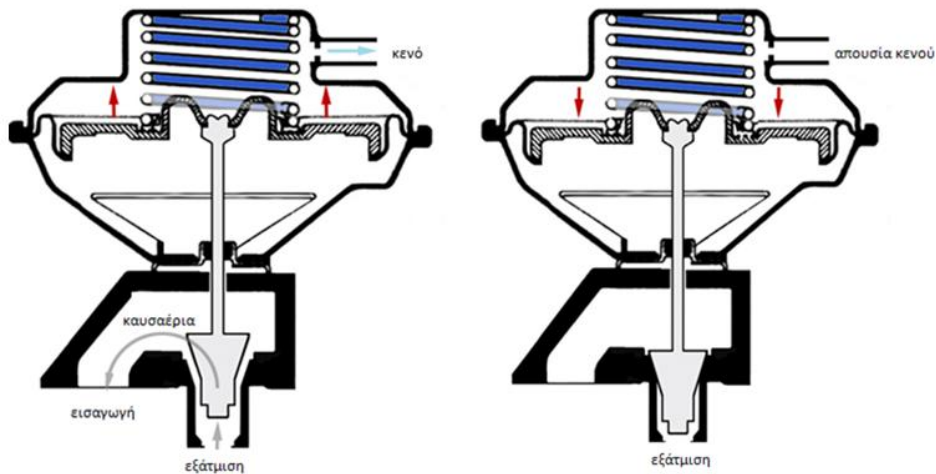
- Υψηλή επανακυκλοφορία καυσαερίων απαιτείται κατά τη μέτρια ή αποδοτική ταχύτητα (cruising speed) και σε μεσαίου εύρους επιταχύνσεις, όπου η θερμοκρασία καύσης είναι συνήθως υψηλή.
- Χαμηλή ή καθόλου επανακυκλοφορία, χρειάζεται κατά τη χαμηλή ταχύτητα και τις συνθήκες χαμηλού φορτίου.
- Τέλος, υπάρχουν συνθήκες κατά τις οποίες δεν πρέπει να υπάρχει καθόλου επανακυκλοφορία καθώς μπορεί να μειώσει την απόδοση του κινητήρα, όπως για παράδειγμα κατά την προθέρμανση του κινητήρα ή την αναμονή (Jainet al., 2013).

## 5.3.2. Τύποι βαλβίδων επανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR

### 5.3.2.1. EGR με διόδους – Ported EGR

Συνολικά υπάρχουν έξι τύποι βαλβίδων, εκ των οποίων άλλες ελέγχονται μηχανικά και άλλες έχουν ηλεκτρονικό έλεγχο, μερικές λειτουργούν αυστηρά με χρήση κενού και άλλες με συνδυασμό κενού και πίεσης.

Η πρώτη βαλβίδα η οποία χρησιμοποιούνταν από το 1973 μέχρι και το τέλος της δεκαετίας του 80' είναι η EGR με διόδους (Ported EGR). Μία τυπική EGR με διόδους αποτελείται από ένα διάφραγμα κενού συνδεδεμένο με μία βαλβίδα ροής και η φυσική της θέση είναι κλειστή εξαιτίας ενός ελατηρίου επιστροφής το οποίο ασκεί δύναμη σε ένα πείρο(εικόνα 5.15). Η βαλβίδα EGR, συνδέεται συνήθως κάτω από το καρμπυρατέρ ή στην πολλαπλή εισαγωγή. Όταν εφαρμόζεται κενό επαρκές για να υπερνικήσει τη δύναμη του ελατηρίου, τότε το διάφραγμα ανυψώνεται και τραβάει τον πείρο ανοίγοντας τη θυρίδα των καυσαερίων. Αυτό επιτρέπει το κενό της εισόδου να ρουφήξει τα καυσαέρια μέσα στον κινητήρα. Με αυτό τον τύπο βαλβίδας αποτρέπεται το άνοιγμα της EGR, όταν ο κινητήρας δεν έχει θερμανθεί μέσω ελέγχου του κενού. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να ρυθμιστεί ηλεκτρονικά η γραμμή του κενού με χρήση σωληνοειδούς πηνίου, ώστε το κενό να μην φτάσει στην βαλβίδα μέχρι να ζεσταθεί η μηχανή και να παρουσιαστεί φορτίο. Αυτή η βαλβίδα καθώς και όλες οι βαλβίδες που λειτουργούσαν πριν την εμπορική χρήση της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου είχαν ένα διακόπτη θερμοκρασίας κενού (temperature vacuum switch) για να αποτρέψει τη ροή κενού στη βαλβίδα σε χαμηλές θερμοκρασίες (AA1Car).



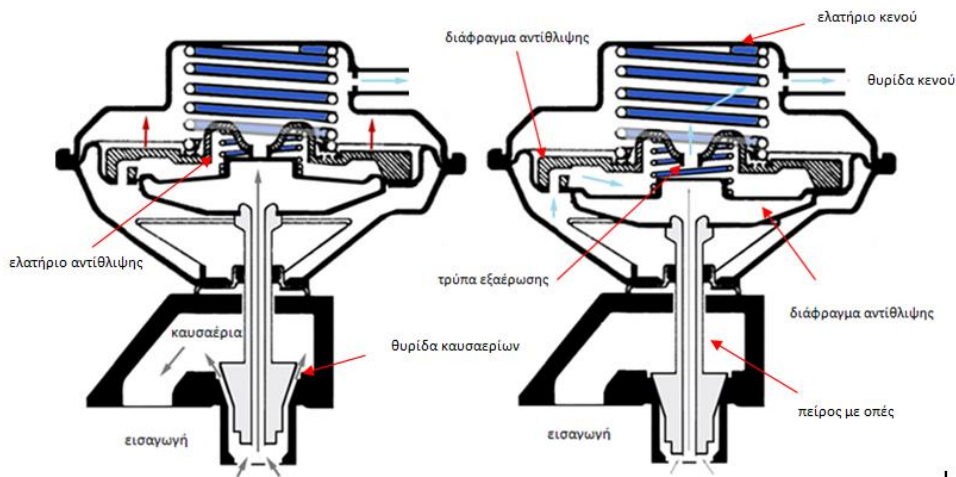
Εικόνα 5.15. Λειτουργία βαλβίδας EGR με διάφραγμα (ACGO).

### 5.3.2.2. Βαλβίδες θετικής/αρνητικής αντίθλιψης

Η επόμενη δύο κατηγορίες είναι οι βαλβίδες θετικής αντίθλιψης (positive backpressure EGR) και οι βαλβίδες αρνητικής αντίθλιψης (negative backpressure EGR), οι οποίες και οι δύο χρησιμοποιήθηκαν μετά το 1973. Και οι δύο βαλβίδες χρησιμοποιούν την αντίθλιψη της εξάτμισης (exhaust back pressure) για να αλλάξουν το πόσο ανοίγει η βαλβίδα και να ελέγξουν το ρυθμό ροής καυσαερίων. Η αντίθλιψη της εξάτμισης ορίζεται, ως η πίεση των καυσαερίων που παράγεται από τον κινητήρα για να υπερβεί την υδραυλική αντίσταση του συστήματος εξάτμισης και να εκκενωθούν τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα. Μέσα σε μία βαλβίδα θετικής αντίθλιψης υπάρχουν δύο διαμερίσματα, το διαμέρισμα κενού και το διαμέρισμα αντίθλιψης. Στο διαμέρισμα κενού υπάρχει ένα ελατήριο επιστροφής, το βασικό διάφραγμα κενού και μία θυρίδα κενού. Στο διαμέρισμα της αντίθλιψης υπάρχει ένα δεύτερο διάφραγμα (διάφραγμα αντίθλιψης), το οποίο έχει μία τρύπα μέσω της οποίας επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα και ένα δεύτερο ελατήριο επιστροφής (ελατήριο αντίθλιψης) (εικόνα 5.16). Τα δύο διαμερίσματα συνδέονται με μία οπή εξαέρωσης η οποία εντοπίζεται στο σημείο που βρίσκεται το ελατήριο αντίθλιψης και το διάφραγμα αντίθλιψης. Επιπλέον, η πίεση στο σύστημα εξαέρωσης μεταφέρεται στο διάφραγμα αντίθλιψης μέσα από τρύπες που περιέχει ο πείρος που κλείνει τη θυρίδα των καυσαερίων της EGR. Όταν υπάρχει μεγάλη πίεση στο σύστημα της εξάτμισης, το διάφραγμα αντίθλιψης υπερνικά τη δύναμη που ελατηρίου αντίθλιψης και κλείνει την τρύπα εξαέρωσης. Αυτό επιτρέπει στο κενό που εφαρμόζεται μέσα από τη θυρίδα του κενού, να υπερβεί την δύναμη του ελατηρίου κενού και να σηκώσει τον πείρο, ανοίγοντας τη θυρίδα των

καυσαερίων, το οποίο επιτρέπει τη διέλευση καυσαερίων δια μέσω της EGR από την εξάτμιση στην πολλαπλή εισαγωγή. Όταν μειωθεί η πίεση στο σύστημα εξάτμισης, τότε το ελατήριο αντίθλιψης ανοίγει την τρύπα εξαέρωσης. Το άνοιγμα της τρύπας εξαέρωσης φέρνει σε επαφή την ατμόσφαιρα με το διαμέρισμα κενού και το ελατήριο κενού κλείνει την θυρίδα καυσαερίων (TomcoTechtips, 1995). Η βαλβίδα EGR ταλαντώνεται μεταξύ ανοιχτής και κλειστής θέσης, αλλάζοντας την πίεση των καυσαερίων έτσι ώστε να διατηρήσει μία ισορροπημένη ροή. Έτσι, σε αντίθεση με την EGR με διόδους η οποία ανοιγοκλείνει βάση μόνο του κενού και άρα του φορτίου του κινητήρα, η βαλβίδα θετικής αντίθλιψης ανοιγοκλείνει και συναρτήσει της πίεσης στο σύστημα της εξάτμισης (AA1Car).

Η βαλβίδα αρνητικής αντίθλιψης, λειτουργεί με την ίδια αρχή αλλά με αντίστροφη λειτουργία, δηλαδή αντιδρά στη μείωση της πίεσης του συστήματος καυσαερίων για να ρυθμίσει την επανακυκλοφορία. Όταν παρατηρείται μείωση της αντίθλιψης, τότε υπάρχει λιγότερο φορτίο στον κινητήρα. Αυτό κάνει το διάφραγμα αρνητικής αντίθλιψης να ανοίξει την τρύπα εξαερισμού και να μειώσει τη ροή καυσαερίων



**Εικόνα 5.16.** Λειτουργία βαλβίδας EGR με θετική αντίθλιψη. Στη δεξιά εικόνα, η πίεση του συστήματος της εξάτμισης δεν είναι επαρκής για να ανοίξει το διάφραγμα και έτσι δεν παρατηρείται ροή καυσαερίων (ACGO).

### 5.3.2.3. Βαλβίδα EGR διαμόρφωσης εύρους παλμού

Μία βαλβίδα που χρησιμοποιείται από το 1984 μέχρι σήμερα είναι η βαλβίδα διαμόρφωσης εύρους παλμού (pulse with modulated EGR valve). Η διαμόρφωση εύρους παλμού όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι στην ουσία μία κυματομορφή η οποία αποτελείται από δύο καταστάσεις, την ON, που έχει τη μέγιστη τιμή, και την off, που έχει μηδενική τιμή. Ένα κύμα διαμόρφωσης εύρους παλμού παρουσιάζεται στην εικόνα 5.17. Με χρήση αυτού του κύματος, η μονάδα ελέγχου του κινητήρα ανοίγει και κλείνει με ταχύ τρόπο το σωληνοειδές πηνίο ελέγχου κενού (vacuum control solenoid). Αυτό δημιουργεί ένα μεταβλητό σήμα κενού που ρυθμίζει με μεγάλη λεπτομέρεια τη λειτουργία της βαλβίδας EGR. Ο χρόνος της κατάστασης ON, σε σχέση με την κατάσταση off, ποικίλει από 0 μέχρι 100%. Άλλη μία βαλβίδα είναι η ψηφιακή βαλβίδα (digital electronic EGR), η οποία χρησιμοποιήθηκε κυρίως τη δεκαετία του 80' και του 90'. Η βαλβίδα αυτή, χρησιμοποιεί επίσης το κενό για τη ρύθμιση της επανακυκλοφορίας και η ρύθμιση γίνεται μέσω της μονάδας ελέγχου του κινητήρα. Η ψηφιακή EGR, χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές οπές τις οποίες ανοιγοκλείνει βάση σωληνοειδών πηνίων και το άνοιγμα διαφορετικών συνδυασμών των τριών οπών επιτρέπει διαφορετικά ποσά ροής (AA1Car).



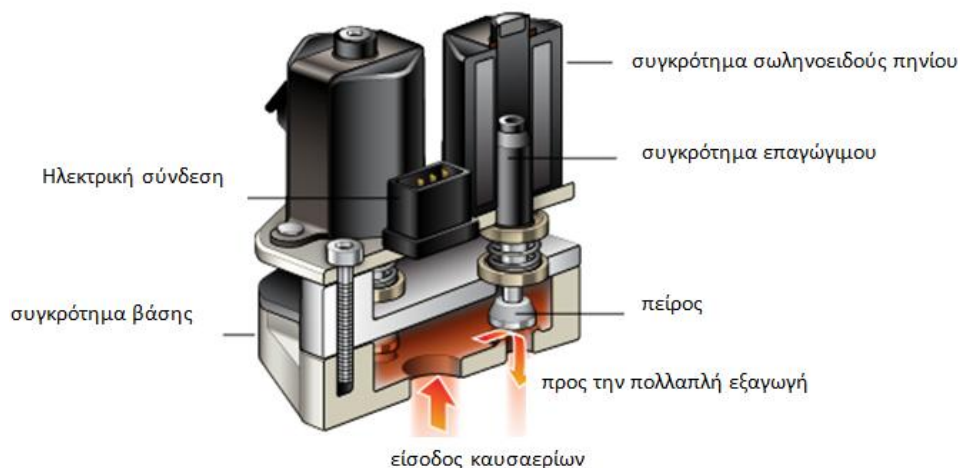
**Εικόνα 5.17.** Ψηφιακός παλμός PWM και καταστάσεις ON και OFF.

### 5.3.2.4. Γραμμική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα EGR

Η πιο σημαντική βαλβίδα είναι η γραμμική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα EGR (linear electronic EGR), η οποία χρησιμοποιείται από το 1990 και μετά. Η βαλβίδα αυτή αποτελείται από τρία διαφορετικά υπό συγκροτήματα: τη βάση, το σωληνοειδές πηνίο (solenoid) και το επαγωγίμο (armature) (εικόνα 5.18). Τα ουσιαστικότερα κομμάτια της βάσης είναι μία μικρή και μία μεγάλη οπή. Η μεγάλη οπή επιτρέπει τα καυσαέρια να εισέλθουν στη βάση της βαλβίδας, ενώ η μικρότερη οπή επιτρέπει την έξοδο των καυσαερίων από τη βαλβίδα προς την πολλαπλή εισαγωγή. Το συγκρότημα του σωληνοειδούς αποτελείται από ένα κύλινδρο γύρω από τον οποίο είναι συνδεδεμένη μία σπείρα, η οποία συνδέεται με ένα αισθητήρα θέσης πείρου (pintle position sensor). Το συγκρότημα του επαγωγίμου



αποτελείται από ένα επαγωγίμο και ένα πείρο. Το επαγωγίμο βρίσκεται μέσα στο πηνίο, ενώ ο πείρος περνά μέσα από ένα ελατήριο επιστροφής και μέσα από το επαγωγίμο όπου ασφαλίζεται. Η άκρη του πείρου βρίσκεται στην μικρή οπή της βάσης. Η μετακίνηση του πείρου, ελέγχεται μέσω του πηνίου από την μονάδα ελέγχου κινητήρα. Όταν η μονάδα ελέγχου «αντιληφθεί» την ανάγκη αλλαγής της ροής καυσαερίων, στέλνει ένα μεταβαλλόμενο σήμα μεταβλητού εύρους PWM στο πηνίο της EGR. Αυτό προκαλεί την επαγωγή ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο με τη σειρά του ανυψώνει το επαγωγίμο, σηκώνοντας έτσι τον πείρο από τη θέση του. Τότε τα καυσαέρια διαφεύγουν από τη βάση της EGR μέσω της μικρής οπής. Αυτή η διάταξη γραμμικής βαλβίδας EGR δίνει τη δυνατότητα γρήγορης απόκρισης στα σήματα της μονάδας ελέγχου και έτσι αυτή η μέθοδος ελέγχου της ροής καυσαερίων παρέχει υψηλή αξιοπιστία.



**Εικόνα 5.18.** Διάταξη γραμμικής EGR (Reinler, 2016).

Η γραμμική βαλβίδα EGR όταν εμφανίστηκε ήταν η πρώτη βαλβίδα που μπορούσε να εφαρμόσει ένα εύρος ροής καυσαερίων από την εξάτμιση πίσω στην πολλαπλή εισαγωγή από 0% έως 100%, λαμβάνοντας συνεχείς τιμές μέσα σε αυτό το διάστημα. Αυτό συμβαίνει, γιατί είναι ευκολότερο να καθοριστεί με ακρίβεια το ύψος που θα σηκωθεί ο πείρος. Για να ληφθεί κάποια απόφαση από τη μονάδα ελέγχου ως προς τη μετατόπιση του πείρου, η μονάδα παρακολουθεί διαρκώς τον αισθητήρα απόλυτης πίεσης πολλαπλής εισαγωγής (manifold absolute pressure sensor (MAP)), τον αισθητήρα θερμοκρασίας ψυκτικού μηχανής (engine coolant temperature sensor (ECT)), τον αισθητήρα θέσης της πεταλούδας (throttle

position sensor (TPS)), της στροφές ανά λεπτό, τον αισθητήρα ταχύτητας οχήματος (vehicles speed sensor (VSS)) και τον αισθητήρα θέσης πείρου. Αφότου λάβει πληροφορίες από τους παραπάνω αισθητήρες υπολογίζει πόση πρέπει να είναι η ροή των καυσαερίων και στέλνει το ανάλογο σήμα στο πηνίο, ελέγχοντας έτσι με ακρίβεια τη βαλβίδα EGR.

Η άκρη του αισθητήρα θέσης πείρου βρίσκεται στο πάνω κομμάτι του πείρου. Καθώς το επαγωγίμο μετακινείται προς τα πάνω, το ίδιο κάνει και ο αισθητήρας θέσης πείρου, ο οποίος στέλνει σήμα στην μονάδα ελέγχου του κινητήρα, αναφορικά με το πόσο έχει ανοίξει η βαλβίδα. Αυτό λειτουργεί σαν επαλήθευση ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η βαλβίδα EGR, έχει ανοίξει στο ποσοστό που ζητήθηκε από τη μονάδα ελέγχου. Εάν η πραγματική θέση που αναφέρει ο αισθητήρας δεν ταιριάζει με την επιθυμητή θέση, τότε τροποποιείται το σήμα μεταβλητού εύρους μέχρι η επιθυμητή θέση να ταυτιστεί με την πραγματική. Αυτό καθιστά ένα σύστημα κλειστού βρόγχου, επιτρέποντας τον καλύτερο έλεγχο με μεγάλη ακρίβεια (TomcoTechtips, 1996).

### 5.3.3. Διάταξη DEGR και NoEGR μέσω VVT

Μία πολύ πρόσφατη διάταξη που δεν χρησιμοποιεί βαλβίδα EGR, είναι η διάταξη DEGR (dedicated EGR). Σε αυτή τη διάταξη, τα καυσαέρια από ένα γκρουπ κυλίνδρων καταλήγει κατευθείαν πίσω στην πολλαπλή εισαγωγή δημιουργώντας την επίδραση της EGR για όλους τους κυλίνδρους, από την εξάτμιση ορισμένων από αυτούς. Στην περίπτωση των τεσσάρων κυλίνδρων, τα καυσαέρια ενός από τους κυλίνδρους ανακυκλώνονται, δημιουργώντας σταθερά ένα λόγο επανακυκλοφορίας 25%. Κατά τον τρόπο αυτό καταργείται η ανάγκη διαρκούς ελέγχου της επανακυκλοφορίας καυσαερίων σε όλο το εύρος φορτίων (Rehan, 2017).

Στα τελευταία μοντέλα αυτοκινήτων που λειτουργούν με κινητήρες μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων (variable valve timing) επίσης δεν χρησιμοποιείται βαλβίδα EGR, γιατί το σύστημα μεταβλητού χρονισμού τροποποιεί το χρονισμό των βαλβίδων καυσαερίων ώστε να αναπαράγει την ίδια επίδραση με την EGR. Με την αλλαγή της στιγμής κατά την οποία κλείνει η βαλβίδα καυσαερίων όταν η μηχανή δουλεύει σε υψηλά φορτία, μία μικρή ποσότητα καυσαερίων παραμένει εντός του κυλίνδρου μέχρι τον επόμενο κύκλο καύσης. Αυτό το γεγονός ελαττώνει την θερμοκρασία καύσης, όπως ακριβώς θα την ελάττωνε και η επανακυκλοφορία καυσαερίων με χρήση της βαλβίδας EGR. Η διαφορά είναι ότι το σύστημα μεταβλητού χρονισμού αντιδρά γρηγορότερα στις αλλαγές του φορτίου και έτσι είναι πολύ πιο ακριβές από το σύστημα της EGR. Επιπλέον, με χρήση αυτού του

συστήματος εξαφανίζονται διάφορα προβλήματα της βαλβίδας EGR, όπως αυτό της φθοράς των μηχανικών κομματιών της βαλβίδας το οποίο με το χρόνο προκαλεί βλάβες και δυσλειτουργία του συστήματος μείωσης ρύπων (AA1Car).

#### **5.4. Σύστημα θετικού εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου - βαλβίδα (pcv).**

Κατά την λειτουργία ενός κινητήρα, μια ποσότητα μίγματος και λιπαντικού ή αλλιώς αναθυμιάσεις, διαφεύγουν από τα ελατήρια των εμβόλων στον στροφαλοθάλαμο. Επειδή οι αναθυμιάσεις αποτελούν στην ουσία ρύπους, για να μην διαφύγουν στην ατμόσφαιρα υπάρχει το σύστημα θετικού εξαερισμού του στροφαλοθαλάμου. Το σύστημα αυτό, αποτελείται από μια βαλβίδα η οποία είναι τοποθετημένη στην κυλινδροκεφαλή με έναν ελαστικό σωλήνα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την πολλαπλή εισαγωγή και την βαλβίδα, καθώς και τον διαχωριστή λαδιού η βαλβίδα αυτή, είναι στην ουσία ίδια με μια βαλβίδα EGR παλαιάς τεχνολογίας. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι οι αναθυμιάσεις αυτές που εισάγονται στον στροφαλοθάλαμο, να διοχετεύονται στην πολλαπλή εισαγωγή μέσω της βαλβίδας pcv, έτσι ώστε στην συνέχεια να περάσουν στον χώρο καύσης. Η βαλβίδα του συστήματος αυτού λειτουργεί με υποπίεση. Είναι επίσης ανεπίστροφη, έτσι ώστε σε περίπτωση που η πίεση της πολλαπλής εισαγωγής είναι μεγαλύτερη από την πίεση του στροφαλοθαλάμου, να αποτρέπει την αντίθετη ροή των αναθυμιάσεων προς το κάρτερ. Επίσης ο στροφαλοθάλαμος, συνδέεται μέσω ενός σωλήνα με το φίλτρο αέρος. Αυτό γίνεται έτσι ώστε να εισέρχεται φρέσκος αέρας στον χώρο αυτόν, ο οποίος θα βοηθήσει στο να διαφύγουν τα αέρια πιο εύκολα προς την πολλαπλή εισαγωγής. Η λειτουργία του μηχανικού αυτού συστήματος, δεν εξυπηρετεί μόνο στην επανακυκλοφορία των αερίων με απώτερο σκοπό την μη πρόκληση περαιτέρω ρύπανσης, αλλά επίσης και στο ότι οι αναθυμιάσεις του λαδιού μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στον στροφαλοθάλαμο (Αγερίδης et al, 2001).

**Κλειστή μηχανή**



Πλευρά σύνδεσης, με την πολλαπλή εισαγωγής

- Η PCV βαλβίδα, είναι κλειστή

Πλευρά σύνδεσης με την κυλινδροκεφαλή

**Κανονική λειτουργία**



- Η βαλβίδα PCV, είναι ανοιχτή
- Το κενό των διαφυγόντων αερίων, είναι μεγάλο

**Ρελαντί ή επιβράδυνση**



- Η βαλβίδα PCV, είναι ανοιχτή
- Το κενό των διαφυγόντων αερίων, είναι μικρό

**Επιτάχυνση, υψηλό φορτίο**



- Η βαλβίδα PCV, είναι τελείως ανοιχτή

*Εικόνα 5.19. Λειτουργία της βαλβίδας pcv, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας - φορτίο του κινητήρα (AutoZone).*

Στην εικόνα 5.19, φαίνεται η λειτουργία της βαλβίδας pcv ανάλογα με το μεταβαλλόμενο φορτίο του κινητήρα. Όπως είναι λογικό, όταν η μηχανή είναι απενεργοποιημένη η βαλβίδα είναι τελείως κλειστή, δηλαδή είναι στην κανονική της θέση. Όταν η λειτουργία του κινητήρα βρίσκεται σε φυσιολογικά επίπεδα, δηλαδή σε μεσαίες στροφές, το έμβολο το οποίο είναι συνδεδεμένο με το ελατήριο της βαλβίδας, σηκώνεται ελαφρά με αποτέλεσμα την διέλευση των “blow by gases” προς την πολλαπλή εισαγωγής, της οποίας η υποπίεση είναι μέτρια. Έπειτα, όταν ο κινητήρας βρίσκεται σε κατάσταση ρελαντί ή επιβράδυνσης, η βαλβίδα θα ανοίξει (ελαφρώς), όμως το κενό των διαφυγόντων αερίων θα είναι μικρό. Τέλος όταν ο κινητήρας βρίσκεται σε κατάσταση επιτάχυνσης ή υψηλού φορτίου, η βαλβίδα θα είναι “τελείως” ανοιχτή. Αυτό συμβαίνει διότι σε υψηλά φορτία, η πεταλούδα του γκαζιού είναι πλήρως ανοιχτή. Έτσι διέρχεται με μεγάλη ροή ο ατμοσφαιρικός αέρας στην πολλαπλή εισαγωγής, όμως επειδή η ανάγκη του κινητήρα είναι μεγάλη λόγω υψηλού φορτίου ασκείται υποπίεση στην πολλαπλή εισαγωγής. Έτσι η πίεση στην πολλαπλή εισαγωγής μικραίνει (υποπίεση), σε σχέση με την πίεση στον στροφαλοθάλαμο με αποτέλεσμα τα αέρια “blow by gases”, να εισέρχονται στον χώρο πολλαπλή εισαγωγής και να προετοιμάζονται για τον επόμενο κύκλο καύσης.

## 5.5. Σύστημα ελέγχου αναθυμιάσεων του ρεζερβουάρ

Μια άλλη πηγή ρύπανσης που προέρχεται από το αυτοκίνητο, πέρα από τα καυσαέρια που απελευθερώνονται μέσω της εξάτμισης στην ατμόσφαιρα είναι οι αναθυμιάσεις της βενζίνης από την δεξαμενή καυσίμου. Όταν εισέρχεται βενζίνη στο ρεζερβουάρ δημιουργούνται μεγάλες πιέσεις, λόγω της εξάτμισης της και για αυτόν τον λόγο η δεξαμενή δεν πρέπει να είναι τελείως κλειστή. Όμως για να μην διαφεύγουν τα προϊόντα εξάτμισης δηλαδή υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα, υπάρχει το σύστημα ελέγχου αναθυμιάσεων του ρεζερβουάρ καυσίμου. Το σύστημα αυτό αποτελείται από το δοχείο ενεργού άνθρακα, τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, το δοχείο ενεργού άνθρακα, τον αισθητήρα πίεσης του ρεζερβουάρ, τις σωληνώσεις και τον αισθητήρα στάθμης καυσίμου.

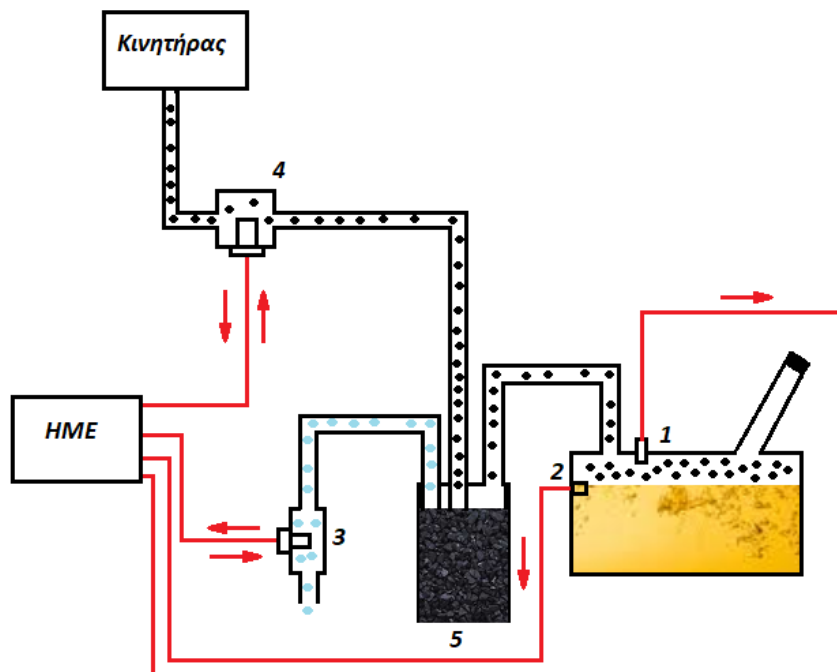
Παλαιότερα για τον έλεγχο της πίεσης στην δεξαμενή καυσίμου, χρησιμοποιούταν μια μηχανική βαλβίδα, η οποία αποτελούνταν από έναν ελατήριο επαναφοράς και ένα διάφραγμα. Έτσι όταν η πίεση που δεχόταν η βαλβίδα από τα αέρια των αναθυμιάσεων υπερνικούσε την δύναμη του ελατηρίου, η βαλβίδα άνοιγε και τα αέρια αυτά πήγαιναν μέσω ενός σωλήνα στο δοχείο ενεργού άνθρακα. Όταν η πίεση από τις αναθυμιάσεις δεν ξεπερνούσε την δύναμη του ελατηρίου, τότε η βαλβίδα παρέμενε κλειστή. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιούνταν ένας μηχανικός τρόπος αποβολής των αναθυμιάσεων από την δεξαμενή καυσίμου προς το δοχείο ενεργού άνθρακα. Πλέον αντί για αυτή την μηχανική βαλβίδα, χρησιμοποιείται έναν ολοκληρωμένο σύστημα που λειτουργεί με την βοήθεια αισθητήριων οργάνων.

Πιο συγκεκριμένα ένας αισθητήρας πίεσης, μετράει την διαφορά μεταξύ της πίεσης ή υποπίεσης του ρεζερβουάρ καυσίμου σε σχέση με την ατμοσφαιρική. Επίσης για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος, η ΗΜΕ εκμεταλλεύεται και άλλες τις τιμές αισθητήριων οργάνων όπως του αισθητήρα στάθμης καυσίμου. Στον αισθητήρα πίεσης, δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού με αποτέλεσμα να στέλνει μια τάση – σήμα μεταξύ 0.1V - 5V στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Όταν ο αισθητήρας παράγει υψηλή τάση σημαίνει ότι η πίεση είναι χαμηλή, ενώ όταν παράγει χαμηλή τάση σημαίνει ότι η πίεση είναι υψηλή. Έτσι λοιπόν, όταν αναπτυχθεί στο δοχείο του καυσίμου, μεγάλη πίεση, λόγω της πλήρωσης μεγάλης ποσότητας καυσίμου, τα αέρια θα οδηγηθούν στο δοχείο του ενεργού άνθρακα.

Το δοχείο του ενεργού άνθρακα, περιέχει ενεργό άνθρακα υπό την μορφή κόκκων. Ο ρόλος του ενεργού άνθρακα είναι να απορροφάει και να αποθηκεύει τους ατμούς του καυσίμου,

έως ότου, η ΗΜΕ να στείλει σήμα εξόδου των ατμών αυτών με σκοπό την συμμετοχή τους στην καύση. Μέσα ή έξω από το δοχείο του άνθρακα μέσω ενός σωλήνα, τοποθετούνται δυο ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες εξαερισμού, οι οποίες είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες από τον εγκέφαλο του αυτοκινήτου. Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, ενεργοποιούνται από την ΗΜΕ στέλνοντας τις ρεύμα, όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε μεσαίες στροφές και έχει σχετικά χαμηλά φορτία. Αφού οι βαλβίδες ενεργοποιηθούν, τότε στο δοχείο του ενεργού άνθρακα ασκείται μια υποπίεση με αποτέλεσμα οι αναθυμιάσεις να διοχετεύονται μέσω ενός σωλήνα στην πολλαπλή εισαγωγή επιτυγχάνοντας μίξη με τον αναρροφώμενο ατμοσφαιρικό αέρα. Η μια από τις δυο βαλβίδες (νούμερο 3 εικόνα 5.20), όταν ενεργοποιείται εισέρχεται μέσω αυτής στο δοχείο του ενεργού άνθρακα φρέσκος ατμοσφαιρικός αέρας, έτσι ώστε να βοηθήσει τα ρυπογόνα αέρια να διοχετευτούν στην πολλαπλή εισαγωγής, εφόσον είναι ανοιχτή η βαλβίδα εξαερισμού (νούμερο 4, εικόνα 5.20).

Αποτέλεσμα της λειτουργίας αυτής, είναι ότι το εισερχόμενο μίγμα αέρα/καυσίμου εμπλουτίζεται και για αυτόν τον λόγο η ΗΜΕ μειώνει όσο χρειάζεται την ποσότητα καυσίμου που θα ψεκαστεί έτσι ώστε το μείγμα να μην γίνει αρκετά πλούσιο. Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες θα παραμείνουν κλειστές, όταν ο κινητήρας βρίσκεται στο ρελαντί, κατά την εκκίνηση του και γενικότερα όταν τα φορτία είναι μεγάλα.



**Εικόνα 5.20.** Συνδεσμολογία, συστήματος ελέγχου αναθυμιάσεων από το ρεζερβουάρ.

## 5.6. Φίλτρο συγκράτησης σωματιδίων DPF

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο, οι ντιζελοκινητήρες κατά την ατελή καύση παράγουν μικροσωματίδια εξαιρετικά μικρής διαμέτρου, τα οποία αποτελούν επιβλαβή ρύπο, με σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν ειδικές διατάξεις για την συγκράτηση των σωματιδίων αυτών, όπως το φίλτρο σωματιδίων DPF (Diesel Particulate Filter), έτσι ώστε τα αυτοκίνητα να πληρούν τα καινούρια ευρωπαϊκά πρότυπα. Το φίλτρο σωματιδίων DPF, βρίσκεται τοποθετημένο στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων σύγχρονων πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων. Μπορεί να είναι, είτε μεμονωμένο από τον καταλύτη, είτε να βρίσκεται στο ίδιο κέλυφος με τον καταλύτη. Εξωτερικά το dpf περικλείεται από ένα μεταλλικό περίβλημα. Τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά, το φίλτρο αυτό μοιάζει σαν έναν καταλύτη, όμως έχουν διαφορές και στην δομή τους και στον ρόλο τον οποίο έχουν. Επίσης τα φίλτρα, τα οποία είναι ενσωματωμένα στο ίδιο κέλυφος με τον οξειδωτικό καταλύτη, ονομάζονται και φίλτρα CPF (Catalyzed Particulate Filter)

Το φίλτρο σωματιδίων DPF, αποτελείται από ένα κεραμικό σώμα με σχήμα κυψέλης και συνήθως κατασκευάζεται από καρβίδιο του πυριτίου και σε περιπτώσεις διαθέτουν επίστρωση από PGEs. Το καρβίδιο του πυριτίου σαν υλικό, έχει πολύ καλές ιδιότητες όπως αντοχή στην φθορά και σε εναλλαγές θερμότητας, καθώς και υψηλή μηχανική αντοχή. Επίσης το υλικό αυτό, παρουσιάζει μεγάλη θερμική ανθεκτικότητα καθώς έχει υψηλό σημείο τήξης περίπου στους 2700 °C.



*Εικόνα 5.21. Εξωτερική όψη φίλτρου σωματιδίων, το οποίο είναι συνδεδεμένο στο σύστημα εξαγωγής του αυτοκινήτου.*

### **5.6.1. Λειτουργία φίλτρου σωματιδίων**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το φίλτρο σωματιδίων αποτελείται από ένα κυψελώδη κεραμικό σώμα. Όταν τα καυσαέρια εισέρχονται στο φίλτρο οι κυψέλες αποτελούν παγίδα για τα σωματίδια, καθώς τα συγκρατεί και τα υπόλοιπα κατάλοιπα αερίων εξέρχονται ελεύθερα. Η συγκράτηση των σωματιδίων είναι συνεχής και γίνεται έως ότου το φίλτρο γεμίσει και δημιουργηθεί ένα στρώμα στις κυψέλες. Όταν το πάχος του στρώματος αυξηθεί αρκετά, μειώνεται η ροή των καυσαερίων μέσα στο φίλτρο, με αποτέλεσμα να μειώνεται και η απόδοση του κινητήρα. Έτσι με την βοήθεια της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου και διαφόρων αισθητήρων οργάνων, πραγματοποιείται η διαδικασία της αναζωογόνησης δηλαδή της αφαίρεσης των καμένων σωματιδίων. Η διαδικασία αναφέρεται αναλυτικά στην συνέχεια.

Για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του συστήματος του φίλτρου σωματιδίων, εφαρμόζονται οι εξής αισθητήρες:

- Ένας αισθητήρας διαφορικής πίεσης
- Δυο αισθητήρες θερμοκρασίας



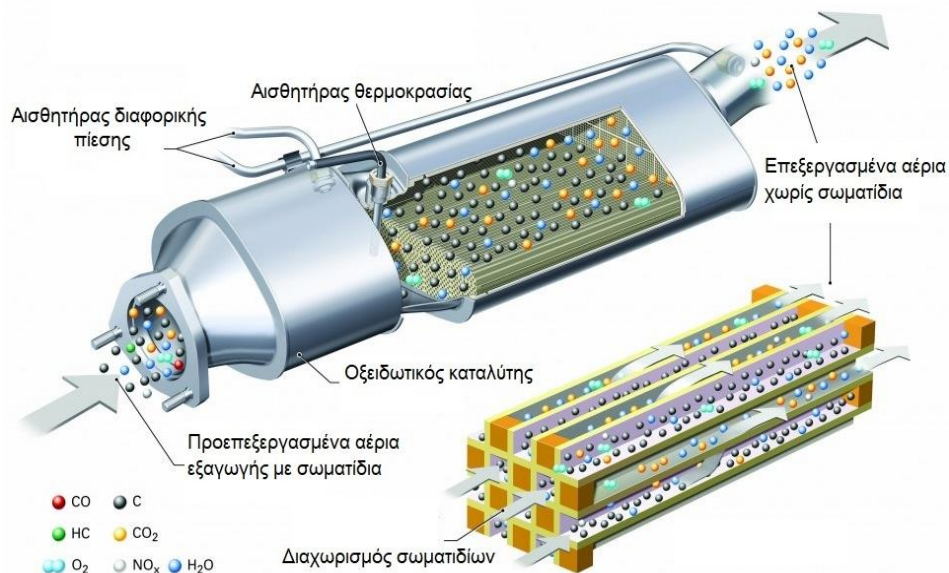
### 5.6.1.1. Αισθητήρας διαφορικής πίεσης DPF φίλτρου

Ο αισθητήρας διαφορικής πίεσης του φίλτρου, είναι ένας πιεζοηλεκτρικός τύπου αισθητήρα και ο ρόλος του είναι να μετράει την ποσότητα των σωματιδίων που βρίσκονται μέσα στο φίλτρο. Τις τιμές τις παίρνει από το μπροστινό και από το πίσω μέρος του φίλτρου, όταν αυτό είναι μεμονωμένο και ανεξάρτητο. Όταν το φίλτρο βρίσκεται στο ίδιο κέλυφος με τον οξειδωτικό καταλύτη, ο αισθητήρας την μέτρηση της πίεσης την παίρνει την μία, από το εσωτερικό του συστήματος (καταλύτη- φίλτρο) και την άλλη από την έξοδο αυτού. Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων αυτών, βασίζεται στην ανίχνευση-μεταβολή πίεσης μέσω ενός μεταλλικού διαφράγματος. Το διάφραγμα αυτό πιέζει έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο (συνήθως χαλαζία), ο οποίος παραμορφώνεται λόγω της πίεσης που δέχεται. Συνεπώς λόγω της πίεσης, μετατοπίζονται οι θέσεις των αρνητικών και θετικών φορτίων του κρυστάλλου, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού, δηλαδή μια τάση (Μπισδούνης. Λ). Η πιεζοηλεκτρική τάση, θα εμφανίζεται όσο διαρκεί και η εφαρμοζόμενη μεταβολή της πίεσης. Για τον λόγο αυτό ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας χρησιμοποιείται για την μέτρηση μεταβολών πίεσης και είναι κατάλληλος για φίλτρα DPF.

Όταν το DPF έχει γεμίσει λόγω της μεγάλης ποσότητας μικροσωματιδίων, η εισροή καυσαερίων μέσα σε αυτό είναι μικρή, επομένως η πίεση στο εισερχόμενο μέρος του φίλτρου είναι μεγάλη σε σχέση με την έξοδο. Συνεπώς ο αισθητήρας μετράει την διαφορά πίεσης ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο του φίλτρου και στέλνει τις κατάλληλες πληροφορίες-σήμα στην κεντρική μονάδα ελέγχου, ως αναλογική τάση. Το σήμα αυτό θα μετατραπεί σε ψηφιακό, έτσι ώστε η ΗΜΕ να το επεξεργαστεί και να ενεργήσει αναζωογονώντας το φίλτρο (η διαδικασία αυτή αναφέρεται παρακάτω). Ο αισθητήρας διαφορικής πίεσης, λειτουργεί μόνο όταν επικρατεί διαφορά πίεσης. Όταν η πίεση ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο του φίλτρου είναι ίδια, τότε ο αισθητήρας δεν παίρνει καμία μέτρηση. Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης έχουν πολύ γρήγορη απόκριση, υψηλή ακρίβεια, χαμηλή υστέρηση, καθώς μπορούν να λειτουργούν κάτω από μεγάλες θερμοκρασίες. Τέλος ο αισθητήρας αυτός, συνδέεται και γειώνεται με την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου παρέχοντας του τάση 5 Volt.

### 5.6.1.2. Αισθητήρας θερμοκρασίας DPF φίλτρου

Για να μετρηθεί η θερμοκρασία των καυσαερίων που εξέρχονται από τον θάλαμο καύσης, χρησιμοποιούνται αισθητήρες θερμοκρασίας ή αλλιώς θερμίστορ. Ο αισθητήρας αυτός είναι στην ουσία ένας τύπος αντίστασης, η τιμή της οποίας επηρεάζεται από την θερμοκρασία που επικρατεί στα καυσαέρια. Το θερμίστορ που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων είναι τύπου NTC (Negative Temperature Coefficient), του οποίου η αντίσταση μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται. Χρησιμοποιούνται δυο τέτοιοι αισθητήρες. Ο πρώτος τοποθετείται μπροστά από το σύστημα καταλύτη-φίλτρου, έτσι ώστε να το προστατέψει (κυρίως τον καταλύτη), για τυχόν αύξηση στην θερμοκρασία των καυσαερίων. Ο δεύτερος αισθητήρας τοποθετείται μεταξύ του οξειδωτικού καταλύτη και του φίλτρου DPF, έτσι ώστε να μετρά συνεχώς την θερμοκρασία που επικρατεί μέσα σε αυτό το σημείο. Αυτός ο αισθητήρας θερμοκρασίας ενημερώνει συνεχώς την ΗΜΕ, έτσι ώστε όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι η επιθυμητή (αυξημένη θερμοκρασία), να μπορέσει ο εγκέφαλος να δώσει τις κατάλληλες εντολές σε διάφορους ενεργοποιητές για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της αναζωογόνησης (Αρκούλης, 2014).



**Εικόνα 5.22.** Ενσωματωμένο σε ίδιο κέλυφος το φίλτρο DPF μαζί με τον οξειδωτικό καταλύτη, του αυτοκινήτου Audi A8 3.0 TDI Quattro (autoevolution, 2015)

### **5.6.2. Αναζωογόνηση φίλτρου σωματιδίων**

Όταν εισέρχονται τα σωματίδια της αιθάλης στο φίλτρο καίγονται – οξειδώνονται. Όμως επειδή η μεγάλη ποσότητα οξειδωμένων σωματιδίων μπορούν να επηρεάσουν την λειτουργία του φίλτρου αφού το φράζουν, πραγματοποιείται η αναζωογόνηση του φίλτρου καθώς επιτυγχάνεται η απομάκρυνση της αιθάλης από το εσωτερικό του. Η αναζωογόνηση, ελέγχεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου και πραγματοποιείται όταν η ποσότητα των ρύπων είναι αυξημένη. Κατά την διαδικασία αυτή η ΗΜΕ προειδοποιεί τον οδηγό, καθώς ανάβει στον πίνακα οργάνων η λυχνία αναζωογόνησης και κρατάει περίπου για 15 λεπτά.

Τα στάδια τα οποία εκτελείται η αναζωογόνηση του φίλτρου συγκράτησης σωματιδίων είναι τα εξής:

- Παθητική αναζωογόνηση
- Ενεργητική αναζωογόνηση
- Διαδρομή αναζωογόνησης από τον οδηγό
- Αναζωογόνηση συνεργείου

#### **5.6.2.1. Παθητική αναζωογόνηση**

Η παθητική αναζωογόνηση είναι μια αυτόματη διαδικασία, χωρίς την επέμβαση της ECU. Κατά την συνεχή και πολύωρη οδήγηση ή σε υψηλά φορτία, δημιουργείται η απαιτούμενη θερμοκρασία περίπου 500 –600 ° C, με αποτέλεσμα την καύση των μικροσωματιδίων. Σε αυτό επίσης ρόλο έχει και η θέση του φίλτρου, η οποία είναι κοντά στον κινητήρα όπου εκεί οι θερμοκρασίες είναι ιδιαίτερα υψηλές. Στην είσοδο και στην έξοδο του φίλτρου υπάρχουν αισθητήρες πίεσης, οι οποίοι διαβάζουν την διαφορά πίεσης όπως προαναφέρθηκε, καθώς και αισθητήρες θερμοκρασίας. Έτσι οι αισθητήρες στέλνουν αναλογικά σήματα στην ECU , τα οποία θα μορφοποιηθούν ψηφιακά, έτσι ώστε η ΗΜΕ να τα επεξεργαστεί και να διορθώσει την τιμή του ποσοστού των μικροσωματιδίων που έχει αποθηκευμένα.

### 5.6.2.2. Ενεργητική αναζωογόνηση

Η ενεργητική η αλλιώς δυναμική αναζωογόνηση, πραγματοποιείται και ελέγχεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου όταν σταθούν σε αυτήν οι κατάλληλες πληροφορίες από τα αισθητήρια όργανα, σχετικά με το αυξημένο ποσοστό των μικροσωματιδίων που υπάρχουν στο φίλτρο. Για να συμβεί η ενεργητική αναζωογόνηση, η ECU πραγματοποιεί μετά την κύρια έγχυση καυσίμου στον θάλαμο καύσης, μια δευτερεύων έγχυση καυσίμου σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η ποσότητα του άκαυστου καυσίμου, δεν θα καεί και θα περάσει στους καταλύτες. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αύξηση της θερμοκρασίας στους καταλυτικούς μετατροπείς, φτάνοντας την σταδιακά στους 600 ° C. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας στους καταλυτικούς μετατροπείς, γίνεται με τους ειδικούς αισθητήρες θερμοκρασίας των καυσαερίων, βάση των οποίων ελέγχεται η ποσότητα και ο χρόνος των έγχυσης του καυσίμου (Αρκουλής et al, 2014). Πιο συγκεκριμένα τα βήματα και οι ενέργειες που κάνει η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου για την αύξηση θερμοκρασίας έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η ενεργητική αναζωογόνηση είναι τα εξής:

1. Εισέρχεται ο κατάλληλος ατμοσφαιρικό αέρας, ο οποίος εξαρτάται από τα φορτία του κινητήρα και ρυθμίζεται μέσω της πεταλούδας ελέγχου αέρα.
2. Η επανακυκλοφορία των καυσαερίων σταματάει και απενεργοποιείται η βαλβίδα EGR, έτσι ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία των καυσαερίων και το οξυγόνο στον θάλαμο καύσης.
3. Με μια μικρή καθυστέρηση έπειτα από τον κύριο ψεκασμό, πραγματοποιείται η πρώτη συμπληρωματική έγχυση καυσίμου.
4. Έπειτα γίνεται η δεύτερη συμπληρωματική έγχυση καυσίμου, όπου αυτό το μίγμα δεν καίγεται αλλά εξατμίζεται μέσα στον κύλινδρο, λόγω της επικράτησης υψηλών θερμοκρασιών από προηγούμενες πραγματοποιησόμενες καύσεις.
5. Στην συνέχεια οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες, εισέρχονται στον καταλύτη στον οποίο οξειδώνονται πριν φτάσουν στον φίλτρο σωματιδίων, έχοντας ήδη πολύ υψηλή θερμοκρασία. Αυτοί η διαδικασία πραγματοποιείται σε CPF φίλτρα.

Τέλος η αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων με στόχο την καύση των σωματιδίων, μπορεί να γίνει και ως εξής:

1. Με την βοήθεια ενός θερμαντικού στοιχείου-αντίστασης, που βρίσκεται στην είσοδο του φίλτρου dpf
2. Με την βοήθεια ενός καυστήρα που βρίσκεται επίσης στην είσοδο του dpf φίλτρου

### 5.6.2.3. Διαδρομή αναζωογόνησης από τον οδηγό

Όταν ένα αυτοκίνητο πραγματοποιεί σύντομες διαδρομές, η θερμοκρασία των καυσαερίων παραμένει σχετικά χαμηλή με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται η αναζωογόνηση. Έτσι όταν το φίλτρο γεμίσει με σωματίδια περίπου και η θερμοκρασία παραμένει μικρή, ο εγκέφαλος ειδοποιεί τον οδηγό εμφανίζοντας μια προειδοποιητική λυχνία στον πίνακα οργάνων για την πραγματοποίηση μιας απαιτούμενης διαδρομής αναζωογόνησης. Η διαδρομή αυτή πρέπει να είναι συνεχόμενη για περίπου 15 λεπτά με σταθερή ταχύτητα, έτσι ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία των καυσαερίων και να γίνει με επιτυχία η αναζωογόνηση του φίλτρου συγκράτησης σωματιδίων. Αν δεν ολοκληρωθεί με επιτυχία η αναζωογόνηση, ο εγκέφαλος προειδοποιεί ξανά τον οδηγό, αναβοσβήνοντας την λυχνία στον πίνακα οργάνων. Εάν συμβεί αυτό ο οδηγός θα πρέπει να οδηγήσει πάλι το αυτοκίνητο του με μεγάλη ταχύτητα αλλά για περισσότερη ώρα. Όμως καμία φορά, η προειδοποιητική λυχνία μπορεί να ανάψει στον πίνακα ελέγχου του αυτοκινήτου, χωρίς να έχει δημιουργηθεί υπερφόρτωση μικροσωματιδίων στο φίλτρο. Αντιθέτως, η λυχνία μπορεί να εμφανιστεί ως αποτέλεσμα κάποιου ελαττωματικού αισθητήρα θερμοκρασίας ή αισθητήρα πίεσης, κάτι το οποίο επιλύεται μόνο σε συνεργείο.

Τέλος όταν ο οδηγός ενός αυτοκινήτου, δεν καταφέρνει να πραγματοποιήσει αναζωογόνηση του φίλτρου σωματιδίων αφότου του έχει ανάψει η σχετική λυχνία, τότε του εμφανίζεται στον πίνακα οργάνων και η λυχνία ελέγχου (check engine). Έτσι ο οδηγός θα πρέπει να επισκεφτεί έναν συνεργείο αυτοκινήτων έτσι ώστε με ειδικά μηχανήματα να γίνει η αναζωογόνηση του φίλτρου ή ακόμα και να αλλαχθεί.



*Εικόνα 5.23. Εμφάνιση λυχνίας στον πίνακα οργάνων, σχετικά για την προειδοποίηση της επείγων αναζωογόνησης φίλτρου σωματιδίων από τον οδηγό (GARAGEWIRE, 2015).*

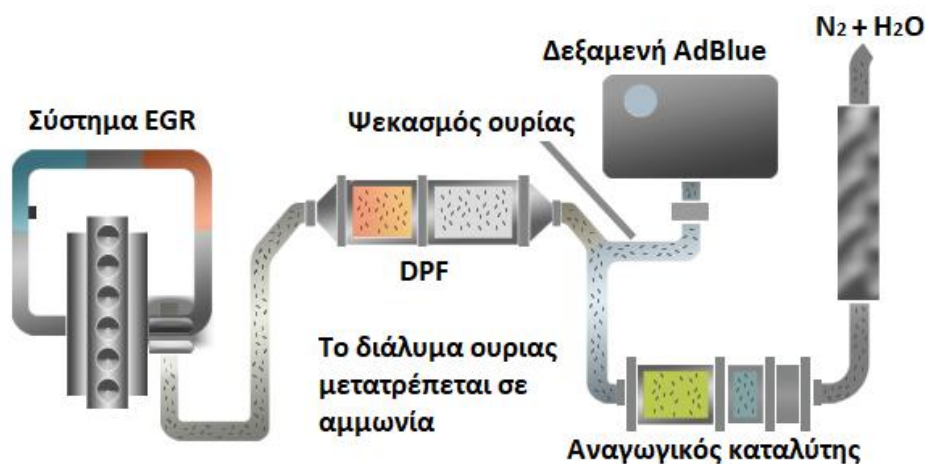
## 5.7. Σύστημα επιλεκτικής κατάλυσης SCR

Το σύστημα SCR (selective catalyst icreduction), είναι μια σύγχρονη μέθοδος αντιρρύπανσης, η οποία εφαρμόζεται στα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα, έτσι ώστε να καλύπτουν τις προδιαγραφές EURO. Στόχος του συστήματος αυτού, είναι η μείωση των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και βασικό του στοιχείο, είναι η χρήση ενός σύγχρονου υγρού διαλύματος το AdBlue. Είναι ένα διάλυμα μη τοξικό και έχει χρήση σε μεγάλα αυτοκίνητα, με στόχο την μείωση των εκπομπών ρύπων. Χάρης την χρήση του διαλύματος αυτού, επιτυγχάνεται μείωση στα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) έως και 95%, τους υδρογονάνθρακες (HC) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) έως 90%, όπως επίσης και τα μικροσωματίδια PM έως και 50%. Η ποσότητα του διαλύματος αυτού που πρέπει να ψεκαστεί, είναι ανάλογη με τις προδιαγραφές EURO. Παραδείγματος χάρη οι οδηγίες του EURO 4, είχαν χρήση του διαλύματος AdBlue σε ποσότητα 3-4% σε σχέση με την ποσότητα καυσίμου. Ενώ οι οδηγίες του EURO 5, είχαν χρήση του διαλύματος σε ποσότητα της τάξης του 5 - 7 %, σε σχέση με την ποσότητα καυσίμου.

Το διάλυμα αυτό, είναι ένα διάλυμα ουρίας, το οποίο ψεκάζεται πριν τα καυσαέρια φτάσουν και εισέλθουν στον αναγωγικό καταλύτη, ο οποίος ανήκει στο σύστημα SCR. Το υγρό διάλυμα ουρίας, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, όταν θα ψεκαστεί θα μετατραπεί σε αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), η οποία όταν

εισέλθει στον αναγωγικό καταλύτη, μαζί με τα οξειδία του αζώτου θα μετατραπούν σε μη βλαβερά αέρια δηλαδή σε άζωτο και υδρατμούς.

Επειδή οι κινητήρες diesel χρειάζονται περισσότερο οξυγόνο για να πραγματοποιηθεί η καύση (αυτανάφλεξη), στα καυσαέρια υπάρχει περίσσεια  $O_2$ . Για να μειωθούν τα  $NO_x$  χρειάζονται αναγωγικά στοιχεία και γενικότερα χημικές αντιδράσεις αναγωγής. Όμως το οξυγόνο δεν βοηθάει καθόλου σε αυτές τις χημικές διεργασίες έτσι ώστε να αναχθούν τα  $NO_x$ . Έτσι λοιπόν χρησιμοποιείται η αμμωνία η οποία μπορεί να διασπάσει τα  $NO_x$ . Το πρόβλημα όμως είναι ότι, η  $NH_3$  μπορεί να αντιδράσει και με το  $O_2$  που υπάρχει στα καυσαέρια. Για τον λόγο αυτό στους αναγωγικούς καταλύτες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα SCR, έχουν βάση το ζεόλιθο με χαλκό, το βανάδιο, το βολφράμιο και άλλα. Τα υλικά αυτά βοηθάνε στο να μην αντιδράσει η  $NH_3$  με το  $O_2$ .



*Εικόνα 5.24. Σχηματικό διάγραμμα διάταξης συστήματος επιλεκτικής κατάλυσης SCR (fuelogic).*

### 5.7.1. Σωστή χρήση υγρού διαλύματος AdBlue

Το σύστημα SCR, είναι αποδοτικό μόνο με την σωστή χρήση του υγρού διαλύματος AdBlue. Το υγρό αυτό, μπορεί να διαρκέσει πολύ καιρό στα περισσότερα αυτοκίνητα και να χρειαστεί να ξαναγεμίσει η δεξαμενή του σε κάθε επόμενο service. Η ειδική δεξαμενή του AdBlue, είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε ο οδηγός να μπορέσει να διανύσει αρκετά χιλιόμετρα μέχρι το αυτοκίνητο να ξανακάνει το επόμενο service, όπου και θα αλλαχτούν. Όμως αυτό έχει να κάνει και με την χρήση που κάνει ο κάθε οδηγός. Όταν έναν πετρελαιοκίνητο αμάξι διανύει καθημερινά πολλά χιλιόμετρα, ο οδηγός του είναι υποχρεωμένος να ξέρει τις

ποσότητες που απαιτούνται έτσι να είναι επαρκής το υγρό αυτό. Προσεγγιστικά το ένα λίτρο AdBlue, κρατάει 1000 χιλιόμετρα, ανάλογα βέβαια με τον τύπο αυτοκινήτου και τα κυβικά του. Όταν το υγρό μειωθεί αρκετά κοντά στα 3 lt, εμφανίζεται στον πίνακα οργάνων η σχετική προειδοποιητική λυχνία, η οποία ενημερώνει τον οδηγό σχετικά με τα χαμηλά επίπεδα του AdBlue και την αυτονομία που έχει μέχρι να τελειώσουν. Άρα ο οδηγός θα πρέπει να ξέρει την σημασία της σχετικής αυτής λυχνίας και να πάει στο πλησιέστερο κατάστημα για την αγορά και την πλήρωση του αυτοκινήτου με το υγρό αυτό. Η τάπα πλήρωσης του AdBlue, βρίσκεται δίπλα στην τάπα πλήρωσης του καυσίμου και έχει έντονο μπλε χρώμα και μπορεί με ευκολία ένας οδηγός να γεμίσει το αυτοκίνητο του με το υγρό διάλυμα αυτό.



**Εικόνα 5.25.** Προειδοποιητική λυχνία πλήρωσης διαλύματος AdBlue, λόγω χαμηλών επιπέδων (Volkswagen).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ

### 6.1. Εναλλακτικά καύσιμα

Παρότι οι τεχνολογικές λύσεις των αυτοκινητοβιομηχανιών για την μείωση των ρύπων έχουν πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα, η αυστηροποίηση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας και γενικότερα το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, υπογραμμίζουν την ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών λύσεων μείωσης των ρύπων στα αυτοκίνητα. Μία ιδιαίτερα δημοφιλής λύση είναι η χρήση βιοκαυσίμων, τα οποία ορίζονται ως καύσιμα που προέρχονται από οργανικά προϊόντα, όπως φυτικά έλαια, βιολογικά απόβλητα, βιολογικές καλλιέργειες και άλλα. Η χρήση των βιοκαυσίμων ως εναλλακτικά καύσιμα, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου έως και 80%, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Επίσης είναι μη τοξικά και δεν επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία, λόγω της βιολογικής τους προέλευσης. Τα πιο ευρέως γνωστά βιοκαύσιμα αναφέρονται στην συνέχεια.

#### 6.1.1. Βιοντίζελ

Από τα βιοκαύσιμα, το βιοντίζελ είναι ένα από τα πιο γνωστά και διαδεδομένα οικολογικά καύσιμα. Παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιομάζα) όπως, φυτικά έλαια, ζωικά λίπη ακόμα και από ελαιόλαδο και μπορεί επάξια να αντικαταστήσει το συμβατικό ντίζελ, αφού παρουσιάζει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες.

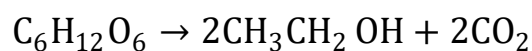
Η μείωση του θείου στα ορυκτά καύσιμα είναι αναγκαία εξαιτίας της δημιουργίας οξειδίων του θείου, τα οποία συνεισφέρουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Το αποτέλεσμα της ενέργειας αυτής, είναι ότι μπορεί να μειώσει τους εκπεμπόμενους ρύπους, όμως λόγω της μείωσης των λιπαντικών ενώσεων του θείου, δημιουργούνται αρνητικές επιπτώσεις στην λίπανση του κινητήρα. Έτσι τα διυλιστήρια προσθέτουν στα βιοκαύσιμα πολύ ακριβά πρόσθετα για την επαναφορά της λιπαντικής ικανότητας του ντίζελ. Όμως, ένα ισχυρό πλεονέκτημα του βιοντίζελ, είναι ότι έχει τόσο μηδενική περιεκτικότητα του σε θείο, όσο και καλή λιπαντική ικανότητα, λόγω της προέλευσης του και της περιεκτικότητας του σε οξυγόνο (περίπου 10% κ.β). Επίσης λόγω της περιεκτικότητας τους σε οξυγόνο, έχει ως αποτέλεσμα η καύση να είναι λιγότερο ατελής, το οποίο συνεπάγεται πολύ μικρότερη εκπομπή ρύπων σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Μπορεί το βιοντίζελ να έχει

μικρότερη θερμογόνο δύναμη, δηλαδή να απελευθερώνει λιγότερη ενέργεια κατά την καύση σε σχέση με το συμβατικό ντίζελ, όμως το μειονέκτημα αυτό επισκιάζεται από τον υψηλότερο αριθμό κετανίου του καυσίμου. Έτσι, το βιοντίζελ ανάγεται σε ένα εξαιρετικό οικολογικό καύσιμο που αποτελεί ένα πολύ καλό αντικαταστάτη του συμβατικού ντίζελ. Είναι ένα καύσιμο καθαρό, μη τοξικό και έχει πάρα πολύ χαμηλές εκπομπές ρύπων. Η χρήση του σε πετρελαιοκινητήρες εσωτερικής καύσης ως κυρίαρχο καύσιμο, γνωστό και ως B100 (100% βιοντίζελ), μπορεί να γίνει απρόσκοπτα χωρίς κάποια ιδιαίτερη μετατροπή στον κινητήρα. Επίσης, είναι διαδεδομένη η χρήση βιοντίζελ ως πρόσθετο σε συμβατικό ντίζελ, μίγμα γνωστό και ως B20, (20% βιοντίζελ, 80% συμβατικό πετρέλαιο) (Λόης et al, 2014).

### 6.1.2. Βιοαιθανόλη

Η βιοαιθανόλη, αποτελεί το πρώτο υγρό βιοκαύσιμο που χρησιμοποιείται από παλαιότερα έως και σήμερα σε μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, από τον Hendry Ford, ο οποίος το 1908 κατασκεύασε το πρώτο αλκοολοκίνητο όχημα, το μοντέλο Ford T. Έπειτα, η πρώτη χώρα που χρησιμοποίησε την βιοαιθανόλη ως καύσιμο για τις μηχανές εσωτερικής καύσης ήταν η Βραζιλία, και χρησιμοποίησε ως πρώτη ύλη για την παραγωγή της το ζαχαροκάλαμο. Στην συνέχεια ακολούθησε η Αμερική η οποία παρήγαγε την βιοαιθανόλη με πρώτη ύλη το καλαμπόκι, καθώς ύστερα ακολούθησε η Ευρωπαϊκή ένωση, η οποία παρήγαγε βιοαιθανόλη με πρώτες ύλες από σακχαρότευτλα, σιτηρά και άλλα (Λόης et al, 2014). Σήμερα, όλα τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν βενζινοκινητήρες εσωτερικής καύσης, μπορούν να χρησιμοποιήσουν μείγματα βενζίνης με περιεκτικότητα αιθανόλης 5 και 10%, λεγόμενα και ως E5 και E10 αντίστοιχα, χωρίς να γίνει καμία μετατροπή στον κινητήρα.

Η βιοαιθανόλη, προέρχεται και παράγεται κυρίως από σακχαρούχες και αμυλούχες πρώτες ύλες όπως ζαχαρότευτλα, αραβόσιτος και καλαμπόκι, με την μέθοδο της αλκοολικής ζύμωσης. Στην περίπτωση της βιοαιθανόλης γίνεται η μετατροπή σακχάρου σε αλκοόλη, κυρίως με την χρήση ειδικών κατηγοριών μυκήτων λεγόμενους και ως ζυμομύκητες. Η χημική εξίσωση της μετατροπής γλυκόζης σε αλκοόλη (αλκοολική ζύμωση), είναι η εξής:



Η αιθανόλη ή αλλιώς αιθυλική αλκοόλη, είναι ένα άχρωμο με διαύγεια υγρό. Όταν η καύση που πραγματοποιεί ένας κινητήρας είναι τέλεια με την χρήση του καυσίμου αυτού, τα προϊόντα καύσης είναι διοξείδιο του άνθρακα και νερό, καθώς δεν παράγεται διοξείδιο του θείου. Η περιεκτικότητα της βενζίνης με αιθάλη, προσδίδει στο μίγμα περισσότερο οξυγόνο με αποτέλεσμα την μείωση των ρύπων λόγω της πραγματοποίησης σωστής καύσης του κινητήρα. Εν συνεχεία το βιοκαύσιμο αυτό, περιέχει υψηλό αριθμό οκτανίων και το γεγονός αυτό βοηθάει στην αύξηση του συνολικού αριθμού οκτανίων της βενζίνης. Επίσης τα σύγχρονα αυτοκίνητα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν μίγματα με περισσότερη περιεκτικότητα αιθανόλης σε σχέση με την βενζίνη, σε αναλογίες 85% αιθανόλης και 15% βενζίνης (ARGOENERGY).

Γενικότερα η χρήση βιοκαυσίμων όπως το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη, είναι ένας ακόμα τρόπος κίνησης με σκοπό την σωστή διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την μείωση αυτών. Κατά την καύση τους παράγονται στην ατμόσφαιρα φιλικά αέρια προς το περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου και αποτελούν μια ακόμη οικολογική λύση για την ατμόσφαιρα. Το μόνο αρνητικό τους είναι ότι το ενεργειακό ισοζύγιο της αλυσίδας παραγωγής των βιοκαυσίμων αυτών είναι σχετικά μεγάλο, καθώς δαπανούνται μεγάλα ποσοστά ενέργειας για την παραγωγή τους, με την χρήση ορυκτών καυσίμων. Μελλοντικά, και με τους αυξανόμενους ρυθμούς της τεχνολογίας, σίγουρα τα ποσοστά της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή των καυσίμων αυτών θα μειωθούν σημαντικά. Όμως η προσπάθεια για την δημιουργία εναλλακτικών καυσίμων και λύσεων για οικολογική κίνηση από τους επιστήμονες συνεχίζεται, έχοντας είδη εφευρέσει και άλλες λύσεις οι οποίες μπορεί να μην είναι πολύ εμπορικές όμως σίγουρα με τον καιρό θα αποτελέσουν σταθμό για την θωράκιση της οικολογίας.

### **6.1.3. Υδρογόνο**

Το υδρογόνο είναι ένα άχρωμο αέριο, το οποίο είναι άφθονο στο σύμπαν και αποτελεί το ελαφρύτερο χημικό στοιχείο του περιοδικού πίνακα. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο στους κινητήρες εσωτερικής καύσης και να αντικαταστήσει επάξια τα υπάρχοντα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την κίνηση, δηλαδή την βενζίνη και το πετρέλαιο. Το υδρογόνο, αναφλέγεται με μεγαλύτερη ευκολία σε σχέση με την βενζίνη, καθώς κατά την καύση του, παράγονται κυρίως υδρατμοί, αλλά και κάποια μικρή έως και αμελητέα ποσότητα οξειδίων του αζώτου. Αυτό συμβαίνει διότι στον αέρα που χρησιμοποιείται για την καύση του υδρογόνου, εμπεριέχεται έναν μεγάλο ποσό αζώτου περίπου 750% το οποίο μαζί με το οξυγόνο σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να

δημιουργήσει οξείδια του αζώτου. Παρόλα αυτά αποτελεί ένα οικολογικό καύσιμο, καθώς οι ρύποι που παράγονται είναι ελάχιστοι έως και μηδενικοί. Επίσης το υδρογόνο μπορεί να καεί εύκολα και σε πολύ φτωχά μίγματα και να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες χωρίς καταλυτικό μετατροπέα, αφού κατά την καύση του δεν παράγεται σχεδόν κανένας αέριος ρύπος. Πλέον αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η BMW και η Mazda ασχολούνται εδώ και αρκετά χρόνια με την τεχνολογία του υδρογόνου στην αυτοκίνηση και είδη έχουν κατασκευάσει μοντέλα αυτοκινήτων, που χρησιμοποιούν ως κυρίαρχο καύσιμο το υδρογόνο, αλλά μπορούν να κινηθούν και με βενζίνη.

## 6.2. Υβριδικά -ηλεκτρικά οχήματα

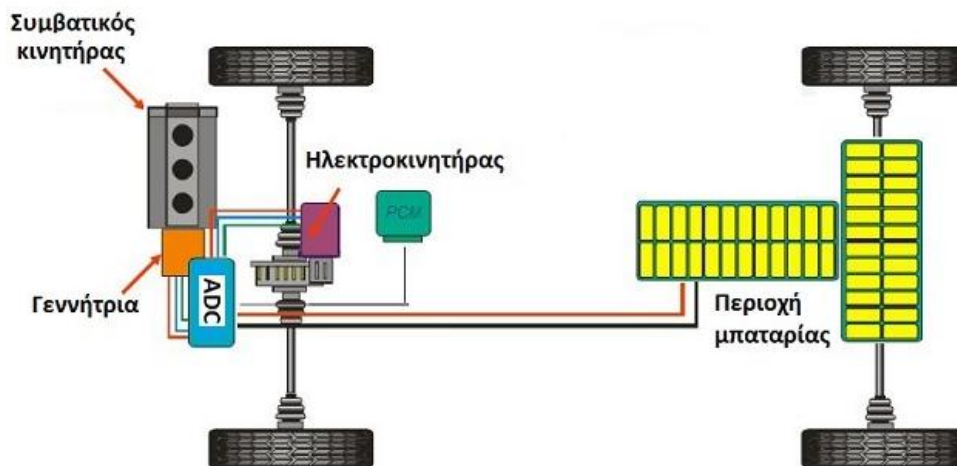
Λόγω των συνεχών πιέσεων και απαιτήσεων των κυβερνήσεων και της κοινωνίας για την μείωση των ρύπων και την προστασία του περιβάλλοντος, οι αυτοκινητοβιομηχανίες συνεχώς καινοτομούν και εξελίσσονται τεχνολογικά, με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να έχουν στραφεί στην υβριδική τεχνολογία, με στόχο την ριζική αλλαγή της αυτοκίνησης. Η διαφορά ενός υβριδικού οχήματος σε σχέση με ένα συμβατικό, είναι ότι χρησιμοποιεί για την κίνηση του δυο διαφορετικές τεχνολογίες, την θερμοδυναμική και την ηλεκτρική. Με άλλα λόγια χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης και έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες. Η κίνηση ενός οχήματος που απαρτίζεται από υβριδική τεχνολογία, μπορεί να κινηθεί είτε με τον συνδυασμό των δυο διαφορετικών κινητήρων, ή με τον κάθε έναν ξεχωριστά.

Τα βασικά εξαρτήματα ενός τέτοιου οχήματος πέρα από τους κινητήρες, είναι η μπαταρία, η γεννήτρια και ο μετασχηματιστής. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την μπαταρία, η οποία φορτίζεται από μια γεννήτρια που λειτουργεί με την βοήθεια ενός συμβατικού κινητήρα. Πιο συγκεκριμένα, η καύση του καυσίμου δημιουργεί κινητική ενέργεια στον κινητήρα η οποία μετατρέπεται μέσω της γεννήτριας σε ηλεκτρική και έτσι αυτή διοχετεύεται στον ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος τελικά δίνει κίνηση στους τροχούς. Η ηλεκτρική ενέργεια που θα περισσέψει θα αποθηκευτεί στην μπαταρία. Με τον συνδυασμό των δυο αυτών τεχνολογιών, συνδυάζεται μια πλήρως οικολογική κίνηση χάρις της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και μια μεγάλη αυτονομία εξαιτίας της ενέργειας η οποία προέρχεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

### 6.2.1. Διατάξεις υβριδικών οχημάτων

Ανάλογα με την συνδεσμολογία τους τα υβριδικά οχήματα κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

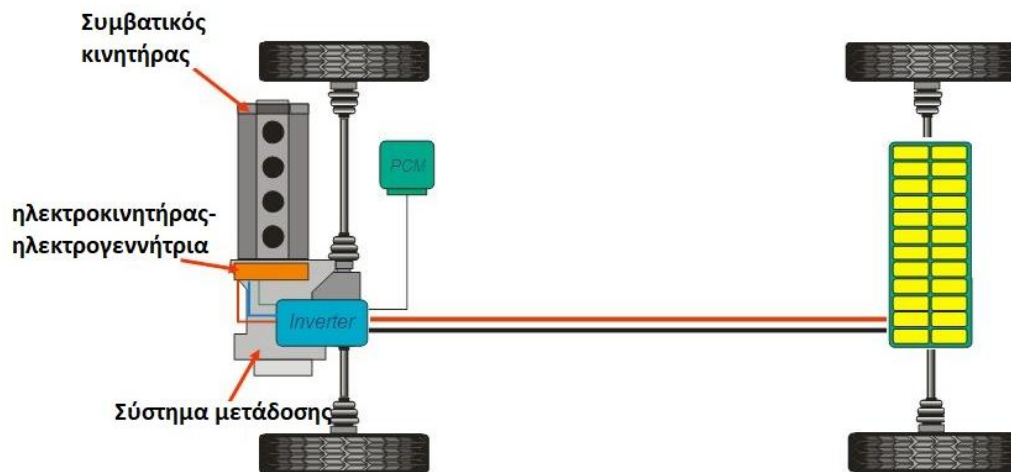
- Σειριακά υβριδικά οχήματα. Σε αυτό το σύστημα μετάδοσης ισχύος, την κίνηση την δίνει αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον άξονα κίνησης του αυτοκινήτου (κιβώτιο ταχυτήτων). Την ηλεκτρική ενέργεια την αντλεί, είτε από την μπαταρία, είτε από τον συμβατικό κινητήρα μέσω της γεννήτριας, ο οποίος δεν είναι συνδεδεμένος με τον άξονα κίνησης του αυτοκινήτου και συνήθως είναι 3 κύλινδρος και χαμηλού κυβισμού. Σε περίπτωση που απαιτηθεί μεγάλη ισχύ από τον οδηγό σε καταστάσεις όπως προσπέραση, οδήγηση σε ανηφόρα και τα λοιπά, τότε ένας ηλεκτρονικός σερβομηχανισμός δίνει εντολή στον συμβατικό κινητήρα για την απαιτούμενη αύξηση ισχύος. Ειδικά σε τέτοιες καταστάσεις, υπάρχει η δυνατότητα να μην χρησιμοποιηθεί ο κινητήρας, αλλά αντιθέτως να απομονωθεί και ο ηλεκτροκινητήρας να χρησιμοποιήσει και να αντλήσει ενέργεια από την μπαταρία στην οποία έχει αποθηκευτεί ενέργεια, από άλλες προηγούμενες διεργασίες (PORTER AND CHESTER INSITUTE).



Εικόνα 6.1. Σειριακή συνδεσμολογία υβριδικού οχήματος (PORTER AND CHESTER INSITUTE).

- Παράλληλα υβριδικά οχήματα. Σε αυτό το σύστημα παράλληλης διάταξης του κινητήρα με τον ηλεκτροκινητήρα, για την κίνηση και την παραγωγή ισχύος, συνεισφέρει και ο ηλεκτροκινητήρας και ο συμβατικός κινητήρας, οι οποίοι συνδέονται μηχανικά απευθείας με τον άξονα κίνησης του αυτοκινήτου. Και οι δυο κινητήρες μπορεί να

χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα, είτε συνδυασμένα ανάλογα την ισχύ που απαιτείται. Στην περίπτωση που λειτουργεί μόνο ο κινητήρας εσωτερικής καύσης, εάν διαπιστωθεί μέσω της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου ότι υπάρχει περίσσεια ενέργειας, τότε αυτόματα θα αλλάξει η πολικότητα του ηλεκτροκινητήρα, με αποτέλεσμα να μετατραπεί σε ηλεκτρογεννήτρια και μέσω του ηλεκτρονικού σερβομηχανισμού η μπαταρία θα φορτιστεί. Επίσης όπου απαιτηθεί μεγάλη ισχύ, δίνεται η δυνατότητα συνεργασίας και των δυο κινητήρων ταυτόχρονα. Η διάταξη αυτή, είναι ευρέως γνωστή για τις περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες, αφού την χρησιμοποιούν κατά κόρον στα υβριδικά αυτοκίνητα που παράγουν.



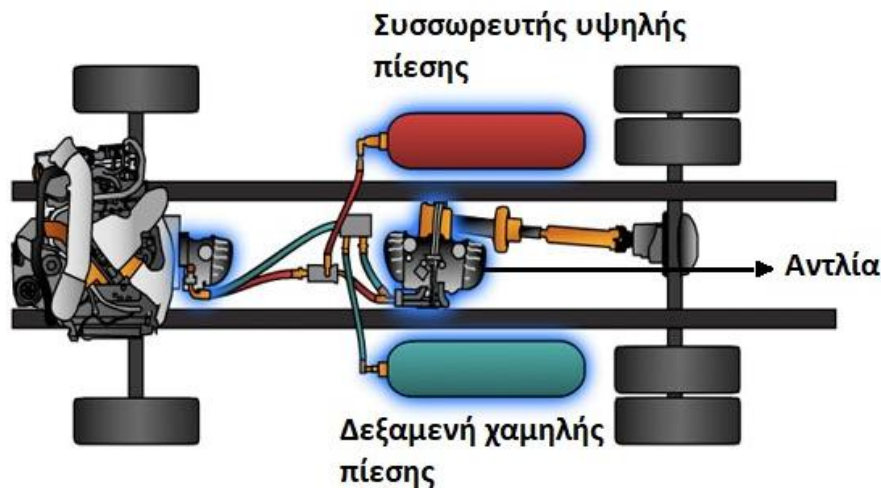
**Εικόνα 6.2.** Παράλληλη συνδεσμολογία υβριδικού οχήματος, όπου και οι δυο κινητήρες συνδέονται απευθείας στο κινητήριο άξονα (PORTER AND CHESTER INSITUTE).

- Μεικτά υβριδικά οχήματα. Σε αυτόν τον τύπο οχήματος, το σύστημα μετάδοσης ισχύος χρησιμοποιεί τον συνδυασμό χαρακτηριστικών και της σειριακής αλλά και της παράλληλης συνδεσμολογίας. Τα μεικτά υβριδικά οχήματα, είναι προφανές ότι έχουν πολύ καλύτερη απόδοση από τους υπόλοιπους τύπους οχημάτων όπως προαναφέρθηκαν. Επίσης υπάρχουν υβριδικά μοντέλα που έχουν ως εξοπλισμό το EV drive mode, όπου ο οδηγός μπορεί να επιλέξει να κινηθεί το όχημα του μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Ανάλογα όμως από κάποιες προϋποθέσεις που διαφέρουν από κάθε κατασκευαστή, όπως όταν το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας είναι σε χαμηλό επίπεδο, το όχημα αρχίζει να αναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα, και η γωνία της πεταλούδας έχει μεγάλη γωνία, αυτομάτως ο τρόπος κίνησης EV ακυρώνεται.

Τέλος, πέρα από τους τύπους υβριδικών οχημάτων που προαναφέρθηκαν και πέρα από τα υβριδικά οχήματα που χρησιμοποιούν το συνδυασμό μηχανών εσωτερικής καύσης (πετρελαιοκινητήρες, βενζινοκινητήρες) με ηλεκτροκινητήρα, τα υβριδικά οχήματα ανάλογα με το είδος της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιούν κατατάσσονται σε:

- Υδραυλικά υβριδικά οχήματα.
- Πνευματικά υβριδικά οχήματα.
- Υβριδικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου.

Ένα υδραυλικό υβριδικό όχημα για καταστάσεις όπου απαιτείται επιπλέον ισχύ, χρησιμοποιεί έναν υδραυλικό σύστημα ανάκτησης ενέργειας υπό την μορφή πεπιεσμένου υδραυλικού ρευστού, την οποία ανακτά κατά την επιβράδυνση, την αποθηκεύει, και την χρησιμοποιεί σε υψηλά φορτία. Ένα τέτοιο όχημα διαθέτει ως κύρια εξαρτήματα για την ανάκτηση ενέργειας, μια αντλία μεταβλητής μετατόπισης-κινητήρα, η οποία αντικαθιστά τον ηλεκτροκινητήρα-ηλεκτρογεννήτρια, και έναν υδραυλικό συσσωρευτή ο οποίος αποθηκεύει ενέργεια στις δεξαμενές διπλής ενέργειας. Στην μια από τις δυο δεξαμενές (όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.3), χρησιμοποιείται ένα υδραυλικό υγρό και στην άλλη συμπιεσμένο άζωτο υπό την μορφή αερίου σε υψηλή πίεση. Όταν ο χειριστής του αυτοκινήτου πατάει το πεντάλ του φρένου, το υδραυλικό υγρό που βρίσκεται στην δεξαμενή χαμηλής πίεσης ωθείται μέσω της αεραντλίας, στην δεξαμενή υψηλής πίεσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης του αερίου αζώτου περίπου στα 5000 psi. Όταν το αυτοκίνητο επιταχύνει και χρειάζεται ισχύ, το σύστημα διαφοροποιείται, καθώς ενεργοποιείται ο κινητήρας και το αέριο άζωτο ωθεί με πίεση το υδραυλικό υγρό πίσω στην δεξαμενή χαμηλής πίεσης, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να εφαρμόζει ροπή στον άξονα μετάδοσης κίνησης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου, καθώς και μείωση του CO<sub>2</sub>. (Καπετανάκης et al, 2014).



*Εικόνα 6.3. Συνδεσμολογία υδραυλικού υβριδικού οχήματος (Liggett, 2011).*

Ένα υβριδικό πνευματικό όχημα, χρησιμοποιεί 2 κινητήρες για την προώθησή του, έναν ηλεκτροκινητήρα και έναν αεροκινητήρα του οποίου τα έμβολα κινούνται με την βοήθεια συμπιεσμένου αέρα. Ο αέρας συμπιέζεται με την βοήθεια ενός μικρού κινητήρα, όπου τροφοδοτείται από μια 48V μπαταρία, η οποία δίνει ενέργεια και στον ηλεκτροκινητήρα και στον συμπιεστή αέρα. Ο συμπιεσμένος αέρας αποθηκεύεται σε μια ειδική δεξαμενή του οχήματος και χρησιμοποιείται όταν απαιτηθεί αύξηση ισχύος. Ο ηλεκτροκινητήρας θα τεθεί σε λειτουργία, όταν το όχημα αναπτύξει σταθερή ταχύτητα δηλαδή σε κανονικά επίπεδα φορτίων. Με λίγα λόγια, οι κινητήρες του υβριδικού αυτού οχήματος δεν λειτουργούν συγχρονισμένα, αντιθέτως λειτουργούν μεμονωμένα ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης. Επίσης ο ρόλος της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου είναι πολύ σημαντική, αφού ελέγχει και διαχειρίζεται την ενέργεια που ανακτάται, με αποτέλεσμα οι κινητήρες να λειτουργούν την κατάλληλη στιγμή και να έχουν την μέγιστη απόδοση. Τέλος στην υβριδική πνευματική διάταξη, δεν είναι αναγκαία η τοποθέτηση κινητήρα εσωτερικής καύσης, καθώς με την βοήθεια του ηλεκτρισμού και του συμπιεσμένου αέρα, το όχημα αυτό πέρα από την παραγωγικότητά του, προσφέρει έναν οικολογικό τρόπο μετακίνησης χωρίς την δημιουργία ρύπων (Καπετανάκης et al, 2014).

### 6.2.2. Συσσωρευτές

Οι μπαταρίες ή αλλιώς ηλεκτρικοί συσσωρευτές, είναι συσκευές οι οποίες αποθηκεύουν χημική ενέργεια και την αποδεσμεύουν όταν χρειαστεί σε ένα κύκλωμα με την μορφή ηλεκτρισμού. Τα συμβατικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν συσσωρευτές, οι οποίοι δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των υβριδικών οχημάτων. Ένα από τα μεγαλύτερα



προβλήματα των υβριδικών είναι το πρόβλημα της αυτονομίας τους με αποκλειστική χρήση μόνο του ηλεκτροκινητήρα, καθώς οι συμβατικές μπαταρίες μόλυβδου-οξέος, δεν μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτή την ανάγκη, δηλαδή δεν έχουν μεγάλη χωρητικότητα (πυκνότητα ενέργειας) που απαιτεί ένα υβριδικό όχημα για την μεγάλη ανεξαρτησία κίνησης. Για τον λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί ειδικές μπαταρίες που καλύπτουν τις ανάγκες των υβριδικών οχημάτων όπως:

1. Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-Lo).
2. Μπαταρίες υδριδίου νικελίου- μετάλλου (Ni-MH).

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, αποτελούν την καλύτερη πηγή ενέργειας για τα υβριδικά οχήματα. Στις μπαταρίες αυτές, το στοιχείο λιθίου ιόντων έχει ένα θετικό ηλεκτρόδιο που περιέχει οξείδιο του λιθίου. Τα ιόντα του λιθίου κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση της μπαταρίας, μεταφέρονται από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο, μέσω ενός πορώδους διαχωριστικού φύλλου, το οποίο είναι εμβαπτισμένο σε ηλεκτρολύτη (Καπετανάκης et al, 2014). Μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας μπαταριών είναι ότι:

- Είναι επαναφορτιζόμενες.
- Έχουν πολύ μικρό βάρος.
- Διατηρούν περισσότερη ενέργεια σε σχέση με αντίστοιχες μπαταρίες.
- Έχουν υψηλή επίδοση ρεύματος.
- Η φόρτιση τους γίνεται σε πολύ μικρό χρόνο.
- Έχουν αργό ρυθμό αποφόρτισης όταν δεν χρησιμοποιούνται.
- Παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

Επίσης μια άλλη γνωστή κατηγορία μπαταριών για τα υβριδικά οχήματα, είναι οι μπαταρίες υδριδίου νικελίου-μετάλλου. Αυτή η μπαταρία, ως αρνητικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρόδιο κράματος νικελίου και άλλων σπάνιων μετάλλων, τα οποία έχουν την ικανότητα να απορροφούν το υδρογόνο, ενώ ως θετικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιεί ηλεκτρόδιο νικελίου. Το μέταλλο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, είναι μια διαμεταλλική ένωση που περιέχει νικέλιο, ενώ ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υδροξείδιο του καλίου. Τα χαρακτηριστικά είναι πολύ καλά αφού είναι επαναφορτιζόμενη, έχει υψηλή επίδοση ρεύματος, έχει σχετικά γρήγορη φόρτιση, μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη αξιοπιστία. Το μοναδικό τους μειονέκτημα, είναι ότι επηρεάζονται σημαντικά σε υψηλές θερμοκρασίες (Καπετανάκης et al, 2014).

### 6.2.3. Τρόποι φόρτισης συσσωρευτή

#### 6.2.3.1. Οικιακή φόρτιση

Η οικιακή φόρτιση, πρόκειται για έναν πολύ διαδεδομένο τρόπο φόρτισης των μπαταριών ενός υβριδικού αυτοκινήτου. Η φόρτιση γίνεται μέσω ενός καλωδίου το οποίο δίνεται μαζί με την αγορά του αυτοκινήτου, το οποίο συνδέεται στο αυτοκίνητο και η παροχή ρεύματος προσφέρεται από την πρίζα του σπιτιού. Η παροχή ρεύματος, μπορεί να παρθεί και από μια απλή οικιακή πρίζα, όμως αυτή θα πρέπει να διαθέτει κάποιες προδιαγραφές όπως, ξεχωριστή γραμμή με δική της ασφάλεια τάσης. Σε απλές οικιακές πρίζες η πλήρης φόρτιση ενός υβριδικού οχήματος, μπορεί να διαρκέσει έως και 12 ώρες. Για τον λόγο αυτό, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης και εγκατάστασης ειδικών συσκευών φόρτισης με δικό του σύστημα ασφάλειας, τα οποία ανάλογα με την ισχύ του εκάστοτε αυτοκινήτου, έχουν την δυνατότητα μείωση της πλήρης φόρτισης από 40 έως και 70 % σε σχέση με μια απλή οικιακή πρίζα. Επίσης σε πολλές χώρες υπάρχουν ειδική σταθμοί φόρτισης που δίνουν την δυνατότητα της πλήρης φόρτισης σε λίγες μόνο ώρες.



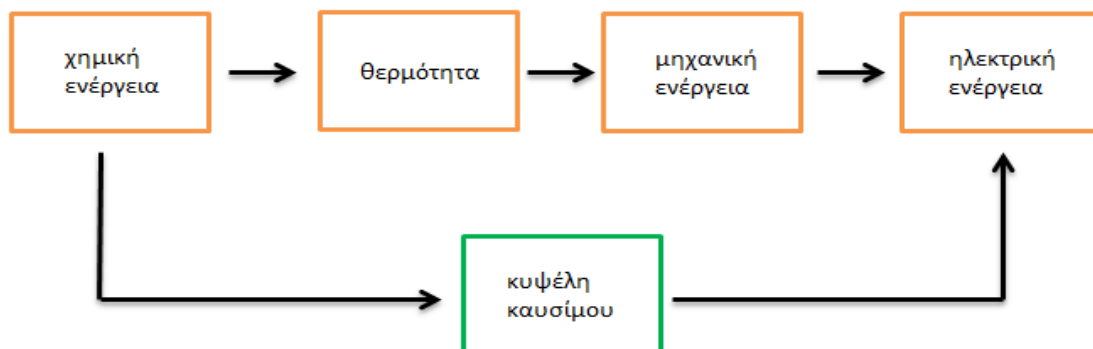
*Εικόνα 6.4. φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου BMW i3 σε σταθμό φόρτισης (Konrad, 2017).*

### 6.2.3.2. Ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση

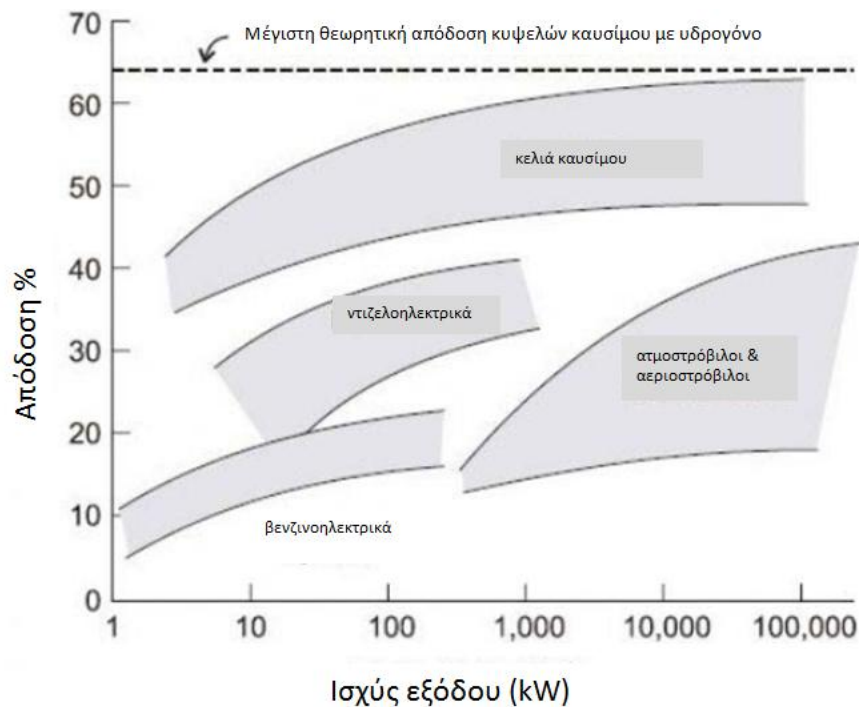
Ένα από τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα των οχημάτων που χρησιμοποιούν για την προώθηση τους ηλεκτρικό κινητήρα, είναι ότι μπορεί να γίνει ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση. Κατά την επιβράδυνση της πέδησης, απελευθερώνεται μια ενέργεια (μηχανική), η οποία αξιοποιείται και μετατρέπεται σε ηλεκτρική, φορτίζοντας έτσι τον συσσωρευτή – μπαταρία. Με την χρήση των ειδικών μπαταριών για τα υβριδικά-ηλεκτρικά οχήματα και με την λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης, επεκτείνεται πολύ η αυτονομία ενός τέτοιου οχήματος, καθώς εξοικονομούνται σημαντικά ποσά ενέργειας κατά την επιβράδυνση, που στα συμβατικά οχήματα η ενέργεια αυτή χάνεται. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης, ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί πλέον ως γεννήτρια παράγοντας έτσι ρεύμα. Αφού γίνει η μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, η ηλεκτρονική μονάδα δίνει εντολή για την αποθήκευση του ρεύματος αυτού στον συσσωρευτή. Τέλος η ενέργεια αυτή που έχει αποθηκευτεί μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί κατά την επιτάχυνση του οχήματος και αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής, είναι ότι τα υβριδικά αυτοκίνητα αποκτούν κατά 10 - 15% μεγαλύτερη αυτονομία.

### 6.2.4. Κυψέλες καυσίμου – fuel cells

Τα συστήματα κυψελών καυσίμων, αποτελούν την αιχμή της τεχνολογίας ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Πολύ συνοπτικά, πρόκειται για συσκευές που μετατρέπουν την εσωτερική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων (Εικόνα 6.5). Έτσι, η απουσία καύσης και περαιτέρω κινητών μερών μειώνει τις απώλειες ενέργειας, ανάγοντας την τεχνολογία αυτή σε μία από τις πλέον ενεργειακά αποδοτικές ανάμεσα στις τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 6.6). Το πιο σημαντικό στοιχείο τους όμως είναι ότι δεν παράγουν ρύπους μέσα από την ηλεκτροχημική μετατροπή ενέργειας.

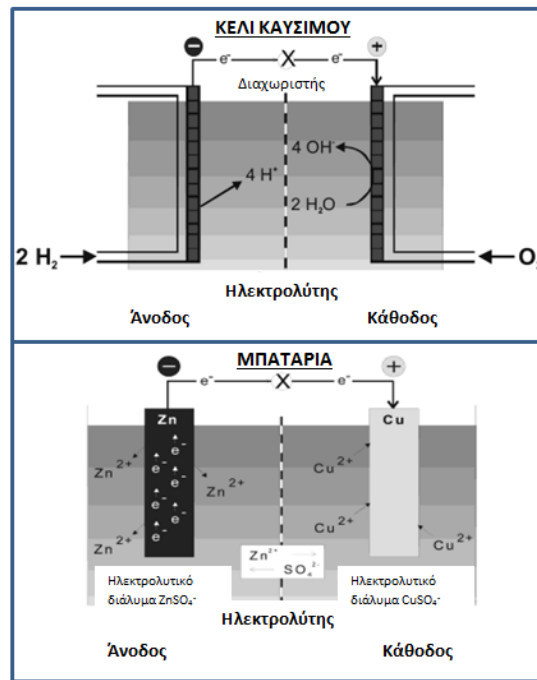


**Εικόνα 6.5.** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικά μέσα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση κυψελών καυσίμου.



**Εικόνα 6.6.** Σύγκριση της απόδοσης των κυψελών καυσίμου σε σχέση με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (*micro-vett*).

Τα βασικότερα συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτροχημικής ενέργειας είναι οι μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμων και οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές. Οι μηχανισμοί μετατροπής και αποθήκευσης ενέργειας αυτών των συστημάτων είναι διαφορετικοί, αλλά και οι τρεις τύποι έχουν κοινά χαρακτηριστικά: οι διεργασίες που παρέχουν την ενέργεια πραγματοποιούνται στη διεπιφάνεια ηλεκτροδίου/ηλεκτρολύτη και επίσης η μεταφορά ηλεκτρονίων και ιόντων είναι διαχωρισμένες. Και οι τρεις διατάξεις αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια τα οποία έρχονται σε επαφή με ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Στην εικόνα 6.7 παρουσιάζεται ένα κελί καυσίμου και μία μπαταρία.



**Εικόνα 6.7.** Παρουσίαση κελιού καυσίμου και μπαταρίας.

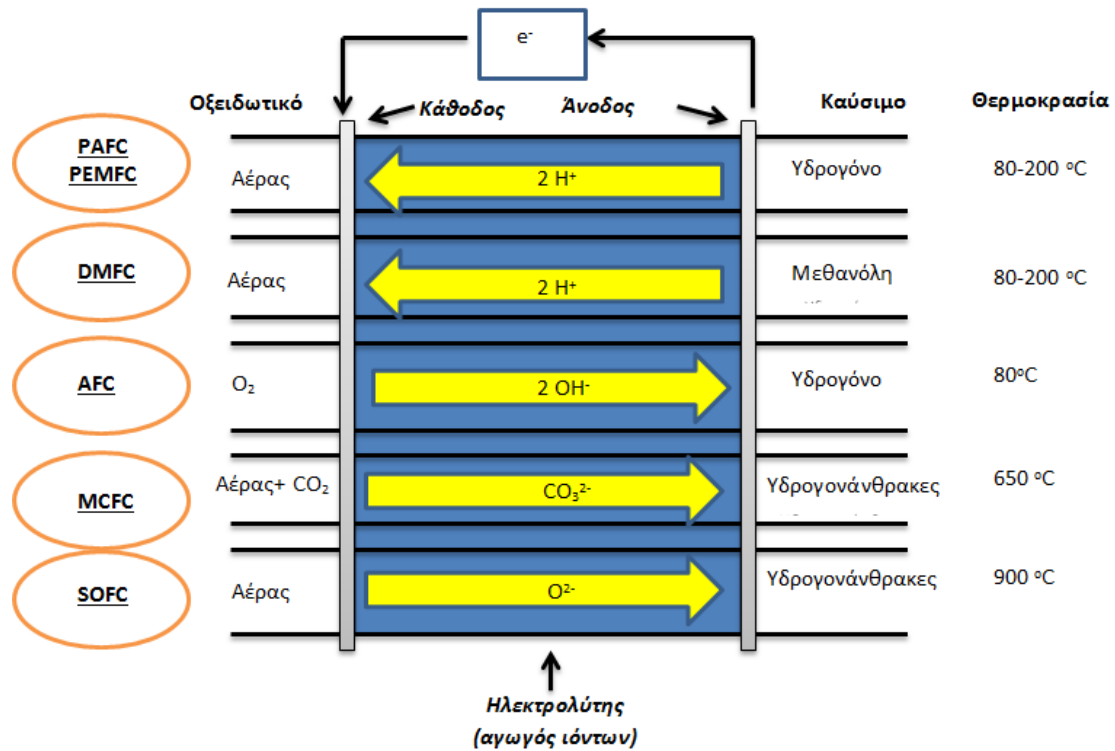
Στις μπαταρίες και στα κελιά καυσίμου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τη μετατροπή χημικής ενέργειας που γίνεται μέσα από αντιδράσεις οξειδοαναγωγής που γίνονται στην άνοδο και στην κάθοδο. Επειδή οι αντιδράσεις τις ανόδου γίνονται σε χαμηλότερο δυναμικό ηλεκτροδίου σε σχέση με την κάθοδο χρησιμοποιείται ο όρος αρνητικό και θετικό ηλεκτρόδιο για την άνοδο και την κάθοδο αντίστοιχα. Στην άνοδο πραγματοποιείται η οξείδωση και στην κάθοδο γίνεται η αναγωγή (Winteretal., 2004).

Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στην μπαταρία και τις κυψέλες καυσίμου σχετίζονται με τις θέσεις παραγωγής και μετατροπής ενέργειας. Οι μπαταρίες είναι κλειστά συστήματα με μία άνοδο και μία κάθοδο οι οποίες αποτελούν το μέσο μεταφοράς φορτίου και έχουν ενεργό ρόλο στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Στην περίπτωση αυτή τόσο η μετατροπή, όσο και η αποθήκευση ενέργειας συμβαίνουν στο ίδιο διαμέρισμα. Αντίθετα, τα κελιά καυσίμου αποτελούν ανοιχτά συστήματα όπου η άνοδος και η κάθοδος αποτελούν απλά το μέσο μεταφοράς του φορτίου. Είναι αγώγιμα πάνω στα οποία διεξάγονται οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Έτσι τα ηλεκτρόδια δεν αλλοιώνονται και οι ουσίες που συμμετέχουν στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις φτάνουν στο κελί από εξωτερικό χώρο, όπως για παράδειγμα το οξυγόνο από τον ατμοσφαιρικό αέρα ή το υδρογόνο από εξωτερικές δεξαμενές. Έτσι, η αποθήκευση ενέργειας γίνεται συνήθως σε κάποια δεξαμενή ενώ η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται μέσα στο κελί του καυσίμου. Επιπλέον, το χαρακτηριστικό αυτό του κελιού καυσίμου, δηλαδή ότι όσο υπάρχει συνεχή

ροή αντιδρώντων, του δίνει πλεονέκτημα έναντι των μπαταριών γιατί δεν εκφορτίζεται, έχοντας έτσι μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το καύσιμο είναι συνήθως το υδρογόνο, το οποίο δίνεται στο σύστημα άμεσα ή έμμεσα και είναι η ουσία που οξειδώνεται, ενώ στην κάθοδο ανάγεται το οξυγόνο (Winteretal., 2004).

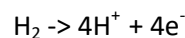
Αξίζει να σημειωθεί ότι παρότι οι κυψέλες που χρησιμοποιούν σαν καύσιμο το υδρογόνο έχουν μηδενικές εκπομπές αφού τα μόνα παραπροϊόντα είναι ο αέρας και το νερό, στην πράξη παράγουν έμμεσα εκπομπές μέσα από την φάση παραγωγής υδρογόνου, εφόσον το ίδιο δεν μπορεί να βρεθεί ελεύθερο στη φύση και απαιτούνται αντιδράσεις για την παραγωγή του. Συνήθως όμως οι εκπομπές αυτές είναι χαμηλότερες από τις εκπομπές που παράγουν οι μηχανές εσωτερικής καύσης.

Οι κυριότερες κατηγορίες κυψελών καυσίμου είναι οι αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC) στις οποίες χρησιμοποιείται κατά βάση KOH ως ηλεκτρολύτης, οι κυψέλες καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC) όπου ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται μία μεμβράνη από πολυμερές, οι κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC), οι κυψέλες τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC), οι κυψέλες άμεσης μεθανόλης (DMFC) και οι κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)(Scherer,2004). Στην Εικόνα 6.8 παρουσιάζονται αυτές οι βασικότερες οικογένειες κυψελών καυσίμου και αναγράφεται ποιο είναι το βασικό καύσιμο, ποιο είναι το οξειδωτικό μέσο και ποια είναι η θερμοκρασία του κελιού.

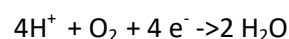


**Εικόνα 6.8.** Βασικότερες οικογένειες κελιών καυσίμων.

Η πιο διαδεδομένη δομή κελίου καυσίμου είναι αυτή της κυψέλης καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων. Η διάταξη αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια και μία πολυμερική μεμβράνη η οποία αποτελεί τον ηλεκτρολύτη του συστήματος, ενώ μεταξύ αυτών υπάρχει καταλύτης. Ο ρόλος του καταλύτη είναι η επιτάχυνση των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα εντός του κελίου. Τα αντιδρώντα είναι το ατμοσφαιρικό οξυγόνο και υδρογόνο. Το υδρογόνο όταν έρθει σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται, βάση της ακόλουθης αντίδρασης:



Στη συνέχεια η μεμβράνη επιτρέπει τη διέλευση μόνο των πρωτονίων μέσα από αυτή και εμποδίζει τη διέλευση ηλεκτρονίων. Έτσι τα ηλεκτρόνια φεύγουν από το ηλεκτρόδιο ανόδου και μέσω κυκλώματος κατευθύνονται προς την κάθοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό. Στη συνέχεια τα πρωτόνια (ιόντα υδρογόνου), διαπερνούν τη μεμβράνη και μαζί με το οξυγόνο και τα ηλεκτρόνια που καταφτάνουν στην κάθοδο αντιδρούν και παράγουν νερό βάση της ακόλουθης αντίδρασης:



Η αντίδραση αυτή παράγει περίπου 0.7 Voltoπότε συνήθως χρησιμοποιούνται πολλές τέτοιες κυψέλες στη σειρά για να αυξήσουν το παραγόμενο δυναμικό.

Μέχρι σήμερα τα κελιά καυσίμου δεν μπορούν να ανταγωνιστούν τις μηχανές εσωτερικής καύσης εξαιτίας του πολύ υψηλότερου κόστους, χαμηλότερης ισχύος και ενεργειακής απόδοσης και λόγω της ανεπαρκούς ανθεκτικότητας και διάρκειας ζωής. Επίσης η διάδοση της τεχνολογίας απαιτεί να φτιαχτούν υποδομές οι οποίες θα αποτελούν πρατήρια υδρογόνου είναι κάτι που πρέπει να γίνει και αποτελεί σοβαρό μεταβατικό βήμα του μέλλοντος. Ακόμα δεν έχει βρεθεί βέλτιστη λύση που να παρέχει την απαραίτητη ασφάλεια ως προς την αποθήκευση του υδρογόνου μέσα στο αυτοκίνητο. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια έχει κλιμακωθεί το ενδιαφέρον των αυτοκινητοβιομηχανιών και το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει εστιάσει κυρίως στην εύρεση φθηνότερων καταλυτών, καθώς μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται κατά βάση πλατίνα (Wilberforceetal., 2017).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ EURO

Λόγω της επιτακτικής ανάγκης για την μείωση των ρύπων που εξάγονται από τα οχήματα, το 1992 η Ευρωπαϊκή Ένωση σε συνεργασία με την ACEAP (Ευρωπαϊκή Ένωση κατασκευαστών αυτοκινήτων), θέσπισαν τις πρώτες προδιαγραφές που πρέπει να έχει ένα καινούριο αυτοκίνητο ως προς τους ρύπους, γνωστό και ως euro 1. Στόχος της πολιτικής αυτής, είναι οι αυτοκινητοβιομηχανίες να εξελίσσονται και να κατασκευάζουν όσο το δυνατόν μη ρυπογόνα αυτοκίνητα με βάση των προδιαγραφών euro, έτσι ώστε να είναι πιο φιλικά ως προς το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, οι προδιαγραφές αυτές αλλάζουν και γίνονται πιο αυστηρές ως προς τα όρια για τους ρύπους με αποτέλεσμα από το 1992 έως και σήμερα, οι εκπομπές ρύπων να έχουν μειωθεί πολύ και το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης να ελαττώνεται. Μέχρι στιγμής έχουν βγει 6 διαφορετικές προδιαγραφές euro και στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα όρια – συγκεντρώσεις των ρύπων ανά euro για τα συμβατικά αυτοκίνητα.

*Πίνακας 5. Προδιαγραφές euro1-euro6 βενζινοκίνητων συμβατικών αυτοκινήτων.*

EURO	Χρονολογία	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	PM (g/km)
Euro1	12/1992	2,72	-	-	-
Euro2	1/1997	2,20	-	-	-
Euro3	1/2000	2,30	0,20	0,15	-
Euro4	1/2005	1,00	0,10	0,08	-
Euro5	9/2009	1,00	0,10	0,06	
Euro6	8/2014	1,00	0,10	0,06	

**Πίνακας 6.** Προδιαγραφές euro1-euro6 πετρελαιοκίνητων συμβατικών αυτοκινήτων.

EURO	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	HC(g/km)	CO(g/km)	NOX(g/km)	HC+NOX(g/km)	PM(g/km)
Euro1	1/1992		2,72	-	0,97	0,14
Euro2	1/1996	0,64	0,64	-	0,70	0,08
Euro3	1/2000	0,50	0,50	0,50	0,56	0,05
Euro4	1/2005	0,50	0,50	0,25	0,30	0,025
Euro5	9/2009	0,50	0,50	0,18	0,23	0,005
Euro6	8/2014	0,50	0,50	0,08	0,17	0,005

## 7.1. Τεχνικός έλεγχος οχημάτων ΚΤΕΟ

Η συντομογραφία ΚΤΕΟ, προέρχεται από τις λέξεις Κέντρο Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων. Δημιουργήθηκε το 2002 στην Ελλάδα από το υπουργείο Μεταφορών και Συγκοινωνιών, με στόχο να λυθούν τα προβλήματα των τροχαίων ατυχημάτων που οφείλονται σε κακή συντήρηση το αυτοκινήτου, καθώς και να ελέγχονται οι ρύποι, δηλαδή τα καυσαέρια που οφείλονται σε ένα χαλασμένο σύστημα του αυτοκινήτου όπως τον αισθητήρα λ, τον καταλύτη και λοιπά. Τα ΚΤΕΟ, λειτουργούν με βάση τα αυστηρά Ευρωπαϊκά πρότυπα και τις προδιαγραφές εκείνες, έτσι ώστε τα οχήματα να είναι και να παραμένουν ασφαλή τόσο για την διακίνηση των ανθρώπων, όσο και για το περιβάλλον. Ο έλεγχος οχημάτων σε ΚΤΕΟ είναι υποχρεωτικός. Όλα τα οχήματα ελέγχονται αρχικά μετά από 4 χρόνια από την πρώτη τους κυκλοφορία και ύστερα περιοδικά κάθε 2 χρόνια. Σύμφωνα με τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας, το όχημα που δεν περνάει τεχνικό έλεγχο στο προβλεπόμενο περιθώριο, θα έχει ως συνέπεια ο ιδιοκτήτης να πληρώσει πρόστιμο 400 ευρώ, καθώς και αφαίρεση των πινακίδων του οχήματος.

Τα αντικείμενα ελέγχου στα ΚΤΕΟ είναι τα εξής:

1. Οπτικός έλεγχος
2. Έλεγχος σύγκλισης – απόκλισης
3. Έλεγχος συστήματος πέδησης
4. Έλεγχος συστήματος ανάρτησης
5. Έλεγχος φώτων
6. Έλεγχος καυσαερίων

### **7.1.1. Έλεγχος καυσαερίων - καυσανάλυση**

Λόγω του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει θεσπίσει νόμους και όρια για τις εκπομπές ρύπων για κάθε κατηγορία αυτοκινήτων που κυκλοφορεί στους δρόμους των κρατών-μελών της. Για τον λόγο αυτό ο ιδιοκτήτης ενός οχήματος στην Ελλάδα, είναι υποχρεωμένος να κάνει έλεγχο καυσαερίων στο όχημα του εξαμηνιαίως ή ετησίως, έτσι ώστε να αποκτήσει την κάρτα ελέγχου καυσαερίων. Ο έλεγχος γίνεται με την χρήση του αναλυτή καυσαερίων για τα βενζινοκίνητα και του αιθαλομέτρου-νεφελόμετρου για τα πετρελαιοκίνητα. Γενικότερα οι αναλυτές καυσαερίων είτε για βενζινοκίνητα είτε για πετρελαιοκίνητα οχήματα, είναι συσκευές που τοποθετούνται στην εξάτμιση των αυτοκινήτων και μετρούν τους αέριους ρύπους όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξειδία του αζώτου (NOx) και τα λοιπά.

Οι σύγχρονοι αναλυτές καυσαερίων για βενζινοκίνητα οχήματα, είναι αναλυτές απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας χωρίς διασπορά (NDIR), χρησιμοποιούν δηλαδή υπέρυθρη ανάλυση των καυσαερίων των κινητήρων που λειτουργούν με καύσιμο βενζίνη. Ο έλεγχος καυσαερίων, είναι ένας έλεγχος για την μέτρηση των εκπεμπόμενων αερίων όπως CO, CO<sub>2</sub> και HC, καθώς και ο έλεγχος του αισθητήρα λ, που είναι πολύ σημαντικός για την σωστή λειτουργία του αυτοκινήτου. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τους ελέγχους, εισάγονται σε ειδικό λογισμικό που έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί για την ανάλυση των καυσαερίων. Η αρχή λειτουργίας των αναλυτών τύπου NDIR, στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε χημική ένωση που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση, έχει την ικανότητα να απορροφά μια περιοχή από το φάσμα της ορατής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι περιοχές του φάσματος αυτού, λέγονται φασματικές γραμμές και για κάθε αέριο διαφέρουν λόγω της χημικής του σύστασης. Γίνοντας η μέτρηση της έντασης του φωτός των φασματικών γραμμών, μπορεί να μετρηθεί το ποσοστό των αερίων μέσα στο μίγμα. Αυτή η μέθοδος καυσανάλυσης έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια και πολύ μικρό σφάλμα μέτρησης (Καραμπίλας, 2010).



**Εικόνα 7.1.** Αναλυτής καυσαερίων MGT 5 (MAHA IRELAND).

Το νεφελόμετρο, είναι μια συσκευή - αναλυτής καυσαερίων, που μετράει την αδιαφάνεια των καυσαερίων που εκπέμπονται και προέρχονται από τον καπνό των πετρελαιοκίνητων οχημάτων, με την μέθοδο της απορροφητικής φωτομετρίας. Οι τιμές των μετρήσεων και γενικώς τα δεδομένα, εισάγονται σε ειδικό λογισμικό όπου γίνεται η διάγνωση. Η αδιαφάνεια, συσχετίζεται με το πόσο μαύρος είναι ο καπνός που εκπέμπεται. Η συσκευή διαθέτει 2 κλίμακες μέτρησης, όπου η μια είναι για την μέτρηση του συντελεστή K η αλλιώς συντελεστή απορρόφησης από 0 μέχρι το άπειρο και μια κλίμακα για την επί τις % μέτρηση της θολερότητας των καυσαερίων από 0-100 %. Οι μετρήσεις γίνονται με ελεύθερη επιτάχυνση και με φορτίο. Στα πιο σύγχρονα αιθαλόμετρα, αποθηκεύονται οι εργασιακές τιμές των στοιχείων μετρήσεων διαφορετικών αυτοκινήτων στην μνήμη τους, όπου μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη που διαθέτουν, καθώς δίνεται η δυνατότητα παρουσίασης των μέγιστων τιμών K σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα σε γραφική παράσταση. Παλαιότερα η μέτρηση της περιεκτικότητας αιθάλης στα καυσαέρια, γινόταν με την μέθοδο BACHARAC. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο μαύρισμα ενός ειδικού χαρτιού, από τα καυσαέρια που εκπέμπονται. Το μαύρισμα που δημιουργείται, συγκρίνεται με άλλες μαυρισμένες επιφάνειες πρότυπης κλίμακας BACHARACH και στο σημείο που συμπίπτει το μαύρισμα, λαμβάνεται η συγκεκριμένη ένδειξη (Καραμπίλας 2010)



*Εικόνα 7.2. Φορητό αιθαλόμετρο-νεφελόμετρο (KANE, Auto 600).*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τους γρήγορους ρυθμούς της τεχνολογικής προόδου, τα αυτοκίνητα έχουν εξελιχθεί τόσο στον σχεδιασμό τους και στις ανέσεις που προσφέρουν, όσο και σε θέματα μηχανολογικά και ηλεκτρονικά. Λόγω της ανάγκης για την συνολική μείωση των ρύπων στον πλανήτη, τα αυτοκίνητα διαθέτουν τεχνολογίες και συστήματα ελέγχου που μειώνουν πολύ αποτελεσματικά τους ρύπους, κάνοντας τα πολύ φιλικά προς το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, σε σχέση με παλαιότερα. Όμως τα αυτοκίνητα που διαθέτουν κινητήρες εσωτερικής καύσης όπως βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες, όσο και να εξελιχθούν μελλοντικά επιπλέον τα αντιρρυπαντικά τους συστήματα, πάντα θα εκπέμπεται από τις εξατμίσεις τους έναν ποσοστό ρύπων και επειδή η αγορά αυτοκινήτων και η ζήτηση τους όλο και περισσότερο αυξάνεται, πάντα θα υπάρχει πρόβλημα με τα επίπεδα των ρύπων. Επίσης ένα ακόμα πρόβλημα είναι ότι τα υγρά καύσιμα σε κάποιες χώρες όπως στην Ελλάδα είναι ακριβά και πλέον οι άνθρωποι αναζητούν οικονομικά αυτοκίνητα ως προς την κατανάλωση τους. Για το λόγο αυτό οι αυτοκινητοβιομηχανίες τα τελευταία χρόνια έχουν στραφεί στην υβριδική τεχνολογία που με την πάροδο του χρόνου θα κατακτήσει την παγκόσμια αγορά, αφού τα υβριδικά οχήματα αποτελούν τον πλέον οικονομικό τρόπο μετακίνησης, καθώς έχουν χαμηλές καταναλώσεις και αποτελούν έναν οικολογικό σύμμαχο του περιβάλλοντος.

Παρόλα αυτά, οι τεχνολογίες και τα υλικά των υβριδικών αυτοκινήτων τα καθιστούν ιδιαίτερα ακριβά ως πάγιο κεφάλαιο. Η έρευνα τα τελευταία χρόνια έχει επικεντρωθεί στην αντικατάσταση των ακριβών υλικών με φθηνότερα, όμως ακόμα δεν έχουν δοθεί λύσεις στα μεγάλα ποσά που απαιτούνται για την αγορά υβριδικών αυτοκινήτων. Επιπλέον, ένα ακόμη πρόβλημα είναι η προμήθεια καυσίμων όπως το υδρογόνο ή η φόρτιση του αυτοκινήτου από πρατήρια. Με λίγα λόγια, οι ελλείψεις υποδομές αποτελούν ένα ακόμα εμπόδιο στην διάδοση της τεχνολογίας αυτής και τη σταδιακή αντικατάσταση των μηχανών εσωτερικής καύσης.

Μέχρι να γίνει αποκλιμάκωση της αγοραστικής τιμής των ηλεκτρικών/ υβριδικών αυτοκινήτων, η χρήση βενζινομηχανών ή ντιζελομηχανών είναι μονόδρομος. Σε αυτό το πλαίσιο, ο μόνος τρόπος μείωσης των ρύπων είναι η εφαρμογή τεχνολογιών ελέγχου και μείωσης ρύπων. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν σταματήσει να αναπτύσσονται, ή τουλάχιστον ο ρυθμός ανάπτυξης τους έχει μειωθεί δραστικά τα τελευταία χρόνια. Πέρα από τη μετατόπιση του ενδιαφέροντος σε άλλου είδους μετακινήσεις, όπως προαναφέρθηκε,

φαίνεται πως οι αντιρρυπαντικές τεχνολογίες στις μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν φτάσει σε ένα τέλμα, δεν μπορούν να εξελιχθούν άλλο. Στο κείμενο αναλύθηκε το πόσο εξελιγμένα συστήματα εφαρμόζονται και τονίστηκε η επιτυχία των συστημάτων αυτών. Η επιτυχία τους άλλωστε τονίζεται και από τη μακροζωία τους. Έτσι, ο μόνος τρόπος να μειωθούν περαιτέρω οι ρύποι των αυτοκινήτων πριν ξεκινήσει η μαζική παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων ικανών να καλύψουν τις απαιτήσεις του επιβατηγού κοινού, είναι η μείωση της χρήσης των αυτοκινήτων και η αύξηση της συνείδησης του κοινού.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

Αγερίδης, Γ., Καραμπίλας, Π., Ρώσσης, Κ. (2001). *(Μηχανές Εσωτερικής Καύσης II)*. ΑΘΗΝΑ: ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ, σ 96, 138

ΑΡΚΟΥΛΗΣ, Ν., ΓΙΑΝΝΟΣ, Γ. (2014). *(ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ)*. Αθήνα: Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων Γενική Συνομοσπονδία Επαγγελματιών Βιοτεχνών Εμπόρων Ελλάδας. (ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ), σσ 190-194.

Καπετανάκης, Γ., Καραμπίλας, Π. (2014). *(ΥΒΡΙΔΙΚΗ τεχνολογία ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ)*. Αθήνα: Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων Γενική Συνομοσπονδία Επαγγελματιών Βιοτεχνών Εμπόρων Ελλάδας (ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ), σσ 16, 35-36.

Καπετανάκης, Γ., Καραμπίλας, Π., Κουντουράς, Λ., Κουτσούκος, Β. (2003). *(Αυτοκίνητο και Περιβάλλον)*. Αθήνα: ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΔΙΑΡΚΟΥΣ ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ (Ι.Δ.Ε.Ε.Α), σσ 120-122, 68-75

Καραμπίλας, Π. (2010). *(ΙΝΙΕΚΤΙΟΝ-ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ&ΑΝΑΛΥΤΕΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΨΕΚΑΣΜΟ)*. Αθήνα: ΜΗΧΑΝΟΕΚΔΟΤΙΚΗ, σσ 15-16, 90-96, 104-108, 119-138, 201, 218

ΛΟΗΣ, Ε., ΖΑΝΝΙΚΟΣ, Φ., ΚΑΡΩΝΗΣ, Δ. (2014). *(ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ)*. ΑΘΗΝΑ: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, σσ 84-85, 127, 65, 96, 142.

Παρασκευάς, Σ. Μ. (2013). *(Προσδιορισμός των στοιχείων της ομάδας της πλατίνας σε σωματίδια από τις εκπομπές των καταλυτών βενζινοκίνητων οχημάτων και αξιολόγηση της κατάστασης του καταλύτη)*. Αθήνα: Διδακτορική διατριβή Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ΕΜΠ, σσ 13-14, 21-22, 24.

Mohammed, M.R. and Abdullah, M.A. [ed.]. (2017). *(Electrochemical Sensors Technology)*: INTECH, pp 67-71.

Matthey. J. (2007). *(Platinum metals Review)*. UK: p.162.



Scherer G.G. [ed.].(2004). What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, pp.2-41.

### Journals

Abd-Alla, GH. (2002). Using exhaust gas recirculation in internal combustion engines: a review. *Energy Convers Manag*, 43, pp.1027-1042.

Jain, V., Parihar, DS., Jain, V. and Mulla, IH. (2013). Performance of Exhaust Gas Recirculation (EGR) System on Diesel Engine. *Int J Eng Res Appl*, 3(4), pp.1287-1297.

Naresh, P., Madhava, V. and Babu, AVH.(2015). Exhaust Gas Recirculation System. *Journal of Bioprocessing and Chemical Engineering*, pp.1-7.

Rehan, S. (2017).DEDICATED EXHAUST GAS RECIRCULATION IN SPARK IGNITION ENGINES. *Adv. Sci. Technol. Res. J.*,11(2) pp.44-50.

Wilberforce T., El-Hassan Z., Khatib F.N., Al Makky A., Baroutaji A., Carton J.G., Olabi A.G.(2017). Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *Int J Hydrogen Energy.*, 42(40), pp. 25695-25734.

Winter M. and Brodd R.J.(2004). What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?. *Chem. Rev.*, 104(10), pp.4245-4269.

### Διαλέξεις και παρουσιάσεις

Μπισδούνης, Λ. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗΣ. [διάλεξη].  
Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών Τ.Ε.Ι ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.

ΤΖΙΡΑΚΗΣ, Κ. (2017). *Κινητήριες Μηχανές από το Α ως το Ω*. [Διάλεξη]. Τμήμα μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ.

Φατοής. Α. *ΚΑΥΣΗ BENZINOKINHTHΡΩΝ*. [Διάλεξη]. Τμήμα μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε.Ι ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.

Elsayed. C (2017). *ECU Engine Control unit Inputs & Outputs*. [online] slideshare.net. Διαθέσιμο στο: <https://www.slideshare.net/kemo44/ecu-engine-control-unit-inputs-outputs-explained> [Ημ/νια πρόσβασης: 15/8/2017].

### **Online άρθρα**

Black, (2018). *Lamda kontroler pomoć oko operacijskog pojačala*. [online] Elektronika.ba. Διαθέσιμο στο: <https://www.elektronika.ba/forum/viewtopic.php?f=1&t=17187>. [Ημ/νια πρόσβασης: 29/8/2018].

Hannah, R., Max, R. (2017). *AIR POLLUTION*. [Online] Our world in Data. Διαθέσιμο στο: <https://ourworldindata.org/air-pollution> [Ημ/νια πρόσβασης: 4/8/2018].

Konrad, t. (2017). *Tom Konrad sifts through all the decisions a homeowner needs to make when installing an EV charger—including features, brands and performance*. [online] gtm. Διαθέσιμο στο: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/buying-and-installing-a-home-electric-vehicle-charging-station#gs.AIUaCqA> [Ημ/νια πρόσβασης 25/11/2017].

Liggett, B. (2011). *The EPA and Chrysler Team Up to Develop New Hydraulic Hybrid Minivan*. [online] inhabitat. Διαθέσιμο στο: <https://inhabitat.com/the-epa-and-chrysler-team-up-to-develop-new-hydraulic-hybrid-minivan/> [Ημ/νια πρόσβασης: 10/11/2017].

Nidhi, N. (2018). *How to clean a Catalytic Converter*. [online] motor.ONEHOWTO. Διαθέσιμο στο : <https://motor.onehowto.com/article/how-to-clean-a-catalytic-converter-12123.html> [Ημ/νια πρόσβασης: 5/9/2018].

Orville, C. C., Charles, L. P. *Gasoline engine*. [online] [www.britannica.com](http://www.britannica.com). Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/technology/gasoline-engine> [Ημ/νια πρόσβασης: 28/8/2017].

ReInler.(2016). *Exhaust Gas Recirculation Closed Position Performance*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.troublecodes.net/p1codes/p1404/> [Ημ/νια πρόσβασης 15/08/2018].

Ruff, M. (2015). *DPF warning light is not always a DPF issue says expert*. [online] GARAGEWIRE. Διαθέσιμο στο: <http://garagewire.co.uk/news/dpf-warning-light-is-not-always-a-dpf-issue-says-expert/> [Ημ/νια πρόσβασης: 2/11/2017].

Samenow, J. (2016). *July was 'absolutely' Earth's hottest month ever recorded*. The Washington Post, [online]. Διαθέσιμο στο: [https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2016/08/16/july-was-absolutely-earths-hottest-month-ever-recorded/?utm\\_term=.48951fa65177](https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2016/08/16/july-was-absolutely-earths-hottest-month-ever-recorded/?utm_term=.48951fa65177) [Ημ/νια πρόσβασης: 25/8/2018].

Panait, M. (2015). *How the Diesel Particulate Filter works*. [online] autoevolution. Διαθέσιμο στο: <https://www.autoevolution.com/news/how-the-diesel-particulate-filter-works-90866.html> [Ημ/νια πρόσβασης: [20/11/2017].

### **Ιστοσελίδες**

IKE. (2006). *Βενζίνες – οκτάνια/μόλυβδος*. [online] ROBOTPIG.net. Διαθέσιμο στο: [https://robotpig.net/\\_automotive/fuel-e.php?page=1](https://robotpig.net/_automotive/fuel-e.php?page=1) [Ημ/νια πρόσβασης: 15/07/2017].

AA1Car. *Exhaust Gas Recirculation (EGR)*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.aa1car.com/library/egr.htm> [Ημ/νια πρόσβασης 22/07/2018].

ACGO. *How Does an EGR Valve Work*. [online] Διαθέσιμο στο: [http://www.agcoauto.com/content/news/p2\\_articleid/207](http://www.agcoauto.com/content/news/p2_articleid/207) [Ημ/νια πρόσβασης 15/07/2018].

Aesop, Advanced Electronic Scenarios Operating Platform. *Μέτρηση καυσαερίων – καυσανάλυση*. [online]. Διαθέσιμο στο: <http://aesop.iep.edu.gr/node/11249/2597> [Ημ/νια πρόσβασης: [14/11.2017].

Air Pollution in World: *Real-time Air Quality Index Visual Map*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://aqicn.org/map/world/> [Ημ/νια πρόσβασης: 25/8/2017].

AMS AUTOMOTIVE. *Flywheels*. [online] Διαθέσιμο στο <http://www.amsautomotive.com/Heavy-Duty-Clutches-Flywheels> [Ημ/νια πρόσβασης: 25/8/2018]

AUTOXPAT. (2016). CAR ENGINE MAJOR COMPONENT. [online] Διαθέσιμο στο: <http://autoxpatvpro.com/2016/09/09/car-engine-major-component/> [Ημ/νια πρόσβασης: 5/8/2018].

AutoZone. Crankcase Ventilation system. [online]. Διαθέσιμο στο: [https://www.autozone.com/repairguides/Toyota-Cressida-Corona-Crown-MarkII-1970-1982-Repair-Guide/Emission-Controls/Crankcase-Ventilation-System/\\_/P-0900c152800872c5](https://www.autozone.com/repairguides/Toyota-Cressida-Corona-Crown-MarkII-1970-1982-Repair-Guide/Emission-Controls/Crankcase-Ventilation-System/_/P-0900c152800872c5) [Ημ/νια πρόσβασης: 15/8/2018].

European Automobile Manufacturers Association ACEA, (2017), *CO2 from Cars and Vans*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.acea.be/industry-topics/tag/category/co2-from-cars-and-vans> [Ημ/νια πρόσβασης: 3/9/2018].

fuelogic. *AdBlue*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.fuelogic.co.uk/products/adblue/> [Ημ/νια πρόσβασης: 2/9/2018].

GearHeadBanger. (2011). *LS7 2006 7.0L V-8 (LS7) Engine Block for Chevrolet Corvette Z06*. [online] Διαθέσιμο στο: <http://gearheadbanger.com/ls7-2006-7-0l-v-8-ls7-engine-block-for-chevrolet-corvette-z06/> [Ημ/νια πρόσβασης: 15/7/2017].

Global Muffler, (2018). *3D CATALYTIC CONVERTER*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.globalmuffler.ca/3d-catalytic-converter/> [Ημ/νια πρόσβασης: 6/6/2018].

KANE. *AUTO 600*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.kane.co.uk/products/auto600-diesel-smokemeter> [Ημ/νια πρόσβασης: 14/11/2017].

micro-vett. *INNOVAZIONE E TECNOLOGIA*. [online] Διαθέσιμο στο: <http://micro-vett.it/tecnologia/> [Ημ/νια πρόσβασης: 10/07/2018].

Mountune. *Mountune Camshaft Kit - Ford 2.3L EcoBoost - V2*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.mountuneusa.com/mountune-Camshaft-Kit-Ford-2-3L-EcoBoost-V2-p/6069-cs2-aak.htm> [Ημ/νια πρόσβασης: 5/8/2018].

MAHA IRELAND. *MGT 5 / MDO2-LON Combi Tester*. [online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.mahaireland.ie/products/emission-tester-mgt-5-mdo2-lon-combi-tester/> [Ημ/νια πρόσβασης: 13/11/2017].

NPTel. Elements of CNC Machine tools: Electric Motors. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://nptel.ac.in/courses/112103174/module4/lec1/4.html> [Ημ/νια πρόσβασης: 13/11/2017].

PRO Import Tuners. *MagnaFlow High Flow Catalytic Converter*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.proimporttuners.com/parts/import-magnaflow-high-flow-catalytic-converter.html> [Ημ/νια πρόσβασης: 25/8/2018].

TiePie. *Μέτρηση ευρυζωνικού αισθητήρα οξυγόνου (Broadband)*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.tiepie-automotive.com/el/articles/oxygen-sensor-broadband> [Ημ/νια πρόσβασης: 15/8/2018].

tomco-inc, the fuel & emissions specialists, (1994). *TITANIA OXYGEN SENSORS*. [online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.tomco-inc.com/techinfo.html> [Ημ/νια πρόσβασης: 20/8/2018].

TomcoTechtips. (1995). *Positive Backpressure EGR Valves*. [online] Διαθέσιμο στο: [http://www.tomco-inc.com/Tech\\_Tips/ttt26.pdf](http://www.tomco-inc.com/Tech_Tips/ttt26.pdf) [Ημ/νια πρόσβασης 12/08/2018].

TomcoTechtips. (1996). *LINEAR EGR VALVES*. [online] Διαθέσιμο στο: [http://www.tomco-inc.com/Tech\\_Tips/ttt30.pdf](http://www.tomco-inc.com/Tech_Tips/ttt30.pdf) [Ημ/νια πρόσβασης 13/08/2018].

Science history institute, (2017), *Eugene Houdry*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/eugene-houdry> [Ημ/νια πρόσβασης: 26/8/2017].

United States Environmental Protection Agency EPA. *Acid Rain Basics*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.epa.gov/acidrain> [Ημ/νια πρόσβασης: 23/8/2018].

Volkswagen. *What is AdBlue? High environment protection factor at low cost*. [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.volkswagen.com.au/en/owners/adblue.html> [Ημ/νια πρόσβασης: 2/9/2018].

VORIA.gr, (2016). *ΑΘΗΝΑ: ΚΑΘΕ ΔΕΚΑΕΤΙΑ Η ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ ΚΑΤΑ 2,8 ΧΛΜ. ΛΟΓΩ ΡΥΠΑΝΣΗΣ*. [online]. Διαθέσιμο στο: <http://www.voria.gr/article/athina-kathe-dekaetia-i-oratotita-mionete-kata-28-chlm-logo-ripansis> [Ημ/νια πρόσβασης: 26/8/2017].

Wikipedia. *V6 engine*. [online]. Διαθέσιμο στο: [https://en.wikipedia.org/wiki/V6\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/V6_engine)  
[Ημ/νια πρόσβασης: 15/07/2017].

Wikipedia, (2006). *Inversion (meteorology)*. [online]. Διαθέσιμο στο:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Inversion\\_\(meteorology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Inversion_(meteorology)) [Ημ/νια πρόσβασης: 26/8/2017].

### **Videos**

Auto Tech Lambs. (2015). *How Car Engine Works*. [video]. Διαθέσιμο στο:  
[https://www.youtube.com/watch?v=DKF5dKo\\_r\\_Y](https://www.youtube.com/watch?v=DKF5dKo_r_Y) [Ημ/νια πρόσβασης: 16/07/2017].

PORTER AND CHESTER INSITUTE. *Introduction of hybrid vehicles*. [video]. Διαθέσιμο στο:  
<https://slideplayer.com/slide/7062129/> [Ημ/νια πρόσβασης: 10/7/2017].