

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤ.
ΕΛΛΑΔΑΣ

1.1 ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ



ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ”

ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Α.Μ:9489

Εισηγητής: Μπιζρέμης Παναγιώτης

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2018

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, την οποία διεκπεραίωσα στο Α.Τ.Ε.Ι. ΔΥΤ. ΕΛΛΑΔΑΣ, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν να περατώσω επιτυχώς την εργασία αυτή.

Πιο συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου από το Α.Τ.Ε.Ι. ΔΥΤ. ΕΛΛΑΔΑΣ, κ. Μπιζρέμη Παναγιώτη, για την πολύτιμη βοήθειά του, τον άπειρο χρόνο που μου αφιέρωσε αλλά και την ατελείωτη υπομονή του. Επίσης, θα ήθελα να αναφέρω το όνομα του κυρίου καθηγητή Μπισδούνη Χρήστο για την υποστήριξή του και τις γνώσεις του από την δικιά του πλευρά.

Και οι δύο τους υπήρξαν σωστοί καθηγητές αλλά και συμβουλάτορες και φίλοι όταν άρμοζαν οι καταστάσεις.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους δικούς μου ανθρώπους για την υποστήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια της σπουδαστικής μου διαδρομής.

Περίληψη

Σε αυτό το σύγγραμμα θα παρουσιάσουμε του πετρελαιοκινητήρες εσωτερικής καύσης (Diesel), θα αναλυθούν οι φάσεις λειτουργίας τους και τα περιεχόμενα των καυσαερίων τους. Θα αναπτύξουμε τις τεχνικές για την μείωση των ρύπων αυτών, θα παρουσιαστεί το “τέλειο” μηχανικό σύνολο μέχρι σήμερα και βγάλουμε κάποια συμπεράσματα ως προς την χρήση τους.

Περιεχόμενα

Μονάδες και συντομογραφίες.....	2
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο 2: Ιστορία του Diesel	6
Κεφάλαιο 3: Κινητήρες Diesel	8
3.1 Εισαγωγή.....	8
3.2 Διαφορές κινητήρων Diesel και βενζίνης	9
3.3 Κατάταξη των πετρελαιοκινητήρων	1
3.4 Αρχές λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα	11
3.5 Αρχές λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα	13
3.5 Αρχές λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα	13
3.6 Προϊόντα καύσης πετρελαιοκινητήρων.....	16
Κεφάλαιο 4: Τεχνικές μέτρησης ρύπων	19
4.1 Εισαγωγή.....	19
4.2 Τάσεις στους κανονισμούς των εκπομπών	19
4.3 Όρια εκπομπών ρύπων	20
4.4 Μέθοδοι μέτρησης εκπομπών ρύπων.....	24
4.5 Εφαρμογές των τεχνικών μέτρησης σε παγκόσμια κλίμακα	27
4.6 Νέες εξελίξεις στις τεχνικές μετρήσεων	27
Κεφάλαιο 5 :Τεχνικές μείωσης ρύπων	32
5.1 Εισαγωγή.....	32
5.2 Κινητοποιήσεις για την εξέλιξη των κινητήρων Diesel.....	34
5.3 Επεξεργασία καυσαερίων.....	39
5.3.1 Συνείδηση χειριστή – οδηγού	39
5.3.2 Ανεφοδιασμός με καλύτερα καύσιμα	39
5.3.3 Φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων DPF.....	41
5.3.4 Υγρός διαλύτης πετρελαίου UREA	47

5.4	Επανασχεδιασμός κινητήρων και περιφερειακών συστημάτων	50
5.4.1	Έμβολο νέας σχεδίασης	50
5.4.2	Άμεσος ψεκασμός καυσίμου	51
5.4.3	Ψυγείου εισερχόμενου αέρα	53
5.4.4	Βαλβίδα ανακύκλωσης καυσαερίων EGR.....	54
5.4.5	Στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας.....	56
5.4.6	Ανακύκλωση αναθυμιάσεων	65
	Κεφάλαιο 6: Ένα καθαρό μηχανικό σύνολο.....	68
	Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα.....	72
	Βιβλιογραφία.....	74

Μονάδες και συντομογραφίες

Μήκος	Μέτρα	Meters	m
	Χιλιόμετρα	Kilometers	km
Δύναμη	Ιπποδύναμη	Horsepower	hp
	Βαττ	Watt	W
	Κίλοβαττ	Kilowatt	kW
Μάζα	Γραμμάρια	Gramms	g
	Κιλά	Kilos	kg
	Τόννοι	Tons	tn
Θερμοκρασία	Κελσίου	Celsious	C
		$C=(F-32)/1.8$	
	Φαρενάιτ	Farheneit	F
		$F=(1.8xC)+32$	
Ταχύτητα	Χιλιόμετρα ανά ώρα	Kilometers per hour	km/h
Ροπή	Νιούτον ανά μέτρο	Newton-meters	Nm
Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης		Internal Combustion Engine	KEK/ICE
Ανω Νεκρό Σημείο		Top dead center	ΑΝΣ/TDC
Κάτω Νεκρό Σημείο		Bottom dead center	ΚΝΣ/BDC
Βαλβίδα ανακύκλωσης καυσαερίων		Exhaust Gas Recirculation valve	EGR
Φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων		Diesel Particulate Filter	DPF
Υγρός διαλύτης πετρελαίου		Diesel Exhaust Fluid	DEF
Επιλεκτική κατάλυση		Selective Catalytic Reduction	SCR
Καταλύτης οξειδωσης αμμωνίας		Ammonia Oxidation Catalyst	AOC
Στροβιλοσυμπιεστής σταθερής γεωμετρίας		Fixed Geometry Turbocharger	FGT
Στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας		Variable Geometry Turbocharger	VGT
Μονάδα διαχείρισης κινητήρα		Engine Control Unit	ECU
Διαχείριση δικτύου		Control Area Network	CAN
Αιωρούμενα σωματίδια		Particle matter	Pm

Μονοξείδιο του άνθρακα	Carbon monoxide	CO
Υδρογονάνθρακες	Hydrocarbons	HC
Οξείδια του αζώτου	Mono-nitrogen oxides	NO _x
Υδρογονάνθρακες άνευ μεθανίου	Non-methane hydrocarbons	NMHC
Ξένο	Xenon	Xe
Θείο	Sulfur	S
Πετρέλαιο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο	Low Sulfur Diesel	LSD
Πετρέλαιο με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο	Ultra-Low Sulfur Diesel	ULSD
Βιοντίζελ	Biodiesel	B100
Αναλυτής μετασχηματισμού υπέρυθρων ακτίνων	Fourier Transform Infrared Spectroscopy	FTIR
Οργανισμός ελέγχου εκπομπών ρύπων με καταλύτη	Association for Emissions Control by Catalyst	AECC
Δείγμα σταθερού όγκου	Steady Sample Rate	SSR
Παγκόσμιος οργανισμός πιστοποίησης ελέγχου βαρέων οχημάτων	Worldwide Heavy Duty Certification procedure	WHDC
Κοινή Υπουργική Απόφαση	Joint Ministerial Decision	KYA/JMD

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Όλοι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης εκπέμπουν καυσαέρια. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών αποτελείται από νερό, υδρατμούς και διοξείδιο του άνθρακα που σε ιδανικές συνθήκες και ποσότητες, είναι αβλαβείς. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις όμως μπορεί να είναι αρκετά επιβλαβείς για τα θηλαστικά και το περιβάλλον.

Ένα από τους πιο σημαντικούς επιβλαβείς παράγοντες των καυσαερίων είναι τα υλικά σωματίδια (particulate matter). Όταν λέμε σωματίδια **PM10**, εννοούμε σε μέγεθος μικρότερο της τάξης των 10 μικρομέτρων σε διάμετρο (**0,001 mm**), ενώ όταν αναφερόμαστε σε σωματίδια **PM2,5** εννοούμε αυτά που είναι όχι μεγαλύτερα από 2,5 μικρόμετρα σε διάμετρο (**0,00025 mm**)

Ένα μεγάλο μέρος της ύλης αυτής αποτελείται από άνθρακα και καθότι μαύρος, επηρεάζει και το κλίμα πέρα από την υγεία μας. Και αυτό γιατί λόγω χρώματος και μόνο απορροφά τις ακτίνες του ηλίου με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας σε όποια επιφάνεια εγκατασταθεί. Άλλες πηγές μόλυνσης είναι η ανάφλεξη στερεών καυσίμων (ξύλα, κάρβουνα) και σε εργοτάξια κατασκευών. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, κύριοι παράγοντες ύλης/άνθρακα είναι τα οχήματα και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούν πετρελαιοκινητήρες για την κίνησή τους. Τα οχήματα μπορούν να είναι από ημιφορτηγά έως ελκυστήρες και δομικά μηχανήματα ενώ ένα είδος εξοπλισμού με diesel κινητήρα είναι οι ηλεκτρομηχανές.

Για να περιορισθεί η εκπομπή τέτοιων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, τα υπουργεία περιβάλλοντος ανά τον κόσμο συμφώνησαν σε παγκόσμιες τιμές εκπομπών ρύπων για τα οχήματα και τις κατασκευάστριες εταιρίες μηχανημάτων – οχημάτων. Πρέπει να πληρούν κάποιες προδιαγραφές – τιμές ώστε οι ρύποι να κρατηθούν σε ελεγχόμενα επίπεδα. Οι κινητήρες που έχουν τα πιο επιβλαβή καυσαέρια είναι οι πετρελαιοκινητήρες καθώς χρησιμοποιούν μια σχετικά ακατέργαστη μορφή καυσίμου σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. Αλλά, μπορούν να παράγουν το ίδιο και περισσότερο έργο, έχουν μεγαλύτερο κύκλο συντήρησης και είναι λιγότερο επιρρεπείς σε βλάβες. Μόνο για τους παραπάνω λόγους, οι κινητήρες Diesel πρέπει να παραμείνουν “εν λειτουργία” αλλά να είναι λιγότερο επιβλαβείς για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Για αυτό τον λόγο δημιουργήθηκαν κάποιοι κανονισμοί (Tier/Euro) που αφορούν τις τιμές των ποσοτήτων των βλαβερών σωματιδίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα μέσω των εκπομπών καυσαερίων. Η πρώτη ομάδα δημιουργήθηκε το 1991 και τελειοποιήθηκε στις 5 Ιουνίου 1994, αφορώντας οχήματα – εξοπλισμό εκτός δρόμου που κατασκευάστηκαν το 1995 έως το 2000. Φυσικά ενδιάμεσα υπήρξαν κάποιες αλλαγές καθώς με την πάροδο του χρόνου ο αριθμός των οχημάτων και εξοπλισμού αυξανόταν σταδιακά, ειδικά στις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Σαν αποτέλεσμα είχαμε την δημιουργία νεών tier/euro, καθώς μελέτες έδειχναν ότι δεν ήταν αρκετά τα μέτρα και οι σταθερές που έθεσαν για αρχή.

Παρακάτω, θα αναλύσουμε τις ομάδες των σχετικών κανονισμών με την πρόοδο του χρόνου μέχρι και την τελευταία τεχνολογία όπως και τις λύσεις που δημιουργήθηκαν για την καταπολέμηση της ρύπανσης από οχήματα – εξοπλισμό εκτός δρόμου.

Κεφάλαιο 2

Ιστορία του Diesel

Ο Ρούντολφ Ντίζελ (Rudolf Christian Karl Diesel, Εικόνα 1) ήταν Γερμανός μηχανικός και εφευρέτης του φερόνυμου κινητήρα. Γεννήθηκε στο Παρίσι στις 18 Μαρτίου 1858. Τελείωσε την Ανώτατη Βιομηχανική Σχολή του Άουγκσμπουργκ όπου και έλαβε υποτροφία από το Εθνικό Βαυαρικό Πολυτεχνείο του Μονάχου για να συνεχίσει τις σπουδές του πάνω στον μηχανολογικό τομέα. Σαν μέντορα, είχε τον Καρλ φον Λίντε (Karl von Linde), ο οποίος είναι και ο προπάτορας της ψυκτικής μηχανικής. Στον πλευρό του Λίντε, ο Ντίζελ κέρδισε πολλαπλή εμπειρία, ταυτόχρονα με την τεχνική του εμπειρία σε βιομηχανική εταιρία ναυτικών κινητήρων και ατμομηχανών.



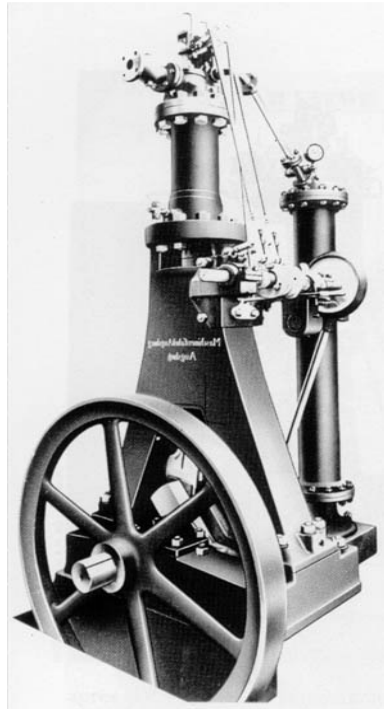
Εικόνα 1: Rudolf Christian Karl Diesel. Προπάτορας του κινητήρα Diesel.

Αφού εγκαταστάθηκε μόνιμα στο Μόναχο το 1893, άρχισε να μελετάει καλύτερα τους ατμοκινητήρες. Ξεκίνησε κάποια πειράματα πάνω σε αυτούς και σε ένα θεωρητικό μοντέλο μηχανής Καρνό (Carnot), αφού πρώτα παρ'ολίγο να χάσει την ζωή του από εργαστηριακό ατύχημα στο οποίο αντικατέστησε τον κλασσικό ατμό με αμμωνία. Η μηχανή εξερράγη.

Μετά από αυτό το συμβάν, ο Ντίζελ δημοσίευσε το σύγγραμμα με τίτλο: *“Θεωρία και κατασκευή ορθολογικού θερμικού κινητήρα, προορισμένου να αντικαταστήσει την ατμομηχανή και λοιπές μέχρι σήμερα θερμικές μηχανές”*. Από τότε ο Ντίζελ δημιούργησε κάποιες ευρεσιτεχνίες.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον “νέο” κινητήρα έδειξε ο Χάινριχ φον Μπούτζ (Heinrich von Buz), ιδιοκτήτης της εταιρίας MAN στο Άουγκσμπουργκ όπου ο Ντίζελ ανέπτυξε αρκετά τις ιδέες του πάνω στον κινητήρα του μέχρι και το 1897.

Αποκορύφωμα, η κατασκευή του πρώτου κινητήρα με ανάφλεξη συμπιεσμένου αέρα και την άψογη λειτουργία αυτού στο Κάσελ το 1897.



Εικόνα 2: Ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας εσωτερικής καύσης. (Πηγή: The Goodheart-Willcox. Co)

Στις 29 Σεπτεμβρίου 1913 επιβιβάστηκε στο ατμόπλοιο “Ντρέσντεν” από Αμβέρσα για Λονδίνο για να συζητήσει με το Αγγλικό Ναυτικό για κινητήρες νέας τεχνολογίας και νέες εφαρμογές για την εφεύρεσή του. Μια νύχτα εξαφανίστηκε δίχως ίχνος, αφήνοντας υποψίες τόσο για αυτοκτονία όσο και για δολοφονία.

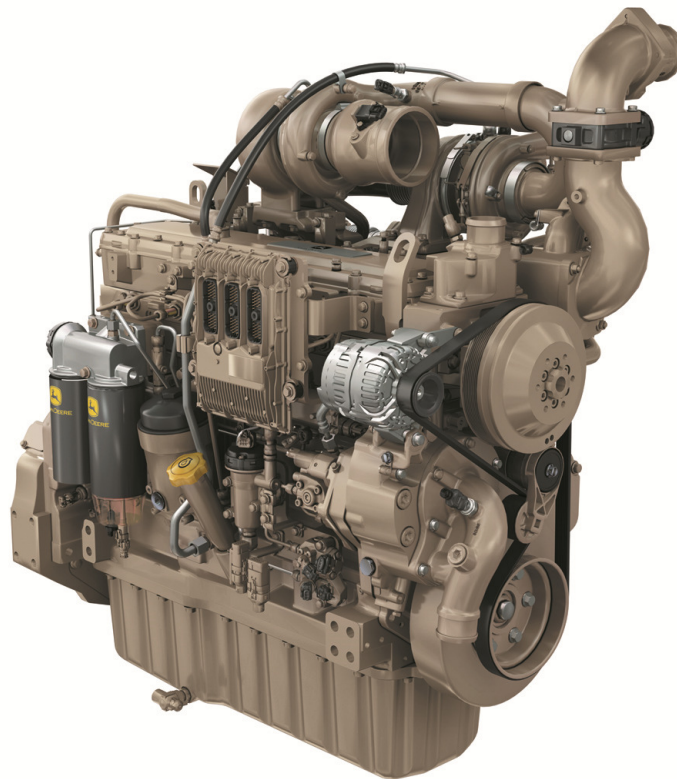
Κεφάλαιο 3

Κινητήρες DIESEL

3.1. Εισαγωγή

Μακροσκοπικά, ένας πετρελαιοκινητήρας (εικόνα 3) είναι ίδιος με έναν βενζινοκινητήρα (εικόνα 1). Και οι δύο κινητήρες αποτελούντε από την ελαιολεκάνη (oil sump), τον κορμό μηχανής (engine block), την κεφαλή κυλίνδρων (cylinder head), το καπάκι βαλβίδων (valve cover), την εισαγωγή αέρα (air intake) συνοδευόμενη με κάποιο είδος υπερσυμπιεστή (air compressor) και την εξαγωγή καυσαερίων (exhaust outake). Επίσης, τα παρελκόμενα συστήματα είναι ίδια σε σχέση με έναν βενζινοκινητήρα, όπως: τροφοδοσία ρεύματος, λίπανση, υδρόψυξη, κίνηση επιμέρους εξαρτημάτων (υδραυλικό τιμόνι, κλιματισμός κ.α.).

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γνωρίσουμε, θα εξετάσουμε και θα αναλύσουμε τον τρόπο λειτουργίας ενός πετρελαιοκινητήρα είτε είναι τετράχρονος, που χρησιμοποιείται στα πιο εμπορικά οχήματα, είτε είναι δίχρονος για πιο βιομηχανικές εφαρμογές.

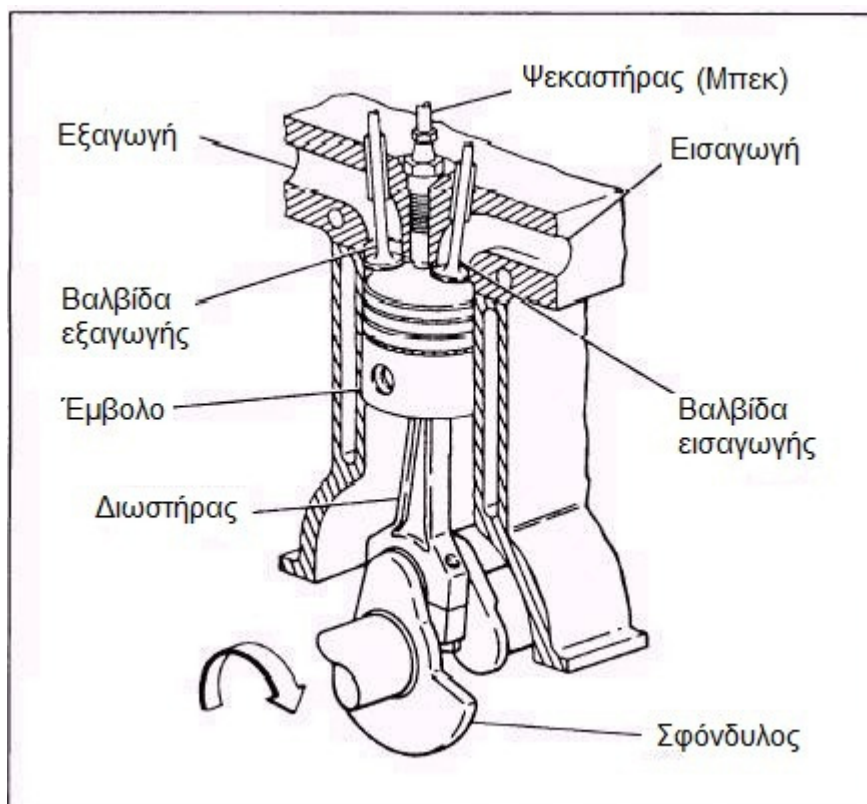


Εικόνα 3: Κινητήρας Diesel γεωργικού ελκυστήρα. (Πηγή: John Deere)

3.2. Διαφορές μεταξύ βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων.

Οι βασικές διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στα δύο είδη κινητήρων είναι οι εξής:

- Εισαγωγή αέρος διαφορετικής σχεδίασης
- Διαφορετικός τρόπος τροφοδοσίας και ψεκασμού καυσίμου
- Αυτανάφλεξη του μίγματος στον πετρελαιοκινητήρα προς κίνηση των εμβόλων (Εικόνα 4)
- Μεγαλύτερη σχέση συμπίεσης σε σχέση με έναν βενζινοκινητήρα
- Ένας κινητήρας Diesel έχει καλύτερης ποιότητας υλικά, με μεγαλύτερη αντοχή στις θερμοκρασίες και [καταπονήσεις](#).



Εικόνα 4: Τυπική διάταξη DIESEL κινητήρα. Παρατηρούμε την απουσία αναφλεκτήρα στον θάλαμο καύσης.

3.3. Κατάταξη των πετρελαιοκινητήρων

Ανάλογα τον κύκλο λειτουργίας του DIESEL κινητήρα, τους κατατάσσουμε ως εξής:

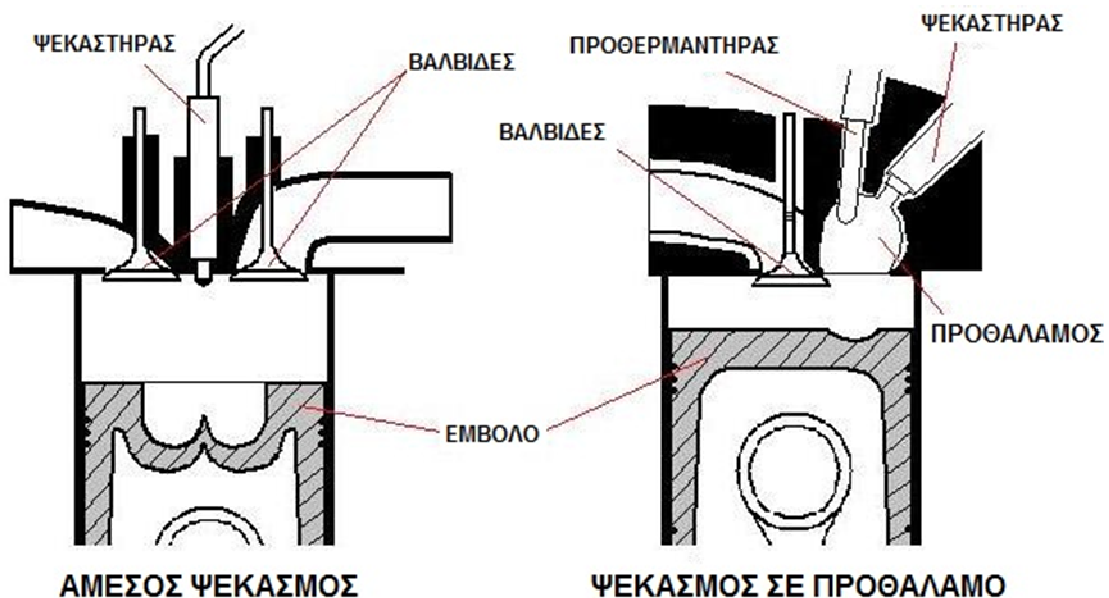
- Τετράχρονους. Ο κύκλος ολοκληρώνεται σε 720°.
- Δίχρονους. Τους χρησιμοποιούν κυρίως βαρέα μηχανήματα και φορτηγά πλοία . Ο κύκλος ολοκληρώνεται σε 360°.

Ανάλογα το είδος καυσίμου σε:

- Κινητήρες DIESEL. Χρησιμοποιούν κατεργασμένο πετρέλαιο για καύση.
- Κινητήρες SEMI-DIESEL. Χρησιμοποιούν κυρίως “αργό”, σχεδόν ακατέργαστο πετρέλαιο. Το γνωρίζουμε και ως ναυτικό πετρέλαιο. Τέτοιους κινητήρες τους βρίσκουμε σε φορτηγά πλοία και η κοινή του ονομασία είναι το **Μαζούτ**.

Ανάλογα τον τρόπο ψεκασμού του καυσίμου:

- Κινητήρες με άμεσο ψεκασμό στον θάλαμο καύσης (εικόνα 5).
- Κινητήρες με ψεκασμό σε προσυμπιεσμένους χώρους
- Κινητήρες με ψεκασμό σε βοηθητικούς προθαλάμους καύσης (εικόνα 4).



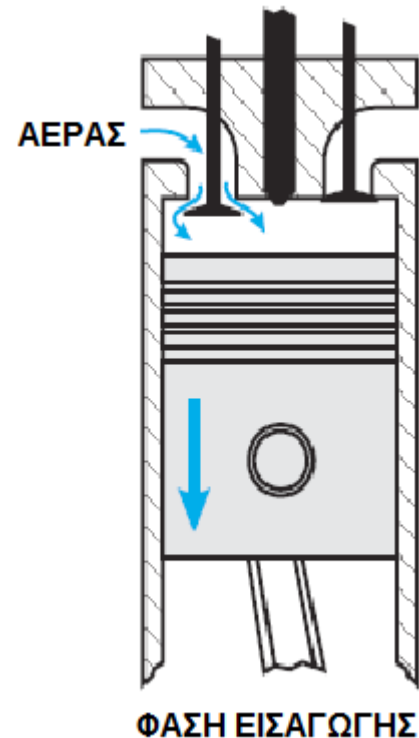
Εικόνα 5: Τρόποι ψεκασμού. Παρατηρούμε την διαμόρφωση της κορώνας του εμβόλου στην αριστερή διάταξη, για καλύτερη ομογενοποίηση του μείγματος.

3.4 Αρχές λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα

Φάση εισαγωγής – 1^{ος} χρόνος

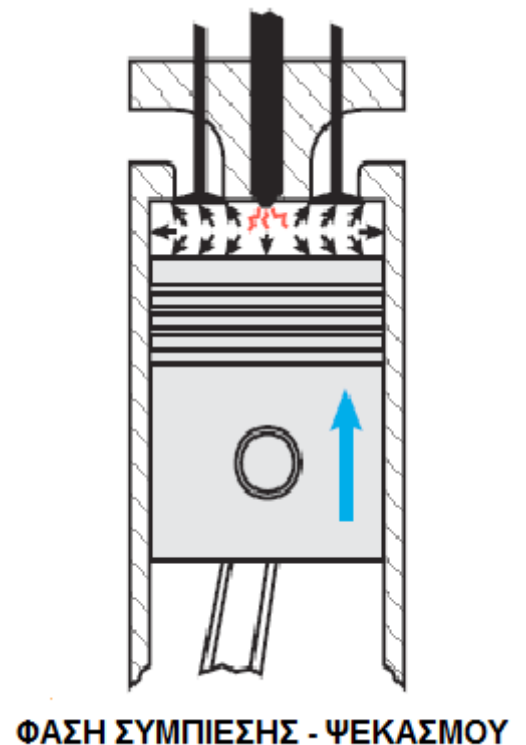
Βαλβίδα εισαγωγής ανοιχτή. Βαλβίδα εξαγωγής κλειστή.

Το έμβολο κατέρχεται από το ΑΝΣ και δημιουργεί υποπίεση ώστε να εισέλθει ατμοσφαιρικός αέρας μέσα στον θάλαμο καύσης. Σε αρκετές εφαρμογές παρατηρούμε βεβιασμένη είσοδο αέρα με την βοήθεια στροβιλοσυμπιεστών ή υπερσυμπιεστών



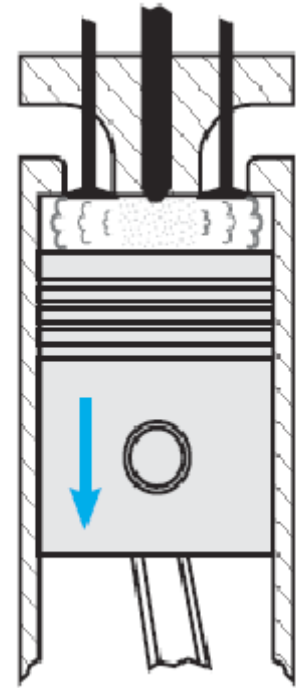
Φάση συμπίεσης – 2^{ος} χρόνος

Οι βαλβίδες είναι κλειστές. Το έμβολο κινείται στο ΑΝΣ ώστε να συμπιέσει την ποσότητα του αέρα στον θάλαμο καύσης. Η ογκομετρική σχέση συμπίεσης στους πετρελαιοκινητήρες πολλές φορές ξεπερνάει το **15:1**. Η αύξηση της πίεσης μέσα στον θάλαμο καύσης δημιουργούν θερμοκρασίες της τάξεως των **600°με 800° C**. Ο συμπιεσμένος αέρας στροβιλίζεται κατά την άνοδο του εμβόλου λόγω της διαμόρφωσης την κορώνας του εμβόλου ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ομογενοποίηση του μίγματος αέρος – πετρελαίου. Όταν το έμβολο φτάσει το ΑΝΣ, τότε γίνεται ο ψεκάσμος του πετρελαίου.



Φάση καύσης – εκτόνωσης – 3^{ος} χρόνος

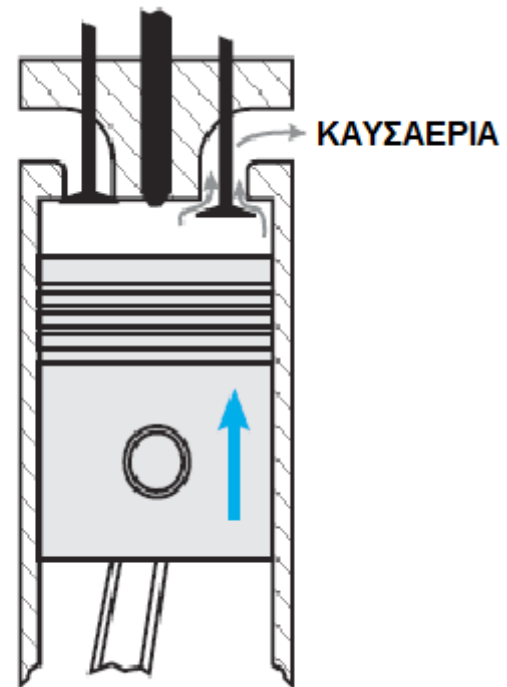
Αφού ο ψεκασμός του πετρελαίου γίνει σε καθορισμένο σημείο, κατεύθυνση και προπορεία ως προς την θέση του εμβόλου (αβανς), πραγματοποιείται αυτανάφλεξη του μείγματος, η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης, την ομοιογένεια του μείγματος που είναι προϊόν του στροβιλισμού και την ποιότητα του ψεκασμού. Η εκτόνωση των καυσαερίων έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή κινητήριου έργου, δημιουργώντας υψηλή πίεση που φτάνει και τις 45 ατμόσφαιρες και διαρκεί σχεδόν μέχρι το ΚΝΣ.



ΦΑΣΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ

Φάση εξαγωγής καυσαερίων – 4^{ος} χρόνος

Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει πριν το ΚΝΣ με σκοπό την απότομη πτώση της πίεσης των καυσαερίων πριν το έμβολο αρχίσει να ανέρχεται. Κατά την άνοδο, εξασφαλίζεται η έξοδος των καυσαερίων και σε συνδυασμό με την εισαγωγή γίνεται καθαρισμός του θαλάμου καύσης.



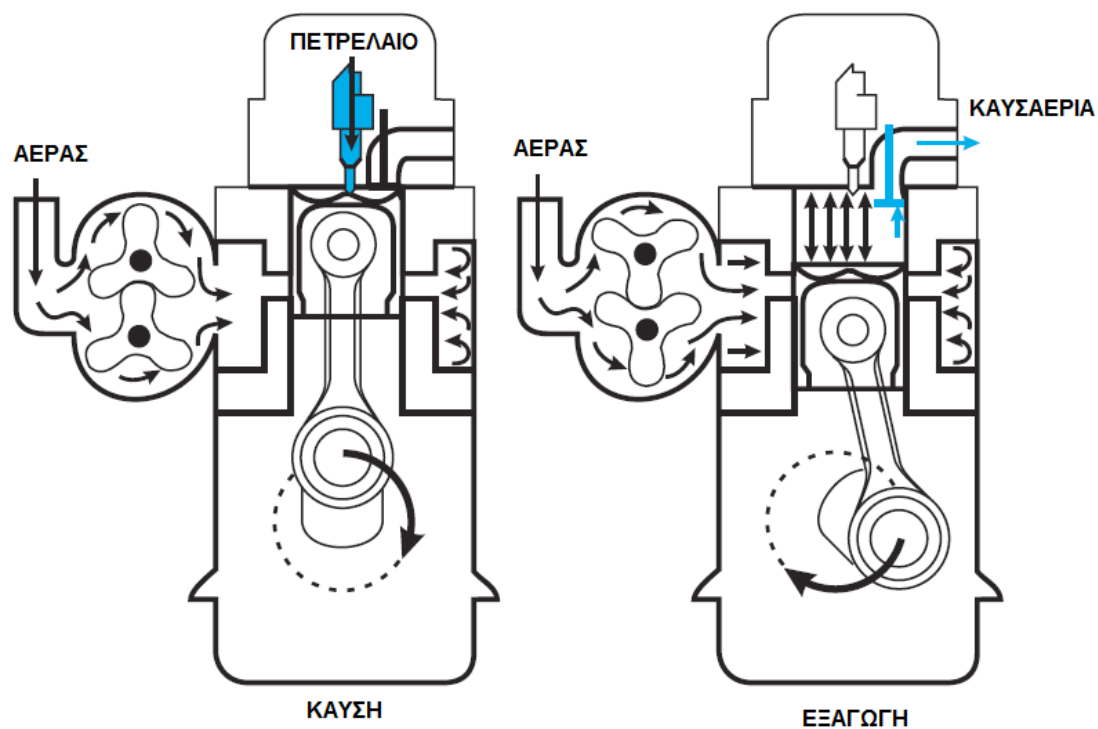
ΦΑΣΗ ΕΞΑΓΩΓΗΣ - ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

3.5 Αρχή λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα.

Οι δίχρονοι πετρελαιοκινητήρες λειτουργούν με την ίδια θεωρία των τετράχρονων αλλά ολοκληρώνουν τον κύκλο καύσης σε 360°(μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα αντί για δύο). Βασικές διαφορές σε σχέση με τους τετράχρονους είναι ότι η εισαγωγή του αέρα γίνεται από περιφερειακές θυρίδες που βρίσκονται προς το ΚΝΣ και αποκαλύπτονται από το έμβολο. Η απόπλυση του χώρου καύσης γίνεται αποτελεσματικότερα. Συνήθως χρησιμοποιούνται εξωτερικές αντλίες λίπανσης.

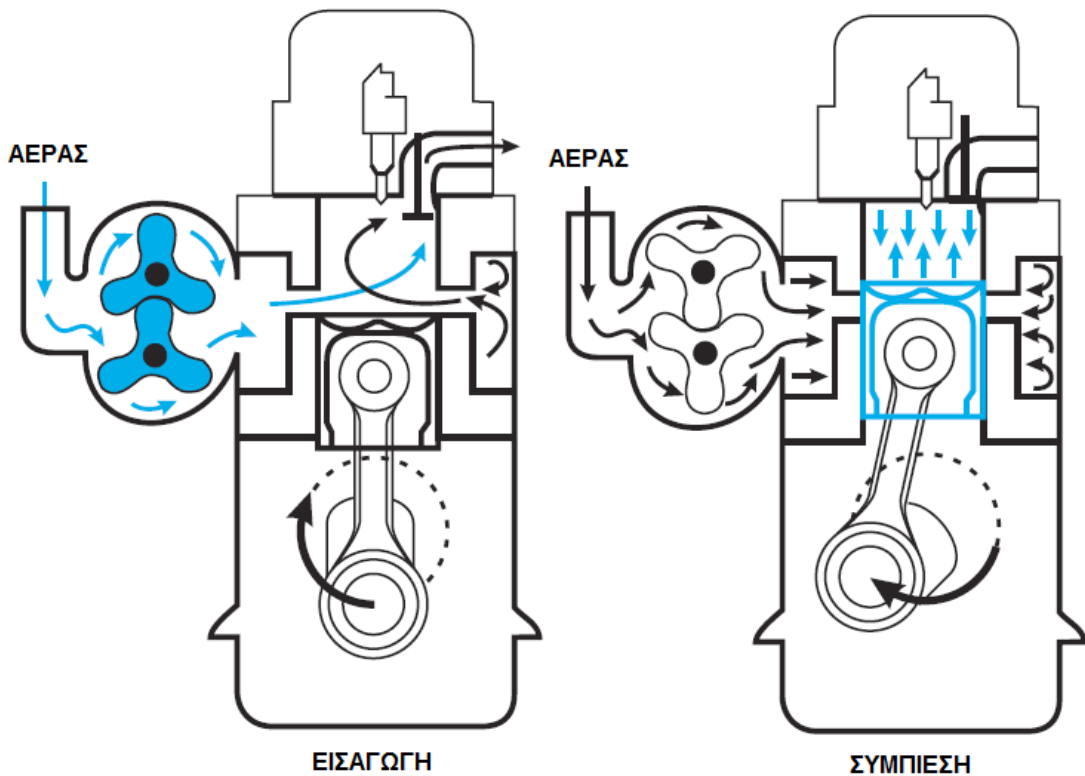
Φάση εκτόνωσης – 1^{ος} χρόνος

Το έμβολο βρίσκεται λίγες μοίρες πριν το ΑΝΣ. Ο ατμοσφαιρικός αέρας έχει συμπιεσθεί και η θερμοκρασία μέσα στον θάλαμο έχει ξεπεράσει τα όρια της αυτανάφλεξης (500°- 600°C). Τότε έχουμε τον ψεκασμό του πετρελαίου. Το μείγμα αυτοαναφλέγεται και η καύση είναι σχεδόν ακαριαία. Μετά έχουμε την επιστροφή του εμβόλου στο ΚΝΣ αφού έχει παραχθεί έργο και ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής για την έξοδο των καυσαερίων.



Φάση συμπίεσης – 2^{ος} χρόνος

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, η εισαγωγή αέρα γίνεται με την βοήθεια αντλίας σάρωσης και η θυρίδα καλύπτεται από το έμβολο καθώς συνεχίζεται η απόπλυση του κυλίνδρου. Η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει και το έμβολο συμπιέζει τον αέρα καθώς αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία λίγες μοίρες πριν το [ΑΝΣ](#).



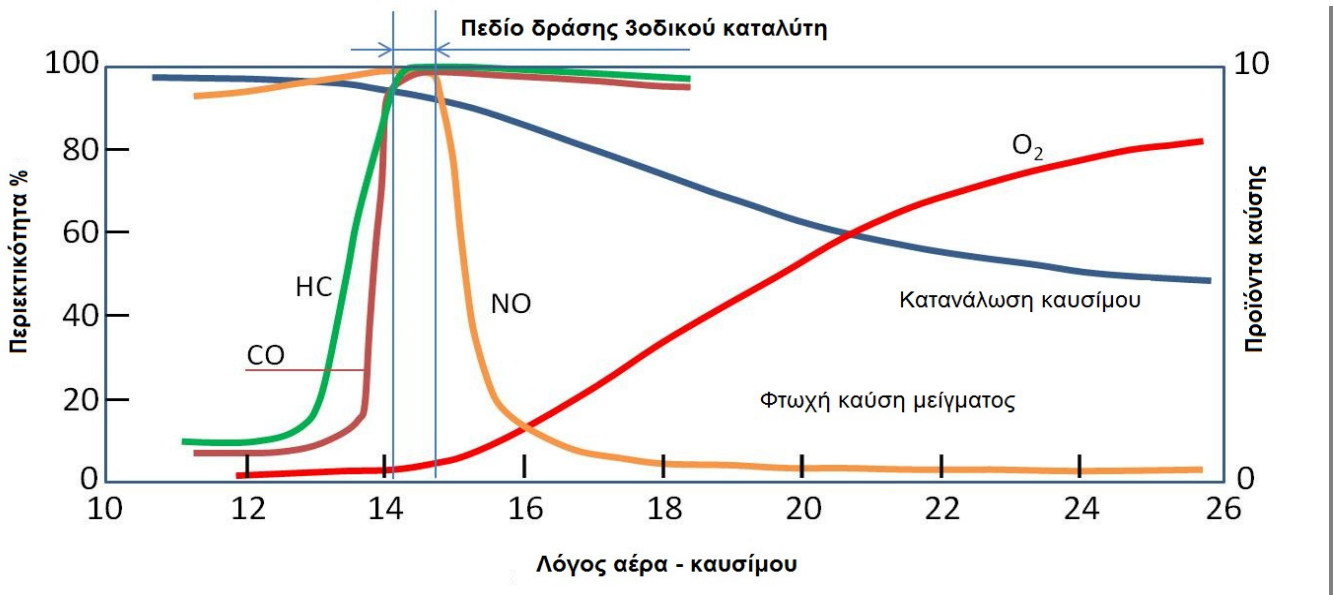
3.6. Προϊόντα καύσης πετρελαιοκινητήρων

Οι πετρελαιοκινητήρες (2-χρονοι και 4-χρονοι) λειτουργούν με την καλύτερη δυνατή αναλογία αέρα - καυσίμου γιατί είναι πολύ σημαντικό για την απόδοση του κινητήρα, για τα παράγωγα της καύσης του και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνουν. Στις δεκαετίες 50'-60' έγιναν κάποιες αναλύσεις για να μπορέσουμε να καταλήξουμε, ανάλογα τον κινητήρα, στην καλύτερη αναλογία αέρα – καυσίμου για απόδοση και λιγότερους ρύπους.

Για να διεξαχθούν αυτές οι αναλύσεις επιλέχθηκαν 2 πετρελαιοκινητήρες, ένας 2-χρονος και ένας 4-χρονος. Οι δοκιμές έγιναν πρώτα σε κλειστό χώρο, με τους κινητήρες τοποθετημένους πάνω σε δυναμόμετρα πάγκου, δυνατότητα εναλλαγής των στροφών λειτουργίας, του λόγου αέρα – καυσίμου και του φορτίου λειτουργίας

του. Πάνω στους κινητήρες τοποθετήθηκαν συλλέκτες και όργανα μέτρησης για τα καυσαέρια, τα οποία θα αναλύσουμε στο [κεφάλαιο 4](#).

Στο διάγραμμα 1 φαίνεται καθαρά η περιεκτικότητα επί τις εκατό των προϊόντων της καύσης του μείγματος.



Διάγραμμα 1: Ο λόγος αέρα – καυσίμου σε σχέση με τα παράγωγα της καύσης του μείγματος.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, τα στοιχεία που αποτελούν τα καυσαέρια είναι τα εξής:

- Μονοξείδια του άνθρακα **CO**

Παρατηρήθηκε ότι η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδια του άνθρακα μπορεί να αγγίξει το 1,5 με 12%, ανάλογα πάντα με τις ρυθμίσεις του μείγματος, τις στροφές λειτουργίας και το περιβάλλον (εξωτερική θερμοκρασία, ποσοστό υγρασίας). Έχει γνωστοποιηθεί ότι αυτή η διαφορά οφείλεται στην περίσσια περιεκτικότητα του μείγματος σε οξυγόνο. Αυτό οφείλεται όχι μόνο στην ρύθμιση του μείγματος αλλά και στην μηχανική μελέτη του κινητήρα όσον αφορά την συνθήκες που επικρατούν μέσα στον θάλαμο καύσης. Το “ιδανικό” σημείο είναι όταν ο λόγος αέρα – καυσίμου (περιεκτικότητα μείγματος) ρυθμιστεί ώστε να έχουμε χαμηλή περιεκτικότητα

μονοξειδίου του άνθρακα στο μεγαλύτερο φάσμα των στροφών λειτουργίας του κινητήρα.

- Οξείδια του αζώτου **NO**

Τα οξείδια του αζώτου κάνουν την εμφάνισή τους κατά την στιγμή της απότομης επιτάχυνσης του κινητήρα και την αύξηση της ταχύτητας του οχήματος. Κατά την επιτάχυνση, η περιεκτικότητα των οξειδίων κυμαίνεται από 200 μέχρι και 2000 ppm αλλά κατά την επιβράδυνση και την αδρανοποίηση του κινητήρα, μπορεί να πέσει κάτω από 60 ppm. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την επιτάχυνση, ο κινητήρας έχει αυξημένη ζήτηση σε ποσότητες οξυγόνου και η θερμοκρασία μέσα στον θάλαμο καύσης έχει φτάσει σε τέτοια επίπεδα που ευνοεί τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου. Φυσικά, ανάλογα τον κινητήρα και την αντιρρυπαντική τεχνολογία που διαθέτει, τα παραπάνω νούμερα διαφέρουν.

- Αλδεΐδες **RCHO**

Οι αλδεΐδες είναι το τελικό προϊόν των υδρογονανθράκων που δεν οξειδώθηκαν κατά την καύση και είναι η αιτία για την χαρακτηριστική μυρωδιά των καυσαερίων ενός πετρελαιοκινητήρα. Μια μέση τιμή συγκέντρωσης των αλδεϊδών είναι περίπου στο 30 ppm. Αυτή η τιμή εξαρτάται από τον σχεδιασμό του κινητήρα, από τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν και είναι αντιστρόφως ανάλογα του αυξημένου φορτίου του κινητήρα και της αυξημένης ταχύτητας του οχήματος.

- Υδρογονάνθρακες **HC**

Παραπάνω, μετρήθηκε η περιεκτικότητα των στοιχείων στα καυσαέρια σε ppm και επί τις εκατό (%). Επειδή το μέσο μοριακό βάρος των υδρογονανθράκων δεν είναι σταθερό, αποφασίστηκε να μετριέται το βάρος ως προς την μονάδα όγκου των καυσαερίων (Kg/cm^3). Το μεγαλύτερο μέρος των υδρογονανθράκων παρατηρείται κατά την επιβράδυνση των κινητήρων και ειδικά μετά από εκτεταμένη επιτάχυνση. Με την μεγάλη συγκέντρωση υδρογονανθράκων, έχουμε και μεγάλη συγκέντρωση αλδεϊδών.

- Οξειδία του θείου **SO**

Μία μέση τιμή συγκέντρωσης των οξειδίων του θείου είναι περίπου 300 ppm στον ιδανικό λόγο αέρα – καυσίμου. Αν και πλέον τα καύσιμα των πετρελαιοκινητήρων δεν περιέχουν θείο ή έχουν μικρό ποσοστό, συνεχίζει να παίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή ενός κινητήρα πετρελαίου ως προς την διαμόρφωση του χώρου καύσης, τον ψεκασμό του καυσίμου κ.α. λόγω της παλαιάς του σχέσης με το μείγμα καυσίμου και την “ μορφή “ παίρνει καθώς ψεκάζεται μέσα στον θάλαμο καύσης.

- Οξυγόνο **O₂**

Βασικό συστατικό κατά την διάρκεια της καύσης και το συναντάμε σε περιεκτικότητα περί το 19% στα καυσαέρια ενός πετρελαιοκινητήρα. Η ποσότητά του είναι ανάλογη της επιτάχυνσης και της ταχύτητας του [κινητήρα](#).

Στην σημερινή εποχή, σαν μέσο κατακράτησης των βλαβερών ουσιών των καυσαερίων, τόσο στους κινητήρες βενζίνης όσο και στους κινητήρες πετρελαίου, χρησιμοποιείται ο καταλυτικός μετατροπέας (καταλύτης). Στα σύγχρονα μοντέλα οχημάτων (2004 και μετά), χρησιμοποιούνται 2 καταλυτικοί μετατροπέες. Ο καταλύτης πρωτοεμφανίστηκε στην Αμερική στα μέσα του 1930, από τον γάλλο Eugene Houdry ο οποίος κατασκεύασε τα πρώτα φίλτρα για καμινάδες για σπίτια και βιομηχανίες. Στην συνέχεια οι μηχανολόγοι [John J. Mooney](#) και [Carl D. Keith](#) της εταιρίας [Engelhard Corporation](#), δημιούργησαν το 1973την πρώτη γραμμή παραγωγής καταλυτικών μετατροπέων οχημάτων.

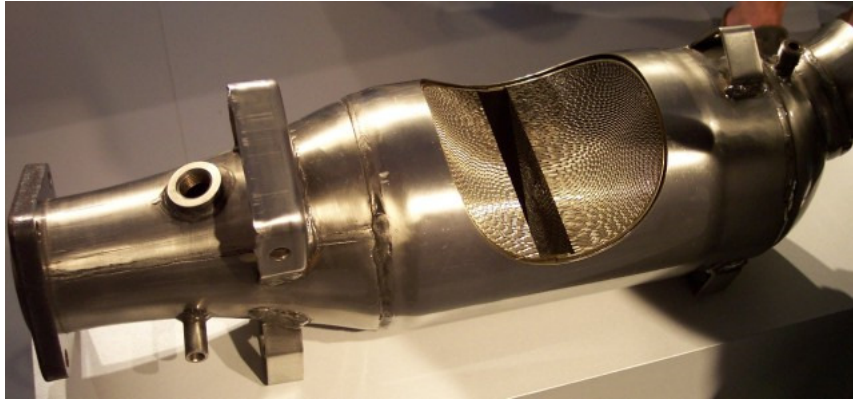
Υπάρχουν 2 ειδών καταλυτών' Α: δυοδικοί και Β: τριοδικοί.

- A) **Δυοδικοί καταλύτες:** Καταλύουν τα καυσαέρια από μονοξείδια του άνθρακα σε διοξείδια του άνθρακα ($2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$) και τους υδρογονάνθρακες σε διοξείδια του άνθρακα και νερό ($\text{C}_x\text{H}_{2x+2} + [(3x+1)/2] \text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + (x+1) \text{H}_2\text{O}$).
- B) **Τριοδικοί καταλύτες:** Κάνουν την ίδια κατάλυση με τους δυοδικούς με την πρόσθετη ιδιότητα ότι περιορίζουν κατά πολύ τα οξείδια του αζώτου σε άζωτο και οξυγόνο ($2\text{NO}_x \rightarrow x\text{O}_2 + \text{N}_2$). Οι δυοδικοί καταλύτες χρησιμοποιούνται ευρέως στους πετρελαιοκινητήρες μέχρι και σήμερα ενώ στους κινητήρες βενζίνης έχουμε μόνο τριοδικούς καταλύτες λόγω του παραπάνω χαρακτηριστικού τους.

Ένας καταλυτικός μετατροπέας είναι κατασκευασμένος από πλατίνα ΡΤ, ρόδιο RH και παλλάδιο ΡD, περιβάλλεται από ένα κεραμικό στρώμα (εικόνα 6) για να κρατά μια σταθερή θερμοκρασία και τέλος ένα μεταλλικό εξωτερικό περίβλημα (εικόνα 7). Οι κατασκευαστές έχουν συνδυάσει την μέγιστη επιφάνεια κάλυψης με το μικρότερο δυνατό σχήμα καθώς τα προαναφερόμενα υλικά (καταλύτες) είναι πανάκριβα. Η τελευταία τάση θέλει τους καταλυτικούς μετατροπείς να περιέχουν μείγμα χρυσού καθότι πιο φθηνός αλλά και κατά 40% πιο αποδοτικός από άλλα υλικά κατάλυσης.



Εικόνα 6 – Κεραμική στρώση καταλύτη και το σύμπλεγμα των υλικών σε μορφή κυψέλης.



Εικόνα 7 – Καταλυτικός μετατροπέας όπως τον βρίσκουμε στα οχήματα. Παρατηρούμε το κενό μεταξύ του πρώτου και δεύτερου συμπλέγματος υλικών. Πρόκειται για δυοδικό καταλύτη.

Το μοναδικό μειονέκτημα ενός καταλυτικού μετατροπέα είναι ότι για να αποδώσουν οι καταλύτες και να γίνει σωστή διάσπαση των καυσαερίων, πρέπει να φτάσει σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Όσο είναι κρύος ο καταλύτης, δεν πρόκειται η κατάλυση να γίνει σωστά. Αυτό είναι σημαντικό πρόβλημα στους πετρελαιοκινητήρες γιατί δουλεύουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η μεταφορά του καταλυτικού μετατροπέα όσο πιο κοντά γίνεται στην εξαγωγή καυσαερίων στην [κυλινδροκεφαλή](#) (εικόνα 8).



Εικόνα 8 – Καταλυτικός μετατροπέας τοποθετημένος μετά την κυλινδροκεφαλή.

Κεφάλαιο 4

Τεχνικές μέτρησης ρύπων στους κινητήρες πετρελαίου και μελλοντικές εξελίξεις

4.1. Εισαγωγή

Οι κινητήρες DIESEL είναι πάρα πολύ ανθεκτικοί και οικονομικοί σε κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες και για αυτό το λόγο τους χρησιμοποιούμε πλέον παγκοσμίως σε βαρέα οχήματα, γεωργικά μηχανήματα, γεννήτριες και πλοία. Πέρα από την ευρεία χρήση τους, υπάρχει και η ελπίδα ότι θα μειωθούν και οι ποσότητες των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου τα τελευταία χρόνια. Ταυτόχρονα, υπάρχει και η ανάγκη να μειωθούν οι εκπομπές των σωματιδίων (PM) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Για να προχωρήσουν οι κατασκευαστικές εταιρίες κινητήρων DIESEL σε τυχόν αναβαθμίσεις για τις παραπάνω μειώσεις, έπρεπε να δημιουργήσουν συστήματα μέτρησης για την παρακολούθηση των παραπάνω εκπομπών ρύπων.

Τα συστήματα μέτρησης μέχρι σήμερα έχουν εξελιχθεί πάρα πολύ και οι κανονισμοί για της εκπομπές των ρύπων έχουν γίνει πιο αυστηροί, για αυτό και υπάρχει και η ανάγκη για ακόμα πιο “ευαίσθητους”, πιο αναλυτικούς και ακριβέστερους μηχανισμούς μέτρησης. Παρακάτω θα παρατεθούν κάποια δεδομένα από τους τελευταίους κανονισμούς, τα τελευταία είδη μετρήσεων και θα αναλυθούν οι διαδικασίες μέτρησης που ακολουθεί ο κατασκευαστής, ο τεχνικός, ο ελεγκτής κ.α. για να αποδείξουν την “καθαρότητα” ενός κινητήρα DIESEL.

4.2. Τελευταίες τάσεις στους κανονισμούς εκπομπών ρύπων

Σε σύγκριση με τους βενζινοκινητήρες, οι πετρελαιοκινητήρες είναι πιο καθαροί και πιο “πράσινοι” αφού τα παράγωγα της καύσης τους περιέχουν πολύ λιγότερα μονοξείδια του άνθρακα και υδρογονάνθρακες. Φυσικά, όλα αυτά έγιναν μετά την εμφάνιση των τριοδικών καταλυτών οξειδωσης αφού αποδείχθηκαν το μόνο σίγουρο μέσο για την μείωση των ρύπων τόσο σε βενζίνη όσο και σε πετρέλαιο. Το πρόβλημα

όμως ήταν στην μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων και του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα, κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

4.3. Όρια εκπομπών ρύπων

Σε μια αναφορά που έγινε το 2000 στην Ιαπωνία από το κεντρικό συμβούλιο περιβάλλοντος, προτάθηκαν τα όρια που φαίνονται τον πίνακα Νο.1. Τα επιβατηγά οχήματα και ελαφρά φορτηγά πρέπει να έχουν προσαρμοστεί στα νέα όρια μέχρι το 2002, τα μεσαία και βαρέα οχήματα μέχρι 12 τόνους μέχρι το 2003 και τα βαρέα οχήματα πάνω από 12 τόνους μέχρι το 2004. Το συμβούλιο επίσης πρότεινε την διεκπεραίωση μακροχρόνιων δοκιμών όπου τα όρια που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα να μειωθούν στο μισό μέχρι το 2007. Επίσης και οι Ευρωπαϊκές χώρες συμβαδίζουν με τα συγκεκριμένα όρια αν και η Ιαπωνία έχει θέσει αυστηρά όρια για τα οξείδια του αζώτου ενώ η Ευρώπη για τα αιωρούμενα σωματίδια. Παρακάτω παραθέτουμε 2 πίνακες' ο πρώτος περιλαμβάνει τις προτεινόμενες τιμές εκπομπών για να τεθούν οι βάσεις και ο δεύτερος τα προτεινόμενα όρια εκπομπών για βαρέα οχήματα με DIESEL κινητήρες στην [Ευρώπη](#).

Πίνακας 1: Επιθυμητά όρια εκπομπών για οχήματα με DIESEL κινητήρες. (Πηγή: http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/agrotika_mixanimata/2004_26_ek.pdf)

Τύπος οχήματος	NO _x	HC	CO	PM	Μέθοδος μέτρησης
Επιβατικά οχήματα μέχρι 1,25 τόνους	0,28	0,12	0,63	0,052	Μέθοδος 10-15 (g/km)
Επιβατικά οχήματα από 1,25 τόνους	0,3	0,12	0,63	0,056	
Ελαφρά φορτηγά - οχήματα μέχρι 1,7 τόνους	0,28	0,12	0,63	0,052	
Οχήματα μεσαίου βάρους από 1,7 μέχρι 2,5 τόνους	0,49	0,12	0,63	0,06	
Βαρέα οχήματα από 2,5 τόνους	3,38	0,87	2,22	0,18	Μέθοδος D13 (g/kWh)

Πίνακας 2: Προτεινόμενα ευρωπαϊκά όρια εκπομπών ρύπων για βαρέα οχήματα. (Πηγή: http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/agrotika_mixanimata/2004_26_ek.pdf)

Στάδιο EURO	Μέθοδος μέτρησης	NO _x	HC	CO	PM	Ισχύων έτος
EURO III	ESC*	2,10	0,66	5,00	0,10	2000
	ETC*	5,45	0,78		0,16	
EURO IV	ESC	1,50	0,25	2,00	0,02	2005
	ETC	4,00			0,03	
*ESC: Ευρωπαϊκή δοκιμή σταθερού κύκλου (European Steady-state Cycle)						
*ETC: Ευρωπαϊκή δοκιμή παροδικού κύκλου (European Transient Cycle)						

Η μέθοδος 10-15 που αναφέρεται στον πίνακα 1, αφορά το χρονικό όριο που πραγματοποιείται η μέτρηση των ρύπων των καυσαερίων στα ανάλογα οχήματα

Πιο συγκεκριμένα, στην Ελλάδα υπογράφει κοινή υπουργική απόφαση (ΚΥΑ) όσον αφορά τα όρια εκπομπών ρύπων για τους πετρελαιοκινητήρες από 19kW έως 560kW καθώς και το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής τους. Αυτά τα όρια ξεκίνησαν να ισχύουν από τις 31 Δεκεμβρίου του 2006. Όσον αφορά τους ελκυστήρες και τα άλλα βαρέα οχήματα και μηχανήματα που είναι εφοδιασμένα με πετρελαιοκινητήρες που εισήχθησαν στην αγορά και βρίσκονται με βάση τις ημερομηνίες σε μεταβολή EURO, (κινητήρας που είναι EURO I και γίνεται μετάβαση σε EURO II κ.ο.κ) εξαιρούνται από την παραπάνω ημερομηνία μέχρι και την ημερομηνία απόσυρσης του οχήματος – μηχανήματος από την αγορά σύμφωνα με εγκύκλιο της κατασκευάστριας εταιρίας.

Για να υπάρχει αναγνώριση του κάθε βαρέου οχήματος, αυτό φέρει μια ειδική σήμανση όπως: e1*97/68HA*2004/26*0346*00. Το γράμμα **H** συμβολίζει ότι ο κινητήρας αυτός είναι της κατηγορίας 130kW<P<560kW και είναι EURO IIIA.

Αναλυτικότερα, στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα όρια εκπομπών ρύπων πετρελαιοκινητήρων βαρέων οχημάτων και ελκυστήρων που ισχύουν στην Ελλάδα μέχρι και σήμερα καθώς και οι φάσεις μαζί με την περίοδο έγκρισής τους.

Στην Ελλάδα, το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών ονομάζει τα στάδια EURO σε ΦΑΣΕΙΣ. Στους παρακάτω πίνακες παρατηρούμε τις αλλαγές που έχουν διεξαχθεί μέσα στην πάροδο των ετών κατά την προσπάθεια μείωσης των ρύπων στους πετρελαιοκινητήρες βαρέων οχημάτων.

Πίνακας 3.

Φάσεις ορίων εκπομπών ρύπων. Παρατηρείται ο μέγιστος αριθμός αιωρούμενων σωματιδίων στις 2 τελευταίες φάσεις (Πηγή:

http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/agrotika_mixanimata/2004_26_ek.pdf)

ΦΑΣΗ I						
Κατηγορία κινητήρα	Όρια εκπομπών				Δεν χορηγείται εθνική έγκριση εάν δεν έχουν Εθρ. Έγκριση Φάσης I μετά από τις:	Δεν διατίθενται στην αγορά ή δεν ταξινομούνται ή δεν εκτελωνίζονται εάν δεν έχουν σήμανση Φάσης I μετά από τις:
	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	Nox (g/kWh)	PT (g/kWh)		
A ή A: 130?P?560 kW	5.0	1.3	9.2	0.54	6-6-2001	6-6-2001
B ή B: 75?P<130 kW	5.0	1.3	9.2	0.74		
C ή Γ: 37?P<75 kW	6.0	1.3	9.2	0.85		

Πίνακας 4. (Πηγή: http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/agrotika_mixanimata/2004_26_ek.pdf)

ΦΑΣΗ II						
Κατηγορία κινητήρα	Όρια εκπομπών				Δεν χορηγείται εθνική έγκριση εάν δεν έχουν Εθρ. Έγκριση Φάσης II μετά από τις:	Δεν διατίθενται στην αγορά ή δεν ταξινομούνται ή δεν εκτελωνίζονται εάν δεν έχουν σήμανση Φάσης II μετά από τις:
	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	Nox (g/kWh)	PT (g/kWh)		
D ή Δ: 18?P<37 kW	5.0	1.5	8.0	0.8	6-6-2001	31-12-2002
E ή E: 130?P?560 kW	3.5	1	6.0	0.2	6-6-2001	31-12-2003
F ή ΣΤ: 75?P<130 kW	5.0	1	6.0	0.3	31-12-2001	31-12-2004
G ή Ζ: 37?P<75 kW	5.0	1.3	7.0	0.4	31-12-2002	31-12-2005

Πίνακας 5. (Πηγή: http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/agrotika_mixanimata/2004_26_ek.pdf)

ΦΑΣΗ III A						
Κατηγορία κινητήρα	Όρια εκπομπών				Δεν χορηγείται εθνική έγκριση εάν δεν έχουν Εθρ. Έγκριση Φάσης IIIA μετά από τις:	Δεν διατίθενται στην αγορά ή δεν ταξινομούνται ή δεν εκτελωνίζονται εάν δεν έχουν σήμανση Φάσης IIIA μετά από τις:
	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	Nox (g/kWh)	PT (g/kWh)		
H ή H: 130?P?560 kW	3.5	4.0	4.0	0.2	30-6-2005	31-12-2007
I ή Θ: 75?P<130 kW	5.0	4.0	4.0	0.3	31-12-2005	31-12-2008
J ή I: 37?P<75 kW	5.0	4.7	4.7	0.4	31-12-2006	31-12-2009
K ή IA: 19?P<37 kW	5.5	7.5	7.5	0.6	31-12-2005	31-12-2008

Πίνακας 6. (Πηγή: http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/agrotika_mixanimata/2004_26_ek.pdf)

ΦΑΣΗ III B						
Κατηγορία κινητήρα	Όρια εκπομπών				Δεν χορηγείται εθνική έγκριση εάν δεν έχουν Εθρ. Έγκριση Φάσης IIIB μετά από τις:	Δεν διατίθενται στην αγορά ή δεν ταξινομούνται ή δεν εκτελωνίζονται εάν δεν έχουν σήμανση Φάσης IIIB μετά από τις:
	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	Nox (g/kWh)	PT (g/kWh)		
L ή IB: 130?P?560 kW	3.5	0.19	2.0	0.025	31-12-2009	31-12-2012
M ή ΙΓ: 75?P<130 kW	5.0	0.19	3.3	0.025	31-12-2010	31-12-2013
N ή ΙΔ: 56?P<75 kW	5.0	0.19	3.3	0.025	31-12-2010	21-12-2013
P ή ΙΣΤ: 37?P<56 kW	5.5	4.7	4.7	0.025	31-12-2011	31-12-2014

Πίνακας 7. (Πηγή: http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/agrotika_mixanimata/2004_26_ek.pdf)

ΦΑΣΗ IV						
Κατηγορία κινητήρα	Όρια εκπομπών				Δεν χορηγείται εθνική έγκριση εάν δεν έχουν Εθρ. Έγκριση Φάσης IV μετά από τις:	Δεν διατίθενται στην αγορά ή δεν ταξινομούνται ή δεν εκτελωνίζονται εάν δεν έχουν σήμανση Φάσης IV μετά από τις:
	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	Nox (g/kWh)	PT (g/kWh)		
Q ή ΙΖ: 130≤P≤560 kW	3.5	0.19	2.0	0.025	31-12-2012	31-12-2015
R ή ΙΗ: 56≤P<130 kW	5.0	0.19	0.4	0.025	30-9-2013	30-9-2016

4.4. Μέθοδοι μέτρησης εκπομπών ρύπων

Το υπουργείο περιβάλλοντος των Η.Π.Α απαιτούσε και συνεχίζει να απαιτεί αναλύσεις καυσαερίων σε τακτά χρονικά διαστήματα κυρίως για βαρέα φορτηγά, λεωφορεία και γενικά βαρέα οχήματα που κινούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ωστόσο, η Ευρώπη και η Ιαπωνία είχε υιοθετήσει ένα σταθερό χρονικό δοκιμών (1 έτος στην προκειμένη περίπτωση) για τους πετρελαιοκινητήρες βαρέων οχημάτων. Με την εμφάνιση του EURO III όμως εντάχθηκε και ο παροδικός κύκλος δοκιμών

- Απ' ευθείας μετρήσεις

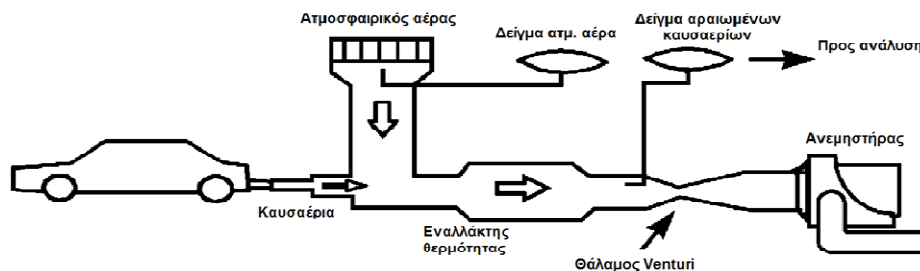
Στις δοκιμές σταθερών χρονικών διαστημάτων πάνω σε DIESEL κινητήρες βαρέων οχημάτων, τα καυσαέρια συλλέγονται αυτούσια χωρίς να έχουν υποστεί αραίωση για να έχουμε πιο ακριβείς μετρήσεις στην ποσότητα του οξειδίου του άνθρακα. Τα προϊόντα της καύσης συλλέγονται κατά την διάρκεια των δοκιμών μέσω της ποσότητας των καυσαερίων. Επειδή δεν έχουμε αραίωση των καυσαερίων μπορούμε να μετρήσουμε με ακρίβεια τα σωματίδια που βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις μέσα στα καυσαέρια. Αλλά, πρέπει να συμπεριλάβουμε και τις παροδικές δοκιμές για να έχουμε μια πλήρη εικόνα των παραγόντων καυσαερίων. Τέτοιους μηχανισμούς χρησιμοποιούν μέχρι σήμερα Κέντρα Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων (ΚΤΕΟ) και συνεργεία οχημάτων. Στην εικόνα 9 παρατηρούμε τον καθετήρα που τοποθετείται στην απόληξη της [εξάτμισης](#).



Εικόνα 9 – Τρόπος ανάγνωσης στοιχείων καυσαερίων σε μονάδα ΚΤΕΟ

- Μετρήσεις με αραιώση των καυσαερίων

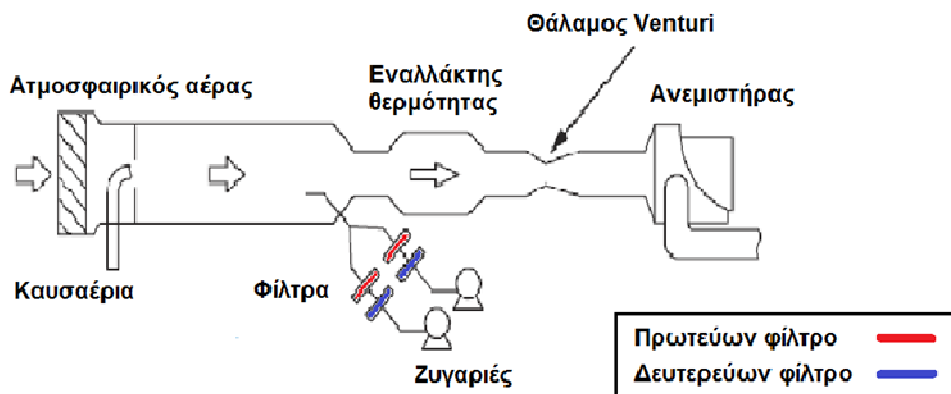
Στις περιοδικές μετρήσεις χρησιμοποιείτε ένα σύστημα Δείγματος Σταθερού Όγκου (ΔΣΟ) για να καλύψουμε σχεδόν ολόκληρο το φάσμα των εκπομπών καυσαερίων. Το σύστημα λειτουργεί με αραιώση των καυσαερίων με καθαρό ατμοσφαιρικό οξυγόνο για παραχθεί μία σταθερή ροή αυτών. Τότε τα αραιωμένα καυσαέρια συλλέγονται και αναλύονται. Η συλλεγμένη ποσότητα είναι αντιπροσωπευτική της μέσης ποσότητας ρύπων που εξέρχονται στην ατμόσφαιρα από ένα κινητήρα. Η εικόνα 10 μας δείχνει μία τυπική διάταξη εγκατάστασης για αραιώση των καυσαερίων. Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος ξεκίνησε να χρησιμοποιείται στις αρχές τις δεκαετίας του '70. Φυσικά, όσο πιο αυστηρά έγιναν τα όρια, τόσο αναγκαίες ήταν και οι αλλαγές στο σύστημα για να έχουμε καλύτερη και ακριβέστερη ανάλυση. Επόμενο είναι να υποθέσουμε ότι για πετρελαιοκινητήρες βαρέων οχημάτων, χρειαζόμαστε μεγαλύτερη εγκατάσταση συσκευής Δείγματος Σταθερού Όγκου ώστε να μπορεί να διαχειριστεί μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου και αραιωμένων [καυσαερίων](#).



Εικόνα 10: Τυπική διάταξη συστήματος ΔΣΟ με αραιώση [καυσαερίων](#). (Πηγή: FEATURE ARTICLE Measurement Systems for Diesel Exhaust Gas and Future Trends. Ichiro Asano)

- Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων

Για να μπορέσουμε να μετρήσουμε τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) εκπεμπόμενα από έναν πετρελαιοκινητήρα, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αραιωμένα καυσαέρια τα οποία ψύχονται στους 52° C (ή και λιγότερο) και κινούνται μέσα σε ένα σωλήνα με καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα. Τα σωματίδια συλλέγονται σε φίλτρα και ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας. Σε περιοδικές μετρήσεις είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε τούνελ αραιώσης για να έχουμε μια σταθερή ροή και συνάμα καλύτερα αποτελέσματα. Στην εικόνα 11 φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση για την λειτουργία του [τούνελ](#).



Εικόνα 11: Θάλαμος μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων συνεχούς ροής. (Πηγή: FEATURE ARTICLE Measurement Systems for Diesel Exhaust Gas and Future Trends. Ichiro Asano)

Όπως και στο σύστημα ΔΣΟ που προαναφέραμε, για να μετρηθούν τα σωματίδια σε βαρέα οχήματα πρέπει να έχουμε ένα τούνελ αραιώσης πλήρους ροής και μεγέθους τριπλάσιο από ένα που χρησιμοποιείται σε επιβατικά οχήματα, γιατί ο όγκος των καυσαερίων που θα πρέπει να αραιωθούν και να ψυχθούν είναι πολύ μεγαλύτερος. Συχνά χρησιμοποιούνται 2 τούνελ παράλληλα για μπορέσουν να διαχειριστούν την ψύξη.

4.5. Εφαρμογές των τεχνικών μέτρησης σε παγκόσμια κλίμακα.

Το 1997, ιδρύθηκε η ομάδα για την Παγκόσμια Διαδικασία Πιστοποίησης Βαρέων Οχημάτων (Worldwide Heavy Duty Certification Procedure **WHDC**) υπό την επίβλεψη της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (ECE) και την Παγκόσμια Ομάδα Κατασκευαστών Οχημάτων. Τότε ξεκίνησαν οι πρώτες προσπάθειες για να υπάρξει μια συμφωνία ανάμεσα στα κράτη για τις διαδικασίες ελέγχου των εκπομπών ρύπων των βαρέων οχημάτων.

Η ομάδα της ΠΔΠΒΟ ζήτησε από την τεχνική επιτροπή T25/SC5 του ISO να συντάξει τα όρια και τις διαδικασίες που θα πραγματοποιούνται σε ένα βαρέως τύπου όχημα. Δημιούργησαν την ομάδα που θα είναι υπεύθυνη για τις παραπάνω διαδικασίες με το ακρωνύμιο WG2 (Work Group 2) και θα είναι υπεύθυνη να χρησιμοποιεί τους τρόπους μέτρησης που προαναφέραμε για να καθορίσει τα νέα όρια εκπομπών καυσαερίων.

Τα πρώτα αποτελέσματα προήλθαν με την χρήση τούνελ αραίωσης καυσαερίων μερικής ροής και παροδικών δοκιμών, το Δεκέμβριο του 1999 και εντάχθηκαν στους κανονισμού [EURO IV](#).

4.6. Νέες τάσεις στις μεθόδους μέτρησης εκπομπών καυσαερίων.

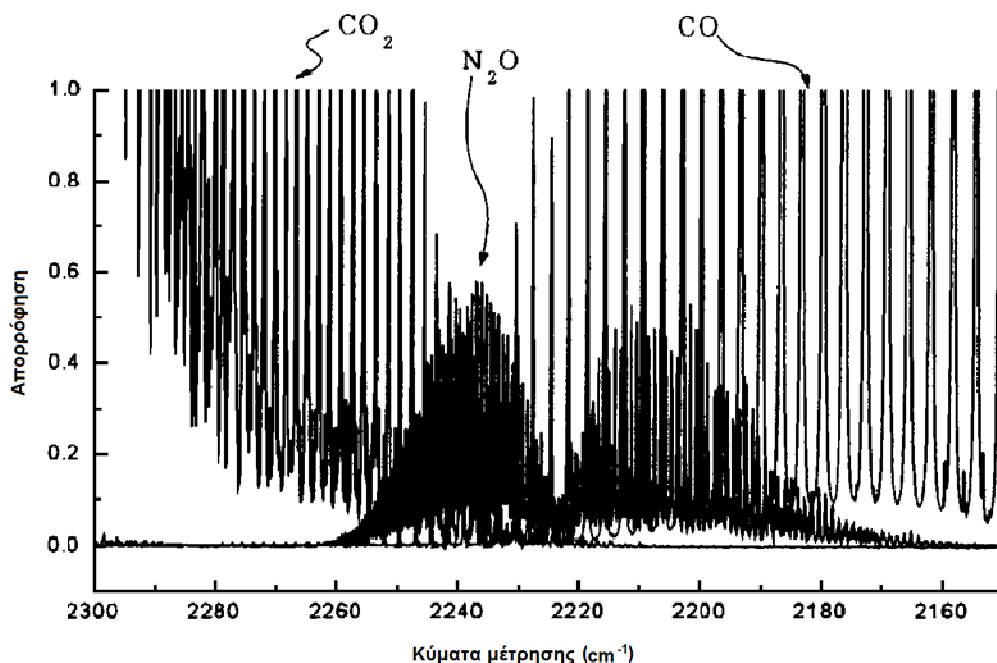
Αποδεδειγμένα, η πιο πετυχημένη μέθοδος μείωσης των εκπομπών καυσαερίων στους πετρελαιοκινητήρες και ειδικά των οξειδίων του αζώτου (NO_x) είναι η βαλβίδα ανακύκλωσης καυσαερίων. Ο λόγος λειτουργίας της βαλβίδας ισούται με την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (**CO₂**) στην εξαγωγή και την συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην εισαγωγή καθ' ότι μεγαλύτερη λόγω της ανακύκλωσης και αποτυπώνεται στον παρακάτω τύπο:

$$EGR_{ratio} = \frac{CO_{2(In)} - CO_{2(amb)}}{CO_{2(Exh)} - CO_{2(amb)}} \times 100 (\%)$$

Τον τελευταίο καιρό εξελίχθηκε ένας αναλυτής αιωρούμενων σωματιδίων με ιονισμό φλόγας. Ενδέχεται ότι η συσκευή να βοηθήσει κατά πολύ στην μείωση των σωματιδίων γιατί μπορεί να μετρήσει ταυτόχρονα και αιθάλη και υδατοδιαλυτό διάλυμα. Για να συμφωνήσουν οι εκπομπές ρύπων με τους κανονισμούς EURO III, έπρεπε να βελτιωθούν κάποια επιμέρους τμήματα των κινητήρων όπως ο ψεκασμός του καυσίμου και ο θάλαμος καύσης. Για να συμμορφωθούν οι κινητήρες με τους κανονισμούς EURO IV έπρεπε να εγκατασταθούν συστήματα επεξεργασίας των καυσαερίων όπως αντιοξειδωτικοί καταλύτες κ.α. τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω.

Έχοντας κατά μέρος τα συστατικά του αζώτου πριν και μετά την κατάλυση, δημιουργήθηκαν αναλυτές Fourier με μετασχηματισμό υπέρυθρων ακτινών (FTIR) ώστε να μπορούν ταυτόχρονα να αναλύσουν οξείδια του αζώτου, τα διοξείδια του αζώτου, τα υποξείδια του αζώτου και την αμμωνία καθιστώντας εφικτή την ανάλυση της οξείδωσης, της μείωσης, της απορρόφησης και της εκρόφησης των συστατικών.

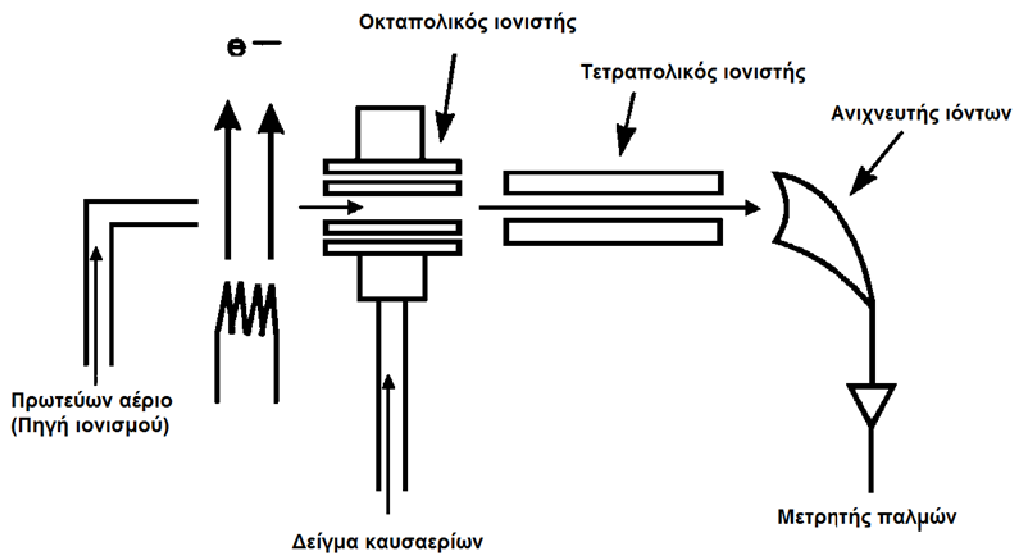
Παρακάτω, το διάγραμμα 2 αποτελεί μία εικόνα το τι “βλέπει” ο συγκεκριμένο αναλυτής’ παρατηρείται η συγκέντρωση μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα μαζί και υποξείδια του [αζώτου](#).



Διάγραμμα 2: Αποτελέσματα φασματομέτρησης για μονοξειδία, διοξείδια του άνθρακα και υποξείδια του [αζώτου](#). (Πηγή: FEATURE ARTICLE Measurement Systems for Diesel Exhaust Gas and Future Trends.

Ichiro Asano)

Παρατηρούμε στο παραπάνω διάγραμμα ότι το φάσμα των υποξειδίων ταυτίζεται με τα φάσματα των μονοξειδίων και των διοξειδίων. Για αυτό το λόγο κατασκευάστηκαν αναλυτές με υπέρυθρες' για να μετρούν πολλαπλά στοιχεία με μεγαλύτερη ακρίβεια και ανάλυση. Παράλληλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αναλυτής ιονισμού για να μετρήσει τα διοξείδια του θείου και τα θειικά υδρογόνα, πριν και μετά την κατάλυση (Κεφάλαιο 3) και να εξακριβώσει τα στοιχεία του θείου που καθιστούν την κατάλυση ανεπαρκή. Ένας τέτοιος αναλυτής φαίνεται στην εικόνα 12.



Εικόνα 12: Σχηματική αναπαράσταση ενός αναλυτή ιονισμού. (Πηγή: FEATURE ARTICLE Measurement Systems for Diesel Exhaust Gas and Future Trends. Ichiro Asano)

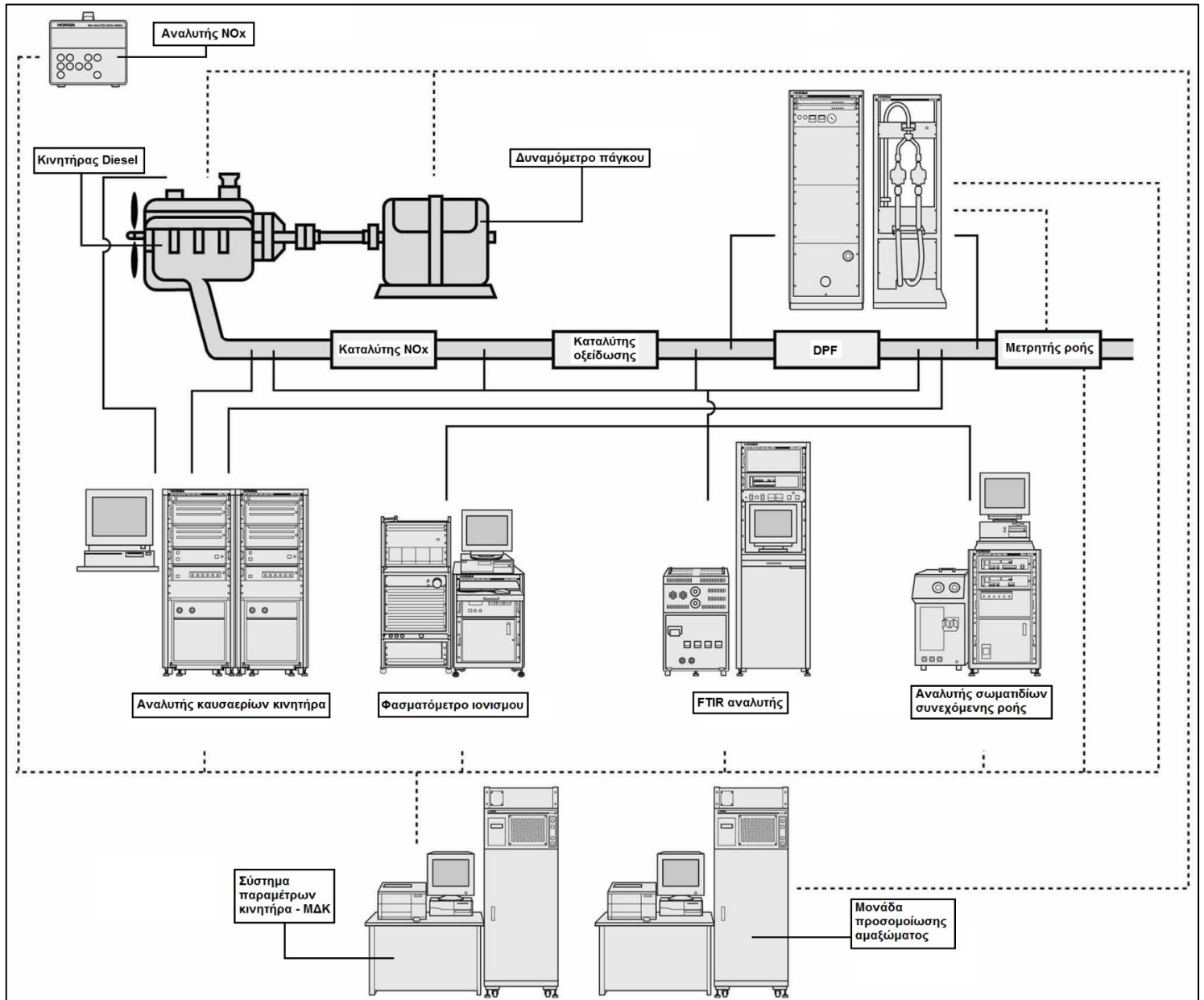
Στον οκταπολικό ιονιστή (εικόνα 13), τμήματα του δείγματος καυσαερίων ανταλλάζουν ιόντα με το πρωτεύων αέριο (Ξένο, Xe), με την μέθοδο της σύγκρουσης. Από αυτά τα ιόντα, μόνο ιόντα συγκεκριμένης μάζας μπορούν να περάσουν από τον τετραπολικό ιονιστή και με την σειρά τους να προχωρήσουν στον ανιχνευτή. Από εκείνο το σημείο και μετά, μετριέται ο αριθμός των ιόντων που καταφθάνουν για να αναγνωριστεί η συγκέντρωση του επιθυμητού στοιχείου. Αλλάζοντας την ποσότητα της μάζας, μπορούμε να μετρήσουμε συγκεντρώσεις από πολλαπλά στοιχεία καυσαερίων με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Ο αναλυτής ιονισμού αποτελεί την τελευταία λέξη στην ανάλυση πολλαπλών αέριων στοιχείων μέσα στα καυσαέρια και με μεγάλη ταχύτητα ανάγνωσης.



Εικόνα 13: Οκταπολικός κωνικός ιονιστής. Η κωνικότητα βοηθάει στην καλύτερη κατεύθυνση των ιόντων.
(Πηγή: google.com)

Παρακάτω, στην εικόνα 14 (σελίδα 33), παρουσιάζεται ένα πλήρες σύστημα διάγνωσης και δοκιμών ενός Κινητήρα Εσωτερικής Καύσης όπως χρησιμοποιείται από τις κατασκευαστικές εταιρίες οχημάτων και κινητήρων Diesel.



Εικόνα 14: Πλήρες σύστημα ανάλυσης δεδομένων και εκπομπών ρύπων ενός Diesel κινητήρα.

(Πηγή: FEATURE ARTICLE Measurement Systems for Diesel Exhaust Gas and Future Trends. Ichiro Asano)

5. Τεχνικές μείωσης ρύπων στους πετρελαιοκινητήρες

5.1. Εισαγωγή

Όπως προαναφέραμε, οι κύριοι λόγοι που τα πετρελαιοκίνητα οχήματα και εξοπλισμός εργοταξίων έχουν ενταχθεί στο παγκόσμιο πρόγραμμα προστασίας, είναι λόγοι προστασίας του περιβάλλοντος και υγεία των πολιτών.

Οι πρώτες ανησυχίες εμφανίστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και συγκεκριμένα στο Λος Άντζελες, το 1947. Το 1952, ο καθηγητής Arie J. Haagen-Smit παρουσίασε μια πρόχειρη έρευνα στο θέμα της περιβαλλοντολογικής μόλυνσεως και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τον κύριο λόγο για την ατμοσφαιρική κυρίως μόλυνση των έχουν οι κινητήρες των οχημάτων. Επίσης επισήμανε ότι θα ήταν πιο φθηνά να μετακομίσουν οι Η.Π.Α. ολόκληρη την πολιτεία του Λος Άντζελες αλλού, παρά να μετατρέψουν όλους τους κινητήρες για να παράγουν λιγότερες εκπομπές ρύπων. Από τότε εμφανίστηκαν οι πρώτοι νόμοι στις Η.Π.Α για τα όρια των ρύπων, μετά ακολούθησε η Ιαπωνία και τέλος η Ευρώπη, όλες στην ίδια χρονολογία.

Αναλυτικότερα, σε μια πλήρη καύση ενός κιλού (Kg) καύσιμου υδρογονάνθρακα παράγεται 3.1 κιλά διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και 1.3 κιλά νερό (H_2O). Οι περισσότερες από τις εκπομπές περιέχουν επιβλαβή στοιχεία όπως οξείδια του αζώτου (NO_x), άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), μονοξείδια του άνθρακα (CO), διοξείδια του άνθρακα (CO_2), άλατα μόλυβδου και στα πετρελαιοκίνητα οχήματα, θειάφι (S) κ.α. Στα τέλη του 1980 εμφανίστηκαν τα πραγματικά προβλήματα, κυρίως με την ύπαρξη διοξειδίων του άνθρακα στην ατμόσφαιρα γιατί όχι μόνο ήταν τοξικό σε αέρια μορφή αλλά κατέστρεφε και τα φυσικά στρώματα της ατμόσφαιρας ώστε οι βλαβερές ακτίνες του ηλίου να τις διαπερνούν προς την γη.

Τα μονοξείδια του άνθρακα είναι επιβλαβή για τα ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος καθώς αντικαθιστούν το οξυγόνο από αυτά. Οι υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου μόνο με φωτοχημική αντίδραση είναι βλαβερά καθώς μόνο τότε παράγουν

άλλα χημικά επιβλαβή στοιχεία. Υπάρχουν δύο κύρια οξειδία του αζώτου, το νιτρικό οξύ (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Υπό την επίδραση των ακτίνων του ηλίου, το διοξείδιο του αζώτου διασπάται σε νιτρικό οξύ και μονοξείδιο (NO + O). Το μονοξείδιο συνδέεται με το οξυγόνο για να σχηματίσουν όζον (O₃). Κανονικά θα έπρεπε το όζον να συνδυαστεί με το μονοξείδιο του αζώτου για να σχηματίσουν το διοξείδιο του αζώτου αλλά οι υδρογονάνθρακες καθιστούν αυτό τον συνδυασμό αδύνατο με αποτέλεσμα να έχουμε αυξημένα επίπεδα όζοντος. Τα μόρια του όζοντος συνδυάζονται με άλλα χημικά στοιχεία και δημιουργείται αυτό το σύννεφο που γνωρίζουμε σήμερα σαν νέφος. Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες προέρχονται από αναθυμιάσεις καυσίμου μέσα στο δοχείο πλήρωσης, από άκαυστο μείγμα ή και λανθασμένη αναλογία μείγματος [αέρα-καυσίμου](#).



Εικόνα 15: Διάφοροι τύποι οχημάτων που χρησιμοποιούν κινητήρα Diesel για την διεκπεραίωση των εργασιών τους.

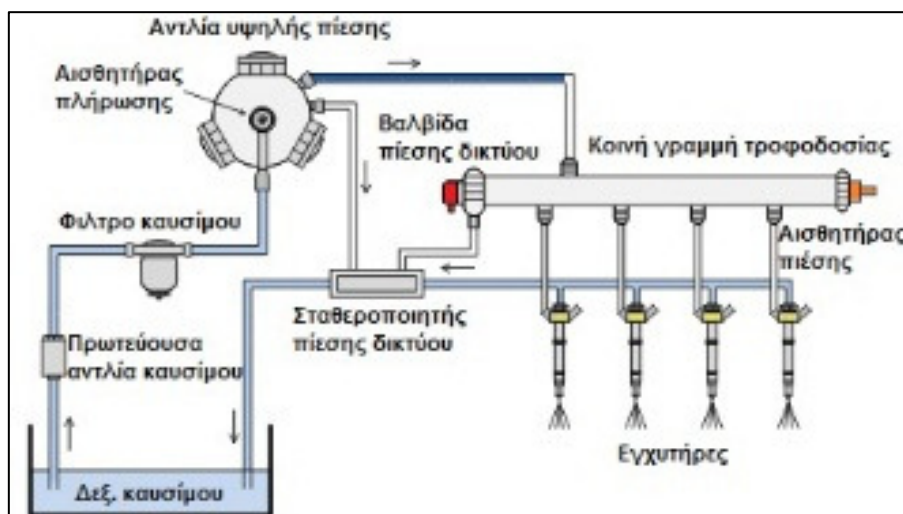
5.2.Εφαρμογές ορίων

Από το 2005 και μετά έχει αναπτυχθεί ο **Οργανισμός Ελέγχου Εκπομπών Ρύπων με Καταλύτη (Association for Emissions Control by Catalyst AECC)**. Μέσα σε αυτό τον οργανισμό έχουν πάρει μέρος εταιρείες γνωστές στον χώρο της αυτοκίνησης, αγροτικών και δομικών μηχανήματων. Κάποιες από αυτές είναι η NGK, Umicore, Caterpillar, Americat, Denso κ.α. Ο κοινός στόχος αυτών των εταιριών είναι η μείωση των ρυπογόνων εκπομπών με την χρήση διαφόρων μέσων – φίλτρων, με νέες μελέτες πάνω στη κατασκευή ενός νέου μηχανικού συνόλου και εφαρμογές αυτών στους παραπάνω τομείς. Όλα αυτά για μια καλύτερη ατμόσφαιρα, καλύτερο περιβάλλον με πολύ λιγότερους ρύπους. Παράλληλα, υπάρχουν και άλλοι παρόμοιοι οργανισμοί ανά τον κόσμο που ασχολούνται με μελέτες και προτάσεις για τους παραπάνω λόγους.

Μέχρι στιγμής γνωρίζουμε τα διάφορα στάδια Euro (Euro 1 έως Euro 6 για Ευρώπη και Tier 1 έως 5 για Η.Π.Α.) που αναφέρονται στις εκπομπές ρύπων των βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων των I.X οχημάτων, τεσσάρων και δύο τροχών. Τα αντίστοιχα στάδια Tier υπάρχουν για τους πετρελαιοκινητήρες βαρέων οχημάτων. Παρακάτω θα αναλύσουμε τα αντίστοιχα στάδια μείωσης εκπομπών ρύπων των πετρελαιοκινητήρων βαρέων οχημάτων και εξοπλισμού εκτός δρόμου. Μέσα σε αυτά εμπεριέχονται οι γεωργικοί ελκυστήρες, βαρέα οχήματα δομικών έργων - εργοταξίων και σταθερός εξοπλισμός όπως ηλεκτρογεννήτριες, αντλίες αέρα κ.α.

Το 1994 κατασκευαστικές εταιρίες, υπουργεία περιβάλλοντος και περιβαλλοντικές οργανώσεις με την βοήθεια επιστημόνων ξεκίνησαν την διαβούλευση για τα νέα αντιρρυπαντικά μέτρα που θα ακολουθήσουν στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Συγκεκριμένα το 1996, στα οχήματα εκτός δρόμου, σαν πρώτο στάδιο εφαρμόστηκε το μέτρο ελάττωσης ρύπων με καταλύτη καυσαερίων σε κινητήρες ισχύος μέχρι 35 kW (50hp) ενώ για κινητήρες άνω των 35kW εφαρμόστηκε ο περιορισμός στις πετρελαιοπαραγωγές εταιρίες όσο αφορά την χρήση θείου στα καύσιμά τους και συγκεκριμένα μέχρι το 0,5%

Αυτό το στάδιο άλλαξε σε Tier 2 από το 1996 και μετά όπου προστέθηκαν κάποια επανασχεδιασμένα συστήματα όπως η ηλεκτρονική διαχείριση του κινητήρα, τροφοδοσία καυσίμου με ενιαίο κύκλωμα τροφοδοσίας στους μηχανικούς εγχυτήρες (common rail, Εικόνα 16) με την βοήθεια δύο αντλιών καυσίμου μηχανικού τύπου. Η πρώτη εξέλιξη του συστήματος έγινε στην Ιαπωνία στα μέσα τις δεκαετίας του '90 από την Denso και εφαρμόστηκε πρώτα σε οχήματα εκτός δρόμου και κυρίως ελκυστήρες. Μετά πέρασε στα οχήματα πόλεως αφού το επανασχεδίασαν η FIAT, η Magnetti Marelli και η Elasis. Τον τελικό σχεδιασμό τον έκανε η Robert Bosch GmbH πριν περάσει στην μαζική παραγωγή.



Εικόνα 16: Ενιαίο κύκλωμα τροφοδοσίας καυσίμου (Common Rail).

Στο τρίτο στάδιο εξέλιξης (Tier 3) δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές από το 2^ο Tier παρά μόνο στην απαγόρευση χρήσης θειαφιού στα καύσιμα των πετρελαιοκινητήρων. Μέχρι και αυτό το στάδιο, το μόνο μέσο καθαρισμού των καυσαερίων ήταν οι καταλύτες. Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο (Tier 4) για τις ΗΠΑ, επισημοποιήθηκε και άρχισε να εφαρμόζεται στις 11 Μαΐου 2004 και έθεσε νέες βάσεις στην επεξεργασία των καυσαερίων. Η παραγωγή των σωματιδίων και των οξειδίων του αζώτου πρέπει να μειωθεί κατά 90% ακριβώς μετά τον καταλυτικό μετατροπέα και προστέθηκαν και άλλα συστήματα επεξεργασίας των καυσαερίων για ακόμα καθαρότερα “απόβλητα”. Επίσης, μειώθηκαν κατά πολύ τα όρια παραγωγής υδρογονανθράκων. Τέλος εκτός από τα “καθαρότερα συστήματα” πάνω σε ένα σύγχρονο πετρελαιοκινητήρα, τα υπουργεία περιβάλλοντος έβαλαν και όρια στο στα ποσοστά θείου που περιέχει το πετρέλαιο κίνησης.

Στα 3 πρώτα Tier το όριο θείου στο καύσιμο ήταν μέχρι τα 2000 ppm. Στο τελευταίο στάδιο το όριο θείου έπεσε στα 5 – 17 ppm σε χρονικό διάστημα 4 ετών (2006 – 2010). Τέλος, στα στάδια 1 – 3 οι κατασκευαστικές εταιρίες μέτραγαν την ποσότητα των υδρογονανθράκων ενώ στο στάδιο 4 μετράνε τους υδρογονάνθρακες χωρίς μεθάνιο. Επειδή, δεν έχει επισημανθεί επίσημα κάποια μέθοδο μέτρησης των προαναφερμένων, έχουν αφήσει αυτή την διαδικασία στις κατασκευαστικές εταιρίες οχημάτων και κινητήρων να χρηματοδοτήσουν και να υλοποιήσουν τον δικό τους τρόπο μέτρησης και ανάλυσης. Την τελευταία τεχνολογία κινητήρων θα την αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο. Παρακάτω εμφανίζονται οι πίνακες με τις τιμές και των τεσσάρων σταδίων όσο αφορά τις ΗΠΑ (Πίνακας 8, Πίνακας 9, Πίνακας 10).

Πίνακας 8: Όρια εκπομπών ρύπων για οχήματα εκτός δρόμους με κινητήρες Diesel g/kWh (g/bhp*hr).

(Πηγή: <https://www.dieselnet.com/standards/>)

Ονομαστική ισχύς κινητήρα	Tier	Χρονιά	CO	HC	NMHC+NO _x	NO _x	PM
kW < 8 (hp < 11)	Tier 1	2000	8.0 (6.0)	-	10.5 (7.8)	-	1.0 (0.75)
	Tier 2	2005	8.0 (6.0)	-	7.5 (5.6)	-	0.8 (0.6)
8 ≤ kW < 19 (11 ≤ hp < 25)	Tier 1	2000	6.6 (4.9)	-	9.5 (7.1)	-	0.8 (0.6)
	Tier 2	2005	6.6 (4.9)	-	7.5 (5.6)	-	0.8 (0.6)
19 ≤ kW < 37 (25 ≤ hp < 50)	Tier 1	1999	5.5 (4.1)	-	9.5 (7.1)	-	0.8 (0.6)
	Tier 2	2004	5.5 (4.1)	-	7.5 (5.6)	-	0.6 (0.45)
37 ≤ kW < 75 (50 ≤ hp < 100)	Tier 1	1998	-	-	-	9.2 (6.9)	-
	Tier 2	2004	5.0 (3.7)	-	7.5 (5.6)	-	0.4 (0.3)
	Tier 3	2008	5.0 (3.7)	-	4.7 (3.5)	-	-†
75 ≤ kW < 130 (100 ≤ hp < 175)	Tier 1	1997	-	-	-	9.2 (6.9)	-
	Tier 2	2003	5.0 (3.7)	-	6.6 (4.9)	-	0.3 (0.22)
	Tier 3	2007	5.0 (3.7)	-	4.0 (3.0)	-	-†
130 ≤ kW < 225 (175 ≤ hp < 300)	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2003	3.5 (2.6)	-	6.6 (4.9)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
225 ≤ kW < 450 (300 ≤ hp < 600)	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2001	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
450 ≤ kW < 560 (600 ≤ hp < 750)	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2002	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
kW ≥ 560 (hp ≥ 750)	Tier 1	2000	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2006	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)

Πίνακας 9: Όρια εκπομπών ρύπων για κινητήρες Diesel εντασσόμενοι στο πρόγραμμα Blue Sky Series.

(Πηγή: <https://www.dieselnet.com/standards/>)

Ονομαστική ισχύς κινητήρα (kW)	NMHC+NO _x	PM
kW < 8	4.6 (3.4)	0.48 (0.36)
8 ≤ kW < 19	4.5 (3.4)	0.48 (0.36)
19 ≤ kW < 37	4.5 (3.4)	0.36 (0.27)
37 ≤ kW < 75	4.7 (3.5)	0.24 (0.18)
75 ≤ kW < 130	4.0 (3.0)	0.18 (0.13)
130 ≤ kW < 560	4.0 (3.0)	0.12 (0.09)
kW ≥ 560	3.8 (2.8)	0.12 (0.09)

Πίνακας 10: Όρια εκπομπών ρύπων Tier 4 για οχήματα εκτός δρόμους με κινητήρες Diesel. (Πηγή:

<https://www.dieselnet.com/standards/>)

Ονομαστική ισχύς κινητήρα	Χρονιά	CO	NMHC	NMHC+NO _x	NO _x	PM
kW < 8 (hp < 11)	2008	8.0 (6.0)	-	7.5 (5.6)	-	0.4 ^a (0.3)
8 ≤ kW < 19 (11 ≤ hp < 25)	2008	6.6 (4.9)	-	7.5 (5.6)	-	0.4 (0.3)
19 ≤ kW < 37 (25 ≤ hp < 50)	2008	5.5 (4.1)	-	7.5 (5.6)	-	0.3 (0.22)
	2013	5.5 (4.1)	-	4.7 (3.5)	-	0.03 (0.022)
37 ≤ kW < 56 (50 ≤ hp < 75)	2008	5.0 (3.7)	-	4.7 (3.5)	-	0.3 ^b (0.22)
	2013	5.0 (3.7)	-	4.7 (3.5)	-	0.03 (0.022)
56 ≤ kW < 130 (75 ≤ hp < 175)	2012-2014 ^c	5.0 (3.7)	0.19 (0.14)	-	0.40 (0.30)	0.02 (0.015)
130 ≤ kW ≤ 560 (175 ≤ hp ≤ 750)	2011-2014 ^d	3.5 (2.6)	0.19 (0.14)	-	0.40 (0.30)	0.02 (0.015)

5.3. Επεξεργασία καυσαερίων

Τα υπουργεία περιβάλλοντος σε συνεργασία με περιβαλλοντολογικές οργανώσεις και κατασκευάστριες εταιρίες κινητήρων και οχημάτων εκτός δρόμου ανέδειξαν κάποιες τεχνικές μείωσης εκπομπής ρύπων από τους πετρελαιοκινητήρες ώστε να πλησιάσουν στα νούμερα που αναφέραμε στους παραπάνω πίνακες σαν μακροχρόνιο αποτέλεσμα.

5.3.1. Συνείδηση χειριστή - οδηγού

Σαν πρώτη ενέργεια, οι χειριστές δεν θα πρέπει να αφήνουν τους κινητήρες των μηχανημάτων να λειτουργούν σε αδράνεια όταν δεν χρησιμοποιούνται. Εκτός από θορυβώδης, ένας πετρελαιοκινητήρας μπορεί να είναι και σπάταλος σε καύσιμα αφού μπορεί να καταναλώσει σχεδόν 4 λίτρα πετρελαίου σε μία ώρα λειτουργίας του σε αδράνεια. Επίσης η συντήρηση ενός κινητήρα πρέπει να γίνεται μέσα στα χρονικά πλαίσια (εργατοώρες), που έχει ορίσει ο κατασκευαστής.



5.3.2. Ανεφοδιασμός με καλύτερα καύσιμα

Επίσης, οι χειριστές είναι υπεύθυνοι για τον ανεφοδιασμό του οχήματος – μηχανήματος με καθαρότερο καύσιμο. Ένας χειριστής θα μπορεί πλέον να επιλέξει ανάμεσα σε πετρέλαιο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (**LSD**), πετρέλαιο σε πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (**ULSD**), βιοντίζελ (**B100**) και ντίζελ με πρόσθετα, που ένα από αυτά είναι το νερό. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει αυτή η πολυτέλεια της επιλογής του καυσίμου.

Το πρώτο καύσιμο (**LSD**), είναι ευρέως διαδεδομένο, περιέχει ποσότητα θείου ίση με 300 έως 500 ppm και μειώνει των αριθμό των σωματιδίων (**PM**) που εμπεριέχονται στα καυσαέρια κατά 10 – 20% σε σχέση με το κοινό πετρέλαιο

κίνησης. Όταν πρωτοεμφανίστηκε στην αγορά καυσίμων ήταν ακριβότερο κατά 10 με 30 λεπτά σε σχέση με το κοινό πετρέλαιο κίνησης.

Το δεύτερο καύσιμο (ULSD) εμφανίστηκε στην αγορά τον Οκτώβριο του 2006. Εμπεριέχει ποσότητα θείου μειωμένη κατά 5 – 9% σε σχέση με το LSD και αριθμό PM στα καυσαέρια μειωμένο κατά 60 – 90% αν συνδυαστεί με άλλες τεχνικές μείωσης σωματιδίων. Η τιμή του ήταν κατά 60 λεπτά ακριβότερη σε σχέση με το κοινό πετρέλαιο κίνησης αλλά μέχρι και σήμερα αυτή η διαφορά έχει μειωθεί.

Το τρίτο καύσιμο (B100) ή βιοντίζελ παρασκευάζεται ανεξάρτητα σε κάθε χώρα που θέλει να το εξάγει στην τοπική αγορά πετρελαιοειδών. Παράγεται από καινούργια και χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια αλλά και ζωικό λίπος. Είναι ασφαλές, βιοδιασπώμενο και μειώνει σε μεγάλο βαθμό τον παραγόμενο αριθμό σωματιδίων από την καύση, τα μονοξειδία του άνθρακα και τους υδρογονάνθρακες. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάστηκε αυξημένη ποσότητα μονοξειδίων του αζώτου αλλά με τα κατάλληλα πρόσθετα, αυτή η ποσότητα έγινε ελεγχόμενη και κρατήθηκε σε χαμηλά επίπεδα μετά από διάφορες περιόδους δοκιμών. Το αρνητικό με την χρήση του βιοντίζελ είναι ότι για να χρησιμοποιηθεί στην καθαρή του μορφή πρέπει να γίνουν κάποιες μετατροπές στον κινητήρα του οχήματος – μηχανήματος – ελκυστήρα. Μία από αυτές είναι η δημιουργία νέου κυκλώματος τροφοδοσίας καυσίμου.

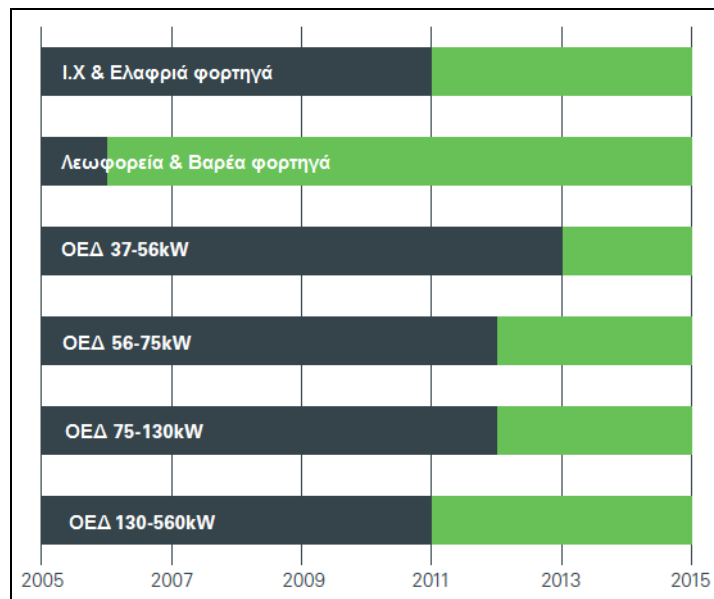
Τέλος, το τέταρτο καύσιμο αποτελείται από μίξη κανονικού πετρελαίου, νερού και πρόσθετων που μειώνουν ταυτόχρονα την εκπομπή σωματιδίων και μονοξείδιο του αζώτου. Το μείγμα αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε έναν πετρελαιοκινητήρα χωρίς μετατροπές αλλά λόγω της ύπαρξης του νερού, ο κινητήρας δεν θα έχει την απόδοση που πρέπει αλλά ούτε και την αναμενόμενη οικονομία καυσίμου.



5.3.3. Φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων DPF

Για την εκπομπή ελάχιστων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, οι κατασκευάστριες εταιρίες δημιούργησαν τα φίλτρα σωματιδίων για πετρελαιοκινητήρες (**Diesel Particulate Filter - DPF**). Το φίλτρο αυτό τοποθετείται ακριβώς πριν ή μετά τον καταλυτικό μετατροπέα, ανάλογα τον κατασκευαστή, για να κατακρατεί τα βαρέα σωματίδια. Πρωτοεμφανίστηκε σε οχήματα βαρέως τύπου το 1987 στην Καλιφόρνια και με την πάροδο του χρόνου έχει τοποθετηθεί σχεδόν σε όλα τα νέα μοντέλα οχημάτων και εξοπλισμού με πετρελαιοκινητήρα ανά τον κόσμο.

Κάποια παλαιότερα οχήματα δεν είναι εφοδιασμένα με φίλτρο σωματιδίων, για αυτό κάποιες κυβερνήσεις ενθαρρύνουν τους ιδιοκτήτες των οχημάτων, με επιδοτήσεις και καμπάνιες, να κάνουν κάποιες μετασκευές στο σύστημα εξάτμισης ώστε να φιλοξενήσουν το νέο φίλτρο και να πάρουν την ανάλογη πιστοποίηση. Στο διάγραμμα 3 παρατηρούμε το χρονοδιάγραμμα που θα γίνει υποχρεωτική η χρήση του φίλτρου DPF.



Διάγραμμα 3: Χρονοδιάγραμμα υποχρεωτικής εγκατάστασης φίλτρου DPF. Με ανοιχτό πράσινο απεικονίζεται η περίοδος ισχύος. (Πηγή: Black Carbon Campaign – Retrofit Guidance. Clientearth.org)

Τα υπουργεία περιβάλλοντος έχουν υποχρεώσει τους ιδιοκτήτες – χειριστές βαρέων μηχανημάτων και ελκυστήρων να εφαρμόσουν την παραπάνω λύση για 3 λόγους:

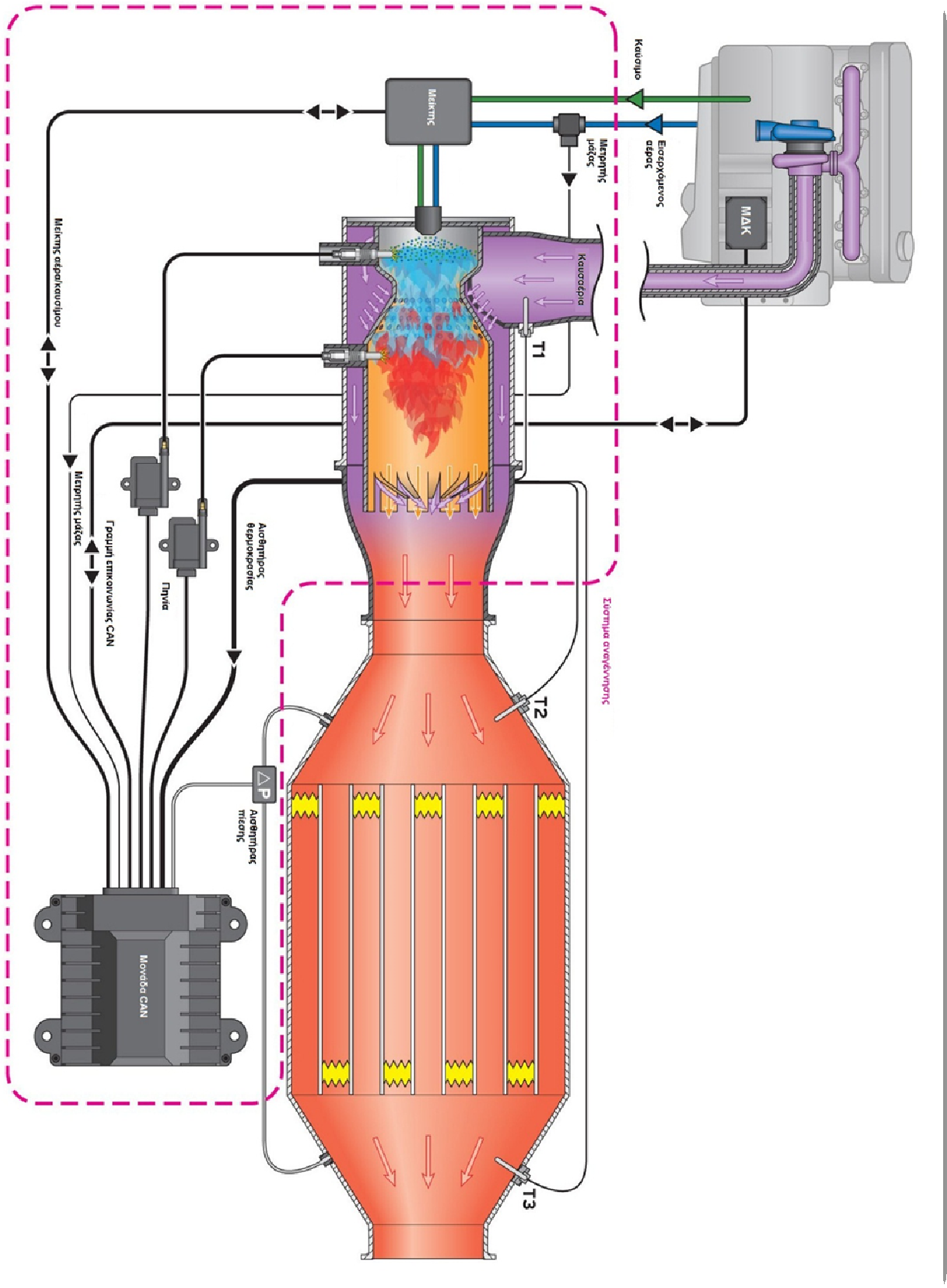
- Αν τα οχήματα κινούνται σε περιοχές με ήδη υψηλή περιβαλλοντολογική επιβάρυνση.
- Σε μακροχρόνια περίοδο, συμφέρει οικονομικά την εργασία και συντήρηση του οχήματος.
- Γιατί διευκολύνεται ο έλεγχος των καυσαερίων του κάθε οχήματος και η κατάστασή στην οποία βρίσκεται

Τα οχήματα που διαθέτουν ένα τέτοιο φίλτρο έχουν το πλεονέκτημα στην συντήρηση γιατί είναι αυτοκαθαριζόμενο χρησιμοποιώντας την θερμοκρασία των καυσαερίων. Το αποτέλεσμα είναι τα καμένα σωματίδια να απορριφθούν σε μορφή πούδρας από την εξάτμιση. Υπάρχουν περιπτώσεις που οι αντίξοες συνθήκες εργασίας, δεν αφήνουν την θερμοκρασία των καυσαερίων να φτάσει στα προβλεπόμενα επίπεδα για “αναγέννηση - καθαρισμού” του φίλτρου.

Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται αντιστάσεις στις κοιλότητες του που το θερμαίνουν για να καούν τα σωματίδια που έχει κατακρατήσει ή ακόμα και απευθείας καύση πετρελαίου μέσα στο φίλτρο. Στην εικόνα 17 παρατηρούμε ένα φίλτρο DPF τοποθετημένο σε τράκτορα και στην εικόνα 18 ένα πλήρες σύστημα αναγέννησης DPF με χρήση καυσίμου και φίλτρου τοιχωμάτων.



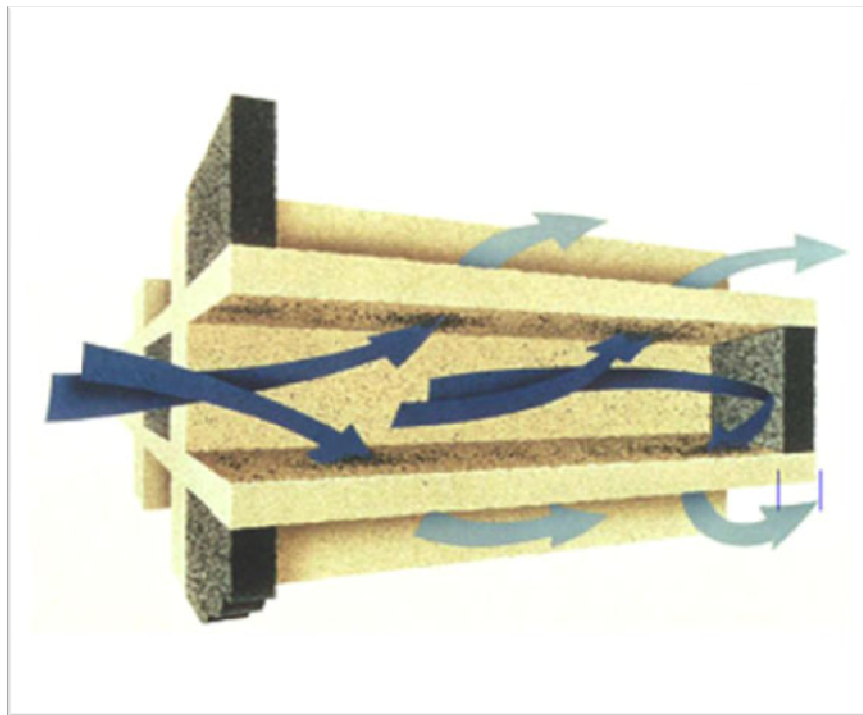
Εικόνα 17: Φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων. Φαίνεται ο κυψελοειδής καταλύτης μετά από αυτό.



Εικόνα 18: Σύστημα αναγέννησης φίλτρου DPF με χρήση ψεκασμού [καυσίμου](#).

Υπάρχουν τρεις τύποι φίλτρων κατακράτησης σωματιδίων (DPF) φίλτρο με τοιχώματα, φίλτρο μερικής ροής καυσαερίων και καταλύτης οξειδωσης.

- **Φίλτρο τοιχωμάτων:** Η πιο διαδεδομένη μορφή DPF στην αγορά πετρελαιοκινητήρων. Τα καυσαέρια οδηγούνται μέσα σε ένα σύμπλεγμα τοιχωμάτων, κατασκευασμένα από κεραμικά πορώδη υλικά. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 19, το φίλτρο έχει την μορφή κυψέλης και κάθε μία από αυτές είναι κλειστή στο τέλος της. Τα καυσαέρια αναγκάζονται να περάσουν μέσα από το πορώδες υλικό συγκρατώντας τα μεγάλου μεγέθους σωματίδια. Αυτό το είδος φίλτρου αποτέλεσε τον χρυσό κανόνα για τις κατασκευαστικές εταιρίες βαρέων οχημάτων και όχι μόνο αφού μπορούν να φιλτράρουν και να κατακρατήσουν το 95% των σωματιδίων.



Εικόνα 19: DPF με μορφή ενδιάμεσων τοιχωμάτων. (Πηγή: google.com)

- **Φίλτρο μερικής ροής:** Η αμέσως επόμενη λύση μετά το φίλτρο τοιχωμάτων. Ουσιαστικά είναι ένα σύστημα με λεπτό μεταλλικό υφαντό στο οποίο κατακρατούνται τα σωματίδια. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε συνεχή αναγέννηση του φίλτρου από τις θερμοκρασίες των καυσαερίων. Συνήθως, είναι εμποτισμένα με καταλύτες από πολύτιμα μέταλλα για να αντιδρούν κυρίως με τα μονοξείδια του άνθρακα. Η τιμή αγοράς ενός τέτοιου φίλτρου είναι χαμηλότερη από ένα φίλτρο τοιχωμάτων αφού κατακρατεί μόνο το 30 – 60% των σωματιδίων. Τα πιο μικρά από αυτά και πιο επιβλαβή για τον άνθρωπο και το κλίμα, εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα
- **Καταλύτης οξείδωσης:** Το εσωτερικό του είναι σχεδιασμένο με μορφή κυψέλης και είναι επικαλυμμένος με πολύτιμα μέταλλα που όταν έρχονται σε επαφή με τα μόρια των καυσαερίων, τα οξειδώνουν. Είναι αποτελεσματικός μόνο σε ρύπους που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες για αυτό χρησιμοποιούνται σαν μέρος ενός συστήματος φίλτρων και όχι αυτόνομοι. Κατακρατούν λιγότερο από το 25% των συνολικών σωματιδίων. Στην εικόνα 20 έχουμε φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων σε διάφορες διατομές και πυκνότητες.



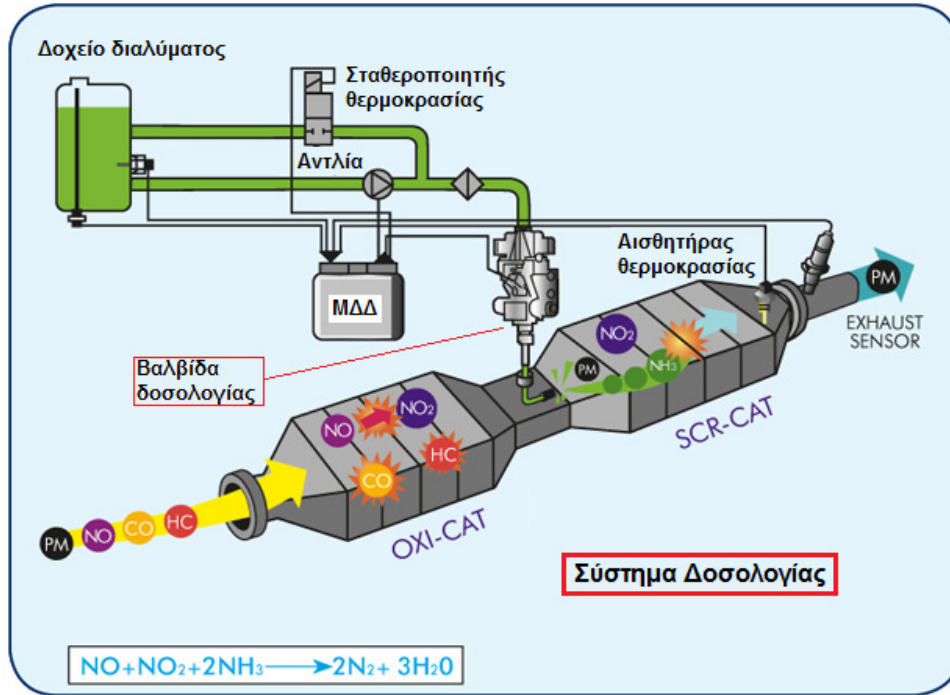
Εικόνα 20: Φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων DPF. Ανάλογα τον τύπο κινητήρα χρησιμοποιούμε και το ανάλογο φίλτρο.

5.3.4. Υγρός διαλύτης πετρελαίου UREA

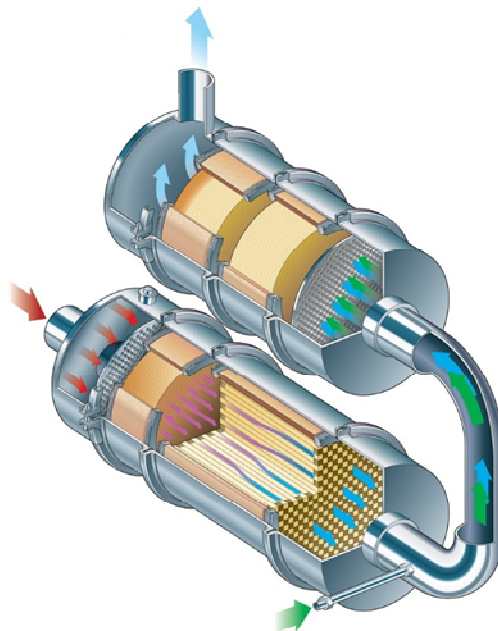
Υγρός διαλύτης πετρελαίου. Αυτή η τεχνική αναπτύχθηκε ώστε οι κινητήρες πετρελαίου να προετοιμαστούν για την έλευση του 4^{ου} σταδίου αντιρρυπαντικών μέτρων. Αναπτύχθηκε και τελειοποιήθηκε από την κατασκευαστική εταιρία αντιρρυπαντικών συστημάτων CUMMINS, μία εταιρία που έχει στο ενεργητικό της πάνω από 50000 κινητήρες με προδιαγραφές Euro/Tier 4 και πάνω από 250000 εφαρμογές σε βαριά βιομηχανία. Από το 2006 μέχρι και σήμερα εφαρμόζεται αυτό το σύστημα σαν “γρήγορη” λύση για παλιούς κινητήρες στο θέμα της τεχνολογίας των εκπομπών ρύπων.

Η θεωρία λειτουργίας του συστήματος είναι σχετικά απλή, κατά την λειτουργία του κινητήρα ένα υγρό διάλυμα ψεκάζεται πριν ή μετά τον καταλύτη του συστήματος εξάτμισης. Με την θερμοκρασία που υπάρχει στο κύκλωμα, το διάλυμα εξατμίζεται και χαμηλώνει τα ποσοστά των οξειδίων του αζώτου στους ρύπους σε συνδυασμό με το επιλεκτικό σύστημα καταλύτη.

Το διάλυμα είναι μείγμα αζώτου που όταν ζεσταθεί μετατρέπεται σε αμμωνία και νερό. Χρησιμοποιείται και στην βιομηχανία σαν λίπασμα. Είναι υδατοδιαλυτό και η περιεκτικότητά του είναι 32,5% υψηλής περιεκτικότητας ουρία και 67,5% απιονισμένο νερό. Σε περίπτωση παγετού, το μείγμα διογκώνεται κατά 7% της αρχικής του κατάστασης. Η χαμηλότερη θερμοκρασία διατήρησης του μείγματος είναι οι -11°C. Τοποθετείται σε ειδικά δοχεία διατήρησης. Ένα πλήρες σύστημα αποτελείται από το δοχείο αποθήκευσης, αντλία παροχής, εγχυτήρα, αισθητήρες θερμοκρασίας. Στην εικόνα 21 παρατηρούμε ένα σχεδιάγραμμα της λειτουργίας του.



Εικόνα 21: Σύστημα παροχής διαλύματος πετρελαίου(UREA). Παρατηρούμε τους ρύπους και τις χημικές ενώσεις αυτών πριν και μετά την χρήση του.



Εικόνα 22: Σύστημα παροχής υγρού διαλύτη (πράσινο βέλος) τοποθετημένο μετά τον καταλύτη οξειδωσης και πριν του φίλτρου κατακράτησης σωματιδίων(DPF).

Μία γρήγορη μέθοδος για να υπολογίσουμε την κατανάλωση του διαλύματος είναι η ότι η αναλογία σε σχέση με την ποσότητα καυσίμου είναι περίπου 2%. Ένα παράδειγμα σε βαρέα οχήματα φαίνεται τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 11: Παράδειγμα ετήσιας χρήσης DEF σε βαρέως όχημα με μεγάλο κύκλο εργασίας.

Ετήσια χλμ. ανά όχημα	Μέση κατανάλωση ανά όχημα	Μέση χωρητικότητα DEF ανά όχημα	Ετήσια κατανάλωση καυσίμου (λίτρα)	Κατανάλωση DEF ανά λίτρο καυσίμου	Ετήσια κατανάλωση DEF	Πληρώσεις DEF ανά έτος
200.000	7.6 km/l	76 L	26.315 l	2%	526.3 l	7

5.4. Επανασχεδιασμός κινητήρων και περιφερειακών συστημάτων

Οι λύσεις που αναλύσαμε παραπάνω, είναι εγκεκριμένες από τα υπουργεία περιβάλλοντος και αφορούν την επεξεργασία των καυσαερίων από τους πετρελαιοκινητήρες (**after treatment**). Για να λειτουργήσουν σωστά οι παραπάνω ενέργειες και συστήματα, οι κατασκευαστικές εταιρίες κινητήρων και βαρέων οχημάτων έκαναν τις δικιές τους μελέτες και εφάρμοσαν κάποιες συγκεκριμένες τακτικές για να γίνεται ακόμα καθαρότερη η καύση πριν καν εγκαταλείψει τον θάλαμό της.

5.4.1. Έμβολο νέας σχεδίασης

Αυτό γίνεται ώστε το μείγμα να συγκεντρώνεται πιο γρήγορα στο κέντρο του θαλάμου και να παραμένει ομοιόμορφο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον στροβιλισμό αυτού και συνεπάγεται σε μικρότερη ποσότητα καυσίμου άρα και χαμηλότερη κατανάλωση. Επίσης, λόγω καλύτερης ομοιογένειας του μείγματος, έχουμε όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες ενέργειας από την καύση. Στην εικόνα 23 παρατηρούμε ένα έμβολο τελευταίας γενιάς πετρελαιοκινητήρων. Στην περιοχή των δαχτυλιδιών στεγανοποίησης μέχρι την κορώνα, παρατηρούμε διαφορετικό χρωματισμό. Αυτό οφείλεται στην κεραμική επίστρωση που έχει υποστεί το έμβολο για αντοχή σε ακόμα μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Μέσα από τα δαχτυλίδια, η “κορώνα” του πιστονιού είναι κούφια επιτρέποντας καλύτερη απαγωγή της θερμότητας (εικόνα 24)



Εικόνα 23: Έμβολο diesel κινητήρα τελευταίας γενιάς. Παρατηρούμε την κοιλότητα της κορώνας. (Πηγή: Mahle group)



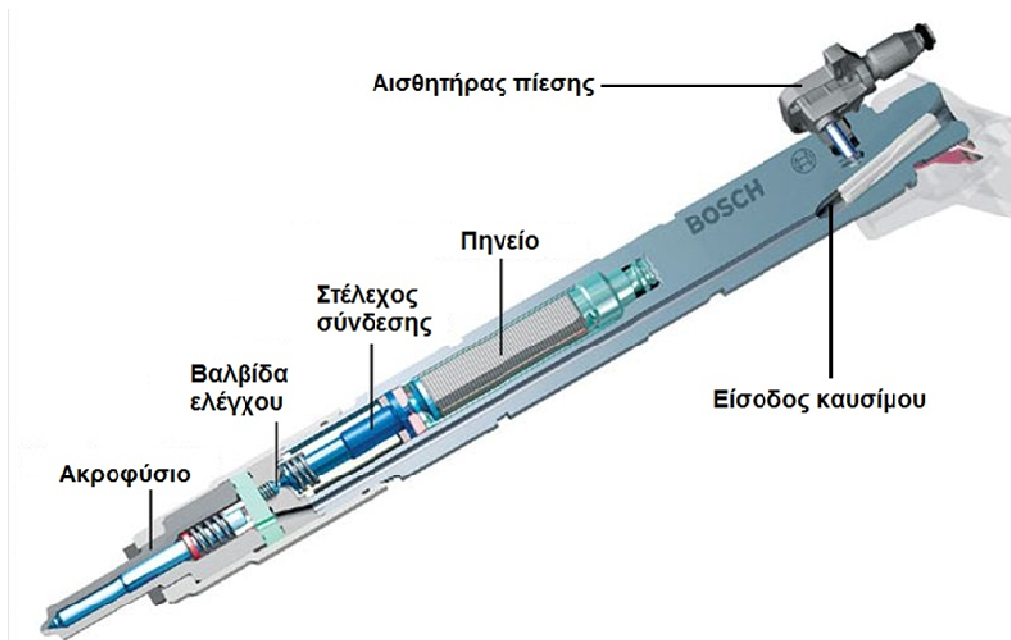
Εικόνα 24: Αλουμινένιο έμβολο Diesel κινητήρα. Παρατηρούμε τον κούφιο θάλαμο μεταξύ του θαλάμου μείγματος και των δαχτυλιδιών στεγανοποίησης. (Πηγή: Piston Material Choice. Arnd Baberg, Marcus Freidhager, Harald Mergler, Klaus Schmidt)

5.4.2. Άμεσος ψεκάσμος καυσίμου

Σε αυτό βοηθάει πολύ και το ενιαίο κύκλωμα τροφοδοσίας που προαναφέραμε. Πλέον, υπάρχουν 2 αντλίες καυσίμου που ισορροπούν την πίεση στο κύκλωμα και φροντίζουν να παρέχουν αρκετό καύσιμο στους νέου τύπου εγχυτήρες. Για τους προαναφέροντες, έχουν χρησιμοποιηθεί καλύτερα κράματα, νέα ηλεκτρικά κυκλώματα και το πιο σημαντικό, έχουν νέα ακροφύσια. Μπορούν να ψεκάσουν το καύσιμο στο χώρο καύσης με ομοιογένεια και ακρίβεια. Επίσης, αν κριθεί από την ηλεκτρονική μονάδα διαχείρισης του κινητήρα, μπορεί να επιλέξει πιο ακροφύσιο να ψεκάσει, αφού ένας εγχυτήρας μπορεί να έχει πολλαπλά στόμια. Στην εικόνα 25 παρατηρούμε έναν εγχυτήρα με πολλαπλά ακροφύσια και στην εικόνα 26 μία τομή ενός εγχυτήρα πετρελαίου της BOSCH.



Εικόνα 25: Τομή ενός θαλάμου καύσης πετρελαιοκινητήρα με άμεσο ψεκάσμο. Παρατηρούμε τον ψεκάσμο πολλαπλών σημείων μέσα στην κορόνα του εμβόλου και το σχήμα αυτής. (Πηγή: Bosch Auto Parts)



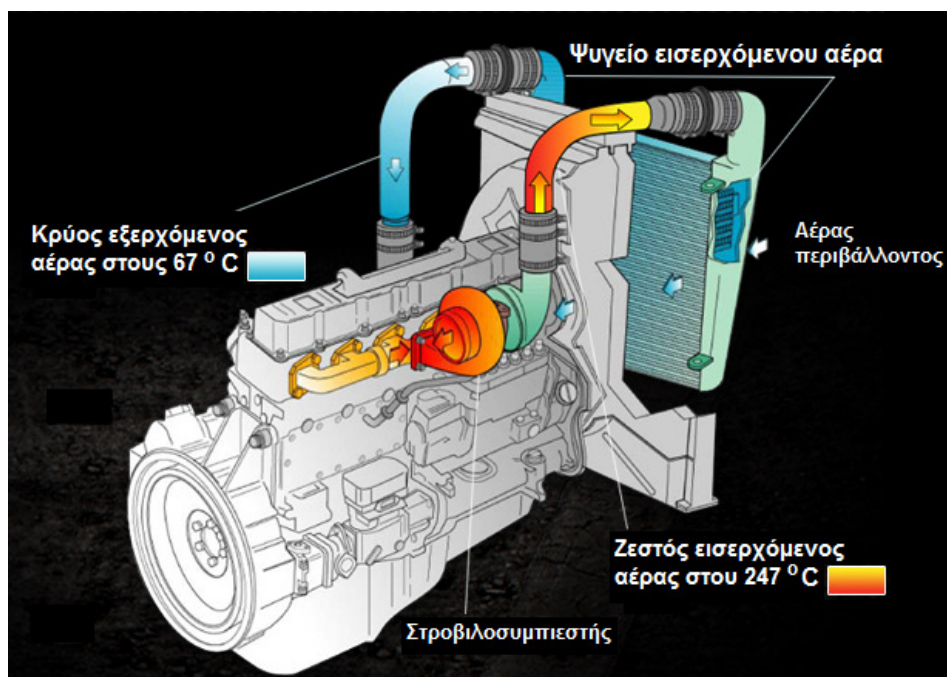
Εικόνα 26: Τομή εγχυτήρα BOSCH. (Πηγή: Bosch Auto Parts)

Στους πετρελαιοκινητήρες τελευταίας τεχνολογίας, οι εγχυτήρες τοποθετούνται με την έξοδο του καυσίμου απ' ευθείας στον θάλαμο καύσης (Εικόνα 18, σελίδα 45). Έτσι έχουμε χαμηλότερη κατανάλωση και λιγότερες απώλειες καυσίμου σε σχέση ένα πετρελαιοκινητήρα που έχει έμμεσο ψεκασμό, δηλαδή, οι εγχυτήρες εναποθέτουν το καύσιμο σε προθάλαμο ή βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω στην εισαγωγή του κινητήρα. Με τον έμμεσο ψεκασμό, το καύσιμο κατακάθεται στα τοιχώματα της εισαγωγής του αέρα ή δημιουργεί κατάλοιπα πάνω στις βαλβίδες εισερχόμενου αέρα.

5.4.3. Ψυγείο εισερχόμενου αέρα (Intercooler).

Στην αρχή ξεκίνησε σαν ιδέα για αύξηση ιπποδύναμης στα συμβατικά αυτοκίνητα αλλά με την πάροδο του καιρού έγινε αναπόσπαστο κομμάτι των πετρελαιοκινητήρων που χρησιμοποιούν στροβιλοσυμπιεστή (turbocharger). Η ιδέα βρίσκεται στην πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα. Όσο πιο κρύος είναι ο αέρας στον θάλαμο καύσης, τόσο πιο πυκνός, σε συνεργασία με το καύσιμο, δημιουργείται καλύτερο σε σύσταση μείγμα. Έτσι έχουμε αύξηση της απόδοσης του κάθε κυλίνδρου και γενικότερα του κινητήρα. Κερδίζουμε σε χαμηλότερους ρύπους καθώς η ηλεκτρονική μονάδα «διαβάζει» καυσαέρια χωρίς πολλά μονοξειδία και ρυθμίζει ανάλογα το μείγμα.

Το ψυγείο τοποθετείται ανάμεσα στον στροβιλοσυμπιεστή και την πεταλούδα εισαγωγής. Στα βαρέα οχήματα και τους γεωργικούς ελκυστήρες, πάνω στο ψυγείο υπάρχουν ανεμιστήρες που σπρώχνουν ουσιαστικά τον αέρα του περιβάλλοντος με ταχύτητα ώστε να υπάρχει καλύτερη απαγωγή της θερμότητας. Οι ανεμιστήρες παίρνουν εντολή από μία βαλβίδα θερμοκρασίας που βρίσκεται στην πεταλούδα εισαγωγής. Σε οχήματα χαμηλής ιπποδύναμης, ο ανεμιστήρας παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα και η ποσότητα του αέρα που διαχειρίζεται είναι αρκετή για την ψύξη του εν λόγω ψυγείου. Στην εικόνα 27 έχουμε την σχηματική αναπαράσταση για το πώς λειτουργεί το ψυγείο εισερχόμενου αέρα.



Εικόνα 27: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ψυγείου εισερχόμενου αέρα.

5.4.4. Βαλβίδα ανακύκλωσης καυσαερίων (EGR – Exhaust gas recirculation)

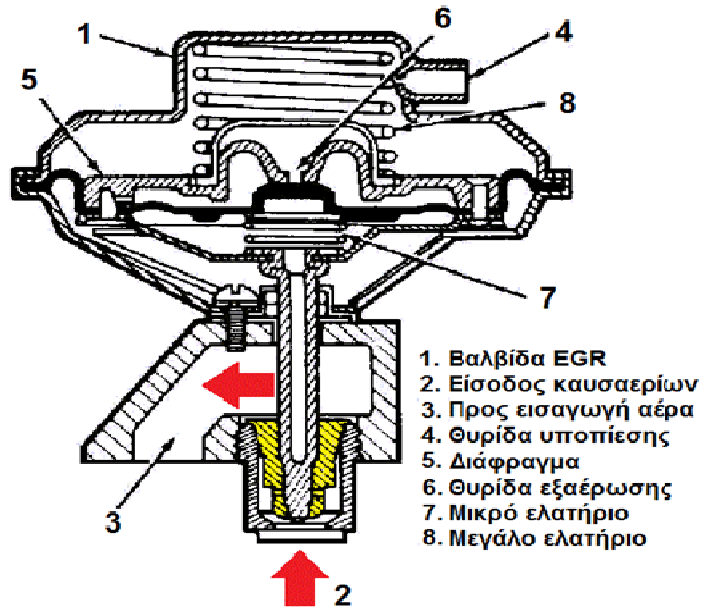
Παρεμβάλλεται στο κύκλωμα εξαγωγής καυσαερίων και το κύκλωμα εισαγωγής αέρα. Η βαλβίδα καθοδηγεί ένα μέρος των καυσαερίων πίσω στην εισαγωγή αέρα ώστε να ανακυκλωθούν με το νέο μείγμα. Αυτή η παρτίδα καυσαερίων καθώς επιστρέφει πίσω στο θάλαμο καύσης, ψύχεται είτε με περύγια απαγωγής θερμότητας πάνω στο σώμα της βαλβίδας είτε με δικό της ψυγείο αέρα.



Τα κρύα πλέον καυσαέρια, μαζί με το νέο μείγμα, συμβάλουν στην μείωση της θερμοκρασίας μέσα στον χώρο καύσης και συνάμα στην μείωση της συγκέντρωσης των μονοξειδίων του άνθρακα και εξισορρόπηση με οξείδια του αζώτου. Η βαλβίδα λειτουργεί κυρίως όταν ο πετρελαιοκινητήρας βρίσκεται σε αδράνεια ή σε μικρά [φορτία](#).

Το μειονέκτημα της χρήσης μιας βαλβίδας EGR είναι ότι κατακρατεί κάποια σωματίδια άνθρακα (πίσσα) στα τοιχώματά της όπως και στην εισαγωγή αέρα και τις βαλβίδες εισαγωγής με αποτέλεσμα να χάνει ο κινητήρας την απόδοσή του και την “αντιρρυπαντική” του ικανότητα. Για τον λόγο αυτό, οι κατασκευαστές τροποποίησαν τις βαλβίδες αυτές ώστε να είναι επισκευαζόμενες.

Υπάρχουν 2 τύποι βαλβίδων, μηχανικού ελέγχου και ηλεκτρονικά ελεγχόμενες. Οι μηχανικού ελέγχου βαλβίδες παίρνουν εντολή από την υποπίεση που δημιουργείται στο κύκλωμα εισαγωγής αέρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ζήτηση αέρα στο κύκλωμα τόσο θα ανοίξει η βαλβίδα για να ανακυκλώσει καυσαέρια. Οι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες βαλβίδες κινούνται με την βοήθεια ενός μαγνητικού πηνίου το οποίο παίρνει εντολή από την μονάδα διαχείρισης κινητήρα. Η μονάδα διαχείρισης κινητήρα διαβάζει τα δεδομένα από τον αναλυτή λόγου **Λάμδα** και διαχειρίζεται ανάλογα το διάφραγμα της. Στην εικόνα 28 (σελίδα 56) έχουμε την τομή μιας μηχανικής βαλβίδας EGR.



Εικόνα 28: Βαλβίδα EGR μηχανικού τύπου.

5.4.5. Στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας (Variable geometry turbocharger)

Οι στροβιλοσυμπιεστές έκαναν την εμφάνισή τους πριν την περίοδο του δευτέρου παγκοσμίου και συγκεκριμένα το 1925 όταν ο Buchi προσπάθησε να δημιουργήσει ένα μηχανισμό ώστε να αυξήσει την πίεση εισερχόμενου αέρα στην εισαγωγή του κινητήρα. Οι πρώτες επίσημες μονάδες κατασκευάστηκαν στα μέσα του 1950 ώστε να χρησιμοποιηθούν μαζικά στην αυτοκινητοβιομηχανία.

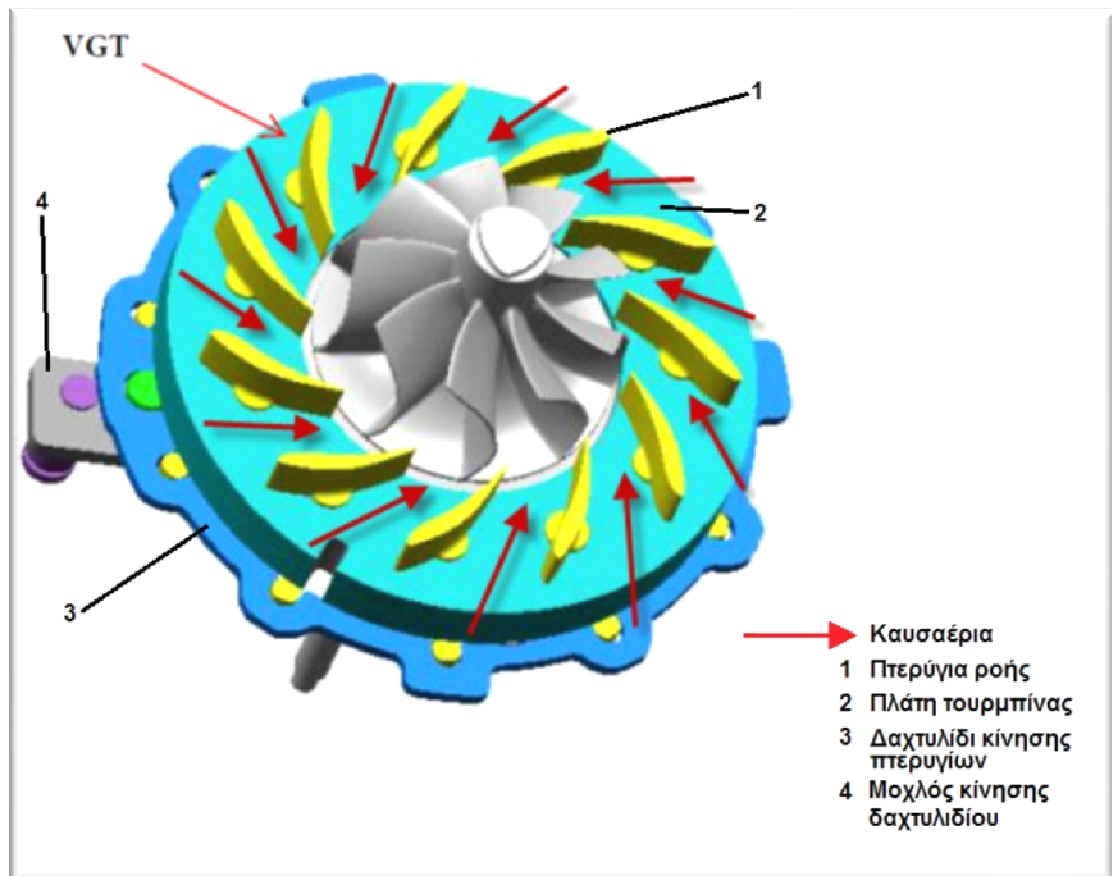


Τρία είναι τα κύρια πλεονεκτήματα που καθιέρωσαν τον στροβιλοσυμπιεστή στην παραγωγική αυτοκινητοβιομηχανία:

- Δεν χρειάζεται μηχανική κίνηση όπως ένας κομπρέσορας. Αυτό τον καθιστά σαν μια οικονομικότερη λύση για αύξηση ιπποδύναμης αλλά και με σχετική ευκολία στην εγκατάσταση.
- Δεν υπάρχουν απώλειες δύναμης από τον στροφαλοφόρο άξονα αφού τα καυσαέρια δίνουν κίνηση στον στροβιλοσυμπιεστή.
- Ανάλογα τον κινητήρα, μπορεί να κατασκευαστεί ο ανάλογος στροβιλοσυμπιεστής ώστε να επιτευχθεί αύξηση της θερμικής αποδοτικότητας από 5 μέχρι 10%.

Ωστόσο υπάρχει ένα μειονέκτημα ' η υστέρηση του στροβιλοσυμπιεστή να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του κινητήρα σε αέρα σε ολόκληρο το φάσμα των στροφών ώστε να αποδώσει την ανάλογη ιπποδύναμη και ροπή. Για αυτό το λόγο μελετήθηκε και κατασκευάστηκε ο στροβιλοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας.

Αναφερόμαστε σε έναν στροβιλοσυμπιεστή που μπορεί να ρυθμίσει την ποσότητα εισερχόμενου αέρα αλλά και την ταχύτητα αυτού σε μια εισαγωγή κινητήρα. Η κατασκευή είναι παρόμοια με τον κοινό στροβιλοσυμπιεστή (**turbocharger**). Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε 2 κύρια σώματα, που σε αυτά ρέουν λιπαντικό υγρό αλλά και νερό για ψύξη. Επίσης έχουμε την φτερωτή των καυσαερίων (τουρμπίνα) που με την σειρά της δίνει κίνηση στην φτερωτή του εισερχόμενου αέρα (στροβιλοσυμπιεστή). Η διαφορά βρίσκεται στο σώμα του πρώτου. Στο τοίχωμα της τουρμπίνας στεγάζονται μικρά πτερύγια τα οποία παίρνουν κίνηση από ένα ενιαίο δαχτυλίδι στην εξωτερική πλευρά αυτής (εικόνα 29).



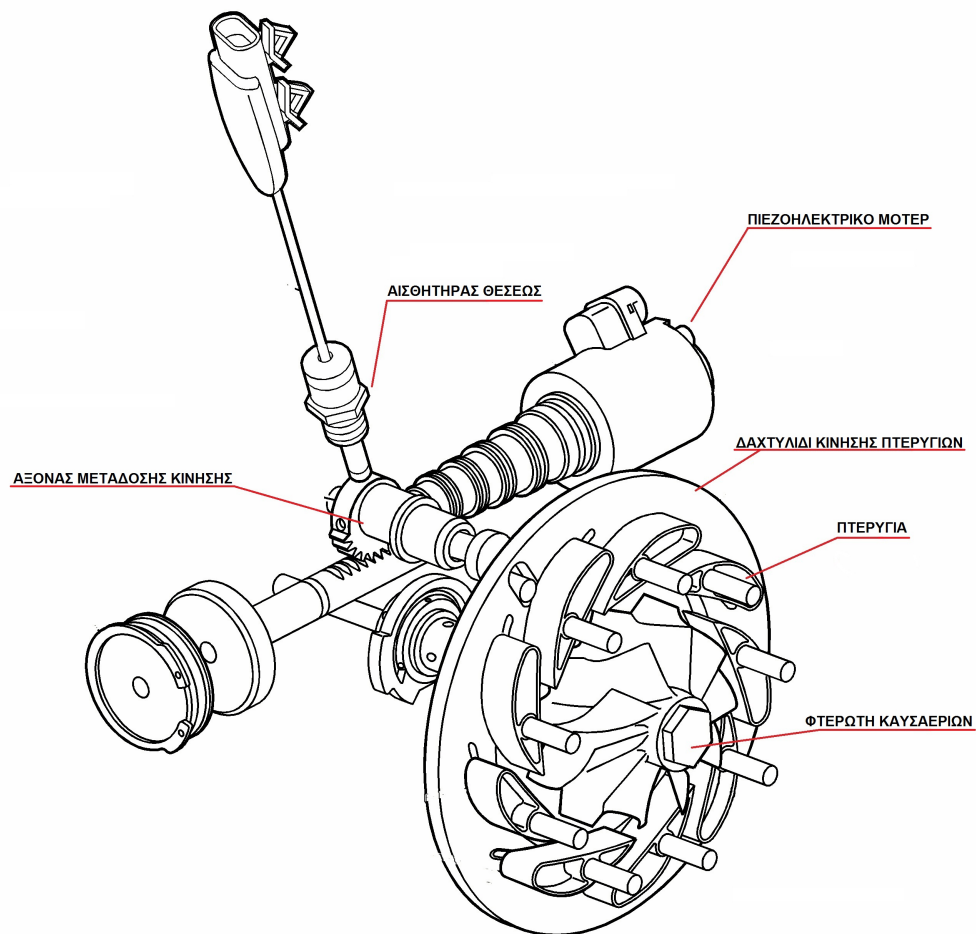
Εικόνα 29: Εσωτερική όψη τουρμπίνας μεταβλητής γεωμετρίας.

Η βασική αρχή είναι να μπορεί ο στροβιλοσυμπιεστής να ανταπεξέλθει στην ζήτηση αέρα από τον κινητήρα σε όλο σχεδόν το φάσμα των στροφών λειτουργίας του. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την ξεκούραστη λειτουργία του κινητήρα και την μειωμένη ζήτηση καυσίμου αφού θα υπάρχει άφθονη ροπή. Για να επιτευχθεί κάτι

τέτοιο πρέπει να μπορεί να διαφορίζεται ο αριθμός των στροφών του στροβιλοσυμπιεστή. Τα πτερύγια στην πλάτη της τουρμπίνας μπορούν να ελέγχουν συνεχόμενα την ροή, την ποσότητα και την γωνία προσέγγισης των καυσαερίων στην φτερωτή.

Ανάλογα με τις άμεσες απαιτήσεις του κινητήρα, μια βαλβίδα υποπίεσης (σε άλλες περιπτώσεις έχουμε πιεζοηλεκτρικά μοτέρ, ηλεκτροβαλβίδες κ.α.) μπορεί να δώσει κίνηση στο δαχτυλίδι της κίνησης των πτερυγίων ώστε να αλλάξει η κλίση τους.

Τέτοιοι μηχανισμοί φαίνονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 30: Μηχανισμός κίνησης πτερυγίων με ηλεκτρικό μοτέρ.

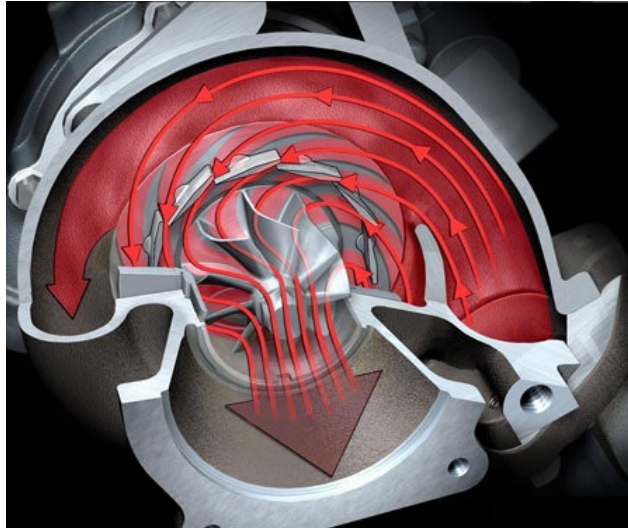
Στην παραπάνω εικόνα, παρατηρούμε ότι η κίνηση των πτερυγίων γίνεται μέσω ενός ηλεκτρικού μοτέρ. Το μοτέρ δέχεται εντολή από την ΜΔΚ αφού διαβάσει την υποπίεση μέσα στην εισαγωγή του εισερχόμενου αέρα. Με τον αισθητήρα θέσεως διαβάζει την κατάλληλη γωνία που είναι προσαρμοσμένα τα πτερύγια και επιβεβαιώνει τυχόν κίνηση αυτών.



Εικόνα 31: Βαλβίδα διαφράγματος υποπίεσης.

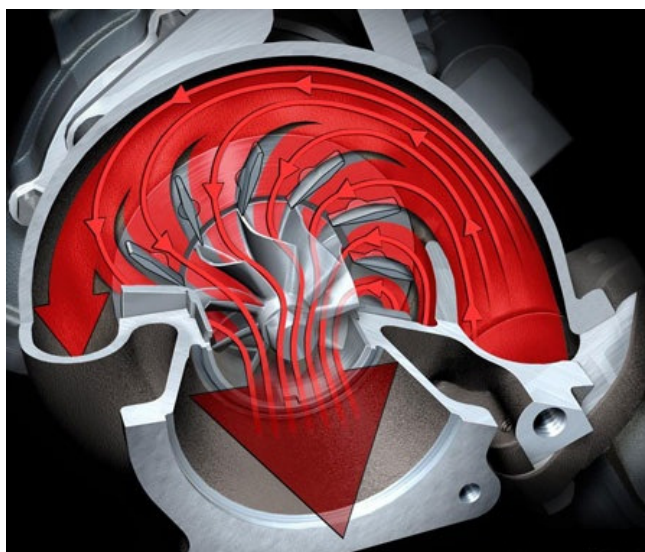
Στην εικόνα 31 έχουμε μια τυπική βαλβίδα υποπίεσης. Λειτουργεί μόνο με την υποπίεση στην εισαγωγή του κινητήρα. Η αρχή λειτουργίας της είναι η ίδια ανάλογα την υποπίεση που δημιουργείται από την ζήτηση των κυλίνδρων για αέρα, τόσο κινείται το εσωτερικό της διάφραγμα και με την σειρά του κινεί το δαχτυλίδι κίνησης των πτερυγίων. Είναι η ίδιου τύπου βαλβίδα που χρησιμοποιείται στον μηχανισμό ανακούφισης κυκλώματος καυσαερίων σε έναν τυπικό στροβιλοσυμπιεστή. Επίσης με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και μια μηχανική βαλβίδα EGR.

Στην εικόνα 32 παρατηρούμε τα πτερύγια να είναι σε σχεδόν κλειστή θέση, χρησιμοποιώντας όλο σχεδόν τον όγκο των καυσαερίων και προωθώντας την φτερωτή με την μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Έτσι ο κινητήρας θα αποκτήσει στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του.



Εικόνα 32: Κλειστά πτερύγια. (Πηγή: paultan.org)

Σε αντίθετη περίπτωση. Για να έχουμε αρκετή ροπή στις υψηλές στροφές, τα πτερύγια παραμένουν ανοικτά, οδηγώντας την φτερωτή με μικρότερη ταχύτητα όπως φαίνεται στην εικόνα 33.



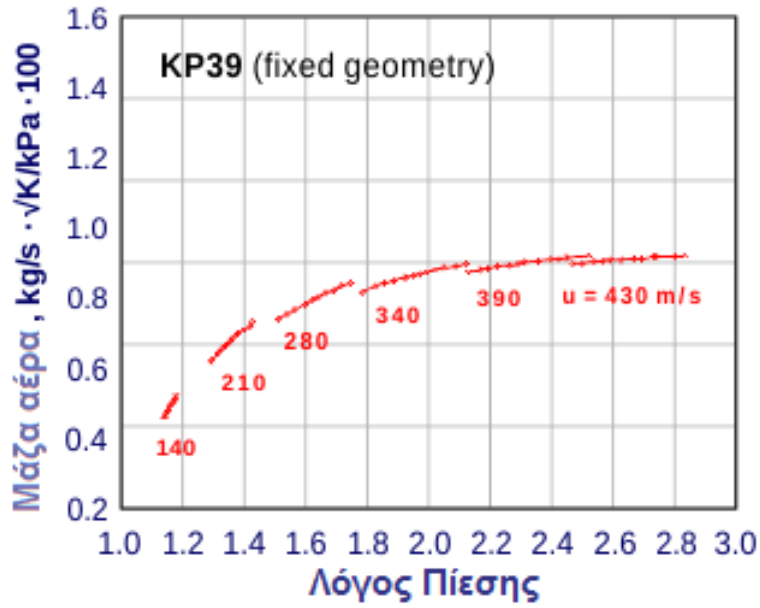
Εικόνα 33: Ανοικτά πτερύγια. Παρατηρούμε την ποσότητα εξόδου των καυσαερίων. (Πηγή: paultan.org)

Οι στροβιλοσυμπιεστές μεταβλητής γεωμετρίας βοήθησαν εξαιρετικά στο χάσιμο της δύναμης σε κάποιο εύρος στροφών λειτουργίας του κινητήρα αφού πριν από αυτό έπρεπε σε κάθε όχημα ανάλογα την χρήση του για την οποία προοριζόταν να κατασκευαστεί και να τοποθετηθεί ο ανάλογος στροβιλοσυμπιεστής.

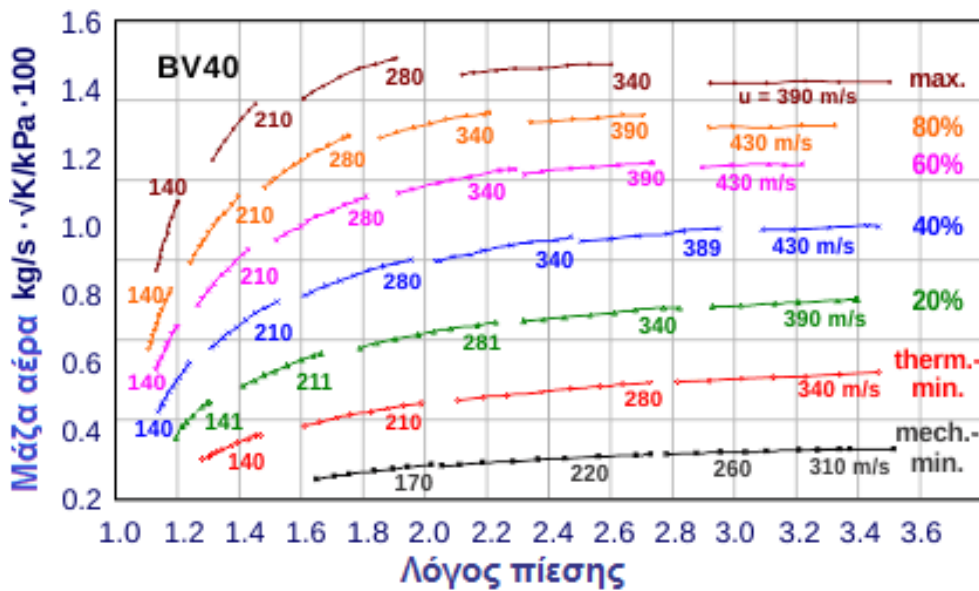
Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένα **VGT** σε σχέση με ένα σταθερής γεωμετρίας είναι τα παρακάτω:

- Απώλεια της βαλβίδας ανακούφισης (wastegate) της τουρμπίνας καυσαερίων αφού μπορεί να διαχειριστεί ολόκληρη σχεδόν την ποσότητα των καυσαερίων.
- Καλύτερος λόγος λ και ροπή στις χαμηλότερες στροφές λειτουργίας του κινητήρα.
- Μείωση της διαφοράς πίεσης ΔP μεταξύ της εισαγωγής εισερχόμενου αέρα και της εξαγωγής καυσαερίων.
- Λόγω του ελέγχου του λόγου ΔP , μπορεί να λειτουργήσει ανάλογα η βαλβίδα ανακύκλωσης καυσαερίων **EGR**.
- Μέσω της ελεγχόμενης πλέον συγκέντρωσης καυσαερίων στο χώρο της τουρμπίνας μέσω της **ΜΔΚ**, μπορεί να αυξηθεί η θερμοκρασία στο κύκλωμα της εξάτμισης ώστε να πραγματοποιηθεί ο καθαρισμός του φίλτρου σωματιδίων **DPF**.

Παρακάτω παραθέτουμε 2 διαγράμματα για να καταλάβουμε καλύτερα την απόδοση του **VGT** σε σχέση με στροβιλοσυμπιεστή **FGT (Fixed Geometry Turbocharger)**. Στα διαγράμματα 4 και 5 βλέπουμε τον λόγο πίεσης – μάζας εισερχόμενου αέρα σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα στην φτερωτή των 2 στροβιλοσυμπιεστών.



Διάγραμμα 4: Στροβιλοσυμπιεστής BorgWarner KP39 σταθερής γεωμετρίας. (Πηγή : www.dieseln.net.com/tech/air_turbo_vgt.php)

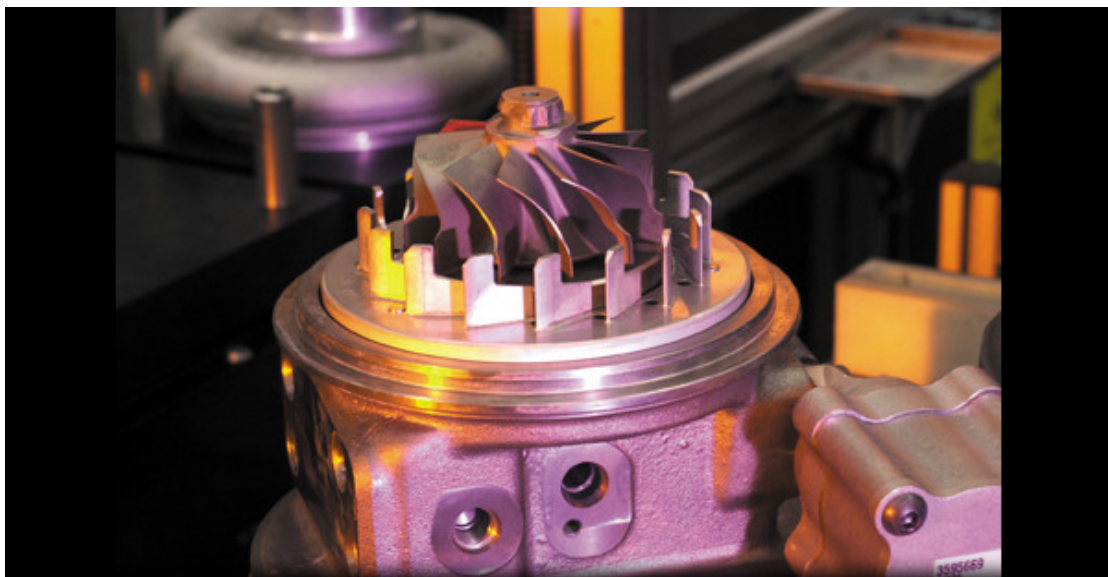


Διάγραμμα 5: Στροβιλοσυμπιεστής BorgWarner BV40 μεταβλητής γεωμετρίας. Ανάλογα τα ποσοστά ανοίγματος των πτερυγίων, έχουμε και την ανάλογη ταχύτητα εισερχόμενου αέρα. (Πηγή : www.dieseln.net.com/tech/air_turbo_vgt.php)

Στην εικόνα 34, έχουμε ένα υδατογράφημα που μας δείχνει την ροή των καυσαερίων ανάμεσα στα πτερύγια και την φτερωτή. Με μαύρες κηλίδες προσδιορίζεται η αυξημένη ταχύτητα των καυσαερίων.



Εικόνα 34: Η σκούρα περιοχή “κάτω” από τα πτερύγια είναι τα συμπιεσμένα καυσαέρια.



Εικόνα 35: Στροβιλοσυμπιεστής Cummins. Διακρίνονται τα πτερύγια και το μοτέρ ρύθμισης αυτών.



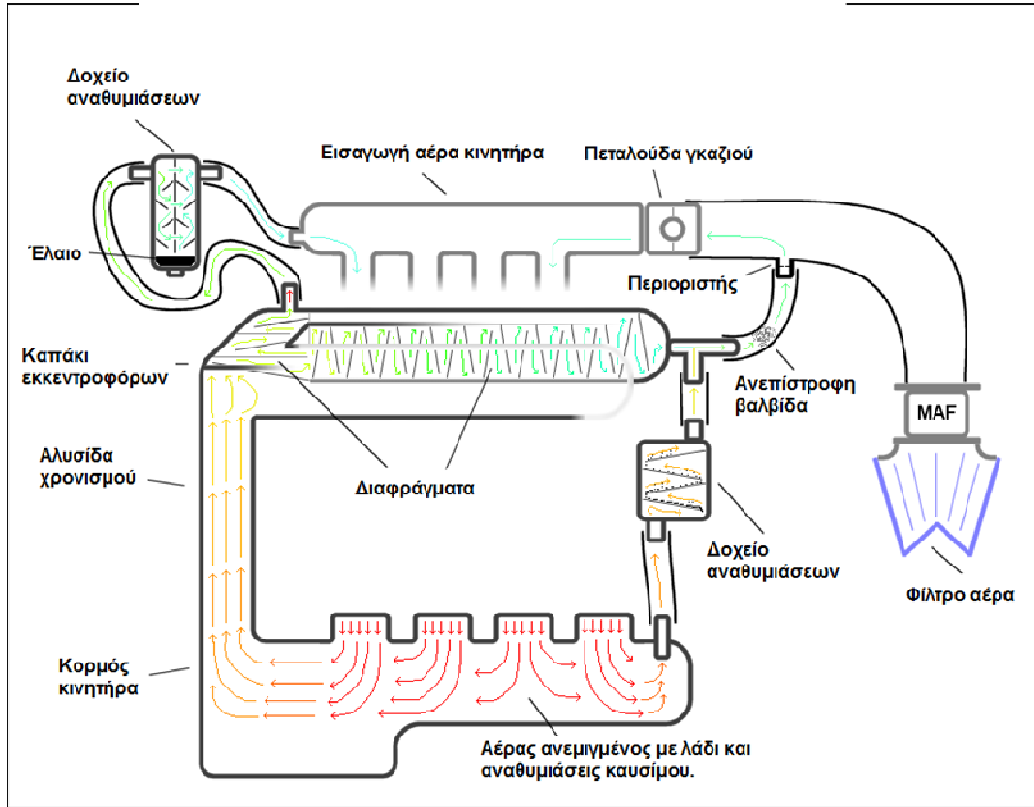
Εικόνα 36: Πλάτη, πτερύγια και δαχτυλίδι λειτουργίας από τουρμπίνα BorgWarner. (Πηγή: <http://www.turbos.borgwarner.com/en/products/vtg.aspx>)

5.4.6. Ανακύκλωση αναθυμιάσεων

Από μετρήσεις γνωρίζουμε ότι περίπου το 55% των υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα προέρχεται από τα καυσαέρια. Τα υπόλοιπα 25% και 20% είναι από αναθυμιάσεις λαδιών στον κορμό του κινητήρα και αναθυμιάσεις καυσίμου [αντίστοιχα](#).

Τα παραπάνω νούμερα είναι πλασματικά καθώς επηρεάζονται από την λειτουργία του κινητήρα που με την σειρά του επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες όπως θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία κ.α. Σε πραγματικές συνθήκες, το ποσοστό των υδρογονανθράκων δεν υπερβαίνει το 10%.

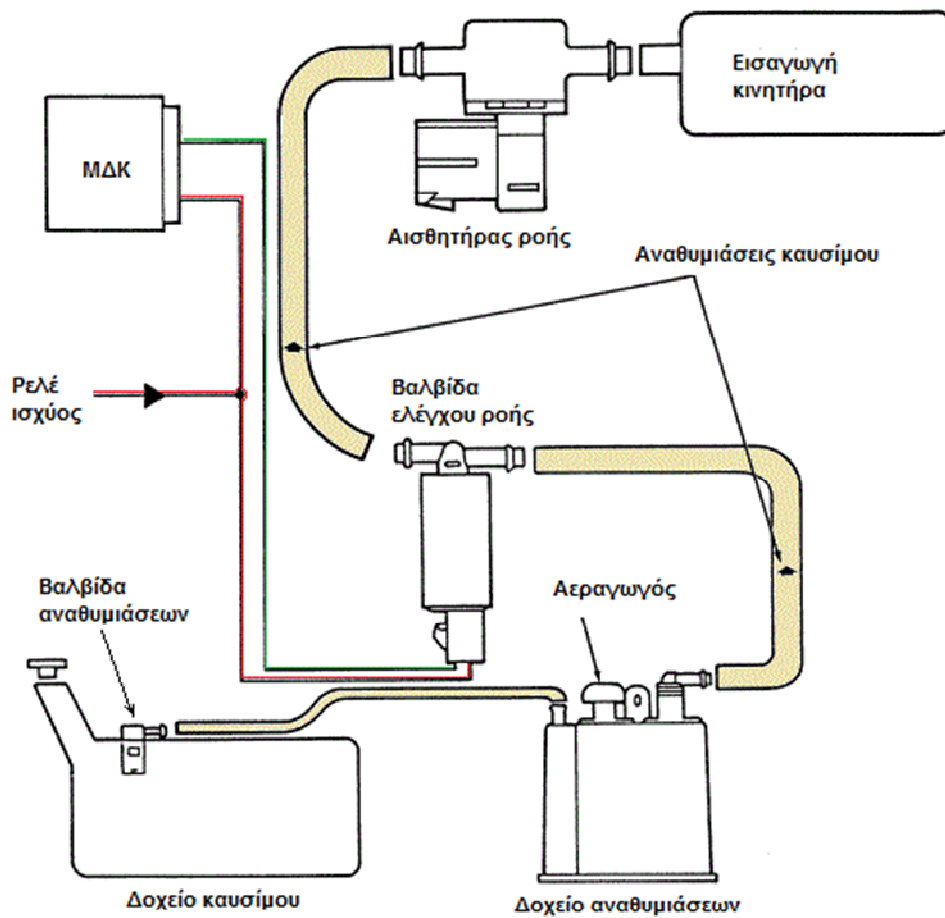
Οι αναθυμιάσεις μέσα στον κορμό του κινητήρα δημιουργούνται από την θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό του προερχόμενη από την τριβή των κινούμενων εξαρτημάτων και από τις καύσεις του μείγματος. Η τυπική ανακύκλωση γίνεται με την οδήγηση των αναθυμιάσεων αυτών πίσω στους χώρους καύσης ώστε να καούν τυχόν εναπομείναντες υδρογονάνθρακες. Το σύστημα ανακύκλωσης-οδήγησης των αναθυμιάσεων είναι σχετικά απλό' ένας σωλήνας ενώνεται από το κουτί του φίλτρου αέρα στο κάλυμμα των εκκεντροφόρων και άλλος ένας ενώνεται από τον κορμό του κινητήρα στην εισαγωγή του κινητήρα. Συνήθως ανάμεσα στο κύκλωμα παρεμβάλλεται κα ένα δοχείο-αφυγραντήρας που χρησιμεύσει στον διαχωρισμό του ελαίου από τις αναθυμιάσεις και επικοινωνεί με τον κορμό της μηχανής όπου εναποθέτει το υγροποιημένο πλέον έλαιο. Στην εικόνα 37 (σελίδα 67) βλέπουμε το σχετικό διάγραμμα.



Εικόνα 37: Διάγραμμα ανακύκλωσης αναθυμιάσεων λαδιού. Παρατηρούμε την ύπαρξη διαφραγμάτων στο κάλυμμα – καπάκι των εκκεντροφόρων.

Για να συγκρατήσουμε αναθυμιάσεις χαμηλού ιξώδους όπως των υγρών καυσίμων δημιουργήθηκαν δοχεία ‘ανοιχτού και κλειστού τύπου’ με φίλτρα άνθρακα. Τα ανοιχτού τύπου φίλτρα δεν επικοινωνούν καθόλου με τον κινητήρα. Έχουν μόνο είσοδο και έξοδο και είναι αναλώσιμα. Τα φίλτρα τους αλλάζονται συνήθως κάθε 2 χρόνια περίπου.

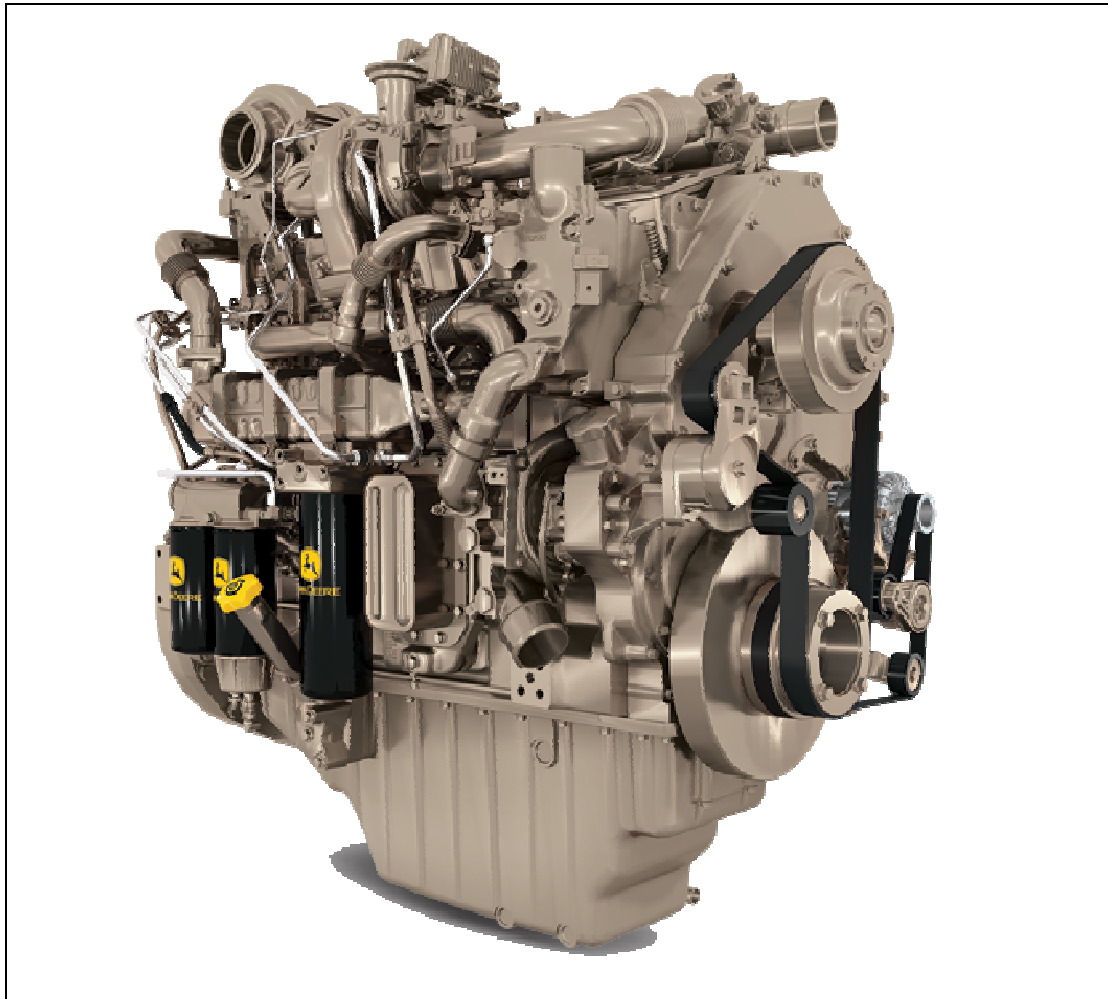
Τα φίλτρα κλειστού τύπου είναι πιο πολύπλοκα στην λειτουργία τους’ χρησιμοποιούν την υποπίεση που δημιουργείται στην εισαγωγή του κινητήρα για να τραβήξουν τις αναθυμιάσεις μέσα στο φίλτρο άνθρακα και μετά να ανακυκλωθούν με το μείγμα αέρα-καυσίμου. Δεν είναι αναλώσιμα και δεν επηρεάζονται από εξωτερικές συνθήκες. Επίσης, σε περιπτώσεις σχηματισμού μεγάλης ποσότητας αναθυμιάσεων, εμπλέκεται και μια βαλβίδα ελέγχου ροής την οποία στα σύγχρονα οχήματα την διαχειρίζεται η ΜΔΚ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν βαλβίδα ελέγχου. Παρακάτω παρατηρούμε ένα σύστημα φίλτρου άνθρακα κλειστού τύπου.



Εικόνα 38: Κύκλωμα φίλτρου αναθυμιάσεων καυσίμου με δοχείο άνθρακα.

6. Παρουσίαση ενός σύγχρονου καθαρού κινητήρα.

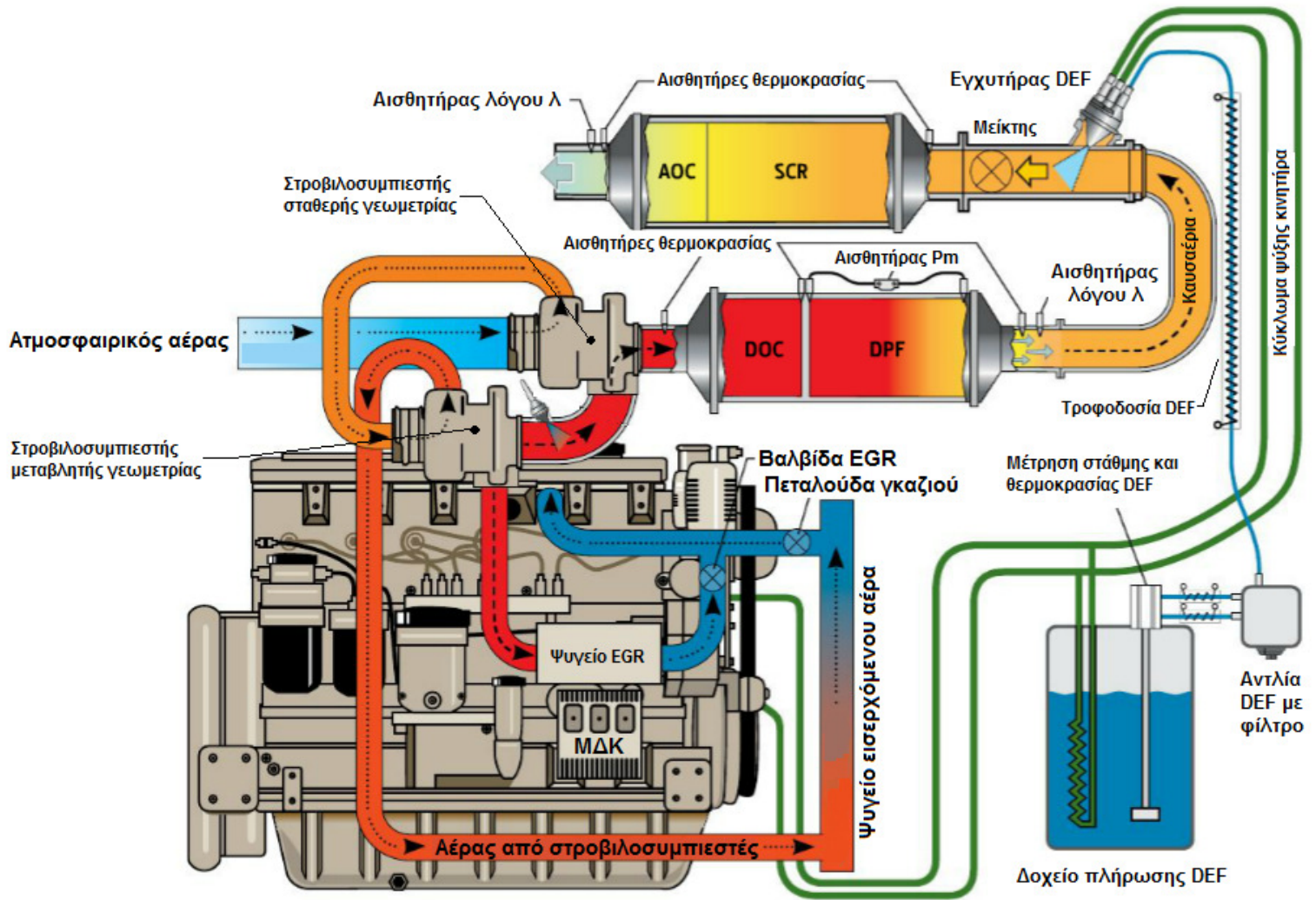
Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τις τεχνικές που έχουν ανακαλυφθεί και χρησιμοποιούνται από τις κατασκευαστικές εταιρίες βαρέων οχημάτων και μηχανημάτων. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε 2 μηχανικά σύνολα – κινητήρες που χρησιμοποιούν όλα σχεδόν τα αντιρρυπαντικά μέσα. Οι κατασκευάστριες εταιρίες, John Deere και Caterpillar, είναι οι κορυφαίες σε μηχανικά σύνολα βαρέων οχημάτων και εξοπλισμού που πληρούν κατά το μέγιστο τους αντιρρυπαντικούς κανονισμούς μέχρι σήμερα.



Εικόνα 39: John Deere PowerTech PSS 13.5L

Ο παραπάνω κινητήρας είναι ο κορυφαίος της εταιρίας και του είδους του αφού χρησιμοποιείται σε γεωργικά μηχανήματα και άλλες εφαρμογές. Η ισχύς του κυμαίνεται μεταξύ των 414 και 600 ίππων στις 2100 στροφές/λεπτό ενώ στις 1900 στροφές/λεπτό η μέγιστη ροπή αγγίζει τα 2750 Nm, ανάλογα την εφαρμογή και τις προτιμήσεις του πελάτη. Πρόκειται για ένα τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα 13.500 κυβικών εκατοστών (cm^3), 6 κυλίνδρων, ο οποίος υποβοηθάτε από 2 στροβιλοσυμπιεστές εν σειρά' ο πρώτος είναι σταθερής γεωμετρίας και ο δεύτερος μεταβλητής γεωμετρίας. Οι κύριοι λόγοι είναι ότι με 2 εν σειρά στροβιλοσυμπιεστές, μοιράζεται το φορτίο του συμπιεσμένου αέρα με λιγότερες στροφές λειτουργίας αυτών, παρέχεται ακόμα μεγαλύτερη συμπίεση ενώ έχουμε καλή λειτουργία σε διάφορα υψόμετρα.

Χρησιμοποιεί βαλβίδα ανακύκλωσης καυσαερίων EGR με ελεγχόμενη ψύξη αυτής, ψυγείο εισερχόμενου αέρα ενώ στην έξοδο των καυσαερίων συναντάμε την τελευταία τεχνολογία στην μείωση των ρύπων καθώς έχουμε καταλύτη οξειδωσης (DOC), φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων με πλήρως αυτοματοποιημένη διαχείριση (DPF), χρήση διαλύματος DEF με επιλεκτικό καταλύτη (SCR) και καταλύτη αμμωνίας (AOC). Η μονάδα διαχείρισης κινητήρα είναι σε θέση να διαχειρίζεται ένα ενιαίο κύκλωμα τροφοδοσίας που φτάνει τα 2350 bar (34000 psi). Μαζί με τους λοιπούς ηλεκτρονικούς ελέγχους αλλά και το μικρό του μέγεθος τον καθιστά ένα από τα κορυφαία μηχανικά σύνολα αλλά μόνο για τον αγροτικό εξοπλισμό καθώς ο κύκλος λειτουργίας του δεν του επιτρέπει να ενταχθεί στα βαρέα οχήματα εντός δρόμου αφού είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί υπό συνεχή εναλλασσόμενα φορτία εργασίας και μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές συνθήκες. Στην εικόνα 40 έχουμε το σχεδιάγραμμα του κινητήρα.

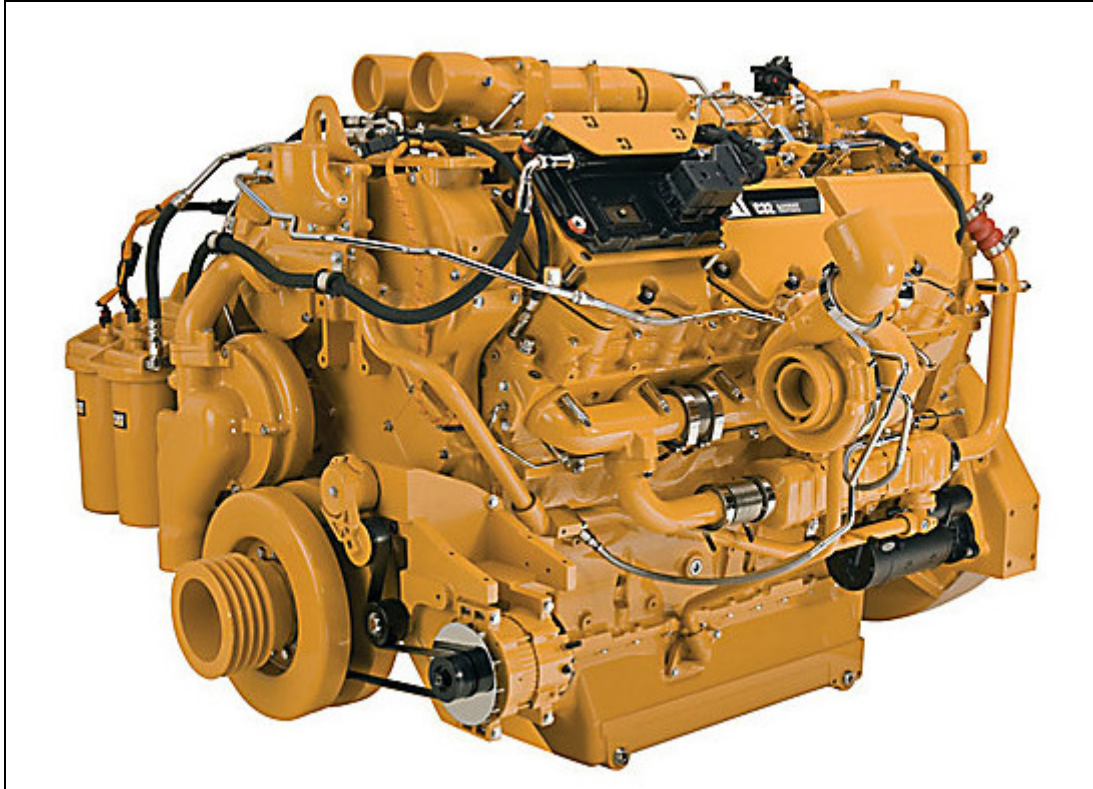


Εικόνα 40: Σχηματική αναπαράσταση κινητήρα [PowerTech PSS 13.5L](http://www.deere.com/en_US/corporate/our_company/news_and_media/press_releases/2013/engines_drivetrain/2013apr17_power_ft4.page) μαζί με τα συστήματα μείωσης ρύπων.

(Πηγή:

www.deere.com/en_US/corporate/our_company/news_and_media/press_releases/2013/engines_drivetrain/2013apr17_power_ft4.page)

Ένα άλλο μηχανικό σύνολο που πληρεί τις προδιαγραφές για βαρέα οχήματα εντός/εκτός δρόμου αλλά και τα όρια εκπομπών ρύπων για την πόλη, είναι ο C32 Acert της Caterpillar (εικόνα 41).



Εικόνα 41: Caterpillar C32 Acert

Πρόκειται για έναν κινητήρα αρκετά μεγαλύτερο σε όγκο από τον προηγούμενο αλλά με πολλαπλές εφαρμογές αφού με τις κατάλληλες μετατροπές σε περιφερειακά μέρη του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βαρέα οχήματα πόλης (οικοδομικές εργασίες, βαρέα φορτηγά), σε μικρά φορτηγά πλοία, ως γεννήτρια ρεύματος κ.α.

Είναι ένας τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας 31000 κυβικών εκατοστών (cm³) με 12 κυλίνδρους σε διάταξη V, χρησιμοποιεί 2 στροβιλοσυμπιεστές, έναν για κάθε βάδα κυλίνδρων, έχει απόδοση έως 1200 ίππους με μέγιστη ροπή τα 5500 Nm στις 1200 στρ/λεπτό.

Και αυτός ο κινητήρας είναι πλήρως συμμορφωμένος με τα όρια εκπομπών ρύπων στο μέγιστο αφού συνοδεύεται με πλήρη αντιρρυπαντική τεχνολογία.

7. Συμπεράσματα

Αναλύσαμε σε ένα μεγάλο βαθμό τους κινητήρες Diesel, την νέα τεχνολογία που τους περιβάλλει αλλά και την αντιρρυπαντική τεχνολογία που έχει εξελιχθεί γύρω από αυτούς.

Όσο μεγαλώνουν οι ανάγκες των ανθρώπων για μεγαλύτερες και πιο εξειδικευμένες κατασκευές αλλά και καλύτερη διαβίωση και συνύπαρξη, τόσο τα όρια εκπομπών ρύπων θα γίνονται αυστηρότερα' ειδικότερα στις πυκνοκατοικημένες περιοχές' και ακόμα πιο γρήγορα θα εξελιχθεί η τεχνολογία για την συμμόρφωση με αυτά.

Μπορεί στο μέλλον να μην υπάρχουν καν κινητήρες εσωτερικής καύσης αλλά μέχρι να έρθει εκείνη η μέρα, ο άνθρωπος θα βασίζεται σε αυτούς και ειδικότερα στους πετρελαιοκινητήρες για να διεκπεραιώσει τις εργασίες του αφού αποτελούν το πιο συγκροτημένο μηχανικό σύνολο μέχρι σήμερα λόγω χαμηλής κατανάλωσης, χαμηλού κόστους συντήρησης και πολύ χαμηλής φθοράς.

Τα συστήματα μέτρησης εκπομπών ρύπων πετρελαίου έχουν υποστεί τρομερές αναβαθμίσεις από την στιγμή της εμφάνισής τους και παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην δημιουργία των ορίων εκπομπών. Δεν θα εκπλαγούμε αν τα όρια αυτά αγγίζουν το μηδέν αφού όσο πιο πολύ εμβαθύνουμε στα συστατικά των καυσαερίων, τόσο καλύτερα θα μπορέσουμε να δημιουργήσουμε κινητήρες πολύπλοκους μεν, αλλά καθαρούς δε αφού θα αποτελούν πλέον την βάση για την εξέλιξη των συστημάτων μετεπεξεργασίας καυσαερίων.

Τα αντιρρυπαντικά μέσα που θα συνοδεύουν αυτούς τους κινητήρες εξελίσσονται καθημερινά. Δοκιμές γίνονται καθημερινά και προσπάθειες για καθαρότερο περιβάλλον ακόμα πιο συχνά. Ο άνθρωπος έχει θορυβηθεί από τις τελευταίες κλιματικές αλλαγές ανά τον κόσμο αλλά και τις αλλαγές στην υγεία του και για αυτό το λόγο πάντα θα ψάχνει την “καθαρότερη” λύση. Οπότε για να “κινηθούν” οι ιδέες του θα πρέπει να σκέφτεται για το σύνολο, έχοντας στο μυαλό του καθαρή συνείδηση.



Βιβλιογραφία

Ρετζέπη Πασχάλη Αθ. “Τεχνολογία αυτοκινήτου”. 3^η έκδοση. Εκδοτικός όμιλος ΙΩΝ. 1997

Newton K, Steeds W. Garrett T.K. “The Motor Vehicle”. 12th edition. Society of Automotive Engineers, Inc. Manchester, Thomson Press. 1996

Norman Andrew. “Diesel Technology, Fundamentals, Service, Repair”. 8th edition. Εκδοτικός όμιλος The Goodheart Willcox Company, Inc. 2016

“Ντήζελ, Ντήζελ κινητήρας”. Πάπυρος Larousse Britannica. Τόμος 39. Σελίδες: 500 – 501. Εκδοτικός οργανισμός Πάπυρος. 2007

“Ρύπανση του περιβάλλοντος”. Πάπυρος Larousse Britannica. Τόμος 45. Σελίδες: 260 – 266. Εκδοτικός οργανισμός Πάπυρος. 2007

“Control of diesel engine exhaust emissions in the workplace”. Health and safety executive. 2nd Edition. United Kingdom. 2008

Ζώγου Ολυμπία , Δημητριάδης Λουκάς.

“Συστήματα Εγχυσης Κινητήρων Diesel Επιβατικών Αυτοκινήτων”. 2008 Βόλος.

<http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/diesel_injection_systems.pdf>

Κεφαλάς Κωνσταντίνος. “Λειτουργία πετρελαιοκινητήρων νέας τεχνολογίας και τεχνικές αντιρύπανσης”. Εξάμηνο 2012-2013. Τμήμα οχημάτων, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

<http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/4627/Kefalas_Konstantinos.pdf?sequence=4>

Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Αγροτικής Ανάπτυξης.”Κυκλοφορία αγροτικών μηχανημάτων”. 19 Ιανουαρίου 2016.

<<http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/agrotikamixanimata/272-kikloforiaagrotikwnmixanimatwn>>

American Chemical Society. “The Houdry process for the catalytic conversion of crude petroleum to high-octane gasoline”. 13 Απριλίου 1996. Sun Company, Marcus Hook, Pennsylvania.

<<https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/houdry/the-houdry-process-catalytic-conversion-commemorative-booklet.pdf>>

Asano Ichiro. “Measurement systems for diesel exhaust gas and future trends”.

Technical Reports. Horiba. <<http://www.horiba.com/uploads/media/RE03-03-012-600.pdf>>

Baberg Arnd, Freidhager Marcus, Megler Harald, Schmidt Klaus. “Aspects of piston material choice for diesel engines”. Δεκέμβριος 2012. MTZ.

<https://autotechreview.com/media/attachments/42_45_ATR_Oct14.pdf>

Block Michael C. “Engine technologies for non-road Tier 3 and Tier 4”. 06 Ιουνίου 2007, Elko, Nevada.

<<https://www.cdc.gov/niosh/mining/userfiles/workshops/diese/elko2007/5a-block.pdf>>

Bosch. “Common rail systems”. <[http://de.bosch-](http://de.bosch-automotive.com/en/parts/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts)

[automotive.com/en/parts/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts](http://de.bosch-automotive.com/en/parts/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts)>

Cummins engines. “Variable geometry turbocharger”. Nashville, Tennessee.

Cummins Group. <<http://cumminsengines.com/vgt-turbocharger>>

Cummins Filtrations.” Diesel exhaust fluid Q & A” Nashville, Tennessee. Cummins Group.

<http://www.cumminsfiltration.com/pdfs/product_lit/americas_brochures/MB10033.pdf>

Dearnley Ed. “Black carbon campaign – Reducing particulate matter emissions from diesel vehicles and equipment”.

<<http://healthyair.org.uk/documents/2013/10/black-carbon-retrofit-guidance.pdf>>

Deere John. “Final Tier 4 / Stage 4 technologies”. Deere & Company.

<http://www.deere.ca/en_CA/services_and_support/emissions_information/tier_4_technologies/final_tier_4/final_tier4.page>

Diesel Net. “Non-road diesel engines”. Νοέμβριος 2016.

<<https://www.dieselnets.com/standards/eu/nonroad.php>>

Driver & Vehicle Standards Agency. “In Service Exhaust Emission Standards for Road Vehicles”. Δεκέμβριος 2017. 19^η έκδοση. DVSA, Berkeley house, Bristol, United Kingdom.

<https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/676700/in-service-exhaust-emission-standards-for-road-vehicles-19th-edition.pdf>

Elliott Martin A, Nebel Gerge J, Rounds Fred G. “The composition of exhaust gases from diesel, gasoline and propane powered motor coaches”. 1955. Journal of the Air Pollution Control Association. Detroit. Michigan

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00966665.1955.10467686#.VE_1diKUeCk>

Environmental Protection Agency. “Reducing emissions from construction equipment”. <<http://www.epa.gov/otaq/hd-hwy.html>>

Enpos. “GHG emissions from farm machinery”. 15 Μαρτίου 2011. Enpos workshop. Helsinki, Canada.

<https://enpos.weebly.com/uploads/3/6/7/2/3672459/ghg_emissions_from_farm_machinery_mikkola.pdf>

Favre Cecile. “Emission for tractors and non-road mobile machinery engines”. 12 Απριλίου 2011, AECC, Brussels.

<<http://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201104/20110412ATT17578/20110412ATT17578EN.pdf>>

Fenner Ben. “Car Engine Crankcase Ventilation System”. Engine Basics.

<http://www.enginebasics.com/Engine%20Basics%20Root%20Folder/Crankcase%20Ventilation.html>

Gholami R, Rabbani Hekmat. Lorestani Ali Nejat, Javadikia Payam, Jaliliantabar Farzad. “Analysis and comparison exhaust gas emissions from agricultural tractors”. Ιανουάριος 2013. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5. 688-694.

<https://www.researchgate.net/publication/236142253_ANALYSIS_AND_COMPARISON_EXHAUST_GAS_EMISSIONS_FROM_AGRICULTURAL_TRACTORS>

Majewski W. Addy, Burtscher Heinz. “Measurement of emissions”. 2012. DieselNet, <<https://www.dieselnets.com/tech/measure.php>>

Man Diesel and Turbo. “Exhaust gas emission control, today and tomorrow”. <<https://marine.mandieselturbo.com/sitefinity/status?ReturnUrl=http:%2F%2Fmarine.mandieselturbo.com%2Fdocs%2Flibrariesprovider6%2Ftechnical-papers%2Fexhaust-gas-emission-control-today-and-tomorrow.pdf%3Fsfvrsn%3D22>>

Mattern Rich, Nowatzki John. “New diesel emissions standards to affect farmers”. 18 Οκτωβρίου 2010, North Dakota State University. <<http://www.ag.ndsu.edu/news/newsreleases/2010/oct-18-2010/new-diesel-emissions-standards-to-affect-farmers/view>>

Natekar A, Menzel M.” The impact of Tier 4 emission regulations on the power generation industry”. Nashville, Tennessee. Cummins Group. <<http://www.cumminspower.com/www/literature/technicalpapers/PT-9010-Tier4EmissionRegImpact.pdf>>

Nice Karim, Bryant Charles W. “How catalytic converters work”. How stuff works <<http://auto.howstuffworks.com/catalytic-converter2.htm>>

Pereda-Ayo Beñat, González-Velasco Juan R. “NOx Storage and Reduction for Diesel Engine Exhaust Aftertreatment”. 30 Απριλίου 2013. Diesel Engine Saiful Bari, IntechOpen, DOI: 10.5772/55729. <<https://www.intechopen.com/books/diesel-engine-combustion-emissions-and-condition-monitoring/nox-storage-and-reduction-for-diesel-engine-exhaust-aftertreatment>>

Schrenk H.H, Berger L.B. “Composition of diesel engine exhaust gas”. American Journal of Public Health. Ιούλιος 1941. Pittsburgh, Pennsylvania. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1531320/pdf/amjphnation00722-0019.pdf>>

Smith P, Martino D. “Agriculture”. 2007 <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter8.pdf>>

Tan Paul. “How does variable turbine geometry work”. 16 Αυγούστου 2006. <<http://paultan.org/2006/08/16/how-does-variable-turbine-geometry-work/>>

Van Zeebroeck Bruno, Vanhove Filip. "Impact assessment study. Directive 97/68/EC. Emissions from non-road mobile machinery". 30 Ιανουαρίου 2009. Arcadis, Leuven, European Commission.

<http://ec.europa.eu/growth/content/impact-assessment-study-9768ec-non-road-mobile-machinery-directive-0_en>

Wehrspann Jodie, Vogt Willie. "How to maintain your Tier 4 engine".

<<http://www.tractorlife.com/maintain-tier-4-engine/>>

Wilson Trevor. "A new method for diesel particulate measurement of raw engine Emissions". Coal Services Pty.

<http://eis.uow.edu.au/outburst/presentations_publications/outburst_2011_nov/A%20new%20Method%20for%20Diesel%20Particulate%20Measurement%20of%20Raw%20Engine%20Emissions.-%20Trevor%20Wilson.pdf>

Woodward emissions control systems. "Integrated emissions control solutions meet global requirements while optimizing efficiency, reliability, and performance"

<<http://www.woodward.com/emissioncontrols.aspx>>