



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Τεχνικός Έλεγχος Οχημάτων: Νομοθεσία, Διαδικασίες και η  
Συμβολή του στην Οδική Ασφάλεια και το Περιβάλλον**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΑΚΗΣ (ΑΜ: 6434)**

**Επιβλέπων :** Ευάγγελος Γ. Τζιράκης  
Ε.ΔΙ.Π. ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.

Ρέθυμνο, Μάρτιος 2021

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



**HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY**  
**SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING**

**Vehicle Technical Inspection: Legislation, Procedures and  
MOT Centre Contribution to Road Safety and Emissions**

**THESIS**

**NIKOLAOS OIKONOMAKIS (AM: 6434)**

**ADVISOR:** Evangelos G. Tzirakis  
E.D.I.P. H.M.U.

Rethymno, March 2021

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση του νομοθετικού πλαισίου και της διαδικασίας του Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων και της συνεισφοράς αυτής στον τομέα της οδικής ασφάλειας αλλά και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Τα οχήματα οδικών μεταφορών αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των σύγχρονων κοινωνιών. Παράλληλα, το περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκύπτει από τους ρύπους που εκπέμπονται από την καύση ορυκτών καυσίμων έχει γίνει πλέον φανερό. Γίνεται λοιπόν μία τεκμηρίωση του περιβαλλοντικού προβλήματος και παρουσιάζονται οι βασικοί ρύποι που επιβαρύνουν το περιβάλλον από την κίνηση των οχημάτων καθώς επίσης και τρόποι αντιμετώπισής τους.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο το οποίο διέπει τις εκπομπές ρύπων από επιβατηγά οχήματα καθώς επίσης και τις διαδικασίες ελέγχου συμμόρφωσης με την κείμενη νομοθεσία. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι διαδικασίες ελέγχου και πιστοποίησης των εκπομπών ρύπων στα Κέντρα Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων, αλλά και στο ευρύτερο νομοθετικό πλαίσιο μέσω των πρότυπων κύκλων οδήγησης, καθώς επίσης και το επιστημονικό υπόβαθρο πίσω από τις μετρήσεις που γίνονται.

Τέλος, στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εκπονήθηκε μια έρευνα με βάση πειραματικά δεδομένα που ελήφθησαν από ΙΚΤΕΟ και αφορούν ελέγχους οχημάτων, για τα οποία μετά από κατάλληλη στατιστική ανάλυση έγινε έλεγχος της επίπτωσης των αντιρρυπαντικών τεχνολογιών στις εκπομπές ρύπων, της συσχέτισης αυτών με τον κυβισμό του κινητήρα καθώς επίσης και της γενικότερης τάσης των ρύπων με βάση την άδεια κυκλοφορίας, τόσο για πετρελαιοκίνητα όσο και βενζινοκίνητα οχήματα.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

# Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>11</b>
1.1	Οι ενεργειακές απαιτήσεις των σύγχρονων κοινωνιών.....	11
1.2	Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανάπτυξης των κοινωνιών.....	14
1.3	Η τρέχουσα κατάσταση.....	16
<b>2</b>	<b>Αέριοι ρύποι κινητήρων οχημάτων.....</b>	<b>18</b>
2.1	Γενικά.....	18
2.1.1	Ο κύκλος του Otto.....	18
2.1.2	Ο κύκλος του Diesel.....	19
2.2	Ρύποι μηχανών εσωτερικής καύσης.....	19
2.2.1	Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ).....	20
2.2.2	Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> ).....	20
2.2.3	Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ).....	21
2.2.4	Πτητικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (VOCs).....	21
2.2.5	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	22
2.2.6	Αιωρούμενα σωματίδια (PM).....	22
2.2.7	Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου κύκλου και καυσίμου.....	22
2.2.8	Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες οχημάτων.....	23
<b>3</b>	<b>Νομοθετικό πλαίσιο εκπομπών ρύπων οχημάτων και κύκλοι οδήγησης.....</b>	<b>29</b>
3.1	Κατηγοριοποίηση οχημάτων.....	29
3.2	Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων (EURO).....	30
3.3	Ο περιοδικός έλεγχος εκπομπών στα ΚΤΕΟ.....	32
3.4	Όρια εκπομπών καυσαερίων κατά τον περιοδικό ή έκτακτο έλεγχο.....	32
3.4.1	Βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας.....	33
3.4.2	Βενζινοκίνητα καταλυτικής τεχνολογίας.....	34
3.4.3	Πετρελαιοκίνητα οχήματα.....	35

3.5	Κύκλοι οδήγησης .....	36
3.5.1	Ο κύκλος ECE-15 (UDC).....	39
3.5.2	Ο κύκλος ECE + EUDC.....	40
3.5.3	Ο κύκλος NEDC.....	41
3.5.4	Ο κύκλος WLTP .....	43
3.6	Κύκλος EPA New York City Cycle .....	46
3.7	Ο κύκλος EPA Highway Fuel Economy Test .....	47
3.8	Ο κύκλος FTP-75 .....	48
<b>4</b>	<b>Μετρήσεις με χρήση δυναμομετρικής εξέδρας .....</b>	<b>49</b>
4.1	Η δυναμομετρική εξέδρα.....	49
4.2	Τρόπος λειτουργίας .....	49
4.3	Η δειγματοληψία σταθερού όγκου (CVS).....	51
4.4	Ολοκληρωμένα συστήματα δειγματοληψίας και ανάλυσης.....	53
4.5	Υπολογισμός εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου .....	53
4.6	Μέτρηση μικροσωματιδίων.....	56
4.7	Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου .....	57
4.8	Προετοιμασία πριν την δοκιμή.....	58
<b>5</b>	<b>Πειραματικό μέρος .....</b>	<b>59</b>
5.1	Δεδομένα οχημάτων .....	59
5.2	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	61
5.2.1	Πετρελαιοκίνητα καταλυτικά .....	61
5.2.2	Πετρελαιοκίνητα συμβατικά.....	63
5.2.3	Σύγκριση συμβατικών και καταλυτικών πετρελαιοκίνητων οχημάτων.....	65
5.2.4	Βενζινοκίνητα οχήματα.....	66
5.2.5	Σύγκριση μέσων όρων .....	70
<b>6</b>	<b>Επίλογος.....</b>	<b>71</b>
6.1	Συμπεράσματα εργασίας .....	71
6.2	Σημεία περαιτέρω μελέτης .....	72
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>73</b>



## **Κατάλογος Σχημάτων**

Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Αμερική σε qBTUs .....	12
Εικόνα 2: Απαιτήση σε προϊόντα πετρελαίου ανά τομέα στην Αμερική σε qBTUs .....	12
Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα μεταφορών στην Ευρώπη σε TJ .....	13
Εικόνα 4: Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατ' έτος .....	14
Εικόνα 5: Το φωτοχημικό νέφος .....	15
Εικόνα 6: Σχέση κατανάλωσης και διανυθέντων χιλιομέτρων ανά όχημα και έτος στην Αμερική .....	16
Εικόνα 7: Καταλυτικός μετατροπέας .....	24
Εικόνα 8: Διάγραμμα βαλβίδας EGR .....	25
Εικόνα 9: Φίλτρο μικροσωματιδίων .....	26
Εικόνα 10: Διαγραμματική απεικόνιση της διεργασίας SCR .....	27
Εικόνα 11: Στόχος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα στην ΕΕ [24] .....	31
Εικόνα 12: Δυναμόμετρο οχημάτων .....	36
Εικόνα 13: Ενδεικτικό παράδειγμα κύκλου οδήγησης (WMTC p2) .....	37
Εικόνα 14: Παράδειγμα ενός πραγματικών συνθηκών κύκλου οδήγησης .....	38
Εικόνα 15: Ο κύκλος NEDC .....	38
Εικόνα 16: Ο κύκλος ECE-15 .....	39
Εικόνα 17: Ο κύκλος ECE + EUDC .....	40
Εικόνα 18: Ο κύκλος NEDC .....	41
Εικόνα 19: Ο κύκλος WLTC (κλάση 3) .....	44
Εικόνα 20: Μετρήσεις PEMS .....	45
Εικόνα 21: Ο κύκλος EPA NYCC .....	46
Εικόνα 22: Ο κύκλος EPA HWFET .....	47
Εικόνα 23: Ο κύκλος FTP-75 .....	48
Εικόνα 24: Δυναμομετρική εξέδρα για τετρακίνητα οχήματα .....	50
Εικόνα 25: Εργαστήριο μέτρησες εκπομπών .....	51
Εικόνα 26: Ολοκληρωμένο σύστημα μέτρησες MEXA .....	52
Εικόνα 27: Σύστημα μέτρησες μικροσωματιδίων (PM) .....	56
Εικόνα 28: Διάγραμμα θολερότητας καταλυτικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσσει του κυβισμού .....	61
Εικόνα 29: Διάγραμμα θολερότητας καταλυτικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσσει της άδειας κυκλοφορίας .....	62
Εικόνα 30: Διάγραμμα θολερότητας συμβατικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσσει του κυβισμού .....	63

Εικόνα 31: Διάγραμμα θολερότητας συμβατικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσει της άδειας κυκλοφορίας .....	64
Εικόνα 32: Σύγκριση θολερότητας συμβατικών και καταλυτικών οχημάτων.....	65
Εικόνα 33: Εκπομπές CO βενζινοκίνητων οχημάτων .....	66
Εικόνα 34: Εκπομπές CO βενζινοκίνητων οχημάτων με βάση τον κυβισμό κινητήρα.....	67
Εικόνα 35: Εκπομπές HC βενζινοκίνητων οχημάτων .....	68
Εικόνα 36: Εκπομπές HC βενζινοκίνητων οχημάτων με βάση τον κυβισμό κινητήρα.....	69
Εικόνα 37: Σύγκριση μέσων τιμών εκπομπών CO .....	70
Εικόνα 38: Σύγκριση μέσων τιμών εκπομπών HC .....	70

## ***Κατάλογος Πινάκων***

Πίνακας 1: Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου MEK .....	23
Πίνακας 2: Κατηγορίες οχημάτων ΕΕ .....	29
Πίνακας 3: Τα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για την κατηγορία Μ.....	30
Πίνακας 4: Όρια εκπομπών ρύπων για οχήματα συμβατικής τεχνολογίας .....	33
Πίνακας 5: Όρια εκπομπών ρύπων οχημάτων καταλυτικής τεχνολογίας.....	34
Πίνακας 6: Όρια δείκτη θολερότητας για πετρελαιοκίνητες οχημάτων .....	35
Πίνακας 7: Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ ευρωπαϊκών κύκλων οδήγησης .....	42
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC και σύγκριση με NEDC.....	44
Πίνακας 9: Ανάλυση δειγμάτων .....	59
Πίνακας 10: Υπόδειγμα δεδομένων καταλυτικών βενζινοκίνητων οχημάτων.....	59
Πίνακας 11: Υπόδειγμα δεδομένων καταλυτικών οχημάτων πετρελαίου .....	60

# 1

## *Εισαγωγή*

### ***1.1 Οι ενεργειακές απαιτήσεις των σύγχρονων κοινωνιών***

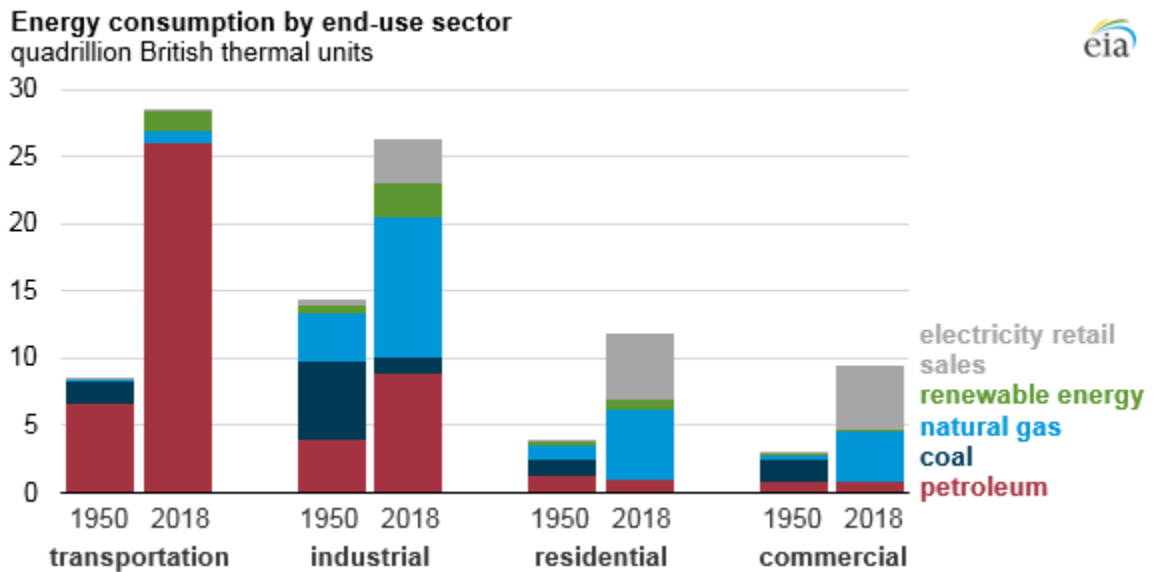
Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της αλματώδους ανάπτυξης του ανθρώπινου πολιτισμού κατά τα τελευταία 500 περίπου έτη είναι η αύξηση με εκθετικό ρυθμό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης [1]. Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα στοιχείο σύγκρισης μεταξύ των διαφόρων πολιτισμών από τους χρόνους της αρχαιότητας, η αξία του οποίου όμως έχει ενταθεί ιδιαίτερα κατά τους τελευταίους αιώνες [2].

Ως προς το σκέλος των οδικών λοιπόν μεταφορών, αυτό που ο άνθρωπος προσπαθεί να επιτύχει κατ' ουσίαν είναι μια μηχανή η οποία θα μπορεί να μεταφέρει μια μάζα από ένα σημείο σε ένα άλλο. Αυτό βέβαια δεν είναι κάτι διαφορετικό από μια ανάγκη να παραχθεί ένα ωφέλιμο έργο. Είναι λοιπόν εύκολα αντιληπτή η σχέση μεταξύ της ανάγκης για ενέργεια και οδικών μεταφορών.

Η αρχή έγινε με την μηχανή του Watt, το 1712, ο οποίος βελτίωσε την ατμομηχανή του Thomas Newcomen και η οποία ήταν σχεδιασμένη για να λειτουργεί αποκλειστικά ως αντλία. Η ατμομηχανή αποτέλεσε τη θεμελιώδη βάση των μηχανών που χρησιμοποιούσε η ανθρωπότητα έως περίπου το 1864, όταν ο Nicolaus Otto εφηύρε την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης αλλά κυρίως το 1893 [3], όταν ο Rudolf Diesel, αναγνωρίζοντας την πολύ χαμηλή θερμοδυναμική απόδοση των ατμομηχανών, κατασκεύασε την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης. Σε λιγότερο από δύο δεκαετίες, οι μηχανές εσωτερικής καύσης αποτέλεσαν τη βάση της οικονομικής ανάπτυξης και δραστηριότητας. Ακόμα και σήμερα όμως η εξέλιξη δε σταματά, οπότε και βρισκόμαστε στο στάδιο της ηλεκτροκίνησης και των μπαταριών.

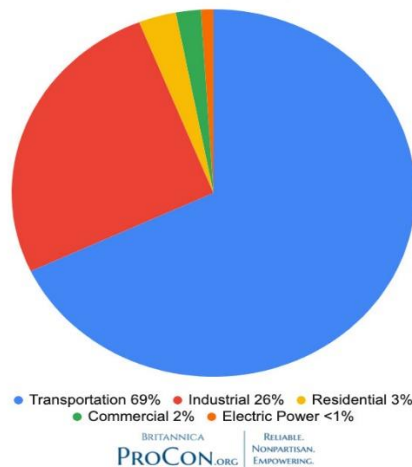
Για να καλυφθεί λοιπόν η μεγάλη αυτή απαίτηση σε ενέργεια, απαιτείται και μια πηγή. Τα χαρακτηριστικά της πρέπει να είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους και όγκου, αφενός για να μειωθεί η ανάγκη δαπάνης έργου για την μεταφορά της πηγής ταυτόχρονα με το φορτίο, αφετέρου για να μεγιστοποιηθεί ο ελεύθερος όγκος για τη μεταφορά φορτίου, η σχετικά χαμηλή τιμή και η διαθεσιμότητά της. Μια πηγή που πληροί τα κριτήρια αυτά είναι τα ορυκτά καύσιμα και ιδίως τα υγρά. Έτσι λοιπόν, τα υγρά ορυκτά καύσιμα και ιδίως το πετρέλαιο, το οποίο θεωρούνταν ως ένα απόβλητο της διαδικασίας παραγωγής κηροζίνης, η οποία χρησιμοποιούνταν στις φωτιστικές λάμπες, αποκαλούνται σήμερα ως «ο μαύρος χρυσός» [4].

Τις τελευταίες δεκαετίες [5], οι ανάγκες σε ενέργεια του τομέα μεταφορών στην Αμερική έχουν τριπλασιαστεί, ενώ παράλληλα η κατανάλωση πετρελαίου έχει διπλασιαστεί. Φυσικά, πρέπει να ληφθούν υπόψη και παράγοντες όπως η βελτίωση της απόδοσης και κατανάλωσης και τα εναλλακτικά καύσιμα, όμως η γενική εικόνα παραμένει αναλλοίωτη: Υπάρχει μια ισχυρά αυξητική τάση στην κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών και μια εξίσου ισχυρή εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.



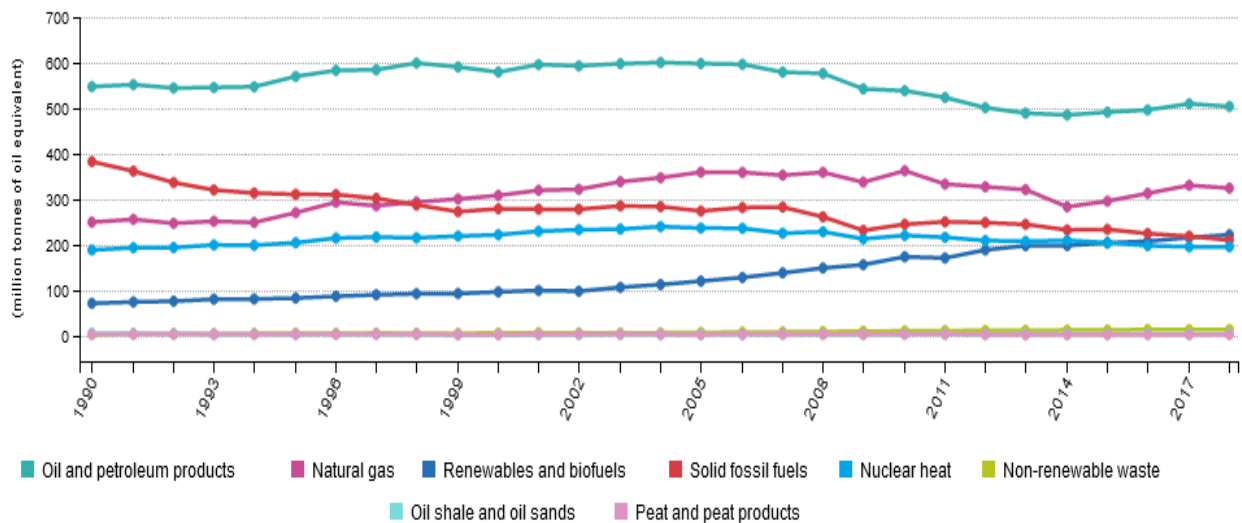
Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Αμερική σε qBTUs

2019 US Petroleum Consumption by Sector



Εικόνα 2: Απαίτηση σε προϊόντα πετρελαίου ανά τομέα στην Αμερική σε qBTUs

Επιπροσθέτως, είναι σκόπιμο να εξετάσουμε και την ανά τομέα μεταφορών κατανάλωση ενέργειας. Όπως φαίνεται από το γράφημα της εικόνας 2 [6], στην Αμερική οι οδικές μεταφορές αποτελούν το 79% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών ενώ παράλληλα είναι αποκλειστικά υπεύθυνες για την αύξηση της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας τα τελευταία 25 χρόνια. Οι μεταφορές μέσω τραίνων καταλαμβάνουν το 6% ενώ είναι 4 φορές πιο αποδοτικές ως προς την κατανάλωση ενέργειας για μεταφορές, οι θαλάσσιες μεταφορές οι οποίες είναι υπεύθυνες για την διακίνηση του 90% του παγκόσμιου εμπορίου μόλις 7% ενώ οι εναέριες μεταφορές καταλαμβάνουν το υπόλοιπο 8%. Ομοίως και στην Ευρώπη [7], οι οδικές μεταφορές καταλαμβάνουν το 72% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.



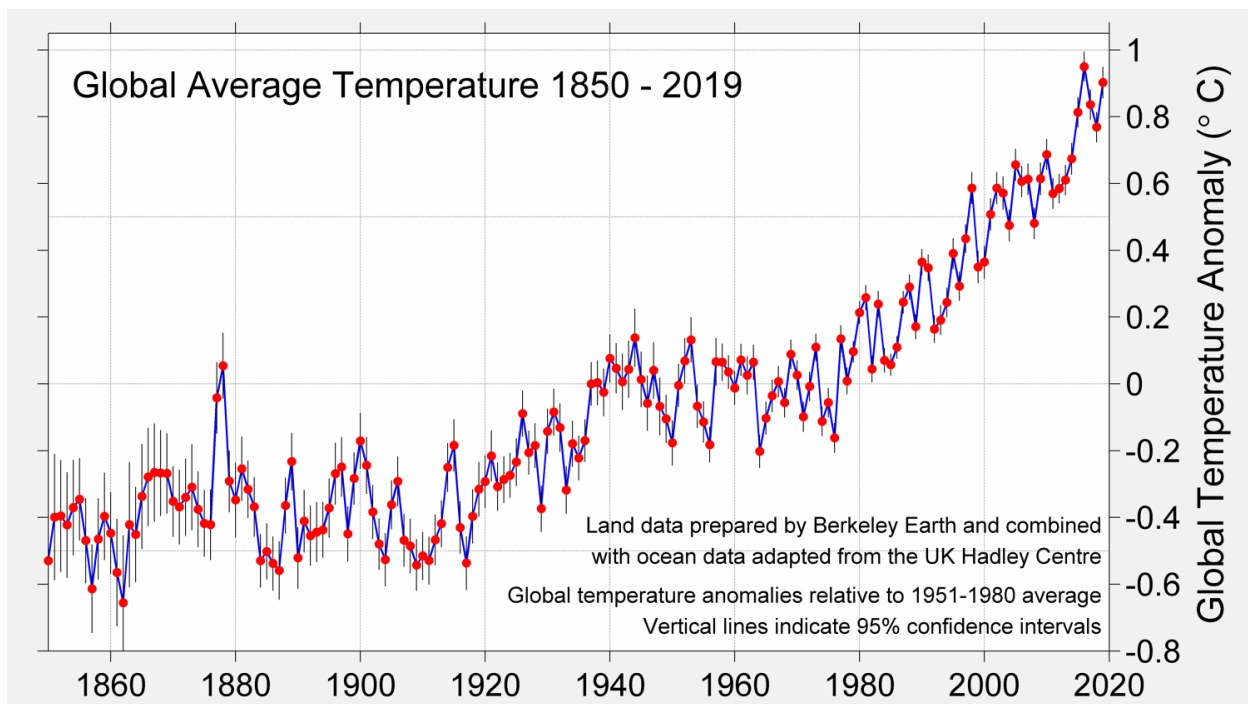
**Εικόνα 3: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα μεταφορών στην Ευρώπη σε TJ**

Δεδομένου λοιπόν των τάσεων που προκύπτουν από τα ανωτέρω, της περιορισμένης διαθεσιμότητας των πεπερασμένων πόρων πετρελαίου που υπάρχουν στον πλανήτη και ορυκτών καυσίμων γενικότερα, αφού αποτελούν μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, της σημαντικότητας από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας των οδικών μεταφορών αλλά και άλλων παραγόντων που θα αναλύσουμε, κρίνεται πολύ σημαντικό το θέμα της κατανάλωσης ενέργειας, και συνεπώς καυσίμου στον τομέα αυτό.

## 1.2 Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανάπτυξης των κοινωνιών

Ένα ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα, αλλά όχι και το μοναδικό [8], το οποίο έχει ενταθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια είναι αυτό που αφορά την κλιματική αλλαγή και προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Γενικά, για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι υπεύθυνη μια πληθώρα χημικών ουσιών, όπως το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) κ.α., όμως ποσοτικά αλλά και ουσιαστικά στις οδικές μεταφορές ενδιαφερόμαστε για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο μαζί με το μεθάνιο είναι υπεύθυνο για πάνω από το 90% του φαινομένου.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην γήινη ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα την παγίδευση της θερμότητας στην ατμόσφαιρα και την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Υπό κανονικές συνθήκες, η προσπίπτουσα στην επιφάνεια της γης ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται, σε ένα ποσοστό, εκτός ατμόσφαιρας. Όμως, τα αέρια του θερμοκηπίου έχουν την ιδιότητα να κατακρατούν αυτήν την ανακλούσα ακτινοβολία και να μην της επιτρέπουν να διαφύγει, όπως θα συνέβαινε υπό κανονικές συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, με ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό, ιδίως τα τελευταία 40 χρόνια.



Εικόνα 4: Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατ' έτος

Τα αποτελέσματα της αύξησης αυτής είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Καταρχάς, η αύξηση αυτή δεν είναι ενιαία και ομοιόμορφη σε όλο τον φλοιό της γης αλλά αντίθετα είναι μεγαλύτερη κατά βάση στους πόλους της γης. Αυτό οδηγεί σε μείωση των παγετώνων και αύξηση του ύψους της θάλασσας. Επίσης, οι θερμοκρασιακές διαφορές στην ατμόσφαιρα αποτελούν την κινητήρια δύναμη των μετεωρολογικών φαινομένων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να γινόμαστε μάρτυρες ολοένα και πιο ακραίων καιρικών φαινομένων τα οποία επηρεάζουν σημαντικά την ανθρώπινη ζωή.

Αναγνωρίζοντας τις επιπτώσεις αυτές και τη σημασία του φαινομένου, οι κυβερνήσεις έχουν συμφωνήσει σε μέτρα τα οποία θα μειώσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως για παράδειγμα η συνθήκη του Παρισιού, προκειμένου να περιορίσουν τις εκπομπές αέριων ρύπων του θερμοκηπίου για να αναχαιτίσουν το φαινόμενο αυτό. Στο πλαίσιο αυτό, οι οδικές μεταφορές και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Πέραν όμως αυτών, υπάρχουν και άλλα φαινόμενα σχετιζόμενα με τους ρύπους των επιβατηγών οχημάτων [9]. Το φαινόμενο της όξινης βροχής για παράδειγμα αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση, καθώς επηρεάζει ιδιαίτερα τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της Ελλάδας ο Παρθενώνας, καθώς προκαλεί διάβρωση των μαρμάρων και οφείλεται στο θείο των καυσαερίων.

Επιπλέον, το φαινόμενο της ατμόσφαιρας των πόλεων, το οποίο οφείλεται στα οξείδια του αζώτου, είναι ένα ακόμα αποτέλεσμα ρύπων οχημάτων. Το φαινόμενο αυτό ή αλλιώς φωτοχημικό νέφος είναι ορατό ως ένα καφέ πέπλο πάνω από τις πόλεις και προκαλεί σωρεία προβλημάτων υγείας. Άλλα παρόμοια φαινόμενα είναι η αιθαλομίχλη, που οφείλεται στην αιθάλη και τα μικροσωματίδια, το νέφος που προκαλείται από το μονοξείδιο του άνθρακα και οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούν ιδιαίτερα επικίνδυνα φαινόμενα ρύπων για την ανθρώπινη υγεία.

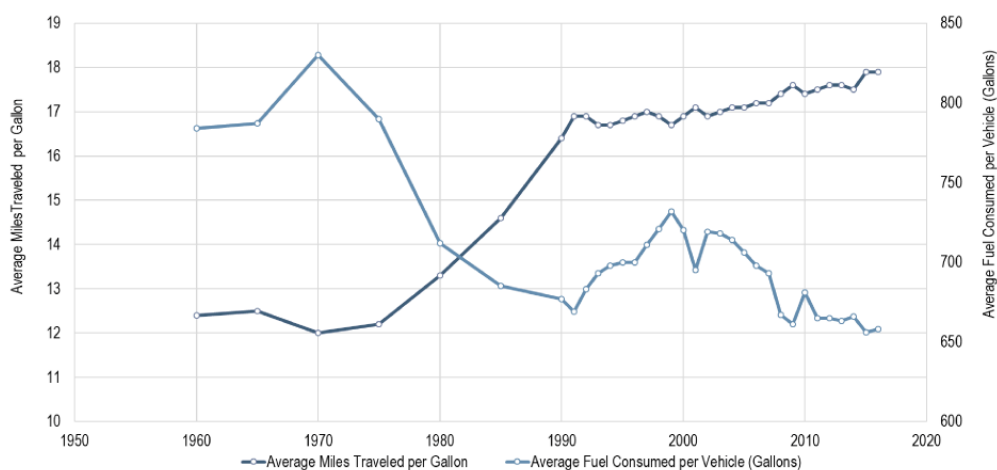


Εικόνα 5: Το φωτοχημικό νέφος

### 1.3 Η τρέχουσα κατάσταση

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, στόχος των κυβερνήσεων, ειδικά σε Ευρώπη και Αμερική, είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και γενικότερα των επιβλαβών ρύπων των οχημάτων για την προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας των πολιτών αλλά και η μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου και ορυκτών καυσίμων, λόγω της μη ανανεώσιμης φύσης τους αλλά και για γεωπολιτικούς λόγους, αφού απαιτούν κατά κανόνα την εισαγωγή τους από χώρες παραγωγούς – εξαγωγείς που οδηγεί σε εξάρτηση και οικονομικά ζητήματα.

Παράλληλα, οι ίδιοι οι καταναλωτές επιζητούν οχήματα τα οποία, μέσα σε λογικά πλαίσια, θα τους επιφέρουν μια μείωση των εξόδων μετακίνησης. Αυτό έγινε ιδιαίτερα εμφανές κατά την οικονομική κρίση στην Ελλάδα, με την στροφή των καταναλωτών σε οχήματα μικρότερου κυβισμού αλλά και σε εναλλακτικές μορφές καυσίμων. Έτσι, οι ίδιοι οι κατασκευαστές, πέραν από τις κρατικές απαιτήσεις και επιταγές, έχουν κίνητρο να βελτιώσουν την κατανάλωση των οχημάτων τους και την απόδοσή τους [6].



Εικόνα 6: Σχέση κατανάλωσης και διανυθέντων χιλιομέτρων ανά όχημα και έτος στην Αμερική

Τα παραπάνω μπορούμε να τα συνοψίσουμε στις εξής κυρίως τάσεις. Αρχικά, τα αυτοκίνητα σε αρκετές χώρες φορολογούνται με βάση τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αν και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν αποτελούν το μοναδικό κρίσιμο μέγεθος ρύπων, αποτελούν μια σημαντική παράμετρο.

Επιπροσθέτως, προκειμένου να μπορεί να ενημερωθεί ο καταναλωτής για το κόστος χρήσης του οχήματος αλλά και για να μπορεί να υπάρχει μια βάση για τη φορολόγηση των οχημάτων, υπάρχουν



πρότυπα κύκλων δοκιμών (κύκλοι οδήγησης), δηλαδή η δοκιμή των οχημάτων σε προτυποποιημένα φορτία και συνθήκες προκειμένου να υπολογισθούν η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές ρύπων.

Ακόμα, τα αυτοκίνητα που πωλούνται διεθνώς πρέπει να εναρμονίζονται με συγκεκριμένα πρότυπα ρύπων και συγκεκριμένα, για την περίπτωση της Ευρωπαϊκής ένωσης, με τα πρότυπα EURO. Πρόκειται ουσιαστικά για συγκεκριμένα όρια κρίσιμων ρύπων τα οποία πρέπει να σέβονται τα οχήματα τα οποία πωλούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Δυστυχώς τα πρότυπα αυτά αφορούν την πόλη και όχι την κυκλοφορία οχημάτων (ήτοι, οχήματα παλαιότερης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας μπορούν να κυκλοφορούν αλλά όχι να πωλούνται ως νέα), εντούτοις σε ορισμένες περιπτώσεις τίθενται περιορισμοί ανά κράτος, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της Ελλάδας με την απαγόρευση της κυκλοφορίας παλαιότερης τεχνολογίας diesel οχημάτων στις μεγάλες πόλεις.

Επιπλέον, ο ίδιος ο καταναλωτής τείνει να επιλέγει ελεύθερα οχήματα μικρότερης κατανάλωσης καύσιμου και εκπομπών ρύπων, με στόχο το οικονομικό όφελος που προκύπτει από τη χρήση τους συγκριτικά με άλλα παρεμφερή οχήματα.

Τέλος, υπάρχει η στρόφη των καταναλωτών σε οικονομικότερα καύσιμα, όπως για παράδειγμα το φυσικό αέριο (CNG), το υγραέριο (LPG), το diesel και τα υβριδικά ή αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Αν και στην περίπτωση ορισμένων εξ' αυτών τα αποτελέσματα στις εκπομπές ρύπων μπορεί να είναι θετικά, εντούτοις δεν ισχύει σε κάθε περίπτωση αυτό όπως θα εξετάσουμε παρακάτω.

Το Σεπτέμβριο του 2015 στην Αμερική αποκαλύφθηκε το λεγόμενο σκάνδαλο εκπομπών της Volkswagen ή αλλιώς dieselgate [10]. Ουσιαστικά πρόκειται για τροποποίηση των εκπομπών ρύπων, των οχημάτων diesel της παραπάνω εταιρίας, ανάλογα με το αν αυτά βρίσκονταν σε προτυποποιημένη δοκιμή από κάποιον φορέα ή αν κυκλοφορούσαν στο δρόμο, με στόχο κατά τη δοκιμή να παρουσιάζουν ρύπους εντός των ορίων αλλά στον δρόμο να έχουν αυξημένη απόδοση εις βάρος των ρύπων. Το σκάνδαλο αυτό οδήγησε σε σημαντικές διαφοροποιήσεις στους κύκλους οδήγησης και στις διαδικασίες δοκιμών.

# 2

## *Αέριοι ρύποι κινητήρων οχημάτων*

### **2.1 Γενικά**

Ως μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) [11] ορίζουμε μία θερμική μηχανή, μια μηχανή η οποία μετατρέπει τη θερμική σε κινητική ενέργεια, στην οποία η αντίδραση καύσης μεταξύ καυσίμου και οξειδωτικού μέσου λαμβάνει χώρα εντός ενός κλειστού χώρου τον οποίο αποκαλούμε θάλαμο καύσης και αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της μηχανής.

Στα διάφορα οχήματα τα οποία συναντάμε στην αγορά, η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε χρήσιμο έργο μέσω του συστήματος διωστήρα – στροφάλου, κατά κύριο λόγο ενώ πολύ σπανιότερα με τη χρήση του περιστροφικού μηχανισμού Wankel. Μια άλλη σημαντική διάκριση είναι ανάλογα με τον αριθμό των φάσεων που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος παραγωγής έργου. Η συντριπτική πλειονότητα των οχημάτων χρησιμοποιούν τετράχρονες μηχανές (4T) αλλά σπανιότερα υπάρχουν δίχρονες (2T), όπως τα εργαλεία χειρός και παλαιές μηχανές και εξάχρονες (6T) μηχανές εσωτερικής καύσης. Επίσης μπορεί να υπάρξει διάκριση ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιείται αλλά και, όπως θα μελετήσουμε, ανάλογα με τον κύκλο παραγωγής έργου που χρησιμοποιείται. Μερικές φορές αυτές οι δύο διακρίσεις μπορούν να θεωρηθούν αλληλένδετες.

#### **2.1.1 Ο κύκλος του Otto**

Ο κύκλος του Otto [11] αποτελεί έναν ιδανικό θερμοδυναμικό κύκλο ο οποίος περιγράφει την λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης οι οποίες χρησιμοποιούν σπινθηριστή (spark plug) για την λειτουργία τους. Αποτελείται από δύο ισεντροπικές και δύο ισόχωρες μεταβολές. Ο κύκλος αυτός χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο από τις μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν βενζίνη ή αέριο καύσιμο (LPG, CNG).

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μηχανών που χρησιμοποιούν αυτόν τον κύκλο είναι ότι κατά τη βάση της συμπίεσης, το ρευστό που συμπιέζεται είναι ένα μείγμα καυσίμου και αέρα. Βέβαια αυτό δεν είναι απόλυτο, καθώς πλέον υπάρχουν πολλές παραλλαγές και τεχνολογίες για την αύξηση της απόδοσης των μηχανών, όπως λχ. ο άμεσος ψεκασμός, εντούτοις η βασική αρχή είναι η ίδια, και συνεπώς αυτό

περιορίζει τις μέγιστες πιέσεις που μπορούν να αναπτυχθούν μέσα στον κύλινδρο, καθώς μπορεί να έχουμε προανάφλεξη του μείγματος.

Κατά συνέπεια, οι μικρότερες μέσες πιέσεις που εμφανίζονται οδηγούν και στην ανάπτυξη χαμηλότερων θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα την μικρότερη θερμοδυναμική απόδοση αλλά κυρίως και την μικρότερη ανάπτυξη ρύπων που συναρτώνται της θερμοκρασίας, όπως είναι τα οξειδία του αζώτου. Επιπροσθέτως, ο μεγάλος βαθμός ανάμειξης του μείγματος οδηγεί σε χαμηλές εκπομπές μικροσωματιδίων ενώ η επεξεργασμένη φύση των καυσίμων αυτών σημαίνει και απουσία θείου.

### **2.1.2 Ο κύκλος του Diesel**

Ο ιδανικός κύκλος του Diesel [11] αποτελείται από δύο ισεντροπικές μεταβολές (συμπίεση και εκτόνωση του μέσου), μία ισόχωρη και μία ισοβαρή μεταβολή. Η ειδοποιός διαφορά με τις μηχανές κύκλου Otto είναι ότι το μέσο εργασίας είναι κατά βάση ο απλός ατμοσφαιρικός αέρας και η έναυση του καυσίμου δε γίνεται από σπινθηριστή αλλά από την θερμότητα που παράγεται από τη συμπίεση του αέρα και όταν γίνει ο ψεκασμός του καυσίμου εντός του κυλίνδρου. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι κατά βάση πετρέλαιο diesel, μπορεί όμως να είναι ακόμα και έλαια ή και σε κάποιες περιπτώσεις ένα ποσοστό αέριων καυσίμων.

Το γεγονός λοιπόν ότι δεν υπάρχει ο περιορισμός του εύφλεκτου μείγματος κατά τη φάση της συμπίεσης σημαίνει ότι μπορούν να επιτευχθούν αρκετά υψηλότερες πιέσεις και κατά συνέπεια υψηλότερη θερμοδυναμική απόδοση, αφού υψηλότερες πιέσεις μεταφράζονται και σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Έτσι, η υψηλότερη θερμοδυναμική απόδοση σημαίνει καλύτερη εκμετάλευση του καυσίμου και συνεπώς οικονομία, το οποίο μεταφράζεται και σε μικρότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

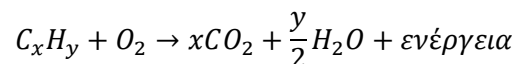
Όμως αυτό φυσικά έχει αρνητικές συνέπειες στις εκπομπές των υπόλοιπων ρύπων. Αφενός οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν στον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου, αφετέρου από τη στιγμή που η ανάμειξη αέρα – καυσίμου δεν είναι ιδανική έχουμε το σχηματισμό αιθάλης και μικροσωματιδίων.

## **2.2 Ρύποι μηχανών εσωτερικής καύσης**

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης [12], τόσο λόγω της φύσης της λειτουργίας τους, ήτοι της καύσης ανθρακούχων ενώσεων, όσο και λόγω ατελούς καύσης ή καύσης με περίσσεια καυσίμου, εκπέμπουν ρύπους, ουσίες δηλαδή οι οποίες προκαλούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Ακολουθεί μια ανάλυση των κυριότερων εξ' αυτών.

### 2.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Τα ορυκτά καύσιμα και γενικότερα τα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν ως βάση τους ορισμένες ουσίες τις οποίες αποκαλούμε υδρογονάνθρακες, ενώσεις δηλαδή του άνθρακα με το υδρογόνο. Εξ' ορισμού λοιπόν, ακόμα και η τέλεια καύση των ενώσεων αυτών θα παράξει ως βασικό ρύπο το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Πράγματι:



Το διοξείδιο του άνθρακα είναι μια άχρωμη και, σε χαμηλές συγκεντρώσεις, άοσμη ουσία με πυκνότητα περίπου στο 60% του ατμοσφαιρικού αέρα. Αποτελεί περίπου το 0.04% του ατμοσφαιρικού αέρα (412 ppm) και εκπέμπεται και από ορισμένες φυσικές διεργασίες, όπως για παράδειγμα οι ηφαιστειακές εκρήξεις και η κυτταρική αναπνοή. Είναι μη τοξικό για τον άνθρωπο, παρ' όλα αυτά μπορεί να οδηγήσει σε ασφυξία σε κλειστούς χώρους, ενώ είναι απαραίτητο συστατικό για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των φυτών.

Όμως, εξαιτίας του ρόλου του ως αέριο του θερμοκηπίου έχει χαρακτηριστεί ως ο χειρότερος ρύπος που επιδρά στο κλίμα του πλανήτη μας [13]. Παρά το γεγονός ότι δεν είναι το ισχυρότερο αέριο του θερμοκηπίου, αφού λχ. το μεθάνιο είναι 1000 φορές πιο ισχυρό, εξαιτίας της μαζικής εκπομπής του, που υπολογίζεται σε δισεκατομμύρια τόνους κατ' έτος, η αύξησή του στην ατμόσφαιρα από τα 280 ppm περίπου στην προ βιομηχανικής ανάπτυξης εποχή έχει οδηγήσει σε σοβαρή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

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

Το διοξείδιο του θείου είναι αποτέλεσμα της καύσης του στοιχειακού θείου και ενώσεων αυτού οι οποίες περιέχονται στο αργό πετρέλαιο σε μεταβλητές συγκεντρώσεις αναλόγως της πηγής αυτού. Το αποτέλεσμα είναι ότι στην ατμόσφαιρα, παρουσία καταλυτών όπως το διοξείδιο του αζώτου, σχηματίζει με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) το οποίο και συμβάλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής.

Εξαιτίας της σοβαρότητας του φαινομένου αυτού υπάρχει αυστηρό θεσμικό πλαίσιο στις απαιτήσεις περιεκτικότητας σε θείο στα υγρά καύσιμα. Καύσιμα όπως η βενζίνη, που είναι ιδιαίτερα

χαμηλά κλάσματα του πετρελαίου και επεξεργασμένα, περιέχουν ίχνη θείου ενώ τα πετρέλαια diesel πολύ μικρές ποσότητες (10 mg/kg μέγιστο). Κατά συνέπεια, οι μηχανές diesel είναι πιο επιρρεπείς στις εκπομπές διοξειδίου του θείου.

### **2.2.3 Οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ )**

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται κατά περίπου 78% από άζωτο ( $N_2$ ). Το άζωτο της ατμόσφαιρας είναι ένα αδρανές αέριο το οποίο δεν συμμετέχει στην καύση. Όμως, στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εντός του θαλάμου καύσης ενός κινητήρα, το άζωτο αντιδρά με το οξυγόνο και σχηματίζει οξείδια του αζώτου με κυριότερο εξ' αυτών το διοξείδιο του αζώτου ( $NO_2$ ).

Το διοξείδιο του αζώτου είναι ένας από τους σημαντικότερους αέριους ρύπους, καθώς είναι τοξικό αέριο ερυθρού – καφέ χρώματος με χαρακτηριστική, έντονη οσμή και το οποίο πέραν των προβλημάτων υγείας είναι υπεύθυνο για το φωτοχημικό φαινόμενο.

Εξαιτίας των υψηλότερων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στους κινητήρες diesel, έχουμε και αυξημένη εκπομπή των ρύπων αυτών, καθώς υπάρχει μια δεδομένη σχέση ανάμεσα στην παραγωγή οξειδίων του αζώτου και στην θερμοκρασία καύσης. Επίσης, κακή καύση, εξαιτίας πλημμελούς συντήρησης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρύπων αυτών.

### **2.2.4 Πτητικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (VOCs)**

Οι πτητικές αρωματικές ενώσεις που εκπέμπονται από τα οχήματα οφείλονται στην ατελή καύση και στην ύπαρξη αυτών των ενώσεων στα καύσιμα. Πρόκειται για πολύ επικίνδυνους ρύπους οι οποίοι προκαλούν πληθώρα σοβαρών προβλημάτων υγείας, τόσο βραχυχρόνια όσο και μακροχρόνια, με ορισμένους εξ' αυτών να είναι γνωστά καρκινογόνα και τερατογόνα. Σημαντικό χαρακτηριστικό της επικινδυνότητάς τους είναι η πτητική τους φύση, δηλαδή η δυνατότητά τους να βρίσκονται εύκολα σε αέρια μορφή.

Τέλος, σημαντικό πρόβλημα προκαλείται από το γεγονός ότι οι ουσίες αυτές είναι υπεύθυνες για την έμμεση παραγωγή όζοντος στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το όζον είναι μια ένωση η οποία στις ανώτερες ατμοσφαιρικές στρώσεις επιτελεί το ρόλο του φιλτραρίσματος της υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία είναι αρνητική για τον ανθρώπινο οργανισμό, στα κατώτερα όμως στρώματα προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα.

### **2.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι προϊόν της ατελούς ή κακής καύσης στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Πρόκειται για ένα άοσμο και άχρωμο αέριο το οποίο όμως είναι πάρα πολύ τοξικό, σε συγκεντρώσεις πάνω από 35 ppm. Η τοξικότητά του οφείλεται στο γεγονός ότι προσκολλάται στο μόριο της αιμογλοβίνης, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά του οξυγόνου στους κυτταρικούς ιστούς, πολύ πιο εύκολα από το οξυγόνο, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε ασφυξία [14].

Γενικά, στους σύγχρονους κινητήρες, είναι σημαντικά πιο υψηλές οι εκπομπές του στα χαμηλά φορτία, δηλαδή όταν το όχημα βρίσκεται σταθμευμένο ή σε κίνηση. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την τοξικότητά του και το ότι είναι άχρωμο και άοσμο ενώ δεν προκαλεί εύκολα αντιληπτά συμπτώματα (αίσθηση ζάλης και άμεση απώλεια αισθήσεων) έχει οδηγήσει σε πολλά θανατηφόρα ατυχήματα ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης οχημάτων.

### **2.2.6 Αιωρούμενα σωματίδια (PM)**

Πρόκειται ουσιαστικά για τα σωματίδια τα οποία βρίσκονται διεσπαρμένα μέσα στα καυσαέρια υπό τη μορφή αερολύματος. Αποτελούνται κυρίως από αιθάλη, σωματίδια δηλαδή άνθρακα τα οποία είναι αποτέλεσμα της ατελούς καύσης των υδρογονανθράκων του καυσίμου. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν πολύ σοβαρές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία [15], οι οποίες εξαρτώνται από την κοκκομετρία (διάμετρο) των σωματιδίων αυτών, με τα μικρότερα να είναι πιο επικίνδυνα.

Κύρια υπεύθυνες για την εκπομπή τέτοιων σωματιδίων είναι οι μηχανές τύπου diesel, αφού λόγω του ότι το μείγμα καυσίμου – αέρα δεν είναι τέλεια αναμεμειγμένο, υπάρχει ατελής καύση σε πολλά σημεία τοπικά εντός του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα την εκπομπή τέτοιων σωματιδίων.

### **2.2.7 Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου κύκλου και καυσίμου**

Στην παράγραφο αυτή θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μία σύνοψη των εκπομπών ανά τύπο κινητήρα και καύσιμο. Σε κάθε περίπτωση, αυτή η σύγκριση είναι ενδεικτική διότι αφενός η ενδεδειγμένη ανάλυση ξεφεύγει από τα όρια της παρούσης διπλωματικής, αφετέρου υπάρχει πληθώρα παραλλαγών και τεχνολογιών στις μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τις εκπομπές ρύπων.

Αρχικά, όσον αφορά το διοξείδιο του άνθρακα, οι κινητήρες τύπου diesel έχουν σαφώς μικρότερες εκπομπές, για την ίδια ισχύ, καθώς έχουν αρκετά καλύτερη θερμοδυναμική απόδοση από τους αντίστοιχους κινητήρες Otto. Όσον αφορά τα καύσιμα, το φυσικό αέριο (CNG) διαθέτει τις μικρότερες εκπομπές

συγκριτικά με τα υπόλοιπα καύσιμα διότι διαθέτει την καλύτερη αναλογία ατόμων άνθρακα προς υδρογόνο, αφού αποτελείται κατά 90% από μεθάνιο το οποίο διαθέτει 1 άτομο άνθρακα και 4 άτομα υδρογόνου.

Σχετικά με τις εκπομπές θείου, όλα τα καύσιμα πλην του πετρελαίου κίνησης διαθέτουν μόνο ίχνη του συγκεκριμένου χημικού στοιχείου και ενώσεων αυτού, συνεπώς έχουν ελάχιστες εκπομπές διοξειδίου του θείου και υπερτερούν των μηχανών diesel που χρησιμοποιούν πετρέλαιο.

Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου είναι μια άλλη κατηγορία ρύπων στις οποίες οι μηχανές τύπου diesel υστερούν σημαντικά. Το πλεονέκτημα που τους χαρίζει χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί μειονέκτημα στην περίπτωση αυτή αφού οι υψηλές θερμοκρασίες καύσης οδηγούν σε μεγαλύτερη παραγωγή οξειδίων του αζώτου. Όσον αφορά τα καύσιμα, μελέτες έχουν καταδείξει ότι το υγραέριο κίνησης (LPG) οδηγεί επίσης σε αυξημένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου.

Όσον αφορά τις πτητικές οργανικές ενώσεις και το μονοξείδιο του άνθρακα, οι μηχανές τύπου Otto με καύσιμο βενζίνη έχουν μεγαλύτερες εκπομπές και στις δύο αυτές κατηγορίες ρύπων.

Τέλος, σχετικά με τις εκπομπές μικροσωματιδίων, αυτές αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα για τις μηχανές diesel εξαιτίας της αρχής λειτουργίας τους που οδηγεί σε περιοχές εντός του θαλάμου καύσης με πλούσιο μείγμα και ατελή καύση. Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα αυτό έχει εμφανιστεί και στους βενζινοκινητήρες εξαιτίας της χρήσης της τεχνολογίας άμεσου ψεκασμού (direct injection).

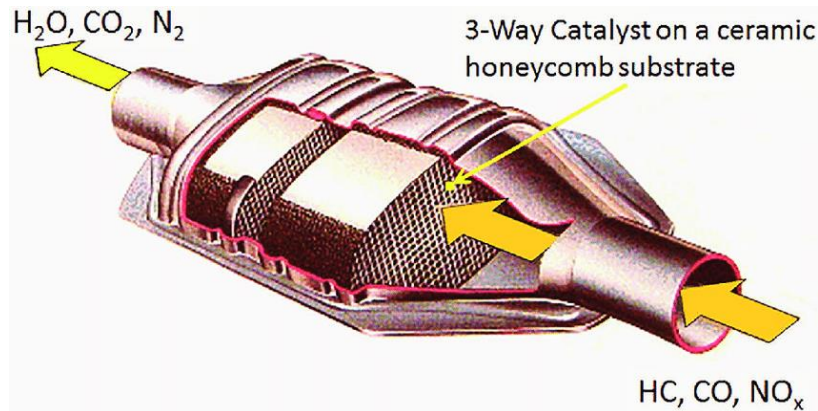
	Otto (4T)	Diesel
<b>CO<sub>2</sub></b>	Υψηλότερες	Χαμηλότερες
<b>SO<sub>2</sub></b>	Ίχνη	Υψηλές
<b>NO<sub>x</sub></b>	Μεσαίες	Υψηλές
<b>VOCs</b>	Υψηλές	Μεσαίες
<b>CO</b>	Υψηλές	Μεσαίες
<b>PM</b>	Υψηλές	Χαμηλές, εξαιρουμένων των άμεσου ψεκασμού

Πίνακας 1: Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου MEK

### 2.2.8 Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες οχημάτων

Για τον περιορισμό των παραπάνω ρύπων και προκειμένου να εναρμονιστούν με τις απαιτήσεις της νομοθεσίας, οι κατασκευαστές οχημάτων έχουν υιοθετήσει πληθώρα τεχνολογιών οι οποίες έχουν ως στόχο την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

### 2.2.8.1 Καταλύτες



Εικόνα 7: Καταλυτικός μετατροπέας

Οι καταλυτικοί μετατροπέες οχημάτων [16] αποτελούν την παλαιότερη αντιρρυπαντική τεχνολογία που συναντάται στα οχήματα. Οι σύγχρονοι καταλυτικοί μετατροπέες αποτελούνται από κεραμικό ή μεταλλικό πυρήνα εξαιρετικά μεγάλης επιφάνειας, το οποίο επιτυγχάνεται κατασκευαστικά και χρησιμοποιούν μείγμα από σπάνιες γαίες και ειδικές ενώσεις μετάλλων.

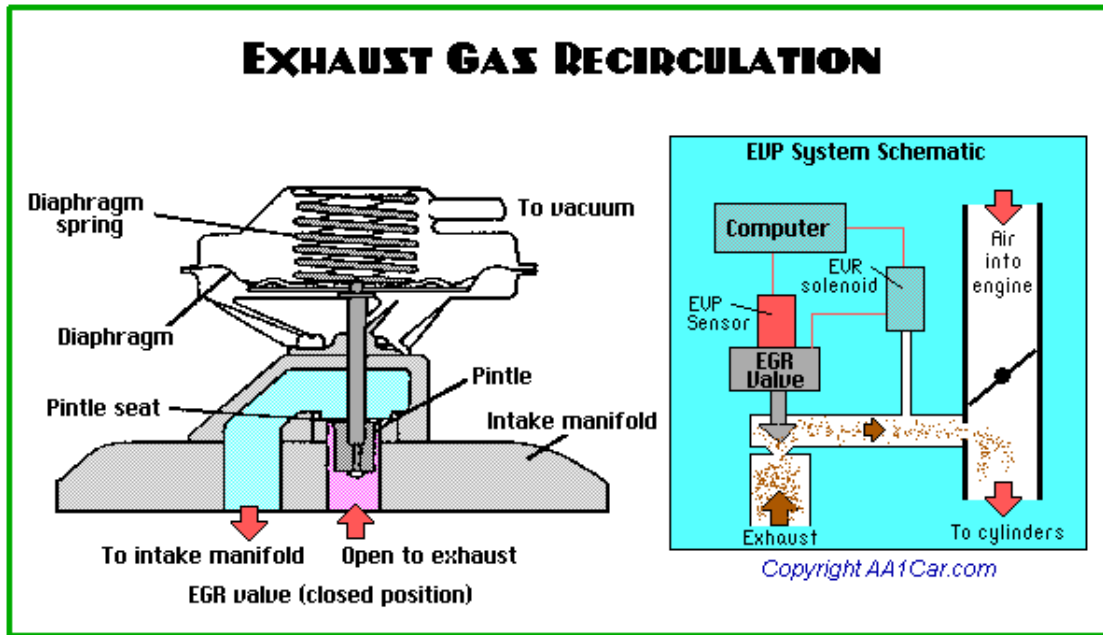
Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην διενέργεια συγκεκριμένων χημικών αντιδράσεων οι οποίες, υπό κανονικές συνθήκες δεν είναι επιτεύξιμες, όμως παρουσία πολύ συγκεκριμένων ενώσεων, όπως λχ. το παλλάδιο, μπορούν να συμβούν. Σημαντικό αρνητικό τους στοιχείο είναι το πολύ υψηλό τους κόστος, αφού χρησιμοποιούν ακριβά μέταλλα.

Οι καταλυτικοί μετατροπέες διαφέρουν ανάμεσα στους κινητήρες βενζίνης και diesel, διότι τα καυσαέρια των οχημάτων diesel είναι πλούσια σε οξυγόνο και αυτό επιδρά σε πολλές αντιδράσεις. Στους κινητήρες βενζίνης οι καταλύτες αφαιρούν το μονοξείδιο του άνθρακα, τους άκαυστους υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο του αζώτου, ενώ απαιτούν ειδικούς αισθητήρες και συνεχή παρακολούθηση από το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα του οχήματος για να λειτουργήσουν αποδοτικά. Συνήθως δε υπάρχουν περισσότεροι του ενός καταλυτικοί μετατροπέες, προκειμένου το όχημα να έχει αποτελεσματικό έλεγχο των εκπομπών τόσο κατά την εκκίνηση που οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές όσο και υπό κανονικές συνθήκες.

Στα οχήματα diesel, οι καταλύτες είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα και των άκαυστων υδρογονανθράκων, καθώς η υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου δεν επιτρέπει την αφαίρεση των οξειδίων του αζώτου.



### 2.2.8.2 Τεχνολογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)



Εικόνα 8: Διάγραμμα βαλβίδας EGR

Η τεχνολογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων [17] σχετίζεται με τη μείωση των άκαυστων υδρογονανθράκων και των οξειδίων του αζώτου που εκπέμπονται από τα οχήματα, τόσο για βενζινοκινητήρες όσο και για κινητήρες πετρελαίου.

Κατά την εισαγωγή αέρα ή μείγματος στον κύλινδρο, μια ηλεκτρονικά ελεγχόμενη βαλβίδα επιτρέπει την ανακυκλοφορία και εισαγωγή ενός ποσοστού καυσαερίων στον θάλαμο καύσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την «αραίωση» με ένα αδρανές αέριο, το οποίο απορροφά θερμότητα και δεν συμμετέχει στην καύση. Έτσι, επιτυγχάνονται χαμηλότερες θερμοκρασίες, χαμηλότερη παραγωγή οξειδίων του αζώτου και αντίδραση τυχόν εναπομείναντων υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα ή οξειδίων του αζώτου από τα ανακυκλοφορούντα καυσαέρια.

Αρνητικό στοιχείο αποτελεί το αυξημένο κόστος συντήρησης, αφού συχνά απαιτείται καθαρισμός και η μείωση της μέγιστης απόδοσης του κινητήρα, αφού ωφέλιμος όγκος του θαλάμου καύσης για την παραγωγή έργου καταλαμβάνεται από αδρανές αέριο.

### 2.2.8.3 Φίλτρο μικροσωματιδίων (DPF)

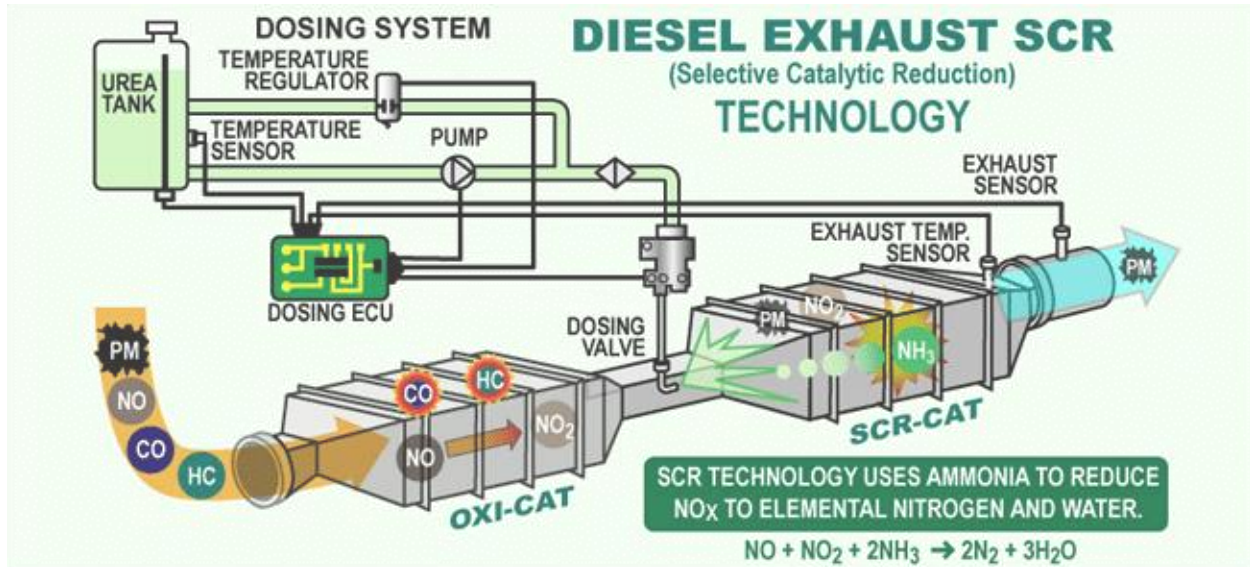


Εικόνα 9: Φίλτρο μικροσωματιδίων

Τα φίλτρα μικροσωματιδίων αποτελούν την λύση για τις εκπομπές μικροσωματιδίων, ιδίως από τους σύγχρονους κινητήρες diesel [18]. Πρόκειται ουσιαστικά για συσκευές οι οποίες έχουν την ίδια δομή με τους καταλυτικούς μετατροπείς, δίχως τα σπάνια μέταλλα αυτών, στις οποίες παγιδεύεται η αιθάλη που εκπέμπεται από την ατελή καύση. Στη συνέχεια, υπάρχουν δύο δυνατότητες. Στην πρώτη περίπτωση, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται εντός του φίλτρου, έχουμε καύση, σε συνδυασμό με την περίσσεια οξυγόνου που υπάρχει στα καυσαέρια, και αναζωογόνηση του φίλτρου με εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Στην δεύτερη περίπτωση, εάν η πτώση πίεσης είναι μεγάλη και οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες δεν επαρκούν, τότε το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα εγγχεί καύσιμο κατά την εξαγωγή με στόχο την επίτευξη καύσης και την αναζωογόνηση έτσι του φίλτρου.

Τα φίλτρα μικροσωματιδίων είναι ικανά να παρακρατήσουν άνω του 90% των σωματιδίων που περιέχονται στα καυσαέρια. Έχουν όμως το μειονέκτημα του αυξημένου κόστους συντήρησης, της υψηλής πολυπλοκότητας των συστημάτων αυτών, αφού απαιτούν ειδικούς αισθητήρες και λογισμικό καθώς και το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

#### 2.2.8.4 Επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR)



Εικόνα 10: Διαγραμματική απεικόνιση της διεργασίας SCR

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, οι κινητήρες τεχνολογίας diesel έχουν το μειονέκτημα της αυξημένης παραγωγής οξειδίων του αζώτου. Παράλληλα, ενώ στους βενζινοκινητήρες η σαφώς μικρότερη παραγωγή οξειδίων του αζώτου διαχειρίζεται από τους καταλυτικούς μετατροπείς σε ένα μεγάλο βαθμό, κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο στους κινητήρες diesel καθώς η μεγάλη περίσσεια σε οξυγόνο καθιστά τις αντιδράσεις αυτές μη επιτεύξιμες.

Τα προβλήματα αυτά έρχεται να επιλύσει η τεχνολογία SCR [19], προκειμένου οι κατασκευαστές οχημάτων να εναρμονιστούν με τα πλέον σύγχρονα πρότυπα, όπως το EURO 6 ή το Tier 4 Final. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα είδος καταλύτη ο οποίος απαιτεί για τη λειτουργία του διάλυμα ουρίας ή αμμωνίας (στην αγορά γνωστό και με την εμπορική ονομασία Ad-blue). Τα καυσαέρια, μετά την έξοδό τους από το φίλτρο μικροσωματιδίων και τον καταλύτη, εισέρχονται στον καταλύτη SCR, στον οποίο προστίθεται με τη χρήση δοσομετρικής αντλίας και με κατάλληλους αισθητήρες η ποσότητα διαλύματος που απαιτείται. Εκεί τα οξείδια του αζώτου μετατρέπονται σε αέριο άζωτο και νερό υπό μορφή υδρατμών, τα οποία και απορρίπτονται.

#### 2.2.8.5 Τεχνολογίες διαχείρισης καύσης και καυσίμου

Τέλος, ένα ακόμα σύνολο τεχνολογιών που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια [20], όπου τα ηλεκτρονικά συστήματα διαχείρισης καυσίμου και ανάφλεξης έχουν εξελιχθεί, είναι αυτό των τεχνικών διαχείρισης καύσης. Τέτοια συστήματα είναι ο άμεσος ψεκασμός (direct injection), δηλαδή ο ψεκασμός του καυσίμου εντός του κυλίνδρου σε μηχανές Otto, η υπερ-πτωχή καύση (ultra lean burn) [21], ο διακεκομμένος ψεκασμός, η χρήση πτερυγίων στην εισαγωγή (inlet vanes) και άλλες τεχνολογίες ή παραλλαγές αυτών με εμπορικές ονομασίες ανά κατασκευαστή.

Εν κατακλείδι, τα αυστηρά πρότυπα εκπομπών, οι απαιτήσεις των καταναλωτών για οικονομία καυσίμου και η ανάγκη για καλύτερες επιδόσεις έχουν οδηγήσει τους κατασκευαστές σε πληθώρα τεχνολογικών ανακαλύψεων για την βελτίωση των μηχανών εσωτερικής καύσης.

# 3

## Νομοθετικό πλαίσιο εκπομπών ρύπων

### οχημάτων και κύκλοι οδήγησης

#### 3.1 Κατηγοριοποίηση οχημάτων

Προτού εξετάσουμε την ευρωπαϊκή νομοθεσία ρύπων, πρέπει να ορίσουμε τις κατηγορίες των οχημάτων, όπως αυτές ορίζονται εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης, διότι η διάκριση αυτή λαμβάνεται υπόψη και στις εκπομπές ρύπων.

Οι κατηγορίες ορίζονται με βάση [22]:

- Τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Νο 168/2013 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, ο οποίος ψηφίστηκε στις 15 Ιανουαρίου του 2013 και
- Την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/46/EC η οποία ψηφίστηκε στις 5 Σεπτεμβρίου του 2007

Έτσι, με βάση τα παραπάνω, οι κατηγορίες οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι:

Κατηγορία	Περιγραφή
L	Δίκυκλα, τρίκυκλα και μικρο-οχήματα με 4 τροχούς
M	Οχήματα με τουλάχιστον 4 τροχούς
M1	Οχήματα έως 8 θέσεων
M2	Οχήματα άνω των 8 θέσεων και κάτω των 5 τόννων
M3	Οχήματα άνω των 8 θέσεων και άνω των 5 τόννων
N	Οχήματα μεταφοράς αγαθών (φορτηγά)
O	Ρυμουλκούμενα
G	Οχήματα εκτός δρόμου
-	Οχήματα ειδικού σκοπού

Πίνακας 2: Κατηγορίες οχημάτων ΕΕ

Στα πλαίσια της παρούσης θα εξετάσουμε την κατηγορία οχημάτων M, στην οποία εμπίπτουν και οι τρεις υποκατηγορίες της M1, M2 και M3.

### 3.2 Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων (EURO)

Κάθε όχημα το οποίο πρόκειται να πωληθεί ως νέο ή να εισαχθεί από κάποια άλλη χώρα οπουδήποτε στην Ευρωπαϊκή Ένωση, πρέπει να πληροί, ανάλογα φυσικά με την ημερομηνία της άδειας κυκλοφορίας του, το αντίστοιχο από τα παρακάτω όρια του πίνακα 3 [23].

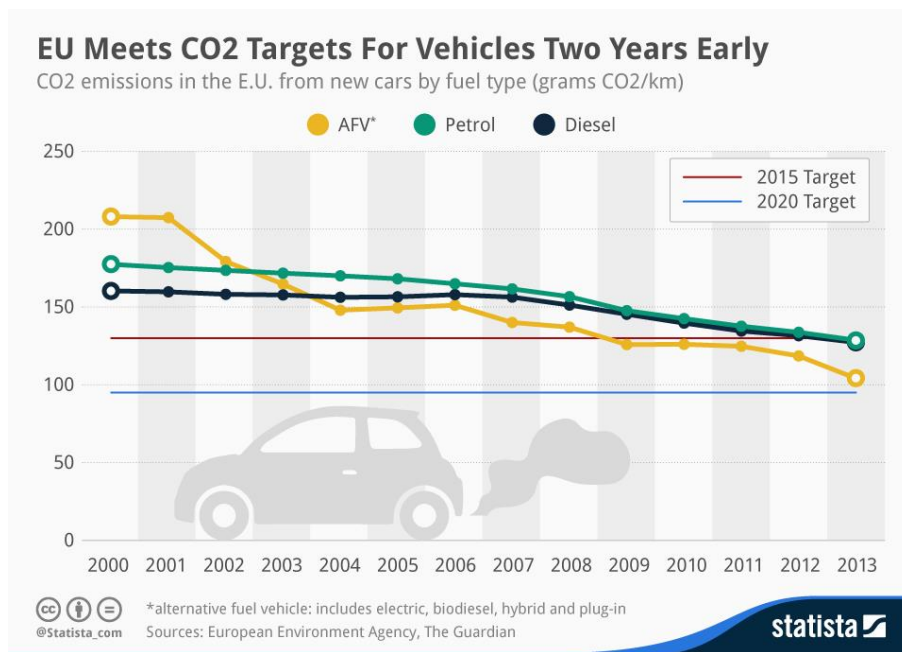
Κατηγορία	Ημερομηνία επικύρωσης	Έναρξη ισχύος	CO [g/km]	THC [g/km]	NMHC [g/km]	NOx [g/km]	HC+NOx [g/km]	PM [g/km]	PN [#/km]
<b>Κινητήρες Πετρελαίου</b>									
Euro 1	1/7/1992	1/1/1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)	-
Euro 2	1/1/1996	1/1/1997	1.0	-	-	-	0.7	0.08	-
Euro 3	1/1/2000	1/1/2001	0.66	-	-	0.50	0.56	0.05	-
Euro 4	1/1/2005	1/1/2006	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025	-
Euro 5a	1/9/2009	1/1/2011	0.50	-	-	0.180	0.230	0.005	-
Euro 5b	1/9/2011	1/1/2013	0.50	-	-	0.180	0.230	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6b	1/9/2014	1/9/2015	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6c	-	1/9/2018	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6d- Temp	1/9/2017	1/9/2019	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6d	1/1/2020	1/1/2021	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
<b>Κινητήρες Βενζίνης</b>									
Euro 1	1/7/1992	1/1/1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	1/1/1996	1/1/1997	2.2	-	-	-	0.5	-	-
Euro 3	1/1/2000	1/1/2001	2.3	0.20	-	0.15	-	-	-
Euro 4	1/1/2005	1/1/2006	1.0	0.10	-	0.08	-	-	-
Euro 5a	1/9/2009	1/1/2011	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.005	-
Euro 5b	1/9/2011	1/1/2013	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	-
Euro 6b	1/9/2014	1/9/2015	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6c	-	1/9/2018	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6d- Temp	1/9/2017	1/9/2019	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6×10 <sup>11</sup>
Euro 6d	1/1/2020	1/1/2021	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6×10 <sup>11</sup>

Πίνακας 3: Τα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για την κατηγορία M

Από το πρότυπο EURO 2 και μετέπειτα, υπάρχει διάκριση των ορίων ανάμεσα σε βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες. Με βάση λοιπόν τον πίνακα 3 παρατηρούμε ότι, για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα υπάρχουν αυστηρότερα όρια στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα αλλά πιο ελαστικά όρια για τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Το δεύτερο οφείλεται στην φύση των κινητήρων όπως προαναφέρθηκε και στην από τεχνολογικής πλευράς δυσκολία περιορισμού των ρύπων τους. Εντούτοις, τα όρια αυτά αν και αυξημένα θεωρούνται ιδιαίτερα αυστηρά.

Επιπροσθέτως, από τη σειρά EURO 5 και έπειτα υπάρχουν όρια στις εκπομπές μικροσωματιδίων και για τους κινήτηρες βενζίνης και αυτό οφείλεται στην εισαγωγή τεχνολογιών όπως ο άμεσος ψεκασμός που οδηγούν σε τέτοιες εκπομπές.

Αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κάποιος από τον πίνακα είναι η έλλειψη ορίων για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Οι εκπομπές των ρύπων αυτών είναι άμεσα συναρτήσιμες με την ισχύ και τον κυβισμό του κάθε κινητήρα και είναι δύσκολο να τεθούν όρια, διότι κάτι τέτοιο απλά θα ήταν περιορισμός κατ' ουσία της ισχύς των οχημάτων που μπορούν να πωληθούν. Για το λόγο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει στόχους ως προς το μέσο όριο εκπομπών ρύπων στις πωλήσεις νέων οχημάτων. Ο στόχος αυτός μάλιστα επεκτείνεται και στις πωλήσεις του κάθε κατασκευαστή, ούτως ώστε να προσαρμόσει αντίστοιχα το στόλο που προσφέρει στις απαιτήσεις αυτές, προσφέροντας φιλικότερα μοντέλα προς το περιβάλλον, παρέχοντας αντίστοιχα οικονομικά κίνητρα ή κυρώσεις σε περίπτωση αδυναμίας επίτευξης των στόχων.



Εικόνα 11: Στόχος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα στην ΕΕ [24]

### **3.3 Ο περιοδικός έλεγχος εκπομπών στα ΚΤΕΟ**

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, όλα τα οχήματα Ι.Χ. και Δ.Χ., πλην ειδικών οχημάτων, όπως αυτά των ενόπλων δυνάμεων και σωμάτων ασφαλείας, υποχρεούνται σε περιοδικό τεχνικό έλεγχο και έλεγχο εκπομπών καυσαερίων σε Κέντρα Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων (ΚΤΕΟ), δημόσια ή ιδιωτικά. Ο τεχνικός έλεγχος λαμβάνει χώρα 4 χρόνια μετά την αγορά νέου οχήματος κάθε 2 χρόνια για τα Ι.Χ. και κάθε 1 έτος για τα Δ.Χ., ενώ ο έλεγχος καυσαερίων, που συνοδεύεται και από την έκδοση Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων, κάθε έτος.

Ο έλεγχος αυτός καθιερώθηκε το 1992 με τον νόμο 2052/1992. Μέχρι το σημείο εκείνο, ο έλεγχος των εκπομπών καυσαερίων ήταν τυχαίος και δειγματοληπτικός από κινητά συνεργεία του Υπουργείου Μεταφορών, τα οποία και έλεγχαν οχήματα σε δρόμους και κυρίως στις μεγάλες πόλεις [25].

Η κάρτα ελέγχου καυσαερίων χορηγείται από δημόσια και ιδιωτικά ΚΤΕΟ, κατόπιν ελέγχου, καθώς και από πιστοποιημένα από το Υπουργείο Μεταφορών συνεργεία. Για τον έλεγχο του οχήματος και την έκδοση της κάρτας απαιτείται η προσκόμιση της άδειας κυκλοφορίας αυτού καθώς και η πληρωμή κατάλληλου παραβόλου ελέγχου. Σε περίπτωση αποτυχίας το όχημα λαμβάνει προθεσμία τριών εβδομάδων για να επανεξεταστεί και αν αποτύχει εκ νέου θεωρείται ακατάλληλο για κυκλοφορία.

Η διαδικασία κρατάει λιγότερο από 10 λεπτά και το αυτοκίνητο, αφού ζεσταθεί σε θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας, ελέγχεται τόσο στο ρελαντί όσο και στις 2500 ± 300 στροφές. Ελέγχεται, κατά περίπτωση όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω, το ποσοστό μονοξειδίου του άνθρακα, η συγκέντρωση υδρογονανθράκων, η τιμή του συντελεστή λ και τέλος η θολερότητα των καυσαερίων.

### **3.4 Όρια εκπομπών καυσαερίων κατά τον περιοδικό ή έκτακτο έλεγχο**

Στην νομοθεσία υπάρχει διάκριση ανάμεσα στις εκπομπές ρύπων οχημάτων που ελέγχονται στα ΚΤΕΟ αναλόγως του τύπου του καυσίμου του οχήματος (βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα, πετρελαιοκίνητα), της ημερομηνίας πρώτης κυκλοφορίας η οποία καθορίζει και την αντιρρυπαντική τεχνολογία του οχήματος καθώς τέλος και αν ο κινητήρας διαθέτει υπερπλήρωση ή όχι, για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Τα όρια αυτά καθορίζονται από την Υπουργική Απόφαση Φ50/94474/4556 – Φ50/94475/4557 – ΦΕΚ 829/Β/8-11-1994.



### 3.4.1 Βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας

Αφορά τα οχήματα τα οποία δεν διαθέτουν καταλυτικούς μετατροπείς και συνεπώς αντιρρυπαντικό σύστημα. Τα όρια εκπομπών αέριων ρύπων καυσαερίων για τα οχήματα συμβατικής τεχνολογίας αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα 4.

ΕΤΟΣ ΕΚΔΟΣΗΣ 1ης ΑΔΕΙΑΣ	ΡΥΠΟΣ	ΡΕΛΑΝΤΙ	2500 ± 300 RPM
ΠΡΙΝ ΤΗΝ 01-10- 1986	CO [%]	< 4,5	< 4
	HC [ppm]	< 800	< 700
ΜΕΤΑ ΤΗΝ 01-10- 1986	CO [%]	< 3,5	< 3
	HC [ppm]	< 500	< 400

Πίνακας 4: Όρια εκπομπών ρύπων για οχήματα συμβατικής τεχνολογίας

Ο πίνακας αυτός έχει εφαρμογή και σε αυτοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας με δίχρονους κινητήρες ή κινητήρες Wankel, δίχως όμως να ελέγχεται η συγκέντρωση υδρογονανθράκων (HC) στα καυσαερίά τους.

Σε περίπτωση δειγματοληπτικού ελέγχου στο δρόμο βενζινοκίνητων και υγραεριοκίνητων οχημάτων συμβατικής τεχνολογίας, οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ρύπων είναι αυξημένες, συγκριτικά με αυτές του πίνακα 4, κατά 0,5% για το μονοξείδιο του άνθρακα και κατά 100 ppm για τους υδρογονάνθρακες.

### 3.4.2 Βενζινοκίνητα καταλυτικής τεχνολογίας

Αφορά τα οχήματα νέας αντιρρυπαντικής τεχνολογίας τα οποία και διαθέτουν καταλυτικούς μετατροπείς στο σύστημα διαχείρισης καυσαερίων τους. Τα όρια εκπομπών αέριων ρύπων καυσαερίων για τα οχήματα καταλυτικής τεχνολογίας αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα 5.

ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΡΥΠΟΣ	ΡΕΛΑΝΤΙ	2500 +- 300 RPM
ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟ ΤΡΙΟΔΙΚΟ ΚΑΤΑΛΥΤΗ	CO [%]	< 0,5	< 0,3
	HC [ppm]	< 120	< 100
	λ	-	0,97 - 1,03
ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΡΥΘΜΙΣΤΟ ΤΡΙΟΔΙΚΟ ΚΑΤΑΛΥΤΗ	CO [%]	< 1,2	< 1
	HC [ppm]	< 220	< 200

Πίνακας 5: Όρια εκπομπών ρύπων οχημάτων καταλυτικής τεχνολογίας

Η τιμή του λ στον παραπάνω πίνακα αναφέρεται στον λόγο αέρα – καυσίμου. Αν η τιμή του λ είναι ίση με τη μονάδα έχουμε στοιχειομετρία, πτωχό σε καύσιμο μείγμα για τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, δηλαδή υπάρχει λιγότερο από το απαιτούμενο οξυγόνο για την καύση ενώ για τιμές μικρότερες έχουμε πλούσιο μείγμα.

Σε περίπτωση δειγματοληπτικού ελέγχου στο δρόμο βενζινοκίνητων και υγραεριοκίνητων οχημάτων καταλυτικής τεχνολογίας με ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα, οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ρύπων είναι αυξημένες, συγκριτικά με αυτές του πίνακα 5, κατά 0,1% για το μονοξείδιο του άνθρακα και κατά 10 ppm για τους υδρογονάνθρακες.

### 3.4.3 Πετρελαιοκίνητα οχήματα

Στα οχήματα με πετρελαιοκινητήρες, γίνεται έλεγχος της θολερότητας στα καυσαέρια. Έτσι, καθορίζονται συγκεκριμένα όρια εκπομπής θολερότητας με βάση έναν συντελεστή απορρόφησης  $k$ . Ο συντελεστής αυτός διαφοροποιείται αναλόγως του αν ο κινητήρας διαθέτει υπερπλήρωση ή όχι, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 6.

ΟΡΙΟ ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑΣ		
<b>ΜΕ ΦΥΣΙΚΗ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗ</b>	$k [m^{-1}]$	$< 2,5$
<b>ΜΕ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ</b>	$k [m^{-1}]$	$< 3,0$

Πίνακας 6: Όρια δείκτη θολερότητας για πετρελαιοκινητήρες οχημάτων

Για την μέτρηση της θολερότητας των καυσαερίων χρησιμοποιείται συγκεκριμένη μεθοδολογία με βάση την αρχή της φωτομετρικής απορρόφησης. Αρχικά, ο κινητήρας πρέπει να βρίσκεται στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του. Ελέγχεται το όχημα οπτικά και συγκεκριμένα το σύστημα ελέγχου εκπομπών καυσαερίων, προκειμένου να ελεγχθεί αν το όχημα διαθέτει τον απαιτούμενο εξοπλισμό και δεν έχει γίνει κάποια επέμβαση, όπως λχ. αφαίρεση φίλτρου μικροσωματιδίων DPF. Επίσης, γίνεται έλεγχος της τερματικής θέσης της πεταλούδας του γκαζιού, προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι δεν έχει γίνει επέμβαση με στόχο τον περιορισμό των μέγιστων στροφών του κινητήρα.

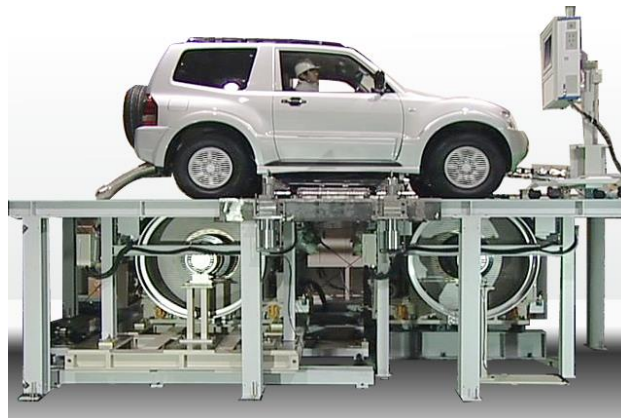
Η μέτρηση γίνεται επιταχύνοντας τον κινητήρα από κατάσταση βραδυπορίας (ρελαντί) και δίχως φορτίο, μέχρι το μέγιστο των στροφών που αποκόπτεται η παροχή καυσίμου. Αυτό συμβαίνει πατώντας γρήγορα το πεντάλ του γκαζιού μέχρι το τέρμα, δίχως βιαιότητα, για να επιτευχθεί η μέγιστη παροχή καυσίμου. Όταν ο κινητήρας φτάσει στο μέγιστο των στροφών του και επέμβει ο ρυθμιστής, το πεντάλ αφήνεται και ο κινητήρας επανέρχεται σε κατάσταση ρελαντί.

Η ως άνω διαδικασία επαναλαμβάνεται 3 φορές τουλάχιστον για τον καθαρισμό του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων και ενδεχόμενη ρύθμιση του οργάνου μέτρησης. Στη συνέχεια καταγράφονται οι μέγιστες τιμές του συντελεστή  $k$ , έως ότου βρεθούν 4 συνεχείς σταθερές τιμές, ήτοι να βρίσκονται εντός μιας περιοχής  $0,50 m^{-1}$ . Ο συντελεστής  $k$  προκύπτει ως η μέση τιμή των 4 αυτών μετρήσεων.

### 3.5 Κύκλοι οδήγησης

Όπως αναλύθηκε, τα οχήματα τα οποία κυκλοφορούν στο οδικό δίκτυο εκπέμπουν μια πληθώρα ρύπων, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητοι, χαρακτηριστικοί κάθε οχήματος και εξαρτώνται άμεσα από το περιβάλλον και τον τρόπο κίνησης του οχήματος. Για λόγους δημόσιας υγείας οι εκπομπές αυτές πρέπει να ελέγχονται και να εναρμονίζονται με συγκεκριμένα πρότυπα, όπως στην περίπτωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τα πρότυπα EURO.

Στην περίπτωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης λοιπόν, κάθε νέο όχημα απαιτείται να λάβει έγκριση τύπου, η οποία χαρακτηρίζει την κατηγορία του οχήματος, καθώς και έγκριση καυσαερίων, δηλαδή πιστοποίηση ότι εναρμονίζεται με τα αντίστοιχα πρότυπα. Εξαιτίας λοιπόν της μεταβλητής αυτής φύσης τους, οι εκπομπές ρύπων μετρούνται σε εργαστηριακές συνθήκες με πρότυπες διαδικασίες. Οι συνθήκες αυτές εξαρτώνται από την κείμενη νομοθεσία και για τα επιβατηγά οχήματα διεξάγονται σε δυναμόμετρα. Τα δυναμόμετρα αυτά μπορούν να ρυθμιστούν ούτως ώστε να μιμηθούν την αντίσταση κύλισης και την αεροδυναμική αντίσταση.



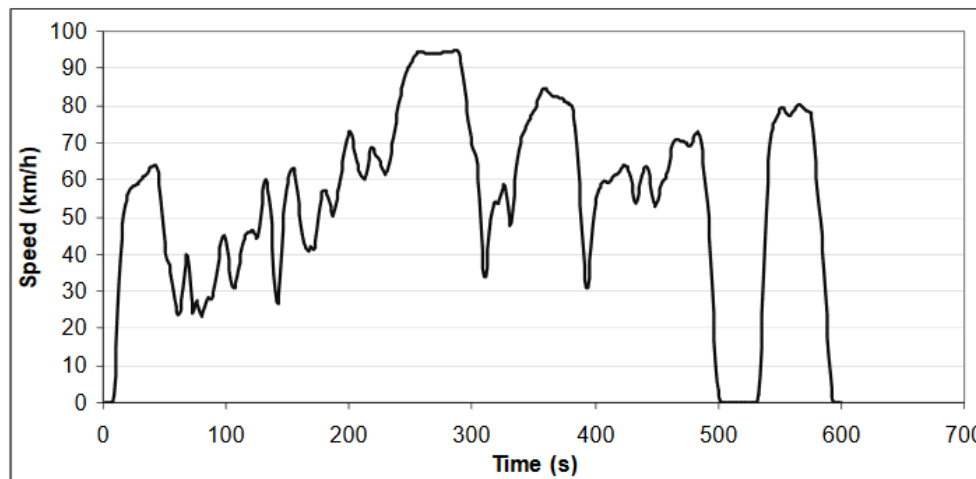
Εικόνα 12: Δυναμόμετρο οχημάτων

Συνεπώς, ένας κύκλος οδήγησης είναι μια προκαθορισμένη ακολουθία στην λειτουργία του οχήματος σε ένα δυναμόμετρο, το οποίο επιτρέπει την προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών σε ένα ελεγχόμενο και επαναλήψιμο περιβάλλον [26].

Είναι αντιληπτό ότι εξαιτίας του γεγονότος ότι οι εκπομπές ρύπων εξαρτώνται από πάρα πολλές παραμέτρους, όπως ενδεικτικά ο τύπος του οχήματος, η ταχύτητα αυτού, η σχέση μετάδοσης, το καύσιμο κ.α., υπάρχει σημαντική επίδραση του κύκλου οδήγησης στις εκπομπές. Για το λόγο αυτό υπάρχουν

δεκάδες διαφορετικοί κύκλοι οδήγησης. Εμείς θα επικεντρωθούμε στους κύκλους οδήγησης που εφαρμόζονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τα επιβατηγά οχήματα.

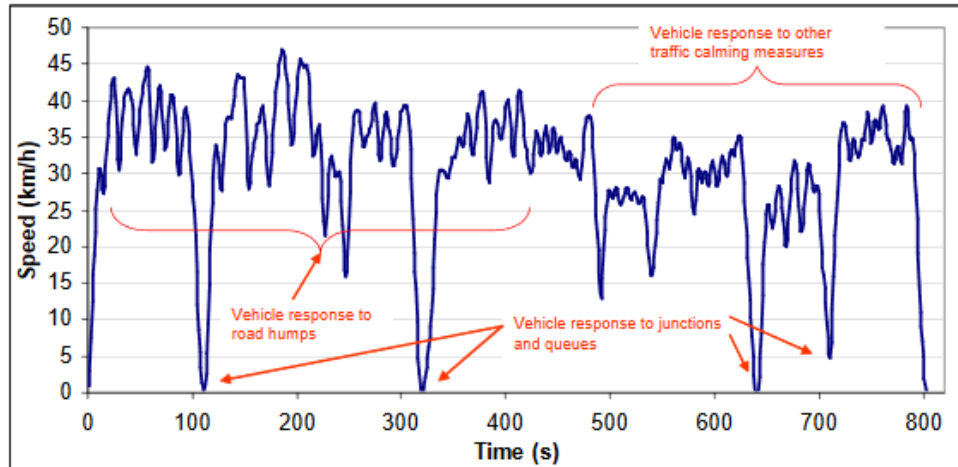
Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κύκλοι οδήγησης δε χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την μέτρηση των εκπομπών ρύπων, αλλά είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ενδεικτικά χρησιμοποιούνται κατά την ανάπτυξη οχημάτων, για την μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου, κατά την ανάπτυξη λιπαντικών και καυσίμων κτλ.



Εικόνα 13: Ενδεικτικό παράδειγμα κύκλου οδήγησης (WMTC p2)

Όπως ενδεικτικά αποτυπώνεται στην εικόνα 14 [26], η οποία δείχνει ένα παράδειγμα κύκλου οδήγησης, ένας κύκλος οδήγησης είναι ουσιαστικά η μεταβολή της ταχύτητας του οχήματος συναρτήσει του χρόνου, ούτως ώστε να προσομοιώνει τις απαιτούμενες συνθήκες κίνησης που επιθυμούμε. Το εύρος των μεταβολών αυτών, η κλίση των μεταβολών, ο χρόνος σε κάθε φάση, οι μέγιστες και ελάχιστες ταχύτητες καθώς και η περιοδικότητα αποτελούν χαρακτηριστικά του κάθε κύκλου.

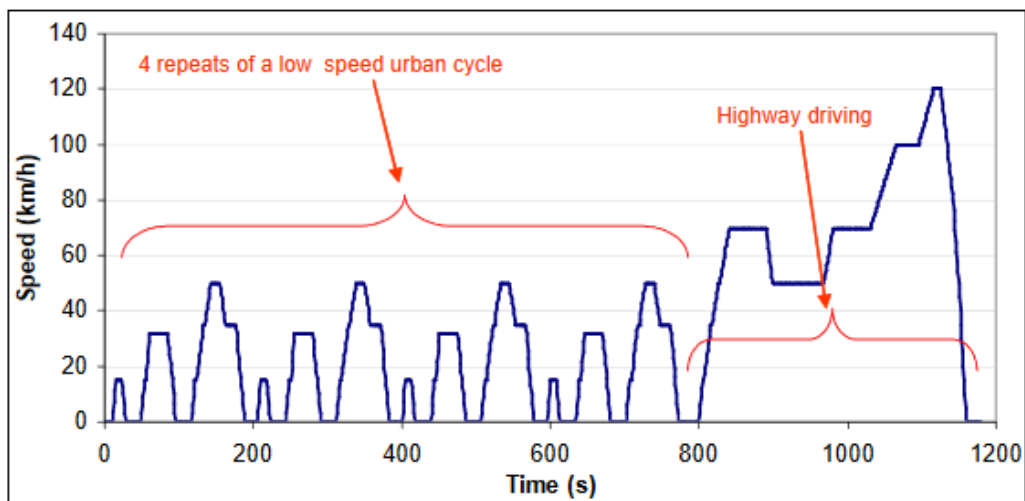
Κάθε κύκλος έχει μερικά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αρχικά, ο κύκλος μπορεί να είναι θεσμοθετημένος ή κύκλος οδήγησης πραγματικών συνθηκών. Οι κύκλοι πραγματικών συνθηκών αφορούν την διεξαγωγή μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες σε οδήγηση στο δρόμο [27]. Οι κύκλοι αυτοί χρησιμοποιούνται, ιδίως τα τελευταία χρόνια μετά την αποκάλυψη του σκανδάλου dieselgate, σαν εργαλείο ούτως ώστε να πιστοποιηθεί ότι τα οχήματα εναρμονίζονται με τις εκπομπές ρύπων κατά την πραγματική οδήγηση, όπως για παράδειγμα η διαδικασία Real Drive Emissions test (RDE) στον κύκλο WLTP. Όμως, νομική ισχύ έχουν μόνο οι θεσμοθετημένοι κύκλοι και δεν υποκαθίστανται, παρά μόνο λειτουργούν ως ένδειξη.



Εικόνα 14: Παράδειγμα ενός πραγματικών συνθηκών κύκλου οδήγησης

Ένα άλλο χαρακτηριστικό αποτελεί το αν ο κύκλος αφορά σταθερή κατάσταση (steady-state) ή μεταβλητό φορτίο (transient cycle). Στους κύκλους σταθερής κατάστασης μετράται η συμπεριφορά του οχήματος σε κάποια σταθερή ταχύτητα ενώ στους κύκλους μεταβλητών φορτίων έχουμε μίξη διαφορετικών ταχυτήτων. Ομοίως, ένα ακόμα παρόμοιο χαρακτηριστικό είναι η οδήγηση σε συνθήκες πόλης ή συνθήκες αυτοκινητοδρόμου, με τους κύκλους πόλης να αποτελούνται από μεταβλητό φορτίο και την οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο από συνθήκες σταθερής κατάστασης.

Τέλος, τελευταίο σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί η περιοδικότητα και η μίξη. Περιοδικότητα σημαίνει πόσες φορές επαναλαμβάνεται μια συγκεκριμένη διαδικασία, όπως λχ. η οδήγηση εντός πόλης, και η μίξη αφορά την ύπαρξη διαφορετικών «υποκύκλων» μέσα στον ίδιο κύκλο.

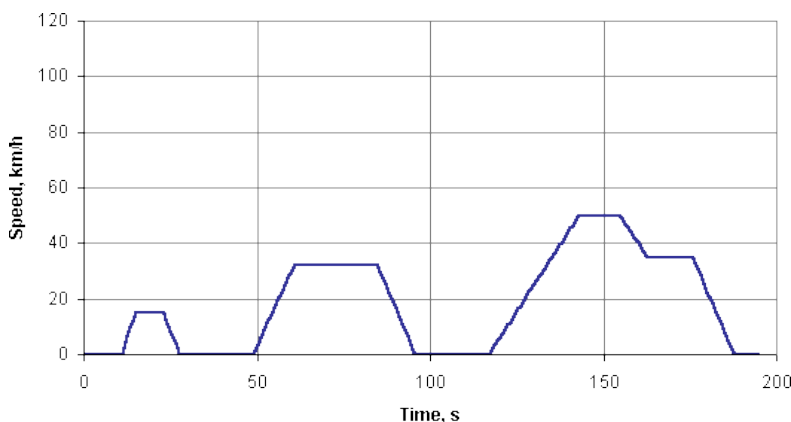


Εικόνα 15: Ο κύκλος NEDC

### 3.5.1 Ο κύκλος ECE-15 (UDC)

Το 1968 η Γερμανία έλαβε μέτρα ενάντια στη ρύπανση που προκαλείται από τα οχήματα θεσμοθετώντας περιορισμούς στις εκπομπές οχημάτων με σπινθηριστές, οι οποίοι θα είχαν ισχύ από 1 Οκτωβρίου του 1970. Μπροστά στον κίνδυνο να υπάρξει διαφορετικό θεσμικό πλαίσιο ανά χώρα σχετικά με την κυκλοφορία οχημάτων ανάμεσα σε μέλη της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας (ΕΟΚ), το οποίο θα αποτελούσε πλήγμα για την κοινή αγορά, όλα τα κράτη μέλη έλαβαν μέτρα προκειμένου να υπάρχει μια κοινή γραμμή με την οδηγία 70/220/EEC.

Την 1 Αυγούστου του 1970 η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UN-ECE) ψήφισε τον κανονισμό Νο 15, ο οποίος αφορούσε τη μεθοδολογία ελέγχου της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων. Η νομοθεσία αυτή εισήχθη στην Ευρώπη το 1983 με την οδηγία 83/351/EEC και αναθεωρήθηκε το 1988 με την οδηγία 88/76/EEC.



Εικόνα 16: Ο κύκλος ECE-15

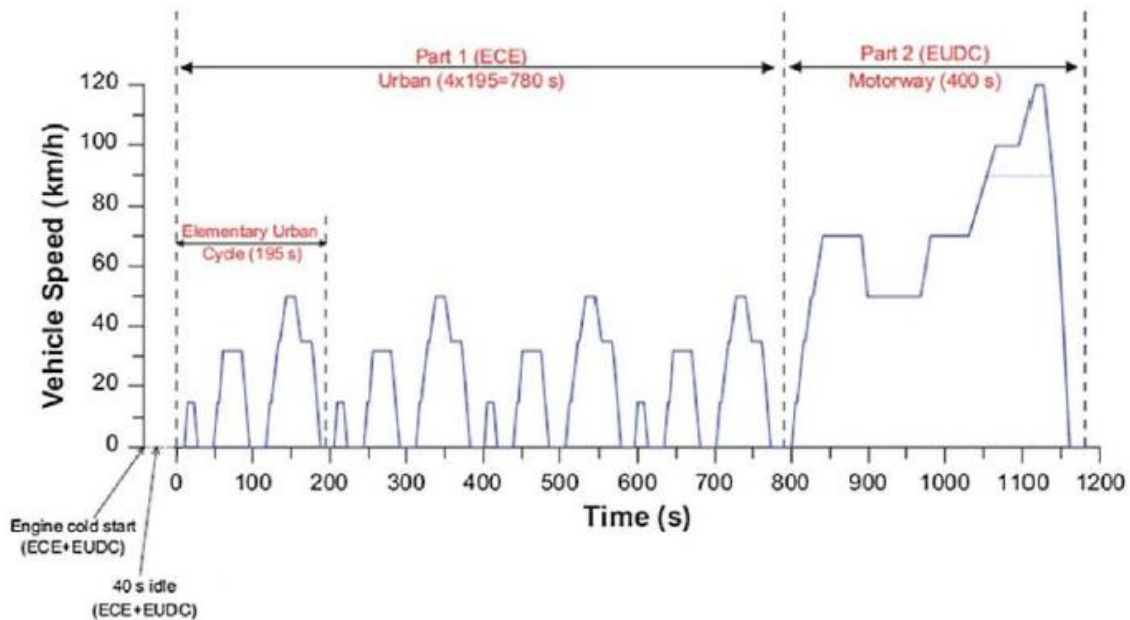
Ο κύκλος ECE-15, όπως αποτυπώνεται στην εικόνα 17, αποτελεί έναν αστικό κύκλο οδήγησης (Urban Driving Cycle), ο οποίος σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει τις συνθήκες οδήγησης εντός πόλεως και χαρακτηρίζεται από χαμηλή ταχύτητα οχήματος, χαμηλό φορτίο κινητήρα και χαμηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται διαδοχικά τρεις φορές.

### 3.5.2 Ο κύκλος ECE + EUDC

Ο κύκλος αυτός, ο οποίος είναι γνωστός και ως MVEG-A, ξεκίνησε να ισχύει από το 1992, με την οδηγία 90/C81/01 και ταυτόχρονα με το πρότυπο EURO 1, αποτελείται από τους 4 κύκλους ECE-15 που ίσχυαν και προηγουμένως αλλά με την προσθήκη ενός ακόμα τμήματος, διάρκειας 400 δευτερολέπτων, το οποίο είναι σχεδιασμένο να προσομοιώνει τις συνθήκες οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο.

Πριν από την εκτέλεση της διαδικασίας, το όχημα εκτίθεται σε θερμοκρασία 20 έως 30°C για τουλάχιστον 6 ώρες. Στην συνέχεια ο κινητήρας ξεκινάει και αφήνεται στο ρελαντί για 40 δευτερόλεπτα και ξεκινάει η διαδικασία. Η δειγματοληψία των μετρήσεων ξεκινάει μετά τα 40 δευτερόλεπτα του ρελαντί.

Στην περίπτωση οχημάτων χαμηλής ισχύος, η μέγιστη αναπτυσσόμενη ταχύτητα κατά τη διάρκεια του κύκλου EUDC περιορίζεται στα 90 km/h.

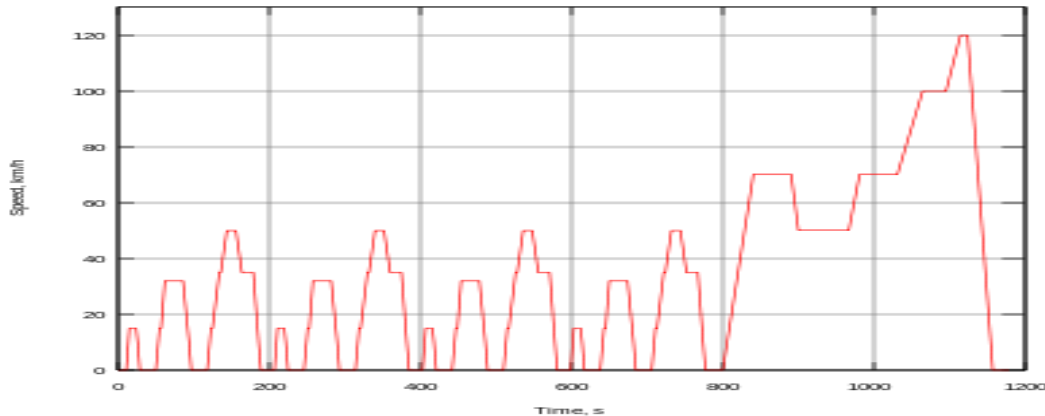


Εικόνα 17: Ο κύκλος ECE + EUDC



### 3.5.3 Ο κύκλος NEDC

Ο κύκλος NEDC (new European Driving Cycle) [28], γνωστός και ως MVEG, οριστικοποιήθηκε το 1997, με την προσθήκη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, και ίσχυσε από το 2000 και την 1 Σεπτεμβρίου του 2019. Πρόκειται κατ' ουσία για μια μικρή τροποποίηση του κύκλου ECE + EUDC αφού απλώς αφαιρεί τα 40 δευτερόλεπτα του ρελαντί του κινητήρα πριν την έναρξη της διαδικασίας.



Εικόνα 18: Ο κύκλος NEDC

Ο κύκλος NEDC χαρακτηρίζεται από μέση ταχύτητα 34 km/h, ομαλές επιταχύνσεις, οι στάσεις είναι λίγες και παρατεταμένες και η μέγιστη ταχύτητα είναι 120 km/h. Η απόσταση που καλείται να διανύσει το όχημα κατά τη διάρκεια του κύκλου είναι περίπου 11 km.

Ο συγκεκριμένος κύκλος τις περίπου 2 δεκαετίες που χρησιμοποιήθηκε δέχθηκε αρκετή κριτική. Η αλήθεια είναι ότι αυτός ο κύκλος οριστικοποιήθηκε πολύ παλιά, όταν τα οχήματα ήταν ελαφρύτερα και αρκετά πιο ανίσχυρα, με αποτέλεσμα να απαιτεί πολύ ομαλές επιταχύνσεις από ότι σε πραγματικές συνθήκες για τα σύγχρονα οχήματα. Επίσης, σύμφωνα με αρκετούς επικριτές του [29], δεν διαθέτει αρκετά μεγάλο διάστημα οδήγησης σε συνθήκες αυτοκινητοδρόμου, οι κατασκευαστές μπορούν να επηρεάσουν την αεροδυναμική του αυτοκινήτου για καλύτερη αεροδυναμική συμπεριφορά, λχ. αφαιρώντας τους καθρέπτες και τις ράγες οροφής ή να μειώσουν την αντίσταση κύλισης με πολύ φουσκωμένα ελαστικά.

Ακόμα, το γεγονός ότι διαθέτει ιδιαίτερα σταθερές ταχύτητες και σημεία αλλαγής ταχυτήτων δίνει τη δυνατότητα σε κατασκευαστές να βελτιστοποιήσουν τη συμπεριφορά του οχήματος σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας, τα οποία δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα ή ακόμα και να χρησιμοποιήσουν ειδικές χαρτογραφίες οικονομίας, τις οποίες ο οδηγός δεν θα χρησιμοποιήσει στην πραγματικότητα.

Στον πίνακα 4 που ακολουθεί παρατίθενται ορισμένα χαρακτηριστικά των κύκλων που προαναφέρθηκαν για σύγκριση.

<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Μονάδες</b>	<b>ECE 15</b>	<b>EUDC</b>	<b>NEDC</b>
Απόσταση	km	0.9941	6.9549	10.9314
Ολικός χρόνος	s	195	400	1180
Ακίνησια	s	57	39	267
Μέση ταχύτητα με στάσεις	km/h	18.35	62.59	33.35
Μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις	km/h	25.93	69.36	43.10
Μέγιστη ταχύτητα	km/h	50	120	120
Μέση επιτάχυνση	m/s <sup>2</sup>	0.599	0.354	0.506
Μέγιστη επιτάχυνση	m/s <sup>2</sup>	1.042	0.833	1.042

**Πίνακας 7: Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ ευρωπαϊκών κύκλων οδήγησης**

### 3.5.4 Ο κύκλος WLTP

Ο κύκλος WLTP (World harmonized Light-duty vehicles test Procedure) είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο κύκλου το οποίο έχει στόχο την μέτρηση των ρύπων, διοξειδίου του άνθρακα και κατανάλωσης καυσίμου τόσο σε συμβατικά όσο και υβριδικά ή αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Ο σχεδιασμός του έγινε με κύριο γνώμονα την όσο το δυνατόν καλύτερη συσχέτιση των εργαστηριακά μετρούμενων τιμών με την οδήγηση σε πραγματικές συνθήκες.

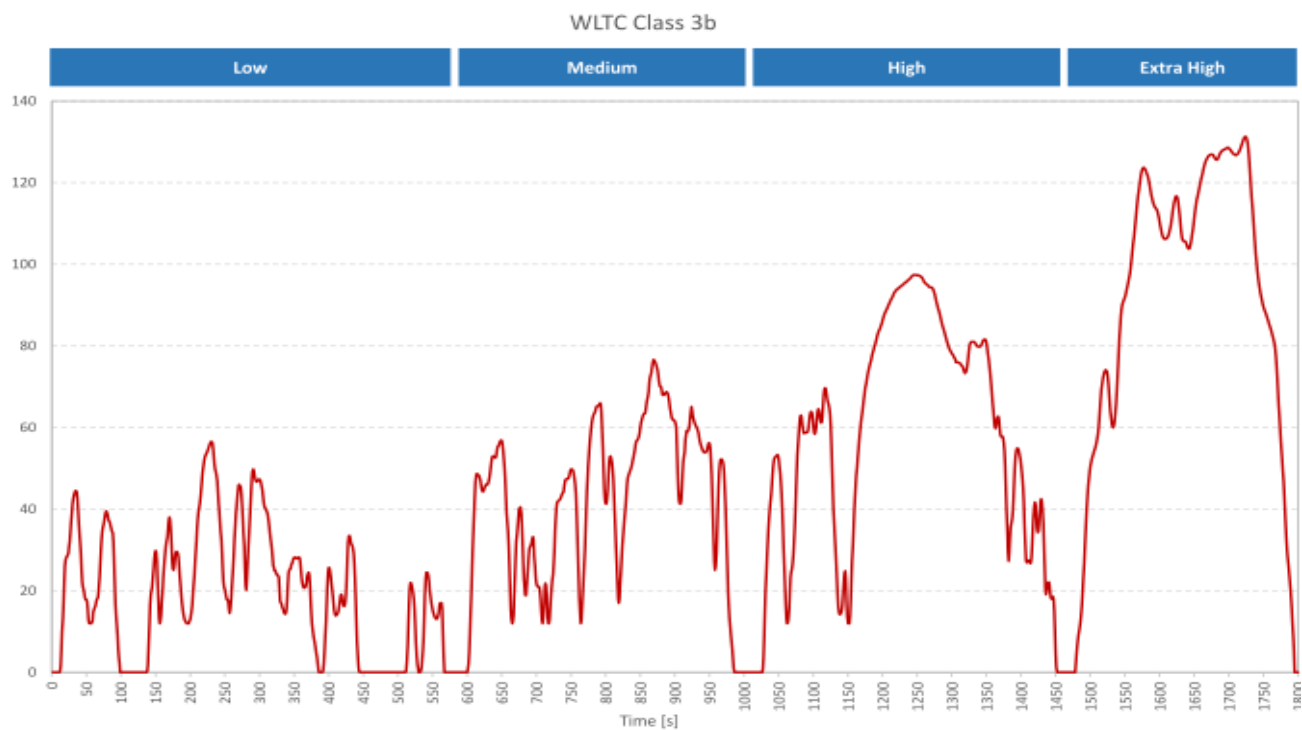
Η τελική έκδοση του κύκλου οριστικοποιήθηκε το 2015. Εκτός από τις χώρες τις ευρωζώνης, χρησιμοποιείται και στην Ινδία, την Νότιο Κορέα και την Ιαπωνία αλλά και σε άλλες ακόμα χώρες. Ειδικότερα στην Ευρώπη, συσχετίζεται με τον κανονισμό EC 2009/443 για την μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τους Ευρωπαίους κατασκευαστές οχημάτων.

Το νέο αυτό πρότυπο, όπως προαναφέρθηκε, έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικό των πραγματικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό, διαρκεί 10 λεπτά περισσότερο από τον κύκλο NEDC, έχει πιο δυναμικό προφίλ ταχύτητας, μεγαλύτερες επιταχύνσεις και μικρότερα διαστήματα στάσης. Η μέση ταχύτητα είναι 46.5 km/h ενώ η μέγιστη 131.3 km/h. Η απόσταση που διανύεται είναι 23.25 km, υπερδιπλάσια του κύκλου NEDC. Άλλες βασικές διαφορές είναι [30]:

- Μεγάλο εύρος συνθηκών οδήγησης
- Μεγαλύτερη μέση και μέγιστη ισχύς του κινητήρα
- Ισχυρότερες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις
- Ο εξοπλισμός του οχήματος δοκιμάζεται ξεχωριστά

Ο κύκλος αυτός διαθέτει τρεις κλάσεις, ανάλογα με το λόγο ισχύος προς βάρος του οχήματος. Για τα συνήθη επιβατηγά οχήματα ισχύει η κλάση 3, δηλαδή οχήματα με πάνω από 34 W/kg σχετική ισχύ.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 20 που ακολουθεί και αποτυπώνει τον κύκλο, αυτός αποτελείται από 4 διακριτά υπομήματα με διαφορετικές μέγιστες ταχύτητες, τα οποία είναι σχεδιασμένα να προσομοιάζουν σε συνθήκες αστικού, ημιαστικού, εκτός πόλης και αυτοκινητοδρόμου αντίστοιχα.



Εικόνα 19: Ο κύκλος WLTC (κλάση 3)

	Low	Medium	High	Extra high	Σύνολο	NEDC
Διάρκεια, s	589	433	455	323	1800	1180
Διάρκεια στάσεων, s	150	49	31	8	235	267
Απόσταση, m	3095	4756	7162	8254	23266	10.9314
% στάσεων	26.5%	11.1%	6.8%	2.2%	13.4%	
Μέγιστη ταχύτητα, km/h	56.5	76.6	97.4	131.3		120
Μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις, km/h	25.3	44.5	60.7	94.0	53.5	33.35
Μέση ταχύτητα με στάσεις, km/h	18.9	39.4	56.5	91.7	46.5	43.10
Ελάχιστη επιτάχυνση, m/s <sup>2</sup>	-1.5	-1.5	-1.5	-1.44		
Μέγιστη επιτάχυνση, m/s <sup>2</sup>	1.611	1.611	1.666	1.055		1.042

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC και σύγκριση με NEDC

Με την εφαρμογή του WLTC, οι τιμές εκπομπών για το ίδιο όχημα διαφέρουν πλέον από αυτές του κύκλου NEDC, συνήθως ως προς το χειρότερο, όπως και η αυτονομία ή η κατανάλωση καυσίμου. Εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται και για τον υπολογισμό της φορολογίας οχημάτων σε πολλές χώρες, προέκυψαν διάφορα προβλήματα κατά την εφαρμογή του, διαστήματα προσαρμογής και τροποποιήσεις νομοθετικών πλαισίων. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα η φορολογία για τα οχήματα κύκλου WLTC είναι μικρότερη, για να αντισταθμίσει τις υψηλότερες τιμές διοξειδίου του άνθρακα. Στο Ηνωμένο Βασίλειο οι παλαιότερες τιμές μεταφράστηκαν σε ισοδύναμες του νέου κύκλου.

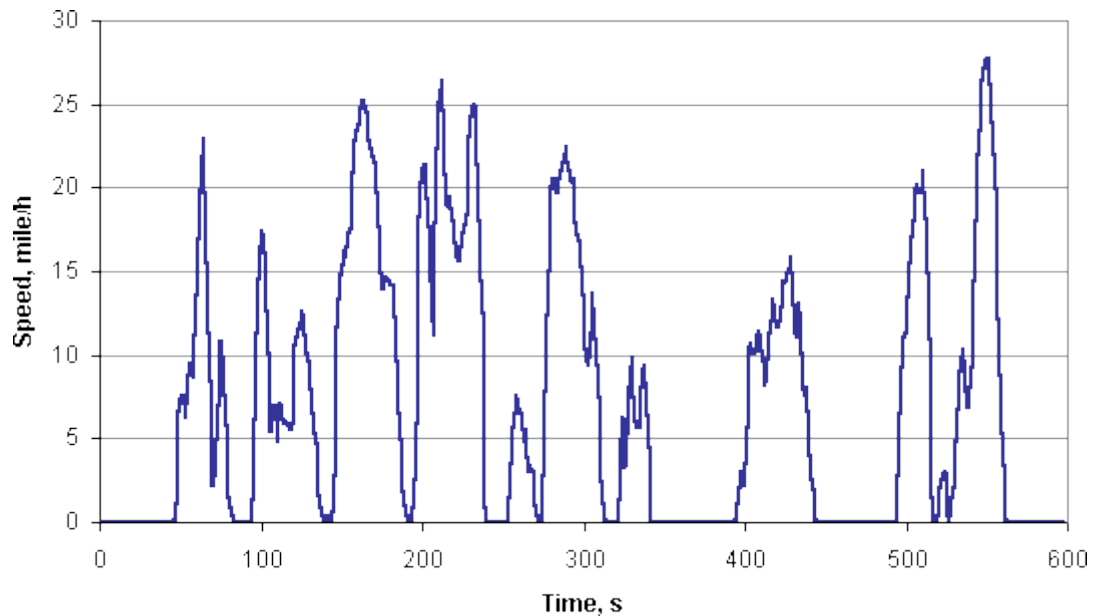
Τέλος, μία άλλη προσθήκη του κύκλου WLTC, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, είναι η προσθήκη μιας δοκιμής πραγματικών συνθηκών, γνωστή ως RDE (Real Drive Emissions test). Η δοκιμή αυτή δεν έχει δεσμευτικό – νομικό χαρακτήρα, παρά μόνο η εργαστηριακή, εντούτοις χρησιμοποιείται για να επιβεβαιώσει ότι το όχημα εναρμονίζεται με τις εκπομπές και σε πραγματικές συνθήκες και δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση, η οποία θα μπορούσε να υποδηλώσει προσπάθεια αλλοίωσης των αποτελεσμάτων [31]. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με ειδικές συσκευές οι οποίες ονομάζονται Φορητά Συστήματα Μέτρησης Εκπομπών (Portable Emissions Measurement Systems – PEMS).



Εικόνα 20: Μετρήσεις PEMS

### 3.6 Κύκλος EPA New York City Cycle

Ο κύκλος EPA (Environment Protection Agency) NYCC είναι ένας κύκλος ο οποίος αναπτύχθηκε για την προσομοίωση των οδηγικών συνθηκών σε αστικές πόλεις, ήτοι χαμηλές ταχύτητες και συχνές στάσεις. Πραγματοποιείται σε δυναμομετρική εξέδρα και αφορά ελαφρά οχήματα.



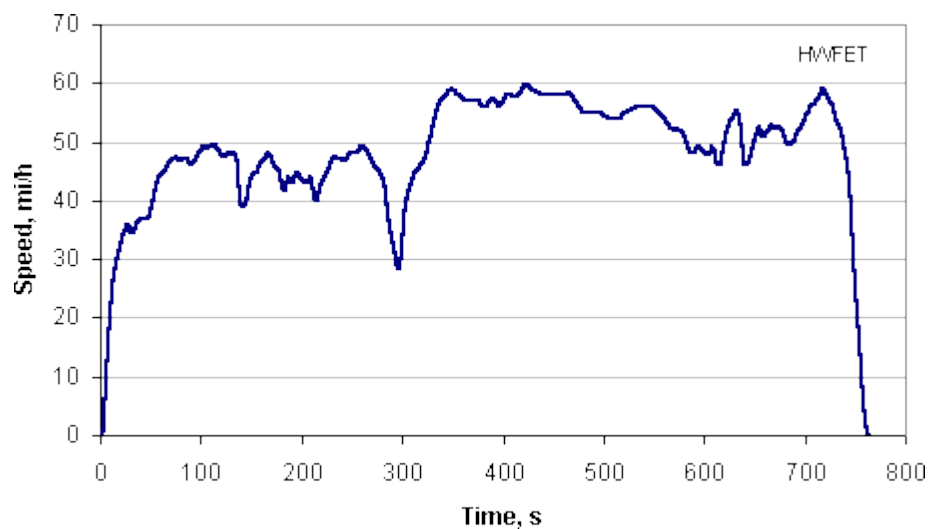
Εικόνα 21: Ο κύκλος EPA NYCC

Μερικά από τα βασικά στοιχεία του κύκλου αυτού είναι:

- Διάρκεια: 598 δευτερόλεπτα
- Απόσταση: 1.89 km
- Μέση ταχύτητα: 11.4 km/h
- Μέγιστη ταχύτητα: 44.6 km/h
- Ποσοστό χρόνου οδήγησης: 68%
- Αριθμός στάσεων: 7

### 3.7 Ο κύκλος EPA Highway Fuel Economy Test

Ο κύκλος EPA HWFET είναι ένας κύκλος που διενεργείται σε δυναμομετρική εξέδρα και αναπτύχθηκε από την US EPA για τον προσδιορισμό της οικονομίας καυσίμου ελαφρών οχημάτων σε συνθήκες αυτοκινητοδρόμου. Για συνθήκες πόλεως, η κατανάλωση καυσίμου προσδιορίζεται με τον κύκλο FTP-75. Ο κύκλος διενεργείται δύο φορές με μέγιστο διάλειμμα 17 δευτερολέπτων μεταξύ αυτών. Η πρώτη μέτρηση αφορά την προετοιμασία του οχήματος και η δεύτερη αφορά τις μετρήσεις ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου.



Εικόνα 22: Ο κύκλος EPA HWFET

Μερικές βασικές παράμετροι του κύκλου αυτού είναι:

- Διάρκεια: 765 δευτερόλεπτα
- Απόσταση: 16.45 km
- Μέση ταχύτητα: 77.7 km/h
- Μέγιστη ταχύτητα: 100 km/h

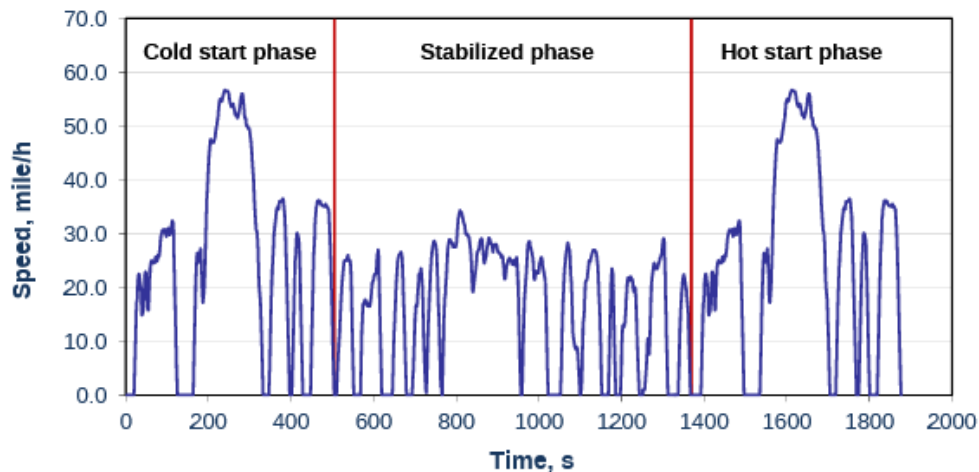
### 3.8 Ο κύκλος FTP-75

Ο κύκλος FTP-75 (Federal Test Procedure), γνωστός και ως ADR 37 στην Αυστραλία, χρησιμοποιήθηκε κατά το παρελθόν για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων στην Αμερική.

Όπως και ο κύκλος FTP-72, έτσι και ο FTP-75 αποτελεί τροποποίηση του EPA UDDS. Αποτελείται από τρεις φάσεις, με την Τρίτη φάση να διενεργείται αφού το όχημα και ο κινητήρας σταματήσουν για 10 λεπτά.

1. Μεταβατική φάση (εκκίνηση από θερμοκρασία περιβάλλοντος 20-30°C), 0-505 sec
2. Φάση σταθεροποίησης, 506-1372 sec
3. Ακινησία για 540 έως 660 sec
4. Μεταβατική θερμή φάση, 505 sec

Οι εκπεμπόμενοι ρύποι και από τις τρεις φάσεις κίνησης του οχήματος συλλέγονται σε διαφορετικές σακούλες και αναλύονται. Οι συντελεστές στάθμισης για τις τρεις φάσεις είναι 0.43, 1 και 0.57 αντίστοιχα.



Εικόνα 23: Ο κύκλος FTP-75

Μερικές βασικές παράμετροι είναι:

- Διάρκεια: 1877 sec
- Απόσταση: 17.77 km
- Μέση ταχύτητα: 34.12 km/h
- Μέγιστη ταχύτητα: 91.25 km/h



# 4

## *Μετρήσεις με χρήση δυναμομετρικής εξέδρας*

### **4.1 Η δυναμομετρική εξέδρα**

Η δυναμομετρική εξέδρα [32] είναι ένα είδος μηχανολογικού εξοπλισμού το οποίο χρησιμοποιεί μια διάταξη από ρολά ή από σύστημα που αντικαθιστά τους τροχούς του οχήματος με στόχο να προσομοιώσει τις διαφορετικές οδικές συνθήκες εντός ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος και χρησιμοποιείται για πληθώρα διαφορετικών δοκιμών επί οχημάτων.

Ανάλογα με το είδος των δοκιμών που επιτελούνται σε αυτές, υπάρχουν διάφοροι τύποι δυναμομετρικών εξεδρών:

- Δυναμομετρικές εξέδρες μέτρησης εκπομπών ρύπων
- Αντοχής οχημάτων
- Μέτρησης θορύβου – ταλαντώσεων – συμπεριφοράς ανάρτησης
- Ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας
- Μέτρησης επιδόσεων

Επιπροσθέτως, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν:

- Επαγωγικών ρευμάτων
- Υδραυλικών τριβών
- Τριβής
- Ηλεκτροκινητήρα/γεννήτριας

### **4.2 Τρόπος λειτουργίας**

Αρχικά, το όχημα τοποθετείται επί της δυναμομετρικής εξέδρας με τους τροχούς ανάμεσα στα ειδικά ρολά αυτής ή προσδένοντας την ειδική συσκευή στη θέση των κινητήριων τροχών.

Επειδή η δυναμομετρική εξέδρα παρέχει τη δυνατότητα δοκιμών σε απόλυτα ελεγχόμενο περιβάλλον, παράμετροι όπως ο άνεμος, η αντίσταση κύλισης λόγω βάρους και τριβών ή το φορτίο λόγω

υπομετρικών διαφορών δεν λαμβάνονται υπόψη. Έτσι, υπάρχουν ειδικές διατάξεις προσομοίωσης των μεταβλητών αυτών και συγκεκριμένα:

- Σύστημα σφονδύλων για την προσομοίωση της μάζας του οχήματος, με δυνατότητα ελέγχου του βάρους ανά 125 lbs
- Γεννήτρια/ηλεκτροκινητήρας για την επιβολή μεταβλητού φορτίου, είτε θετικού είτε αρνητικού
- Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου της δυναμομετρικής εξέδρας και ρύθμισης παραμέτρων
- Οθόνη προβολής δεδομένων οχήματος και ισχύος

Σύγχρονες δυναμομετρικές εξέδρες λαμβάνουν δεδομένα από πραγματικές δοκιμές για να εξάγουν φορτία αντίστασης ανέμου και κύλισης που αντιπροσωπεύουν καλύτερα το κάθε όχημα. Αυτό γίνεται μέσω δοκιμών του οχήματος σε εξωτερικό περιβάλλον σε δρόμο δίχως κλίση και άνευ ανέμου. Έπειτα, το όχημα επιβραδύνει δίχως φορτίο ανάμεσα σε συγκεκριμένες ταχύτητες. Από τα αποτελέσματα αυτά, η μονάδα ελέγχου της εξέδρας εξάγει μόνη της τα κατάλληλα φορτία για κάθε ταχύτητα κίνησης του οχήματος, παρέχοντας παράλληλα τη δυνατότητα περαιτέρω ελέγχου επί των φορτίων.



Εικόνα 24: Δυναμομετρική εξέδρα για τετρακίνητα οχήματα

### 4.3 Η δειγματοληψία σταθερού όγκου (CVS)

Η δειγματοληψία σταθερού όγκου είναι η ενδεδειγμένη διαδικασία δειγματοληψίας και η μόνη αποδεκτή στο θεσμικό πλαίσιο για την Ευρώπη, τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία.

Για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων, επειδή είναι πρακτικά αδύνατο να αναλυθεί όλος ο όγκος καυσαερίου που εκπέμπει ένα όχημα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου οδήγησης, είναι πολύ σημαντικό να ελέγχεται απόλυτα η ροή καυσαερίου που θα αναλυθεί. Για να εξασφαλισθεί αυτό, υπάρχουν δύο μέθοδοι δειγματοληψίας καυσαερίων.

Η πρώτη γίνεται με τη χρήση ενός σωλήνα venturi. Ο σωλήνας αυτός, με τη χρήση κατάλληλου ανεμιστήρα, απορροφά ανά πάσα χρονική στιγμή σταθερή ποσότητα καυσαερίων, εξασφαλίζοντας έτσι σταθερό όγκο καυσαερίων.

Η δεύτερη μέθοδος είναι μέσω της χρήσης ειδικού συμπιεστή με περιστροφικό έμβολο. Σε κάθε περιστροφή το έμβολο αφαιρεί δεδομένο όγκο, συνεπώς εξασφαλίζεται έτσι η σταθερή παροχή, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία).



Εικόνα 25: Εργαστήριο μέτρησης εκπομπών

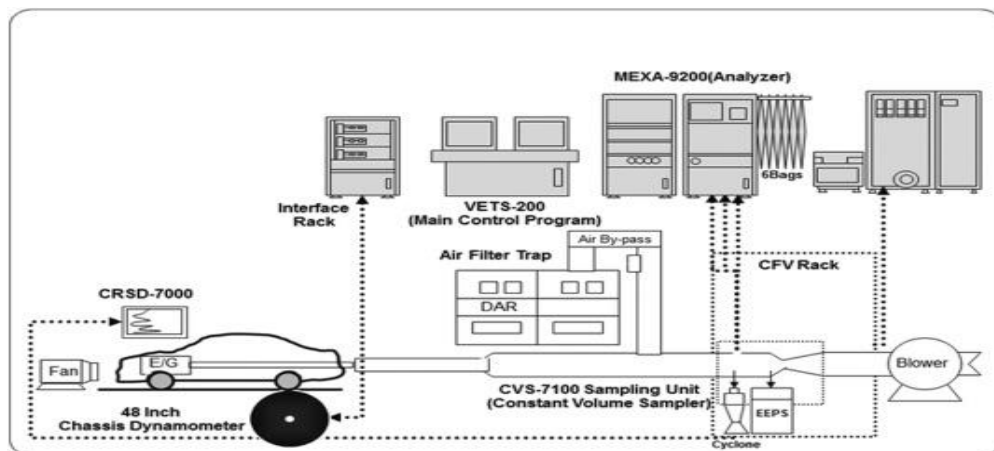
Ο παραπάνω σταθερός όγκος καυσαερίου οδηγείται σε ειδική διάταξη στην οποία αραιώνεται με κατάλληλη ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα, ανάμεσα σε 8:1 έως 10:1. Αυτό συμβαίνει διότι αφενός

θέλουμε η συγκέντρωση των μετρούμενων στοιχείων να είναι εντός των ορίων ανίχνευσης των μηχανημάτων, αφετέρου όμως επειδή τα καυσαέρια πρέπει να ψυχθούν σε δεδομένη θερμοκρασία πριν την μέτρηση, θα υπήρχαν θέματα συμπύκνωσης αν δεν γίνει αραίωσή τους. Η συμπύκνωση των υδρατμών στο δείγμα των καυσαερίων επηρεάζει σημαντικά τις συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου και επιπροσθέτως οδηγεί σε αντιδράσεις μεταξύ των διαφόρων συστατικών των καυσαερίων. Έχει όμως ως μειονέκτημα και αποτέλεσμα την ανάγκη χρήσης ευαίσθητων οργάνων μέτρησης με στενά όρια ανίχνευσης.

Από το παραπάνω μείγμα, αντλείται συνεχώς σταθερή ποσότητα η οποία και αποθηκεύεται σε σάκους συλλογής. Ομοίως, για να εξασφαλισθεί ότι δεν υπάρχει αλλοίωση των αποτελεσμάτων από τον ατμοσφαιρικό αέρα που χρησιμοποιείται για την αραίωση, λαμβάνεται συνεχώς δείγμα και από αυτόν και αποθηκεύεται σε αντίστοιχους σάκους συλλογής για ανάλυση.

Γενικά, το σύστημα μέτρησης καυσαερίων με δειγματοληψία υπό σταθερό όγκο αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Σωλήνα συλλογής καυσαερίων από την εξάτμιση
- Συσκευή λήψης αέρα και αραίωσης καυσαερίων
- Μονάδα δειγματοληψίας και ανάμειξης
- Αντλία
- Μονάδα θερμικής επεξεργασίας
- Σύστημα εξαγωγής αραιωμένων καυσαερίων στην ατμόσφαιρα
- Σωληνώσεις μεταφοράς καυσαερίων
- Σάκους συλλογής
- Μετρητικές διατάξεις



Εικόνα 26: Ολοκληρωμένο σύστημα μέτρησις MEXA

## 4.4 Ολοκληρωμένα συστήματα δειγματοληψίας και ανάλυσης

Για την εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας, υπάρχουν στην αγορά ειδικά συστήματα από διάφορους κατασκευαστές διεθνώς. Η αρχή λειτουργίας είναι όμως η ίδια.

Καταρχάς, όλα τα συστήματα ανάλυσης επιτυγχάνουν συνεχή και ταυτόχρονη μέτρηση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων του οχήματος. Οι ρύποι που μετρούνται είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), οι υδρογονάνθρακες (HC) και το οξυγόνο (O<sub>2</sub>).

Τα συστήματα αυτά διαθέτουν κατάλληλο λογισμικό το οποίο διαθέτει τους θερμοθετημένους κύκλους οδήγησης, επιτρέποντας παράλληλα την εισαγωγή νέων κύκλων. Είναι συνδεδεμένα με τη δυναμομετρική εξέδρα για την απεικόνιση των δεδομένων του οχήματος καθώς και με τους αναλυτές καυσαερίων για έλεγχο της διαδικασίας δειγματοληψίας.

Ο κύκλος οδήγησης ακολουθείται είτε αυτόματα σε ορισμένα σύγχρονα συστήματα, είτε συνήθως από τον οδηγό του οχήματος ο οποίος διαθέτει οθόνη όπου μπορεί να βλέπει τον κύκλο, την ταχύτητα του οχήματος και την ταχύτητα στόχο κάθε χρονική στιγμή.

## 4.5 Υπολογισμός εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου

Σύμφωνα με την οδηγία 70/220/ΕΟΚ, ο τρόπος και οι σχέσεις υπολογισμού των αέριων ρύπων ορίζονται ρητά μέσω ειδικών μαθηματικών σχέσεων που αντλούν δεδομένα από τον εξοπλισμό.

Η μάζα των ρύπων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_i = \frac{(V_{mix} * Q_i * C_i * 10^{-6})}{d}$$

Όπου:

M<sub>i</sub> Η εκπεμπόμενη μάζα του ρύπου i σε g/km

V<sub>mix</sub> Ο όγκος των αραιωμένων καυσαερίων σε lt/δοκιμή, σε κανονικές συνθήκες (STP)

Q<sub>i</sub> Η πυκνότητα του ρύπου σε g/lt υπό κανονικές συνθήκες

C<sub>i</sub> Η συγκέντρωση του ρύπου σε ppm στα αραιωμένα καυσαέρια και σύμφωνα με την ποσότητα του ρύπου που περιέχεται στον αέρα αραιώσης

d Η διανυθείσα απόσταση σε km για τον δεδομένο κύκλο οδήγησης

Για τον υπολογισμό του όγκου των αραιωμένων καυσαερίων ισχύει η σχέση:

$$V = V_0 * N$$

Όπου:

- V Ο συνολικός όγκος των καυσαερίων (πριν την διόρθωση)
- V<sub>0</sub> Ο όγκος σε λίτρα ανά στροφή που διακινείται από την αντλία θετικής μετατόπισης
- N Ο αριθμός περιστροφών της αντλίας κατά την δοκιμή

Η αναγωγή του όγκου των αραιωμένων καυσαερίων σε STP συνθήκες σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_{mix} = \frac{V * K_1 * (P_B - P_1)}{T_p}$$

Όπου:

- K<sub>1</sub> Ο λόγος θερμοκρασίας/πίεσης σε STP (273.15K / 101.33 kPa)
- P<sub>B</sub> Η βαρομετρική πίεση σε kPa κατά τη δοκιμή
- P<sub>1</sub> Η πίεση στην είσοδο της αντλίας θετικής μετατόπισης
- T<sub>p</sub> Η μέση θερμοκρασία σε K των αραιωμένων καυσαερίων που εισέρχονται στην αντλία κατά τη δοκιμή

Η διόρθωση των ρύπων με βάση τους περιεχόμενους ρύπους στον ατμοσφαιρικό αέρα αραιώσης:

$$C_i = C_e - \left[ C_d * \left( 1 - \frac{1}{DF} \right) \right]$$

Όπου:

- C<sub>i</sub> Η διορθωμένη συγκέντρωση του ρύπου i στα αραιωμένα καυσαέρια
- C<sub>d</sub> Η μετρούμενη συγκέντρωση του ρύπου στον αέρα αραιώσης
- DF Ο συντελεστής αραιώσης

Ο συντελεστής αραιώσης υπολογίζεται ως:

$$DF = \frac{13.4}{[CO_2 + (HC + CO) * 10^{-4}]}$$

Όπου:

- CO<sub>2</sub> Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στα αραιωμένα καυσαέρια σε % κατ' όγκον
- HC Η συγκέντρωση υδρογονανθράκων στα καυσαέρια σε ppm

CO Η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα στα αραιωμένα καυσαέρια σε ppm

Επιπροσθέτως, λόγω της επίδρασης της υγρασίας στα οξείδια του αζώτου απαιτείται κάποιος συντελεστής διόρθωσης. Παρ' όλο που οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε χώρο που οι κλιματικές συνθήκες ελέγχονται, υπάρχει απόκλιση στην υγρασία. Η διόρθωση υπολογίζεται ως:

$$KH = \frac{1}{[1 - 0.0329 * (H - 10.71)]}$$

Όπου:

H Η απόλυτη υγρασία, σε g νερού ανά κιλό ξηρού αέρα

Η απόλυτη υγρασία υπολογίζεται ως:

$$H = \frac{6.211 * R_a * P_a}{P_B - P_a * R_a * 10^{-2}}$$

Όπου:

Ra Η σχετική υγρασία περιβάλλοντος σε %

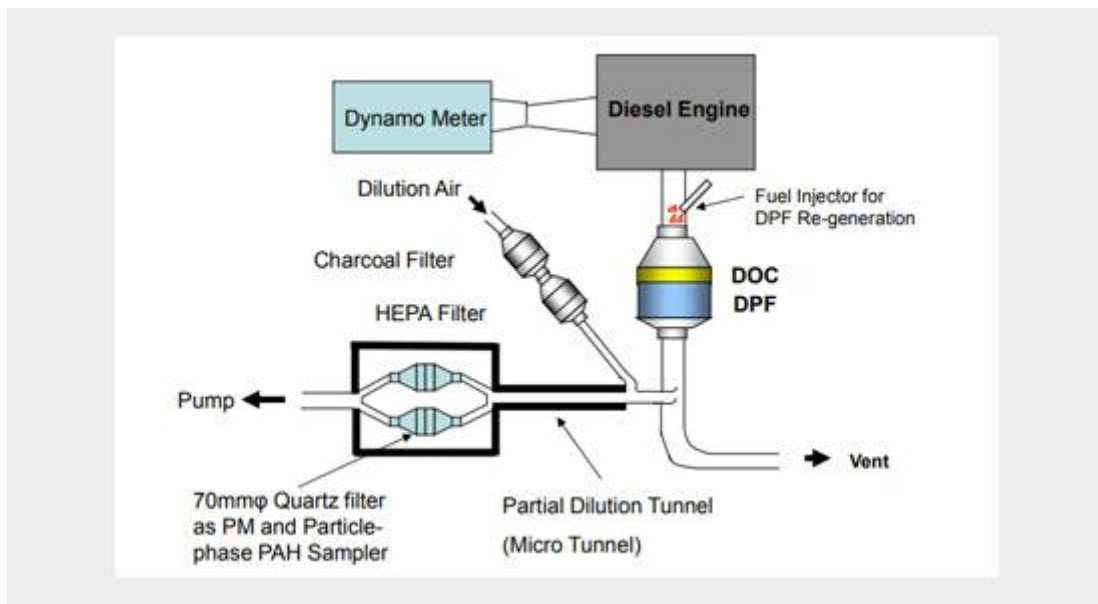
PB Η πίεση των κορεσμένων ατμών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε kPa

Pd Η ατμοσφαιρική πίεση στο θάλαμο δοκιμής σε kPa

## 4.6 Μέτρηση μικροσωματιδίων

Η μέτρηση των μικροσωματιδίων (Particulate Matter – PM) είναι μία πολύ σημαντική διαδικασία για τους σύγχρονους κινητήρες, ιδίως για κινητήρες diesel καθώς και βενζίνης άμεσου ψεκασμού. Η νομοθεσία και τα όρια εκπομπών μικροσωματιδίων γίνονται ολοένα και αυστηρότερα για την κατηγορία αυτή ρύπων τα τελευταία χρόνια.

Η μέτρηση λαμβάνει χώρα με όμοιο τρόπο με προηγουμένως, αφού έχουμε αφαίρεση με σταθερό όγκο τμήματος καυσαερίων και αραίωσή τους με ατμοσφαιρικό αέρα. Εντούτοις, η διαφορά έγκειται στη χρήση ειδικών φίλτρων μικροσωματιδίων, τα οποία κατακρατούν τα στερεά αυτά τα οποία στη συνέχεια ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας. Στη συνέχεια, μέσω κατάλληλων σχέσεων υπολογισμού προκύπτει η εκπομπή μικροσωματιδίων σε g/km.



Εικόνα 27: Σύστημα μέτρησης μικροσωματιδίων (PM)



## 4.7 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου, σύμφωνα με την οδηγία 80/1268/EOK, χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$FC = \frac{0.1154 * [(0.866 * HC) + (0.429 * CO) + (0.273 * CO_2)]}{d}$$

Όπου:

- FC Η υπολογιζόμενη κατανάλωση καυσίμου  
CO<sub>2</sub> Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε g/km  
HC Οι εκπομπές υδρογονανθράκων σε g/km  
CO Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα σε g/km  
d Η διανυθείσα απόσταση σε km για τον δεδομένο κύκλο οδήγησης

Αν έχει γίνει χρήση βιοκαυσίμου, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη σχέση που θα λαμβάνει υπόψη της την αναλογία άνθρακα με υδρογόνο του καυσίμου αυτού, καθώς και την περιεκτικότητά του σε οξυγόνο. Έτσι, χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$FC = \frac{(0.1212/0.538) * cf * [(0.825 * HC) + (0.429 * CO) + (0.273 * CO_2)]}{d}$$

Όπου:

- cf Ο συντελεστής διόρθωσης (correction factor) με

$$cf = 0.825 + 0.0693 * n_{actual}$$

n<sub>actual</sub> Ο λόγος υδρογόνου/άνθρακα του καυσίμου χρησιμοποιήθηκε με τη συγκεκριμένη δοκιμή

## ***4.8 Προετοιμασία πριν την δοκιμή***

Για την εξασφάλιση της επαναληψιμότητας των μετρήσεων και της ακρίβειας των μετρήσεων, το όχημα πρέπει πριν από κάθε δοκιμή να παραμείνει στο χώρο της δυναμομετρικής εξέδρας για τουλάχιστον 6 ώρες, προκειμένου να αποκτήσει την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Στον χώρο της δυναμομετρικής εξέδρας, οι συνθήκες περιβάλλοντος, ήτοι η θερμοκρασία, η πίεση και η σχετική υγρασία του χώρου ελέγχονται μέσω ειδικών κλιματιστικών μονάδων προκειμένου να είναι σταθερές και εντός του εύρους δοκιμής.

# 5

## Πειραματικό μέρος

### 5.1 Δεδομένα οχημάτων

Για την εκπόνηση του πειραματικού μέρους, λήφθησαν δείγματα από διάφορα οχήματα, πετρελαίου και βενζίνης, συμβατικά αλλά και καταλυτικά, από το ΙΚΤΕΟ ΚΡΕΒΑΤΣΟΥΛΗΣ που βρίσκεται στο Ρέθυμνο Κρήτης.

Το πλήθος των δεδομένων για κάθε κατηγορία οχημάτων αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα. Γενικά, λόγω του μεγάλου πλήθους των οχημάτων που λήφθησαν ως δείγμα, θεωρείται ότι το δείγμα μας είναι αντιπροσωπευτικό και μπορούμε να εξάγουμε ορθά συμπεράσματα.

Τύπος καυσίμου	Αντιρροπαντική Τεχνολογία	Πλήθος δειγμάτων
Βενζίνη	Συμβατικά	425
	Καταλυτικά	500
Diesel	Συμβατικά	483
	Καταλυτικά	499

Πίνακας 9: Ανάλυση δειγμάτων

Ενδεικτικά, στον πίνακα που ακολουθεί, αποτυπώνονται ορισμένες μετρήσεις για καταλυτικά βενζινοκίνητα οχήματα καθώς και στον πίνακα που ακολουθεί ενδεικτικές μετρήσεις για πετρελαιοκίνητα καταλυτικά οχήματα.

Μαρκα και μοντελο		Καυσιμο(μη καταλυτικο ή καταλυτικο)	Ημερομηνια πρωτης αδειας	Κυβισμος	CO(% vol) ρελαντι	CO(% vol) υψηλες	HC(ppm) ρελαντι	HC(ppm) υψηλες	λ
HONDA MOTOR	CIVIC SEDAN	BENZINH AMO	04/11/1997	1396	0,12	0,1	84	36	0,999
FORD WERKE AG	FIESTA	BENZINH AMO	12/03/2003	1388	0,08	0,04	31	39	1.029
PEUGEOT	106	BENZINH AMO	09/08/2002	1587	0,03	0,03	29	29	0,999
TOYOTA	STARLET	BENZINH AMO	26/11/1996	1332	0,05	0,18	63	56	1.002
NISSAN EUROPE	NISSAN MICRA	BENZINH AMO	05/09/2001	1348	0,05	0,19	13	11	0,993
PEUGEOT	1*HDZ	BENZINH AMO	16/07/1997	1124	0,01	0,02	31	53	1.011

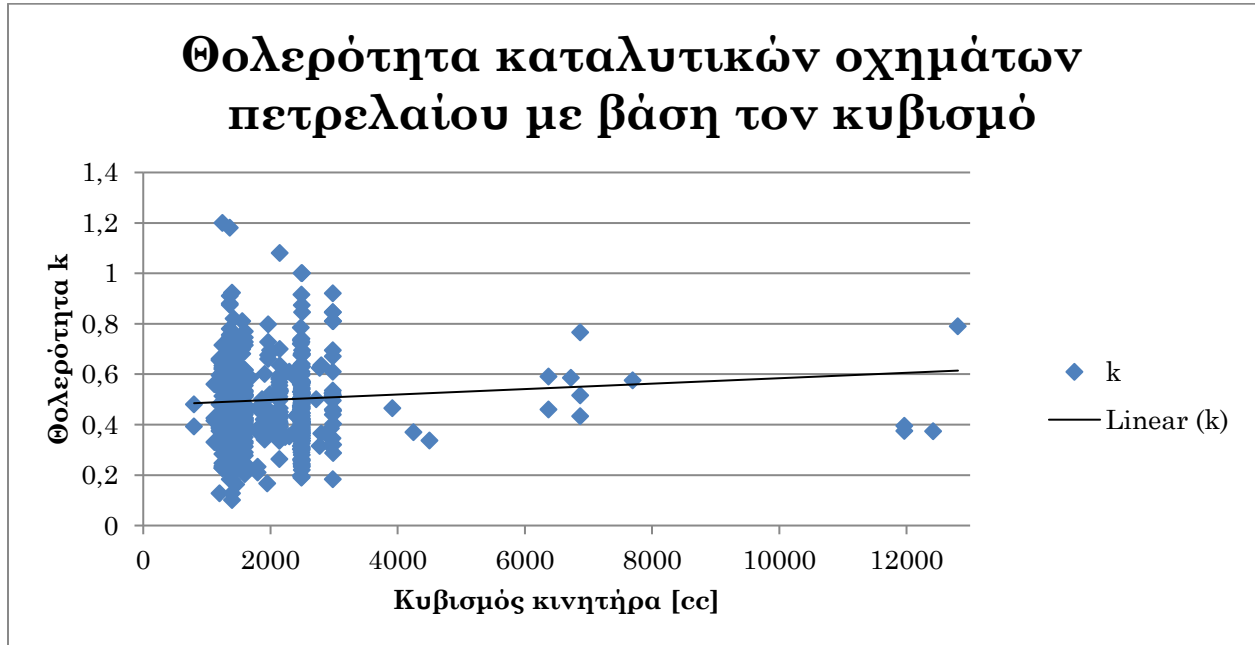
Πίνακας 10: Υπόδειγμα δεδομένων καταλυτικών βενζινοκίνητων οχημάτων

Μαρκα και μοντελο		Καυσιμο(μη καταλυτικο ή καταλυτικο)	Ημερομηνια πρωτης αδειας	Κυβισμος	Κ
ΟΡΕΛ / ΒΑΥΧΑΛΛ	CORSA-C	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑ	07/01/2016	1248	0,473
FORD WERKE	2AW	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑ	07/12/2007	2500	0,345
CITROEN	C2	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑ	17/01/2020	1398	0,54
ΤΟΥΟΤΑ ΜΟΤΟΡ Τ	KUN25L-CRMSHV	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑ	16/11/2007	2494	0,385
ΟΡΕΛ Η ΒΑΥΧΑΛΛ	ASTRA	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑ	15/07/2013	1248	0,283
MERCEDES-BENZ	906 OK50	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΑ	10/12/2009	2148	0,465

Πίνακας 11: Υπόδειγμα δεδομένων καταλυτικών οχημάτων πετρελαίου

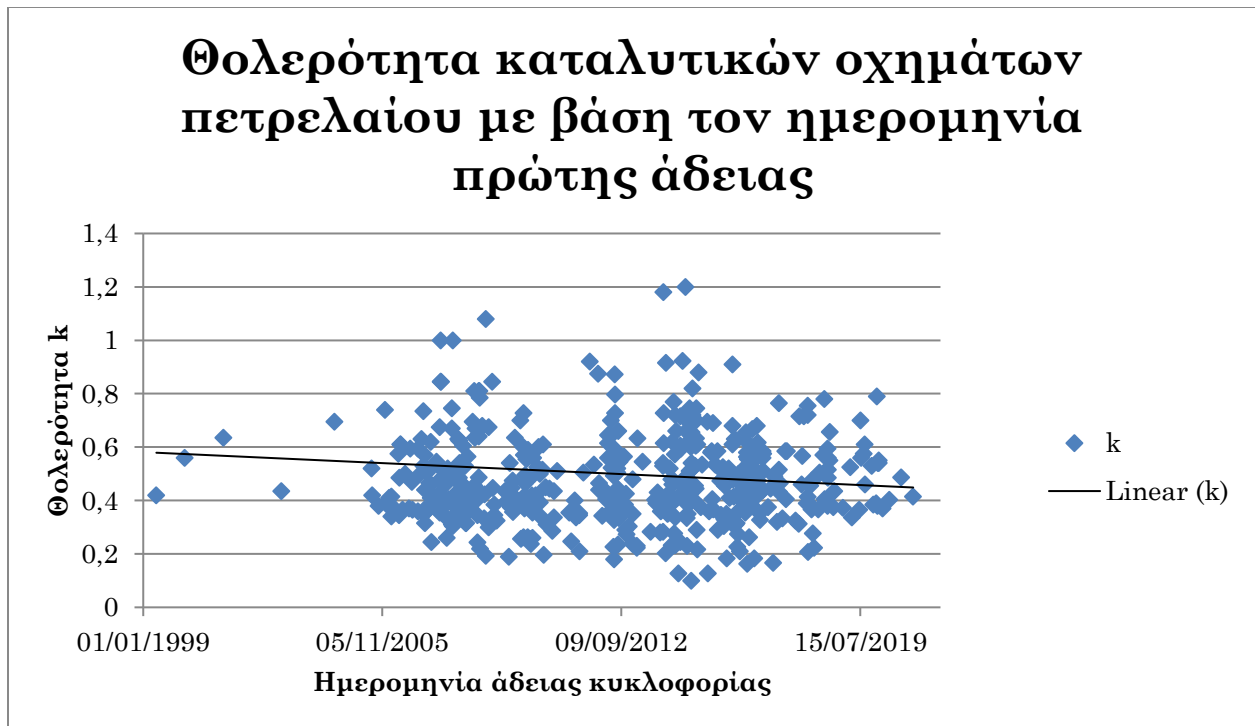
## 5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

### 5.2.1 Πετρελαιοκίνητα καταλυτικά



Εικόνα 28: Διάγραμμα θολερότητας καταλυτικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσει του κυβισμού

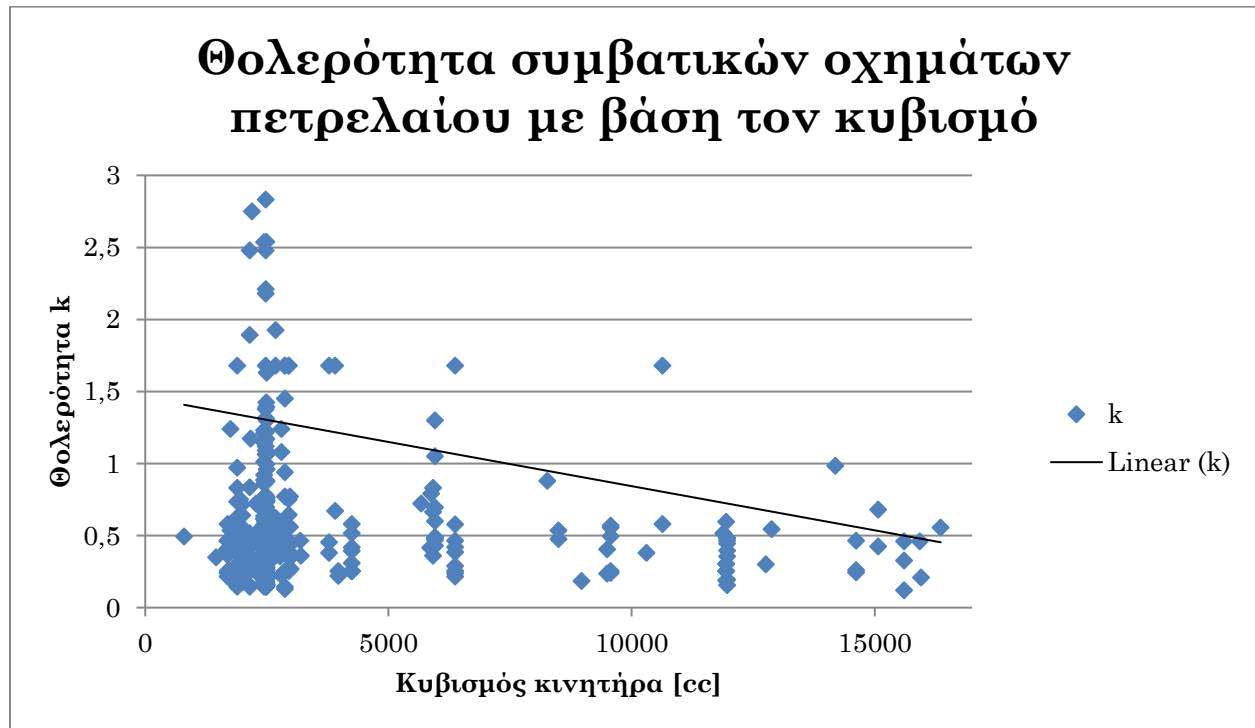
Παρατηρούμε ότι το σύνολο των μετρήσεων των καταλυτικών οχημάτων πετρελαίου κυμαίνεται μεταξύ 1500 και 3000 κυβικών εκατοστών, όσον αφορά τον κυβισμό του κινητήρα και μεταξύ 0.1 και 1.2 τιμή θολερότητας. Η μέση τιμή θολερότητας είναι 0.498. Παρατηρούμε ότι υπάρχει η τάση αύξησης της θολερότητας των καυσαερίων όσο αυξάνεται ο κυβισμός του κινητήρα.



Εικόνα 29: Διάγραμμα θολερότητας καταλυτικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσει της άδειας κυκλοφορίας

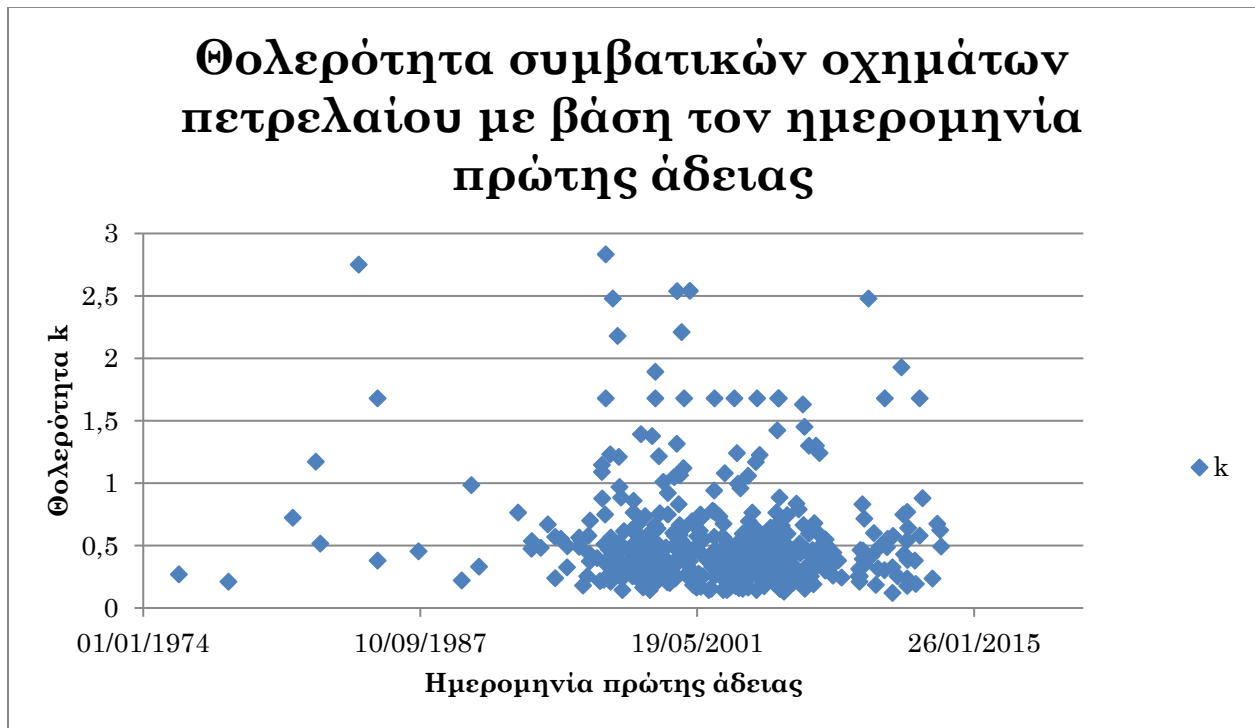
Εάν τώρα παρατηρήσουμε τα δεδομένα των εν λόγω οχημάτων με βάση την ημερομηνία πρώτης έκδοσης άδειας κυκλοφορίας, μπορούμε να διακρίνουμε μια τάση μείωσης της θολερότητας και ιδίως του εύρους διακυμάνσεως αυτής καθώς αυξάνεται το έτος κυκλοφορίας. Αυτό οφείλεται στα αυστηρότερα νομοθετικά όρια που οφείλουν να τηρούν τα οχήματα αυτά.

### 5.2.2 Πετρελαιοκίνητα συμβατικά



Εικόνα 30: Διάγραμμα θολερότητας συμβατικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσει του κυβισμού

Για τα συμβατικά οχήματα πετρελαίου, η μέση τιμή θολερότητας είναι σαφώς αυξημένη και συγκεκριμένα ισούται με 1.237. Επιπροσθέτως, διακρίνουμε ότι τα οχήματα με αυξημένο κυβισμό παρουσιάζουν καλύτερη εικόνα, δηλαδή εμφανίζονται πιο αποδοτικά, το οποίο είναι μια γενική παραδοχή για τους κινητήρες diesel, αφού δεδομένα οι μεγαλύτεροι είναι αποδοτικότεροι, γεγονός το οποίο στα καταλυτικά καλύπτεται από τα συστήματα αντιρρυπαντικής τεχνολογίας που διαθέτουν. Τέλος, παρατηρούμε ότι πρόκειται κυρίως για οχήματα μεγάλου έως πολύ μεγάλου κυβισμού.

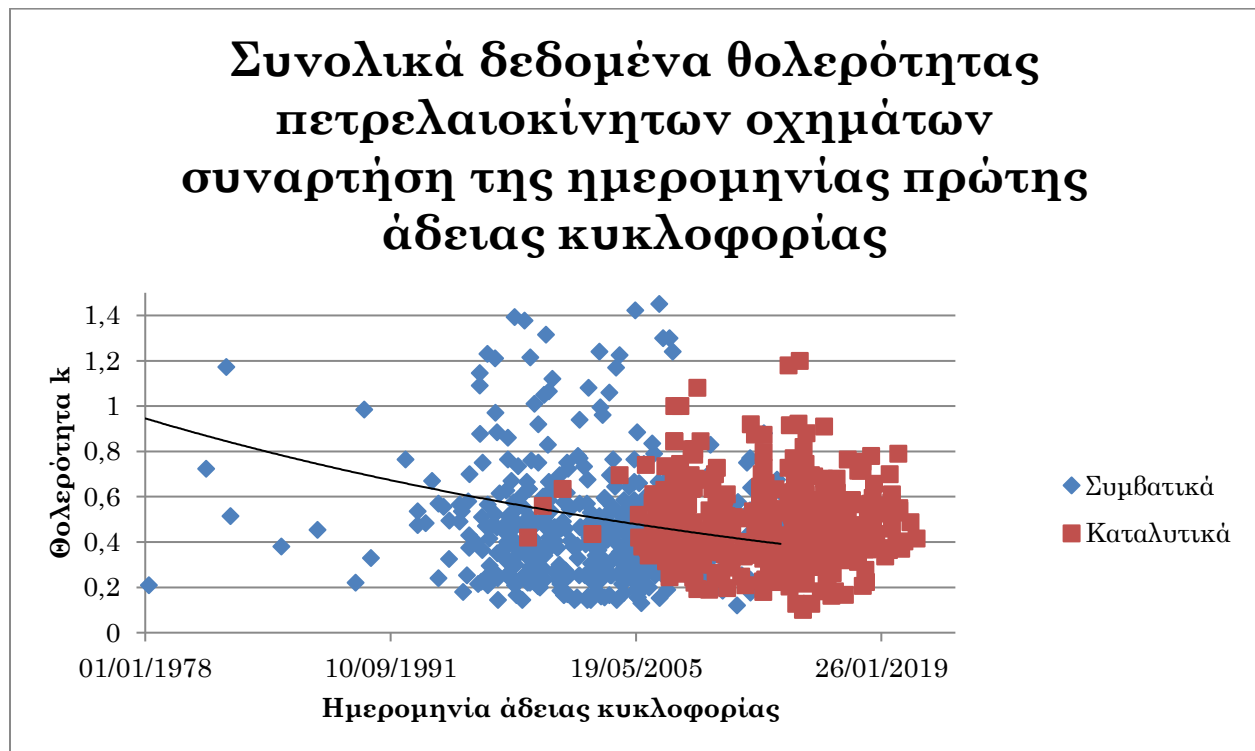


Εικόνα 31: Διάγραμμα θολερότητας συμβατικών οχημάτων πετρελαίου συναρτήσει της άδειας κυκλοφορίας

Για τα ίδια δεδομένα, με βάση την ημερομηνία πρώτης κυκλοφορίας, δεν διακρίνουμε κάποια ιδιαίτερη συσχέτιση και συνεπώς δεν φαίνεται να διαδραματίζει ιδιαίτερο ρόλο. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού δεν διαθέτουν κάποια αντιρρυπαντική τεχνολογία.



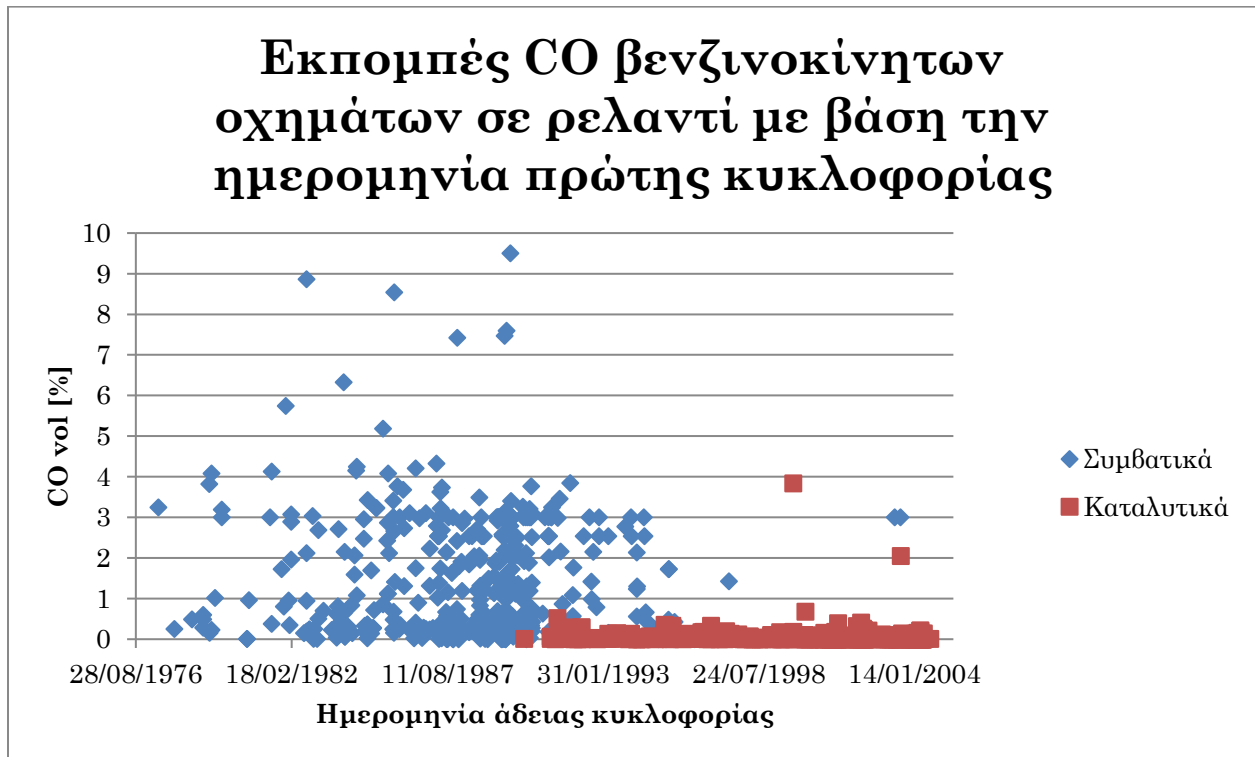
### 5.2.3 Σύγκριση συμβατικών και καταλυτικών πετρελαιοκίνητων οχημάτων



Εικόνα 32: Σύγκριση θολερότητας συμβατικών και καταλυτικών οχημάτων

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι υπάρχει μία σαφής τάση μείωσης της θολερότητας των καυσαερίων καθώς προχωράμε. Αυτό οφείλεται εμφανώς στην εισαγωγή των καταλυτικών οχημάτων και στην εξέλιξη των αντιρρυπαντικών τεχνολογιών αυτών, μέσω της αυστηροποίησης των προτύπων για τον έλεγχο των ρύπων.

#### 5.2.4 Βενζινοκίνητα οχήματα



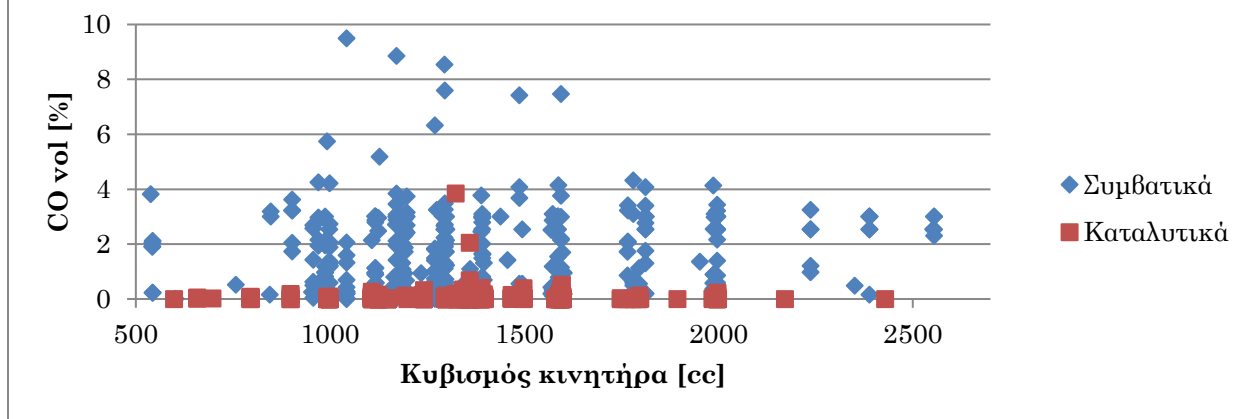
Εικόνα 33: Εκπομπές CO βενζινοκίνητων οχημάτων

Στο παραπάνω διάγραμμα, το οποίο αποτυπώνει τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα κατ' όγκο για βενζινοκίνητα συμβατικά και καταλυτικά οχήματα, παρατηρούμε ότι η εισαγωγή των καταλυτικών οχημάτων περιόρισε δραστικά τις εκπομπές του αερίου ρύπου αυτού, από μία μέση τιμή 1.500% σε 0.049% για τα καταλυτικά οχήματα, ο οποίος είναι τοξικός όπως αναφέραμε.

Βέβαια, παρατηρούμε ότι ορισμένα συμβατικά οχήματα είναι εξίσου ή σχεδόν εξίσου αποδοτικά με καταλυτικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ορισμένα διαθέτουν εργοστασιακά καταλυτικούς μετατροπείς, αν και δεν απαιτείται από την νομοθεσία.

Ο μέσος όρος του 1.5% κατ' όγκο είναι σύμφωνος με τα δεδομένα των κατασκευαστών για τα συμβατικά οχήματα και τις αναμενόμενες εκπομπές βενζινοκίνητων [33].

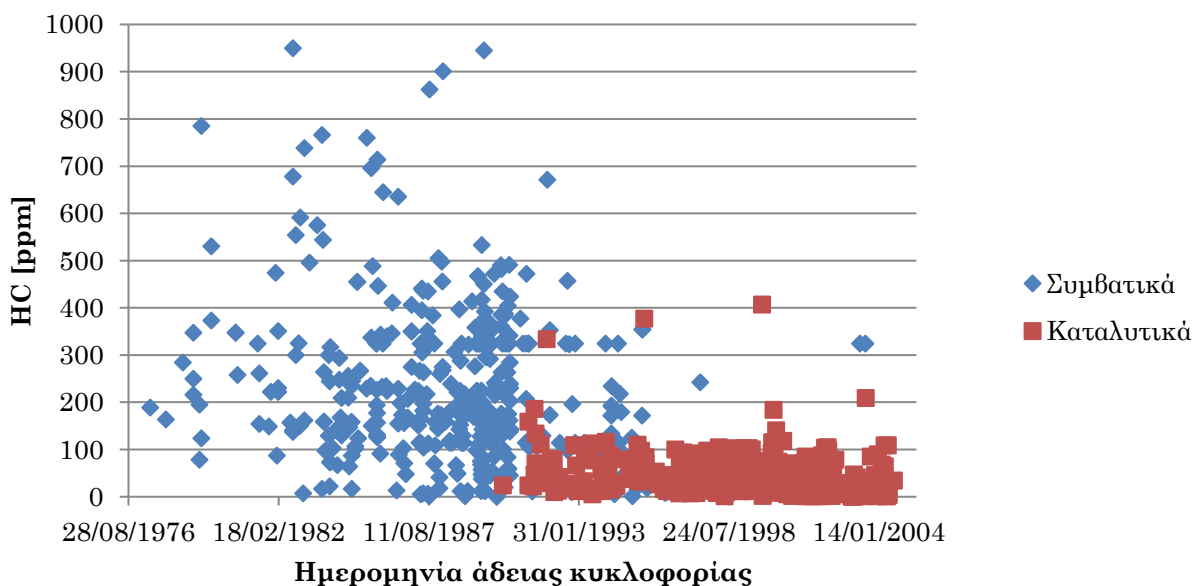
## Εκπομπές CO βενζινοκίνητων οχημάτων σε ρελαντί με βάση τον κυβισμό του κινητήρα



Εικόνα 34: Εκπομπές CO βενζινοκίνητων οχημάτων με βάση τον κυβισμό κινητήρα

Όσον αφορά τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα συναρτήσει του κυβισμού, παρατηρούμε ότι τόσο για τα συμβατικά όσο και για τα καταλυτικά οχήματα, ο κυβισμός του κινητήρα δεν φαίνεται να έχει κάποια ουσιαστική επίδραση στις εκπομπές του ρύπου αυτού.

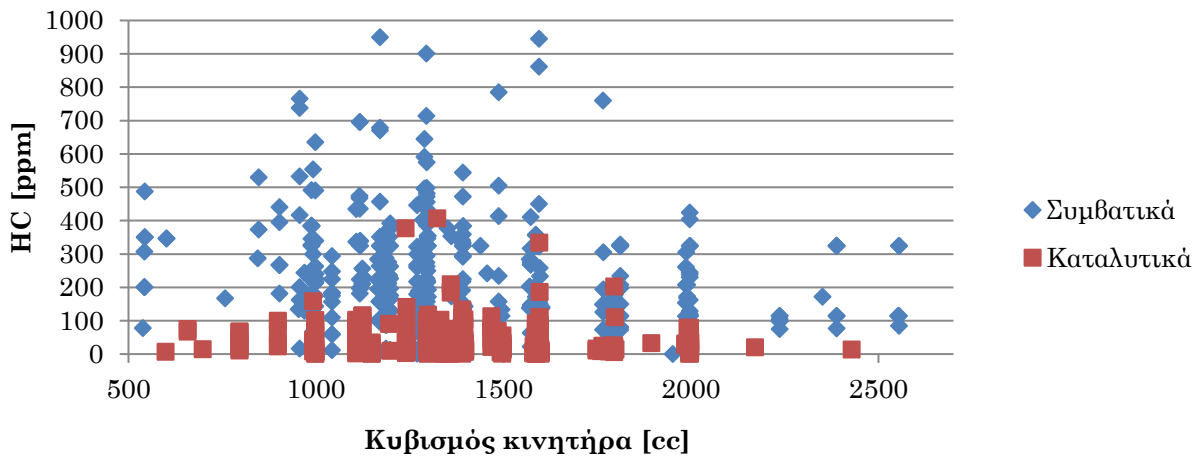
## Εκπομπές HC βενζινοκίνητων οχημάτων σε ρεταντί με βάση την ημερομηνία πρώτης κυκλοφορίας



Εικόνα 35: Εκπομπές HC βενζινοκίνητων οχημάτων

Σχετικά με τις εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων (HC), παρατηρούμε ότι η εισαγωγή της καταλυτικής τεχνολογίας οδήγησε την μέση συγκέντρωση από 245 ppm για τα συμβατικά σε 58 ppm για τα καταλυτικά, γεγονός που καταδεικνύει για μία ακόμα φορά την αποτελεσματικότητα και την ανάγκη των καταλυτικών μετατροπέων στα σύγχρονα οχήματα.

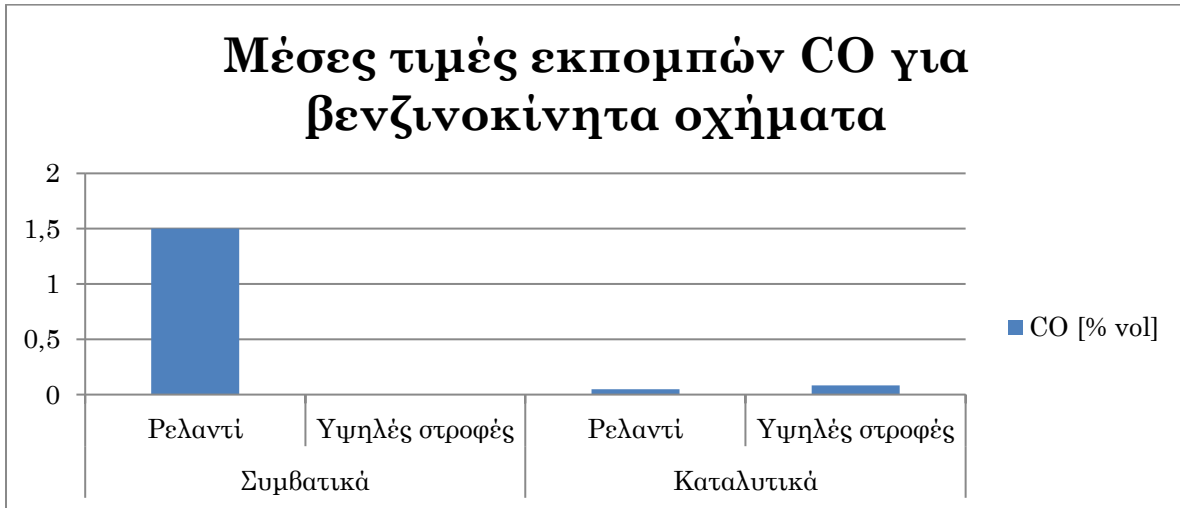
## Εκπομπές HC βενζινοκίνητων οχημάτων σε ρελαντί με βάση τον κυβισμό του κινητήρα



Εικόνα 36: Εκπομπές HC βενζινοκίνητων οχημάτων με βάση τον κυβισμό κινητήρα

Σχετικά με την επίδραση του κυβισμού στις εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων παρατηρούμε ότι, όπως και στην περίπτωση των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα, έτσι και εδώ δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση και συνεπώς είναι ανεξάρτητοι από τον κυβισμό του κινητήρα.

### 5.2.5 Σύγκριση μέσων όρων



Εικόνα 37: Σύγκριση μέσων τιμών εκπομπών CO

Τέλος, όσον αφορά τις εκπομπές CO, συγκρίνοντας τις μέσες τιμές των δειγμάτων μας, είναι καταφανής πλέον η συνεισφορά των καταλυτών, οι οποίοι πετυχαίνουν μείωση των εκπομπών έως 30 φορές στο ρελαντί, το οποίο είναι πολύ σημαντικό καθώς ο τοξικός αυτός ρύπος είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος σε κλειστούς, υπόγειους χώρους (parking) και απαιτεί από την νομοθεσία ειδικά συστήματα ελέγχου της συγκέντρωσής του και εξαερισμού του χώρου.



Εικόνα 38: Σύγκριση μέσων τιμών εκπομπών HC

Ομοίως, στις περίπτωση των άκαυστων υδρογονανθράκων έχουμε μία μείωση της τάξης του 77%, με τα συμβατικά οχήματα να εκπέμπουν 5 φορές περισσότερους ρύπους στο ρελαντί.

# 6

## Επίλογος

### 6.1 Συμπεράσματα εργασίας

Σκοπός της εργασίας μας ήταν η αποτύπωση του νομοθετικού πλαισίου που διέπει τον έλεγχο αερίων ρύπων οχημάτων στην χώρα μας, τη μεθοδολογία τήρησης των ορίων αυτών, την αποτύπωση των σύγχρονων τεχνολογιών μείωσης των ρύπων οχημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσης καθώς και η ανάλυση στατιστικών δεδομένων.

Στο πλαίσιο αυτό λοιπόν, μετά από ανάλυση δεδομένων ελέγχων από ΙΚΤΕΟ, τόσο για βενζινοκίνητα όσο και για πετρελαιοκίνητα οχήματα, μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα τα ακόλουθα:

- Η σύγχρονη αντιρρυπαντική τεχνολογία είναι ιδιαίτερα σύνθετη και κοστοβόρα, πλην όμως είναι απαραίτητη αν λάβουμε υπόψη την επίδραση των ρύπων που εκπέμπονται από τα οχήματα τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία.
- Στα πετρελαιοκίνητα οχήματα, η εισαγωγή καταλυτικών οχημάτων έχει επιφέρει σαφή μείωση της θολερότητάς τους και ιδιαίτερα στα σύγχρονα οχήματα αυτή μειώνεται περαιτέρω.
- Στα βενζινοκίνητα οχήματα, η μείωση εκπομπών ρύπων είναι εντυπωσιακή.
- Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, ενός ιδιαίτερα τοξικού και επικίνδυνου ρύπου, μειώθηκαν πάνω από 30 φορές κατά μέσω όρο, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις αγγίζουν το 97%
- Οι εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων μειώθηκαν 5 φορές σε συνθήκες ρελαντί και 3 φορές σε συνθήκες υψηλών στροφών του κινητήρα, το οποίο είναι συνάρτηση τόσο των καταλυτών όσο και της βελτίωσης της απόδοσης των βενζινοκινητήρων τις τελευταίες δεκαετίες.
- Η εισαγωγή των οχημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας είναι ένα ευδιάκριτο σημείο στα χρονικά διαγράμματά μας, αφού επιφέρει απότομη και σημαντική μείωση των ρύπων αυτών.

Αναλογιζόμενοι λοιπόν τα ανωτέρω, μπορούμε να πούμε ότι η εργασία πέτυχε τον στόχο της, αφού κατέδειξε τόσο την σημασία και την ύπαρξη του προβλήματος, όσο και την αξία των τεχνολογιών αυτών για το κοινωνικό σύνολο.

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματικών μετρήσεων από ΙΚΤΕΟ στο πειραματικό σκέλος αποτελεί ένα καινοτόμο στοιχείο της εργασίας μας, το οποίο θα μπορούσε να επεκταθεί περαιτέρω.

## **6.2 Σημεία περαιτέρω μελέτης**

Η εργασία αυτή μπορεί να αποτελέσει εφελκυστικό για περαιτέρω έρευνα στον τομέα των εκπομπών ρύπων. Μερικές ιδέες για ανάπτυξη του πειραματικού της σκέλους είναι οι ακόλουθες:

- Μετρήσεις με βάση τα Ευρωπαϊκά πρότυπα από εργαστήρια οχημάτων και ανάλυση δεδομένων από πραγματικούς κύκλους οδήγησης.
- Διαχωρισμός των δεδομένων με βάση το νομοθετικό πλαίσιο υπαγωγής των οχημάτων μας (EURO 3, 4, ..) και σύγκριση των εκπομπών μεταξύ αυτών.
- Μελέτη και επιπλέον ρύπων, ιδίως τα μικροσωματίδια για κινητήρες άμεσου ψεκασμού και πετρελαίου καθώς και τα οξείδια του αζώτου.
- Μελέτη της επίδρασης των στροφών και του φορτίου του κινητήρα στις εκπομπές ρύπων.



## *Βιβλιογραφία*

- [1] Paolo Malanima, *The Basic Environmental History*, New York: Heidelberg, 2014.
- [2] Richard Rodes, *Energy: A human history*, Simon & Schuster, 2018.
- [3] H. Jääskeläinen, «Early History of the Diesel Engine,» ECOpoint Inc., 2019.
- [4] Pratik Patel, «Introduction to Diesel Fuel,» University of Baroda, 2016.
- [5] Linda Doman, «Today in Energy,» US Energy Information Administration, 2017.
- [6] Dr. Jean-Paul Rodrigue, «The Geography of Transport Systems,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://transportgeography.org/?page\\_id=15592](https://transportgeography.org/?page_id=15592). [Πρόσβαση 22 08 2020].
- [7] European Environment Agency, «Final energy consumption in Europe by mode of transport,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-10>. [Πρόσβαση 22 28 2020].
- [8] NASA, «The Causes of Climate Change,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://climate.nasa.gov/causes/>. [Πρόσβαση 23 08 2020].
- [9] Daniel A. Vallero, *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press , 2007.
- [10] BBC, «Volkswagen says 800,000 cars may have false CO2,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bbc.com/news/business-34712435>. [Πρόσβαση 23 08 2020].
- [11] Pulkrabek, Willard W., *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, 1997.
- [12] Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας, *Καύση-Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.*, Αθήνα: Εκδόσεις Γρ. Φούντας, 1998.
- [13] National Geographic, «Air pollution, explained,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/pollution/>. [Πρόσβαση 24 08 2020].
- [14] NHS, «Carbon monoxide poisoning,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nhs.uk/conditions/carbon-monoxide-poisoning/>. [Πρόσβαση 24 08 2020].

- [15] American Heart Association, «Evidence growing of air pollution's link to heart disease, death,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://web.archive.org/web/20100603014952/http://www.newsroom.heart.org/index.php?s=43&item=1029>. [Πρόσβαση 24 08 2020].
- [16] Σ. Χ. Ραγομανίκης, Ε. Γ. Καστρινάκης, Βασικές αρχές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ατμοσφαιρικών ρύπων, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
- [17] Heywood, John B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1988.
- [18] van Basshuysen, Richard, and Schäfer, Fred, Internal Combustion Engine Handbook, SAE International, 2004.
- [19] SST, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sstensing.com/scr-emissions-system/>. [Πρόσβαση 25 08 2020].
- [20] EPA, «Draft Technical Assessment Report:Midterm Evaluation of Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards for Model Years 2022-2025,» 2015.
- [21] R. K. Puli, «Performance Evaluation of an Ultra-Lean Combustion Studies in IC Engines,» σε *MATECWebofConferences*, 2016.
- [22] European Commission, «Technical harmonisation in the EU,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/technical-harmonisation/eu\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/technical-harmonisation/eu_en). [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [23] Transport Policy, «EU: Light-duty: Emissions,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-emissions/>. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [24] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statista.com/chart/2207/eu-meets-c02-targets-for-vehicles-two-years-early/>. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [25] «AUTOTRITI,» 19 02 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.autotriti.gr/data/magazine/viewthema/35799.asp>. [Πρόσβαση 21 02 2021].
- [26] T J Barlow, «A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions,» TRL Limited, 2009.
- [27] Ericsson E., «Variability in urban driving patterns,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 5, αρ. 5, pp. 337-354, 2000.

- [28] «DieselNet,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.html](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.html). [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [29] «Cycle-Beating and the EU Test Cycle for Cars,» European Federation for Transport and Environment, 1998.
- [30] Vehicle Certification Agency (UK), «The Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure (WLTP),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/fcb/wltp.asp>. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [31] European Commission, «From NEDC to WLTP The New Test to Measure CO2 Emissions and Fuel Consumption of Cars,» JRC Science for Policy Report, 2017.
- [32] John Dinkel, Chassis Dynamometer, Bentley Publishers, 2000.
- [33] AUDI, «Self Study Programme 230,» 2000.