



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΚΥΚΛΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΥΧΑΙΩΝ  
ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ  
ΤΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΙΡΑΚΗΣ (ΑΜ: 6321)**

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

Ηράκλειο, Μάιος 2021





**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΚΥΚΛΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΥΧΑΙΩΝ  
ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ  
ΤΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΙΡΑΙΡΑΚΗΣ (ΑΜ: 6321)**

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

Ηράκλειο, Μάιος 2021



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί το επιστέγασμα μίας προσπάθειας ετών, στην οποία συγκεντρώθηκαν πολλές και χρήσιμες γνώσεις και αναπτύχθηκαν σημαντικές φιλίες. Αρωγός σε όλη αυτή την προσπάθεια, υλικά και πνευματικά, στάθηκε η οικογένειά μου, στην οποία και αφιερώνω την εργασία αυτή.

Τέλος, ευχαριστώ τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Τζιράκη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε στα πλαίσια της παρούσης αλλά και το σύνολο των γνώσεων που μου προσέφερε.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η ανάδειξη του προβλήματος των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από επιβατηγά οχήματα, του πλαισίου επίλυσής του και η καταγραφή δεδομένων κίνησης στην πόλη του Ηρακλείου με σκοπό την δημιουργία κύκλων οδήγησης.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικό και επηρεάζει το σύνολο της ανθρωπότητας. Στο πλαίσιο αυτό, οι κυβερνήσεις λαμβάνουν διάφορα μέτρα, μεταξύ των οποίων και τα πρότυπα περιορισμού εκπομπών ρύπων οχημάτων. Στην Ευρώπη, τα σημαντικότερα πλέον πρότυπα είναι τα EURO (σήμερα το EURO 6). Στα πλαίσια της εργασίας μας γίνεται εκτενής ανάλυση της ιστορικής εξέλιξης των προτύπων στην Ευρώπη αλλά και των τεχνολογιών αντιρρύπανσης που επιτρέπουν την συμμόρφωση με τα όρια αυτά.

Η ορθή τήρηση των προτύπων γίνεται μέσω θεσμοθετημένων κύκλων οδήγησης. Οι κύκλοι αυτοί προσπαθούν να προσομοιάσουν τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον, ούτως ώστε να απαλειφθούν εξωγενείς παράγοντες κατά τη μέτρηση. Έτσι, παρουσιάζονται οι κυριότεροι κύκλοι οδήγησης αλλά και η δειγματοληπτική διαδικασία. Παράλληλα, εξετάζεται και το ισχύον εθνικό πλαίσιο έκτακτων και περιοδικών ελέγχων ρύπων οχημάτων σε επιτόπιους ελέγχους και στα ΚΤΕΟ της χώρας αντίστοιχα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια εκτενής μεθοδολογία καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων οδήγησης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την εξαγωγή πρότυπων κύκλων οδήγησης. Στα πλαίσια της παρούσης, εξάγουμε ορισμένα χρήσιμα διαγράμματα προκειμένου να εξετάσουμε την ορθότητα του συλλογισμού και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε, τα οποία και παρουσιάζουμε.

## ABSTRACT

The scope of this thesis is to highlight the problem of air emissions from passenger vehicles, its solution framework and the recording of traffic data in the city of Heraklion in order to create driving cycles.

The problem of air pollution is particularly important and affects all of humanity. In this context, governments are taking a number of measures, including standards to reduce vehicle emissions. In Europe, the most important standards are the EURO (today EURO 6). In the framework of our work, an extensive analysis of the historical development of standards in Europe and anti-pollution technologies that allow compliance with these limits is made.

The correct implementation of the standards is done through institutionalized driving cycles. These cycles try to simulate the actual driving conditions in a laboratory environment, so as to eliminate exogenous factors during the measurement. Thus, the main driving cycles and the sampling process are presented. At the same time, the current national framework of extraordinary and periodic vehicle pollution inspections in on-site inspections and in the KTEO of the country, respectively, is examined.

Finally, an extensive methodology for recording and processing driving data, which can be used to export standard driving cycles. In the context of this work, we plot some useful diagrams in order to examine the correctness of the reasoning and the procedure followed, which we present.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή .....	x
<b>1</b> <b>Ρύπανση και εκπεμπόμενοι ρύποι οχημάτων.....</b>	<b>1</b>
1.1    Η ρύπανση του περιβάλλοντος.....	1
1.2    Ατμοσφαιρική ρύπανση .....	1
1.2.1    Εισαγωγικά στοιχεία περί ρύπανσης.....	2
1.3    Ρύποι που εκπέμπονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης.....	4
1.3.1    Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ).....	4
1.3.2    Μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ).....	5
1.3.3    Οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ).....	6
1.3.4    Διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ).....	6
1.3.5    Αιωρούμενα σωματίδια ( $PM$ ).....	7
1.3.6    Άκαυστοι υδρογονάνθρακες ( $HC$ ).....	8
1.3.7    Όζον ( $O_3$ ) .....	8
1.3.8    Βαρέα μέταλλα.....	9
1.4    Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες οχημάτων .....	10
1.4.1    Καταλύτες.....	10
1.4.2    Τεχνολογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων ( $EGR$ ).....	12
1.4.3    Φίλτρο μικροσωματιδίων ( $DPF$ ).....	13
1.4.4    Επιλεκτική καταλυτική μείωση ( $SCR$ ).....	14
1.4.5    Παγίδες $NO_x$ ( $DPNR$ ) .....	15
<b>2</b> <b>Νομοθετικό πλαίσιο εκπομπών καυσαερίων οχημάτων .....</b>	<b>17</b>
2.1    Κατηγορίες οχημάτων .....	17
2.2    Ιστορική εξέλιξη θεσμικού πλαισίου ρύπων στην Ευρώπη .....	18
2.3    Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων ( $EURO$ ).....	21



2.4	Άλλες υποχρεώσεις των κατασκευαστών σχετικές με τις εκπομπές .....	24
2.5	Έκτακτος και περιοδικός έλεγχος εκπομπών οχημάτων .....	25
2.6	Όρια εκπομπών καυσαερίων κατά τον έλεγχο .....	25
2.6.1	Βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας .....	26
2.6.2	Βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα καταλυτικής τεχνολογίας.....	26
2.6.3	Πετρελαιοκίνητα οχήματα.....	27
<b>3</b>	<b>Κύκλοι οδήγησης .....</b>	<b>29</b>
3.1	Η έννοια του κύκλου οδήγησης στον προσδιορισμό των ρύπων .....	29
3.2	Δημιουργία κύκλων οδήγησης .....	31
3.2.1	Ταξινόμηση κύκλων οδήγησης.....	31
3.2.2	Μέθοδοι δειγματοληψίας .....	32
3.2.3	Επεξεργασία δεδομένων .....	33
3.2.4	Χαρακτηριστικά μεγέθη για επεξεργασία.....	33
3.3	Ευρωπαϊκοί κύκλοι οδήγησης .....	36
3.3.1	Ο κύκλος ECE-15 (UDC).....	36
3.3.2	Ο κύκλος ECE + EUDC.....	37
3.3.3	Ο κύκλος NEDC .....	38
3.3.4	Ο κύκλος ARTEMIS .....	40
3.3.5	Η διαδικασία WLTP και ο κύκλος WLTC.....	42
<b>4</b>	<b>Υιοθέτηση νέων κύκλων – Καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων.....</b>	<b>50</b>
4.1	Γενικά .....	50
4.2	Συσκευή καταγραφής OBD II .....	50
4.3	Όχημα καταγραφής .....	52
4.4	Εφαρμογή καταγραφής δεδομένων κίνησης (Torque) .....	53
4.5	Διαδικασία καταγραφής .....	55
4.5.1	Στάδιο προετοιμασίας.....	55
4.5.2	Στάδιο καταγραφής.....	55
4.5.3	Στάδιο λήξης καταγραφής.....	56
4.5.4	Είδη διαδρομών που καταγράφηκαν.....	56

4.6	Τεχνικές δειγματοληψίας .....	56
<b>5</b>	<b>Επεξεργασία μετρήσεων και αποτελέσματα.....</b>	<b>57</b>
5.1	Επεξεργασία αρχείου καταγραφής .....	57
5.2	Στατιστική επεξεργασία .....	58
5.2.1	Σύγκριση και διόρθωση ταχύτητας οχήματος.....	58
5.2.2	Απόρριψη χρόνου στάσης .....	59
5.3	Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	60
5.3.1	Συσχέτιση μέσης ταχύτητας με πλήθος στάσεων ανά λεπτό.....	60
5.3.2	Μέγιστη ταχύτητα ανά ημέρα της εβδομάδας.....	61
5.3.3	Ποσοστό χρόνου στάσης ανά ημέρα της εβδομάδας .....	62
5.3.4	Συνολικό ποσοστό στάσης και κίνησης οχήματος .....	63
5.3.5	Μέση επιτάχυνση ανά ημέρα και ώρα.....	64
5.3.6	Μέση επιβράδυνση ανά ημέρα και ώρα .....	65
5.3.7	Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα .....	66
5.3.8	Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα χωρίς στάσεις .....	67
5.3.9	Ποσοστό χρόνου σε στάση ανά ημέρα και ώρα.....	68
5.3.10	Μέσο πλήθος στάσεων ανά ημέρα .....	69
<b>6</b>	<b>Επίλογος.....</b>	<b>70</b>
6.1	Σύνοψη .....	70
6.2	Συμπεράσματα.....	70
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>72</b>

## ***Κατάλογος Σχημάτων***

Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρώπη για το 2019.....	x
Εικόνα 2: Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατ' έτος.....	xi
Εικόνα 3: Παραγωγή ρύπων NOx και SO2 ανά δραστηριότητα.....	7
Εικόνα 4: Καταλυτικός μετατροπέας.....	10
Εικόνα 5: Διάγραμμα συστήματος EGR.....	12
Εικόνα 6: Φίλτρο μικροσωματιδίων.....	13
Εικόνα 7: Διαγραμματική απεικόνιση της διεργασίας SCR.....	14
Εικόνα 8: Σύγκριση παγίδων NOx και SCR.....	16
Εικόνα 9: Τάση και στόχοι εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα στην ΕΕ και την Νορβηγία ...	23
Εικόνα 10: Δυναμομετρική εξέδρα οχημάτων.....	30
Εικόνα 11: Ένας modal κύκλος (ECE 15) αριστερά και ένας ρεαλιστικός δεξιά.....	31
Εικόνα 12: Ο κύκλος ECE-15.....	36
Εικόνα 13: Ο κύκλος ECE + EUDC.....	38
Εικόνα 14: Ο κύκλος NEDC.....	39
Εικόνα 15: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση κατασκευής κύκλου.....	40
Εικόνα 16: Ο κύκλος ARTEMIS αυτοκινητοδρόμου.....	41
Εικόνα 17: Ο αγροτικός κύκλος ARTEMIS.....	41
Εικόνα 18: Ο αστικός κύκλος ARTEMIS.....	41
Εικόνα 19: Ο κύκλος WLTP σχηματικά.....	44
Εικόνα 20: Ο κύκλος WLTC (κλάση 3).....	46
Εικόνα 21: Ο κύκλος WLTC class II.....	47
Εικόνα 22: Ο κύκλος WLTC class I.....	48
Εικόνα 23: Μετρήσεις PEMS.....	49
Εικόνα 24: Η θύρα OBD II και ένα καταγραφικό.....	51
Εικόνα 25: Όχημα παρόμοιο με το όχημα καταγραφής.....	52
Εικόνα 26: Η εφαρμογή Torque.....	53
Εικόνα 27: Μορφή ενός αρχείου CSV από την εφαρμογή.....	57
Εικόνα 28: Μορφή του αρχείου μετά την μετατροπή σε XLSX.....	58
Εικόνα 29: Συσχέτιση μέσης ταχύτητας και στάσεων ανά λεπτό.....	60
Εικόνα 30: Μέγιστη ταχύτητα ανά ημέρα.....	61
Εικόνα 31: Ποσοστό σε στάση οχήματος ανά ημέρα.....	62
Εικόνα 32: Ποσοστό χρόνου σε στάση και σε κίνηση.....	63

Εικόνα 33: Μέση επιτάχυνση ανά ημέρα και ώρα .....	64
Εικόνα 34: Μέση επιβράδυνση ανά ημέρα και ώρα.....	65
Εικόνα 35: Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα.....	66
Εικόνα 36: Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα χωρίς στάσεις.....	67
Εικόνα 37: Ποσοστό χρόνου σε στάση ανά ημέρα και ώρα .....	68
Εικόνα 38: Πλήθος στάσεων ανά ημέρα.....	69

## ***Κατάλογος Πινάκων***

Πίνακας 1: Ποσοστό συνεισφοράς ρύπων ανά τομέα .....	4
Πίνακας 2: Κατηγορίες οχημάτων ΕΕ .....	17
Πίνακας 3: Τα όρια εκπομπών πριν από τα πρότυπα EURO.....	19
Πίνακας 4: Τα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για την κατηγορία Μ.....	21
Πίνακας 5: Όρια εκπομπών ρύπων για οχήματα συμβατικής τεχνολογίας .....	26
Πίνακας 6: Όρια εκπομπών ρύπων οχημάτων καταλυτικής τεχνολογίας.....	27
Πίνακας 7: Όρια δείκτη θολερότητας για πετρελαιοκινητήρες οχημάτων .....	28
Πίνακας 8: Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ ευρωπαϊκών κύκλων οδήγησης .....	40
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά μεγέθη κύκλου Artemis .....	42
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC και σύγκριση με NEDC.....	46
Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC class II.....	47
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC class I.....	48
Πίνακας 13: Στοιχεία οχήματος καταγραφής .....	52

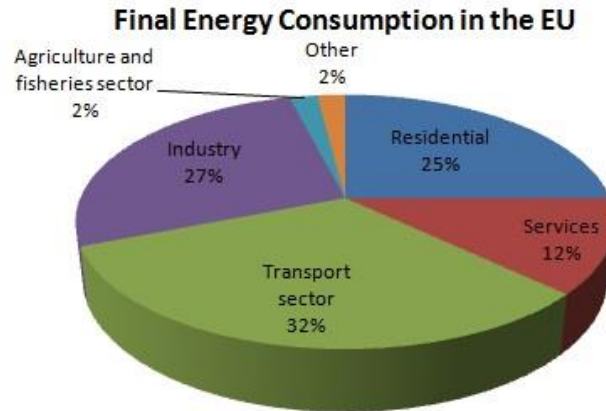
# *Εισαγωγή*

Ένας τρόπος αξιολόγησης της προόδου μιας κοινωνίας και ενός πολιτισμού είναι ουσιαστικά η μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας [1]. Τους τελευταίους αιώνες η συνολική κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει εκθετικούς ρυθμούς αύξησης [2].

Ένα ποσοστό της καταναλισκόμενης αυτής ενέργειας αφορά και τον τομέα των μεταφορών και ιδιαίτερα των οδικών, οι οποίες και αποτελούν αντικείμενο μελέτης της παρούσης. Κάθε όχημα χρησιμοποιεί μία μηχανή για να κινηθεί. Κατά κύριο λόγο σήμερα χρησιμοποιούνται μηχανές εσωτερικής καύσης. Η απαρχή των μηχανών αυτών έγινε από τους Nicolaus Otto το 1864 και Rudolf Diesel το 1893 [3]. Σήμερα βρισκόμαστε σε ένα μεταβατικό στάδιο όπου οι μηχανές εσωτερικής καύσης φαίνεται να δίνουν τη θέση τους, στον τομέα των μεταφορών, στους ηλεκτροκινητήρες.

Κάθε μηχανή εσωτερικής καύσης μετατρέπει μία μορφή ενέργειας σε κινητική για την κίνηση του οχήματος. Βασική πηγή ενέργειας αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα, αφού έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Η καύση των ορυκτών καυσίμων οδηγεί στην παραγωγή θερμότητας και χρήσιμου μηχανικού έργου για την κίνηση των οχημάτων, παράλληλα όμως οδηγεί και σε εκπομπές αερίων ρύπων, ως προϊόντα της καύσης.

Οι εκπομπές ρύπων που εκλύονται έχουν άμεση συσχέτιση αφενός με την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται και είναι συνάρτηση των απαιτήσεων ενέργειας, και αφετέρου με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ενέργειας αλλά και τον περιορισμό των ρύπων. Τις τελευταίες δεκαετίες οι απαιτήσεις ενέργειας στον τομέα των μεταφορών έχουν τριπλασιαστεί [5]. Όμως, η κατανάλωση καυσίμου έχει διπλασιαστεί, ως αποτέλεσμα της βελτίωσης του βαθμού απόδοσης των μηχανών. Παράλληλα, έχουν υιοθετηθεί σημαντικές αντιρρυπαντικές τεχνολογίες αλλά και εναλλακτικά καύσιμα που έχουν χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα (λχ. biodiesel) με αποτέλεσμα τον περιορισμό της αύξησης των ρύπων.



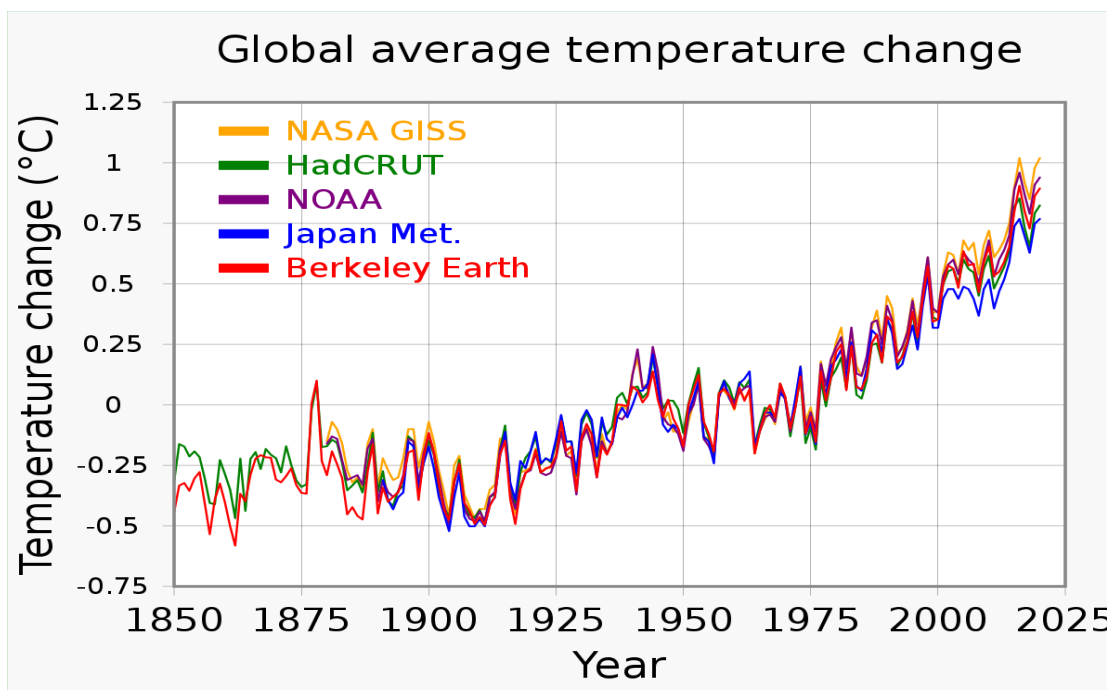
**Εικόνα 1: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρώπη για το 2019 [5]**

Σύμφωνα με το γράφημα της εικόνας 1, η ενεργειακή κατανάλωση για τον τομέα των μεταφορών αποτελεί το 32% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Είναι εύκολα λοιπόν αντιληπτό ότι πρόκειται και για μία πολύ σημαντική πηγή εκπομπής αερίων ρύπων και συνεπώς είναι σημαντικό να υπάρξει ένα στοχευμένο νομοθετικό πλαίσιο περιορισμού αυτών.

Δεδομένου λοιπόν των αυξητικών τάσεων κατανάλωσης που προκύπτουν, 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.

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, κατά κύριο λόγο, από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ουσιαστικά το κυρίαρχο φαινόμενο πίσω από την υπερθέρμανση του πλανήτη, αποτέλεσμα με δραματικές επιπτώσεις για το μέλλον του πλανήτη μας και των έμβιων όντων. Για το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνες πολλές χημικές ουσίες, όπως οι υδρατμοί, οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), το μεθάνιο, το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα κ.α.

Ο κυρίαρχος ρύπος όμως που θεωρείται υπεύθυνος για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Παρά το γεγονός ότι δεν έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά ποσοστιαία, οι τεράστιες ποσότητες που εκλύονται κυρίως λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας έχουν οδηγήσει σε αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου στην ατμόσφαιρα με συνεπακόλουθο την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, όπως αποτυπώνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 2, με ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό.



Εικόνα 2: Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατ' έτος [7]

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.

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.



# ***1 Ρύπανση και εκπεμπόμενοι ρύποι οχημάτων***

## ***1.1 Η ρύπανση του περιβάλλοντος***

Η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι μια ευρεία έννοια, η οποία περιλαμβάνει τη ρύπανση των διαφόρων βιολογικών συστατικών των φυσικών στοιχείων του πλανήτη, ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Δεν είναι δηλαδή τίποτε άλλο, παρά η αλλοίωση της μορφής του περιβάλλοντος και της ισορροπίας του ανθρώπου με τη φύση.

Ο ίδιος ο άνθρωπος είναι υπεύθυνος γι' αυτή την καταστροφή, ο οποίος από τα παλιά χρόνια μέχρι και σήμερα εκμεταλλεύεται αλόγιστα τη γη. Η ρύπανση του περιβάλλοντος συνήθως ταξινομείται σε διάφορες γνωστές κατηγορίες όπως η ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους. Η έννοια αυτή όμως εμπερικλείει επίσης την ηχορύπανση, θερμική ρύπανση, ρύπανση από ακτινοβολία, μικροβιακή ρύπανση, ρύπανση από τοξικές ουσίες, οργανική ρύπανση, ρύπανση από πετρελαιοειδή κ.α.

Τέλος η ρύπανση έχει βλαβερή επίδραση στους οργανισμούς, είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία, αλλοιώνει την ποιότητα του νερού και υποβαθμίζει τις δυνατότητες χρήσης του.

## ***1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση***

Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η ρύπανση της ατμόσφαιρας, δηλαδή η προσθήκη ουσιών (ρύπων) στην ατμόσφαιρα που υπό φυσιολογικές συνθήκες δε θα υπήρχαν. Στη σύγχρονη εποχή, συχνά η ρύπανση είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Η ανθρωπογενής ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται κυρίως από τρεις ανθρώπινες δραστηριότητες, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και τα νοικοκυριά. Σε μια τυπική πόλη, η βιομηχανία ευθύνεται για το 50% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα μέσα μεταφοράς για το 35%, ενώ τα νοικοκυριά για το 15%. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πιθανό να φτάσει σε επίπεδα που

δημιουργούν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Για την περιγραφή της κατάστασης αυτής έχει επικρατήσει ο όρος νέφος.

### **1.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία περί ρύπανσης**

#### *1.2.1.1 Μονοξείδιο του άνθρακα*

Είναι ένα άοσμο, άχρωμο αέριο που παράγεται από την ατελή οξείδωση (καύση) του άνθρακα. Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται φυσιολογικά από την οξείδωση του μεθανίου, στους ωκεανούς και την ατμόσφαιρα, το οποίο παράγεται κατά την οργανική αποσύνθεση. Στις πόλεις, η μεγαλύτερη πηγή μονοξειδίου του άνθρακα είναι τα μηχανοκίνητα οχήματα, παρότι μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε διεργασία καύσης.

#### *1.2.1.2 Διοξείδιο του θείου*

Το διοξείδιο του θείου στην ατμόσφαιρα προέρχεται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι φυσικές διεργασίες, όπως ηφαιστειακές εκρήξεις, απελευθερώνουν συστατικά θείου. Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες από τις οποίες παράγεται διοξείδιο του θείου είναι το λιώσιμο ορυκτών μεταλλευμάτων που περιέχουν θείο και η καύση ορυκτών καυσίμων. Το διοξείδιο του θείου διαλύεται στο νερό σχηματίζοντας θειικό οξύ το οποίο είναι εξαιρετικά διαβρωτικό στη φύση. Είναι πολύ επιβλαβές για υλικά, φυτά και ζωικό ιστό.

#### *1.2.1.3 Σωματιδιακή ύλη*

Η σωματιδιακή ύλη είναι ένας συλλογικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα ευρύ πεδίο μικροσκοπικών στερεών ή υγρών σωματιδίων διασκορπισμένων στην ατμόσφαιρα. Η σωματιδιακή ύλη μπορεί να περιλαμβάνει ζωντανούς οργανισμούς, όπως βακτήρια, ιούς, μούχλες, φύκη, γυρεόκοκκους, κτλ. Τα μη ζωντανά σωματίδια στην ατμόσφαιρα είναι σταγονίδια, καπνός, αναθυμιάσεις, σκόνη, κτλ.

Η σωματιδιακή ύλη σε συγκεντρώσεις απειλητικές για την υγεία μπορεί να ελευθερώνεται από διάφορες πηγές, όπως ηφαίστεια και καταιγίδες σκόνης, εργοστάσια

παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανικές διεργασίες και αποτεφρωτήρες. Το μέγεθος αυτής της σωματιδιακής ύλης κυμαίνεται κάτω από 0,1 μικρόμετρα ( $\mu\text{m}$ ) μέχρι εκατοντάδες μικρόμετρα. Τα σωματίδια που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10  $\mu\text{m}$  αναφέρονται ως PM10. Επειδή αυτά τα σωματίδια είναι αρκετά μικρά και μπορούν να εισέλθουν στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, καλούνται επίσης και «εσπνεύσιμη σωματιδιακή ύλη».

Τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 10  $\mu\text{m}$  συνήθως συγκρατούνται από τα τριχίδια της μύτης, και δεν εισέρχονται στην αναπνευστική οδό. Επομένως, τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 10  $\mu\text{m}$  δεν προκαλούν μεγάλη βλάβη, πέρα από τον ερεθισμό της μύτης και των οφθαλμών.

#### *1.2.1.4 Οξείδια του αζώτου*

Η κύρια ανθρώπινη δραστηριότητα από την οποία παράγονται οξείδια του αζώτου είναι η καύση καυσίμων, ειδικά σε μηχανοκίνητα οχήματα. Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα με την καύση των καυσίμων σε υψηλές θερμοκρασίες.

Το μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκεται υπό τη μορφή οξειδίου του αζώτου, και λιγότερο από το 10 τοις εκατό με τη μορφή διοξειδίου του αζώτου. Όταν απελευθερωθεί, το οξείδιο του αζώτου συνδυάζεται με το οξυγόνο («οξειδώνεται») και σχηματίζεται διοξείδιο του αζώτου. Αυτά τα οξείδια του αζώτου μπορεί να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για αρκετές ημέρες, και στο διάστημα αυτό, μέσω χημικών διεργασιών μπορεί να παραχθούν νιτρικό οξύ και διάφορα σωματίδια, όπως νιτρικά και νιτρώδη.

Αυτά τα οξείδια του αζώτου παίζουν σημαντικό ρόλο στις χημικές αντιδράσεις που δημιουργούν τη φωτοχημική αιθαλομίχλη.

#### *1.2.1.5 Οζον*

Το όζον είναι ένα άχρωμο αέριο που σχηματίζεται από τις χημικές αντιδράσεις μεταξύ δραστικών οργανικών αερίων και οξειδίων του αζώτου παρουσία του ηλιακού φωτός. Το όζον είναι ένας από τους δευτερογενείς ερεθιστικούς ρυπαντές που υπάρχουν στην αιθαλομίχλη που δημιουργείται στις αστικές περιοχές. Υπάρχει επίσης και το στρώμα του όζοντος στην στρατόσφαιρα σε ύψος 12-50 χιλιομέτρων. Σε αντίθεση με το όζον κοντά στην επιφάνεια, αυτό

το στρώμα όζοντος είναι εξαιρετικά σημαντικό επειδή αποτρέπει την θανατηφόρα ηλιακή ακτινοβολία UV από το να φτάσει στο έδαφος.

Ρύποι (g/km)	Αυτοκίνητα	Βιομηχανία	Οικ. θέρμανση
Οξειδία του αζώτου (NO <sub>x</sub> )	15%	40%	45%
Υδρογονάνθρακες (HC)	77%	6%	17%
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	100%	-	-
Σωματίδια	100%		
Καπνός	68%	18%	14%

Πίνακας 1: Ποσοστό συνεισφοράς ρύπων ανά τομέα [6]

### **1.3 Ρύποι που εκπέμπονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης**

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης [12], τόσο λόγω της φύσης της λειτουργίας τους, ήτοι της καύσης ανθρακούχων ενώσεων που προκύπτουν από εξόρυξη και έχουν και άλλες προσμίξεις, 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 βασικότερων ρύπων που εκπέμπονται και προκαλούν προβλήματα.

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

Βασικό συστατικό των καυσαερίων, αποτελεί ένα από τα κύρια προϊόντα της καύσης των υδρογονανθράκων και κάθε ανθρακούχου καυσίμου [6]. Δεν είναι τοξικό και γι' αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ρύπος με την κλασική έννοια του όρου.

Σε μακροπρόθεσμη βάση, όμως, πρέπει να ελεγχθούν οι εκπομπές του γιατί είναι υπεύθυνο για το 'φαινόμενο του θερμοκηπίου', που βαθμιαία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των θερμοκρασιών του πλανήτη μας [13].

Είναι προφανές λοιπόν πως είναι επιτακτική η ανάγκη μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων από τα εκατομμύρια των οχημάτων που κυκλοφορούν στις μεγαλουπόλεις. Για αυτόν

ακριβώς το λόγο θεσπίστηκαν συγκεκριμένα πρότυπα εκπομπών καθώς και οι αντίστοιχες διαδικασίες ελέγχου της συμμόρφωσης των οχημάτων με αυτά.

Για τη μέτρηση των εκπεμπόμενων ρύπων από τα οχήματα έχουν καθιερωθεί πλέον από διάφορες χώρες τυποποιημένοι κύκλοι ελέγχου (test cycles), οι οποίοι ουσιαστικά ορίζουν μια προκαθορισμένη διαδικασία υπολογισμού των ρύπων. Η τυποποίηση αυτή είναι πολύ σημαντική και συμβάλει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στη μείωση των εκπομπών καθώς καθιστά δυνατή τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών οχημάτων που όμως επιτελούν το ίδιο έργο.

Ένας κύκλος ελέγχου ή κύκλος πόλης πρέπει ιδανικά να προσομοιώνει τη καθημερινή κίνηση ενός οχήματος με τις συχνές στάσεις και εκκινήσεις που το χαρακτηρίζουν, δηλαδή να αναπαριστά τη μεταβατική λειτουργία στην οποία το όχημα υπόκειται, ώστε οι μετρήσεις να μπορούν να θεωρηθούν ρεαλιστικές.

Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν την εκπομπή ρύπων των οχημάτων τους στην περιοχή στην οποία ελέγχεται η συμμόρφωσή τους με τα πρότυπα, με αποτέλεσμα η πραγματική ρύπανση των οχημάτων να είναι μεγαλύτερη από το αναμενόμενο, υπονομεύοντας έτσι τα πρότυπα αλλά και τη δημόσια υγεία.

Οι «Κύκλοι Πόλης» (transient cycles) λοιπόν, έρχονται να καλύψουν αυτό το κενό στις διαδικασίες ελέγχου εισάγοντας νέες πιο αυστηρές διαδικασίες που προσομοιώνουν την πραγματική λειτουργία του οχήματος και συμβάλουν ουσιαστικά στην αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πρότυπα εκπομπών ρύπων που έχουν υιοθετηθεί στην Ευρώπη.

### ***1.3.2 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.

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

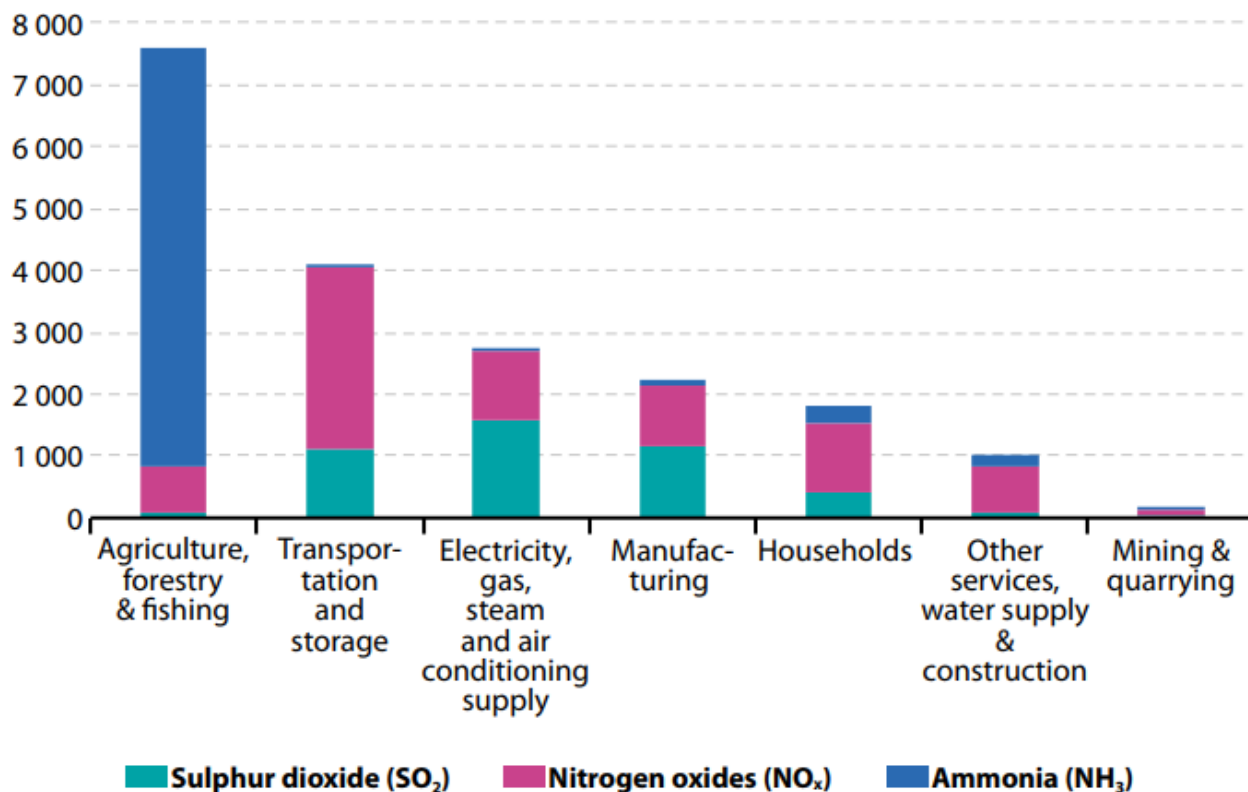
Πρόκειται για έναν από τους βασικούς συντελεστές της δημιουργίας του φωτοχημικού νέφους. Τα οξείδια του αζώτου κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας συμμετέχουν σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή των άκαυστων υδρογονανθράκων στα λεγόμενα φωτοχημικά οξειδωτικά και την παραγωγή όζοντος που επίσης είναι τοξικό για το αναπνευστικό σύστημα.

Με τη βοήθεια του όζοντος και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας τα οξείδια του αζώτου δημιουργούν κατόπιν ένα κύκλο δευτερογενούς ρύπανσης, η οποία κάτω από τις κατάλληλες καιρικές συνθήκες καταλήγει στο σχηματισμό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

### **1.3.4 Διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ )**

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 ( $H_2SO_4$ ) 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.



Εικόνα 3: Παραγωγή ρύπων NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub> ανά δραστηριότητα [6]

### 1.3.5 Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Ο όρος αυτός περιγράφει ένα ευρύ φάσμα στοιχείων και ενώσεων τα οποία είναι στερεά ή υγρά και τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση των μηχανών εσωτερικής καύσης, 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.

Το μέγεθος των σωματιδίων αυτών κυμαίνεται από 0.1 μm έως μερικές εκατοντάδες μικρόμετρα. Τα σωματίδια αυτά κατηγοριοποιούνται με βάση την αεροδυναμική τους διάμετρο. Όλα τα σωματίδια με διάμετρο κάτω των 10 μm θεωρούνται δυνητικά επικίνδυνα για την υγεία (PM10), διότι δεν συγκρατούνται από τα τριχίδια της μύτης με αποτέλεσμα να καταλήγουν στους πνεύμονες, όπου και προκαλούν φλεγμονή καθώς είναι δύσκολο να απομακρυνθούν από τον οργανισμό.

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. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια, νέες τεχνολογίες όπως ο άμεσος ψεκασμός (direct injection), έχουν επιφέρει αυξημένες εκπομπές των ρύπων αυτών και στους βενζινοκινητήρες. Τα τελευταία χρόνια έχουν συνδεθεί και με το φαινόμενο της καύσης στερεών καυσίμων σε ανοικτές εστίες (αιθαλομίχλη τζακιών) στις μεγάλες πόλεις.

### ***1.3.6 Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)***

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες προέρχονται από την ατελή καύση του καυσίμου μίγματος ή διαφεύγουν από την ελαιολεκάνη του κινητήρα. Πρόκειται για υδρογονάνθρακες αλδεϊδικούς, παραφινικούς εκτεταμένης κυκλικής αλυσού και αρωματικούς οι οποίοι είναι σε θέση να ενωθούν με το οξυγόνο.

Οι εργαστηριακές έρευνες απέδειξαν ότι οι ενώσεις αυτές αντιδρούν παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας και ερεθίζουν τα ανθρώπινα μάτια, μολύνουν την ατμόσφαιρα και προκαλούν ζημιές στη βλάστηση. Είναι ακόμα υπεύθυνες για την φωτοχημική αιθαλομίχλη και ορισμένες από αυτές (ιδιαίτερα το βενζόλιο) είναι καρκινογόνες.

### ***1.3.7 Όζον (O<sub>3</sub>)***

Το γεγονός ότι το όζον δεν αναφέρεται στους βασικούς ρύπους που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα και τις άλλες εστίες καύσης, οφείλεται στο ότι δεν αποτελεί πρωτογενή ρύπο αλλά δευτερογενή που σχηματίζεται στον αέρα από την αντίδραση ανάμεσα στα οξείδια του αζώτου και στους υδρογονάνθρακες. Επειδή για την αντίδραση αυτή χρειάζεται και η παρουσία του



ηλιακού φωτός, σε μέρη όπως η χώρα μας, όπου η ηλιοφάνεια αποτελεί συνηθισμένο φαινόμενο στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς πόσο αυξημένη μπορεί να είναι η παραγωγή όζοντος.

Ιδιαίτερα μάλιστα όταν η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπερβολικά αυξημένη, όπως συμβαίνει στην Αθήνα. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκο από μια περίεργη αντίφαση. Τα αυτοκίνητα παράγουν και μονοξείδιο του αζώτου, που οξειδώνεται στον αέρα και μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου. Μόνο το τελευταίο μπορεί να πάρει μέρος στη δημιουργία του όζοντος αντιδρώντας με τους υδρογονάνθρακες.

Αλλά το ίδιο το μονοξείδιο του αζώτου καταστρέφει το όζον. Παρατηρείται λοιπόν το περίεργο φαινόμενο, ότι παρόλο που τα αυτοκίνητα θεωρούνται υπεύθυνα για το μεγαλύτερο μέρος της δημιουργίας όζοντος, στο κέντρο των μεγάλων πόλεων τα επίπεδα του όζοντος μπορεί να είναι χαμηλά και να είναι υψηλότερα στην περιφέρεια. Κι αυτό γιατί στο κέντρο της πόλης, λόγω της πυκνής κυκλοφορίας, παράγονται μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του αζώτου, που καταστρέφουν το δημιουργημένο όζον. Αντίθετα, στην περιφέρεια των πόλεων η κυκλοφορία είναι χαμηλή κι έτσι υπάρχει πολύ λίγο μονοξείδιο του αζώτου.

Καθώς λοιπόν ο άνεμος μεταφέρει προς τα εκεί τους διάφορους ρύπους (που βέβαια δεν προέρχονται μόνο από τα αυτοκίνητα), δημιουργείται βαθμιαία όζον από την αντίδραση υδρογονανθράκων και διοξειδίου του αζώτου κι επειδή δεν υπάρχει αρκετό μονοξείδιο για να το καταστρέψει, τα επίπεδα του όζοντος αυξάνονται.

### ***1.3.8 Βαρέα μέταλλα***

Τα ορυκτά καύσιμα παρουσιάζουν πολύ μικρές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Τα περισσότερα από αυτά απομακρύνονται κατά τη διαδικασία επεξεργασίας αυτών, όπως λχ. το βανάδιο, για να χρησιμοποιηθούν σε άλλες δραστηριότητες αλλά και επειδή δυσκολεύουν την επεξεργασία του πετρελαίου. Εντούτοις συναντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες στο diesel και σχηματίζουν επικίνδυνους ρύπους.

Μία άλλη πηγή βαρέων μετάλλων αποτελούν οι τριοδικοί καταλύτες των οχημάτων. Με τη χρήση τους, άτομα των μετάλλων αποκολλώνται από τους καταλύτες και καταλήγουν στους δρόμους και στη συνέχεια η κίνηση των οχημάτων τα παρασύρει στην ατμόσφαιρα.

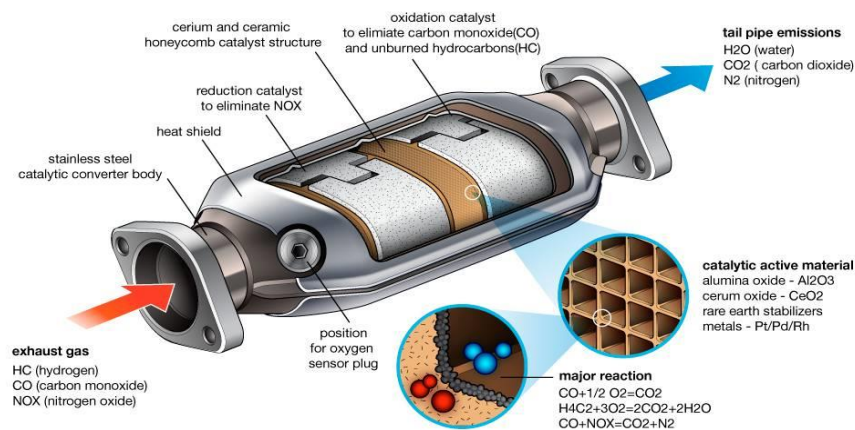
Τέλος, στο παρελθόν υπήρχαν ως πρόσθετο στην βενζίνη ενώσεις του μολύβδου (Pb), προκειμένου να αυξηθεί ο βαθμός οκτανίων. Εξαιτίας της τοξικότητας των ενώσεων αυτών τόσο για τον ανθρώπινο οργανισμό όσο και για τους καταλύτες των οχημάτων έχουν πλέον αντικατασταθεί από άλλες ενώσεις.

## 1.4 Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες οχημάτων

Προκειμένου να περιορίσουν τις εκπομπές ρύπων και να εναρμονιστούν με τα όρια της εκάστοτε ισχύουσας νομοθεσίας, υπάρχει ένα σύνολο τεχνολογιών που εφαρμόζονται από τους κατασκευαστές οχημάτων με στόχο τον περιορισμό των αερίων ρύπων, ανάλογα φυσικά και με την τεχνολογία του κινητήρα που χρησιμοποιείται.

### 1.4.1 Καταλύτες

Τα μηχανοκίνητα οχήματα είναι μια σημαντική πηγή CO το οποίο παράγεται μέσω τέλειας ή ατελούς καύσης. Με την πάροδο των χρόνων οι εκπομπές CO μειώνονται. Το 2010 εκπέμπονταν 14.358tn/έτος, το 2020 9.945tn/έτος και το 2030 7.032tn/έτος. Οι εκπομπές από τα βενζινοκίνητα οχήματα μειώθηκαν δραματικά μετά την εισαγωγή καταλυτικών μετατροπέων, το CO οξειδώνεται σε λιγότερο επιβλαβές αέριο όπως το CO<sub>2</sub>.



Εικόνα 4: Καταλυτικός μετατροπέας [12]

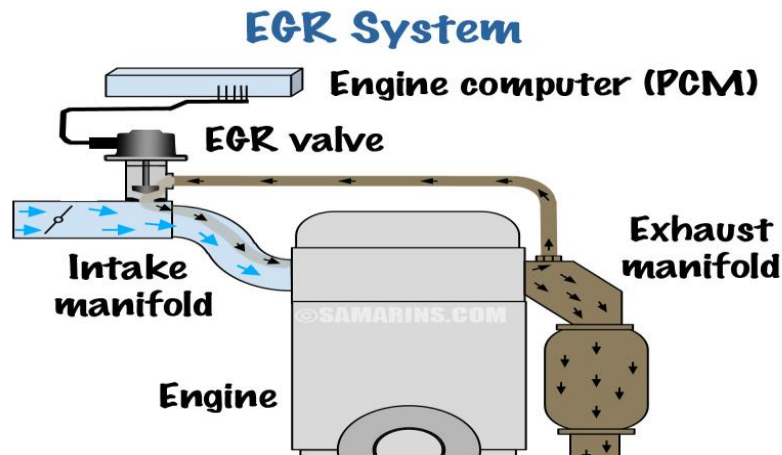
Οι καταλυτικοί μετατροπείς οχημάτων [16] αποτελούν την παλαιότερη αντιρρυπαντική τεχνολογία που συναντάται στα οχήματα. Οι σύγχρονοι καταλυτικοί μετατροπείς αποτελούνται από κεραμικό ή μεταλλικό πυρήνα εξαιρετικά μεγάλης επιφάνειας, το οποίο επιτυγχάνεται κατασκευαστικά και χρησιμοποιούν μείγμα από σπάνιες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

Η οξείδωση του CO σε CO<sub>2</sub> έχει ως συνέπεια τα οχήματα με καταλύτη να χρειάζονται ελαφρώς περισσότερα καύσιμα και γίνονται λιγότερο αποδοτικά. Ακόμη οι καινούργιες τεχνολογίες καυσίμων έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε S έτσι μειώνονται οι εκπομπές CO, HC και NO<sub>x</sub> από τον καταλύτη των βενζινοκίνητων οχημάτων και οι εκπομπές PM από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, με ή χωρίς καταλύτες οξείδωσης.

Με την πάροδο του χρόνου ο πληθυσμός των βενζινοκίνητων οχημάτων αυξάνεται σε αντίθεση με τον πληθυσμό των πετρελαιοκίνητων ο οποίος μειώνεται. Οι σύγχρονοι βενζινοκινητήρες ηλεκτρονικής ανάφλεξης είναι εφοδιασμένοι με «τριοδικούς καταλύτες» (ονομάζονται έτσι επειδή μειώνουν κατά 90% τις εκπομπές τριών αέριων ρυπαντών: των άκαυστων HC, CO των NO<sub>x</sub> και των NMVOC. Ένας τριοδικός καταλύτης ουσιαστικά αποτελείται από δυο διαφορετικά «μέρη»: έναν αναγωγικό καταλύτη που διαχωρίζει το επιβλαβές NO σε αβλαβές N και O<sub>2</sub> και έναν οξειδωτικό καταλύτη ο οποίος οξειδώνει τους επικίνδυνους ρύπους του CO και τους HC και τους μετατρέπει σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O.

Οι πετρελαιοκινητήρες Diesel είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν με «φτωχό» μίγμα, δηλαδή λειτουργούν με περίσσεια αέρα σε σχέση με τη στοιχειομετρική αναλογία μίγματος. Οι αναγωγικοί καταλύτες δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες «φτωχού» μίγματος και γι' αυτό το λόγο οι πετρελαιοκινητήρες είναι εφοδιασμένοι μόνο με οξειδωτικούς καταλύτες. Οι οξειδωτικοί καταλύτες είναι αποτελεσματικοί στο να ελαττώνουν τις εκπομπές HC και CO καθώς και μέρος από τις εκπομπές PM, όμως όχι στο να ελαττώνουν τις εκπομπές NO<sub>x</sub>. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο οι πετρελαιοκινητήρες παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερες εκπομπές NO<sub>x</sub> σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες.

#### 1.4.2 Τεχνολογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)

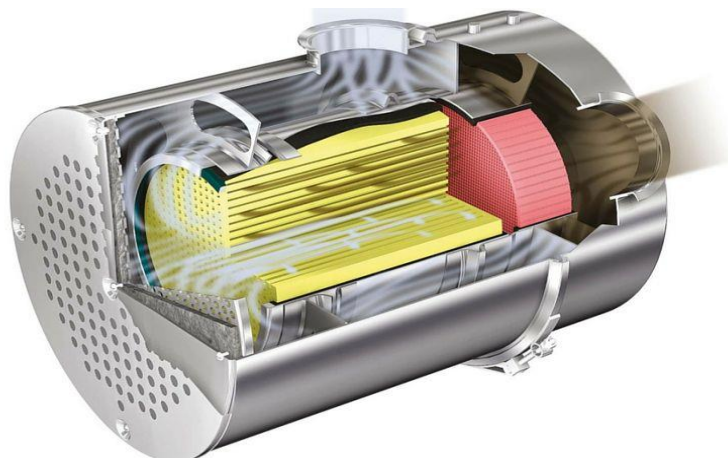


Εικόνα 5: Διάγραμμα συστήματος EGR [12]

Οι κινητήρες με επανακυκλοφορία καυσαερίων [17] ανακυκλώνουν ένα μέρος των καυσαερίων, τα οποία έχουν μικρή περιεκτικότητα σε  $O_2$  μετά την καύση, πίσω στην εισαγωγή του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό ελαττώνεται η θερμοκρασία μέσα στον κινητήρα αφού πλέον υπάρχει μικρότερη ποσότητα  $O_2$  προς καύση. Κατά συνέπεια η ελάττωση της υψηλής θερμοκρασίας περιορίζει και το σχηματισμό  $NO_x$ . Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στους περισσότερους κινητήρες βενζίνης και πετρελαίου. Στους πετρελαιοκίνητους κινητήρες συνδυάζεται και με φίλτρο σωματιδίων.

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.

### 1.4.3 Φίλτρο μικροσωματιδίων (DPF)



Εικόνα 6: Φίλτρο μικροσωματιδίων [12]

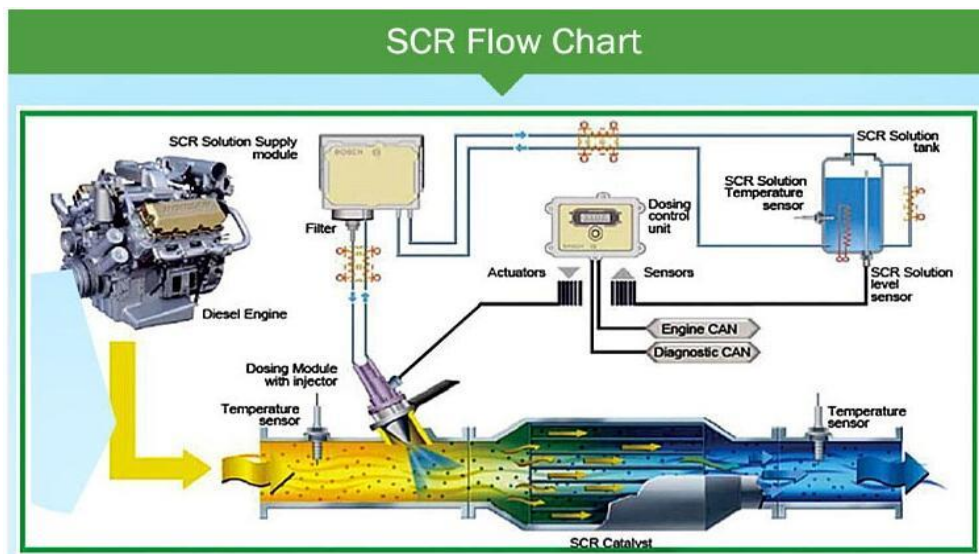
Τα φίλτρα μικροσωματιδίων αποτελούν την λύση για τις εκπομπές μικροσωματιδίων, ιδίως από τους σύγχρονους κινητήρες diesel [18]. Πρόκειται ουσιαστικά για συσκευές οι οποίες έχουν την ίδια δομή με τους καταλυτικούς μετατροπείς, δίχως τα σπάνια μέταλλα αυτών, στις οποίες παγιδεύεται η αιθάλη που εκπέμπεται 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 εγχέει 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.

#### 1.4.4 Επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR)

Η επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR) [19] αποτελεί μια ακόμη περισσότερο αποτελεσματική τεχνολογία για την μείωση των εκπομπών NOx από τους πετρελαιοκινητήρες (εικόνα 7). 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.



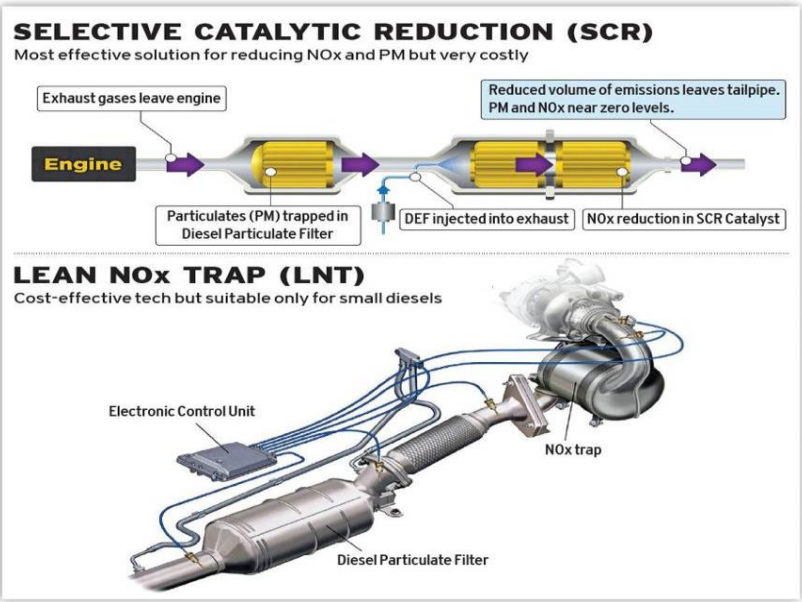
Εικόνα 7: Διαγραμματική απεικόνιση της διεργασίας SCR [12]

#### 1.4.5 Παγίδες NO<sub>x</sub> (DPNR)

Μία τεχνολογία στην οποία σημειώνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την μείωση των NO<sub>x</sub> και εφαρμόζεται στα οχήματα σήμερα, είναι οι παγίδες των NO<sub>x</sub>. Ευρεία εφαρμογή βρίσκουν σε κινητήρες Diesel, βαρέων και ελαφρών οχημάτων όπου μπορούν να επιτύχουν έως και 90% μείωση των NO<sub>x</sub>. Το σημαντικό μειονέκτημα βέβαια των παγίδων NO<sub>x</sub> αποτελεί το γεγονός ότι είναι εξαιρετικά ευαίσθητες στο S, και απαιτούν χρήση καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα σε αυτό. Οι παγίδες των NO<sub>x</sub> μπορούν να συνδυαστούν στους κινητήρες Diesel και με παγίδες αιθάλης. Το σύστημα αυτό γνωστό και ως DPNR (Diesel particulate and NO<sub>x</sub> Reduction) αναπτύχθηκε από την Toyota πριν μερικά χρόνια και έκτοτε βρίσκει ευρεία εφαρμογή.

Το DPNR μειώνει ταυτόχρονα τα PM και NO<sub>x</sub> στα καυσαέρια των πετρελαιοκινητήρων, με βάση τους καταλύτες αποθήκευσης NO<sub>x</sub> (NSC) κάνοντας χρήση και επανακυκλοφορίας καυσαερίου.

Η μείωση της θερμοκρασίας καύσης, η βελτίωση των ιδιοτήτων του καυσίμου και η επεξεργασία καυσαερίων βοηθούν στην μειωμένη έκτοπη NO<sub>x</sub>. Στην εικόνα 8 παρουσιάζονται τρόποι μειωμένης εκπομπής NO<sub>x</sub> από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα.



Εικόνα 8: Σύγκριση παγίδων NOx και SCR [12]



## 2 Νομοθετικό πλαίσιο εκπομπών καυσαερίων οχημάτων

### 2.1 Κατηγορίες 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.

Στην κατηγορία M κατατάσσονται οχήματα με κινητήρα τα οποία προορίζονται για την μεταφορά προσώπων και έχουν είτε τέσσερις τροχούς τουλάχιστον είτε τρεις τροχούς και

μέγιστο βάρος που υπερβαίνει τα 1000kg, ενώ στην κατηγορία N1 κατατάσσονται τα οχήματα τα οποία προορίζονται για την μεταφορά εμπορευμάτων και έχουν μέγιστο βάρος που δεν υπερβαίνει τα 3500kg.

## ***2.2 Ιστορική εξέλιξη θεσμικού πλαισίου ρύπων στην Ευρώπη***

Το 1956 [21] το Γερμανικό Κοινοβούλιο ζήτησε από την Γερμανική Ένωση Μηχανικών να αναπτύξουν ένα πλαίσιο για την μείωση της αέριας ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένου και των εκπομπών των οχημάτων. Την ίδια χρονιά, η Γαλλία ξεκίνησε ένα παρόμοιο ερευνητικό πρόγραμμα. Οι ενέργειες αυτές είχαν ως αφετηρία, εν μέρη, τις εξελίξεις στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, πρωτοπόρου στον έλεγχο εκπομπών αερίων ρύπων, που είχε ως στόχο την μείωση του προβλήματος του φωτοχημικού νέφους. Το γεγονός ότι μεγάλες Γερμανικές και Γαλλικές πόλεις αντιμετώπιζαν παρόμοια προβλήματα ανάγκασε τις κυβερνήσεις να αντιμετωπίσουν δραστικά το πρόβλημα.

Από το 1961 και έπειτα οι δύο ομάδες σε Γαλλία και Γερμανία δούλεψαν από κοινού για την επίλυση του προβλήματος των εκπομπών ρύπων οχημάτων οδικών μεταφορών. Το 1970 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Committee – EC) έθεσε τα πρώτα όρια εκπομπών ρύπων τα οποία αφορούσαν όλα τα μέλη της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Ένωσης (European Economic Community – EEC). Τα όρια αυτά ήταν σαφώς ηπιότερα από τα αντίστοιχα Αμερικανικά και Ιαπωνικά (χώρες που αποτέλεσαν τους πρωτοπόρους στον τομέα) αλλά αφενός έθεσαν τάξη στο χάος που επικρατούσε, αφού κάθε χώρα είχε δικά της ή και καθόλου όρια δημιουργώντας συνθήκες αθέμιτου ανταγωνισμού, αφετέρου όμως σταδιακά έγιναν ιδιαίτερα αυστηρότερα, αρχικά από τα οχήματα με κινητήρες μεγάλου κυβισμού, όπου η επίπτωση στην τιμή θα ήταν μικρή.

Πρότυπο	Έτος εφαρμογής	CO [g/km]	NOx [g/km]	HC+NOx [g/km]	HC [g/km]
ECE 15	1971	39.70	-	-	3.00
ECE 15/01	1975	31.80	-	-	2.56
ECE 15/02	1977	31.80	3.56	-	2.56
ECE 15/03	1979	25.70	3.01	-	2.27
ECE 15/04	1984	19.80	-	6.32	-
ECE 15/05	1990	11.30	1.50	3.80	-

**Πίνακας 3: Τα όρια εκπομπών πριν από τα πρότυπα EURO**

Μέχρι το 1982, τα όρια εκπομπών για τους ελεγχόμενους ρύπους βρίσκονταν στο 50% των αρχικών ορίων του 1970. Το 1982, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποφάσισε όλες οι επόμενες νομοθεσίες σχετικά με τους αερίους ρύπους οχημάτων να λαμβάνουν υπόψη τους όχι μόνο την μείωση της ρύπανσης, αλλά και κάθε άλλη δυνατή παράμετρο, όπως οι οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή οι επιπτώσεις των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία και το κοινωνικό σύνολο. Το πλαίσιο αυτό ήταν γνωστό ως ERGA (Evolution of Regulations – Global Approach: Εξέλιξη των Κανονισμών – Ολική Προσέγγιση).

Το 1982, στα πλαίσια του ERGA 1, αποδείχθηκε [22] ότι στην Ευρωπαϊκή Οικονομική Ένωση το 70% του ατμοσφαιρικού CO, το 20-50% των NOx και το 20-40% των εκπομπών HC οφείλονταν στα οχήματα οδικών μεταφορών. Το συμπέρασμα ήταν ότι είναι σχετικά δύσκολο να ορισθεί ένα απόλυτο όριο για κάθε ρύπο και συνεπώς η καλύτερη προσέγγιση είναι να υπάρχουν όρια τα οποία είναι εφικτά και αποδοτικά. Επιπροσθέτως, διενεργήθηκαν αναλύσεις κόστους/οφέλους για διάφορες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες. Η επιτροπή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η τεχνολογίες πτωχού μείγματος, πολλαπλής έγχυσης καυσίμου και καταλυτικών μετατροπών απλής οξείδωσης αποτελούσαν το μέλλον, σε αντίθεση με την Αμερικανική προσέγγιση της εποχής, η οποία βασιζόταν στους τριοδικούς καταλύτες, που ήταν ακριβότεροι και δεν είχαν δοκιμασθεί στην Ευρώπη από κατασκευαστές.

Το πρότυπο ECE 15/05, γνωστό και ως πρωτόκολλο του Λουξεμβούργου, ήταν αρκετά αυστηρό ώστε να απαιτεί εμμέσως καταλυτικούς μετατροπείς και άρχισε να εφαρμόζεται σταδιακά. Πρώτα, εφαρμόστηκε για τα οχήματα άνω των 2000 cc σε δύο στάδια, τον Οκτώβριο του 1988 και τον Οκτώβριο του 1989. Έπειτα ακολούθησαν τα οχήματα μεταξύ 1400 και 2000 cc τον Οκτώβριο του 1991 και έπειτα τον Οκτώβριο του 1993. Τα οχήματα κάτω των 1400 cc εναρμονίστηκαν τελευταία, με την νομοθεσία να ισχύει τον Οκτώβριο του 1992 και τον

Οκτώβριο του 1994 σταδιακά. Γαλλικοί και Ιταλικοί κατασκευαστές έθεσαν έντονα παράπονα για την θέσπιση ορίων στον τομέα των μικρών οχημάτων, στον οποίο και κυριαρχούσαν, καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980.

Παράλληλα, στην Γερμανία αναφορές του τύπου για πρόκληση καταστροφών στα δάση της Γερμανίας εξαιτίας των καυσαερίων των αυτοκινήτων, προκάλεσαν κοινωνική κατακραυγή και ανάγκασαν την κυβέρνηση να λάβει μέτρα. Έτσι, ανακοινώθηκε ότι θα υιοθετούνταν μέτρα παρόμοια με αυτά των ΗΠΑ, που ήταν σαφώς αυστηρότερα από τα μέχρι τώρα ευρωπαϊκά. Αυτή η κίνηση ανάγκασε την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να δράσει προκειμένου να υπάρχουν κοινά όρια όλα τα κράτη – μέλη της ένωσης και να μην υπάρχει διαφοροποίηση, κάτι που θα άνοιγε τον ασκό του Αιόλου και για άλλες παρεμβάσεις ανά κράτος σε άλλους τομείς. Τα μέτρα αυτά περιελάμβαναν την εισαγωγή αμόλυβδης βενζίνης, εισαγωγή τριοδικών καταλυτών και την έναρξη εφαρμογής των προτύπων EURO, με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/441/EEC, γνωστή και ως EURO 1, με αυστηρά όρια, παρόμοια με αυτά των ΗΠΑ.

Εντός της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας, η Γερμανία αποτέλεσε τον πρωτοπόρο. Παρέχοντας σημαντικά οικονομικά οφέλη για τους αγοραστές οχημάτων που εναρμονίζονταν με τα πρότυπα ECE ή τα αντίστοιχα Αμερικανικά, κατάφερε το 1988 μόλις το 6.5% των οχημάτων που πωλούνταν να μην πετυχαίνουν τα βέλτιστα όρια.

Η Σουηδία αποτέλεσε την πρώτη χώρα που έθεσε αυστηρότερα από τα Ευρωπαϊκά όρια, το 1975, περιορίζοντας σημαντικά τις πωλήσεις οχημάτων, ως αποτέλεσμα. Αυτό οδήγησε στα οχήματα που πωλούνταν εκεί να εμφανίζουν σημαντικά προβλήματα, όπως αυξημένη κατανάλωση, αύξηση της τιμής πώλησης των οχημάτων, νέων και μεταχειρισμένων, καθώς και μειωμένη απόδοση, διότι οι κατασκευαστές δεν μπορούσαν να δικαιολογήσουν το υψηλό κόστος εναρμόνισης για μία τόσο μικρή αγορά. Το 1983 παρόμοια μέτρα υιοθέτησε και η Ελβετία, με μεγάλα προβλήματα, προτού υπάρξει τελικά ο Ευρωπαϊκός εναρμονισμός.

Τα πρώτα οχήματα με καταλύτες άρχισαν να πωλούνται το 1985, κυρίως στην Γερμανία και σε λίγες ακόμα αγορές της Ευρώπης. Το 1989 οι κανονισμοί σε Σουηδία και Ελβετία ήταν τόσο αυστηροί, που απαιτούσαν οχήματα με καταλύτες, μέτρο που για την υπόλοιπη Ευρώπη άργησε κατά 4 χρόνια. Μεγάλο πρόβλημα αποτελούσε η απουσία πώλησης αμόλυβδης βενζίνης, ακόμα και μετά την 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου του 1981 που έγινε υποχρεωτική η διάθεσή της από όλα τα Ευρωπαϊκά κράτη.

## 2.3 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 4 [23].

Κατηγορία	Ημερομηνία επικύρωσης	Έναρξη ισχύος	CO [g/km]	THC [g/km]	NMHC [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC+NO <sub>x</sub> [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 4: Τα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για την κατηγορία Μ

Από το πρότυπο EURO 2 και μετέπειτα, υπάρχει διάκριση των ορίων ανάμεσα σε βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες. Με βάση λοιπόν τον πίνακα 4 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 δυσκολίας περιορισμού των ρύπων τους. Εντούτοις, τα όρια αυτά αν και αυξημένα θεωρούνται ιδιαίτερα αυστηρά.

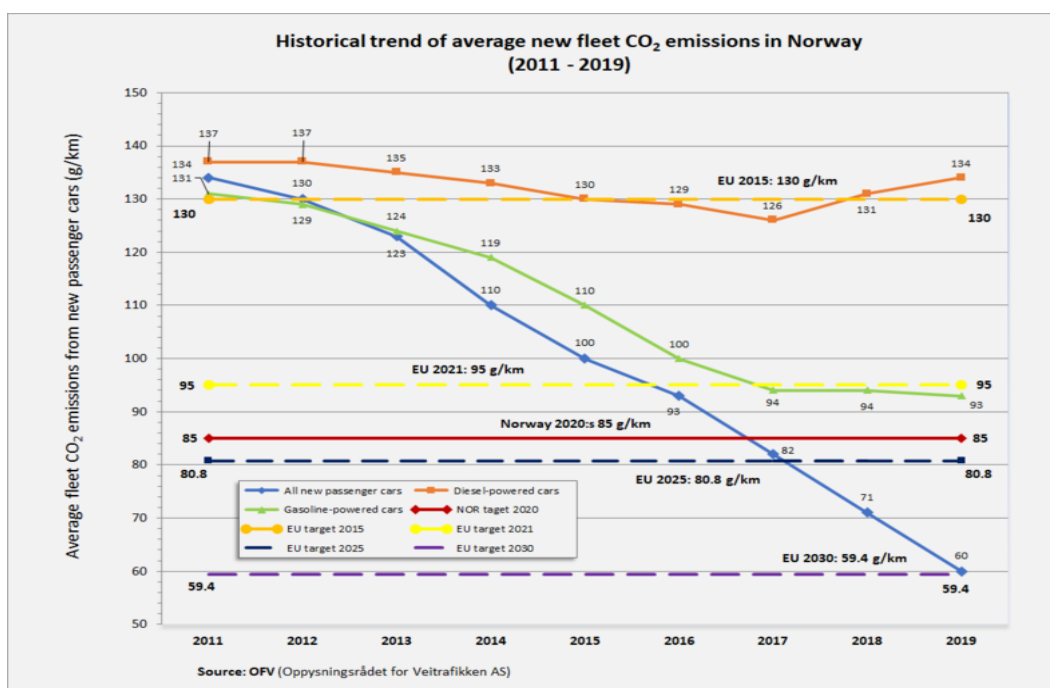
Επιπροσθέτως, από τη σειρά EURO 5 και έπειτα υπάρχουν όρια στις εκπομπές μικροσωματιδίων και για τους κινήτηρες βενζίνης και αυτό οφείλεται στην εισαγωγή τεχνολογιών όπως ο άμεσος ψεκασμός που οδηγούν σε τέτοιες εκπομπές.

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.

Βάσει των κανονισμών της ΕΕ, οι κατά τόπους Αρχές θα πρέπει να καταστρώσουν σχέδια μείωσης των επικίνδυνων εκπομπών ρύπων και να δημιουργήσουν «ζώνες καθαρού αέρα». Η Γαλλία και η Βρετανία, για παράδειγμα, προσπαθούν ήδη να κινηθούν προς αυτό το στόχο εφαρμόζοντας «δακτυλίους» σε επιβαρυμένες αστικές περιοχές, οι οποίοι επιτρέπουν την είσοδο των πιο ρυπογόνων οχημάτων μόνο σε συγκεκριμένες ώρες ή ημέρες ή επιβάλλουν στα οχήματα αυτά να καταβάλουν κάποιο αντίτιμο για να περάσουν.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα παραπάνω όρια θα περιορίζονται όλο και περισσότερο μέσα στα επόμενα χρόνια, ενώ ο στόχος της ΕΕ είναι να απαγορευτούν εντελώς οι πωλήσεις νέων βενζινοκίνητων και ντίζελ οχημάτων μέχρι το 2040, με στόχο την ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε.

Επί του παρόντος, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx), πτητικών οργανικών ουσιών (NMHC), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και αιωρούμενων σωματιδίων (PM) έχουν καθοριστεί για τους περισσότερους τύπους οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των αυτοκινήτων, φορτηγών, τρένων, τρακτέρ και παρόμοιων μηχανημάτων, αλλά εκτός από τα ποντοπόρα πλοία και αεροπλάνα. Για κάθε τύπο οχήματος, ισχύουν διαφορετικά πρότυπα όπου η συμμόρφωση καθορίζεται από τη λειτουργία του κινητήρα σε μια τυποποιημένο κύκλο δοκιμών. Μη συμμορφούμενα οχήματα δεν μπορούν να πωληθούν στην ΕΕ, αλλά και τα νέα πρότυπα δεν ισχύουν για οχήματα που βρίσκονται ήδη στους δρόμους.



Εικόνα 9: Τάση και στόχοι εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα στην ΕΕ και την Νορβηγία [19]

Για όλα τα οχήματα που είναι εξοπλισμένα με κινητήρα ντίζελ ισχύει η υποχρέωση σημαντικής μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου από την έναρξη ισχύος του προτύπου Euro 6.

Για παράδειγμα, για τις εκπομπές που προέρχονται από επιβατηγά αυτοκίνητα και άλλα οχήματα που προορίζονται για μεταφορά θα ισχύει ανώτατο όριο 80 mg/km (δηλαδή πρόσθετη μείωση κατά περισσότερο από 50% σε σχέση με το πρότυπο Euro 5).

Οι συνδυασμένες εκπομπές υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου που προέρχονται από οχήματα ντίζελ θα μειωθούν επίσης, έτσι ώστε να τεθούν ανώτατα όρια, π.χ. 170 mg/km όσον αφορά τα επιβατηγά αυτοκίνητα και άλλα οχήματα που προορίζονται για μεταφορά.

## ***2.4 Άλλες υποχρεώσεις των κατασκευαστών σχετικές με τις εκπομπές***

Εκτός από την τήρηση των προαναφερόμενων οριακών τιμών εκπομπών, οι κατασκευαστές οφείλουν να διασφαλίζουν την ανθεκτικότητα των διατάξεων ελέγχου της ρύπανσης για απόσταση 160.000 km. Επίσης, η συμμόρφωση κατά τη λειτουργία πρέπει να είναι δυνατόν να ελέγχεται επί χρονικό διάστημα έως πέντε έτη ή 100.000 km. Η Επιτροπή θεσπίζει ειδικές διαδικασίες, δοκιμές και απαιτήσεις που αφορούν:

1. Τις εκπομπές αγωγού εξαγωγής, συμπεριλαμβανομένων κύκλων δοκιμής, τις εκπομπές σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, τις εκπομπές σε λειτουργία κινητήρα εν κενώ, τη θολότητα καυσαερίου και την ορθή λειτουργία και αναγέννηση των συστημάτων μετεπεξεργασίας αναγέννησης.
2. Τις εξατμιζόμενες εκπομπές και τις εκπομπές στροφαλοθαλάμου.
3. Τα ενσωματωμένα στα οχήματα συστήματα διάγνωσης (OBD) και την απόδοση των συστημάτων ελέγχου της ρύπανσης κατά τη χρήση.
4. Την αντοχή των συστημάτων ελέγχου της ρύπανσης, τις διατάξεις αντικατάστασης για τον έλεγχο των εκπομπών, τη συμμόρφωση εν χρήσει, τη συμμόρφωση της παραγωγής και τον τεχνικό έλεγχο.
5. Τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και την κατανάλωση καυσίμων.
6. Τα υβριδικά οχήματα.
7. Την επέκταση των εγκρίσεων τύπου και τις απαιτήσεις για κατασκευαστές με μικρή παραγωγή.
8. Τις απαιτήσεις για εξοπλισμό δοκιμών.
9. Τα καύσιμα αναφοράς, όπως βενζίνη, ντίζελ, αέρια καύσιμα και βιοκαύσιμα.
10. Τη μέτρηση της ισχύος του κινητήρα.



## ***2.5 Έκτακτος και περιοδικός έλεγχος εκπομπών οχημάτων***

Πέραν των ορίων που υπάρχουν στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την πώληση νέων οχημάτων, υπάρχουν και εθνικά νομοθετικά πλαίσια τα οποία ελέγχουν ότι τα οχήματα που κυκλοφορούν στους δρόμους είναι τεχνικά άρτια και δεν παρουσιάζουν ελαττώματα, εξαιτίας φθοράς από την χρήση τους, τα οποία επιβαρύνουν το περιβάλλον ή τα καθιστούν επικίνδυνα.

Έτσι, στην Ελλάδα, όλα τα Ι.Χ. και Δ.Χ. οχήματα, 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 περιοδικός τεχνικός έλεγχος 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.

## ***2.6 Όρια εκπομπών καυσαερίων κατά τον έλεγχο***

Τα όρια εκπομπών καθορίζονται από την Υπουργική Απόφαση Φ50/94474/4556 – Φ50/94475/4557 – ΦΕΚ 829/Β/8-11-1994. Στην εν λόγω απόφαση γίνεται διάκριση των οχημάτων με βάση διάφορα κριτήρια για τον καθορισμό των προβλεπόμενων ορίων, τα οποία δεν σχετίζονται φυσικά με τα εκάστοτε ισχύοντα όρια κατά EURO, αφού σκοπός και στόχος είναι ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας των συστημάτων αντιρρύπανσης.

Έτσι, τα οχήματα κατηγοριοποιούνται αναλόγως του τύπου του καυσίμου που χρησιμοποιείται, βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα αφενός και πετρελαιοκίνητα αφετέρου, της ημερομηνίας πρώτης κυκλοφορίας η οποία και καθορίζει την αντιρρυπαντική τεχνολογία του οχήματος, με αποτέλεσμα τα αυστηρότερα όρια για σύγχρονα οχήματα με καταλύτες, το αν ο τριτοδικός καταλύτης διαθέτει αισθητήρα λάμδα για τον έλεγχο του καθώς και, για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, εάν αυτά διαθέτουν υπερπλήρωση ή όχι.

### 2.6.1 Βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας

Για όσα οχήματα είναι συμβατικής τεχνολογίας, ήτοι οχήματα τα οποία δεν διαθέτουν καταλυτικούς μετατροπείς και αφορά κατά κύριο λόγο, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, οχήματα προ του 1993, τα όρια των εκπομπών CO και HC για περιοδικό έλεγχο καθορίζονται από τον πίνακα 4.

Για οχήματα τα οποία φέρουν κινητήρες Wankel ή δίχρονους κινητήρες και είναι συμβατικής τεχνολογίας, δηλαδή εμπίπτουν στα πλαίσια της παρούσης, δεν ελέγχεται η συγκέντρωση υδρογονανθράκων (HC) στα καυσαερίά τους.

Όσον αφορά τους έκτακτους ελέγχους, τα όρια του παρακάτω πίνακα 4 αυξάνονται κατά 0.5% για το μονοξείδιο του άνθρακα και κατά 100 ppm για τις εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων.

Έτος έκδοσης 1ης άδειας	Ρύπος	Ρελαντί	2500 ± 300 RPM
Προ 01-10-1986	CO [%]	< 4,5	< 4
	HC [ppm]	< 800	< 700
Μετά 01-10-1986	CO [%]	< 3,5	< 3
	HC [ppm]	< 500	< 400

Πίνακας 5: Όρια εκπομπών ρύπων για οχήματα συμβατικής τεχνολογίας

### 2.6.2 Βενζινοκίνητα και υγραεριοκίνητα καταλυτικής τεχνολογίας

Οχήματα τα οποία διαθέτουν καταλυτικούς μετατροπείς, ήτοι εμπίπτουν στο νομοθετικό πλαίσιο των οχημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, οφείλουν να τηρούν, κατά τον περιοδικό έλεγχο οχημάτων, τα αυστηρότερα όρια του πίνακα 5.

Η διάκριση ανάμεσα σε οχήματα με ρυθμιζόμενο ή όχι τριτοδικό καταλύτη αφορά την ύπαρξη αισθητήρα οξυγόνου ή αλλιώς αισθητήρα λ. Ο αισθητήρας αυτός φροντίζει ούτως ώστε να αναπροσαρμόζεται ο λόγος αέρα – καυσίμου του οχήματος κατάλληλα, ώστε η συγκέντρωση οξυγόνου στα καυσαερία να είναι σε ένα ιδανικό εύρος το οποίο ευνοεί την ορθή λειτουργία του καταλυτικού μετατροπέα.

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. Για τα οχήματα με ρυθμιζόμενο καταλύτη, η τιμή αυτή πρέπει να είναι στο εύρος του πίνακα 5.

Σε περίπτωση εκτάκτου ελέγχου, τα όρια του παρακάτω πίνακα 5 αναπροσαρμόζονται. Έτσι, τα όρια αυξάνονται κατά 0.1% για τη συγκέντρωση CO και κατά 10 ppm για τους άκαυστους υδρογονάνθρακες.

Τύπος καταλύτη	Ρύπος	Ρελαντί	2500 ± 300 RPM
Οχήματα με ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη	CO [%]	< 0,5	< 0,3
	HC [ppm]	< 120	< 100
	λ	-	0,97 - 1,03
Οχήματα με μη ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη	CO [%]	< 1,2	< 1
	HC [ppm]	< 220	< 200

Πίνακας 6: Όρια εκπομπών ρύπων οχημάτων καταλυτικής τεχνολογίας

### 2.6.3 Πετρελαιοκίνητα οχήματα

Για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, ο έλεγχος των καυσαερίων τους συνίσταται στον έλεγχο του δείκτη θολερότητας k. Πρόκειται κατ' ουσία για έναν δείκτη που μας δείχνει το πόσο «διαυγή» είναι τα καυσαέρια. Εξαιτίας των εκπομπών μικροσωματιδίων, άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης, τα καυσαέρια των πετρελαιοκινητήρων έχουν ένα γκριζωπό ή μαύρο χρώμα, όταν η συγκέντρωση των παραπάνω είναι ιδιαίτερα αυξημένη.

Μετρώντας λοιπόν, με βάση την αρχή της φωτομετρικής απορρόφησης, το ποσοστό του φωτός που απορροφάτε από αυτά, μπορούμε να προσδιορίσουμε έναν συντελεστή k, τον οποίο και συγκρίνουμε με τις τιμές του παρακάτω πίνακα 6. Υπάρχει μία διάκριση ανάμεσα σε υπερπληρωμένους και μη κινητήρες, αφού η χρήση υπερπλήρωσης αυξάνει τις πιέσεις και κατ' επέκταση θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης και συνεπώς οδηγεί σε αύξηση εκπομπών.

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  $0,50 \text{ m}^{-1}$ . Ο συντελεστής  $k$  προκύπτει ως η μέση τιμή των 4 αυτών μετρήσεων.

Όριο θολερότητας		
Φυσική αναρρόφηση	$k \text{ [m}^{-1}\text{]}$	< 2,5
Υπερπλήρωση	$k \text{ [m}^{-1}\text{]}$	< 3,0

Πίνακας 7: Όρια δείκτη θολερότητας για πετρελαιοκινητήρες οχημάτων

## **3 Κύκλοι οδήγησης**

### **3.1 Η έννοια του κύκλου οδήγησης στον προσδιορισμό των ρύπων**

Όλοι οι κινητήρες καλούνται να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα φορτίου και συνθηκών στους δρόμους. Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν καθοριστικά τόσο τους εκπεμπόμενους ρύπους όσο και την κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος. Είναι προφανές ότι διαφορετικές είναι οι απαιτήσεις για ένα όχημα που κινείται σε μία πόλη και διαφορετικές για κάποιο που κινείται σε μια εθνική οδό. Παράλληλα, οι εξωτερικές συνθήκες δεν είναι σταθερές ούτε όμοιες.

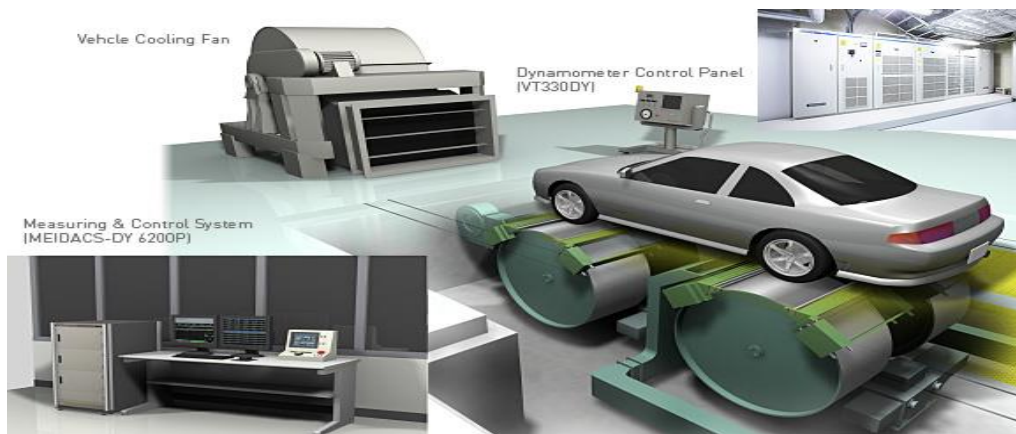
Όμως, για να προσδιορισθεί αν ένα όχημα εναρμονίζεται με τα όρια της νομοθεσίας, απαιτείται μία μονοσήμαντη διαδικασία η οποία θα μας οδηγήσει αφενός σε ένα δεδομένο αποτέλεσμα το οποίο θα παράγεται με κοινό τρόπο για όλα τα οχήματα, αφετέρου θα μπορεί να εξασφαλίσει την επαναληψιμότητα της διαδικασίας και την συσχέτισή της με τις πραγματικές συνθήκες.

Για τους λόγους αυτούς, όλα τα οχήματα τα οποία κινούνται στους δρόμους, απαιτείται να λάβουν έγκριση ότι εναρμονίζονται με την νομοθεσία μέσω μίας αυστηρής διαδικασίας δοκιμών, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση δυναμομετρικής εξέδρας και την λειτουργία των οχημάτων σε δεδομένες μεταβλητές συνθήκες φορτίου, τις οποίες ονομάζουμε κύκλους οδήγησης.

Η δυναμομετρική εξέδρα πλαισίου (chassis dynamometer) μας επιτρέπει να δοκιμάσουμε τον κινητήρα ενώ βρίσκεται μέσα στο σασί προσομοιώνοντας με ασφάλεια και ελεγχόμενες παραμέτρους-συνθήκες από την πραγματική οδήγηση. Με τη χρήση της εξέδρας μπορούμε να δοκιμάσουμε τα δυναμικά μέρη του οχήματος όπως είναι ο κινητήρας, το σύστημα μετάδοσης και τα διαφορικά, επίσης μπορούμε να δοκιμάσουμε αν τα υπόλοιπα στοιχεία του οχήματος, όπως είναι το σύστημα πέδησης, το σύστημα ψύξης καθώς και το ηλεκτρικό σύστημα λειτουργούν σωστά σε όλο το φάσμα της ισχύς και των στροφών.

Η εξέδρα από μονή της είναι ένα δυναμόμετρο όμως μας χρησιμεύει διότι μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις μέσα σε εργαστήριο, μαζί με τον επιπρόσθετο εξοπλισμό (όπως είναι το

σύστημα μέτρησης καυσίμου, το σύστημα συλλογής αερίων, το σύστημα ανάκτησης και έλεγχου των δεδομένων αισθητήρες, αναλυτές), το απαραίτητο λογισμικό και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, ώστε να βγάλουμε συμπεράσματα για την κατανάλωση καυσίμου, εκπομπές ρύπων και δυναμομετρησης.



**Εικόνα 10: Δυναμομετρική εξέδρα οχημάτων [21]**

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].

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

- Οι περιστρεφόμενοι κύλινδροι οι όποιοι ποικίλουν σε αριθμό αλλά και σε διαστάσεις ανάλογα το όχημα
- Σύστημα σφονδύλων για τη προσομοίωση της μάζας του οχήματος
- Σύστημα πέδης για τη προσημείωση των αεροδυναμικών αντιστάσεων και των αντιστάσεων κύλισης.
- Ηλεκτρονική μονάδα προγραμματισμού των δυνάμεων προσομοίωσης.
- Πίνακα ελέγχου της εξέδρας.

Το όχημα προσδένεται με ιμάντες πάνω στη στην εξέδρα .Τοποθετούνται οι εύκαμπτοι σωλήνες συλλογής καυσαερίων ,καθώς και τα όργανα μέτρησης κατανάλωσης καυσίμων και ανάληψης δεδομένων από τη κεντρική μονάδα του οχήματος οδηγός παρακολουθεί το μόνιτορ

(driver aid) το οποίο τον καθοδηγεί με διαγράμματα στην οθόνη τη ταχύτητα να ακολουθήσει προσεχώς καθώς και τις αλλαγές ταχυτήτων στο κιβώτιο.

## 3.2 Δημιουργία κύκλων οδήγησης

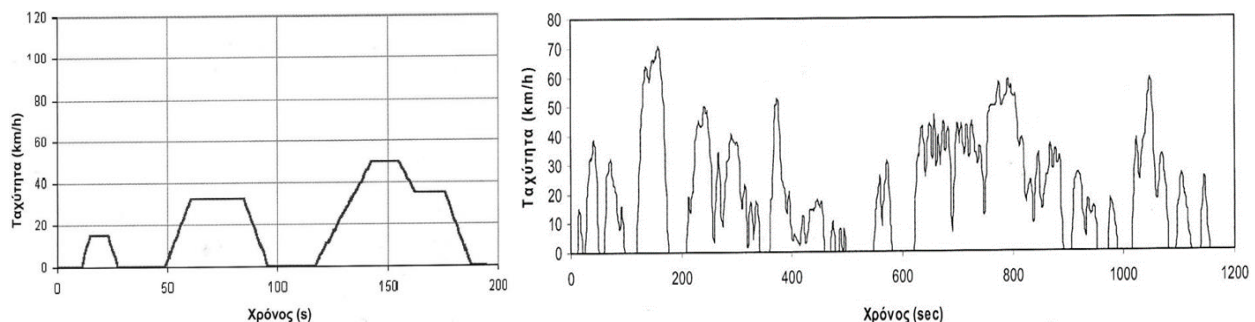
### 3.2.1 Ταξινόμηση κύκλων οδήγησης

Οι κύκλοι οδήγησης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με την χρήση που προορίζονται.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους κύκλους που χρησιμοποιούνται για την έγκριση τύπου των οχημάτων (θεσμοθετημένοι). Τέτοιοι κύκλοι χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη (NEDC: ECE R15 (1970) / EUDC (1990) Ευρωπαϊκός κύκλος οδήγησης), στην Αμερική (FTP-75, Unified LA-92) και στην Ιαπωνία (Japan 10-15 mode).

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει κύκλους οδήγησης που εκπονούνται περισσότερο για ερευνητικό σκοπό. Χρησιμοποιούνται δεδομένα από πραγματικές συνθήκες κίνησης και για το λόγο αυτό ονομάζονται “Real World”. Η χρήση τους περιλαμβάνει τον υπολογισμό εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου. Οι κύκλοι οδήγησης αυτού του είδους αναπτύσσονται από ιδρύματα όπως είναι το ινστιτούτο μεταφορών INRETS της Γαλλίας, ή πανεπιστημιακά ιδρύματα.

Ανάλογα με την μορφή και τον τρόπο που κατασκευάζονται, οι κύκλοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Αυτοί που κατασκευάζονται βάσει σταθερών επιταχύνσεων, ταχυτήτων κίνησης και επιβραδύνσεων, ονομάζονται «modal». Τέτοιοι κύκλοι είναι συνήθως αυτοί που χρησιμοποιούνται για την έγκριση τύπου.



Εικόνα 11: Ένας modal κύκλος (ECE 15) αριστερά και ένας ρεαλιστικός δεξιά

### 3.2.2 Μέθοδοι δειγματοληψίας

Αρχικά για την δημιουργία κύκλων οδήγησης χρειάζονται δεδομένα κίνησης από οχήματα κατάλληλα να διεκπεραιώσουν το σκοπό αυτό. Ο τρόπος που ενδείκνυται είναι με εξοπλισμένο καταγραφής των παραμέτρων κίνησης του. Έπειτα πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος τρόπος κίνησης του οχήματος προκειμένου οι καταγραφές να είναι αντικειμενικές και αντιπροσωπευτικές του τρόπου κίνησης της πλειοψηφίας των κινούμενων οχημάτων στο πεδίο της δειγματοληψίας.

Για το λόγο αυτό έχουν επινοηθεί από ερευνητές και ειδικούς μια σειρά από τεχνικές για τον τρόπο κίνησης των οχημάτων δοκιμών.

1. Η τεχνική της οδήγησης «κυνήγησε το αυτοκίνητο» (chase car), η οποία αναπτύχθηκε στην Αμερική από την υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος των ΗΠΑ, χρησιμοποιείτε ευρύτατα από τους ερευνητές του είδους. Η συγκεκριμένη τεχνική χαρακτηρίζεται από δύο αρχές.

- Σύμφωνα με την πρώτη αρχή το όχημα δοκιμών ακολουθεί κάποιο όχημα παρόμοιων χαρακτηριστικών προσπαθώντας να αντιγράψει την κίνηση του, όπως τις εναλλαγές ταχύτητας, επιταχύνσεις, επιβραδύνσεις, από το ξεκίνημα αυτής μέχρι το τέλος.
- Η δεύτερη αρχή, έρχεται να συμπληρώσει την πρώτη, όπου στην περίπτωση που δεν υπάρχει συγκεκριμένο όχημα που να αποτελεί τον στόχο για την αντιγραφή της κίνησης η τακτική που ακολουθείτε είναι, οδήγηση ακολουθώντας τη γενική ροή των οχημάτων αποφεύγοντας τα πολύ αργά και τα πολύ γρήγορα κινούμενα οχήματα ή τις μεγάλες επιβραδύνσεις και τις μεγάλες επιταχύνσεις.

2. Συλλογή δεδομένων κίνησης μπορεί επίσης να επιτευχθεί μέσω κατάλληλα εξοπλισμένων οχημάτων ιδιωτικής χρήσης τα οποία χρησιμοποιούνται από τους ιδιοκτήτες τους για τις καθημερινές τους διαδρομές.

3. Τα οχήματα δοκιμών μπορούν να οδηγούνται από επαγγελματίες οδηγούς που γνωρίζουν το σκοπό της έρευνας και μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των μετρήσεων.



4. Τέλος μετρήσεις μπορούν να γίνουν με εξοπλισμένο αυτοκίνητο το οποίο οδηγούν πολλοί διαφορετικοί οδηγοί. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείτε για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς διαφορετικών οδηγών στο δρόμο.

### **3.2.3 Επεξεργασία δεδομένων**

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν δύο κατηγορίες κύκλων οδήγησης όσον αφορά την κατασκευή τους.

Για την κατασκευή των modal κύκλων απαιτείτε η κατάλληλη επιλογή των τμημάτων που θα συνθέσουν το τελικό αποτέλεσμα και που θα συμφωνούν στατιστικά με τα δεδομένα κίνησης που συλλέχθηκαν.

Για την κατηγορία των ρεαλιστικών «real world» κύκλων που αποτελούνται από πραγματικά γεγονότα, υπάρχουν αρκετές προτάσεις από διάφορους ερευνητές που κατά καιρούς έχουν καταθέσει την δική τους άποψη για την εκπόνηση των κύκλων οδήγησης. Ανάλογα με το.25 τρόπο ορισμού του δείγματος, ο τελικός κύκλος οδήγησης μπορεί να αποτελείτε από μια πραγματική διαδρομή ή από συνδυασμό φάσεων οδήγησης.

Μεγάλο ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής ενός κύκλου και στο πόσο αντιπροσωπευτικός των δεδομένων κίνησης, εφόσον αυτός προέρχεται από πραγματικά δεδομένα, είναι ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων αυτών.

Στο πρόσφατο παρελθόν, δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στα ίδια δεδομένα από τον , είχαν μεγάλες αποκλίσεις στο τελικό αποτέλεσμα για το Λος Άντζελες.

Η σχολαστική στατιστική επεξεργασία των δεδομένων θεωρείται αναγκαία για την εκπόνηση αντιπροσωπευτικών κύκλων οδήγησης.

Ο Andre M. κατηγοριοποίησε τις μετρήσεις του σύμφωνα με τον τρόπο δειγματοληψίας, τον κυκλοφοριακό φόρτο σε 12 τρόπους οδήγησης και δημιούργησε τους κύκλους από την σύνθεση μικρότερων αντιπροσωπευτικών κύκλων.

### **3.2.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη για επεξεργασία**

Και σε αυτόν τον τομέα οι ερευνητές θεωρούν σημαντικές κάποιες παραμέτρους που πρέπει να υπολογιστούν και να υποστούν στατιστική επεξεργασία για το καλύτερο επιθυμητό

αποτέλεσμα όσον αφορά στον βαθμό που ο τελικός κύκλος οδήγησης θα είναι αντιπροσωπευτικός.

Από τους Kruse και Hulls το 1973, που επέλεξαν μέσα από 6 διαδρομές την μέχρι τον Πίτσα.Κ το 2003 προστέθηκαν ή αφαιρέθηκαν διάφορες σημαντικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές. Οι βασικότεροι παράμετροι από τους Kuhler και Karstens ήταν:

- η μέση ταχύτητα
- η μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις
- η συνολική μέση επιτάχυνση
- η συνολική μέση επιβράδυνση
- η μέση διάρκεια της περιόδου κίνησης
- ο μέσος όρος των εναλλαγών επιτάχυνσης-επιβράδυνσης
- το ποσοστό του χρόνου σε στάση
- το ποσοστό του χρόνου σε επιτάχυνση
- το ποσοστό του χρόνου σε επιβράδυνση
- το ποσοστό του χρόνου σε σταθερή ταχύτητα
- Αρκετά αργότερα από το , υπήρξαν αρκετοί<sup>29</sup> που αναθεώρησαν, επανεξέτασαν και εισήγαγαν νέες παραμέτρους. Σύμφωνα με τον M. Andre οι πιο σημαντικές παράμετροι είναι
- η μέση ταχύτητα
- η διάρκεια του κύκλου
- η μέση ταχύτητα
- η τυπική απόκλιση της επιτάχυνσης
- η θετική κινητική ενέργεια
- το ποσοστό του χρόνου σε στάση
- ο αριθμός των στάσεων ανά χιλιόμετρο
- η μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις
- η μέση επιτάχυνση
- η μέση επιβράδυνση
- η μέση διάρκεια των περιόδων κίνησης
- ο μέσος όρος των εναλλαγών επιτάχυνσης-επιβράδυνσης
- η κατανομή της ταχύτητας

- η κατανομή της επιτάχυνσης
- η κατανομή της επιβράδυνσης

Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν κι άλλες παράμετροι όπως η ισχύς και παράμετροι όπως είναι οι διακυμάνσεις της ταχύτητας, η σχετική θετική επιτάχυνση (RPA) το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της επιτάχυνσης (IS: Internal Square) και το άθροισμα των τετραγώνων της επιτάχυνσης που σύμφωνα με την E. Ericsson, στις οποίες κατέληξε μεταξύ άλλων χρησιμοποιώντας πρόγραμμα παραγοντικής ανάλυσης SPSS.

Ο Πίτσας .Κ συνυπολόγισε την κλίση των οδών στην εκπόνηση του κύκλου οδήγησης και εισήγαγε την έννοια της επιτάχυνσης του οχήματος σε οδούς με κλίση και την RPA που επίσης ενσωματώνει την κλίση των οδών και υπολογίζεται αντίστοιχα από την επιτάχυνση. Η σχέση που δίνει την RPA είναι:

$$RPA=(1/x) * \int a_i * v_i * dt$$

Όπου

x: η διανυθείσα απόσταση

a<sub>i</sub>: η θετική μεταβολή στην ταχύτητα (επιτάχυνση)

v<sub>i</sub>: η ταχύτητα του οχήματος

Ένα ακόμη μέγεθος που είναι χαρακτηριστικό των κύκλων οδήγησης είναι το άθροισμα των τετραγώνων της επιτάχυνσης και υπολογίζεται ως εξής:

$$(1/n) * \sum a_i^2$$

Όπου

n: είναι το πλήθος των σημείων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό

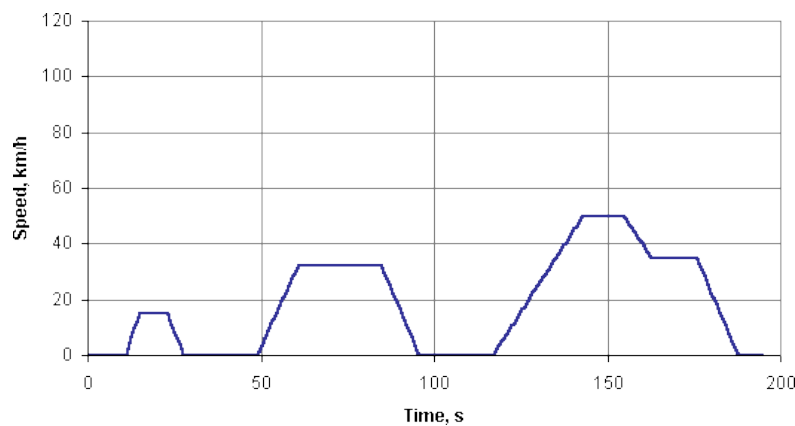
a<sub>i</sub>: είναι η στιγμιαία επιτάχυνση

### 3.3 Ευρωπαϊκοί κύκλοι οδήγησης

#### 3.3.1 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 12: Ο κύκλος ECE-15

Ο κύκλος ECE-15, όπως αποτυπώνεται στην εικόνα 12, 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.

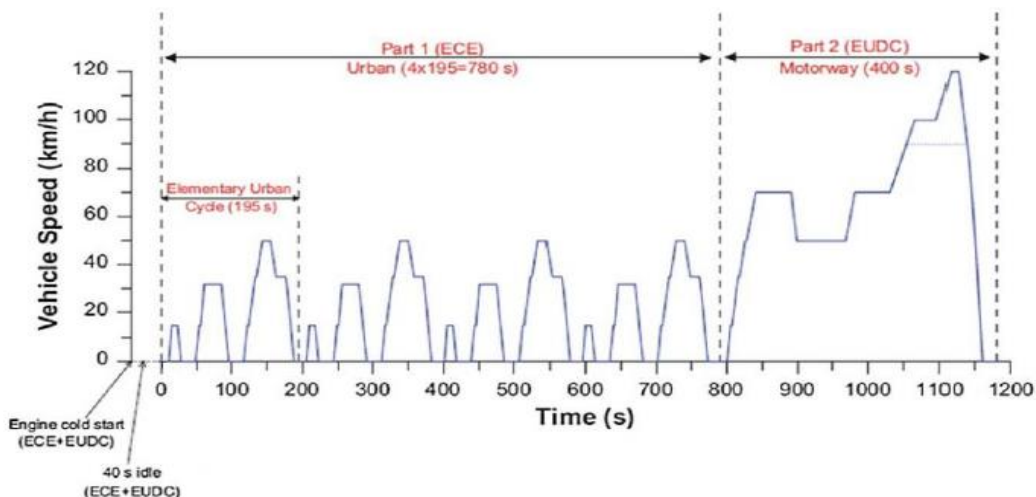
### 3.3.2 Ο κύκλος ECE + EUDC

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. Η δοκιμή εκτελείται σε δυναμομετρική εξέδρα. Ολόκληρος ο κύκλος περιλαμβάνει τέσσερα τμήματα ECE επαναλαμβανόμενα χωρίς διακοπή, ακολουθούμενα από ένα τμήμα της EUDC, όπως φαίνεται στην εικόνα 13. Πριν από τη δοκιμή, το όχημα αφήνεται για τουλάχιστον 6 ώρες σε θερμοκρασία δοκιμής 20-30 ° C. Στη συνέχεια ξεκινάει και αφήνεται σε αδράνεια για 40 δευτερόλεπτα.

Η πλήρης δοκιμή αρχίζει με τέσσερις επαναλήψεις του κύκλου ECE. Το ECE είναι ένας κύκλος αστικής οδήγησης, γνωστός και ως UDC. Σχεδιάστηκε να αντιπροσωπεύει συνθήκες οδήγησης στην πόλη. Χαρακτηρίζεται από χαμηλή ταχύτητα οχήματος, χαμηλό φορτίο κινητήρα και χαμηλή θερμοκρασία καυσαερίων.

Ο κύκλος EUDC (κύκλος οδήγησης σε αστικό περιβάλλον) προστέθηκε μετά τον τέταρτο κύκλο ECE για να συμπεριλάβει πιο “επιθετικούς” τρόπους οδήγησης δηλαδή με υψηλή ταχύτητα. Η μέγιστη ταχύτητα του κύκλου EUDC είναι 120 km/h. Έχει επίσης οριστεί ένας εναλλακτικός κύκλος EUDC για οχήματα χαμηλής ισχύος με μέγιστη ταχύτητα που περιορίζεται στα 90 km/h.

Τα δείγματα λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου σύμφωνα με την τεχνική δειγματοληψίας σταθερού όγκου (CVS), που αναλύεται και εκφράζεται σε g / km για κάθε ρύπο.



Εικόνα 13: Ο κύκλος ECE + EUDC

### 3.3.3 Ο κύκλος NEDC

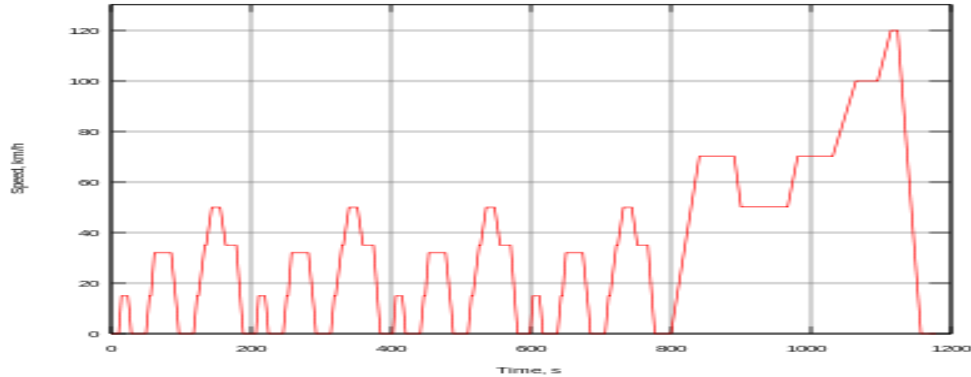
Ο κύκλος NEDC (new European Driving Cycle) [28], γνωστός και ως MVEG, οριστικοποιήθηκε το 1997, με την προσθήκη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, και ίσχυσε από το 2000 και την 1 Σεπτεμβρίου του 2019. Πρόκειται κατ' ουσία για μια μικρή τροποποίηση του κύκλου ECE + EUDC αφού απλώς αφαιρεί τα 40 δευτερόλεπτα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

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 χαρτογραφήσεις οικονομίας, τις οποίες ο οδηγός δεν θα χρησιμοποιήσει στην πραγματικότητα.



Εικόνα 14: Ο κύκλος NEDC

### Επισκόπηση του NEDC

- Η θερμοκρασία στο θάλαμο δοκιμών είναι 20-30°C.
- Η απόσταση είναι 11 km.
- Ο κύκλος διαρκεί 20 λεπτά.
- Ο κύκλος αποτελείται από δύο φάσεις:
- 13 λεπτά εικονική οδήγηση στην πόλη και 7 λεπτά εικονική οδήγηση εκτός πόλης.
- Η μέση ταχύτητα είναι περίπου 33 km/h.
- Η αναλογία ρελαντί είναι 25%.
- Η τελική ταχύτητα είναι 120 km/h.
- Τα σημεία αλλαγών σχέσεων για μοντέλα με μηχανικό κιβώτιο είναι προσδιορισμένα με ακρίβεια.
- Προαιρετικός έξτρα εξοπλισμός και A/C δεν λαμβάνονται υπόψη

Χαρακτηριστικό	Μονάδες	ECE 15	EUDC	NEDC
Απόσταση	km	0.9941	6.9549	10.9314
Ολικός χρόνος	s	195	400	1180
Ακινησία	s	57	39	267
Μέση ταχύτητα με στάσεις	km/h	18.35	62.59	33.35

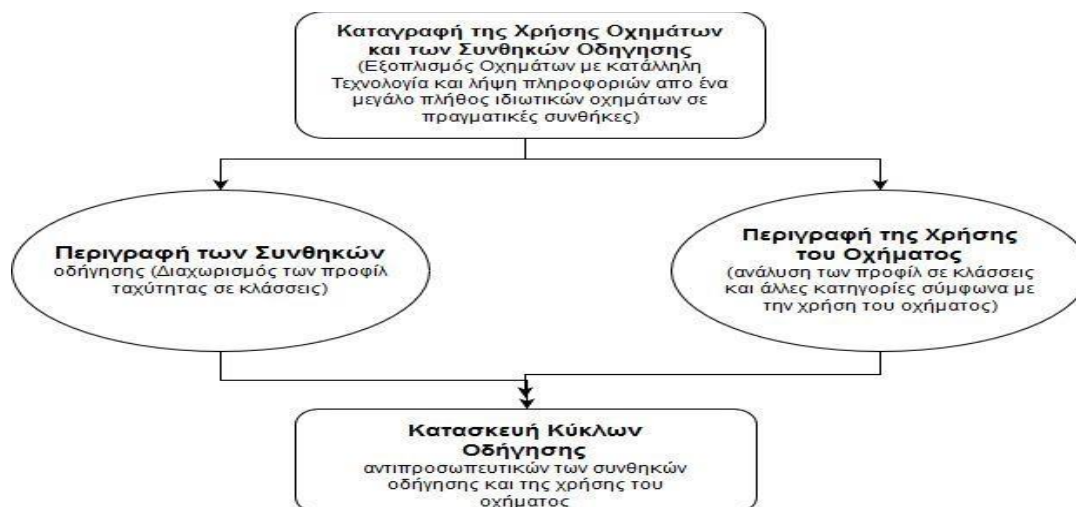
Μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις	km/h	25.93	69.36	43.10
Μέγιστη ταχύτητα	km/h	50	120	120
Μέση επιτάχυνση	m/s <sup>2</sup>	0.599	0.354	0.506
Μέγιστη επιτάχυνση	m/s <sup>2</sup>	1.042	0.833	1.042

Πίνακας 8: Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ ευρωπαϊκών κύκλων οδήγησης

### 3.3.4 Ο κύκλος ARTEMIS

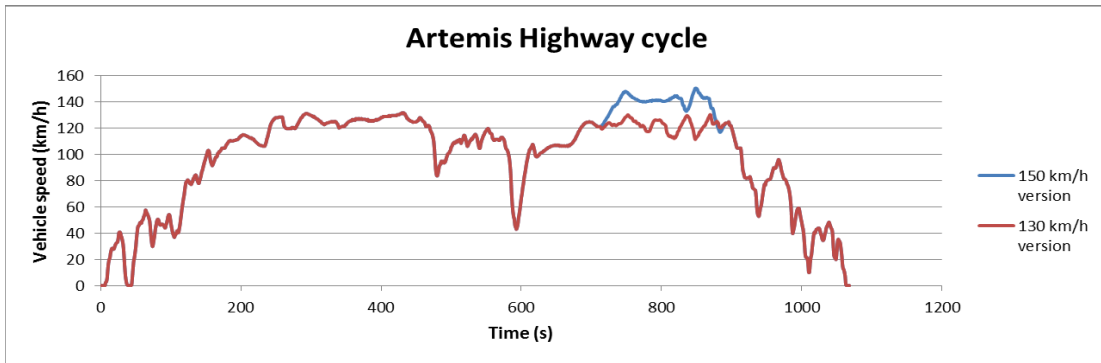
Ο κύκλος αυτός βασίζεται σε μια στατιστική μελέτη που έγινε στην Ευρώπη στο πλαίσιο του λεγόμενου έργου Artemis. Αποτελείται από 3 διαφορετικές διαμορφώσεις, καθώς και μια επιπλέον παραλλαγή: ο αστικός κύκλος, ο αγροτικός, ο αυτοκινητόδρομος 130 km / h και ο αυτοκινητόδρομος 150 km / h.

Οι κύκλοι Artemis δεν χρησιμοποιούνται για πιστοποίηση ρύπων ή κατανάλωση καυσίμου. Ωστόσο, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν αυτόν τον κύκλο για να κατανοήσουν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης και να αξιολογήσουν τις πραγματικές επιδόσεις των οχημάτων τους.

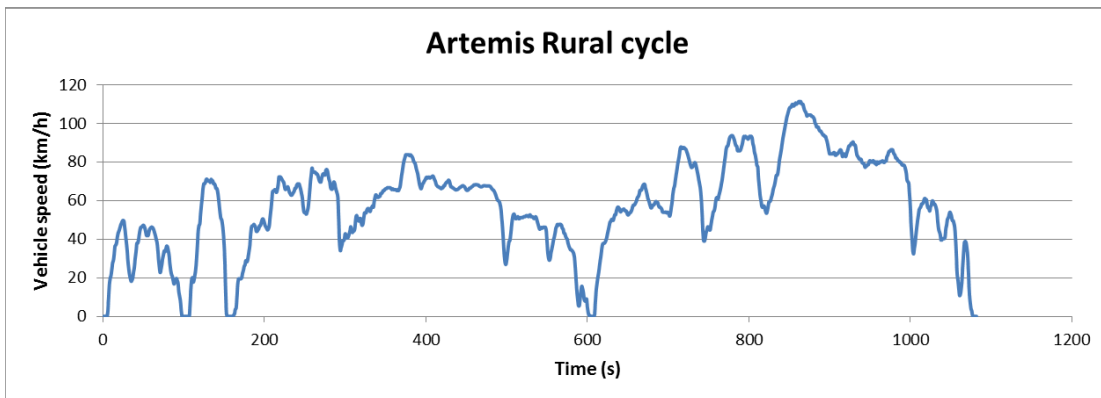


Εικόνα 15: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση κατασκευής κύκλου

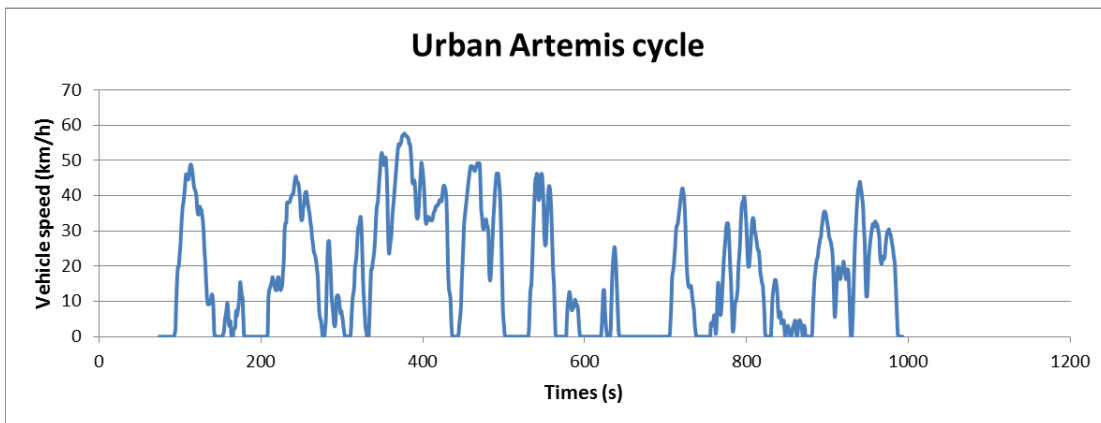




Εικόνα 16: Ο κύκλος ARTEMIS αυτοκινητοδρόμου



Εικόνα 17: Ο αγροτικός κύκλος ARTEMIS



Εικόνα 18: Ο αστικός κύκλος ARTEMIS

Χαρακτηριστικά του κύκλου οδήγησης Artemis παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ARTEMIS

Μέγεθος	Τιμή
Συνολική Απόσταση	50886,36 m
Συνολικός Χρόνος	3143 s
Μέση Ταχύτητα	58,3 km/h
Μέση Ταχύτητα Οδήγησης	62,89 km/h
Χρόνος σε Κίνηση	607 s
Χρόνος σε Στάση	230 s
Μέση Επιτάχυνση	0.372 m/s <sup>2</sup>
Μέση επιβράδυνση	-0.418 m/s <sup>2</sup>
Αριθμός Στάσεων	20
Μέση Διάρκεια Στάσεων	11,5 s

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά μεγέθη κύκλου Artemis

### 3.3.5 Η διαδικασία WLTP και ο κύκλος WLTC

Τον Σεπτέμβριο του 2018 τέθηκε σε ισχύ ο αυστηρότερος εργαστηριακός έλεγχος για τη μέτρηση των ρύπων και των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τα αυτοκίνητα με την συντομογραφία WLTP. Αυτή η νέα δοκιμή βάζει τέλος στον προηγούμενο κύκλο NEDC (New European Driving Cycle) και κάνει τις απαραίτητες βελτιώσεις στον τρόπο δοκιμής των αυτοκινήτων ώστε να ανταποκρίνεται ο νέος κύκλος WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) περισσότερο σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

Από τον Σεπτέμβριο του 2017, η δοκιμή WLTP θα εφαρμόστηκε επίσημα στους νέους τύπους αυτοκινήτων (δηλαδή μοντέλα οχημάτων που εισάγονται στην αγορά για πρώτη φορά). Ένα χρόνο αργότερα, από τον Σεπτέμβριο του 2018, η δοκιμή WLTP ισχύει για όλες τις εγγραφές νέων αυτοκινήτων στην ΕΕ.

Ο κύκλος δοκιμής WLTP θα εισαγάγει πολύ πιο ρεαλιστικές συνθήκες δοκιμών, όπως υψηλότερες ταχύτητες, πιο αντιπροσωπευτική οδηγική συμπεριφορά και αυστηρότερες συνθήκες μέτρησης, σε σύγκριση με την τρέχουσα εργαστηριακή δοκιμή (NEDC). Η νέα δοκιμή θα διασφαλίσει ότι οι εργαστηριακές μετρήσεις θα αντικατοπτρίζουν καλύτερα τις επιδόσεις του οχήματος επί της οδού.

Τα ζητήματα που εξακολουθούν να απαιτούν την προσοχή της ΕΕ και των εθνικών κυβερνήσεων περιλαμβάνουν την ενημέρωση των καταναλωτών, τη φορολογία και την εναρμονισμένη εισαγωγή του κύκλου δοκιμής WLTP σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ο λόγος της αλλαγής σε νέο παγκόσμιο κύκλο οδήγησης είναι πως ο προηγούμενος (NEDC) έχει σχεδιαστεί τη δεκαετία του 1980, είναι βασισμένος σε θεωρητική οδήγηση, άρα δεν είναι αντιπροσωπευτικός για τα νέα οχήματα της αγοράς.

Ενώ η Παγκόσμια διαδικασία δοκιμής ελαφρών οχημάτων είναι βασισμένη σε πραγματικά στοιχεία οδήγησης και ταιριάζει περισσότερο με την απόδοση στον δρόμο. Αντιπροσωπεύει καλύτερα το καθημερινό προφίλ οδήγησης επειδή αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας στοιχεία σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης που συγκεντρώθηκαν ανά τον κόσμο.

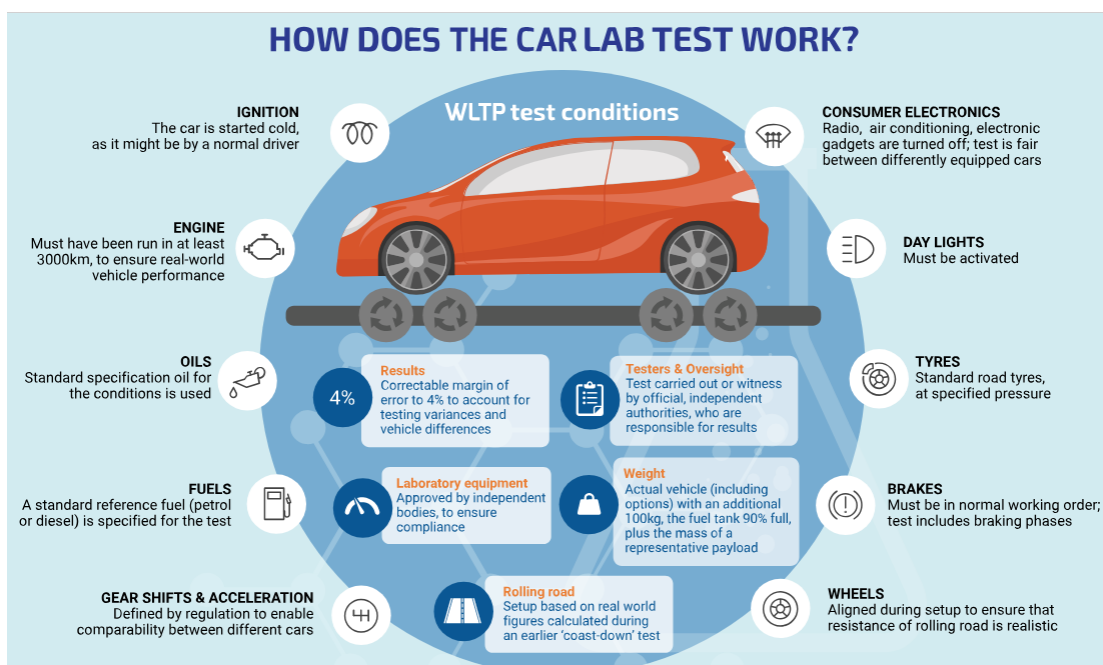
Κάθε τμήμα του κύκλου περιέχει μια ποικιλία από φάσεις οδήγησης, όπως στάση, εκκίνηση, επιτάχυνση και φρενάρισμα. Για έναν ορισμένο τύπο αυτοκινήτου, δοκιμάζεται κάθε κινητήρας που θα χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο με το τεστ WLTP από τον ελαφρύτερο (πιο οικονομικό) μέχρι και τον βαρύτερο (τουλάχιστον οικονομικό).

Ο κύκλος δοκιμής WLTP αναπτύχθηκε με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως παγκόσμιος κύκλος δοκιμών σε διάφορες περιοχές του κόσμου, των ρύπων και των εκπομπών CO<sub>2</sub>, καθώς των τιμών κατανάλωσης καυσίμου, ώστε τα μεγέθη αυτά να είναι συγκρίσιμα σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, ενώ η δοκιμή WLTP θα έχει ένα κοινό παγκόσμια αποδεκτό «πυρήνα», η Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλες περιοχές θα εφαρμόσουν το τεστ με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τους νόμους και τις ανάγκες της οδικής κυκλοφορίας τους

Ο WLTP θα εισαγάγει πιο ρεαλιστικές συνθήκες δοκιμών. Αυτές θα περιλαμβάνουν:

- Πιο ρεαλιστική οδική συμπεριφορά.
- Μια μεγαλύτερη ποικιλία των καταστάσεων οδήγησης (αστικές, υπεραστικές, κεντρικό δρόμο, αυτοκινητόδρομο).
- Μεγαλύτερες αποστάσεις δοκιμής.
- Πιο ρεαλιστικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, με τιμές πιο κοντά στον ευρωπαϊκό μέσο όρο.
- Υψηλότερες μέσες και μέγιστες ταχύτητες.
- Υψηλότερη μέση και μέγιστη ισχύ κινητήρα.
- Πιο δυναμική και αντιπροσωπευτική επιτάχυνση και επιβράδυνση του αυτοκινήτου.
- Μικρότερες στάσεις.

- Προαιρετικό εξοπλισμό: Τιμές του CO2 και της κατανάλωσης καυσίμου που προβλέπονται για το οχήματα και με τον εξοπλισμό.
- Αυστηρότερες προϋποθέσεις ρύθμισης και μέτρησης του αυτοκινήτου
- Επιτρέπει την καλύτερη και την χειρότερη περίπτωση αναφοράς τιμών για την ενημέρωση των καταναλωτών, αντικατοπτρίζοντας τις διαθέσιμες επιλογές για παρόμοια μοντέλα αυτοκινήτων.



Εικόνα 19: Ο κύκλος WLTP σχηματικά [23]

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται αναλυτικά ποιες πρέπει να είναι οι συνθήκες ώστε να πραγματοποιηθεί ένα τεστ οδήγησης υπό τον νέο κύκλο ο WLTP ( Παγκόσμια Διαδικασία εξέτασης οδικού εναρμονισμένου ελαφρού οχήματος ). Το όχημα πρέπει να κάνει κρύα εκκίνηση του κινητήρα. Η μηχανή πρέπει να έχει ελάχιστο όριο οδήγησης τα 3000 km. Πρέπει να χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα λάδια. Το καύσιμο πρέπει να είναι πετρέλαιο ή βενζίνη. Η αλλαγή ταχυτήτων γίνεται σύμφωνα με οδηγίες. Όλα τα ηλεκτρονικά μέρη του αυτοκινήτου όπως ραδιόφωνο ή air condition είναι κλειστά. Τα φώτα ημέρας πρέπει να είναι ενεργοποιημένα. Τα λάστιχα έχουν συγκεκριμένη πίεση και συγκεκριμένο είδος για το οδόστρωμα. Τα φρένα

πρέπει να λειτουργούν σωστά. Το τιμόνι εφαρμόζεται ώστε να έχει την αίσθηση οδήγησης στο οδόστρωμα.

Διορθώσιμο περιθώριο σφάλματος 4% για να ληφθούν υπόψη οι διαφορές στις δοκιμές και οι διαφορές των οχημάτων. Πραγματικό όχημα (συμπεριλαμβανομένων των επιλογών) με επιπλέον 100 kg, δεξαμενή καυσίμου 90% πλήρης, συν τη μάζα αντιπροσωπευτικού ωφέλιμου φορτίου. Η πλατφόρμα οδήγησης ρυθμίζεται βασισμένη σε αριθμούς πραγματικού κόσμου που υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια ενός τεστ όπου πραγματοποιείται.

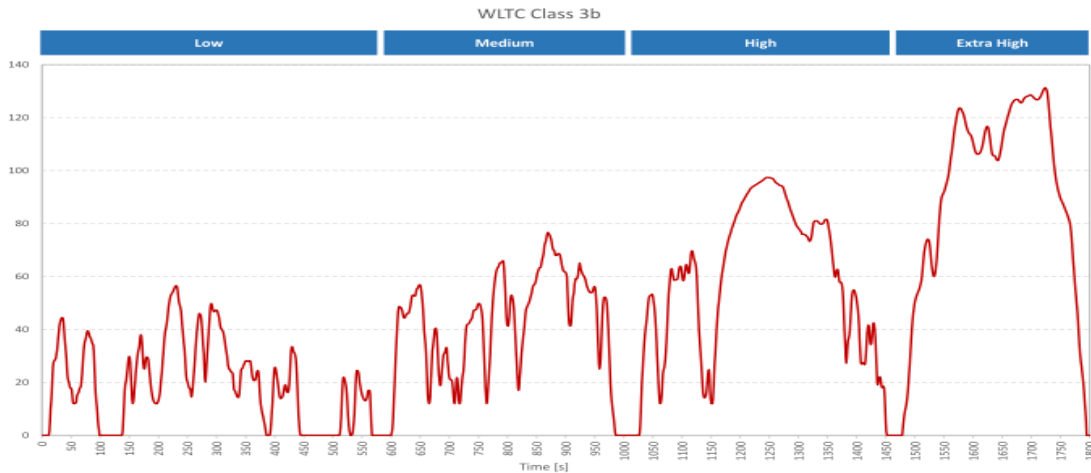
Το νέο αυτό πρότυπο, όπως προαναφέρθηκε, έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικό των πραγματικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό, διαρκεί 10 λεπτά περισσότερο από τον κύκλο NEDC, έχει πιο δυναμικό προφίλ ταχύτητας, μεγαλύτερες επιταχύνσεις και μικρότερα διαστήματα στάσης. Η μέση ταχύτητα είναι 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.

### 3.3.5.1 WLTC κλάσης III

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.



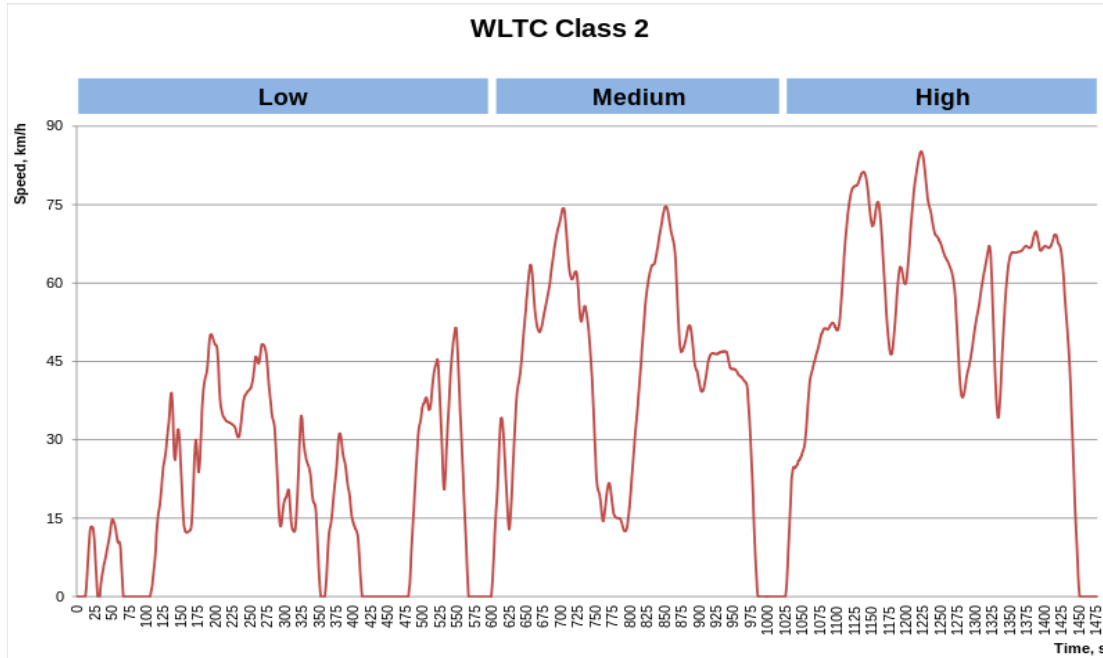
Εικόνα 20: Ο κύκλος WLTC (κλάση 3)

	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 10: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC και σύγκριση με NEDC

### 3.3.5.2 WLTC κλάσης II

Ο κύκλος της κλάσης II αντιπροσωπεύει χαμηλές, μεσαίες και σχετικά υψηλές ταχύτητες του οχήματος, καλύπτοντας τα ινδικά οχήματα και τα ευρωπαϊκά και ιαπωνικά οχήματα χαμηλής ισχύος.



Εικόνα 21: Ο κύκλος WLTC class II

Ο κύκλος οδήγησης για τη κατηγορία 2 αποτελείται από τρία μέρη για χαμηλή, μέση και υψηλή ταχύτητα. Αν η  $V_{max} < 90$  km/h, τότε το τμήμα της «υψηλής ταχύτητας» αντικαθίσταται με το τμήμα της «χαμηλή ταχύτητα».

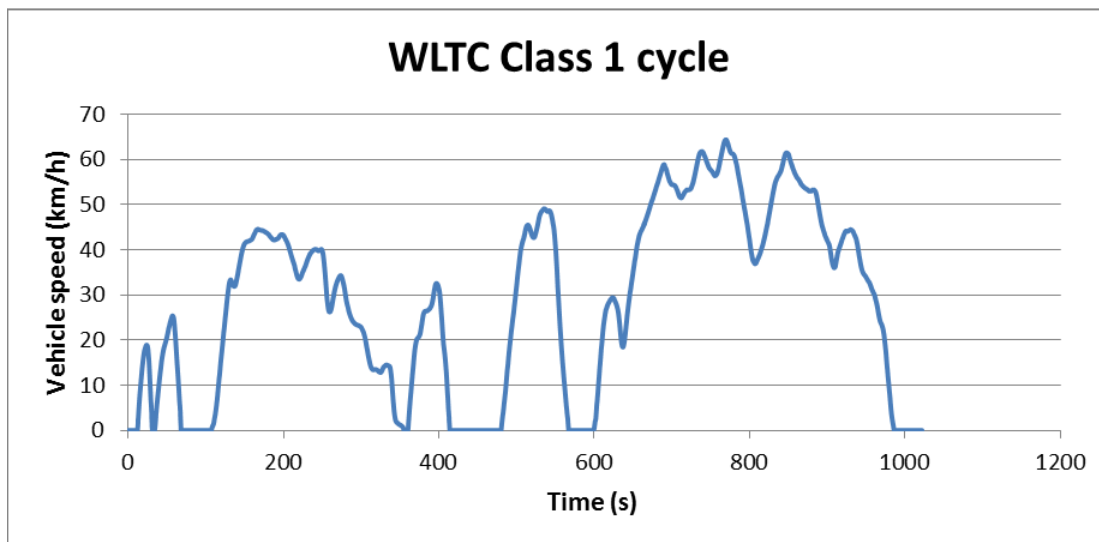
Κύρια Χαρακτηριστικά του Κύκλου είναι :

Κύκλος οδήγησης WLTC κατηγορία 2				
	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΣΥΝΟΛΟ
Διάρκεια, s	589	433	455	1477
Διάρκεια στάσης, s	155	48	30	233
Απόσταση, m	3132	4712	6820	14664
% στάσης	26.3%	11.1%	6.6%	15.8%
Μέγιστη ταχύτητα, km/h	51.4	74.7	85.2	
Μέση ταχύτητα στάσεις, km/h	26.0	44.1	57.8	42.4
Μέση ταχύτητα με .στάσεις, km/h	19.1	39.2	54.0	35.7
Ελάχιστη επιτάχυνση, $m/s^2$	-1.1	-1.0	-1.1	
Μεγίστη επιτάχυνση, $m/s^2$	0.9	1.0	0.8	

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC class II

### 3.3.5.3 WLTC κλάσης I

Αυτός ο κύκλος αποτελείται από ζώνες χαμηλής και μέσης ταχύτητας. Είναι χαρακτηριστικό των οχημάτων χαμηλής κατανάλωσης που μπορούν να βρεθούν στην Ινδία.



Εικόνα 22: Ο κύκλος WLTC class I

Ο κύκλος δοκιμών για τη κατηγορία 1 έχει τμήματα με χαμηλές και μεσαίες ταχύτητες, η αλληλουχία εκτελείται σε μια σειρά Low-Medium-Low. Αν η  $V_{max} < 70 \text{ km/h}$ , το τμήμα της "Μεσαίας ταχύτητας" αντικαθίσταται με το τμήμα της "χαμηλή ταχύτητα".

Κύρια Χαρακτηριστικά του Κύκλου είναι :

Κύκλος οδήγησης WLTC κατηγορία 1			
	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
Διάρκεια, s	589	433	1022
Διάρκεια στάσης, s	155	48	203
Απόσταση, m	3324	4767	8091
% στάσης	26.3%	11.1%	19.9%
Μέγιστη ταχύτητα, km/h	49.1	64.4	
Μέση ταχύτητα στάσεις, km/h	27.6	44.6	35.6
Μέση ταχύτητα με .στάσεις, km/h	20.3	39.6	28.5
Ελάχιστη επιτάχυνση, $\text{m/s}^2$	-1.0	-0.6	
Μεγίστη επιτάχυνση, $\text{m/s}^2$	0.8	0.6	

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC class I

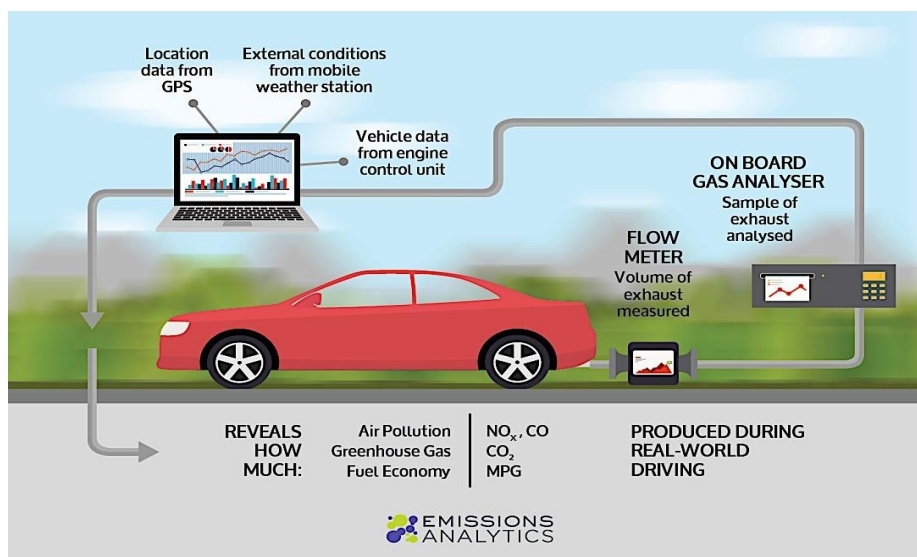


### 3.3.5.4 Η διαδικασία RDE

Τέλος, μία άλλη προσθήκη του κύκλου WLTP, 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].

Κατά τη διάρκεια της μέτρησης RDE, το όχημα οδηγείται σε ένα μίγμα διαδρομών, που αποτελείται από ένα τρίτο οδήγησης στην πόλη, ένα τρίτο σε επαρχιακό δρόμο και ένα τρίτο στον αυτοκινητόδρομο, με τυχαίες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, και τηρώντας ταυτόχρονα τον Γερμανικό Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (StVO). Η δοκιμή προβλέπει μέση ταχύτητα μεταξύ 15 και 40km/h στην πόλη και μεταξύ 60 και 90 km/h σε επαρχιακούς δρόμους. Το όχημα μπορεί να κινείται με 145 km/h στον αυτοκινητόδρομο και για σύντομο διάστημα μέχρι 160 km/h.

Το όχημα είναι εξοπλισμένο με φορητό σύστημα μέτρησης ρύπων - Portable Emissions Measurement System (PEMS). Η συσκευή αυτή μετρά τους τοξικούς ρύπους (οξείδια του αζώτου και μονοξείδιο του άνθρακα). Η δοκιμή έχει διάρκεια 90 - 120 λεπτών. Η εξωτερική θερμοκρασία πρέπει να είναι μεταξύ -7 και +35°C, και το σύστημα κλιματισμού ανοιχτό.



Εικόνα 23: Μετρήσεις PEMS [25]

## **4 Υιοθέτηση νέων κύκλων – Καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων**

### **4.1 Γενικά**

Αυτό το κομμάτι της εργασίας περιγράφει και αναλύει τη μεθοδολογία συλλογής δεδομένων, τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή αυτών και την επεξεργασία των δεδομένων. Από μετρήσεις που έγιναν σε διάσπαρτες διαδρομές, μέσα στην πόλη του Ηρακλείου, προέκυψαν σημαντικές και χρήσιμες πληροφορίες οι οποίες παρουσιάζονται στο παρακάτω κεφάλαιο με την βοήθεια πινάκων και διαγραμμάτων.

Σκοπός των μετρήσεων και της ανάλυσης αυτών είναι η δημιουργία ενός αντιπροσωπευτικού προφίλ της ταχύτητας της κίνηση στην πόλη του Ηρακλείου.

### **4.2 Συσκευή καταγραφής OBD II**

Κάθε όχημα το οποίο πωλείται σήμερα στην Ευρώπη και την Αμερική απαιτείται εκ του νόμου να διαθέτει το λεγόμενο OBD (on board diagnostics). Πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει την ανάγνωση βασικών παραμέτρων λειτουργίας του οχήματος. Το σύστημα αυτό απαιτήθηκε πρώτη φορά από την πολιτεία της Καλιφόρνια το 1988, για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων, αλλά η χρήση του ίδιου πρωτοκόλλου καθολικά από όλους τους κατασκευαστές καθιερώθηκε το 1996 στην Αμερική και το 2001 και 2004 στην Ευρώπη για βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες αντίστοιχα. Κάθε όχημα που είναι συμβατό με OBD II έχει «βύσμα συνδέσεων στοιχείων» (DLC). Αυτό είναι ένα τερματικό, 16 ακροδεκτών που συνδέονται κατευθείαν με την κεντρική μονάδα ελέγχου του αυτοκινήτου ECM.

Η θύρα DLC βρίσκεται συχνά κάτω από την κονσόλα των οργάνων κοντά στη θέση οδήγησης. Το OBD απαιτεί την χρήση μίας καταγραφικής μονάδας (υπολογιστής, GPS, κινητό) για να λειτουργήσει. Η καταγραφική μονάδα εξυπηρετεί δύο λειτουργίες:

1. αποθηκεύει τις πληροφορίες που συλλέγονται από τους αισθητήρες του αυτοκινήτου,
2. μπορεί να διαθέτει επιπλέον αισθητήρες για την καταγραφή δεδομένων

Τα δεδομένα αυτά χαρακτηρίζουν τη λειτουργία του οχήματος. Μερικά από τα κυριότερα μεγέθη που καταγράφονται είναι:

- Μέση κατανάλωση καυσίμου (l/100km)
- Μέση κατανάλωση ταξιδιού (l/100km)
- Μέση ταχύτητα ταξιδιού (km/h)
- Διανυθήσα απόσταση ταξιδιού (km)
- Οδόμετρο (km)
- Στροφές κινητήρα (RPM)
- Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής (°C)
- Θέση πεντάλ γκαζιού (%)
- Επιτάχυνση οχήματος (m/s<sup>2</sup>)
- Ταχύτητα οχήματος (km/h)

Το καταγραφικό που χρησιμοποιήθηκε για την δειγματοληψία ήταν ένα κοινό κινητό, που δεν είχε εξειδικευμένο σχεδιασμό για τέτοιου είδους χρήση, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η καταγραφές που έκανε δεν ήταν ακριβείς. Οι πληροφορίες μεταδίδονται από τη συσκευή OBDII μέσω τεχνολογίας Bluetooth, στο κινητό τηλέφωνο με λειτουργικό σύστημα Android. Στην συνέχεια καταγράφονται και αποθηκεύονται χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό (εφαρμογή). Επιπλέον, η συσκευή OBD και το κινητό τηλέφωνο, καταγράφουν την ημερομηνία και ακριβή ώρα, που έγινε κάθε μέτρηση.



Εικόνα 24: Η θύρα OBD II και ένα καταγραφικό

### 4.3 Όχημα καταγραφής

Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων κίνησης είναι ένα τυπικό πενταθέσιο όχημα πόλεως ιδιωτικής χρήσης. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο Yaris, το οποίο κατασκευάστηκε από την εταιρεία Toyota το έτος 2012.

Κατατάσσεται στην κατηγορία των μικρών οχημάτων και λειτουργεί με κινητήρα πετρελαίου 1400 cc, συνολικού βάρους 1500 kg. Το όχημα ανήκει στην κατηγορία Β, και είναι αντιπροσωπευτικό δείγμα του Ελληνικού στόλου οχημάτων.

Κυβικά (cc)	Κύλινδροι	Βαλβίδες	Είδος Κινητήρα	Κίνηση	Κιβώτιο Ταχυτήτων
1368	4	16	<u>Diesel</u>	Μπροστινοί Τροχοί	6 Ταχύτητες

Πίνακας 13: Στοιχεία οχήματος καταγραφής

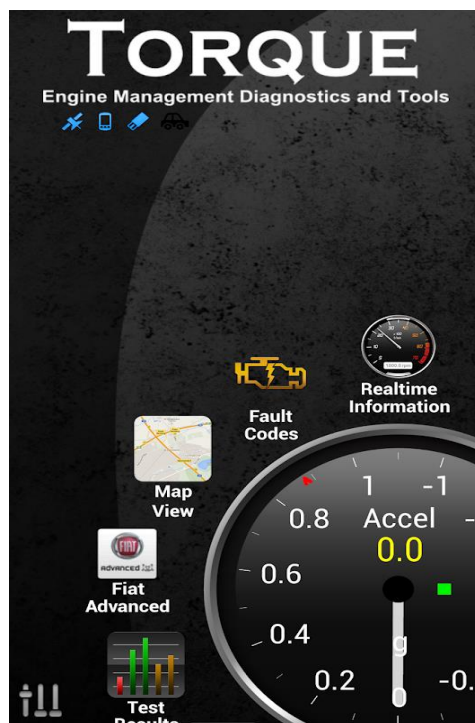


Εικόνα 25: Όχημα καταγραφής

#### 4.4 Εφαρμογή καταγραφής δεδομένων κίνησης (Torque)

Τα δεδομένα της κεντρικής μονάδας ελέγχου του κινητήρα του οχήματος είναι διαθέσιμα όπως προαναφέρθηκε προς ανάγνωση μέσω της θύρας OBDII του οχήματος. Για την ανάγνωση των δεδομένων αυτών χρησιμοποιείται ειδική συσκευή. Η συσκευή όμως αυτή δε διαθέτει δυνατότητα καταγραφής, παρά μόνο ανάγνωσης των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται μέσω Bluetooth στο κινητό τηλέφωνο στο οποίο υπάρχει εγκατεστημένη ειδική εφαρμογή για την καταγραφή των δεδομένων αυτών.

Υπάρχει πληθώρα ώστε εφαρμογών που θα μπορούσαν να έχουν χρησιμοποιηθεί για αυτό το σκοπό. Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση της εφαρμογής Torque – Engine Diagnostics and Tools, η οποία κάλυψε τις ανάγκες της καταγραφής πλήρως και ήταν σχετικά εύκολη στην χρήση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αρχική οθόνη και το μενού επιλογής.



Εικόνα 26: Η εφαρμογή Torque

Το πρόγραμμα, εκτός από την καταγραφή δεδομένων από την κεντρική μονάδα υπολογίζει, εν κινήσει, κάποια από τα μεγέθη που εμφανίζουν ενδιαφέρον για τους κύκλους οδήγησης.

Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε ένα προφίλ το οποίο περιελάμβανε διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή. Συγκεκριμένα:

- Τα κυβικά του κινητήρα
- Ο τύπος κινητήρα Βενζίνη/Diesel
- Μέγιστος αριθμός στροφών κινητήρα

Στη συνέχεια, καθορίστηκαν οι μεταβλητές οι οποίες θα καταγραφούν και θα αποθηκευτούν στο τελικό αρχείο. Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής πολλών μεταβλητών. Επιλέχθηκε συνειδητά η καταγραφή των περισσοτέρων, αν και δεν θα χρησιμοποιηθούν στην εξαγωγή κύκλων, για τον έλεγχο και εντοπισμό λαθών.

Το επόμενο βήμα πριν την εκκίνηση των μετρήσεων, ήταν ο καθορισμός των μεταβλητών που θα καταγράφονται από την εφαρμογή και οι οποίες θα αποθηκεύονται στο τελικό αρχείο που θα επεξεργαστεί. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να καταγραφεί ένας μεγάλος αριθμός μεταβλητών, από τις οποίες επιλέχθηκαν οι περισσότερες. Αυτό δεν έγινε τυχαία, αλλά για να υπάρχει μία πληρέστερη εικόνα του είδους της καταγραφής και για να εντοπίζονται ευκολότερα τα λάθη. Συγκεκριμένα:

- Στιγμιαία Ταχύτητα OBD
- Στιγμιαία Ταχύτητα GPS
- Απόκλιση ταχύτητας GPS/OBD
- Μέση Ταχύτητα Κίνησης (χωρίς στάσεις)
- Μέση Ταχύτητα Κίνησης (με στάσεις)
- Χρόνος από την έναρξη του κινητήρα
- Χρόνος Ταξιδιού (εν κινήσει)
- Χρόνος Ταξιδιού (στάσιμος)
- Συνολική Διανυθείσα απόσταση
- Συνολική Επιτάχυνση
- Επιτάχυνση στους άξονες x,y,z
- Πραγματικό Φορτίο Μηχανής (actual engine torque)
- Βαρομετρική Πίεση
- Μέσο παραγόμενο CO2 σε g/km
- Στιγμιαίο παραγόμενο CO2 σε g/km
- Θερμοκρασία Ψυκτικού Μηχανής
- Ροή Καυσίμου προς τον Κινητήρα
- Ροή Αέρα προς τον Κινητήρα
- Ακρίβεια GPS
- Ενεργοί Δορυφόροι GPS

## **4.5 Διαδικασία καταγραφής**

Η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να πραγματοποιηθεί μία δειγματοληψία χωρίζεται σε τρία διακριτά στάδια τα οποία αποτελούνται από τα παρακάτω συγκεκριμένα βήματα.

### **4.5.1 Στάδιο προετοιμασίας**

Αφορά τα βήματα που ακολουθούνται πριν από την δειγματοληψία.

1. Είσοδος στο όχημα και σύνδεση της συσκευής OBDII στην θύρα του οχήματος, η οποία βρίσκεται πλησίον του τιμονιού.
2. Γυρίζουμε τη μίζα στη θέση ενεργοποίησης του ηλεκτρικού κυκλώματος του οχήματος. Περιμένουμε έως ότου ανάψει η ενδεικτική λυχνία της συσκευής
3. Γίνεται σύνδεση, μέσω της εφαρμογής Torque του κινητού, με την μονάδα ECU του οχήματος. Έλεγχος λειτουργίας. Σταθεροποίηση του κινητού στο ταμπλό του οχήματος ούτως ώστε να μην μετακινείται και επηρεάζονται οι μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου.
4. Προετοιμασία της εφαρμογής για καταγραφή. Επιλογή αισθητήρων που θα καταγραφούν.

### **4.5.2 Στάδιο καταγραφής**

Αφορά τα βήματα που ακολουθούνται για να πραγματοποιηθεί μια πλήρης καταγραφή της διαδρομής που θα ακολουθηθεί. Εδώ έχουμε την ενεργοποίηση του κινητήρα και την έναρξη της καταγραφής των δεδομένων. Πρέπει να σημειωθεί ότι η καταγραφή ξεκινούσε αμέσως και ταυτόχρονα με την εκκίνηση του οχήματος, προκειμένου να καταγραφούν και οι στροφές κατά την άεργη λειτουργία του οχήματος. Η καταγραφή δεν σταματά σε στάσεις του οχήματος παρά μόνο σε περίπτωση απενεργοποίησης της μηχανής

### **4.5.3 Στάδιο λήξης καταγραφής**

Αφορά τα βήματα που εκτελούνται με την ολοκλήρωση της διαδρομής. Εδώ έχουμε την στάση του οχήματος, την διακοπή της καταγραφής άμεσα, προκειμένου να μην υπάρχει χρόνος στάσης και την απενεργοποίηση του κινητήρα του οχήματος.

### **4.5.4 Είδη διαδρομών που καταγράφηκαν**

Οι διαδρομές που καταγράφηκαν εκτείνονται από τον Μάιο του 2019 έως και τον Μάρτιο του 2020, καταγράφοντας δεδομένα για όλους τους μήνες. Ο κύριος όγκος των διαδρομών που καταγράφηκαν αφορούν διαδρομές μέσα σε κεντρικές περιοχές του Ηρακλείου.

## **4.6 Τεχνικές δειγματοληψίας**

Οι τεχνικές δειγματοληψίας [31] που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην διεθνή βιβλιογραφία είναι οι εξής:

1. Τεχνική Car – Chase: Επιλέγεται τυχαία ένα όχημα «στόχος» το οποίο και ακολουθείται από το όχημα το οποίο είναι εξοπλισμένο με κατάλληλες συσκευές καταγραφής δεδομένων κίνησης. Έτσι, καταγράφονται αντιπροσωπευτικά δεδομένα της κίνησης οχημάτων.
2. Τεχνική καταγραφής της κίνησης συγκεκριμένων οχημάτων που κινούνται σε προκαθορισμένες διαδρομές.
3. Τεχνική καταγραφής κίνησης οχημάτων σε προκαθορισμένες διαδρομές.

Οι πλέον διαδεδομένες τεχνικές είναι οι πρώτες δύο. Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας επιλέχθηκε η δεύτερη τεχνική.



## 5 Επεξεργασία μετρήσεων και αποτελέσματα

### 5.1 Επεξεργασία αρχείου καταγραφής

Το πρόγραμμα εξάγει τα δεδομένα που επιλέξαμε με τη μορφή αρχείου κειμένου και συγκεκριμένα αρχείου που ακολουθεί το format CSV (Comma Delimited Values). Το αρχείο αυτό σε κάθε μία του γραμμή περιλαμβάνει και μία μέτρηση ενώ οι στήλες με τα μετρούμενα μεγέθη (χρόνος, ταχύτητα, συντεταγμένες κτλ.) διαχωρίζονται μεταξύ τους με κόμμα.

```
1 Device time,"Average fuel consumption (L/100km)","Average fuel consumption (total) (L/100km)","Average fuel consumptio
2 13-01-2020 09:06:22.611,,,,,0,,,,,31,,,,
3 13-01-2020 09:06:23.136,,,,,1,,,,,0,,,,
4 13-01-2020 09:06:23.408,,,,,1.29748031186041,,,,,1006,,,,,3.73339147401902,,,,,
5 13-01-2020 09:06:23.757,,,,,0,,,,,0,,,,
6 13-01-2020 09:06:24.010,,,,,0,,,,,31,,,,
7 13-01-2020 09:06:24.513,,,,,1,,,,,0,,,,
8 13-01-2020 09:06:24.778,,,,,0,,,,,1.20375906998316,,,,,1000,,0.000434970147689187,12.6073575400306,0.000750323504763847,21
9 13-01-2020 09:06:25.095,,,,,17,,,,
10 13-01-2020 09:06:25.347,,,,,0,0,157.069798596833,,,,,0,
11 13-01-2020 09:06:25.616,,,,,0,,,,,31,,,,
12 13-01-2020 09:06:26.128,,,,,1,,,,,0,,,,
13 13-01-2020 09:06:26.377,,8.02691140779366,0,,,,,1.12983067239704,,,,,997,,0.000931011884855573,12.6078535817677,0.001601
14 13-01-2020 09:06:26.633,,,,,0,0,0,157.069798596833,,,,,0,
15 13-01-2020 09:06:26.899,,,,,0,,,,,32,,,,
16 13-01-2020 09:06:27.422,,,,,1,,,,,0,,,,
17 13-01-2020 09:06:27.692,,8.0272044431435,0,,,,,1.25960904918519,,,,,1005,,0.001391281918666946,12.6083138518016,0.002399
18 13-01-2020 09:06:27.976,,,,,0,0,0,157.069798596833,,,,,0,
19 13-01-2020 09:06:28.240,,,,,0,,,,,31,,,,
20 13-01-2020 09:06:28.752,,,,,1,,,,,0,,,,
21 13-01-2020 09:06:29.009,,8.02746364225034,0,,,,,1.11283221694473,,,,,982,,0.00179840543374949,12.6087209753166,0.003102
22 13-01-2020 09:06:29.271,,,,,0,0,0,157.069798596833,,,,,0,0,
23 13-01-2020 09:06:29.532,,,,,0,,,,,33,,,,
24 13-01-2020 09:06:30.054,,,,,1,,,,,0,,,,
25 13-01-2020 09:06:30.307,,8.027738791506,0,,,,,1.19910394784249,,,,,994,,0.00223058181544886,12.6091531516983,0.00384775
26 13-01-2020 09:06:30.582,,,,,0,0,0,157.069798596833,,,,,0,0,
```

Εικόνα 27: Μορφή ενός αρχείου CSV από την εφαρμογή

Τα αρχεία αυτού του τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας μέσω κατάλληλου κώδικα, όμως τα δημοφιλέστερα προγράμματα για επεξεργασία των μετρήσεων, όπως το Microsoft Excel και το Python, δεν τα αναγνωρίζουν εύκολα και απαιτούνται αρκετές τροποποιήσεις, απόρροια του ότι δεν υπάρχει ένας ενιαίος τρόπος κωδικοποίησης του περιεχομένου στα αρχεία αυτά. Έτσι, χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό, εν προκειμένω το διαδικτυακό εργαλείο ConvertIO, μετατρέψαμε τα αρχεία CSV της εφαρμογής σε αρχεία XLSX, τύπος που εξάγεται κατά κύριο λόγο από το Excel, τα οποία αναγνωρίζονται από τις περισσότερες εφαρμογές του εμπορίου.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Device time	Average f	Calculatec	Engine RP	Fuel used	Fuel used	Fuel used	Fuel used	Instant en	Vehicle speed (km/h)	
2	2020-02-21 15:38:38,025	1582299518025		1,629693	1187	0,000638	8,66604	0,0011	14,95	4,689305	0	
3	2020-02-21 15:38:39,745	1582299519745	7,415342	1,47886	1184	0,001344	8,666747	0,002319	14,95	4,255298	10	
4	2020-02-21 15:38:41,101	1582299521101	7,415815	1,470117	1177	0,001898	8,6673	0,003274	14,95	4,23014	7	
5	2020-02-21 15:38:42,440	1582299522440	7,4163	1,523787	1183	0,002465	8,667867	0,004252	14,95	4,384569	14	
6	2020-02-21 15:38:43,797	1582299523797	7,416774	1,467619	1175	0,003018	8,668421	0,005206	14,95	4,222952	20	
7	2020-02-21 15:38:45,124	1582299525124	7,417237	1,470117	1177	0,00356	8,668962	0,006141	14,95	4,23014	28	
8	2020-02-21 15:38:46,415	1582299526415	7,417688	1,470117	1177	0,004087	8,669489	0,00705	14,95	4,23014	30	

Εικόνα 28: Μορφή του αρχείου μετά την μετατροπή σε XLSX

## 5.2 Στατιστική επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των ογκοδέστατων δεδομένων κίνησης που προέκυψαν έγινε μέσω του προγράμματος PYTHON. Αναπτύχθηκε λοιπόν κατάλληλο λογισμικό – κώδικας ο οποίος επεξεργάστηκε με τον τρόπο που θα αναλύσουμε τα δεδομένα και παρήγαγε τα χρήσιμα μεγέθη και τα διαγράμματα που θα παρουσιάσουμε.

Το πρόγραμμα επιτελεί τις παρακάτω λειτουργίες, με χρονολογική σειρά, με στόχο να υπολογίσει τη μέση ταχύτητα, τη μέγιστη ταχύτητα ανά ημέρα, το πλήθος στάσεων καθώς και το χρόνο στάσης και κίνησης.

1. Εισαγωγή δεδομένων από τα τροποποιημένα αρχεία καταγραφής σε μορφή XLSX
2. Αναγνώριση και διαχωρισμός των μεταβλητών καταγραφής
3. Διόρθωση σφαλμάτων καταγραφής
4. Απόρριψη χρόνου στάσης πριν την εκκίνηση του οχήματος
5. Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών που αναφέρθηκαν
6. Απόδοση αποτελεσμάτων

### 5.2.1 Σύγκριση και διόρθωση ταχύτητας οχήματος

Όπως προαναφέρθηκε, η ταχύτητα του οχήματος καταγράφεται μέσω δύο διαφορετικών μηχανισμών:

1. Μέσω των δεδομένων της ECU του οχήματος από την θύρα OBDII

## 2. Μέσω του των δεδομένων GPS του τηλεφώνου καταγραφής

Το όχημα αναγνωρίζει την ταχύτητά του και την προβάλλει στο οδόμετρο (κοντέρ) μέσω ειδικών αισθητήρων στους τροχούς του οχήματος και με βάση την εργοστασιακή διάμετρο ελαστικών του οχήματος. Αυτό σημαίνει όμως ότι μπορεί να υπάρχει μία μικρή συνήθως απόκλιση από την πραγματική ταχύτητα του οχήματος, εξαιτίας των ελαστικών, του οδοστρώματος ή ολίσθησης των τροχών, ιδίως κατά την επιτάχυνση ή επιβράδυνση.

Επιπροσθέτως, επειδή το GPS υπολογίζει την ταχύτητα μεταξύ διαδοχικών θέσεων, προκύπτει ομαλότερη μεταβολή αυτής, η οποία προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική, συγκριτικά με την αντίστοιχη που καταγράφεται από το όχημα και θα μπορούσαμε να πούμε ότι προσιδιάζει μία βηματική κατάσταση, αφού πρόκειται για στιγμιαία ταχύτητα την στιγμή που καταγράφει τα δεδομένα.

Με βάση τις μετρήσεις, τα δεδομένα των δύο αυτών οδών καταγραφής δε διαφέρουν σημαντικά, με τη μέση απόκλιση να είναι μικρότερη από 4%. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η χρήση των δεδομένων καταγραφής του GPS. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι τα δεδομένα αυτά δεν έχουν σφάλματα. Αντιθέτως, παρατηρούμε άλλου είδους σφάλματα που σχετίζονται με την ακρίβεια της συσκευής. Το σημαντικότερο ίσως εξ' αυτών είναι η καταγραφή ελαφρώς θετικής ταχύτητας όταν το όχημα παραμένει στην πραγματικότητα ακίνητο.

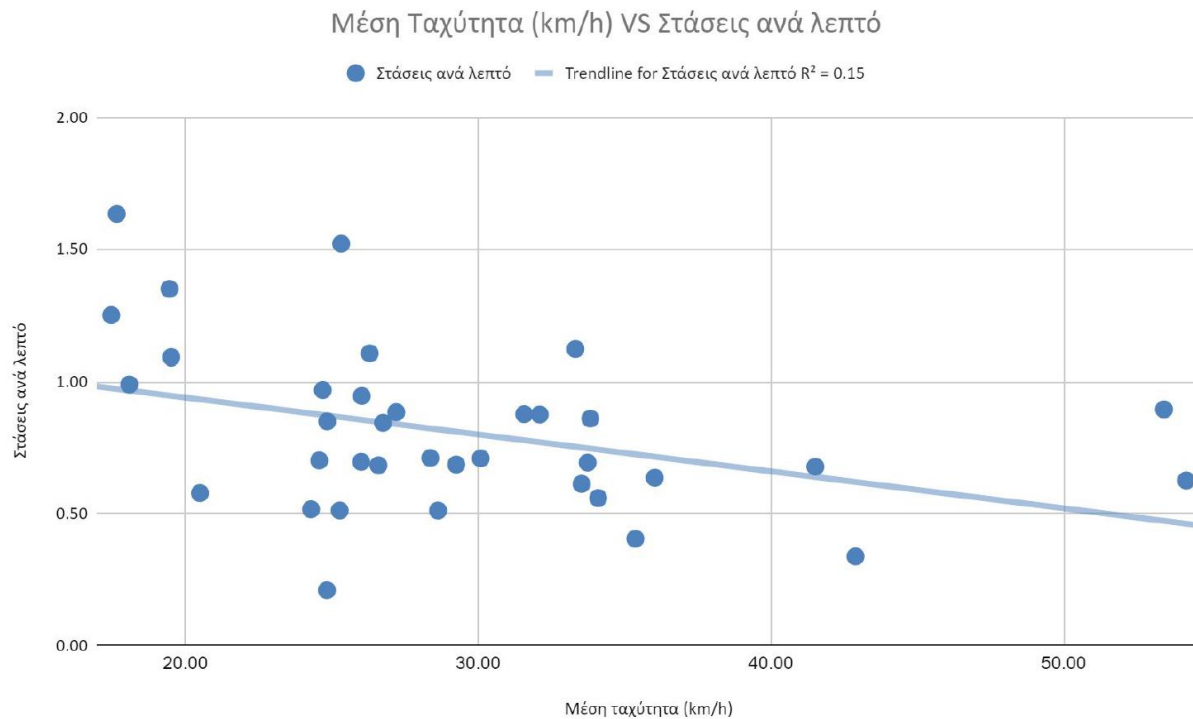
Το παραπάνω είδος σφάλματος προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα και για αυτό η διόρθωση είναι επιτακτική. Έτσι λοιπόν, ο αλγόριθμος που αναπτύξαμε ανιχνεύει τα διαστήματα που το όχημα είναι ακίνητο δύο δευτερόλεπτα πριν και δύο δευτερόλεπτα μετά τις επίμαχες μετρήσεις και η ταχύτητα αυτών είναι μικρότερη του ενός χιλιομέτρου την ώρα και τις απορρίπτει.

### 5.2.2 Απόρριψη χρόνου στάσης

Τέλος, μία ακόμα διόρθωση που γίνεται είναι η απόρριψη των δεδομένων πριν την εκκίνηση του οχήματος. Ο χρόνος από την έναρξη του κινητήρα μέχρι την εκκίνηση δεν μπορεί να λογισθεί ως στάση. Παρ' όλα αυτά, αφού το όχημα χρησιμοποιούνταν υπό πραγματικές συνθήκες, η αποφυγή εισαγωγής τέτοιων μετρήσεων είναι πρακτικά αδύνατη, ιδιαίτερα δε για λόγους ασφαλείας. Έτσι, ο αλγόριθμος απορρίπτει όλες τις τιμές πριν την αρχική μετακίνηση του οχήματος για πρώτη φορά σε κάθε νέα καταγραφή.

## 5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

### 5.3.1 Συσχέτιση μέσης ταχύτητας με πλήθος στάσεων ανά λεπτό



Εικόνα 29: Συσχέτιση μέσης ταχύτητας και στάσεων ανά λεπτό

Από το παραπάνω διάγραμμα της εικόνας 29 παρατηρούμε ότι η μέση ταχύτητα του οχήματος εξαρτάται από το μέσο πλήθος στάσεων ανά λεπτό του οχήματος. Αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί όμως είναι ότι το σύνολο των μετρήσεων επικεντρώνεται κυρίως σε ταχύτητες περί τα 30 χλμ/ώρα και σημαντικό πλήθος στάσεων, γεγονός που αποτυπώνει ότι το σύνολο των δεδομένων λήφθηκε σε συνθήκες οδήγησης πόλεως. Το  $R^2$ , η συσχέτιση δηλαδή, είναι σχετικά χαμηλή και οφείλεται στο χαμηλό πλήθος των μετρήσεων και στο γεγονός ότι αφορούν διαφορετικές ημέρες και ώρες.

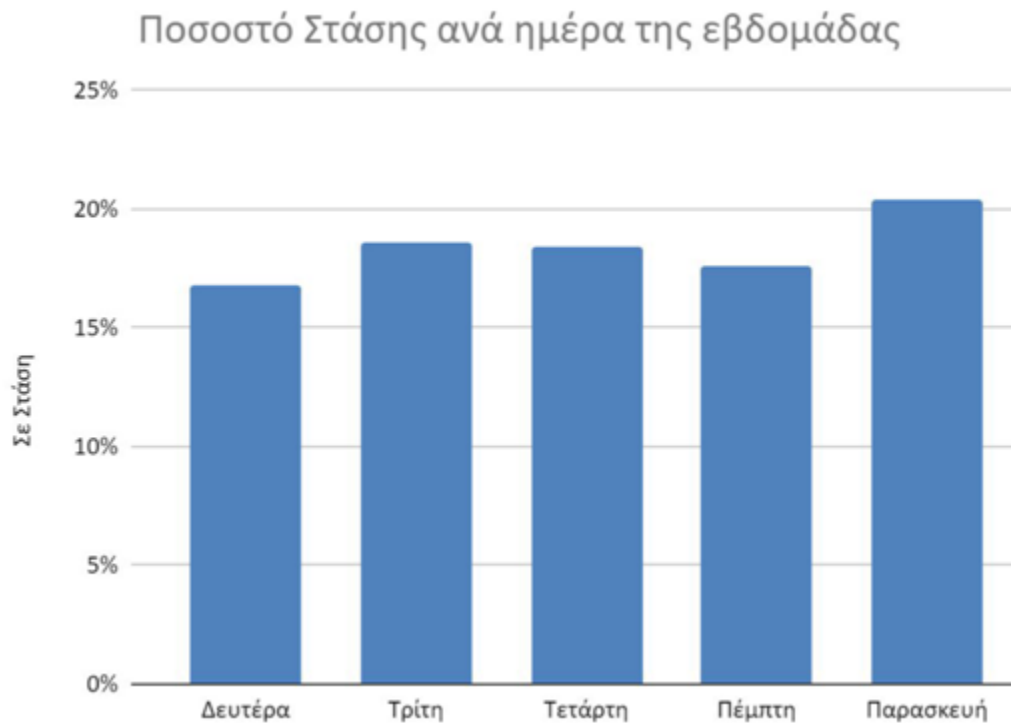
### 5.3.2 Μέγιστη ταχύτητα ανά ημέρα της εβδομάδας



Εικόνα 30: Μέγιστη ταχύτητα ανά ημέρα

Στο διάγραμμα αυτό αποτυπώνεται η μέγιστη ταχύτητα ανά ημέρα της εβδομάδας. Παρατηρούμε ότι το μέγιστο συναντάται την Πέμπτη, ενώ το ελάχιστο κατά την Δευτέρα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάλυση και σχολιασμό των δεδομένων μας θα παρουσίαζε η ύπαρξη δεδομένων για της ημέρες Σάββατο και Κυριακή, οπότε και αναμένουμε την ελάχιστη κίνηση και, συνεπώς, την μέγιστη ταχύτητα. Επομένως, το στοιχείο αυτό αποτελεί ένα θέμα περαιτέρω μελέτης.

### 5.3.3 Ποσοστό χρόνου στάσης ανά ημέρα της εβδομάδας

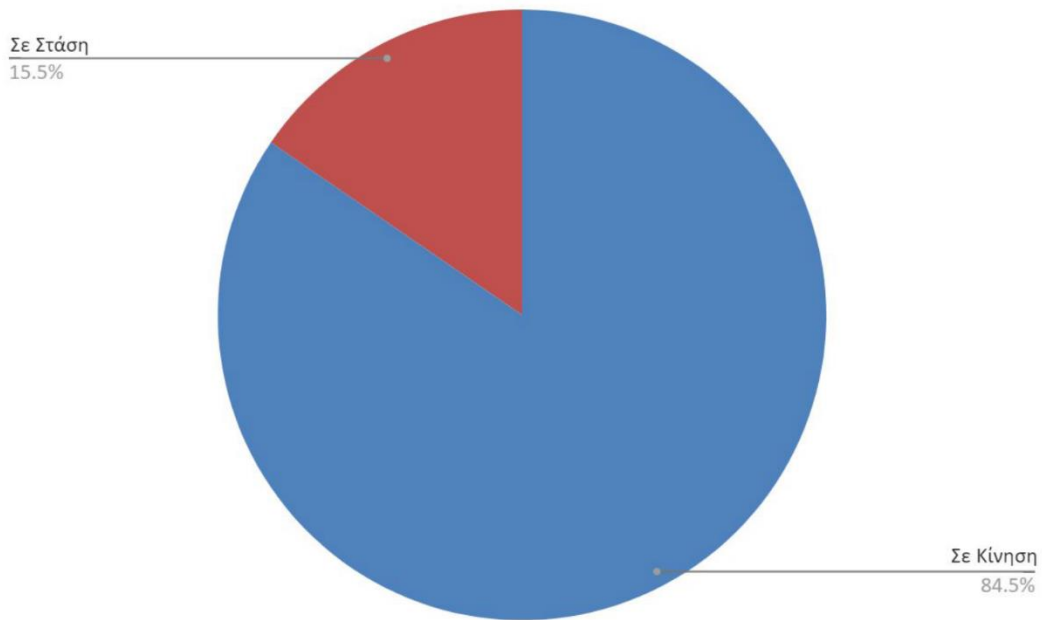


Εικόνα 31: Ποσοστό σε στάση οχήματος ανά ημέρα

Στο διάγραμμα της εικόνας 31 αποτυπώνεται το ποσοστό στάσης του οχήματος κατά την εκτέλεση της διαδρομής, δηλαδή ο χρόνος που αυτό βρίσκεται ακινητοποιημένο. Πρόκειται για ένα σημαντικό δείκτη ο οποίος αποτυπώνει ουσιαστικά την κίνηση που επικρατεί κάθε μέρα, αφού η αυξημένη κίνηση οδηγεί σε μεγαλύτερο χρόνο στάσης του οχήματος.

Το μέγιστο παρατηρείται την Παρασκευή και ίσως οφείλεται πιθανότατα και σε έξοδο εκδρομέων προς τον τόπο καταγωγής τους μετά την εργασία τους για το Σαββατοκύριακο.

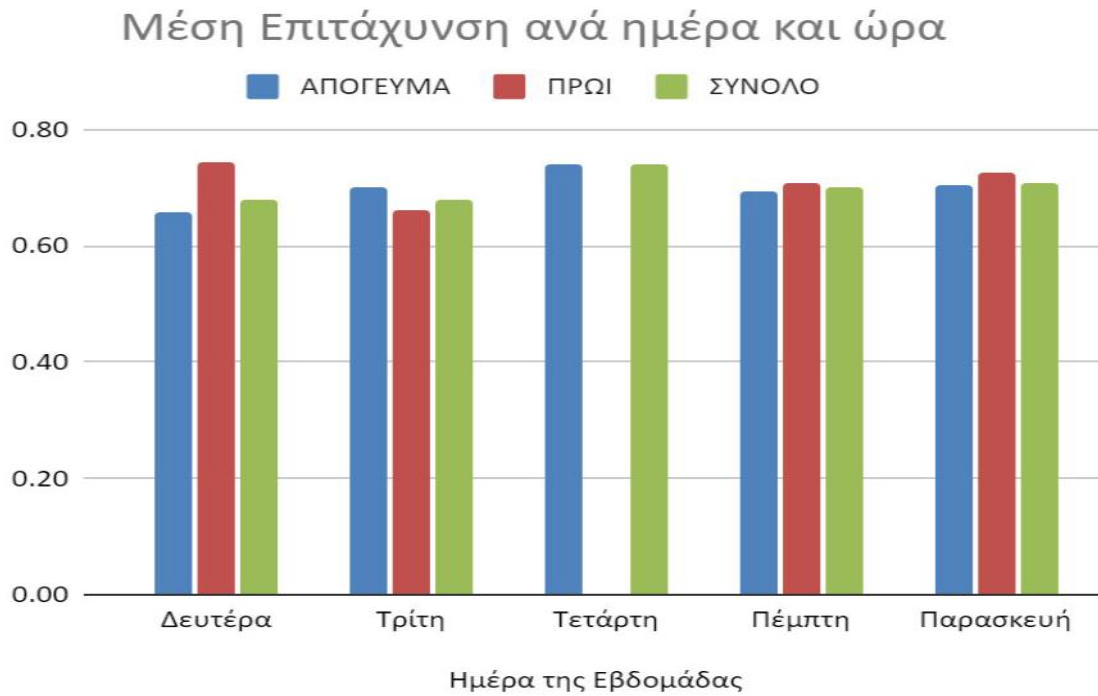
### 5.3.4 Συνολικό ποσοστό στάσης και κίνησης οχήματος



Εικόνα 32: Ποσοστό χρόνου σε στάση και σε κίνηση

Στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνεται, τέλος, το μέσο ποσοστό κίνησης και στάσης του οχήματος. Φυσικά, μια τέτοια εικόνα είναι αναμενόμενη, αφού ένα όχημα δαπανά περισσότερο χρόνο σε κίνηση, εκτός φυσικά αν έχουμε ακραίες συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, πράγμα που δεν παρατηρήθηκε κατά τη λήψη των μετρήσεών μας.

### 5.3.5 Μέση επιτάχυνση ανά ημέρα και ώρα

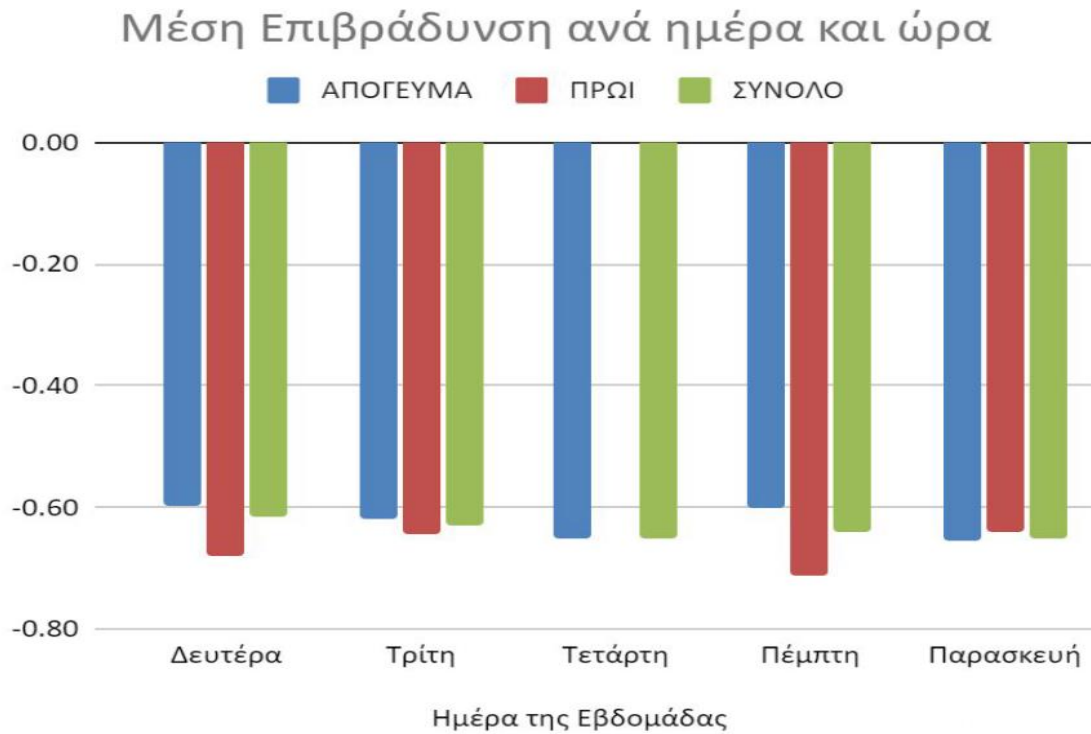


Εικόνα 33: Μέση επιτάχυνση ανά ημέρα και ώρα

Στο διάγραμμα της εικόνας 33 παρατηρούμε ότι η μέση επιτάχυνση είναι χαμηλή και σχετικά σταθερή για όλες τις ημέρες που εξετάζουμε. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται για το πρωί της Δευτέρας καθώς και για τις Τετάρτες όπου δεν έχουμε δεδομένα για το πρωί.



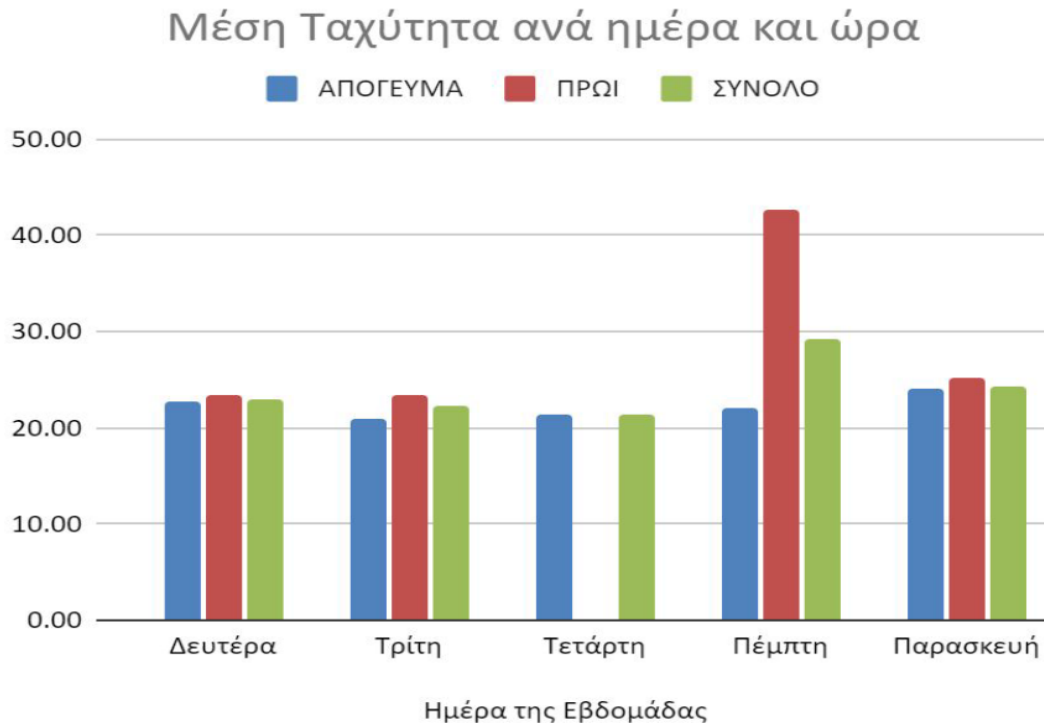
### 5.3.6 Μέση επιβράδυνση ανά ημέρα και ώρα



Εικόνα 34: Μέση επιβράδυνση ανά ημέρα και ώρα

Στο παραπάνω διάγραμμα όπου αποτυπώνεται η μέση επιβράδυνση παρατηρούμε μια εικόνα ανάλογη με αυτή της μέσης επιτάχυνσης στο αμέσως προηγούμενο διάγραμμα, συμπεριφορά αναμενόμενη για κίνηση σε αστικό περιβάλλον το οποίο χαρακτηρίζεται από ομαλές επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις.

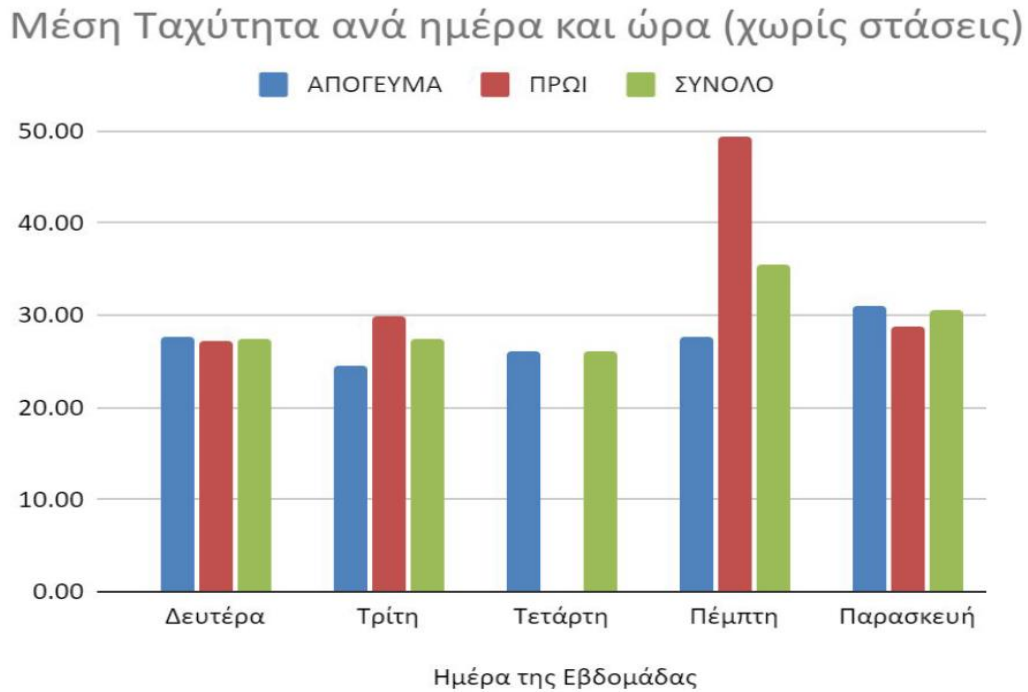
### 5.3.7 Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα



Εικόνα 35: Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα

Στο διάγραμμα της εικόνας 35 παρατηρούμε ότι η μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα της εβδομάδας είναι σχετικά σταθερή με εξαίρεση το πρωί της Πέμπτης. Η απόκλιση αυτή οφείλεται στο μικρό πλήθος μετρήσεων.

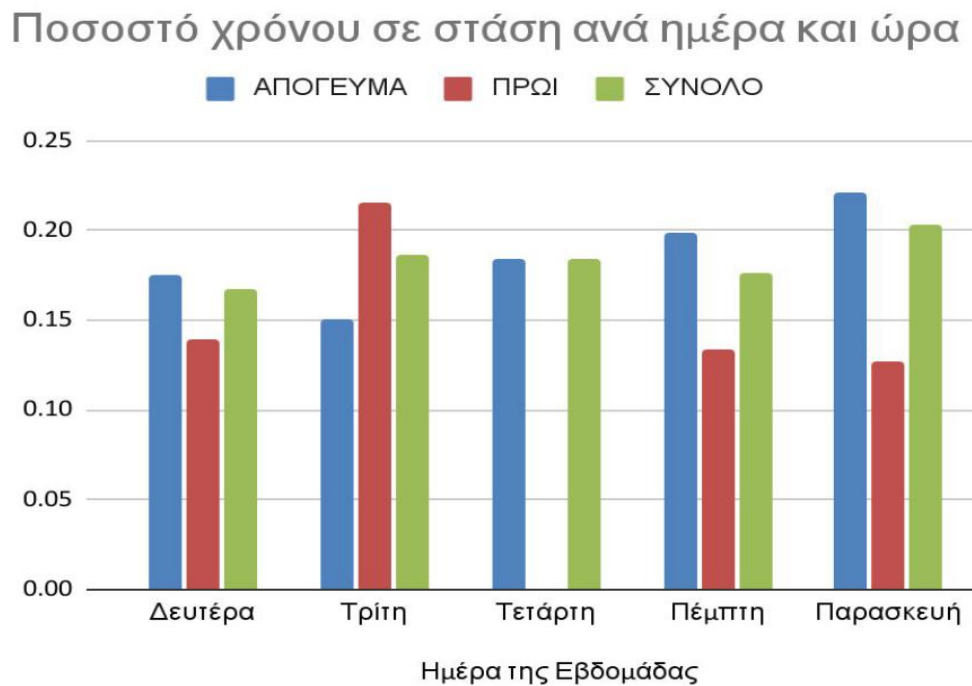
### 5.3.8 Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα χωρίς στάσεις



Εικόνα 36: Μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα χωρίς στάσεις

Όσον αφορά τη μέση ταχύτητα ανά ημέρα και ώρα χωρίς στάσεις, αυτή είναι σαφώς μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα, όπως και αναμενόταν, και διαφοροποιεί ουσιαστικά τα δεδομένα μας. Η διαφοροποίηση οφείλεται στο διαφορετικό πλήθος και χρόνο στάσεων που παρατηρείται ανά ημέρα με βάση την κίνηση. Τα δεδομένα αυτά θα τα αποτυπώσουμε σε επόμενα διαγράμματα.

### 5.3.9 Ποσοστό χρόνου σε στάση ανά ημέρα και ώρα



Εικόνα 37: Ποσοστό χρόνου σε στάση ανά ημέρα και ώρα

Στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνεται το ποσοστό χρόνου σε στάση ανά ημέρα και ώρα. Παρατηρούμε ότι γενικά το πρωί το ποσοστό στάσης είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο του απογεύματος. Τα δεδομένα διαφοροποιούνται σημαντικά ανά ημέρα και αυτό αποτυπώνει την κίνηση στο οδικό δίκτυο την δεδομένα μέρα καθώς και κάποιες διαφοροποιήσεις στην ώρα, αφού λχ. πρωινές μετρήσεις υπάρχουν τόσο για τις 7 όσο και τις 8 το πρωί.

### 5.3.10 Μέσο πλήθος στάσεων ανά ημέρα



Εικόνα 38: Πλήθος στάσεων ανά ημέρα

Τέλος, στο διάγραμμα της εικόνας 38 παρατηρούμε ότι το μέσο πλήθος στάσεων διαφοροποιείται. Το ελάχιστο παρατηρείται για την Δευτέρα ενώ το μέγιστο για την Τετάρτη και Παρασκευή. Είναι σημαντικό αυτό το διάγραμμα να συνδυάζεται με το διάγραμμα της εικόνας 37 για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κίνηση που συναντάται στο οδικό δίκτυο κάθε ημέρα.

## **6 Επίλογος**

### **6.1 Σύνοψη**

Οι εκπομπές αέριων ρύπων αποτελούν ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα της εποχής που διανύουμε. Όροι όπως η μόλυνση του περιβάλλοντος, η ατμοσφαιρική ρύπανση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αποτελούν πλέον μέρος της καθημερινότητάς μας. Στο πλαίσιο λοιπόν αυτό, οι εκπομπές ρύπων από τα επιβατηγά οχήματα είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι.

Τα επιβατηγά οχήματα αποτελούν αφενός μια πολύ σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με βάση τα όσα διατυπώθηκαν, αλλά αφετέρου αποτελούν και ένα μέρος της καθημερινής δραστηριότητας της πλειονότητας των ανθρώπων ή τουλάχιστον μια πηγή ρύπων εύκολα αντιληπτή από όλους. Στο πλαίσιο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να αναλύσουμε το πρόβλημα αυτό, διατυπώνοντας ρητά το πρόβλημα και διαχωρίζοντας τους διάφορους ρύπους και τις τεχνολογίες μείωσης αυτών. Επιπροσθέτως, αναλύθηκε ο θεσμοθετημένος τρόπος υπολογισμού των ρύπων με τη μέθοδο των κύκλων οδήγησης και διατυπώθηκαν ορισμένοι εξ' αυτών, που έχουν εφαρμογή στο ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο, το οποίο και αναλύθηκε.

Στα πλαίσια της εργασίας μας, έγινε δειγματοληψία πραγματικών δεδομένων κίνησης οχήματος, μέσω αναλυτικής μεθοδολογίας που διατυπώσαμε. Στη συνέχεια επεξεργαστήκαμε τα δεδομένα αυτά, διορθώσαμε σφάλματα και εξάγαγαμε χρήσιμα διαγράμματα και συμπεράσματα, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν και εφαλτήριο για μετέπειτα εργασίες.

### **6.2 Συμπεράσματα**

Με βάση όσα αναφέραμε στην εργασία μας και ιδίως στο προηγούμενο κεφάλαιο που αφορούσε την συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, προκύπτουν ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα.

Αρχικά, το πρόβλημα των εκπομπών ρύπων τα τελευταία χρόνια έχει αντιμετωπισθεί σημαντικά, μέσω της αυστηροποίησης του θεσμικού πλαισίου εκπομπών (λχ. πρότυπα EURO στην Ευρώπη, τα οποία και αναλύθηκαν εκτενώς), εισαγωγής νέων τεχνολογιών αντιρρύπανσης αλλά και της εν γένει τεχνολογικής προόδου, αποτέλεσμα της απαίτησης των καταναλωτών για οχήματα οικονομικότερα σε κατανάλωση καυσίμου αλλά και φιλικότερα προς το περιβάλλον. Προς την κατεύθυνση αυτή λειτουργούν και τα κυβερνητικά κίνητρα.

Επιπροσθέτως, οι κύκλοι οδήγησης αποτελούν μία σημαντική νομοθετική ρύθμιση για την εξασφάλιση αποτελεσματικού και αντικειμενικού ελέγχου των εκπομπών οχημάτων. Η εξέλιξη των κύκλων έχει οδηγήσει πλέον με τον κύκλο WLTP σε κύκλους που πλησιάζουν πλέον πολύ τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης και τα αποτελέσματα εκπομπών και κατανάλωσης δε διαφέρουν σημαντικά.

Πέραν όμως των κύκλων οδήγησης, υπάρχει και περιοδικός έλεγχος της ορθής λειτουργίας των εκπομπών οχημάτων και μάλιστα σε ετήσια βάση, γεγονός που καταδεικνύει ότι ο νομοθέτης αναγνωρίζει την αξία των συστημάτων αυτών για την προστασία του περιβάλλοντος, στα ΚΤΕΟ, αλλά και έκτακτος έλεγχος με επιτόπιους ελέγχους σε οδικούς άξονες της χώρας. Οι απαιτήσεις αυτών των ελέγχων αποτελούν αντικείμενο της εγχώριας νομοθεσίας.

Ακόμα, η μεθοδολογία καταγραφής δεδομένων κίνησης, η στατιστική επεξεργασία αυτών και η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε είναι ουσιαστικά επιτυχημένη. Στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία που μελετήσαμε πριν την εκπόνηση της διπλωματικής μας εργασίας δεν υπήρχε μία δεδομένη μεθοδολογία που επικρατεί. Έτσι, η επιλογή μας οδήγησε σε αποτελέσματα ουσιαστικά και αληθή, επιβεβαιώνοντας έτσι το συλλογισμό που ακολουθήσαμε.

Ακόμα, τα δεδομένα που συλλέξαμε ανέδειξαν την αξία της καταγραφής των δεδομένων κίνησης και μέσω της μονάδας εγκεφάλου του οχήματος αλλά και μέσω του GPS. Παρότι τα δύο αυτά βρίσκονταν ιδιαίτερα κοντά, εντούτοις το κάθε ένα σύστημα είχε μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Τελικώς επιλέξαμε τα δεδομένα GPS, αλλά χρειάστηκε τα δεδομένα αυτά να διορθωθούν για να απαλειφθούν σφάλματα κατά την ακινησία του οχήματος.

## ***Βιβλιογραφία***

- [1] Richard Rodes, Energy: A human history, Simon & Schuster, 2018.
- [2] Paolo Malanima, The Basic Environmental History, New York: Heidelberg, 2014.
- [3] H. Jääskeläinen, «Early History of the Diesel Engine,» ECOpoint Inc., 2019.
- [4] Linda Doman, «Today in Energy,» US Energy Information Administration, 2017.
- [5] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-11/assessment>. [Πρόσβαση 28 07 2021].
- [6] NASA, «The Causes of Climate Change,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://climate.nasa.gov/causes/>. [Πρόσβαση 23 08 2020].
- [7] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>. [Πρόσβαση 28 07 2021].
- [8] Daniel A. Vallero, Fundamentals of Air Pollution, Academic Press , 2007.
- [9] Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας, Καύση-Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Αθήνα: Εκδόσεις Γρ. Φούντας, 1998.
- [10] National Geographic, «Air pollution, explained,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/pollution/>. [Πρόσβαση 24 08 2020].
- [11] 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].
- [12] Σ. Χ. Ραγομανίκης, Ε. Γ. Καστρινάκης, Βασικές αρχές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ατμοσφαιρικών ρύπων, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
- [13] Heywood, John B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1988.
- [14] SST, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sstensing.com/scr-emissions-system/>. [Πρόσβαση 25 08



- 2020].
- [15] 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].
- [16] G. H, «The historic development, the political background and the future perspectives of motor vehicle emission regulations in Europe,» Elsevier, 198.
- [17] C. E, «European Automotive Exhaust Emissions,» Elsevier, 1987.
- [18] Transport Policy, «EU: Light-duty: Emissions,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-emissions/>. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [19] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dnv.com/energy-transition/how-norway-evs-have-cut-emissions-globally.html>. [Πρόσβαση 28 07 2021].
- [20] «AUTOTRITH,» 19 02 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.autotriti.gr/data/magazine/viewthema/35799.asp>. [Πρόσβαση 21 02 2021].
- [21] John Dinkel, Chassis Dynamometer, Bentley Publishers, 2000.
- [22] T J Barlow, «A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions,» TRL Limited, 2009.
- [23] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/>. [Πρόσβαση 28 07 2021].
- [24] 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].
- [25] [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Portable\\_emissions\\_measurement\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_emissions_measurement_system). [Πρόσβαση 28 07 2021].
- [26] Zhang Xiao, Zhao Dui-Jia, Shen Jun-Min, «A Synthesis of Methodologies and Practices for Developing Driving cycles,» 2012.
- [27] Pratik Patel, «Introduction to Diesel Fuel,» University of Baroda, 2016.
- [28] 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].

- [29] 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].
- [30] BBC, «Volkswagen says 800,000 cars may have false CO<sub>2</sub>,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bbc.com/news/business-34712435>. [Πρόσβαση 23 08 2020].
- [31] Pulkrabek, Willard W., *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, 1997.
- [32] NHS, «Carbon monoxide poisoning,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nhs.uk/conditions/carbon-monoxide-poisoning/>. [Πρόσβαση 24 08 2020].
- [33] van Basshuysen, Richard, and Schäfer, Fred, *Internal Combustion Engine Handbook*, SAE International, 2004.
- [34] 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.
- [35] R. K. Puli, «Performance Evaluation of an Ultra-Lean Combustion Studies in IC Engines,» σε *MATECWebofConferences*, 2016.
- [36] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statista.com/chart/2207/eu-meets-c02-targets-for-vehicles-two-years-early/>. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [37] Ericsson E., «Variability in urban driving patterns,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 5, αρ. 5, pp. 337-354, 2000.
- [38] «DieselNet,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [www.dieselnets.com/standards/cycles/ece\\_eudc.html](http://www.dieselnets.com/standards/cycles/ece_eudc.html). [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [39] «Cycle-Beating and the EU Test Cycle for Cars,» European Federation for Transport and Environment, 1998.
- [40] European Commission, «From NEDC to WLTP The New Test to Measure CO<sub>2</sub> Emissions and Fuel Consumption of Cars,» JRC Science for Policy Report, 2017.
- [41] AUDI, «Self Study Programme 230,» 2000.