



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μεθοδολογία – Ανάπτυξη Κύκλων Οδήγησης από Δεδομένα
Κίνησης για την Πόλη της Αθήνας**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΥΡΑΓΓΕΛΟΣ ΛΥΚΟΥΔΗΣ (ΑΜ: 5508)

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

Αθήνα, Ιανουάριος 2021

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

**Methodology – Development of Driving Cycles from Driving
Data for the City of Athens**

THESIS

SPYRANGELOS LYKOUDIS (AM: 5508)

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

Athens, January 2021

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση της χρησιμότητας των κύκλων οδήγησης, ιδίως ως προς το σκέλος των εκπομπών ρύπων, καθώς και η πειραματική καταγραφή δεδομένων με στόχο την αξιοποίησή τους στη δημιουργία αντιπροσωπευτικών κύκλων οδήγησης.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, στα πλαίσια της εργασίας γίνεται μια εκτενής ανάλυση στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης η οποία οφείλεται στα οχήματα και ιδιαίτερα επιβατηγά οχήματα. Παρουσιάζονται δε οι τεχνολογίες και η ιστορία για τη μείωση της ρύπανσης καθώς και το Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο στον τομέα αυτό.

Οι κύκλοι οδήγησης αποτελούν ένα αναπόσπαστο εργαλείο στην μέτρηση των εκπομπών ρύπων. Εν τούτοις δεν είναι πάντα αντιπροσωπευτικοί της πραγματικότητας και διαρκώς εξελίσσονται. Έτσι, στα πλαίσια της παρούσης, συγκεντρώθηκαν μετρήσεις από την πραγματική κίνηση ενός οχήματος και οι οποίες επεξεργάστηκαν κατάλληλα τόσο στατιστικά όσο και προκειμένου να εξαχθούν κύκλοι οδήγησης με τη μέθοδο των microtrips.

Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκαν και αναλύθηκαν διάφοροι κύκλοι οδήγησης, οι οποίοι αφορούσαν τόσο την κίνηση σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, την κίνηση σε διαφορετικές ημέρες αλλά και συνολικά με βάση τα δεδομένα των διαδρομών που συλλέχθηκαν και οι οποίοι είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικοί της πραγματικότητας.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Abstract

The scope of this thesis is the analysis of the usefulness of driving cycles, especially regarding vehicle emission testing, as well as the experimental recording of data in order to create new representative driving cycles.

Towards this goal, in the context of this work, an extensive analysis is made regarding the air pollution problem, especially due to passenger vehicles. We present the history and technologies of reducing air emissions as well as the European legal framework on this matter.

Driving cycles are an integral tool in measuring vehicle emissions. However, they are not always representative of the ever changing reality and they are constantly evolving. This, in the context of this work we collect real data from a vehicle moving in a predefined route and then these are processed both statistically as well as in order to extract new driving cycles using the microtrips method.

This way, various driving cycles were created and analyzed, comparing both driving habits and traffic within the same day as well between different days. Finally, an overall cycle representing the route we chose is constructed. All these cycles are found to be very representative of real driving conditions, thus achieving our goal.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράστασή της όλα αυτά τα χρόνια και σε όλες τις δύσκολες στιγμές.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω θερμά τον κ. καθηγητή μου για την καθοδήγηση, τις χρήσιμες υποδείξεις του και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές, σύντομα συναδέλφους μα πάνω από όλα φίλους για όσα περάσαμε μαζί αυτά τα χρόνια.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	17
1.1	Το ενεργειακό ζήτημα στις μεταφορές	17
1.2	Το περιβαλλοντικό ζήτημα	20
1.3	Η τρέχουσα κατάσταση.....	22
2	Μηχανές εσωτερικής καύσης και αέριοι ρύποι	25
2.1	Γενικά.....	25
2.1.1	Ο κύκλος του Otto	26
2.1.2	Ο κύκλος του Diesel	26
2.2	Ρύποι μηχανών εσωτερικής καύσης.....	27
2.2.1	Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).....	27
2.2.2	Διοξείδιο του θείου (SO_2).....	28
2.2.3	Οξείδια του αζώτου (NO_x).....	28
2.2.4	Πτητικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες ($VOCs$).....	28
2.2.5	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	29
2.2.6	Αιωρούμενα σωματίδια (PM).....	29
2.2.7	Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου κύκλου και καυσίμου.....	30
2.2.8	Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες οχημάτων.....	31
3	Νομοθετικό πλαίσιο εκπομπών ρύπων οχημάτων και κύκλοι οδήγησης	37
3.1	Κατηγορίες οχημάτων.....	37
3.2	Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων (EURO)	39
3.3	Κύκλοι οδήγησης.....	41
3.3.1	Ο κύκλος ECE-15 (UDC).....	44
3.3.2	Ο κύκλος ECE + EUDC.....	45

3.3.3	Ο κύκλος NEDC	46
3.3.4	Ο κύκλος WLTP	48
4	Εξοπλισμός και μεθοδολογία καταγραφής	51
4.1	Συσκευές καταγραφής δεδομένων	51
4.2	Εφαρμογή καταγραφής δεδομένων.....	53
4.3	Όχημα καταγραφής.....	55
4.4	Διαδικασία καταγραφής.....	55
4.4.1	Στάδιο προετοιμασίας.....	56
4.4.2	Στάδιο καταγραφής.....	56
4.4.3	Στάδιο λήξης καταγραφής.....	56
4.5	Τεχνικές δειγματοληψίας.....	56
4.6	Διάστημα καταγραφής.....	57
4.7	Διαδρομές.....	58
4.8	Μέθοδοι εκπόνησης κύκλων.....	59
4.8.1	Μέθοδος <i>microtrips</i>	59
4.8.2	Μέθοδος <i>Markov Chain</i>	59
5	Επεξεργασία των μετρήσεων και εξαγωγή αποτελεσμάτων	61
5.1	Αποθήκευση δεδομένων από την εφαρμογή.....	61
5.2	Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων	62
5.2.1	Εισαγωγή δεδομένων.....	63
5.2.2	Διαχωρισμός διαδρομών	63
5.2.3	Υπολογισμός μέσων μεγεθών.....	64
5.2.4	Διαχωρισμός <i>microtrips</i>	64
5.2.5	Κατάταξη <i>microtrips</i> σε κλάσεις.....	65
5.2.6	Αφαίρεση μη αντιπροσωπευτικών <i>microtrips</i>	65
5.2.7	Κατασκευή κύκλων οδήγησης.....	66
5.2.8	Στατιστική αξιολόγηση κύκλου οδήγησης	66
6	Παρουσίαση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα	69
6.1	Εξαγωγή αποτελεσμάτων.....	69

6.2	Αποτελέσματα με βάση την ώρα καταγραφής.....	69
6.2.1	Στατιστικά στοιχεία με βάση την ώρα καταγραφής.....	70
6.2.2	Διαγράμματα με βάση την ώρα καταγραφής.....	71
6.2.3	Κύκλοι οδήγησης ανά ώρα καταγραφής.....	74
6.2.4	Συμπεράσματα ανά ώρα καταγραφής.....	76
6.3	Αποτελέσματα με βάση την ημέρα καταγραφής.....	77
6.3.1	Στατιστικά στοιχεία με βάση την ημέρα καταγραφής.....	77
6.3.2	Διαγράμματα ανά ημέρα καταγραφής.....	78
6.3.3	Κύκλοι οδήγησης ανά ημέρα καταγραφής.....	81
6.3.4	Συμπεράσματα ανά ημέρα καταγραφής.....	84
6.4	Κύκλος οδήγησης για το σύνολο των δεδομένων.....	85
6.4.1	Συμπεράσματα συνολικού κύκλου οδήγησης.....	86
7	Συμπεράσματα εργασίας.....	87
7.1	Σύνοψη.....	87
7.2	Συμπεράσματα.....	88
7.3	Σημεία περαιτέρω μελέτης.....	89
	Βιβλιογραφία.....	91

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1: Η πρώτη MEK του Rudolf Diesel το 1893.....	18
Εικόνα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Αμερική σε tBTUs.....	19
Εικόνα 3: Απαιτήση σε προϊόντα πετρελαίου ανά τομέα στην Αμερική σε qBTUs	19
Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα μεταφορών στην Ευρώπη σε TJ	20
Εικόνα 5: Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατ' έτος.....	21
Εικόνα 6: Το φωτοχημικό νέφος.....	22
Εικόνα 7: Σχέση κατανάλωσης και διανυθέντων χιλιομέτρων ανά όχημα και έτος στην Αμερική	23
Εικόνα 8: Μεταλλικός καταλυτικός μετατροπέας	31
Εικόνα 9: Διάγραμμα βαλβίδας EGR	32
Εικόνα 10: Διάγραμμα φίλτρου μικροσωματιδίων.....	33
Εικόνα 11: Διαγραμματική απεικόνιση της διεργασίας SCR.....	34
Εικόνα 12: Στόχος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα στην ΕΕ [24]	40
Εικόνα 13: Δυναμόμετρο οχημάτων.....	41
Εικόνα 14: Ενδεικτικό παράδειγμα κύκλου οδήγησης (WMTC p2)	42
Εικόνα 15: Παράδειγμα ενός πραγματικών συνθηκών κύκλου οδήγησης	43
Εικόνα 16: Ο κύκλος NEDC.....	43
Εικόνα 17: Ο κύκλος ECE-15.....	44
Εικόνα 18: Ο κύκλος ECE + EUDC.....	45
Εικόνα 19: Ο κύκλος NEDC.....	46
Εικόνα 20: Ο κύκλος WLTC (κλάση 3)	49
Εικόνα 21: Όχημα υπό δοκιμή RDE.....	50
Εικόνα 22: Η θύρα OBDII (DLC) στην καμπίνα οχήματος	52
Εικόνα 23: Η συσκευή επικοινωνίας με την ECU του οχήματος	53
Εικόνα 24: Στιγμιότυπο της εφαρμογής.....	54
Εικόνα 25: Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή	55
Εικόνα 26: Η διαδρομή που ακολουθήθηκε	58
Εικόνα 27: Ενδεικτική μορφή αρχείου CSV.....	62
Εικόνα 28: Τα δεδομένα στο excel	62
Εικόνα 29: Ενδεικτική αποτύπωση διαδρομών	63
Εικόνα 30: Συνοπτική απεικόνιση αλγορίθμου επεξεργασίας μετρήσεων	67
Εικόνα 31: Ταχύτητα κίνησης και οδήγησης ανά ώρα καταγραφής.....	71
Εικόνα 32: Κατανομή χρόνου καταγραφών ανά ώρα καταγραφής	71

Εικόνα 33: Μέση διάρκεια διαδρομής ανά ώρα καταγραφής.....	72
Εικόνα 34: Κατανομή χρόνου σε στάση και κίνηση ανά ώρα καταγραφής	72
Εικόνα 35: Μέσος αριθμός στάσεων ανά διαδρομή με βάση την ώρα καταγραφής	73
Εικόνα 36: Κατανομή χρόνου σε φάση επιβράδυνσης και επιτάχυνσης ανά ώρα καταγραφής.....	73
Εικόνα 37: Μέση διανυθείσα απόσταση ανά ώρα καταγραφής	74
Εικόνα 38: Κύκλος οδήγησης για πρωινές ώρες	74
Εικόνα 39: Κύκλος οδήγησης για μεσημβρινές ώρες.....	75
Εικόνα 40: Κύκλος οδήγησης για απογευματινές ώρες.....	75
Εικόνα 41: Μέση ταχύτητα οδήγησης και κίνησης ανά ημέρα καταγραφής.....	78
Εικόνα 42: Κατανομή χρόνου καταγραφών ανά ημέρα	78
Εικόνα 43: Μέση διάρκεια διαδρομής ανά ημέρα καταγραφής	79
Εικόνα 44: Σύγκριση ποσοστού χρόνου στάσης και κίνησης ανά ημέρα καταγραφής	79
Εικόνα 45: Μέσος αριθμός στάσεων ανά ημέρα καταγραφής.....	80
Εικόνα 46: Ποσοστό χρόνου επιτάχυνσης και επιβράδυνσης ανά ημέρα	80
Εικόνα 47: Μέση διανυθείσα απόσταση ανά ημέρα καταγραφής	81
Εικόνα 48: Κύκλος οδήγησης Δευτέρας.....	81
Εικόνα 49: Κύκλος οδήγησης Τρίτης	82
Εικόνα 50: Κύκλος οδήγησης Τετάρτης.....	82
Εικόνα 51: Κύκλος οδήγησης Πέμπτης	83
Εικόνα 52: Κύκλος οδήγησης Παρασκευής	83
Εικόνα 53: Διάγραμμα συνολικού κύκλου οδήγησης.....	85

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου ΜΕΚ	30
Πίνακας 2: Κατηγορίες οχημάτων ΕΕ	38
Πίνακας 3: Τα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για την κατηγορία Μ.....	39
Πίνακας 4: Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ ευρωπαϊκών κύκλων οδήγησης	47
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC και σύγκριση με NEDC.....	49
Πίνακας 6: Στατιστικά στοιχεία διαδρομών με βάση την ώρα καταγραφής	70
Πίνακας 7: Στατιστικά στοιχεία κύκλων οδήγησης ανά ώρα καταγραφής.....	76
Πίνακας 8: Στατιστικά στοιχεία ανά ημέρα καταγραφής	77
Πίνακας 9: Στατιστικά κύκλων ανά ημέρα καταγραφής	84
Πίνακας 10: Στατιστικά στοιχεία συνολικού κύκλου οδήγησης και σύγκριση	85

1

Εισαγωγή

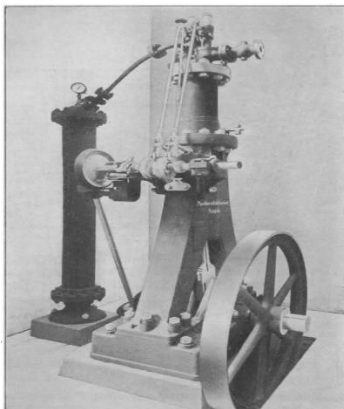
1.1 Το ενεργειακό ζήτημα στις μεταφορές

Τους τελευταίους 5 περίπου αιώνες [1], ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της ανάπτυξης του ανθρώπινου πολιτισμού είναι η αλματώδης αύξηση της ενέργειας που καταναλώνει. Είναι βέβαια κοινώς αποδεκτό ότι από αρχαιότατων χρόνων η ενέργεια αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέτρο σύγκρισης μεταξύ κοινωνιών και πολιτισμών, το στοιχείο όμως αυτό είναι θεμελιώδες τους τελευταίους αιώνες [2].

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

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

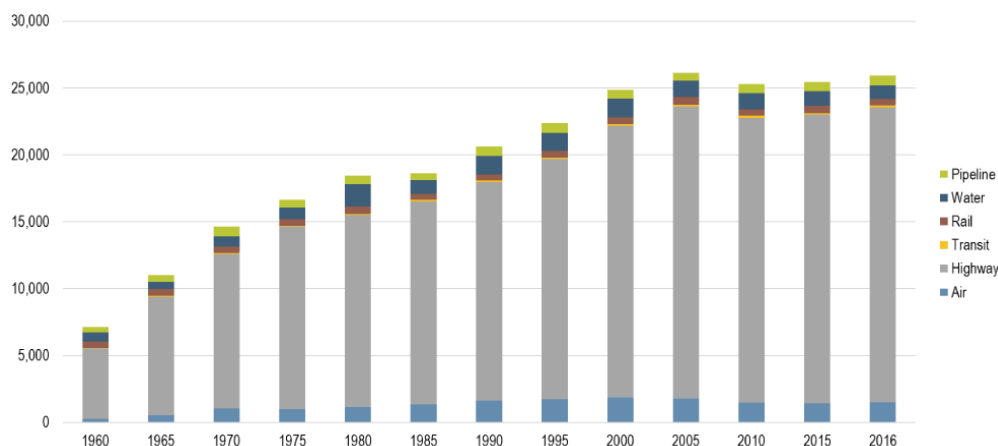
σήμερα όμως η εξέλιξη δε σταματά, οπότε και βρισκόμαστε στο στάδιο της ηλεκτροκίνησης και των μπαταριών.



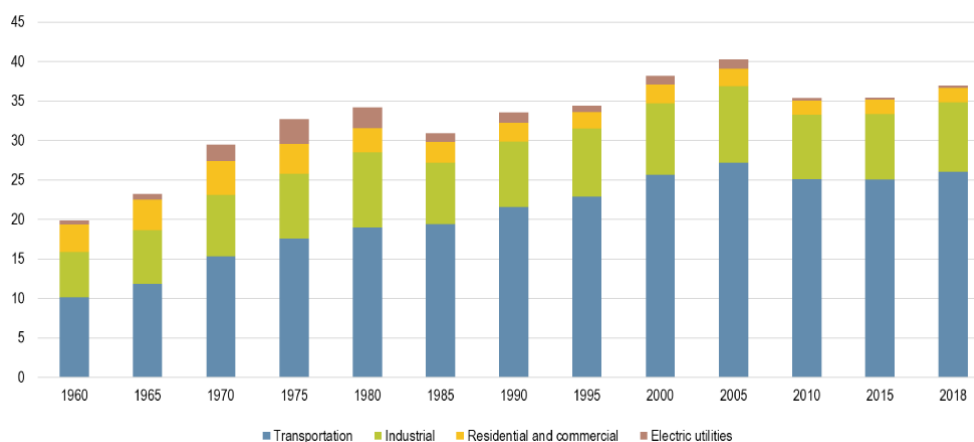
Εικόνα 1: Η πρώτη MEK του Rudolf Diesel το 1893

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

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

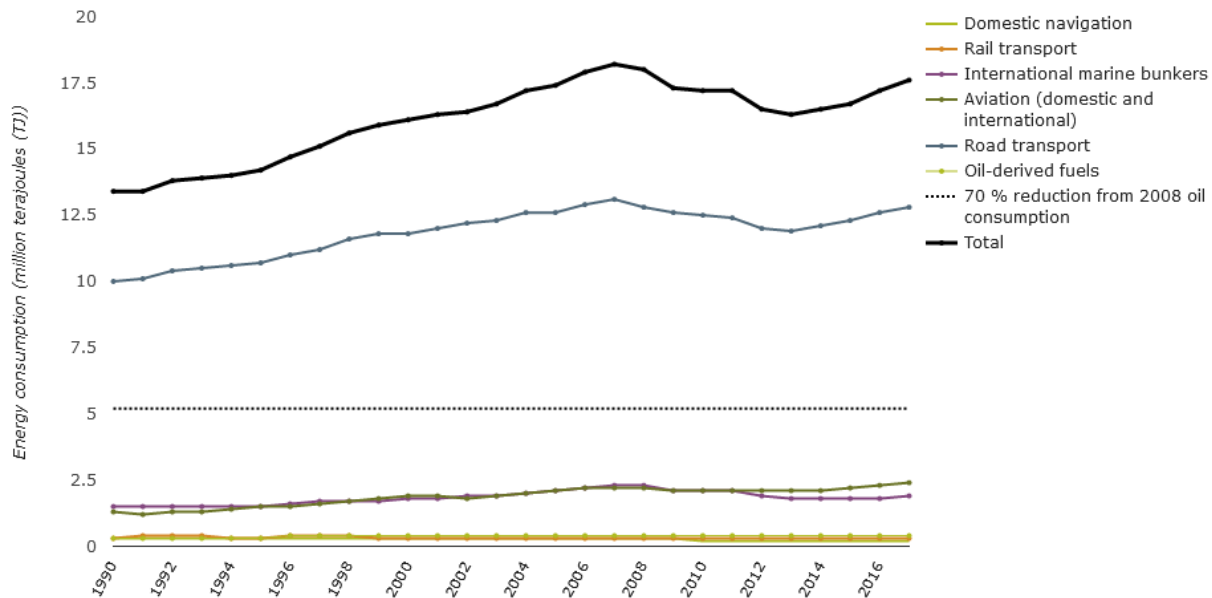


Εικόνα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Αμερική σε tBTUs



Εικόνα 3: Απαιτήση σε προϊόντα πετρελαίου ανά τομέα στην Αμερική σε qBTUs

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



Εικόνα 4: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα μεταφορών στην Ευρώπη σε TJ

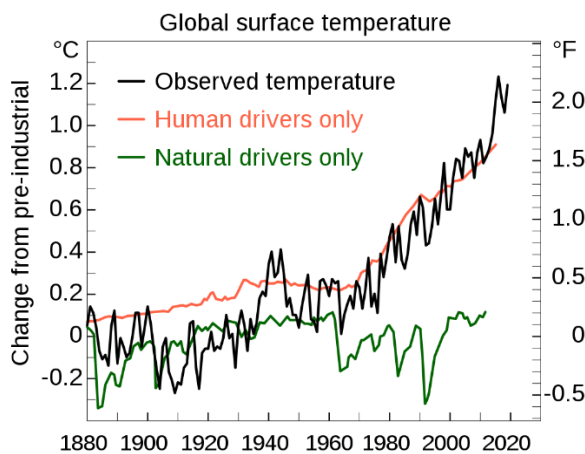
Δεδομένου λοιπόν των τάσεων που προκύπτουν από τα ανωτέρω, της περιορισμένης διαθεσιμότητας των πεπερασμένων πόρων πετρελαίου που υπάρχουν στον πλανήτη και ορυκτών καυσίμων γενικότερα, αφού αποτελούν μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, της σημαντικότητας από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας των οδικών μεταφορών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

1.2 Το περιβαλλοντικό ζήτημα

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

Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην γήινη ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα την παγίδευση της θερμότητας στην ατμόσφαιρα και την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Υπό κανονικές συνθήκες, η προσπίπτουσα στην επιφάνεια της γης ηλιακή ακτινοβολία

ανακλάται, σε ένα ποσοστό, εκτός ατμόσφαιρας. Όμως, τα αέρια του θερμοκηπίου έχουν την ιδιότητα να κατακρατούν αυτήν την ανακλούσα ακτινοβολία και να μην της επιτρέπουν να διαφύγει, όπως θα συνέβαινε υπό κανονικές συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, με ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό, ιδίως τα τελευταία 40 χρόνια.



Εικόνα 5: Αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατ' έτος

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

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

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

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



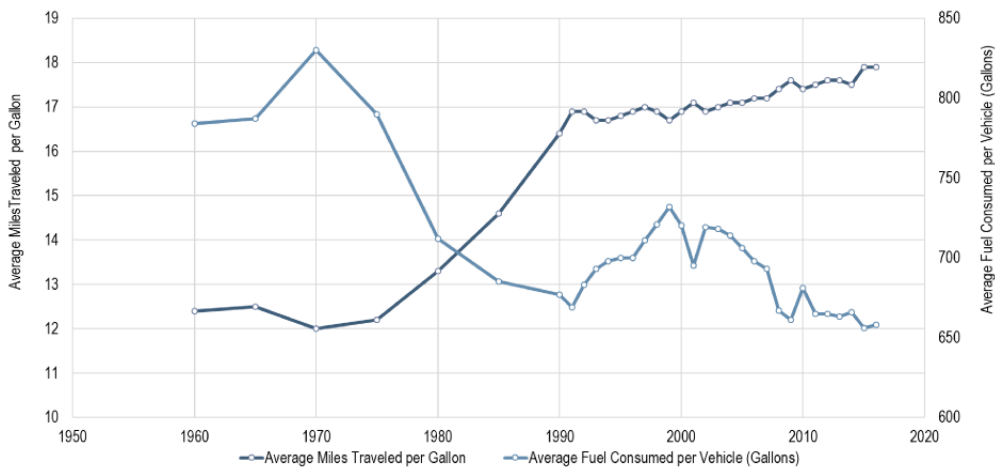
Εικόνα 6: Το φωτοχημικό νέφος

1.3 Η τρέχουσα κατάσταση

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

Παράλληλα, οι ίδιοι οι καταναλωτές επιζητούν οχήματα τα οποία, μέσα σε λογικά πλαίσια, θα τους επιφέρουν μια μείωση των εξόδων μετακίνησης. Αυτό έγινε ιδιαίτερα εμφανές κατά την οικονομική κρίση στην Ελλάδα, με την στροφή των καταναλωτών σε οχήματα μικρότερου κυβισμού αλλά και σε

εναλλακτικές μορφές καυσίμων. Έτσι, οι ίδιοι οι κατασκευαστές, πέραν από τις κρατικές απαιτήσεις και επιταγές, έχουν κίνητρο να βελτιώσουν την κατανάλωση των οχημάτων τους και την απόδοσή τους [6].



Εικόνα 7: Σχέση κατανάλωσης και διανυθέντων χιλιομέτρων ανά όχημα και έτος στην Αμερική

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

Επιπροσθέτως, προκειμένου να μπορεί να ενημερωθεί ο καταναλωτής για το κόστος χρήσης του οχήματος αλλά και για να μπορεί να υπάρχει μια βάση για τη φορολόγηση των οχημάτων, υπάρχουν πρότυπα κύκλων δοκιμών (κύκλοι οδήγησης), δηλαδή η δοκιμή των οχημάτων σε προτυποποιημένα φορτία και συνθήκες προκειμένου να υπολογισθούν η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές ρύπων.

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

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

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

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

2

Μηχανές εσωτερικής καύσης και αέριοι ρύποι

2.1 Γενικά

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

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

2.1.1 Ο κύκλος του Otto

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

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μηχανών που χρησιμοποιούν αυτόν τον κύκλο είναι ότι κατά τη βάση της συμπίεσης, το ρευστό που συμπιέζεται είναι ένα μείγμα καυσίμου και αέρα. Βέβαια αυτό δεν είναι απόλυτο, καθώς πλέον υπάρχουν πολλές παραλλαγές και τεχνολογίες για την αύξηση της απόδοσης των μηχανών, όπως λχ. ο άμεσος ψεκασμός, εντούτοις η βασική αρχή είναι η ίδια, και συνεπώς αυτό περιορίζει τις μέγιστες πιέσεις που μπορούν να αναπτυχθούν μέσα στον κύλινδρο, καθώς μπορεί να έχουμε προανάφλεξη του μείγματος.

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

2.1.2 Ο κύκλος του Diesel

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

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

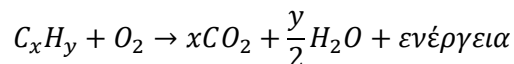
Όμως αυτό φυσικά έχει αρνητικές συνέπειες στις εκπομπές των υπόλοιπων ρύπων. Αφενός οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν στον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου, αφετέρου από τη στιγμή που η ανάμειξη αέρα – καυσίμου δεν είναι ιδανική έχουμε το σχηματισμό αιθάλης και μικροσωματιδίων.

2.2 Ρύποι μηχανών εσωτερικής καύσης

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

2.2.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Τα ορυκτά καύσιμα και γενικότερα τα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν ως βάση τους ορισμένες ουσίες τις οποίες αποκαλούμε υδρογονάνθρακες, ενώσεις δηλαδή του άνθρακα με το υδρογόνο. Εξ' ορισμού λοιπόν, ακόμα και η τέλεια καύση των ενώσεων αυτών θα παράξει ως βασικό ρύπο το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Πράγματι:



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

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

2.2.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

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 (H₂SO₄) το οποίο και συμβάλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής.

Εξαιτίας της σοβαρότητας του φαινομένου αυτού υπάρχει αυστηρό θεσμικό πλαίσιο στις απαιτήσεις περιεκτικότητας σε θείο στα υγρά καύσιμα. Καύσιμα όπως η βενζίνη, που είναι ιδιαίτερα χαμηλά κλάσματα του πετρελαίου και επεξεργασμένα, περιέχουν ίχνη θείου ενώ τα πετρέλαια diesel πολύ μικρές ποσότητες (10 mg/kg μέγιστο). Κατά συνέπεια, οι μηχανές diesel είναι πιο επιρρεπείς στις εκπομπές διοξειδίου του θείου.

2.2.3 Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται κατά περίπου 78% από άζωτο (N₂). Το άζωτο της ατμόσφαιρας είναι ένα αδρανές αέριο το οποίο δεν συμμετέχει στην καύση. Όμως, στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εντός του θαλάμου καύσης ενός κινητήρα, το άζωτο αντιδρά με το οξυγόνο και σχηματίζει οξείδια του αζώτου με κυριότερο εξ' αυτών το διοξείδιο του αζώτου (NO₂).

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

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

2.2.4 Πτητικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (VOCs)

Οι πτητικές αρωματικές ενώσεις που εκπέμπονται από τα οχήματα οφείλονται στην ατελή καύση και στην ύπαρξη αυτών των ενώσεων στα καύσιμα. Πρόκειται για πολύ επικίνδυνους ρύπους οι οποίοι προκαλούν πληθώρα σοβαρών προβλημάτων υγείας, τόσο βραχυχρόνια όσο και μακροχρόνια, με

ορισμένους εξ' αυτών να είναι γνωστά καρκινογόνα και τερατογόνα. Σημαντικό χαρακτηριστικό της επικινδυνότητάς τους είναι η πτητική τους φύση, δηλαδή η δυνατότητά τους να βρίσκονται εύκολα σε αέρια μορφή.

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

2.2.5 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

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

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

2.2.6 Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

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

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

2.2.7 Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου κύκλου και καυσίμου

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

Αρχικά, όσον αφορά το διοξείδιο του άνθρακα, οι κινητήρες τύπου diesel έχουν σαφώς μικρότερες εκπομπές, για την ίδια ισχύ, καθώς έχουν αρκετά καλύτερη θερμοδυναμική απόδοση από τους αντίστοιχους κινητήρες Otto. Όσον αφορά τα καύσιμα, το φυσικό αέριο (CNG) διαθέτει τις μικρότερες εκπομπές συγκριτικά με τα υπόλοιπα καύσιμα διότι διαθέτει την καλύτερη αναλογία ατόμων άνθρακα προς υδρογόνο, αφού αποτελείται κατά 90% από μεθάνιο το οποίο διαθέτει 1 άτομο άνθρακα και 4 άτομα υδρογόνου.

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

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

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

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

	Otto (4T)	Diesel
CO ₂	Υψηλότερες	Χαμηλότερες
SO ₂	Ίχνη	Υψηλές
NO _x	Μεσαίες	Υψηλές
VOCs	Υψηλές	Μεσαίες
CO	Υψηλές	Μεσαίες
PM	Υψηλές	Χαμηλές, εξαιρουμένων των άμεσου ψεκασμού

Πίνακας 1: Σύγκριση ρύπων μεταξύ τύπου MEK

2.2.8 Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες οχημάτων

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

2.2.8.1 Καταλύτες



Εικόνα 8: Μεταλλικός καταλυτικός μετατροπέας

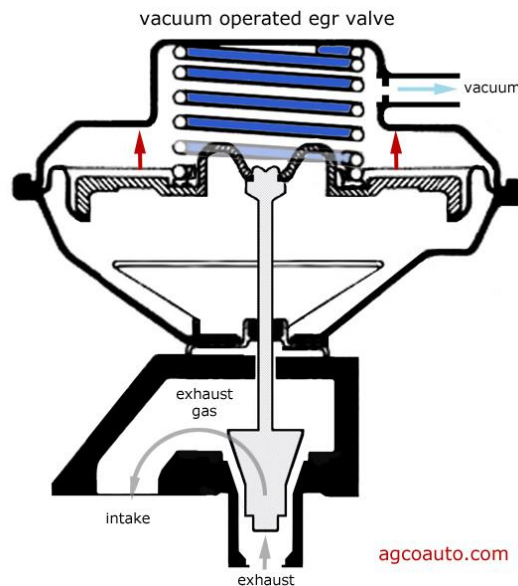
Οι καταλυτικοί μετατροπείς οχημάτων [16] αποτελούν την παλαιότερη αντιρρυπαντική τεχνολογία που συναντάται στα οχήματα. Οι σύγχρονοι καταλυτικοί μετατροπείς αποτελούνται από κεραμικό ή μεταλλικό πυρήνα εξαιρετικά μεγάλης επιφάνειας, το οποίο επιτυγχάνεται κατασκευαστικά και χρησιμοποιούν μείγμα από σπάνιες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

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

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

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

2.2.8.2 Τεχνολογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)



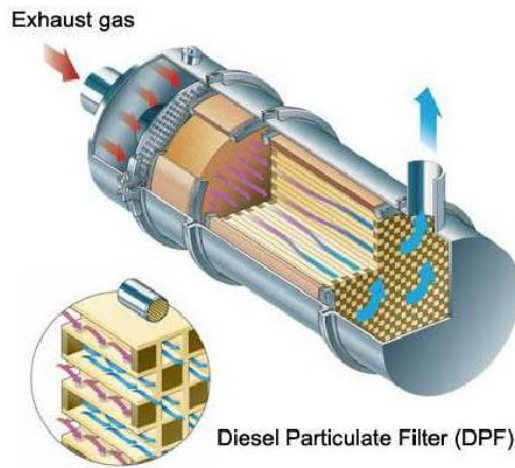
Εικόνα 9: Διάγραμμα βαλβίδας EGR

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

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

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

2.2.8.3 Φίλτρο μικροσωματιδίων (DPF)

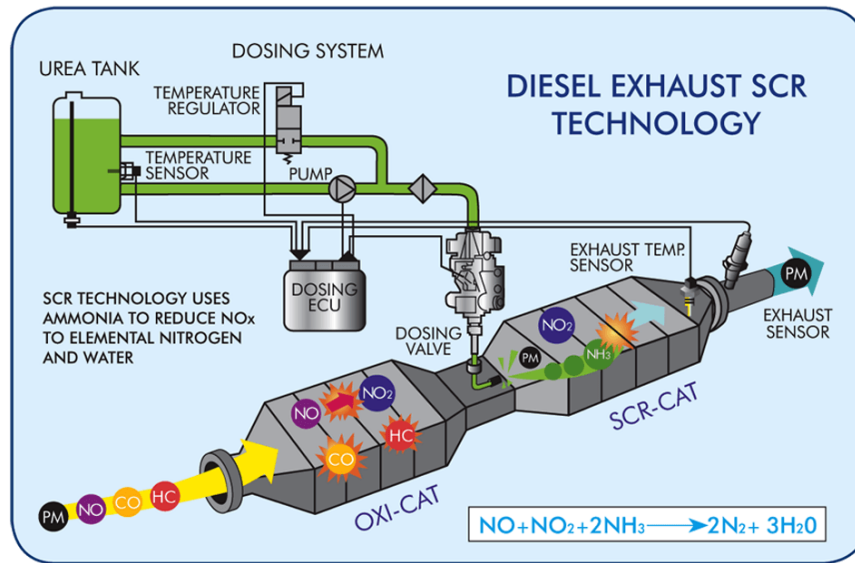


Εικόνα 10: Διάγραμμα φίλτρου μικροσωματιδίων

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

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

2.2.8.4 Επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR)



Εικόνα 11: Διαγραμματική απεικόνιση της διεργασίας SCR

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

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

2.2.8.5 Τεχνολογίες διαχείρισης καύσης και καυσίμου

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

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

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

3

Νομοθετικό πλαίσιο εκπομπών ρύπων οχημάτων και κύκλοι οδήγησης

3.1 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	<i>Οχήματα έως 8 θέσεων</i>
M2	<i>Οχήματα άνω των 8 θέσεων και κάτω των 5 τόννων</i>
M3	<i>Οχήματα άνω των 8 θέσεων και άνω των 5 τόννων</i>
N	Οχήματα μεταφοράς αγαθών (φορτηγά)
O	Ρυμουλκούμενα
G	Οχήματα εκτός δρόμου
-	Οχήματα ειδικού σκοπού

Πίνακας 2: Κατηγορίες οχημάτων ΕΕ

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

3.2 Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων (EURO)

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

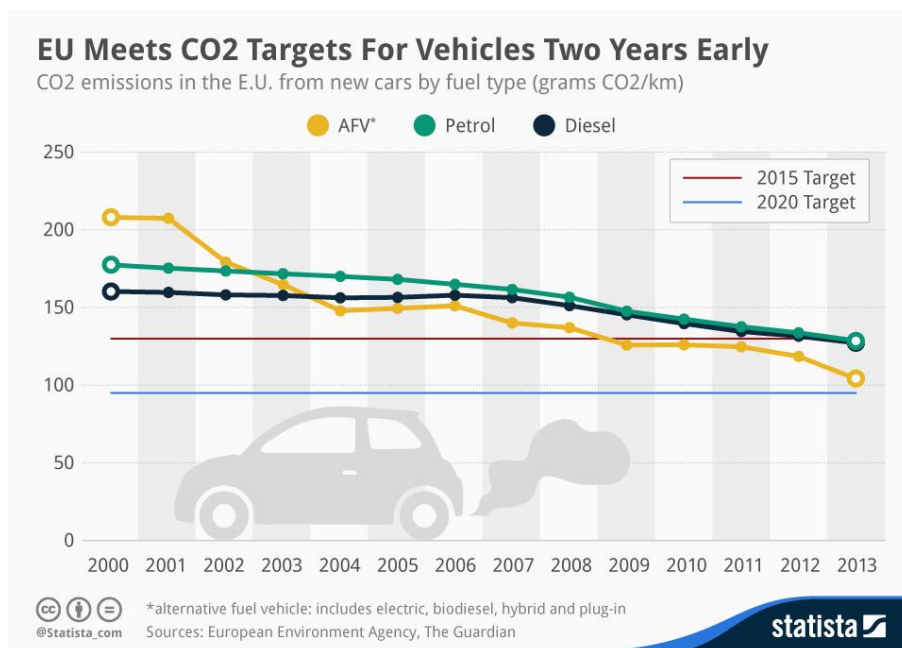
Κατηγορία	Ημερομηνία επικύρωσης	Έναρξη ισχύος	CO [g/km]	THC [g/km]	NMHC [g/km]	NO _x [g/km]	HC+NO _x [g/km]	PM [g/km]	PN [#/km]
Κινητήρες Πετρελαίου									
Euro 1	1/7/1992	1/1/1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)	-
Euro 2	1/1/1996	1/1/1997	1.0	-	-	-	0.7	0.08	-
Euro 3	1/1/2000	1/1/2001	0.66	-	-	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 ¹¹
Euro 6b	1/9/2014	1/9/2015	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6c	-	1/9/2018	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6d- Temp	1/9/2017	1/9/2019	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6d	1/1/2020	1/1/2021	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10 ¹¹
Κινητήρες Βενζίνης									
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 ¹¹
Euro 6c	-	1/9/2018	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6d- Temp	1/9/2017	1/9/2019	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6×10 ¹¹
Euro 6d	1/1/2020	1/1/2021	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.0045	6×10 ¹¹

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

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

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

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

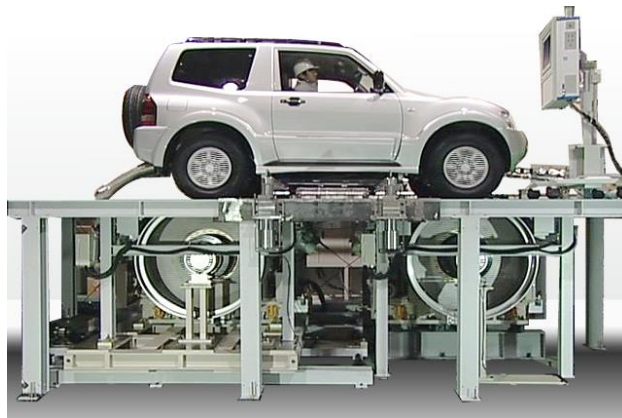


Εικόνα 12: Στόχος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά όχημα στην ΕΕ [24]

3.3 Κύκλοι οδήγησης

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

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



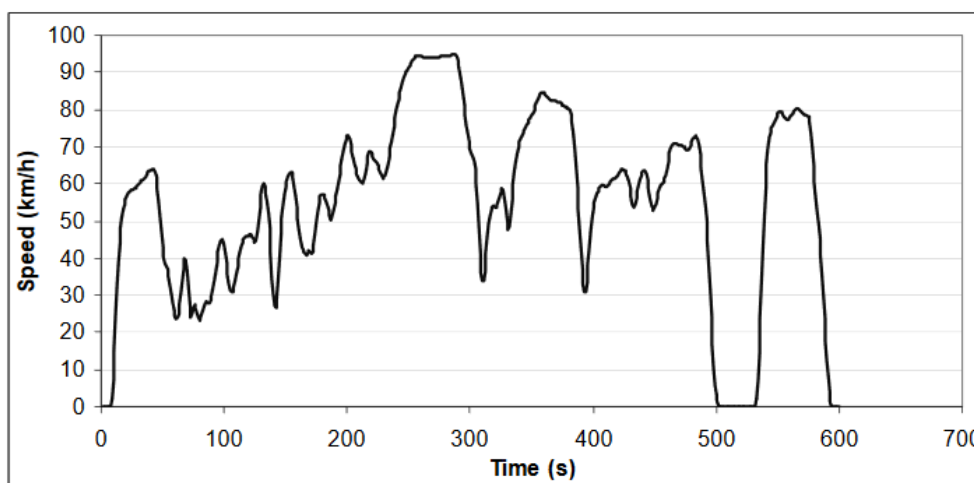
Εικόνα 13: Δυναμόμετρο οχημάτων

Συνεπώς, ένας κύκλος οδήγησης είναι μια προκαθορισμένη ακολουθία στην λειτουργία του οχήματος σε ένα δυναμόμετρο, το οποίο επιτρέπει την προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών σε ένα ελεγχόμενο και επαναλήψιμο περιβάλλον [25].

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

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

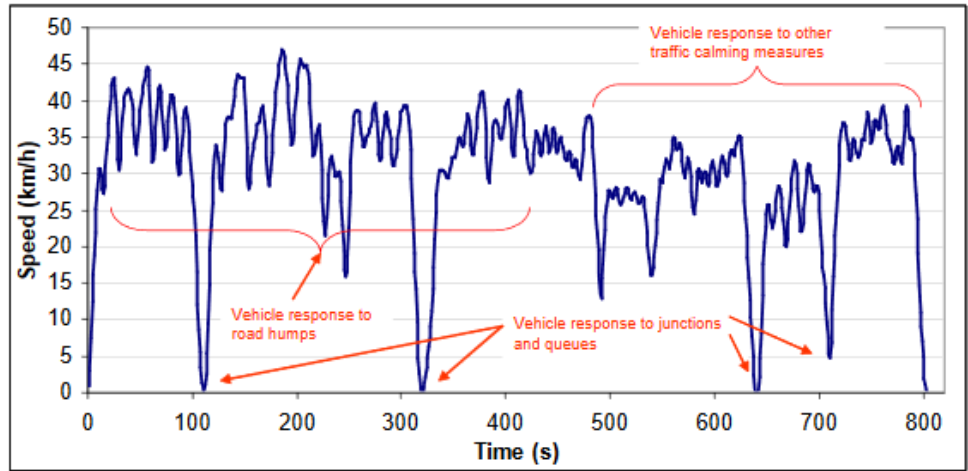
Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κύκλοι οδήγησης δε χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την μέτρηση των εκπομπών ρύπων, αλλά είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ενδεικτικά χρησιμοποιούνται κατά την ανάπτυξη οχημάτων, για την μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου, κατά την ανάπτυξη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



Εικόνα 14: Ενδεικτικό παράδειγμα κύκλου οδήγησης (WMTC p2)

Όπως ενδεικτικά αποτυπώνεται στην εικόνα 14 [25], η οποία δείχνει ένα παράδειγμα κύκλου οδήγησης, ένας κύκλος οδήγησης είναι ουσιαστικά η μεταβολή της ταχύτητας του οχήματος συναρτήσει του χρόνου, ούτως ώστε να προσομοιώνει τις απαιτούμενες συνθήκες κίνησης που επιθυμούμε. Το εύρος των μεταβολών αυτών, η κλίση των μεταβολών, ο χρόνος σε κάθε φάση, οι μέγιστες και ελάχιστες ταχύτητες καθώς και η περιοδικότητα αποτελούν χαρακτηριστικά του κάθε κύκλου.

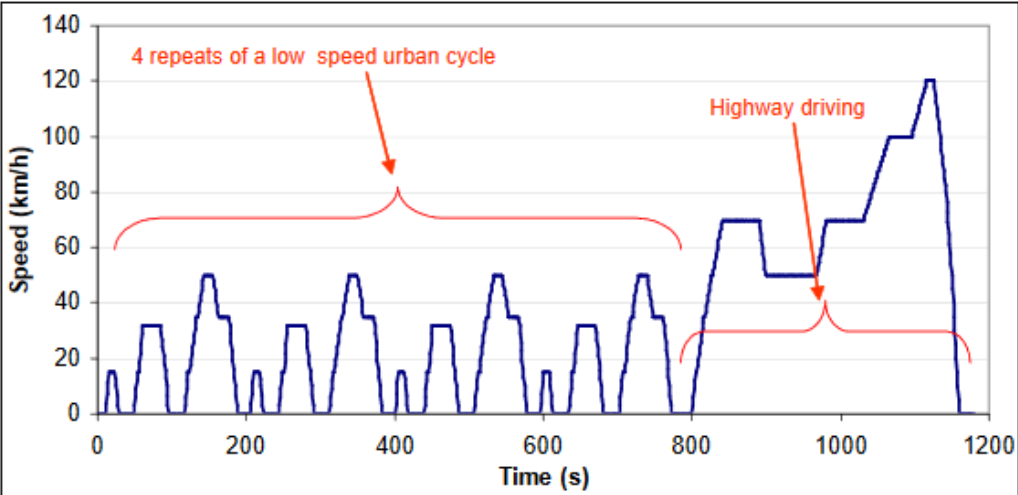
Κάθε κύκλος έχει μερικά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αρχικά, ο κύκλος μπορεί να είναι θεσμοθετημένος ή κύκλος οδήγησης πραγματικών συνθηκών. Οι κύκλοι πραγματικών συνθηκών αφορούν την διεξαγωγή μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες σε οδήγηση στο δρόμο [26]. Οι κύκλοι αυτοί χρησιμοποιούνται, ιδίως τα τελευταία χρόνια μετά την αποκάλυψη του σκανδάλου dieselgate, σαν εργαλείο ούτως ώστε να πιστοποιηθεί ότι τα οχήματα εναρμονίζονται με τις εκπομπές ρύπων κατά την πραγματική οδήγηση, όπως για παράδειγμα η διαδικασία Real Drive Emissions test (RDE) στον κύκλο WLTP. Όμως, νομική ισχύ έχουν μόνο οι θεσμοθετημένοι κύκλοι και δεν υποκαθίστανται, παρά μόνο λειτουργούν ως ένδειξη.



Εικόνα 15: Παράδειγμα ενός πραγματικών συνθηκών κύκλου οδήγησης

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

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

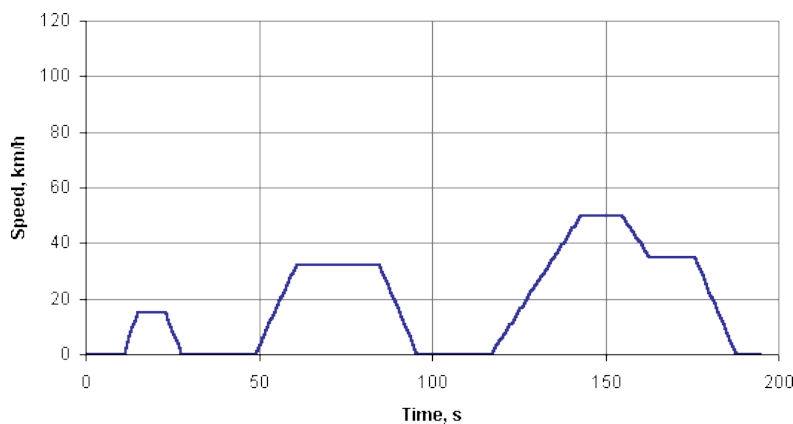


Εικόνα 16: Ο κύκλος NEDC

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 17: Ο κύκλος ECE-15

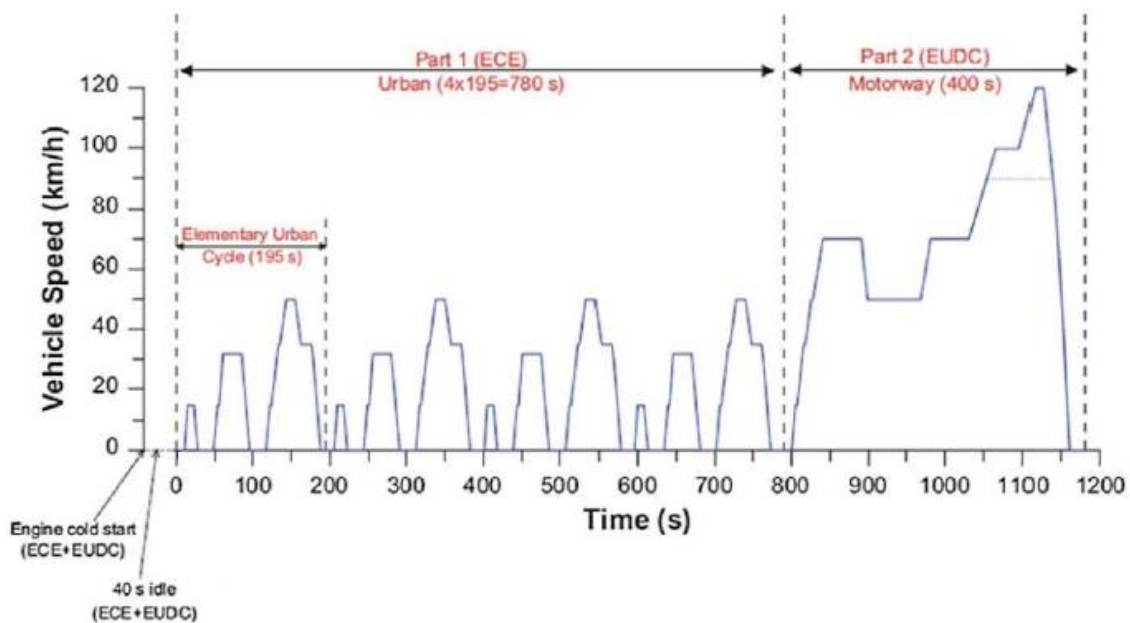
Ο κύκλος ECE-15, όπως αποτυπώνεται στην εικόνα 17, αποτελεί έναν αστικό κύκλο οδήγησης (Urban Driving Cycle), ο οποίος σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει τις συνθήκες οδήγησης εντός πόλεως και χαρακτηρίζεται από χαμηλή ταχύτητα οχήματος, χαμηλό φορτίο κινητήρα και χαμηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων.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

3.3.2 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, αποτελείται από τους 4 κύκλους ECE-15 που ίσχυαν και προηγουμένως αλλά με την προσθήκη ενός ακόμα τμήματος, διάρκειας 400 δευτερολέπτων, το οποίο είναι σχεδιασμένο να προσομοιώνει τις συνθήκες οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο.

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

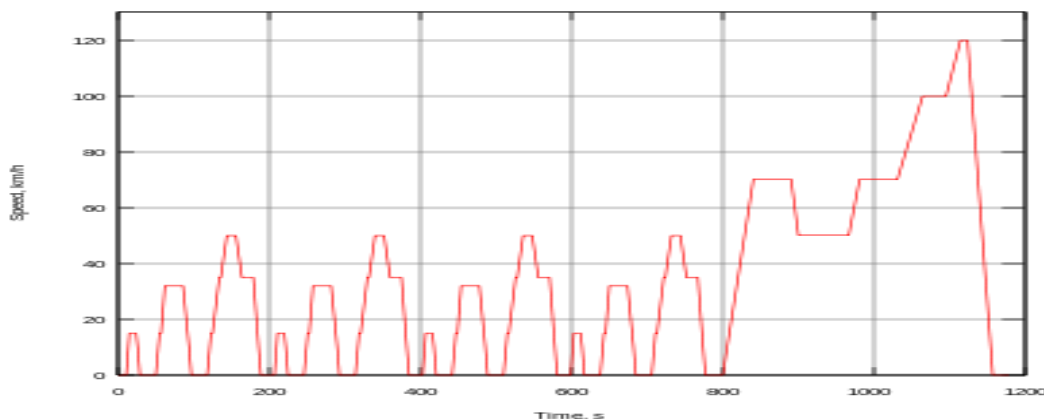
Στην περίπτωση οχημάτων χαμηλής ισχύος, η μέγιστη αναπτυσσόμενη ταχύτητα κατά τη διάρκεια του κύκλου EUDC περιορίζεται στα 90 km/h.



Εικόνα 18: Ο κύκλος ECE + EUDC

3.3.3 Ο κύκλος NEDC

Ο κύκλος NEDC (new European Driving Cycle) [27], γνωστός και ως MVEG, οριστικοποιήθηκε το 1997, με την προσθήκη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, και ίσχυσε από το 2000 και την 1 Σεπτεμβρίου του 2019. Πρόκειται κατ' ουσία για μια μικρή τροποποίηση του κύκλου ECE + EUDC αφού απλώς αφαιρεί τα 40 δευτερόλεπτα του ρελαντί του κινητήρα πριν την έναρξη της διαδικασίας.



Εικόνα 19: Ο κύκλος NEDC

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

Ο συγκεκριμένος κύκλος τις περίπου 2 δεκαετίες που χρησιμοποιήθηκε δέχθηκε αρκετή κριτική. Η αλήθεια είναι ότι αυτός ο κύκλος οριστικοποιήθηκε πολύ παλιά, όταν τα οχήματα ήταν ελαφρύτερα και αρκετά πιο ανίσχυρα, με αποτέλεσμα να απαιτεί πολύ ομαλές επιταχύνσεις από ότι σε πραγματικές συνθήκες για τα σύγχρονα οχήματα. Επίσης, σύμφωνα με αρκετούς επικριτές του [28], 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.

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

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

Πίνακας 4: Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ ευρωπαϊκών κύκλων οδήγησης

3.3.4 Ο κύκλος WLTP

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

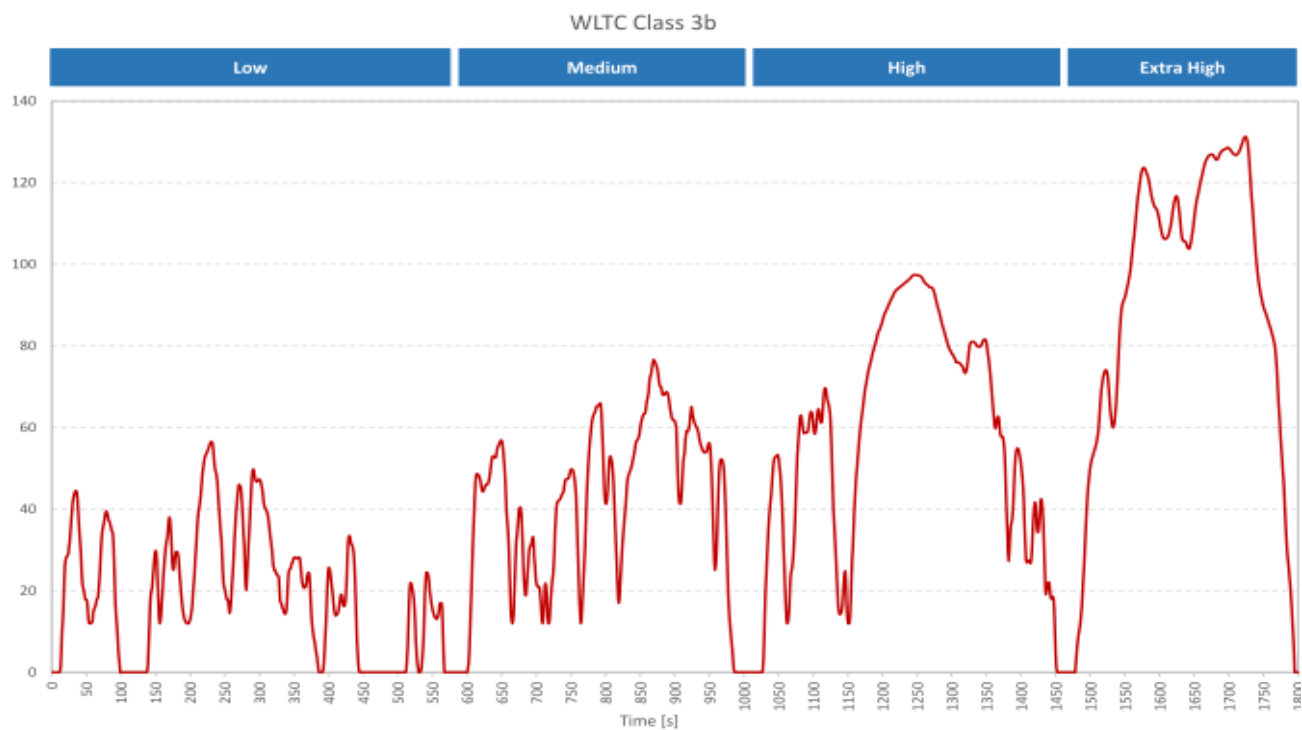
Η τελική έκδοση του κύκλου οριστικοποιήθηκε το 2015. Εκτός από τις χώρες της ευρωζώνης, χρησιμοποιείται και στην Ινδία, την Νότιο Κορέα και την Ιαπωνία αλλά και σε άλλες ακόμα χώρες. Ειδικότερα στην Ευρώπη, συσχετίζεται με τον κανονισμό EC 2009/443 για την μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τους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

Το νέο αυτό πρότυπο, όπως προαναφέρθηκε, έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικό των πραγματικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό, διαρκεί 10 λεπτά περισσότερο από τον κύκλο NEDC, έχει πιο δυναμικό προφίλ ταχύτητας, μεγαλύτερες επιταχύνσεις και μικρότερα διαστήματα στάσης. Η μέση ταχύτητα είναι 46.5 km/h ενώ η μέγιστη 131.3 km/h. Η απόσταση που διανύεται είναι 23.25 km, υπερδιπλάσια του κύκλου NEDC. Άλλες βασικές διαφορές είναι [29]:

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

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

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



Εικόνα 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 ²	-1.5	-1.5	-1.5	-1.44		
Μέγιστη επιτάχυνση, m/s ²	1.611	1.611	1.666	1.055		1.042

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά κύκλου WLTC και σύγκριση με NEDC

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

Τέλος, μία άλλη προσθήκη του κύκλου WLTC, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, είναι η προσθήκη μιας δοκιμής πραγματικών συνθηκών, γνωστή ως RDE (Real Drive Emissions test). Η δοκιμή αυτή δεν έχει δεσμευτικό – νομικό χαρακτήρα, παρά μόνο η εργαστηριακή, εντούτοις χρησιμοποιείται για να επιβεβαιώσει ότι το όχημα εναρμονίζεται με τις εκπομπές και σε πραγματικές συνθήκες και δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση, η οποία θα μπορούσε να υποδηλώσει προσπάθεια αλλοίωσης των αποτελεσμάτων [30].



Εικόνα 21: Όχημα υπό δοκιμή RDE

4

Εξοπλισμός και μεθοδολογία καταγραφής

4.1 Συσκευές καταγραφής δεδομένων

Για την καταγραφή των δεδομένων κίνησης ενός οχήματος ή και άλλων χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα οι εκπομπές ρύπων που αναφέραμε προηγουμένως, απαιτούνται ειδικές και αποτελεσματικές διατάξεις δειγματοληψίας δεδομένων. Εν προκειμένω, η απαίτηση για την καταγραφή της ταχύτητας κίνησης του οχήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους:

- Χρήση πέμπτου τροχού
- Συσκευή μικροκυμάτων ή laser
- Δεδομένα από την ECU του οχήματος
- Δεδομένα από την μονάδα ABS του οχήματος
- Σύστημα μέτρησης περιστροφών τροχού
- Χρήση ραντάρ
- Χρήση GPS

Από τα παραπάνω συστήματα, ορισμένα δεν είναι πάντα αξιόπιστα, λχ. σε περιπτώσεις ολισθηρού οδοστρώματος όπως τα συστήματα με τροχούς, άλλα απαιτούν χρονοβόρες διαδικασίες ή ακόμα και πολύ ακριβές μετρητικές διατάξεις, όπως τα συστήματα radar και laser, ενώ ακόμα και το GPS μπορεί να είναι αναξιόπιστο σε ορισμένες περιπτώσεις.

Έτσι, στα πλαίσια της παρούσης εργασίας επιλέχθηκε η χρήση των δεδομένων από την μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU) του οχήματος. Το όχημα παρακολουθεί διαρκώς την ταχύτητα κίνησής του, καθώς αυτό επηρεάζει σημαντικά λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα και υποσυστημάτων του οχήματος, όπως λχ. τα συστήματα τετρακίνησης ή τα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων.

Το όχημα παρακολουθεί την ταχύτητα κίνησής του μέσω υπολογισμών με βάση αισθητήρες τύπου Hall effect οι οποίοι βρίσκονται στον άξονα κίνησης του οχήματος. Οι μετρήσεις αυτές είναι ιδιαίτερα ακριβείς, εντούτοις σε περιπτώσεις αλλαγής διαμέτρου ελαστικών δίνουν λανθασμένες ενδείξεις. Τα συστήματα αυτά δεν επηρεάζονται από την ολισθηρότητα του οδοστρώματος, καθώς λαμβάνουν δεδομένα από όλους τους τροχούς του οχήματος.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία καταγραφής χρησιμοποιείται επίσης ευρύτατα στην διεθνή βιβλιογραφία καθώς πρόκειται για μια μέθοδο αξιόπιστη, οικονομική και αποτελεσματική. Για την πρόσβαση στα δεδομένα της μονάδας ελέγχου απαιτείται η χρήση μιας ειδικής συσκευής η οποία θα μπορέσει να διαβάσει τα δεδομένα αυτά. Οι συσκευές αυτές ονομάζονται OBDII diagnostic tools.

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.



Εικόνα 22: Η θύρα OBDII (DLC) στην καμπίνα οχήματος

Η συσκευή για την επικοινωνία με την μονάδα ECU που χρησιμοποιήσαμε μέσω της θύρας OBDII του οχήματος είναι η Konnwei KW903 και υποστηρίζει όλα τα σύγχρονα OBDII πρωτόκολλα καθώς και επικοινωνία μέσω Bluetooth με το μέσο καταγραφής. Για την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή έξυπνου τηλεφώνου και συγκεκριμένα το μοντέλο Alcatel 5033X.

KONNWEI®

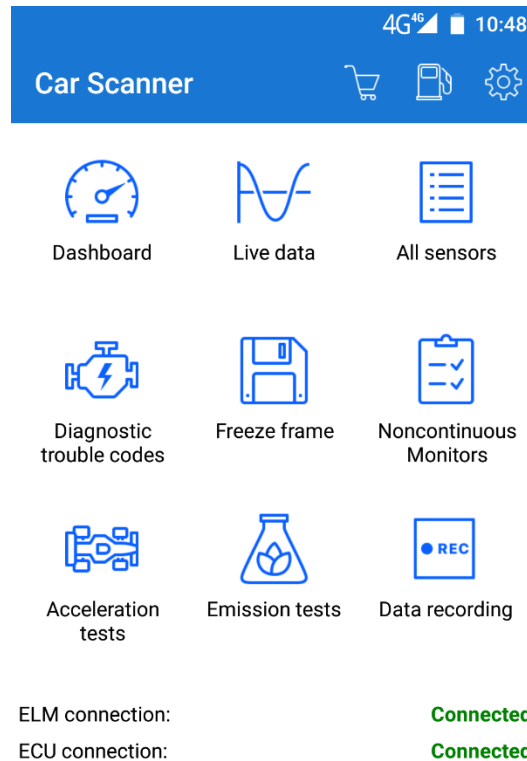


Εικόνα 23: Η συσκευή επικοινωνίας με την ECU του οχήματος

4.2 Εφαρμογή καταγραφής δεδομένων

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.

Η εφαρμογή η οποία επιλέχθηκε είναι η «Car Scanner» και είναι διαθέσιμη μέσω του Google Play Store για όλες τις συσκευές με λειτουργικό σύστημα android δωρεάν. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε είναι η 1.64.0. Παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων και επιλογών για την καταγραφή των αποτελεσμάτων, την αποτύπωση αυτών σε διαγράμματα αλλά και την ανάγνωση κωδικών σφάλματος του οχήματος (DTC).



Εικόνα 24: Στιγμιότυπο της εφαρμογής

Για την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής, το πρώτο πράγμα που απαιτείται να εισάγει ο χρήστης είναι το ακριβές μοντέλο του οχήματός του. Θα αναφερθούμε εκτενέστερα στο όχημα καταγραφής μας στην επόμενη παράγραφο. Στη συνέχεια, η εφαρμογή προσπαθεί να συνδεθεί με τη συσκευή επικοινωνίας μας μέσω του πρωτοκόλλου Bluetooth. Αφού πραγματοποιηθεί και αυτό το βήμα, έχουμε την κεντρική οθόνη που αποτυπώνεται στην εικόνα 24 και όπου μπορούμε να εκτελέσουμε διάφορες λειτουργίες.

Για τις απαιτήσεις της παρούσης εργασίας, έγινε καταγραφή δεδομένων με βάση τους παρακάτω αισθητήρες του οχήματος:

- Μέση κατανάλωση καυσίμου (l/100km)
- Μέση κατανάλωση ταξιδιού (l/100km)
- Μέση ταχύτητα ταξιδιού (km/h)
- Διανυθίσα απόσταση ταξιδιού (km)
- Οδόμετρο (km)
- Στροφές κινητήρα (RPM)
- Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής (°C)

- Θέση πεντάλ γκαζιού (%)
- Επιτάχυνση οχήματος (m/s^2)
- Ταχύτητα οχήματος (km/h)

Με βάση τα δεδομένα από τα παραπάνω, στη συνέχεια θα εξάγουμε επιπλέον δεδομένα με κατάλληλη ανάλυση, όπως ο χρόνος ταξιδιού, οι στάσεις, η μέση ταχύτητα κτλ.

4.3 Όχημα καταγραφής

Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων κίνησης είναι ένα τυπικό όχημα πόλεως. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ένα Hyundai Getz του 2004. Το συγκεκριμένο όχημα διαθέτει κινητήρα 1341 cc απόδοσης 82 bhp και κρίνεται ως ένα ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικό όχημα για τη διαδρομή που ακολουθήθηκε.



Εικόνα 25: Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή

Η επιλογή του οχήματος είναι σημαντικό να είναι αντιπροσωπευτική, καθώς μπορεί να επηρεάσει την οδηγική συμπεριφορά και έτσι τα αποτελέσματα της μελέτης.

4.4 Διαδικασία καταγραφής

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

4.4.1 Στάδιο προετοιμασίας

Αφορά τα βήματα που ακολουθούνται πριν από την δειγματοληψία.

1. Είσοδος στο όχημα και σύνδεση της συσκευής OBDII στην κατάλληλη θύρα του οχήματος, η οποία βρίσκεται στην καμπίνα και πλησίον του τιμονιού.
2. Ενεργοποίηση του ηλεκτρικού συστήματος του οχήματος γυρίζοντας το διακόπτη της μηχανής στη θέση 1. Η ενδεικτική λυχνία της συσκευής ανάβει.
3. Ενεργοποίηση της εφαρμογής στο κινητό τηλέφωνο και σύνδεση με τη συσκευή και την μονάδα ECU. Δοκιμαστικός έλεγχος της λειτουργίας της μέσω της καρτέλας που δείχνει σε πραγματικό χρόνο τις ενδείξεις των αισθητήρων.
4. Προετοιμασία της εφαρμογής για καταγραφή. Επιλογή αισθητήρων που θα καταγραφούν.

4.4.2 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.

4.4.3 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 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.

Για την δειγματοληψία που εκτελέστηκε, επιλέχθηκε κατά βάση να γίνει καταγραφή της κίνησης συγκεκριμένου οχήματος το οποίο εκτελούσε δρομολόγιο από και προς την εργασία του χρήστη. Έτσι, αν και δεν υπάρχει προκαθορισμένο ωράριο δειγματοληψίας, το σύνολο των μετρήσεων εμπίπτει κυρίως στο ωράριο εργασίας των επιχειρήσεων, ήτοι από τις 9 το πρωί έως τις 7 το απόγευμα.

Συνεπώς, στα πλαίσια της παρούσης δεν μελετήθηκαν, τόσο η κίνηση κατά τις βραδινές ώρες, όσο και η κίνηση κατά τις μη εργάσιμες ημέρες.

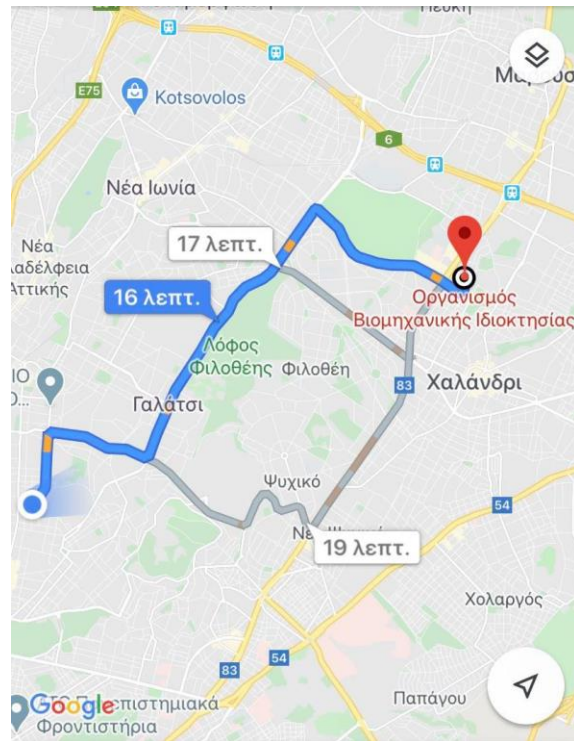
4.6 Διάστημα καταγραφής

Το διάστημα καταγραφής είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις της κίνησης εντός πόλεως. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, όταν υπάρχουν πολλαπλές στάσεις και εκκινήσεις, ένα μεγάλο διάστημα καταγραφής θα «χάσει» ένα μεγάλο ποσοστό της πληροφορίας αυτής. Αυτό θα επηρέαζε σημαντικά τα αποτελέσματα μας, ιδιαίτερα με βάση τη μέθοδο που επιλέχθηκε.

Έτσι, αφού δεν υπάρχει ιδιαίτερος τεχνολογικός περιορισμός, επιλέχθηκαν μικρά διαστήματα καταγραφής, μικρότερα του ενός δευτερολέπτου. Σε περιπτώσεις καταγραφής κίνησης οχημάτων σε εθνικές οδούς, τα διαστήματα καταγραφής μπορούν να είναι και μεγαλύτερα δίχως αρνητικές επιπτώσεις.

4.7 Διαδρομές

Όπως προαναφέρθηκε, η διαδρομή που επιλέχθηκε αφορά την μετακίνηση από και προς τον τόπο εργασίας εντός της Αθήνας και συγκεκριμένα από την περιοχή του Γαλατσίου προς την περιοχή του Χαλανδρίου. Η διαδρομή αυτή απεικονίζεται στο χάρτη της εικόνας 25.



Εικόνα 26: Η διαδρομή που ακολουθήθηκε

Πρόκειται για μια διαδρομή μήκους 8.5 km η οποία εμπεριέχει τόσο σημεία με έντονη κίνηση όσο και σχετικά ανοικτούς δρόμους κατά μήκος της. Ο μέσος χρόνος της διαδρομής αυτής είναι περίπου 17 λεπτά υπό κανονικές συνθήκες.

4.8 Μέθοδοι εκπόνησης κύκλων

4.8.1 Μέθοδος *microtrips*

Η μέθοδος *microtrips* [32] είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος στην διεθνή βιβλιογραφία. Αφορά κατ' ουσία την διάσπαση του συνόλου της καταγραφής σε μικρό-διαδρομές. Οι μικροδιαδρομές αυτές εμπεριέχουν ένα διάστημα κίνησης ακολουθούμενο από ένα διάστημα στάσης.

Τα διάφορα *microtrips* που συλλέγονται, αναλύονται και αποθηκεύονται με σκοπό να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα για την ανάπτυξη μεγάλων κύκλων οδήγησης, που αποτελούν συρραφή πολλών *microtrips*, με στόχο οι κύκλοι αυτοί να αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα του συνόλου των *microtrips* από τα οποία κατασκευάζονται.

Σήμερα, οι περισσότεροι κύκλοι που έχουν αναπτυχθεί, βασίζονται στην παραπάνω μέθοδο καθώς αποδίδει ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα τα οποία επικυρώνονται εύκολα από στατιστική ανάλυση.

4.8.2 Μέθοδος *Markov Chain*

Μια εναλλακτική προσέγγιση [33] είναι αυτή του Markov, γνωστή διεθνώς και ως αλυσίδα του Markov (Markov Chain).

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή ότι η μελλοντική κατάσταση δεν εξαρτάται από τις προηγούμενες καταστάσεις παρά μόνο από την παρούσα. Έτσι, κάθε μέτρηση χαρακτηρίζεται ως ένα σημείο με ταχύτητα u και επιτάχυνση a . Η επόμενη μέτρηση λοιπόν εξαρτάται μόνο από αυτά τα στοιχεία, σαν ένας κρίκος μιας αλυσίδας. Με βάση ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων, που βασίζεται στην αρχή των πιθανοτήτων, καταρτίζονται κατάλληλοι πίνακες (Transition Probability Matrix – TPM) και οι οποίοι καθορίζουν τις ιδιότητες κάθε φορά του επόμενου στοιχείου της αλυσίδας.

Η μέθοδος αυτή έχει μερικά πλεονεκτήματα, όπως ο μικρότερος χρόνος επεξεργασίας καθώς και η επίτευξη πιο αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων, αφού δε βασίζεται στην τυχαία «συρραφή» μικροδιαδρομών με στόχο την εύρεση μιας καλής προσέγγισης αλλά σε στοχαστική διεργασία που δίνει εξ' ορισμού αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα κάθε φορά.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

5

Επεξεργασία των μετρήσεων και εξαγωγή αποτελεσμάτων

5.1 Αποθήκευση δεδομένων από την εφαρμογή

Η εφαρμογή “Car Scanner” που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων αποθηκεύει τις μετρήσεις στο σύστημα αρχείων του κινητού υπό τη μορφή αρχείων κατάληξης CBZ. Πρόκειται κατ’ ουσία για μια μορφή συμπιεσμένου αρχείου, το περιεχόμενο του οποίου όμως αποτελείται από αρχεία της μορφής BRC, τα οποία είναι μια μορφή την οποία αξιοποιεί αποκλειστικά η εφαρμογή. Για το λόγο αυτό πρέπει να εξαχθούν τα αρχεία σε μορφή CSV από την ίδια την εφαρμογή, από την καρτέλα του ιστορικού καταγραφής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε δύο μορφές. Η μία είναι σε μορφή JSON και η άλλη σε απλή μορφή αρχείου CSV. Για λόγους ευχέρειας χρησιμοποιήθηκε η δεύτερη επιλογή (στην εφαρμογή δίδεται ως “CSV #2”), εντούτοις η ύπαρξη δυνατότητας εξαγωγής σε μορφή JSON είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και πλεονέκτημα έναντι άλλων εφαρμογών.

```

1 Device time,"Average fuel consumption (L/100km)","Average fuel consumption (total) (L/100km)","Average fuel consumption km/L (km/L)","Average speed (km/h)","Calculated boost
2 21-02-2020 17:38:35.645,,,,,0,,,,,33,,,,,
3 21-02-2020 17:38:36.294,,,,,1,,,,,0,,,,,
4 21-02-2020 17:38:36.582,,,,,1.62557399939108,,,,,1184,,,,,4.67745371874787,,,,,
5 21-02-2020 17:38:36.893,,,,,0,,,,,0,,,,,
6 21-02-2020 17:38:37.210,,,,,0,,,,,33,,,,,
7 21-02-2020 17:38:37.767,,,,,1,,,,,0,,,,,
8 21-02-2020 17:38:38.025,,,,,0,,,,,1.62969285243007,,,,,1187,,,,,0.000637619818321791,8.66603995354409,0.00109989418660509,14.95,4.68930537512984,,,,,
9 21-02-2020 17:38:38.347,,,,,0,,,,,18,,,,,
0 21-02-2020 17:38:38.619,,,,,0,,,,,0,116.875893276361,,,,,0,,,,,
1 21-02-2020 17:38:38.924,,,,,0,,,,,32,,,,,
2 21-02-2020 17:38:39.455,,,,,1,,,,,0,,,,,
3 21-02-2020 17:38:39.745,,,,,7.41534156040465,0,,,,,1.47886044513944,,,,,1184,,,,,0.0013443544904232,8.66674668821619,0.0023190114959785,14.95,4.25529769251832,,,,,
4 21-02-2020 17:38:40.036,,,,,0,,,,,0,116.875893276361,,,,,0,,,,,
5 21-02-2020 17:38:40.327,,,,,0,,,,,32,,,,,
6 21-02-2020 17:38:40.835,,,,,1,,,,,0,,,,,
7 21-02-2020 17:38:41.101,,,,,7.41581539038324,0,,,,,1.47011718237257,,,,,1177,,,,,0.0018981475105123,8.66730048123628,0.00327430445563372,14.95,4.23013968251188,,,,,
8 21-02-2020 17:38:41.373,,,,,0,,,,,0,116.875893276361,,,,,0,,,,,
9 21-02-2020 17:38:41.631,,,,,0,,,,,33,,,,,
0 21-02-2020 17:38:43.185,,,,,1,,,,,0,,,,,

```

Εικόνα 27: Ενδεικτική μορφή αρχείου CSV

Για την αποτελεσματική αξιοποίηση των δεδομένων, τα αρχεία CSV μετατράπηκαν σε μορφή αναγνωρίσιμη από το πρόγραμμα Microsoft Excel με τη χρήση ενός μικρού προγράμματος το οποίο αναπτύξαμε στα πλαίσια της εφαρμογής αυτής. Το αρχικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 28 που ακολουθεί.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1		Device time	Average fi	Average fi	Average fi	Average s	Calculate	Calculate	Calculate	Calculate	Distance t	Distance t	Engine RP	Fuel econ	Fuel used	Fuel used	Fuel used	Fuel used	Instant en	Intake air	Intake ma	Throttle p	Vehicle ac	Vehicle speed (km/h)		
2	2020-02-21 15:38:35,645	1582299515645					0															33				
3	2020-02-21 15:38:36,294	1582299516294													1								0			
4	2020-02-21 15:38:36,582	1582299516582					1,625574				1184											4,677454				
5	2020-02-21 15:38:36,893	1582299516893							0																	0
6	2020-02-21 15:38:37,210	1582299517210							0													33				
7	2020-02-21 15:38:37,767	1582299517767													1											0
8	2020-02-21 15:38:38,025	1582299518025					0			1,629693		1187			0,000638	8,66604	0,0011	14,95	4,689305							
9	2020-02-21 15:38:38,347	1582299518347																								
10	2020-02-21 15:38:38,619	1582299518619									0	0	116,8759													0

Εικόνα 28: Τα δεδομένα στο excel

Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά απαιτείται να τα επεξεργαστούμε στατιστικά για την εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων.

5.2 Στατιστική επεξεργασία μετρήσεων

Για το σκοπό του παρόντος κεφαλαίου αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό το οποίο επεξεργάζεται στατιστικά τις μετρήσεις σύμφωνα με τον τρόπο που θα αναλυθεί στις επιμέρους παραγράφους που ακολουθούν.

5.2.1 Εισαγωγή δεδομένων

Το αρχικό στάδιο λειτουργίας του προγράμματος είναι η εισαγωγή των βασικών δεδομένων τα οποία θα επεξεργαστούμε. Η εισαγωγή των δεδομένων αυτών γίνεται με τη μορφή του αρχείου CSV που παρουσιάστηκε παραπάνω. Τα δεδομένα αυτά κατατάσσονται σε κατάλληλο πίνακα.

5.2.2 Διαχωρισμός διαδρομών

Λόγω της συγκεντρωτικής φύσης των δεδομένων τα οποία εξήχθησαν από το πρόγραμμα, πρέπει να γίνει διαχωρισμός των επιμέρους διαδρομών και κατάλληλη ταξινόμηση αυτών.

Αρχικά, πρέπει να διαχωρίσουμε τις επιμέρους διαδρομές. Αυτό γίνεται με σειριακό έλεγχο των εγγραφών και έλεγχο της χρονοσειράς αυτών. Εφόσον υπάρχει διαφορά άνω των 30 δευτερολέπτων μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων, τότε έχουμε δύο διακριτές διαδρομές. Στη συνέχεια, αναγνωρίζεται η ημέρα και η ώρα της διαδρομής και αυτή κατατάσσεται κατάλληλα σε πίνακα.

	A	B	C	D	E
1	Trip	2020-02-21 15:38:35,645		Trip	2020-02-21 17:44:50,342
2	ΔΤ	Ταχύτητα		ΔΤ	Ταχύτητα
3	0	0		0	0
4	1726	0		1413	0
5	3143	0		2846	0
6	4480	0		4275	0
7	5826	0		5639	0
8	7169	0		7040	0
9	8501	0		8395	0
10	9792	0		9746	0
11	11100	0		11104	0
12	12476	0		12418	0
13	13870	0		13740	0
14	33615	1		15058	0
15	34987	2		16381	0
16	36284	3		17734	0
17	37672	7		19066	0
18	38980	10		20405	0
19	40336	8		21807	0
20	41713	7		23141	2
21	43029	10		24478	5
22	44417	10		25868	11

Εικόνα 29: Ενδεικτική αποτύπωση διαδρομών

5.2.3 Υπολογισμός μέσων μεγεθών

Μετά την κατάταξη των εγγραφών, πρέπει να εξάγουμε συγκεκριμένα στατιστικά στοιχεία τα οποία θα μας βοηθήσουν στην μετέπειτα ανάλυσή μας. Τα μεγέθη τα οποία θα εξετάσουμε είναι τα ακόλουθα:

- Μέση ωριαία ταχύτητα (km/h)
- Μέση ωριαία ταχύτητα χωρίς στάσεις (km/h)
- Μέσος αριθμός στάσεων (#)
- Μέσος χρόνος οδήγησης (sec)
- Μέσος χρόνος σε στάση (sec)
- Μέσος χρόνος σε κίνηση (sec)
- Μέση επιτάχυνση (m/s^2)
- Μέση επιβράδυνση (m/s^2)
- Ποσοστό χρόνου σε στάση (%)
- Ποσοστό χρόνου σε κίνηση (%)

Όλα τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν τόσο ανά ώρα της ημέρας όσο και ανά ημέρα, με βάση τον διαχωρισμό που επιλέξαμε δηλαδή για τα δεδομένα μας.

5.2.4 Διαχωρισμός *microtrips*

Όπως αναφέραμε, ένα βασικό συστατικό για την ανάπτυξη των κύκλων οδήγησής μας είναι αυτό των *microtrips*. Αν αναπαραστήσουμε τα δεδομένα μας σε ένα γράφημα ταχύτητας χρόνου, παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαστήματα κίνησης και ακινησία του οχήματός μας. Έτσι, κάθε τέτοιο ζευγάρι κίνησης και στάσης μπορούμε να το αντιμετωπίσουμε σαν ένα μικρό, ανεξάρτητο ταξίδι το οποίο αποκαλείται *microtrip*.

Έτσι λοιπόν, καθένα από τα επιμέρους ταξίδια – διαδρομές που καταγράψαμε, μπορούμε να το διαχωρίσουμε με βάση την παραπάνω λογική σε *microtrips*, τα οποία αποθηκεύουμε κατάλληλα για μετέπειτα επεξεργασία.

5.2.5 Κατάταξη *microtrips* σε κλάσεις

Το επόμενο βήμα της μεθοδολογίας που ακολουθείται είναι αυτό της ανακατάταξης και σύνδεσης μεταξύ των επιμέρους *microtrips* για την δημιουργία κύκλων οδήγησης.

Η ανακατάταξη αυτή δεν είναι τυχαία αλλά βασίζεται στα στοιχεία που συλλέξαμε, ήτοι πρέπει να προσεγγίζει σε διάρκεια τη μέση διάρκεια της διαδρομής καθώς και να λαμβάνει υπόψη το πλήθος των *microtrips*.

Ο προσδιορισμός του πλήθους των κλάσεων δεν γίνεται αυθαίρετα αλλά με βάση το εύρος των τιμών διάρκειας αλλά και το πλήθος των *microtrips*, σύμφωνα με τον κανόνα του Sturges.

$$κ = 1 + 3.322 * \log_{10}(n)$$

Όπου:

- κ: ο αριθμός των κλάσεων και
- n: το πλήθος των *microtrips*

Η δε επιλογή του πλάτους των τάξεων υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$\delta = \frac{(M - m)}{κ}$$

Όπου:

- κ: ο αριθμός των κλάσεων
- M: η μέγιστη διάρκεια των *microtrip* και
- m: η ελάχιστη διάρκεια των *microtrip*

5.2.6 Αφαίρεση μη αντιπροσωπευτικών *microtrips*

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε στην παράγραφο 5.2.5, κάθε *microtrip* κατατάσσεται σε μία στατιστική κλάση. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι προκειμένου να πραγματοποιήσουμε μια αφαίρεση κλάσεων οι οποίες δεν είναι αντιπροσωπευτικές του δείγματος που έχουμε.

Οι λόγοι που μία κλάση μπορεί να εμφανίζει πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης είναι ποικίλοι. Ο κυριότερος όμως λόγος είναι το γεγονός ότι αυτές παρουσιάζουν μια οδηγική συμπεριφορά και όχι μια οδηγική τάση. Σκοπός ενός κύκλου οδήγησης είναι να αναπαριστά με όσο το δυνατό μεγαλύτερη πιστότητα τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

Έτσι, κλάσεις οι οποίες έχουν πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης θα αφαιρεθούν από το δείγμα μας. Για τους σκοπούς της παρούσας, επιλέχθηκε η τιμή του 5%, ήτοι κλάσεις με συμμετοχή λιγότερο από 5% στο συνολικό δείγμα θα αφαιρεθούν. Με τον τρόπο αυτό οδηγούμαστε σε πιο αντιπροσωπευτικούς κύκλους οδήγησης.

5.2.7 Κατασκευή κύκλων οδήγησης

Ο αρχικός στόχος μας ήταν η κατασκευή ενός αντιπροσωπευτικού κύκλου οδήγησης και όλα τα προηγούμενα βήματα λειτουργούν επικουρικά προς την επίτευξη του σκοπού αυτού. Έτσι, αφού έχουν πραγματοποιηθεί όλα τα προηγούμενα στάδια, το τελικό αυτό βήμα δεν είναι ιδιαίτερα περίπλοκο.

Σύμφωνα με τον διαχωρισμό που κάναμε, θα παρουσιάσουμε κύκλους οδήγησης με βάση την ώρα της ημέρας αλλά και με την ίδια την ημέρα. Με βάση την προηγούμενη στατιστική ανάλυση, προσδιορίζεται η μέση χρονική διάρκεια του κύκλου που πρέπει να παραχθεί. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα επιλέγει τυχαία microtrips από το σύνολο των microtrips που αφορούν την ημέρα και ώρα που επιθυμούμε, από το σύνολο των μετρήσεων, και το ενσωματώνει σειριακά έως ότου η χρονική διάρκεια του κύκλου είναι περίπου ίση με αυτή του μέσου κύκλου.

Για την επιλογή του πιο αντιπροσωπευτικού κύκλου, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται αρκετές φορές και υπολογίζονται διάφορα στατιστικά μεγέθη, τα οποία συγκρίνονται με τα στατιστικά μεγέθη του μέσου κύκλου που υπολογίσαμε σε προηγούμενο στάδιο. Ο κύκλος του οποίου τα στατιστικά μεγέθη αυτά προσιδιάζουν με τον αρχικό επιλέγεται τελικά.

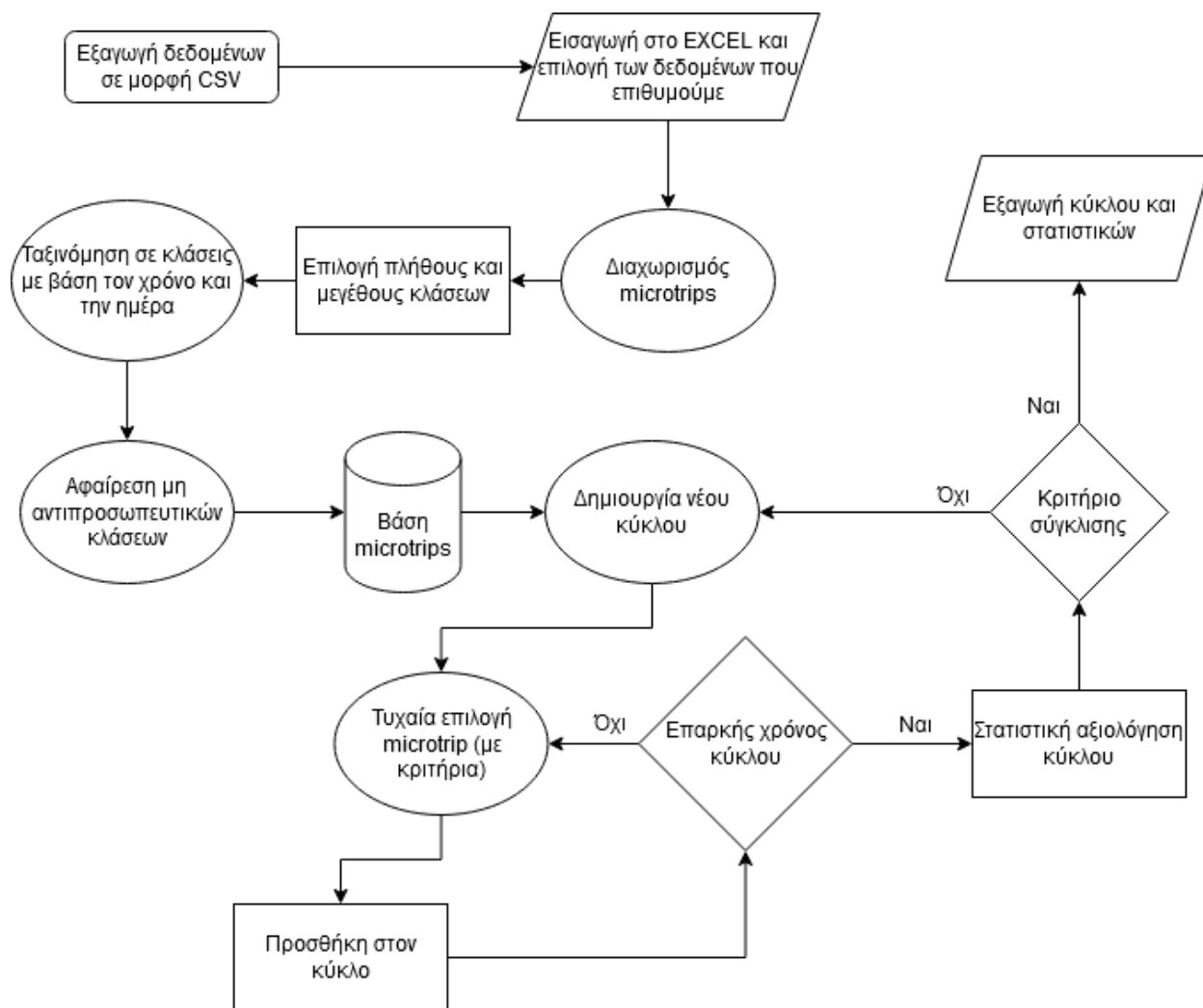
5.2.8 Στατιστική αξιολόγηση κύκλου οδήγησης

Όπως αναφέρθηκε, ο κύκλος οδήγησης που τελικά θα επιλεγεί πρέπει να είναι κατά το δυνατό όσο πιο αντιπροσωπευτικός γίνεται με το μέσο κύκλο που υπολογίσθηκε από τη στατιστική ανάλυση των μετρήσεων αρχικά. Έτσι, θα εξετάσουμε τις εξής παραμέτρους:

- Μέση ωριαία ταχύτητα (km/h)
- Μέση ωριαία ταχύτητα χωρίς στάσεις (km/h)
- Μέσος αριθμός στάσεων (#)
- Μέσος χρόνος οδήγησης (sec)
- Μέσος χρόνος σε στάση (sec)
- Μέσος χρόνος σε κίνηση (sec)
- Μέση επιτάχυνση (m/s^2)

- Μέση επιβράδυνση (m/s^2)

Οι τιμές αυτές συγκρίνονται με τις τιμές του αρχικού μέσου κύκλου. Η σύγκριση αυτή γίνεται με μεθόδους στατιστικής ανάλυσης, ήτοι υπολογίζεται το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών των τιμών αυτών από τη μέση τιμή και ο κύκλος με την ελάχιστη τέτοια διαφορά επιλέγεται ως πλέον αντιπροσωπευτικός μεταξύ των παραχθέντων κύκλων.



Εικόνα 30: Συνοπτική απεικόνιση αλγορίθμου επεξεργασίας μετρήσεων

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

6

Παρουσίαση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

6.1 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Τα δεδομένα του προγράμματος εξάγονται σε μορφή αρχείου κειμένου με κατάλληλη μορφοποίηση και στη συνέχεια εισάγονται στο πρόγραμμα Microsoft Excel, για την τελική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

6.2 Αποτελέσματα με βάση την ώρα καταγραφής

Το σύνολο των μετρήσεων οι οποίες ελήφθησαν εμπίπτουν στο χρονικό διάστημα μεταξύ 9 το πρωί και 7 το απόγευμα. Για το λόγο αυτό, οι μετρήσεις ομαδοποιούνται και παρουσιάζονται σε 3 ομάδες:

- Πρωινές ώρες (9:00 έως 12:00)
- Μεσημβρινές ώρες (12:00 έως 14:00)
- Απογευματινές ώρες (14:00 έως 19:00)

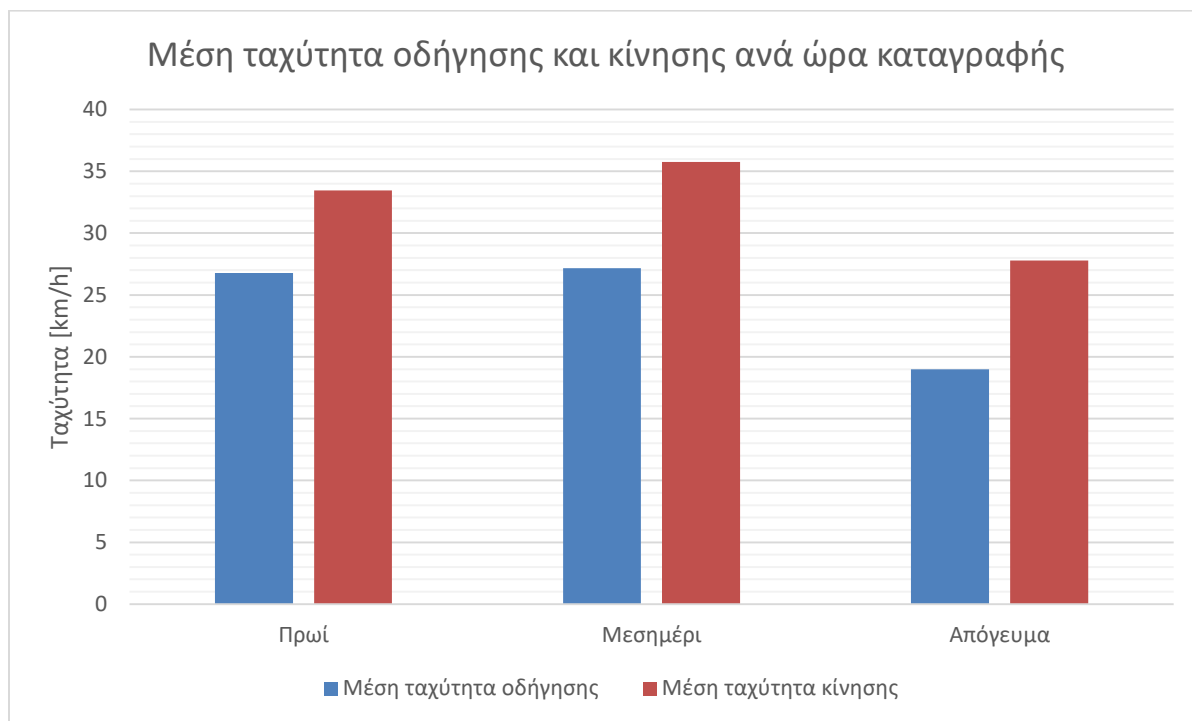
Η ομαδοποίηση αυτή έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν οι τρεις αυτές ομάδες και τα οποία διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς τα δεδομένα κίνησης.

6.2.1 Στατιστικά στοιχεία με βάση την ώρα καταγραφής

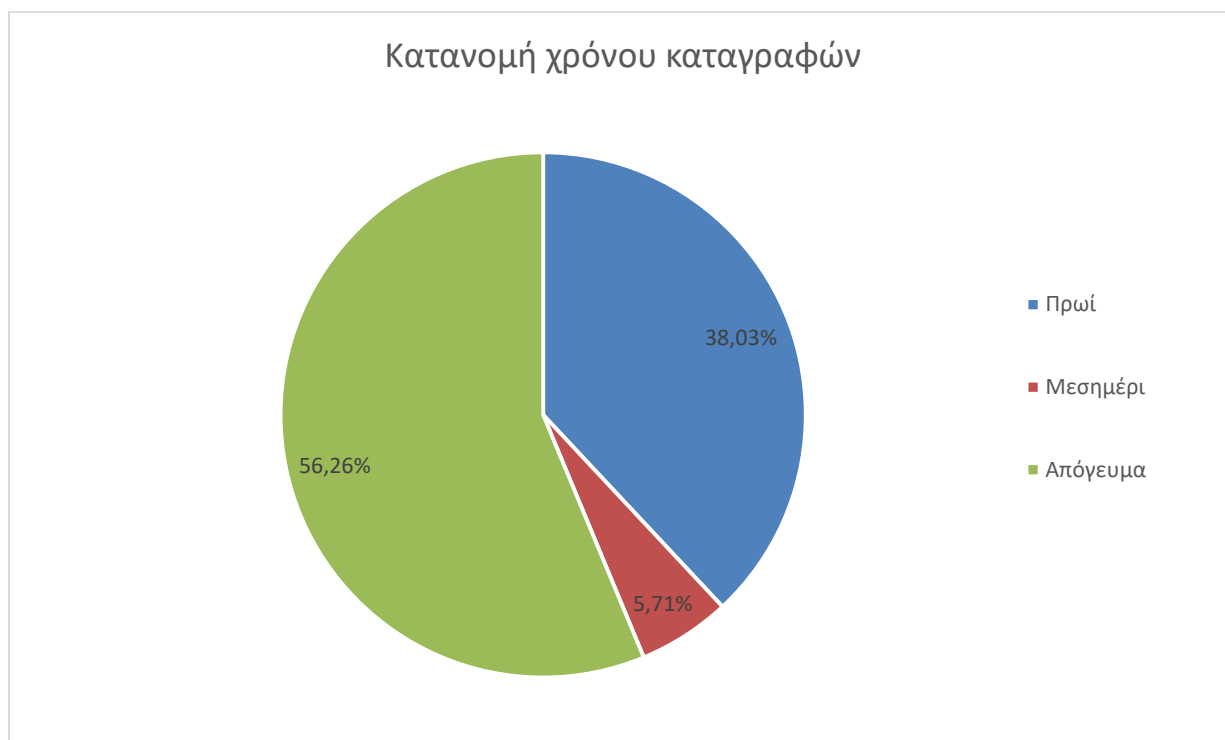
	Πρωί	Μεσημέρι	Απόγευμα
Συνολικός χρόνος καταγραφής [s]	19358	2906	28636
Κατανομή χρόνου καταγραφών [%]	38,03%	5,71%	56,26%
Μέση διάρκεια διαδρομής [s]	1018,84	726,50	1684,47
Συνολικός χρόνος σε στάση [s]	3891	732	9132
Μέσος χρόνος σε στάση [s]	17,37	19,26	20,34
Χρόνος σε κίνηση [s]	15467	2174	19504
Μέσος χρόνος σε κίνηση [s]	814,05	543,50	1147,29
Μέση ταχύτητα οδήγησης [km/h]	26,78	27,16	19,00
Μέση ταχύτητα κίνησης [km/h]	33,45	35,75	27,80
Ποσοστό χρόνου σε στάση [%]	20,10%	25,19%	31,89%
Ποσοστό χρόνου σε κίνηση [%]	79,90%	74,81%	68,11%
Συνολικός αριθμός στάσεων	224	38	449
Μέσος αριθμός στάσεων ανά διαδρομή	12	10	26
Μέση επιτάχυνση [m/s ²]	0,530	0,888	0,548
Μέση επιβράδυνση [m/s ²]	-0,559	-0,536	-0,542
Μέσος χρόνος επιτάχυνσης [s]	271,31	126,30	409,14
Μέσος χρόνος επιβράδυνσης [s]	284,43	149,69	450,32
Ποσοστό χρόνου σε επιτάχυνση [%]	48,82%	45,76%	47,60%
Ποσοστό χρόνου σε επιβράδυνση [%]	51,18%	54,24%	52,40%
Μέση διανυθείσα απόσταση [km]	9,47	7,21	13,01

Πίνακας 6: Στατιστικά στοιχεία διαδρομών με βάση την ώρα καταγραφής

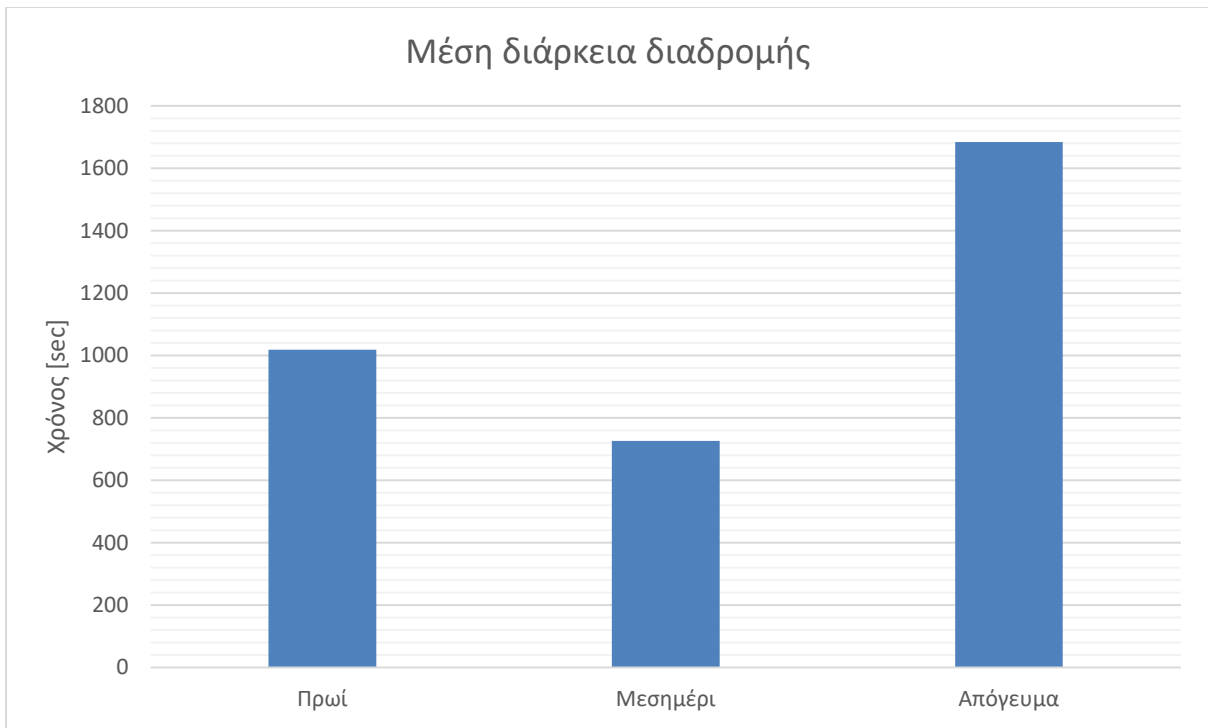
6.2.2 Διαγράμματα με βάση την ώρα καταγραφής



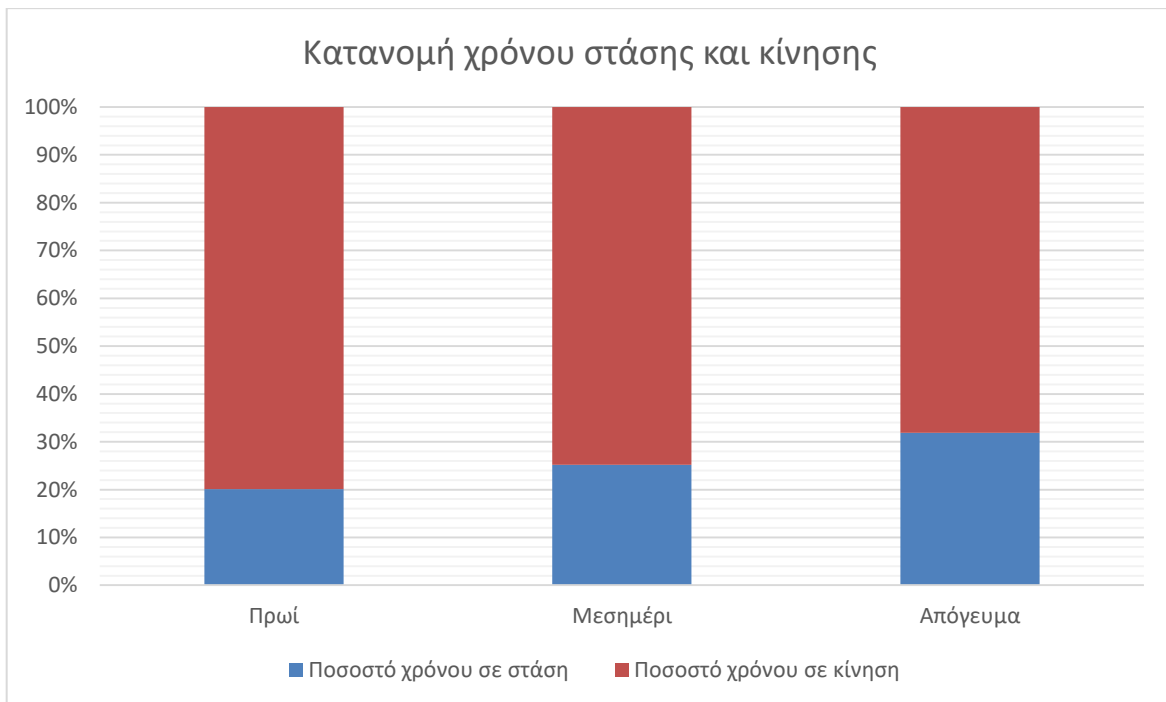
Εικόνα 31: Ταχύτητα κίνησης και οδήγησης ανά ώρα καταγραφής



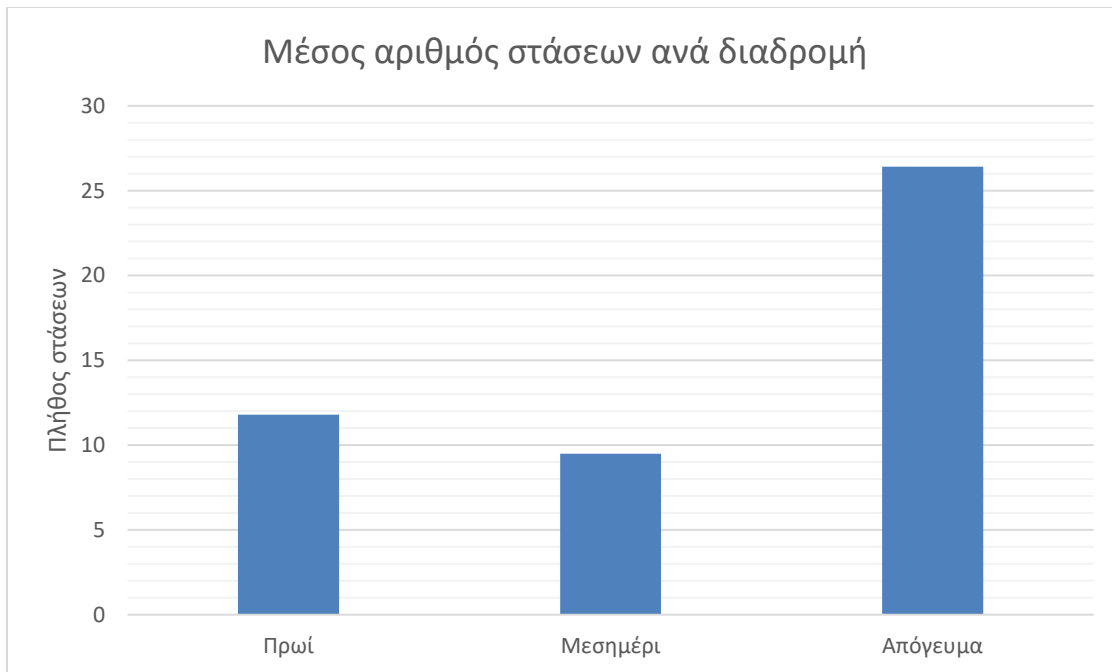
Εικόνα 32: Κατανομή χρόνου καταγραφών ανά ώρα καταγραφής



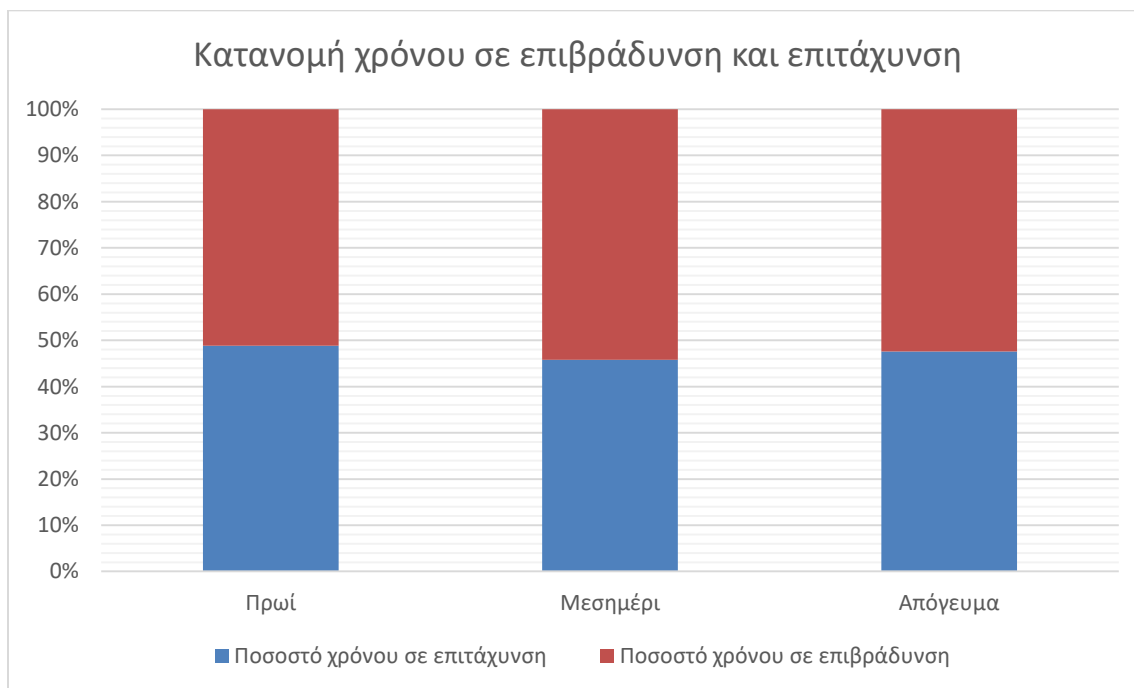
Εικόνα 33: Μέση διάρκεια διαδρομής ανά ώρα καταγραφής



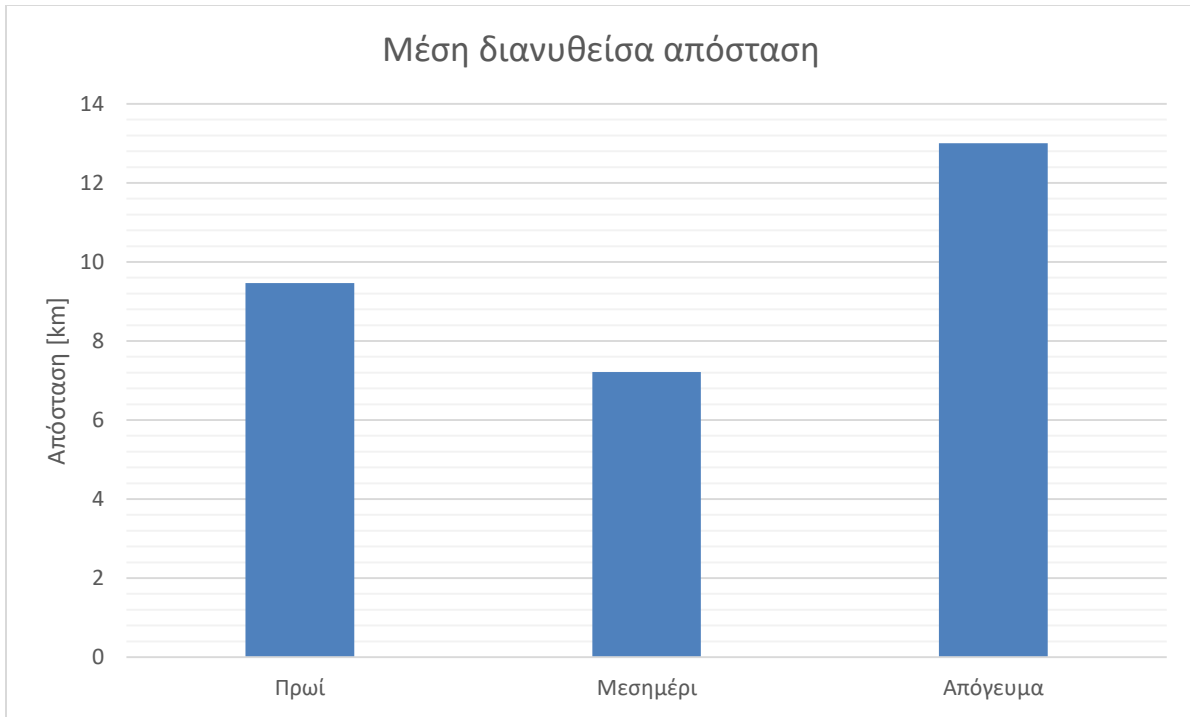
Εικόνα 34: Κατανομή χρόνου σε στάση και κίνηση ανά ώρα καταγραφής



Εικόνα 35: Μέσος αριθμός στάσεων ανά διαδρομή με βάση την ώρα καταγραφής



Εικόνα 36: Κατανομή χρόνου σε φάση επιβράδυνσης και επιτάχυνσης ανά ώρα καταγραφής



Εικόνα 37: Μέση διανυθείσα απόσταση ανά ώρα καταγραφής

6.2.3 Κύκλοι οδήγησης ανά ώρα καταγραφής



Εικόνα 38: Κύκλος οδήγησης για πρωινές ώρες



Εικόνα 39: Κύκλος οδήγησης για μεσημβρινές ώρες



Εικόνα 40: Κύκλος οδήγησης για απογευματινές ώρες

	Πρωινός κύκλος	Μεσημβρινός κύκλος	Απογευματινός κύκλος
Μέση διάρκεια [s]	1023,02	745,23	1750,34
Μέση ταχύτητα οδήγησης [km/h]	24,99	21,89	20,56
Μέση ταχύτητα κίνησης [km/h]	31,85	29,05	27,45
Ποσοστό χρόνου σε στάση [%]	19,72%	22,79%	23,43%
Ποσοστό χρόνου σε κίνηση [%]	80,28%	77,21%	76,57%
Μέσος αριθμός στάσεων	16	11	26
Μέση επιτάχυνση [m/s ²]	0,518	0,870	0,514
Μέση επιβράδυνση [m/s ²]	-0,541	-0,556	-0,544
Ποσοστό χρόνου σε επιτάχυνση [%]	47,91%	46,15%	47,12%
Ποσοστό χρόνου σε επιβράδυνση [%]	52,09%	53,85%	52,88%
Μέση διανυθείσα απόσταση [km]	7,10	4,53	10,00

Πίνακας 7: Στατιστικά στοιχεία κύκλων οδήγησης ανά ώρα καταγραφής

6.2.4 Συμπεράσματα ανά ώρα καταγραφής

Αρχικά, ως προς τα στατιστικά αποτελέσματα του πίνακα 7 παρατηρούμε ότι το σύνολο των καταγραφών έλαβε χώρα το πρωί και το απόγευμα, με τις μεσημβρινές ώρες να αποτελούν ένα συγκριτικά μικρότερο ποσοστό των μετρήσεων. Το γεγονός αυτό έχει να κάνει με τον τρόπο που επιλέχθηκε να γίνουν οι καταγραφές, ήτοι κατά βάση με το ωράριο μιας τυπικής επιχείρησης, με αποτέλεσμα το σύνολο των μετρήσεων να συσσωρεύονται κοντά στις 9 το πρωί και στις 5 το απόγευμα.

Όσον αφορά τη μέση διάρκεια διαδρομής, παρατηρούμε ότι αυτή είναι ελάχιστη το μεσημέρι, καθώς πρόκειται κυρίως για διαδρομές που έγιναν περί τη 1 οπότε η κίνηση στους δρόμους είναι αισθητά χαμηλότερη. Όσον αφορά τη σύγκριση μεταξύ πρωινού και απογεύματος, αυτή εμφανίζεται σαφώς αυξημένη το απόγευμα, όπου παρατηρείται και το μέγιστο του χρόνου σε στάση, το οποίο είναι 50% αυξημένο συγκριτικά με τις πρωινές ώρες. Η συμπεριφορά αυτή ήταν αναμενόμενη, καθώς η κίνηση στις κύριες οδικές αρτηρίες είναι σαφώς αυξημένη τις απογευματινές ώρες. Ομοίως, η συμπεριφορά του αριθμού στάσεων επιβεβαιώνει τα παραπάνω συμπεράσματα.

Όσον αφορά τις μέσες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, παρατηρούμε ότι οι πρωινές και απογευματινές μετρήσεις δε διαφέρουν πολύ. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει μια σαφής επιρροή της οδηγικής συμπεριφοράς αφενός, αφετέρου επηρεάζεται και από την μορφολογία της διαδρομής. Παρατηρούμε όμως μια σαφή αύξηση της μέσης επιτάχυνσης τις μεσημεριανές ώρες, που μπορεί να ερμηνευτεί ως αποτέλεσμα της πολύ μικρότερης κίνησης στους δρόμους.

Τα παραπάνω αποτυπώνονται ιδιαίτερα καλά και στους κύκλους οδήγησης που παρήχθησαν. Παρατηρούμε ότι ο απογευματινός κύκλος οδήγησης είναι αυτός με τη μεγαλύτερη διάρκεια και τις

περισσότερες και μικρότερες στάσεις συγκριτικά με τους άλλους δύο κύκλους. Ο δε μεσημεριανός κύκλος χαρακτηρίζεται από λιγότερες στάσεις, μεγάλες αυξήσεις της ταχύτητας και κίνηση σε υψηλότερη μέση ταχύτητα για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι και οι τρεις κύκλοι είναι ενδεικτικοί των στατιστικών παρατηρήσεων που κάναμε για το σύνολο των μετρήσεών μας και η ανάλυση που έγινε ήταν ιδιαίτερα επιτυχής.

6.3 Αποτελέσματα με βάση την ημέρα καταγραφής

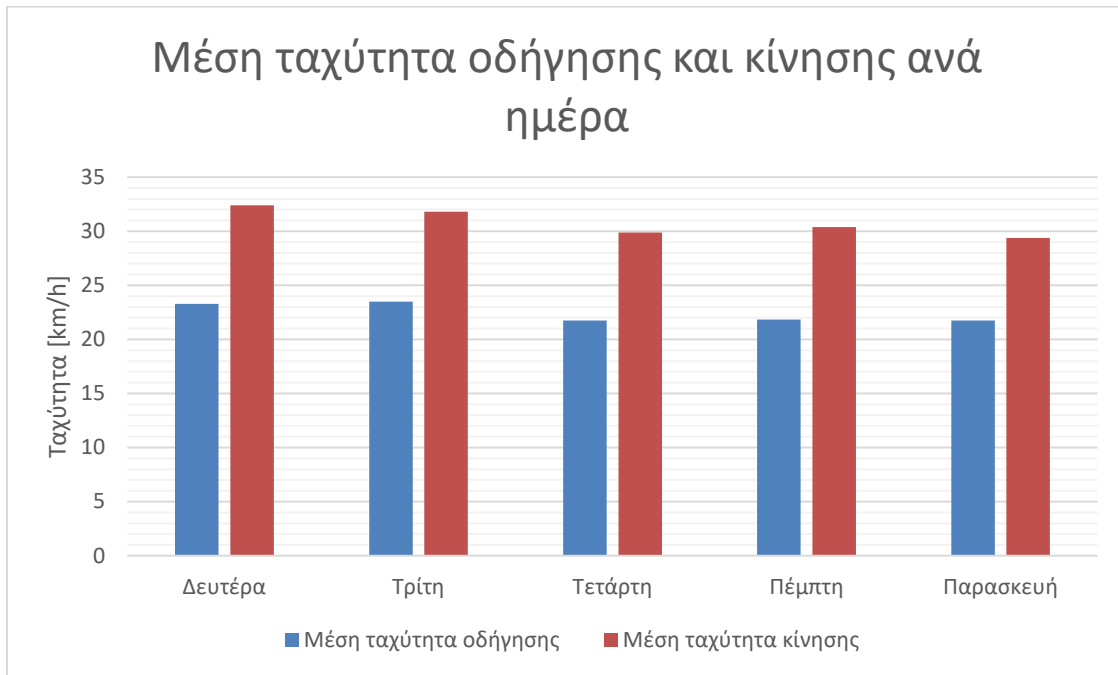
Για την ανάλυση με βάση την ημέρα καταγραφής θα αναφερθούμε στα στοιχεία από την Δευτέρα έως και την Παρασκευή. Για το Σάββατο υπάρχει μόνο μία καταγραφή, ως εκ τούτου δε θεωρείται ότι μπορεί να υπάρξει αντικειμενική ανάλυση, ενώ δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την Κυριακή.

6.3.1 Στατιστικά στοιχεία με βάση την ημέρα καταγραφής

	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή
Συνολικός χρόνος καταγραφής [s]	6800	10016	10475	10849	10599
Κατανομή χρόνου καταγραφών %	13,36%	19,68%	20,58%	21,32%	20,82%
Μέση διάρκεια διαδρομής [s]	1133,33	1252,00	1309,38	1205,44	1324,88
Συνολικός χρόνος σε στάση [s]	1919	2709	2896	3031	2779
Μέσος χρόνος σε στάση [s]	20,20	18,94	19,18	19,55	17,93
Χρόνος σε κίνηση [s]	4881	7307	7579	7818	7820
Μέσος χρόνος σε κίνηση [s]	813,50	913,38	947,38	868,67	977,50
Μέση ταχύτητα οδήγησης [km/h]	23,28	23,5	21,74	21,84	21,74
Μέση ταχύτητα κίνησης [km/h]	32,39	31,81	29,87	30,37	29,39
Ποσοστό χρόνου σε στάση [%]	28,22%	27,05%	27,65%	27,94%	26,22%
Ποσοστό χρόνου σε κίνηση [%]	71,78%	72,95%	72,35%	72,06%	73,78%
Συνολικός αριθμός στάσεων	95	143	151	155	155
Μέσος αριθμός στάσεων ανά διαδρομή	16	18	19	17	19
Μέση επιτάχυνση [m/s ²]	0,573	0,544	0,540	0,545	0,614
Μέση επιβράδυνση [m/s ²]	-0,595	-0,574	-0,531	-0,556	-0,519
Μέσος χρόνος επιτάχυνσης [s]	288,82	324,79	317,09	303,12	302,48
Μέσος χρόνος επιβράδυνσης [s]	299,60	344,93	355,40	325,61	348,78
Ποσοστό χρόνου σε επιτάχυνση %	49,08%	48,50%	47,15%	48,21%	46,45%
Ποσοστό χρόνου σε επιβράδυνση	50,92%	51,50%	52,85%	51,79%	53,55%
Μέση διανυθείσα απόσταση [km]	10,20	11,06	10,86	10,17	10,82
Πλήθος microtrips	93	142	150	154	154

Πίνακας 8: Στατιστικά στοιχεία ανά ημέρα καταγραφής

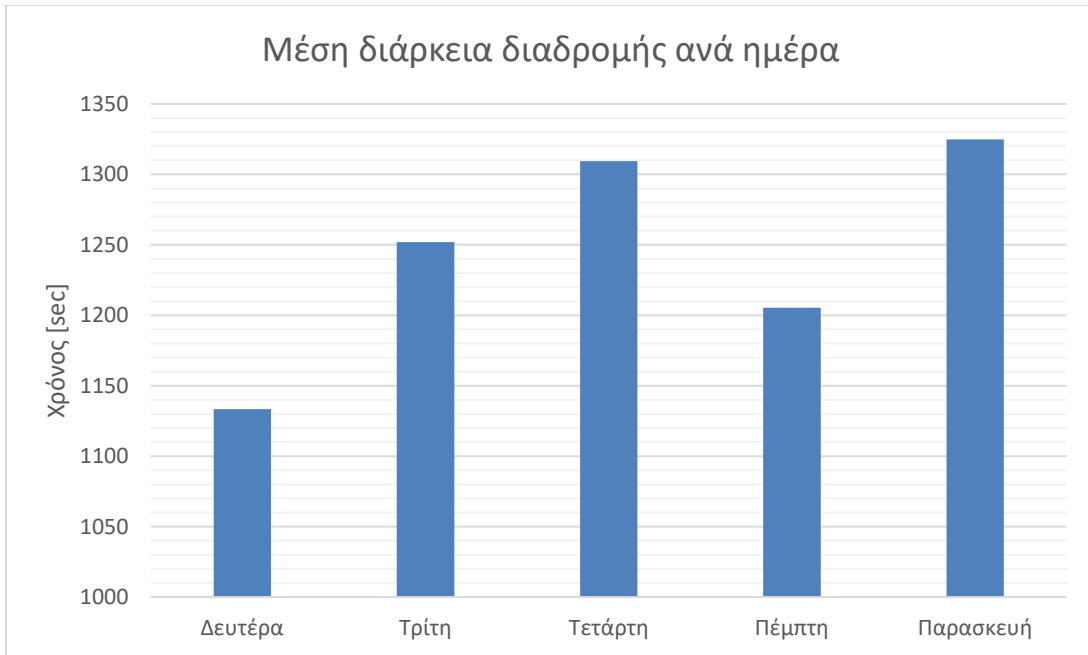
6.3.2 Διαγράμματα ανά ημέρα καταγραφής



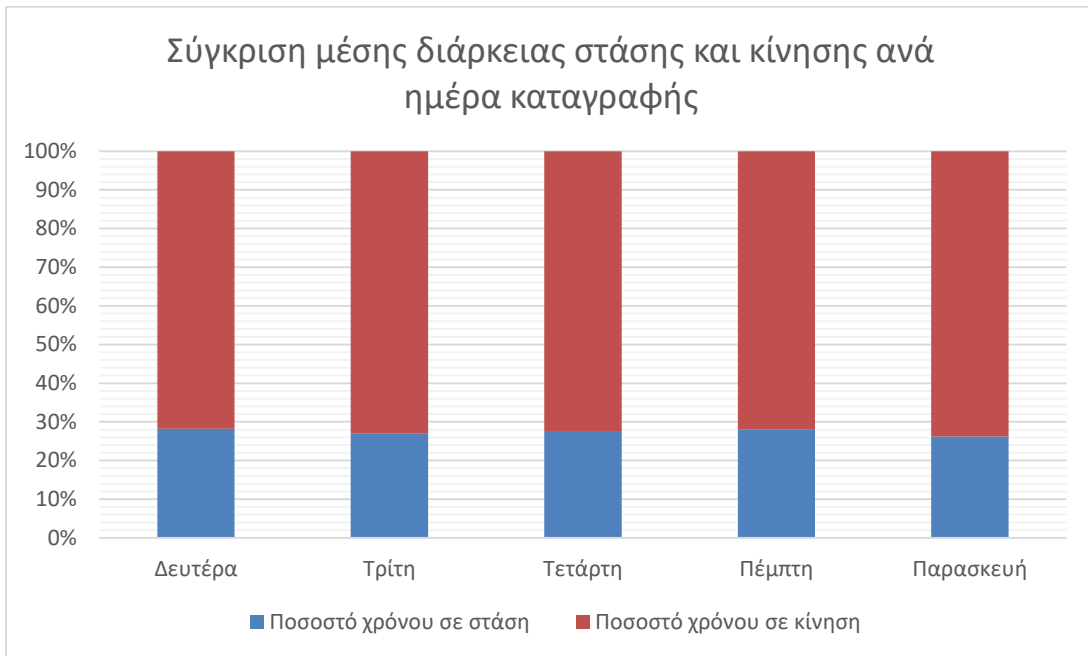
Εικόνα 41: Μέση ταχύτητα οδήγησης και κίνησης ανά ημέρα καταγραφής



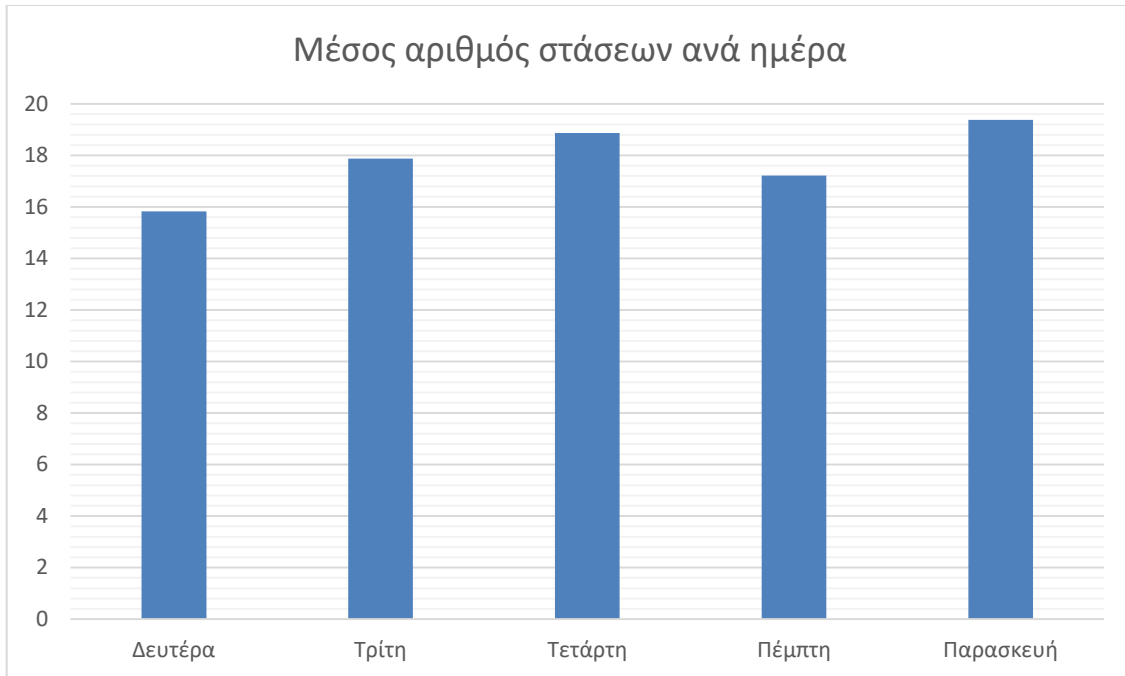
Εικόνα 42: Κατανομή χρόνου καταγραφών ανά ημέρα



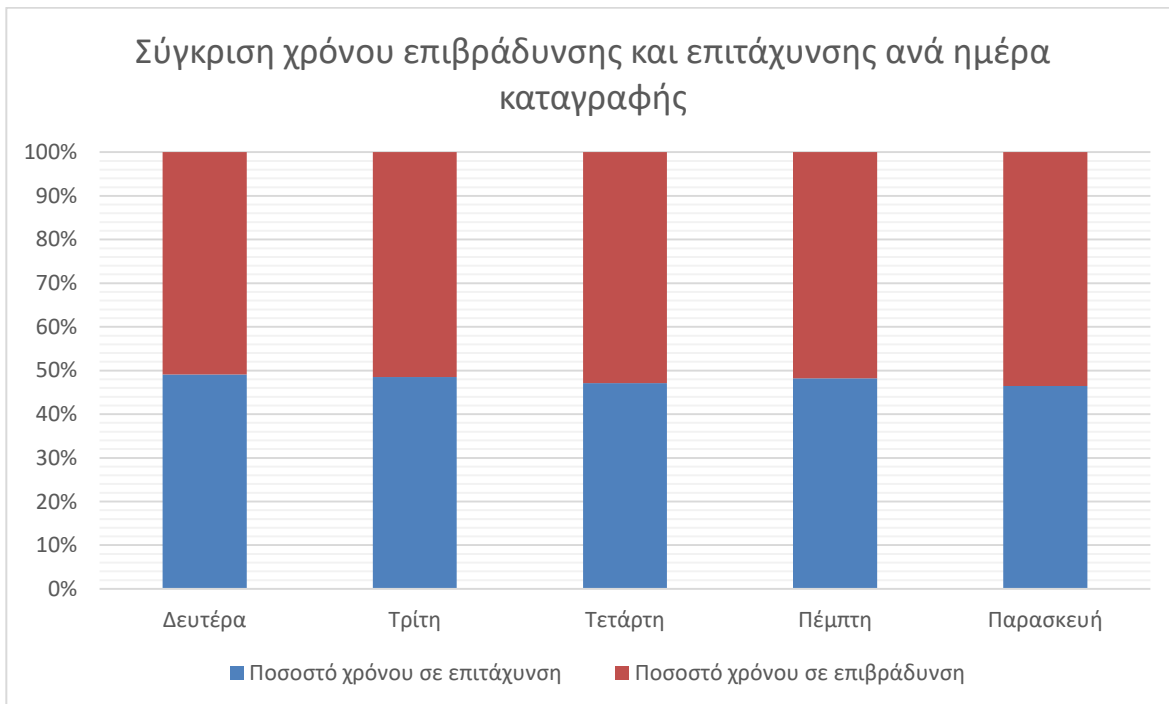
Εικόνα 43: Μέση διάρκεια διαδρομής ανά ημέρα καταγραφής



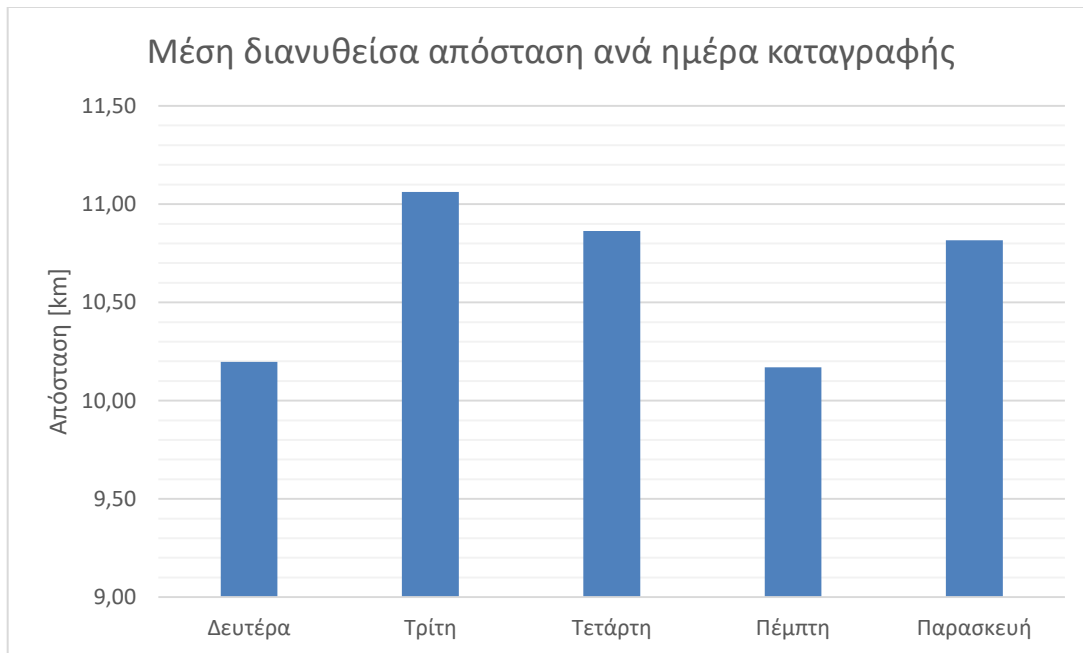
Εικόνα 44: Σύγκριση ποσοστού χρόνου στάσης και κίνησης ανά ημέρα καταγραφής



Εικόνα 45: Μέσος αριθμός στάσεων ανά ημέρα καταγραφής



Εικόνα 46: Ποσοστό χρόνου επιτάχυνσης και επιβράδυνσης ανά ημέρα



Εικόνα 47: Μέση διανυθείσα απόσταση ανά ημέρα καταγραφής

6.3.3 Κύκλοι οδήγησης ανά ημέρα καταγραφής



Εικόνα 48: Κύκλος οδήγησης Δευτέρας



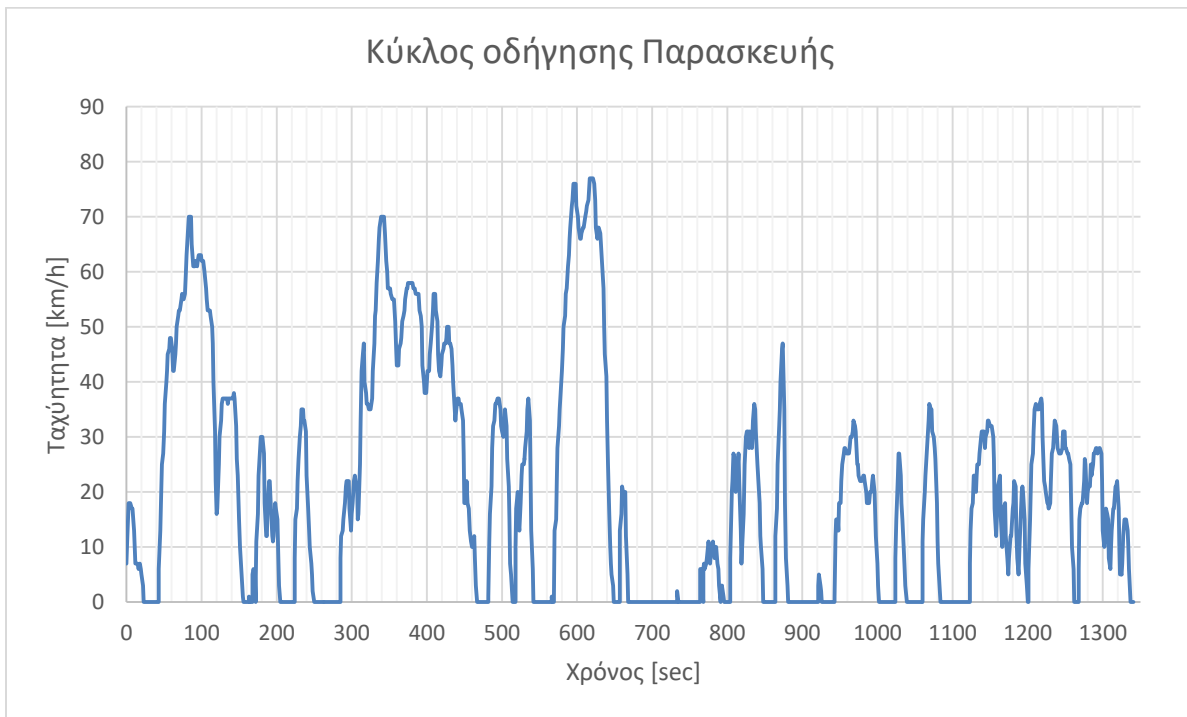
Εικόνα 49: Κύκλος οδήγησης Τρίτης



Εικόνα 50: Κύκλος οδήγησης Τετάρτης



Εικόνα 51: Κύκλος οδήγησης Πέμπτης



Εικόνα 52: Κύκλος οδήγησης Παρασκευής

	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή
Μέση διάρκεια [s]	1167,67	1245,64	1292,61	1210,35	1340,9
Μέση ταχύτητα οδήγησης [km/h]	22,14	18,4	18,96	21,9	20,19
Μέση ταχύτητα κίνησης [km/h]	33,35	26,61	26,49	34,15	29,6
Ποσοστό χρόνου σε στάση [%]	31,96%	29,44%	28,44%	34,38%	30,25%
Ποσοστό χρόνου σε κίνηση [%]	68,04%	70,56%	71,56%	65,62%	69,75%
Μέσος αριθμός στάσεων	19	18	20	16	24
Μέση επιτάχυνση [m/s ²]	0,548	0,549	0,499	0,538	0,595
Μέση επιβράδυνση [m/s ²]	-0,567	-0,588	-0,527	-0,546	-0,529
Ποσοστό χρόνου σε επιτάχυνση [%]	47,91%	48,90%	46,88%	48,34%	46,69%
Ποσοστό χρόνου σε επιβράδυνση [%]	52,09%	51,10%	53,12%	51,66%	53,31%
Μέση διανυθείσα απόσταση [km]	7,18	6,37	6,81	7,36	7,52

Πίνακας 9: Στατιστικά κύκλων ανά ημέρα καταγραφής

6.3.4 Συμπεράσματα ανά ημέρα καταγραφής

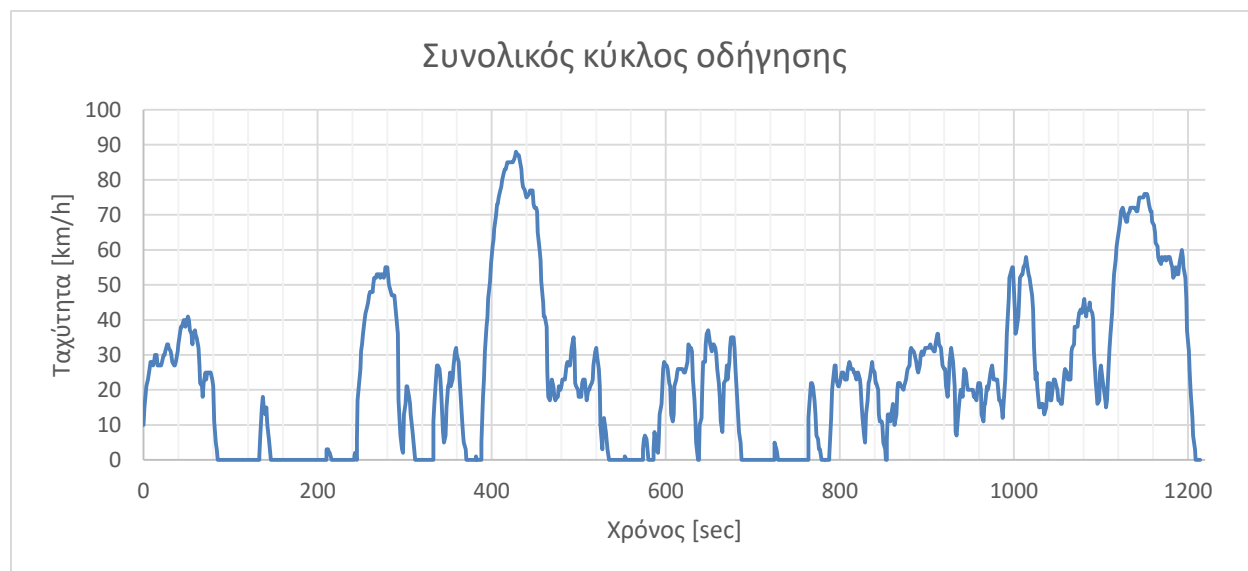
Με βάση τα ανωτέρω, μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής. Αρχικά, παρατηρούμε ότι με εξαίρεση τη Δευτέρα, ο χρόνος καταγραφής είναι αρκετά ισοκατανομημένος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τις Δευτέρες πραγματοποιήθηκαν λιγότερες καταγραφές, εξαιτίας του σχεδιασμού των δρομολογίων και της διαδρομής που επιλέχθηκε να ακολουθηθεί.

Επιπροσθέτως, όσον αφορά τα μεγέθη της ταχύτητας και των στάσεων, παρατηρούμε ότι αν και διαφαίνεται μια ισοκατανομή, εν τούτοις υπάρχει μια τάση για χειροτέρευση καθώς προχωράει η εβδομάδα, με αποτέλεσμα η Παρασκευή να εμφανίζει τα χειρότερα δεδομένα, με μικρή βέβαια απόκλιση. Θα ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρον να υπάρξουν μετρήσεις και για της υπόλοιπες δύο μη εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας για να υπάρχει μια ένδειξη των αποκλίσεων που μπορούν να αναμένονται.

Από την άλλη όμως, δεν παρατηρούμε την ίδια συμπεριφορά στους δημιουργηθέντες κύκλους οδήγησης. Παρά την προσπάθειά μας για τη βέλτιστη δυνατή προσομοίωση, παρατηρούνται αρκετές αποκλίσεις και διαφορές στις συμπεριφορές μεταξύ των ημερών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα σύνολα από τα οποία επιλέχθηκαν τα microtrips παρουσιάζουν μικρότερο μέγεθος από ότι στην περίπτωση της κατηγοριοποίησης ανά ώρα, με αποτέλεσμα οι τυχαίες τιμές από τις οποίες απαρτίζονται να αποδίδουν μεγάλες αποκλίσεις. Πιθανότατα μια προσπάθεια καταγραφής αρκετά περισσότερων δεδομένων θα μπορούσε να ανατρέψει τη συμπεριφορά αυτή που παρατηρείται.

6.4 Κύκλος οδήγησης για το σύνολο των δεδομένων

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας κύκλος οδήγησης για το σύνολο των δεδομένων που συλλέχθηκαν και η σύγκριση των χαρακτηριστικών αυτού με τις τιμές του αρχικού δείγματος.



Εικόνα 53: Διάγραμμα συνολικού κύκλου οδήγησης

	Συνολικός κύκλος	Δείγμα	Απόκλιση
Μέση διάρκεια [s]	1214,27	1143,27	6%
Μέση ταχύτητα οδήγησης [km/h]	23,15	24,31	5%
Μέση ταχύτητα κίνησης [km/h]	31,61	32,33	2%
Ποσοστό χρόνου σε στάση [%]	23,55%	25,73%	9%
Ποσοστό χρόνου σε κίνηση [%]	76,45%	74,27%	3%
Μέσος αριθμός στάσεων	15	16	7%
Μέση επιτάχυνση [m/s ²]	0,671	0,655	2%
Μέση επιβράδυνση [m/s ²]	-0,562	-0,546	3%
Ποσοστό χρόνου σε επιτάχυνση [%]	47,78%	47,40%	1%
Ποσοστό χρόνου σε επιβράδυνση [%]	52,22%	52,60%	1%
Μέση διανυθείσα απόσταση [km]	7,81	7,72	1%
Συνολική απόκλιση			4%

Πίνακας 10: Στατιστικά στοιχεία συνολικού κύκλου οδήγησης και σύγκριση

6.4.1 Συμπεράσματα συνολικού κύκλου οδήγησης

Από τα δεδομένα του πίνακα παρατηρούμε υπάρχει μία σχετικά καλή προσέγγιση σε πολλά μεγέθη. Εν τούτοις, παρατηρούμε σχετικά μεγάλη απόκλιση στο χρόνο στάσης – κίνησης καθώς και στη μέση διάρκεια του κύκλου. Η μεγάλη αυτή απόκλιση στα συγκεκριμένα στοιχεία οφείλεται στην τυχαιότητα ενσωμάτωσης των microtrips στον κύκλο που εξάγεται και με συνεχόμενες επαναλήψεις μπορεί να βρεθεί πιθανότατα κάποιο ακόμα καλύτερο αποτέλεσμα.

Ο συγκεκριμένος κύκλος αποτελεί το καλύτερο αποτέλεσμα ανάμεσα σε 100 επαναλήψεις του προγράμματος. Ενσωματώνει στοιχεία τα οποία παρατηρούμε και στο συνολικό μας δείγμα, όπως μεγάλες και μικρές στάσεις, διαστήματα υψηλών ταχυτήτων, διαστήματα επιβράδυνσης και επιτάχυνσης (κίνηση σε μποτιλιάρισμα). Έτσι λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικός, πράγμα που επιβεβαιώνεται και από την πολύ μικρή συνολική στατιστική απόκλιση του μόλις 4% περίπου.

Έτσι, μπορούμε να κρίνουμε την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ως αποτελεσματική για την εξαγωγή ενός αντιπροσωπευτικού κύκλου οδήγησης από οδηγικά δεδομένα που συλλέξαμε.

7

Συμπεράσματα εργασίας

7.1 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.

Έτσι λοιπόν, για να μελετήσουμε καλύτερα τον τρόπο λειτουργίας των κύκλων οδήγησης και το κατά πόσο είναι αντιπροσωπευτικοί της πραγματικότητας, με βάση τους προβληματισμούς που διατυπώθηκαν στο θεωρητικό μέρος, στο πλαίσιο της εργασίας έγινε μια ενδελεχής καταγραφή

πραγματικών δεδομένων με τη χρήση των αισθητήρων του οχήματος και συσκευών καταγραφής και επεξεργασίας. Τα δεδομένα αυτά περιλάμβαναν την ταχύτητα κίνησης, την επιτάχυνση και επιβράδυνση του οχήματος καθώς και την κατανάλωση καυσίμου, σε μια προκαθορισμένη διαδρομή στην Αθήνα. Η διαδρομή αυτή εκτελούνταν κατά τις εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας και για διάφορες ώρες της ημέρας, κυρίως το πρωί και το απόγευμα.

Έτσι, παράχθηκαν διάφοροι κύκλοι οδήγησης με βάση τα δεδομένα αυτά, σε χρονική βάση ανάλογα με την ώρα ή την ημέρα πραγματοποίησης αυτών και διατυπώθηκαν διάφορα συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις και την επεξεργασία αυτών. Η εξαγωγή των κύκλων οδήγησης έγινε με βάση τη μεθοδολογία των microtrips. Τέλος, παράχθηκε ένας συνολικός κύκλος οδήγησης ο οποίος ήταν αντιπροσωπευτικός του συνόλου των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

7.2 Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπου και πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων και παρουσίαση των αποτελεσμάτων, μπορούμε να συνοψίσουμε ορισμένα σημαντικά στοιχεία και σημεία τα οποία προέκυψαν.

Αρχικά, όσον αφορά την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων και των δεδομένων που επιλέχθηκαν για καταγραφή, αυτή κρίνεται ως επιτυχής. Τα στατιστικά στοιχεία που συλλέξαμε αποφαίνονται ως ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικά της πραγματικότητας και συμφωνούν με τα αποτελέσματα που ανάμεναμε αλλά και τη συμπεριφορά που παρατηρήσαμε κατά τη συλλογή των στοιχείων. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει κοινώς και καθολικά αποδεκτή μεθοδολογία συλλογής δεδομένων από την κίνηση οχημάτων, συνεπώς είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο.

Τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν είναι αντιπροσωπευτικά όμως για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό οχήματος – οδηγού. Συνεπώς, ακόμα και το ίδιο όχημα κατά τις ίδιες ημέρες και ώρες ή ακόμα περισσότερο ένας πολύ διαφορετικός συνδυασμός οχήματος – οδηγού μπορούν να έχουν σημαντική επίπτωση στα αποτελέσματα και κατ' επέκταση στις αναμενόμενες εκπομπές ρύπων, δεδομένου ότι ο βασικός στόχος της κατασκευής κύκλων οδήγησης είναι η μελέτη των εκπομπών ρύπων. Όμως, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την σύγκριση και ανάλυση της συμπεριφοράς οχημάτων ή και οδηγών.

Επιπροσθέτως, όσον αφορά τη μεθοδολογία ανάπτυξης των κύκλων, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την μέθοδο των microtrips ή μικρο-διαδρομών που επιλέχθηκε ως αποτελεσματική. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθότι ούτε στο σημείο αυτό υπάρχει διεθνώς καθιερωμένη αποδεκτή μεθοδολογία και αποτελεί πεδίο ενεργής έρευνας. Οι κύκλοι με βάση την ώρα αποδείχτηκαν ιδιαίτερα

επιτυχίες αλλά πρέπει να σημειώσουμε δύο στοιχεία. Πρώτον, θα έπρεπε να υπάρξουν περισσότερες μετρήσεις κατά τις μεσημβρινές ώρες για να έχουμε πιο ασφαλή αποτελέσματα. Η αλλαγή των κλάσεων ωρών δεν κρίθηκε ορθή, αφού άλλαζε αρκετά το χαρακτήρα των αποτελεσμάτων. Δεύτερον, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί για λόγους πληρότητας και η οδήγηση κατά τις νυκτερινές ώρες.

Στο σημείο αυτό λοιπόν, καταδεικνύεται η αξία της λεπτομερούς καταγραφής μιας πολύ συγκεκριμένης διαδρομής, καθώς η εισαγωγή άλλων δεδομένων δεν θα οδηγήσει σε αντιπροσωπευτικούς κύκλους οδήγησης, αλλά κυρίως η αξία της λεπτομερούς καταγραφής των δεδομένων αυτών. Στο πλαίσιο αυτό, θα έπρεπε να γίνει και καταγραφή δεδομένων μέσω μιας συσκευής με δυνατότητα ακριβούς καταγραφής δεδομένων χωρικών συντεταγμένων (GPS).

Όσον αφορά τώρα τους ημερήσιους κύκλους οδήγησης, παρατηρήσαμε μια σχετικά μικρή απόκλιση από τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται κατά τη γνώμη μας στο μικρό δείγμα, το οποίο δεν είναι αντιπροσωπευτικό για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Επίσης, η είσοδος δειγμάτων από διάφορες ώρες επηρέασε τα αποτελέσματα και κρίνεται σκόπιμο ίσως να επανεξεταστεί η ημερήσια συμπεριφορά αλλά ανά ώρα της ημέρας και να υπάρξει σύγκριση τόσο εντός της ημέρας όσο και με άλλες ημέρες της εβδομάδας για τις ίδιες ώρες.

Τέλος, ο συνολικός οδηγικός κύκλος, αν και ενσωματώνει διάφορα δεδομένα, κρίνεται ιδιαίτερα επιτυχής. Συμπεριλαμβάνει διαστήματα κίνησης, στάσης, μοτοιλιαρίσματος, διαστήματα υψηλών ταχυτήτων αλλά και κίνησης σε ημιαστικό περιβάλλον.

Εν κατακλείδι, η παρούσα εργασία μπορεί να κριθεί αντικειμενικά ως επιτυχής και καινοτόμα, δεδομένου ότι καταπιάνεται με ένα τρέχον πεδίο έρευνας και τα αποτελέσματα και συμπεράσματά της είναι ιδιαίτερα χρήσιμα και αξιοποιήσιμα. Κρίνεται δε ότι με την τροποποίηση και επέκτασή της μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη και άλλων παραμέτρων που θα βοηθήσουν στην κατανόηση των μεταβλητών που επηρεάζουν τις εκπομπές ρύπων.

7.3 Σημεία περαιτέρω μελέτης

Με βάση τα όσα αναφέραμε στα συμπεράσματα, μπορούμε να ορίσουμε μερικές κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με μελλοντικές εργασίες που θα μπορούσαν να έχουν ως βάση τη μεθοδολογία που αναπτύξαμε και οι οποίες θα παρείχαν ιδιαίτερα σημαντικά συμπεράσματα.

Ένα βασικό σημείο μελέτης θα μπορούσε να είναι η πραγματοποίηση συγκρίσεων μεταξύ διαφορετικών οδηγών ή οχημάτων για την ίδια διαδρομή και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τον ρόλο που διαδραματίζει το οδηγικό προφίλ και η οδηγική συμπεριφορά ή ακόμα και οι δυνατότητες του

οχήματος στους κύκλους οδήγησης και κατ' επέκταση στην εκπομπή ρύπων. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματική ως προς το σκέλος της μελέτης ενός συνδυασμού οχήματος – οδηγού και συνεπώς ενδείκνυται για συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών συνδυασμών.

Επιπροσθέτως, ένα άλλο σημείο που κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί είναι η σύγκριση δεδομένων εναλλακτικών διαδρομών με τα ίδια σημεία αφετηρίας και τερματισμού ή ακόμα και παραπλήσιων διαδρομών σε διαφορετικές πόλεις. Έτσι, μπορούν να προκύψουν δεδομένα που θα αποτυπώσουν την επιρροή της επιλογής διαδρομής και τις συνέπειες αυτής στις εκπομπές ρύπων.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να υπάρξει μια σύγκριση μεταξύ των κύκλων οδήγησης που εξήχθησαν, είτε τμηματικά με βάση το αν είναι εντός ή εκτός αστικού ιστού, και των θεσμοθετημένων κύκλων οδήγησης που διατυπώθηκαν στο θεωρητικό μέρος. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ερευνήσουμε κατά πόσο οι θεσμοθετημένοι κύκλοι είναι αντιπροσωπευτικοί της πραγματικότητας και να αναγνωρίσουμε αδυναμίες του θεσμικού πλαισίου και σημεία βελτίωσης αυτού.

Βιβλιογραφία

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

- [13] National Geographic, «Air pollution, explained,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/pollution/>. [Πρόσβαση 24 08 2020].
- [14] NHS, «Carbon monoxide poisoning,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nhs.uk/conditions/carbon-monoxide-poisoning/>. [Πρόσβαση 24 08 2020].
- [15] American Heart Association, «Evidence growing of air pollution's link to heart disease, death,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://web.archive.org/web/20100603014952/http://www.newsroom.heart.org/index.php?s=43&item=1029>. [Πρόσβαση 24 08 2020].
- [16] Σ. Χ. Ραφομανίκης, Ε. Γ. Καστρινάκης, Βασικές αρχές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ατμοσφαιρικών ρύπων, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
- [17] Heywood, John B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1988.
- [18] van Basshuysen, Richard, and Schäfer, Fred, Internal Combustion Engine Handbook, SAE International, 2004.
- [19] SST, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sstsensing.com/scr-emissions-system/>. [Πρόσβαση 25 08 2020].
- [20] EPA, «Draft Technical Assessment Report:Midterm Evaluation of Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards for Model Years 2022-2025,» 2015.
- [21] R. K. Puli, «Performance Evaluation of an Ultra-Lean Combustion Studies in IC Engines,» σε *MATECWebofConferences*, 2016.
- [22] European Commission, «Technical harmonisation in the EU,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/technical-harmonisation/eu_en. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [23] Transport Policy, «EU: Light-duty: Emissions,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-emissions/>. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [24] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statista.com/chart/2207/eu-meets-c02-targets-for-vehicles-two-years-early/>. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [25] T J Barlow, «A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions,» TRL Limited, 2009.

- [26] Ericsson E., «Variability in urban driving patterns,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, τόμ. 5, αρ. 5, pp. 337-354, 2000.
- [27] «DieselNet,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.dieselnat.com/standards/cycles/ece_eudc.html. [Πρόσβαση 26 08 2020].
- [28] «Cycle-Beating and the EU Test Cycle for Cars,» European Federation for Transport and Environment, 1998.
- [29] 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].
- [30] European Commission, «From NEDC to WLTP The New Test to Measure CO2 Emissions and Fuel Consumption of Cars,» JRC Science for Policy Report, 2017.
- [31] Zhang Xiao, Zhao Dui-Jia, Shen Jun-Min, «A Synthesis of Methodologies and Practices for Developing Driving cycles,» 2012.
- [32] Peter Nyberg, «Evaluation, Generation, and Transformation of Driving Cycles”,» 2015.
- [33] Shuming Shi, Nan Lin, Yan Zhang, Jingmin Cheng, Chaosheng Huang, Li Liu, Bingwu Lu, «Research on Markov property analysis of driving cycles and its application,» 2016.