

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Καταγραφή και επεξεργασία πραγματικών δεδομένων οδήγησης σε αστικές διαδρομές της Αττικής.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΣΟΥΓΙΟΥΛΤΖΗΣ (ΑΜ: 5570)

Επιβλέπων: Ευάγγελος Γ. Τζιράκης

Ε.ΔΙ.Π. ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.

Ηράκλειο, 2025

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, στο Τμήμα Μηχανολογίας της Σχολής Μηχανικών Εφαρμογών, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2024–2025. Η ολοκλήρωσή της δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την ουσιαστική συμβολή και καθοδήγηση του επιβλέποντος καθηγητή μου, κ. Ευάγγελου Τζιράκη, μέλους ΕΔΙΠ του ιδρύματος, του οποίου η συνεχής υποστήριξη και οι εύστοχες παρατηρήσεις συνέβαλαν καθοριστικά στην επιστημονική πληρότητα της εργασίας.

Παράλληλα, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς όλους εκείνους που, έστω και διακριτικά, αποτέλεσαν μέρος ενός πολύτιμου υποστηρικτικού περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη σταθερή και ανεκτίμητη παρουσία της δίπλα μου σε κάθε βήμα αυτής της διαδρομής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει το ζήτημα των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα επιβατηγά οχήματα και αναλύει τις πολιτικές και τεχνολογικές προσεγγίσεις για τον περιορισμό τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων, με αναφορά στην ιστορική τους εξέλιξη από το Euro 1 έως και το ισχύον Euro 6, καθώς και στις τεχνολογίες που επιτρέπουν τη συμμόρφωση με τα προβλεπόμενα όρια.

Η εργασία εστιάζει επίσης στη σημασία των θεσμοθετημένων κύκλων οδήγησης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των εκπομπών σε ελεγχόμενο περιβάλλον και την εξασφάλιση αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι κύκλων, καθώς και οι μηχανισμοί ελέγχου ρύπων μέσω επιτόπιων μετρήσεων και περιοδικών τεχνικών ελέγχων (ΚΤΕΟ).

Στο πειραματικό μέρος, πραγματοποιήθηκε καταγραφή δεδομένων κίνησης στην περιοχή της Αττικής με σκοπό την ανάλυση των τοπικών συνθηκών κυκλοφορίας και την εξαγωγή αντιπροσωπευτικών κύκλων οδήγησης. Μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων αυτών δημιουργήθηκαν διαγράμματα που τεκμηριώνουν τη διαδικασία και επιβεβαιώνουν την ορθότητα της μεθοδολογίας.

ABSTRACT

This undergraduate thesis examines the issue of atmospheric pollutant emissions from passenger vehicles and analyzes the policy and technological approaches aimed at their reduction. Special emphasis is placed on European emission standards, with a reference to their historical development from Euro 1 to the current Euro 6, as well as the technologies that enable compliance with these regulatory limits.

The study also focuses on the significance of standardized driving cycles, which are used to measure emissions in controlled environments in order to ensure reliable and comparable results. The main types of driving cycles are presented, along with the mechanisms for vehicle emissions monitoring through on-road testing and periodic technical inspections (MOT).

In the experimental section, traffic data was collected in the region of Attica to analyze local driving conditions and derive representative driving cycles. Through the processing of these data, diagrams were generated to support the methodology and validate the accuracy of the process.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ **3**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **4**

ABSTRACT **5**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ **6**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ **8**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ **9**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ **10**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ **11**

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ **13**

Μονοξείδιο του άνθρακα 13

Διοξείδιο του θείου 13

Σωματιδιακή ύλη 13

Οξείδια του αζώτου 14

Όζον 14

ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ **15**

Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) 15

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) 16

Οξείδια του αζώτου (NO_x) 16

Διοξείδιο του θείου (SO_2) 17

Αιωρούμενα σωματίδια (PM) 17

Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC) 18

Όζον (O_3) 18

Βαρέα μέταλλα 19

ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ **20**

Καταλύτες 20

Τεχνολογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) 21
Φίλτρα μικροσωματιδίων (DPF) 22
Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (SCR) 23
Παγίδες NOx (DPNR) 24
ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ EURO 25
Έκτακτοι και περιοδικοί έλεγχοι εκπομπών οχημάτων 28
Άλλες υποχρεώσεις των κατασκευαστών σχετικά με τις εκπομπές 28
ΚΥΚΛΟΙ ΟΔΗΓΗΣΗΣ 30
Κατηγορίες κύκλων οδήγησης 30
Ο κύκλος ECE-15 (UDC) 31
Ο κύκλος ECE + EUDC 32
Κύκλος NEDC+WLTP 33
Artemis -Common Artemis Driving Cycle (CADC) 37
Κύκλος οδήγησης Αθήνας (Ελλάδα) 38
Διαδικασία RDE 40
Βασικοί παράγοντες διαμόρφωσης κύκλων οδήγησης. 42
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 44
Καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων 44
Όχημα καταγραφής 48
Συσκευή συλλογής δεδομένων 49
Εφαρμογή καταγραφής δεδομένων(Torque) 51
Στάδιο προετοιμασίας και καταγραφής 54
Επεξεργασία δεδομένων 55
Ανάλυση δεδομένων 57
ΕΠΙΛΟΓΟΣ 68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 70

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

I**mage 1** Ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα , *[Πηγή : Energycert]* 12

Image 2 Καταλυτικός μετατροπέας, *[Πηγή: e-katalytes]* 20

Image 3 Διάγραμμα συστήματος EGR, *[Πηγή: Mechanic.com.au]* 22

Image 4 Φίλτρο μικροσωματιδίων DPF, *[Πηγή:topdon.community]* 22

Image 5 Διεργασία SCR *[7]* 23

Image 6 Σύγκριση παγίδων NOx & SCR *[7]* 24

Image 7 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας που υιοθετήθηκε για την ανάπτυξη του ADC και τη μέτρηση των εκπομπών, *[Πηγή:Tzirakis, etal. 2006]* 38

Image 8 Δυναμομετρική εξέδρα διάγραμμα, *[Πηγή:IQSdirectory]* 40

Image 9 Μετρήσεις PEMS *[20]* 41

Image 10 Διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της Δευτέρας , *[Πηγή:Google maps]* 45

Image 11 Διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της Τετάρτης, *[Πηγή:Google maps]* 46

Image 12 Η διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του Σαββάτου, *[Πηγή:Google maps]* ...47

Image 13 Όχημα καταγραφής 48

Image 14 Θύρα OBD Hyundai , *[Πηγή:Flexihub]* 49

Image 15 Συσκευή καταγραφής OBD Bluetooth, *[1], [2]* 50

Image 16 Αρχική σελίδα εφαρμογής TORQUE 51

Image 17 Παράμετροι καταγραφής εφαρμογής TORQUE 53

Image 18 Δεδομένα από αρχείο .csv , seperated values 55

Image 19 Επεξεργασμένα δεδομένα από αρχείο Excel 56

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Graph 1 Εκπομπές CO2 και συνολικών θερμοκηπιακών αερίων στην ΕΕ από καύση καυσίμων για την οδική μεταφορά , *[Πηγή : Eurostat]*.....15

Graph 2 Εκπομπές CO2 και συνολικών θερμοκηπιακών αερίων στην Ελλάδα από καύση καυσίμων για την οδική μεταφορά, *[Πηγή : Eurostat]* 16

Graph 3 Παραγωγή ρύπων NOx και SO2 ανά τομέα *[4]* 17

Graph 4 Modal & Real world κύκλοι οδήγησης *[4]*.....31

Graph 5 Κύκλος ECE-15, *[Πηγή:dieselnet.com]* 32

Graph 6 Κύκλος οδήγησης ECE + EUDC *[4]* 33

Graph 7 Κύκλος οδήγησης NEDC *[19]*.....33

Graph 8 Κύκλος οδήγησης WLTP *[4]*.....36

Graph 9 Κύκλος οδήγησης Artemis *[4]*.....37

Graph 10 Κύκλος οδήγησης ADC (Athens driving Cycle) *[18]*.....39

Graph 11 Μέση ταχύτητα ανά ημέρα.....57

Graph 12 Μέση ταχύτητα ανά ημέρα χωρίς στάσεις.....58

Graph 13 Ποσοστό χρόνου στάσης ανά ημέρα 59

Graph 14 Ποσοστό στάσης επί τοις εκατό ανά ημέρα.....60

Graph 15 Συνολικό ποσοστό στάσης - κίνησης όλων των διαδρομών.....60

Graph 16 Στροφές κινητήρα.....61

Graph 17 Μέση επιτάχυνση ανά ημέρα και ώρα.....62

Graph 18 Μέση επιβράδυνση ανά ημέρα και ώρα 63

Graph 19 Προφίλ ταχύτητας αντιπροσωπευτικής διαδρομής σε συνάρτηση με το χρόνο 65

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

Table 1 Ποσοστά συνεισφοράς ρύπων ανά τομέα 14

Table 2 Πρότυπα EURO για βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες.....26

Table 3 Συγκριτικός πίνακας πρωτοκόλλων NEDC & WLTP.....36

Table 4 Τεχνικά χαρακτηριστικά οχήματος καταγραφής.....48

Table 5 Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων τιμών 64

Table 6 Συγκριτικός πίνακας μέσων τιμών και αντιπροσωπευτικής διαδρομής.....64

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η ρύπανση της ατμόσφαιρας, δηλαδή η προσθήκη οποιασδήποτε ουσίας στην ατμόσφαιρα που υπό φυσιολογικές συνθήκες δε θα υπήρχε σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα. Στις μέρες μας, ο κύριος λόγος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα.

Η ανθρωπογενής ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται κυρίως από τρεις ανθρώπινες δραστηριότητες, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και τα κτήρια. Σε μια τυπική πόλη, η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πιθανό να φτάσει σε τέτοια επίπεδα που δημιουργούν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Για την περιγραφή της κατάστασης αυτής έχει επικρατήσει ο όρος νέφος. [24]

Η ατμοσφαιρική ρύπανση γίνεται κυρίως από οξείδια, όπως οξείδια του αζώτου, του θείου, του άνθρακα, από αιθάλη και άλλα. Τα οξείδια του αζώτου προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, συνήθως στα κέντρα μεγαλουπόλεων ή και στις γύρω περιοχές. Τα οξείδια του θείου και του άνθρακα αντιδρούν με τους υδρατμούς των νεφών δημιουργώντας όξινη βροχή, η οποία προσβάλλει τα δάση, ενώ το θειϊκό οξύ (συστατικό της όξινης βροχής) προσβάλλει τα μάρμαρα μετατρέποντάς τα σε γύψο. Το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και άλλα αέρια που παράγονται από ατελείς καύσεις, όπως άκαυστοι υδρογονάνθρακες, συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στις πόλεις που βρίσκονται κοντά σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας όπου γίνεται καύση ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο ή ο λιγνίτης.

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

Κάθε μηχανή εσωτερικής καύσης μετατρέπει μία μορφή ενέργειας σε κινητική για την κίνηση του οχήματος. Βασική πηγή ενέργειας αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα, αφού έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, όπως η βενζίνη, το πετρέλαιο και το υγραέριο. Η καύση των ορυκτών καυσίμων οδηγεί

στην παραγωγή θερμότητας και μηχανικού έργου για την κίνηση των οχημάτων, παράλληλα όμως οδηγεί και σε εκπομπές αερίων ρύπων, ως προϊόντα της καύσης.[6]

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

Σε μια Ευρωπαϊκή πόλη, η βιομηχανία ευθύνεται για το 25-30% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα μέσα μεταφοράς για το 35%, ενώ ο κτηριακός τομέας 35-40%.

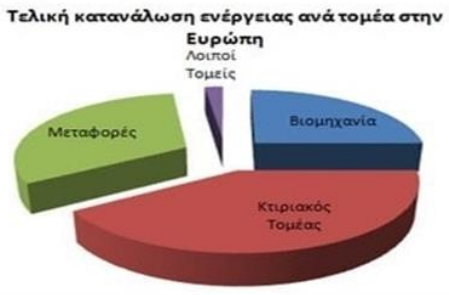


Image 1 Ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα , *[Πηγή : Energycert]*

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται φυσιολογικά από την οξείδωση του μεθανίου, στους ωκεανούς και την ατμόσφαιρα, το οποίο παράγεται κατά την οργανική αποσύνθεση. Στις πόλεις, η μεγαλύτερη πηγή μονοξειδίου του άνθρακα είναι τα οχήματα και ο τομέας των μεταφορών, παρότι μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε διεργασία καύσης.

Διοξείδιο του θείου

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

Σωματιδιακή ύλη

Η σωματιδιακή ύλη αποτελείται από τέφρα, από άκαυστα καύσιμα, λάδια και άνθρακα.Η σωματιδιακή ύλη σε συγκεντρώσεις απειλητικές για την υγεία μπορεί να ελευθερώνεται από διάφορες πηγές, όπως ηφαίστεια και καταιγίδες σκόνης, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανικές διεργασίες και αποτεφρωτήρες. Το μέγεθος αυτής της σωματιδιακής ύλης κυμαίνεται κάτω από 0,1 μικρόμετρα (μm) μέχρι εκατοντάδες μικρόμετρα. Τα σωματίδια που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm αναφέρονται ως PM10. Επειδή αυτά τα σωματίδια είναι αρκετά μικρά και μπορούν να εισέλθουν στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, καλούνται επίσης και «εσπνεύσιμη σωματιδιακή ύλη».

Τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 10 micron συνήθως συγκρατούνται από τα τριχίδια της μύτης, και δεν εισέρχονται στην αναπνευστική οδό. Επομένως, τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 10 micron δεν προκαλούν μεγάλη βλάβη, πέρα από τον ερεθισμό της μύτης και των οφθαλμών.

Οξείδια του αζώτου

Η κύρια ανθρώπινη δραστηριότητα από την οποία παράγονται οξείδια του αζώτου είναι η καύση καυσίμων, όπως στα οχήματα που διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα όταν καύση των καυσίμων γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Το μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκεται υπό τη μορφή οξειδίου του αζώτου, και λιγότερο από το 10% με τη μορφή διοξειδίου του αζώτου. Όταν απελευθερωθεί, το οξείδιο του αζώτου συνδυάζεται με το οξυγόνο («οξειδώνεται») και σχηματίζεται διοξείδιο του αζώτου. Τα οξείδια του αζώτου παραμένουν στην ατμόσφαιρα για αρκετές ημέρες, και στο διάστημα αυτό, μέσω κάποιων χημικών διεργασιών μπορεί να παραχθούν νιτρικό οξύ και διάφορες ενώσεις, όπως νιτρικά και νιτρώδη. Αυτά τα οξείδια του αζώτου παίζουν σημαντικό ρόλο στις χημικές αντιδράσεις που δημιουργούν τη φωτοχημική αιθαλομίχλη.

Όζον

Το όζον είναι ένα άχρωμο αέριο που σχηματίζεται από τις χημικές αντιδράσεις μεταξύ οργανικών αερίων και οξειδίων του αζώτου με την παρουσία του ηλιακού φωτός. Το όζον είναι ένας από τους δευτερογενείς ερεθιστικούς ρυπαντές που υπάρχουν στην αιθαλομίχλη που δημιουργείται στις αστικές περιοχές. Υπάρχει επίσης και το στρώμα του όζοντος στην στρατόσφαιρα σε ύψος 15-50 χιλιομέτρων. Σε αντίθεση με το όζον κοντά στην επιφάνεια, αυτό το στρώμα όζοντος είναι υπεύθυνο στο να αποτρέπει την θανατηφόρα ηλιακή ακτινοβολία UV από το να φτάσει στο έδαφος.[23]

Ρύποι (g/km)	Αυτοκίνητα	Βιομηχανία	Οικ. θέρμανση
Οξείδια του αζώτου (NOχ)	15%	40%	45%
Υδρογονάνθρακες (HC)	77%	6%	17%
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	100%	-	-
Σωματίδια	100%		
Καπνός	68%	18%	14%

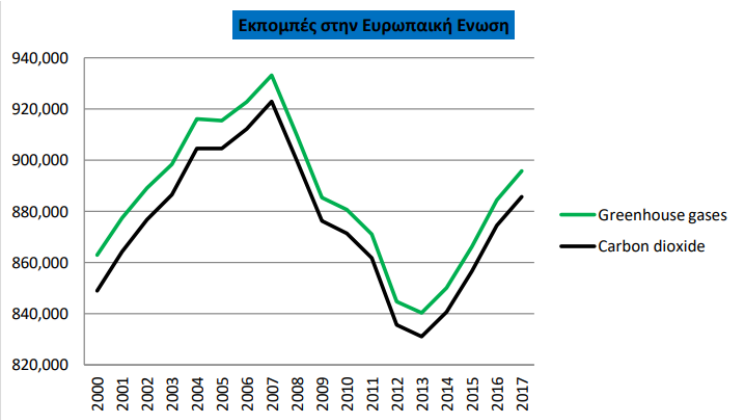
Table 1 Ποσοστά συνεισφοράς ρύπων ανά τομέα , *[Πηγή: The causes of climate change]*

ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

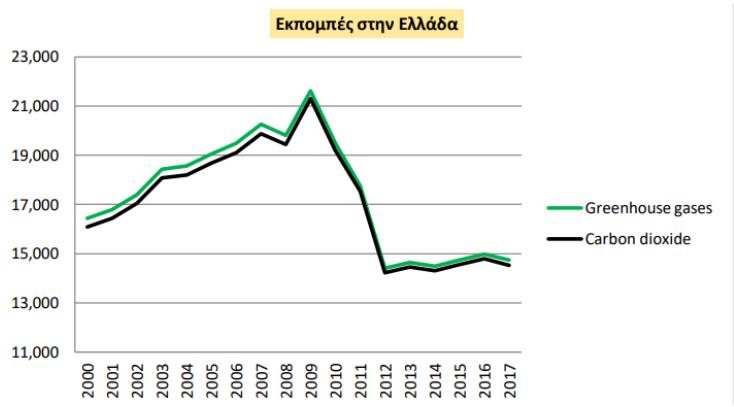
Οι μηχανές εσωτερικής καύσης , τόσο λόγω της φύσης της λειτουργίας τους, όσο και λόγω ατελούς καύσης ή καύσης με περίσσεια καυσίμου εκπέμπουν ρύπους. Αυτοί οι ρύποι προκαλούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Ακολουθεί μια ανάλυση των βασικότερων ρύπων που εκπέμπονται από τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO2)

Βασικό συστατικό των καυσαερίων, αποτελεί ένα από τα κύρια προϊόντα της καύσης των υδρογονανθράκων. Δεν είναι τοξικό και γι' αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ρύπος με την κλασική έννοια του όρου. Μακροπρόθεσμα όμως, πρέπει να ελέγχονται οι εκπομπές του γιατί είναι υπεύθυνο για το 'φαινόμενο του θερμοκηπίου', που βαθμιαία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των θερμοκρασιών του πλανήτη μας . Είναι προφανές λοιπόν πως είναι επιτακτική η ανάγκη μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων από τα εκατομμύρια των οχημάτων που κυκλοφορούν στις μεγαλουπόλεις. Για αυτόν ακριβώς το λόγο θεσπίστηκαν συγκεκριμένα πρότυπα εκπομπών καθώς και οι αντίστοιχες διαδικασίες ελέγχου της συμμόρφωσης των οχημάτων με αυτά. [6]



Graph 1 Εκπομπές CO2 και συνολικών θερμοκηπιακών αερίων στην ΕΕ από καύση καυσίμων για την οδική μεταφορά , *[Πηγή : Eurostat]*



Graph 2 Εκπομπές CO2 και συνολικών θερμοκηπιακών αερίων στην Ελλάδα από καύση καυσίμων για την οδική μεταφορά, *[Πηγή : Eurostat]*

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι προϊόν της ατελούς ή κακής καύσης στους κινητήρες 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 στα κύτταρα του οργανισμού, πολύ πιο εύκολα από το οξυγόνο, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε ασφυξία .

Γενικά, στους σύγχρονους κινητήρες, είναι σημαντικά πιο υψηλές οι εκπομπές του στα χαμηλά φορτία, δηλαδή όταν το όχημα βρίσκεται σταθμευμένο ή ακινητοποιημένο σε ένα φανάρι. 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.

Οξείδια του αζώτου (NOx)

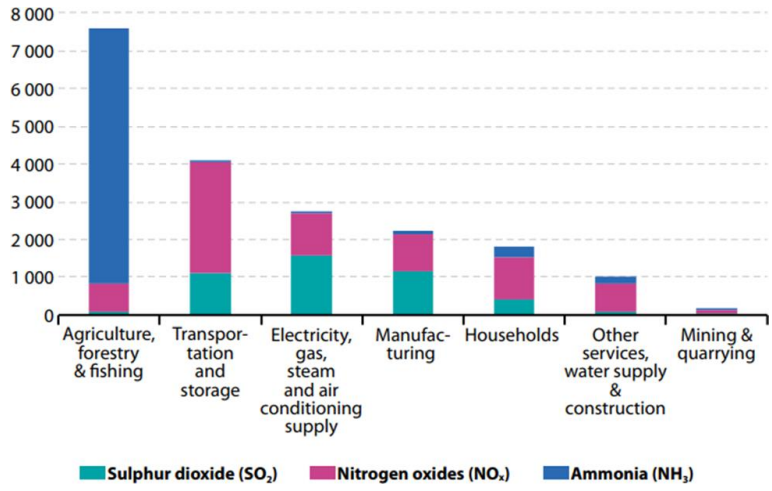
Πρόκειται για έναν από τους βασικούς συντελεστές της δημιουργίας του φωτοχημικού νέφους. Τα οξείδια του αζώτου κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας συμμετέχουν σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή των άκαυστων υδρογονανθράκων στα λεγόμενα φωτοχημικά οξειδωτικά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

Με τη βοήθεια του όζοντος και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας τα οξείδια του αζώτου δημιουργούν κατόπιν ένα κύκλο δευτερογενούς ρύπανσης, η οποία κάτω από τις κατάλληλες καιρικές συνθήκες καταλήγει στο σχηματισμό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης. [12]

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.



Graph 3 Παραγωγή ρύπων NOx και SO2 ανά τομέα *[4]*

Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Ο όρος αυτός περιγράφει ένα ευρύ φάσμα στοιχείων και ενώσεων τα οποία είναι στερεά ή υγρά και αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση των κινητήρων εσωτερικής καύσης, πρόκειται ουσιαστικά για τα σωματίδια τα οποία βρίσκονται διεσπαρμένα μέσα στα καυσαέρια υπό τη μορφή αερολύματος.

Αποτελούνται κυρίως από αιθάλη, σωματίδια δηλαδή άνθρακα τα οποία είναι αποτέλεσμα της ατελούς καύσης των υδρογονανθράκων του καυσίμου. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν πολύ σοβαρές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία , οι οποίες εξαρτώνται από την διάμετρο των σωματιδίων αυτών, με τα μικρότερα να είναι πιο επικίνδυνα.

Το μέγεθος των σωματιδίων αυτών κυμαίνεται από 0.1 μm έως μερικές εκατοντάδες μικρόμετρα. Τα σωματίδια αυτά κατηγοριοποιούνται με βάση την αεροδυναμική τους διάμετρο. Όλα τα σωματίδια με διάμετρο κάτω των 10 μm θεωρούνται δυνητικά επικίνδυνα για την υγεία, διότι δεν συγκρατούνται από τα τριχίδια της μύτης με αποτέλεσμα να καταλήγουν στους πνεύμονες, όπου και προκαλούν φλεγμονή καθώς είναι δύσκολο να απομακρυνθούν από τον οργανισμό. [7]

Κυρίως υπεύθυνες για την εκπομπή τέτοιων σωματιδίων είναι οι μηχανές diesel, αφού λόγο 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. Τα τελευταία χρόνια, νέες τεχνολογίες όπως ο άμεσος ψεκασμός (direct injection), έχουν επιφέρει αυξημένες εκπομπές των ρύπων αυτών και στους βενζινοκινητήρες. Τα τελευταία χρόνια έχουν συνδεθεί και με το φαινόμενο της καύσης στερεών καυσίμων σε ανοικτές εστίες (αιθαλομίχλη τζακιών) στις μεγάλες πόλεις.

Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)

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

Οι εργαστηριακές έρευνες απέδειξαν ότι οι ενώσεις αυτές αντιδρούν παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας και ερεθίζουν τα ανθρώπινα μάτια, μολύνουν την ατμόσφαιρα και προκαλούν ζημιές στη βλάστηση. Είναι ακόμα υπεύθυνες για την φωτοχημική αιθαλομίχλη και ορισμένες από αυτές (ιδιαίτερα το βενζόλιο) είναι καρκινογόνες. [21]

Όζον (O3)

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

μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς πόσο αυξημένη μπορεί να είναι η παραγωγή όζοντος.

Ιδιαίτερα μάλιστα όταν η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπερβολικά αυξημένη, όπως συμβαίνει στην Αθήνα. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκο από μια περίεργη αντίφαση. Τα αυτοκίνητα παράγουν και μονοξείδιο του αζώτου, που οξειδώνεται στον αέρα και μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου. Μόνο το τελευταίο μπορεί να πάρει μέρος στη δημιουργία του όζοντος αντιδρώντας με τους υδρογονάνθρακες. [21]

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

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

Βαρέα μέταλλα

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

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

Τέλος, στο παρελθόν υπήρχαν ως πρόσθετο στην βενζίνη ενώσεις του μολύβδου (Pb), προκειμένου να αυξηθεί ο βαθμός οκτανίων. Εξαιτίας της τοξικότητας των ενώσεων αυτών τόσο για τον ανθρώπινο οργανισμό όσο και για τους καταλύτες των οχημάτων έχουν πλέον αντικατασταθεί από άλλες ενώσεις. [14]

ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

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

Καταλύτες

Τα μηχανοκίνητα οχήματα είναι μια σημαντική πηγή CO το οποίο παράγεται μέσω τέλειας ή ατελούς καύσης. Με την πάροδο των χρόνων οι εκπομπές CO μειώνονται. Το 2010 εκπέμπονταν 14.358tn/έτος, το 2020 9.945tn/έτος και το 2030 αναμένονται 7.032tn/έτος. Οι εκπομπές από τα βενζινοκίνητα οχήματα μειώθηκαν δραματικά μετά την εισαγωγή καταλυτικών μετατροπέων, το CO οξειδώνεται σε λιγότερο επιβλαβές αέριο όπως το CO2.

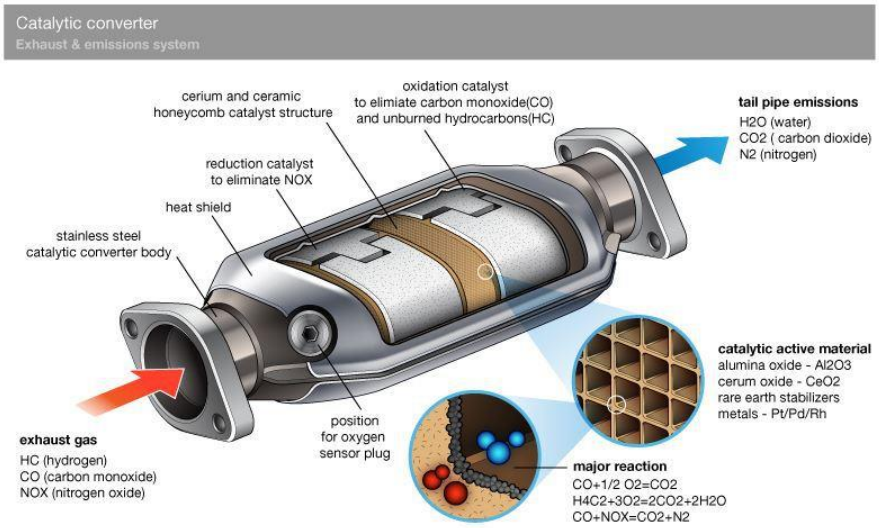


Image 2 Καταλυτικός μετατροπέας, *[Πηγή: e-katalytes]*

Οι καταλυτικοί μετατροπείς οχημάτων 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 χρησιμοποι μείγμα από σπάνιες γαίες και ειδικές ενώσεις μετάλλων.

Η οξείδωση του CO σε CO2 έχει ως συνέπεια τα οχήματα με καταλύτη να χρειάζονται ελαφρώς περισσότερα καύσιμα και γίνονται λιγότερο αποδοτικά. Ακόμη οι καινούργιες τεχνολογίες καυσίμων έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο, με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι εκπομπές CO, HC και NOx από τον καταλύτη των βενζινοκίνητων οχημάτων και οι εκπομπές μικροσωματιδίων από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, με ή χωρίς καταλύτες οξείδωσης.

Με την πάροδο του χρόνου ο αριθμός των βενζινοκίνητων οχημάτων αυξάνεται σε αντίθεση με τον αριθμό των πετρελαιοκίνητων ο οποίος μειώνεται. Οι σύγχρονοι βενζινοκινητήρες ηλεκτρονικής ανάφλεξης είναι εφοδιασμένοι με «τριοδικούς καταλύτες». Οι καταλύτες αυτοί έχουν την ικανότητα να μειώνουν κατά 90% τις εκπομπές τριών αέριων ρυπαντών: των άκαυστων HC, CO των NOx και των NMVOC. Ένας τριοδικός καταλύτης ουσιαστικά αποτελείται από δυο διαφορετικά μέρη: έναν αναγωγικό καταλύτη που διαχωρίζει το επιβλαβές NO σε αβλαβές N και O2 και έναν οξειδωτικό καταλύτη ο οποίος οξειδώνει τους επικίνδυνους ρύπους του CO και τους HC και τους μετατρέπει σε CO2 και H2O.

Οι πετρελαιοκινητήρες Diesel είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν με φτωχό μίγμα, δηλαδή λειτουργούν με περίσσεια αέρα σε σχέση με τη στοιχειομετρική αναλογία μίγματος. Οι αναγωγικοί καταλύτες δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες ‘’φτωχού’’ μίγματος και γι’ αυτό το λόγο οι πετρελαιοκινητήρες είναι εφοδιασμένοι μόνο με οξειδωτικούς καταλύτες. Οι οξειδωτικοί καταλύτες είναι αποτελεσματικοί στο να ελαττώνουν τις εκπομπές HC και CO καθώς και μέρος από τις εκπομπές μικροσωματιδίων, όμως όχι στο να ελαττώνουν τις εκπομπές NOx. Για αυτόν ακριβώς το λόγο οι πετρελαιοκινητήρες παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερες εκπομπές NOx σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. [7]

Τεχνολογία ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)

Οι κινητήρες με επανακυκλοφορία καυσαερίων ανακυκλώνουν ένα μέρος των καυσαερίων, τα οποία έχουν μικρή περιεκτικότητα σε O2 μετά την καύση, πίσω στην εισαγωγή του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό ελαττώνεται η θερμοκρασία μέσα στον κινητήρα αφού πλέον υπάρχει μικρότερη ποσότητα οξυγόνου προς καύση. Κατά συνέπεια η ελάττωση της υψηλής θερμοκρασίας περιορίζει

και το σχηματισμό NOx. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στους περισσότερους κινητήρες βενζίνης και πετρελαίου. Στους πετρελαιοκινητήρες συνδυάζεται και με φίλτρο σωματιδίων.

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

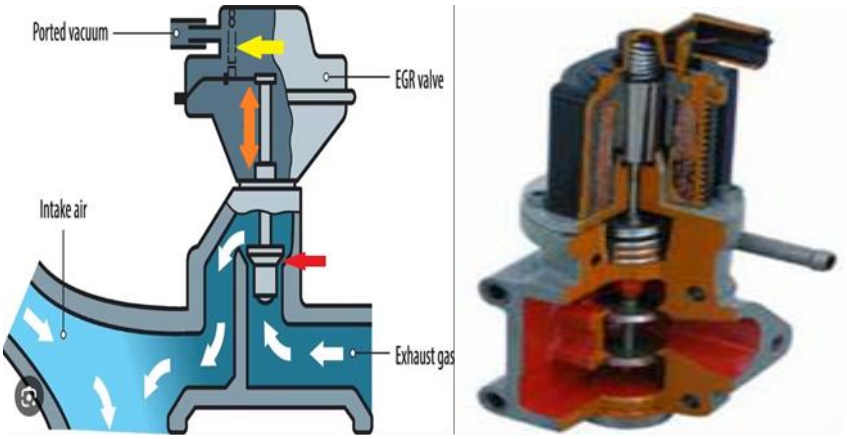


Image 3 Διάγραμμα συστήματος EGR, *[Πηγή: Mechanic.com.au]*

Φίλτρα μικροσωματιδίων (DPF)

Μία αποτελεσματική τεχνολογία για τον περιορισμό των εκπομπών σωματιδίων, ιδιαίτερα σε κινητήρες πετρελαίου νέας γενιάς, είναι τα φίλτρα μικροσωματιδίων (DPF) . Αυτές οι διατάξεις έχουν παρόμοια αρχιτεκτονική με τους συμβατικούς καταλύτες, αν και δεν περιέχουν σπάνια μέταλλα. Σκοπός τους είναι να συγκρατούν την αιθάλη που προκύπτει από ατελή καύση.

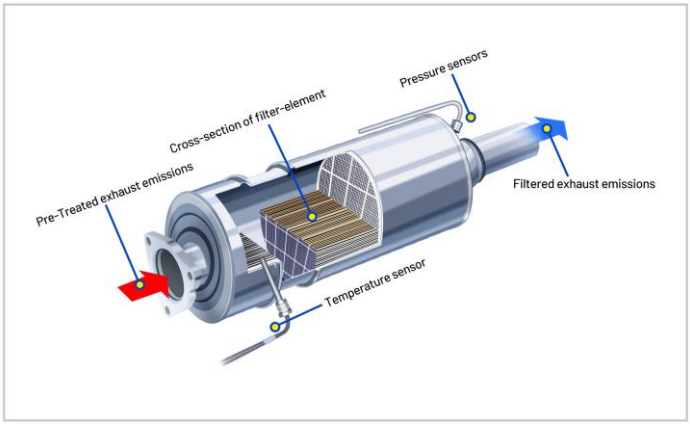


Image 4 Φίλτρο μικροσωματιδίων DPF, *[Πηγή:topdon.community]*

Η απομάκρυνση της συσσωρευμένης αιθάλης επιτυγχάνεται είτε μέσω παθητικής αναγέννησης όπου λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της περίσσειας οξυγόνου, η αιθάλη καίγεται και μετατρέπεται σε CO είτε μέσω ενεργητικής αναγέννησης. Στη δεύτερη περίπτωση, το σύστημα

ψεκασμού του κινητήρα ψεκάζει καύσιμο κατά την εξαγωγή, προκειμένου να ανεβεί η θερμοκρασία εντός του φίλτρου και να επιτευχθεί η επιθυμητή καύση.

Τα φίλτρα αυτά μπορούν να κατακρατούν πάνω από το 90% των στερεών σωματιδίων των καυσαερίων. Ωστόσο, συνοδεύονται από υψηλό κόστος προμήθειας και συντήρησης, ενώ απαιτούν σύνθετα ηλεκτρονικά συστήματα, αισθητήρες και ειδικό λογισμικό για την ορθή λειτουργία τους.

Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (SCR)

Η τεχνολογία της επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής (Selective Catalytic Reduction - SCR) συγκαταλέγεται ανάμεσα στις πιο αποτελεσματικές μεθόδους περιορισμού των οξειδίων του αζώτου (NOx), ιδιαίτερα στους πετρελαιοκινητήρες.

Λόγω της αυξημένης παραγωγής NOx στους κινητήρες Diesel και της δυσκολίας διαχείρισής τους μέσω συμβατικών καταλυτών (εξαιτίας της μεγάλης περίσσειας οξυγόνου στα καυσαέρια), η τεχνολογία SCR προτείνει μία εναλλακτική λύση που συμμορφώνεται με αυστηρά πρότυπα όπως τα Euro 6.

Η λειτουργία της βασίζεται στην έγχυση ενός διαλύματος ουρίας ή αμμωνίας (AdBlue) στα καυσαέρια, τα οποία αφού περάσουν από το φίλτρο μικροσωματιδίων και άλλους προκαταλύτες, φτάνουν στον καταλύτη SCR. Εκεί, παρουσία του κατάλληλου καταλύτη και μέσω ελεγχόμενης δόσης του διαλύματος, τα οξείδια του αζώτου ανάγονται σε άζωτο (N_2) και υδρατμούς. [15]

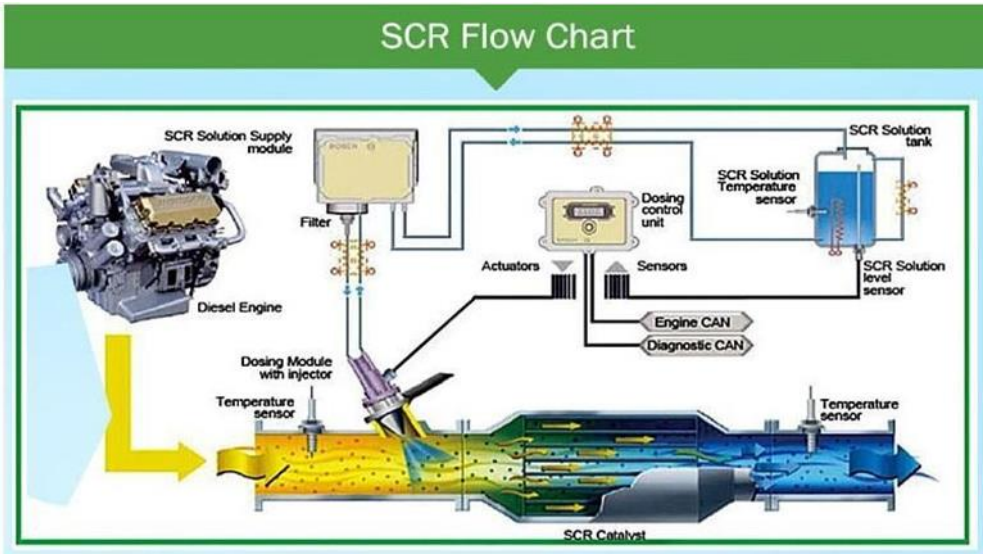


Image 5 Διεργασία SCR *[7]*

Παγίδες NOx (DPNR)

Μια άλλη μέθοδος περιορισμού των εκπομπών NOx, που έχει βρει πρακτική εφαρμογή ιδιαίτερα σε πετρελαιοκινητήρες, είναι η χρήση παγίδων NOx. Οι διατάξεις αυτές έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις εκπομπές NOx έως και κατά 90%, καθιστώντας τις κατάλληλες τόσο για ελαφρά όσο και για βαρέα οχήματα. Ωστόσο, παρουσιάζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα: είναι ευαίσθητες στην περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, απαιτώντας τη χρήση πετρελαίου εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε S.

Το σύστημα DPNR (Diesel Particulate and NOx Reduction), το οποίο αναπτύχθηκε από την Toyota, ενσωματώνει παγίδες NOx με φίλτρα αιθάλης, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονη μείωση τόσο των σωματιδίων όσο και των οξειδίων του αζώτου. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στους καταλύτες αποθήκευσης NOx (NSC) και αξιοποιεί την τεχνική της επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) για βελτιωμένη απόδοση.

Επιπλέον, η μείωση της θερμοκρασίας καύσης, η βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων του καυσίμου και η κατάλληλη επεξεργασία των καυσαερίων συμβάλλουν καθοριστικά στον περιορισμό των εκπομπών NOx. Στην εικόνα παρουσιάζονται συνοπτικά οι κύριες στρατηγικές μείωσης NOx στους πετρελαιοκινητήρες. [7]

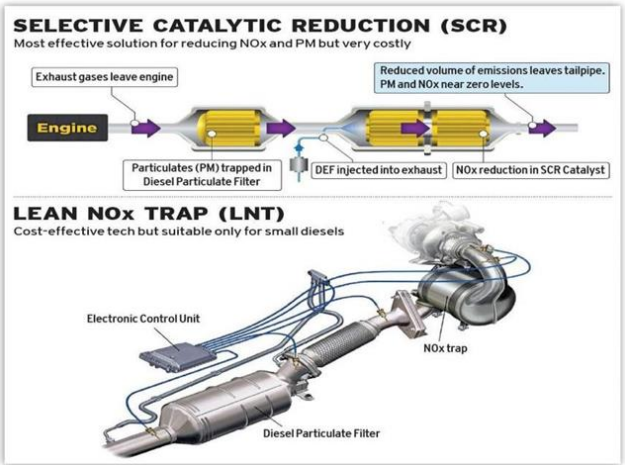


Image 6 Σύγκριση παγίδων NOx & SCR *[7]*

ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ EURO

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται οι ρύποι που εκπέμπονται από επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά, ανεξαρτήτως του τύπου κινητήρα τους , βενζινοκινητήρες ή πετρελαιοκινητήρες. Παράλληλα, γίνεται αναφορά στα καθορισμένα όρια εκπομπών και στα ευρωπαϊκά πρότυπα Euro (από το Euro 1 έως και το Euro 6) που ρυθμίζουν τις επιτρεπόμενες τιμές ρύπων.

Από το 1970 και εξής, όλα τα οχήματα που διατίθενται στην αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές έγκρισης τύπου, οι οποίες περιλαμβάνουν ελέγχους εκπομπών ρύπων και συμμόρφωση με τα αντίστοιχα νομοθετικά όρια. Στο πλαίσιο αυτής της διαδικασίας, θεσπίστηκαν μια σειρά από κανονισμοί, γνωστοί ως πρότυπα Euro, που καθορίζουν τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών για κάθε κατηγορία οχήματος. Η αξιολόγηση κάθε τύπου οχήματος πραγματοποιείται με βάση την απόδοση του κινητήρα σε έναν συγκεκριμένο, τυποποιημένο κύκλο δοκιμών. Οχήματα που δεν πληρούν τις απαιτήσεις δεν επιτρέπεται να κυκλοφορούν ή να πωλούνται εντός της ΕΕ, ενώ οι νεότεροι κανονισμοί εφαρμόζονται μόνο σε καινούργια οχήματα και όχι σε εκείνα που ήδη κυκλοφορούν. [17]

Τα εκάστοτε στάδια των προτύπων ονομάζονται Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5, Euro 6 και εφαρμόζονται κυρίως σε οχήματα ελαφριάς χρήσης. Αντίστοιχα, για βαρέα επαγγελματικά οχήματα, χρησιμοποιούνται ρωμαϊκοί αριθμοί (Euro I, Euro II κλπ.).

Το νομοθετικό υπόβαθρο βασίζεται σε μια σειρά από ευρωπαϊκές οδηγίες, οι οποίες αποτελούν τροποποιήσεις της αρχικής Οδηγίας 70/220/ΕΟΚ. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά στάδια εξέλιξης των προτύπων:

- *Euro 1 (1992)*

  Για επιβατικά οχήματα: Οδηγία 91/441/ΕΟΚ

  Για επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα: Οδηγία 93/59/ΕΟΚ

- *Euro 2 (1996)*

  Για επιβατικά οχήματα: Οδηγίες 94/12/ΕΚ και 96/69

  Για δίκυκλα και μοτοσικλέτες: Οδηγίες 2002/51/ΕΚ (Σειρά Α) και 2006/120/ΕΚ

- *Euro 3 (2000)*

  Για όλα τα οχήματα: Οδηγία 98/69/ΕΚ

  Για μοτοσυκλέτες: Οδηγίες 2002/51/ΕΚ (Σειρά Β) και 2006/120/ΕΚ

- *Euro 4 (2005)*

  Επέκταση προηγούμενων οδηγιών με την 98/69/ΕΚ και την 2002/80/ΕΚ

- *Euro 5 (2008/2009) & Euro 6 (2014)*

  Αφορά ελαφρά επιβατικά και επαγγελματικά οχήματα: Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 715/2007

- *Euro 7 Αναμένεται :* Συμφωνήθηκε το 2024 και θα τεθεί σε ισχύ το 2025-2026

1. Όρια Οχημάτων Εξαναγκαζόμενης Ανάφλεξης (Βενζινοκίνητα)							
Τροπολογία	Έτος Εισαγωγής	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					1/km
Euro 1	1992	2,72	-	0.97	-	-	
Euro 2	1996	2,2	-	0.5	-	-	
Euro 3	2000	2,3	0,2	-	0.15	-	
Euro 4	2005	1	0,1	-	0.08	-	
Euro 5	2009	1	0,1	-	0.06	0.005	
Euro 6	2014	1	0,1	-	0.06	0.005	$6.0x10^{11}$

2. Όρια Οχημάτων με Κινητήρες Ανάφλεξης Υπό Συμπίεση (Πετρελαιοκίνητα)							
Τροπολογία	Έτος Εισαγωγής	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					1/km
Euro 1	1992	2,72	-	0.97	-	0,14	-
Euro 2	1996	1	-	0.9	-	0,08	-
Euro 3	2000	0,64	-	0,56	0,5	0,05	-
Euro 4	2005	0,5	-	0,3	0,2	0,025	-
Euro 5	2009	05	-	0,23	0,18	0.005	$6.0x10^{11}$
Euro 6	2014	0,5	-	0,17	0.08	0.005	$6.0x10^{11}$

Table 2 Πρότυπα EURO για βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες *[4]*

Ο Κανονισμός (ΕΚ) 715/2007 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, που τέθηκε σε ισχύ τον Ιούνιο του 2007, αποτέλεσε σημαντικό σταθμό στην περιβαλλοντική πολιτική της ΕΕ, καθορίζοντας τα όρια εκπομπών για επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα με στόχο τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τον τομέα των μεταφορών.

Το πρότυπο Euro 7 αποτελεί την επόμενη φάση των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων από τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η υιοθέτησή του αντικατοπτρίζει την αυξανόμενη πίεση για μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την προσαρμογή στις κλιματικές προκλήσεις των επόμενων δεκαετιών. [25]

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα πρότυπα Euro, που επικεντρώνονταν κυρίως σε εκπομπές ρύπων όπως τα οξείδια του αζώτου (NOx), τα σωματίδια (PM), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οι

άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), το Euro 7 υιοθετεί μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση. Εισάγει για πρώτη φορά όρια όχι μόνο για τις εκπομπές καυσαερίων,περιορισμούς στα εξατμιστικά παράγωγα που βγαίνουν από τα ντεπόζιτα, αλλά και για τις μη εξατμιστικές εκπομπές, όπως φθορές από τα φρένα και τα ελαστικά που είναι σημαντικές πηγές μικροσωματιδίων ιδιαίτερα στα ηλεκτρικά οχήματα.

Κύρια σημεία του Euro 7:

1. Ενιαία πρότυπα για επιβατικά οχήματα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, ανεξαρτήτως τύπου καυσίμου.
2. Αυστηρότερα όρια για NOx (έως 60 mg/km) και σωματίδια (PM).
3. Μείωση εκπομπών από φθορές φρένων (PM10) και ελαστικών (TWEs – Tyre Wear Emissions).
4. Υποχρέωση μεγαλύτερης διάρκειας συμμόρφωσης: τα οχήματα πρέπει να πληρούν τα όρια για περισσότερα χιλιόμετρα (200.000 km ή 10 έτη λειτουργίας).
5. Επέκταση των μετρήσεων εκπομπών σε ρεαλιστικές συνθήκες οδήγησης (Real Driving Emissions – RDE).
6. Προετοιμασία για ψηφιακή παρακολούθηση των εκπομπών και ενσωμάτωση τεχνολογιών OBD (On-Board Diagnostics) επόμενης γενιάς.

Η αυτοκινητοβιομηχανία έχει εκφράσει ανησυχίες για το αυξημένο κόστος συμμόρφωσης και τις πιέσεις στον χρονικό ορίζοντα παραγωγής. Επίσης, υπάρχει ο προβληματισμός ότι οι επενδύσεις για την τήρηση του Euro 7 θα μπορούσαν να επιβραδύνουν τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση. Παρ' όλα αυτά, το Euro 7 αντιμετωπίζεται και ως μια ενδιάμεση γέφυρα προς την πλήρη απανθρακοποίηση του τομέα μεταφορών. [26]

Η εφαρμογή του Euro 7 αναμένεται να αποτελέσει σημαντικό καταλύτη για την επιτάχυνση της τεχνολογικής προόδου, είτε μέσω της βελτίωσης των συμβατικών κινητήρων είτε μέσω της προώθησης της ηλεκτροκίνησης.

Έκτακτοι και περιοδικοί έλεγχοι εκπομπών οχημάτων

Εκτός από τα ευρωπαϊκά πρότυπα που ορίζουν τα επιτρεπτά όρια εκπομπών για τα καινούρια οχήματα, κάθε κράτος μέλος εφαρμόζει και το δικό του θεσμικό πλαίσιο για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας των κυκλοφορούντων οχημάτων. Αυτοί οι εθνικοί έλεγχοι αποσκοπούν στο να επιβεβαιώνουν ότι τα οχήματα παραμένουν σε καλή τεχνική κατάσταση και δεν προκαλούν αυξημένη ρύπανση ή αποτελούν κίνδυνο για την οδική ασφάλεια, λόγω φθοράς από τη χρήση.

Στην Ελλάδα, όλα τα ιδιωτικής και δημόσιας χρήσης οχήματα (με εξαίρεση ειδικές κατηγορίες, όπως τα στρατιωτικά και των σωμάτων ασφαλείας) υπόκεινται σε τακτικούς τεχνικούς ελέγχους και ελέγχους καυσαερίων σε δημόσια ή ιδιωτικά Κέντρα Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων (ΚΤΕΟ).

Οι τεχνικοί έλεγχοι ξεκινούν τέσσερα χρόνια μετά την πρώτη κυκλοφορία ενός νέου οχήματος. Έπειτα, επαναλαμβάνονται κάθε δύο χρόνια για τα Ι.Χ. και ετησίως για τα Δ.Χ. οχήματα. Ο έλεγχος καυσαερίων, που συνοδεύεται από την έκδοση Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων (ΚΕΚ), πραγματοποιείται κάθε έτος.

Η θεσμοθέτηση του περιοδικού τεχνικού ελέγχου έγινε το 1992 με τον νόμο 2052/1992. Πριν από αυτό, οι έλεγχοι εκπομπών γίνονταν περιστασιακά από κινητές μονάδες του Υπουργείου Μεταφορών, κυρίως σε αστικά κέντρα, με δειγματοληπτική διαδικασία. Σήμερα, η Κάρτα Ελέγχου Καυσαερίων εκδίδεται μετά από σχετικό έλεγχο είτε από δημόσια και ιδιωτικά ΚΤΕΟ είτε από εξουσιοδοτημένα συνεργεία με σχετική πιστοποίηση του Υπουργείου Μεταφορών.[3]

Άλλες υποχρεώσεις των κατασκευαστών σχετικά με τις εκπομπές

Εκτός από την τήρηση των προβλεπόμενων οριακών τιμών εκπομπών, οι κατασκευαστές υποχρεούνται να διασφαλίζουν ότι τα συστήματα ελέγχου της ρύπανσης παραμένουν λειτουργικά για τουλάχιστον 160.000 χιλιόμετρα. Παράλληλα, πρέπει να είναι δυνατός ο έλεγχος της συμμόρφωσης για διάστημα έως και πέντε έτη ή 100.000 χιλιόμετρα, ανάλογα με το τι συμπληρώνεται πρώτο.

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία προβλέπει μια σειρά ειδικών διαδικασιών και δοκιμών, που αφορούν τα εξής:

1. Εκπομπές από την εξάτμιση, συμπεριλαμβανομένων των κύκλων δοκιμών, των εκπομπών σε ψυχρές συνθήκες, της λειτουργίας του κινητήρα στο ρελαντί, της θολότητας των καυσαερίων και της ορθής λειτουργίας των συστημάτων αναγέννησης.
2. Εξατμιζόμενες εκπομπές καυσίμου και εκπομπές από τον στροφαλοθάλαμο.
3. Τα ενσωματωμένα συστήματα διάγνωσης (OBD) και τη γενικότερη απόδοση των συστημάτων ελέγχου ρύπανσης κατά τη χρήση.
4. Την ανθεκτικότητα και αξιοπιστία των συστημάτων ελέγχου, τις προδιαγραφές ανταλλακτικών, τη συμμόρφωση στην παραγωγή και την αποτελεσματικότητα σε πραγματικές συνθήκες.
5. Εκπομπές CO_2 και κατανάλωση καυσίμου.
6. Ειδικές απαιτήσεις για υβριδικά οχήματα.
7. Επεκτάσεις εγκρίσεων τύπου και ελαφρύνσεις για μικρούς κατασκευαστές.
8. Προδιαγραφές για εξοπλισμό δοκιμών.
9. Τυποποιημένα καύσιμα αναφοράς (βενζίνη, πετρέλαιο, αέρια, βιοκαύσιμα).
10. Τον τρόπο μέτρησης της ισχύος του κινητήρα. [5]

ΚΥΚΛΟΙ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Για την περιγραφή και αξιολόγηση της λειτουργίας των οχημάτων, τόσο σε ποιοτικό όσο και σε ποσοτικό επίπεδο, χρησιμοποιούνται ειδικά μοντέλα που αναπαριστούν την κίνηση των οχημάτων σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Τα μοντέλα αυτά είναι γνωστά ως κύκλοι οδήγησης.

Μέσω των κύκλων οδήγησης είναι δυνατόν να αποδοθεί με ακρίβεια η οδηγική συμπεριφορά και να υπολογιστούν βασικά μεγέθη όπως η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές ρύπων. Με αυτόν τον τρόπο, παρέχονται πολύτιμα δεδομένα για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίπτωσης της οδικής κυκλοφορίας.

Οι κύκλοι οδήγησης βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, κυρίως για τον προσδιορισμό των ρύπων που εκπέμπονται από τα οχήματα, αλλά και για τον σχεδιασμό κινητήρων, την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την αξιολόγηση καυσίμων. Αποτελούν επίσης χρήσιμο εργαλείο για συγκριτικές μελέτες απόδοσης ανάμεσα σε διαφορετικά μοντέλα οχημάτων.

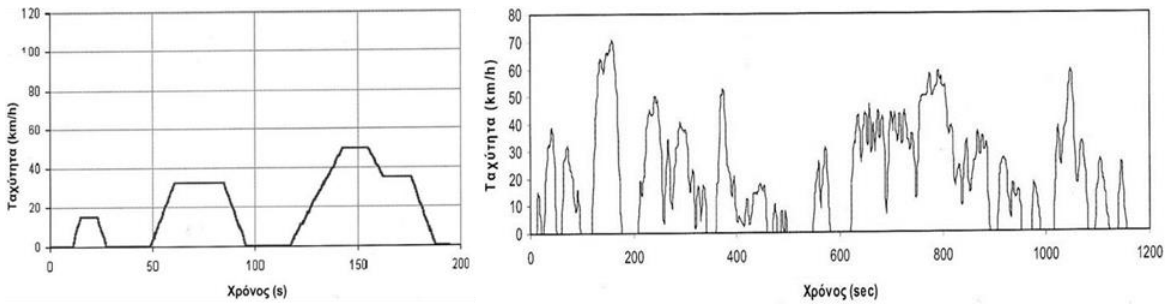
Καθώς οι τεχνολογίες των οχημάτων εξελίσσονται και γίνονται πιο περίπλοκες, αναδεικνύεται η ανάγκη για τη δημιουργία κύκλων οδήγησης που να αντανακλούν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Αυτοί οι πιο ρεαλιστικοί κύκλοι συμβάλλουν όχι μόνο στην ακριβέστερη μέτρηση των εκπομπών, αλλά και στη βελτιστοποίηση του ίδιου του σχεδιασμού των οχημάτων. [8]

Κατηγορίες κύκλων οδήγησης

Οι κύκλοι οδήγησης διακρίνονται σε δύο βασικές ομάδες, ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο σχεδιάζονται. Η πρώτη αφορά στους θεσμοθετημένους κύκλους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την έγκριση τύπου των οχημάτων. Τέτοιοι κύκλοι εφαρμόζονται σε διάφορες περιοχές του κόσμου, όπως στην Ευρώπη (NEDC: ECE R15 από το 1970 και EUDC από το 1990), στις Ηνωμένες Πολιτείες (FTP-75, Unified LA-92) και στην Ιαπωνία (Japan 10-15 mode).

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει κύκλους που αναπτύσσονται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς. Αυτοί βασίζονται σε δεδομένα που συλλέγονται από πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας, εξ ου και ο όρος “Real World”. Χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των εκπομπών ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμου υπό ρεαλιστικές συνθήκες. Παραδείγματα ανάπτυξης τέτοιων κύκλων αποτελούν φορείς όπως το γαλλικό Ινστιτούτο Μεταφορών INRETS ή διάφορα πανεπιστήμια.

Επιπλέον, ανάλογα με τη δομή και τη μεθοδολογία κατασκευής τους, οι κύκλοι αυτοί χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες. Οι «modal» κύκλοι βασίζονται σε προκαθορισμένες τιμές ταχύτητας, επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, και χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε διαδικασίες έγκρισης τύπου. [4]



Graph 4 Modal & Real world κύκλοι οδήγησης *[4]*

Ο πρώτος κύκλος δοκιμών που υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την έγκριση τύπου ήταν ο ECE15, ο οποίος αργότερα τροποποιήθηκε και εξελίχθηκε στον κύκλο EUDC. Η επόμενη φάση αυτής της εξέλιξης ήταν ο κύκλος NEDC, ο οποίος αποτελεί μια ακόμα αναθεώρηση του αρχικού ECE15, από την οποία αφαιρέθηκε η φάση των 40 δευτερολέπτων που αφορούσε την προθέρμανση του κινητήρα. Αυτή η τροποποίηση συνοδεύτηκε και από την αλλαγή της ονομασίας από EUDC σε NEDC.

Παρόλο που οι προσαρμογές αυτές αντιμετώπισαν ορισμένα από τα προβλήματα των προηγούμενων κύκλων, δεν κατόρθωσαν να εξασφαλίσουν μια ρεαλιστικότερη αποτύπωση των εκπομπών ρύπων κατά την οδήγηση.

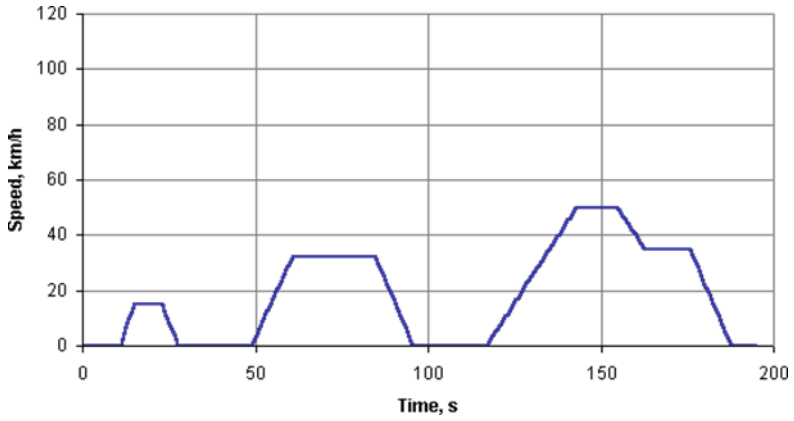
Ο κύκλος ECE-15 (UDC)

Το 1968, η Γερμανία εισήγαγε τα πρώτα νομικά μέτρα για τη μείωση της ρύπανσης που προερχόταν από τα οχήματα με κινητήρες ανάφλεξης, τα οποία τέθηκαν σε εφαρμογή την 1η Οκτωβρίου 1970. Προκειμένου να αποφευχθεί η υιοθέτηση διαφορετικών ρυθμιστικών πλαισίων από κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας, που θα υπονόμευε την ενιαία ευρωπαϊκή αγορά, τα κράτη μέλη συμφώνησαν σε ένα κοινό πλαίσιο μέσα από την Οδηγία 70/220/ΕΕC.

Αργότερα, την 1η Αυγούστου 1970, η Οικονομική Επιτροπή του ΟΗΕ για την Ευρώπη (UNECE) ενέκρινε τον Κανονισμό Νο 15, ο οποίος όριζε πρότυπα για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων και της

κατανάλωσης καυσίμου. Το ρυθμιστικό αυτό πλαίσιο υιοθετήθηκε επίσημα στην Ε.Ε. το 1983 μέσω της Οδηγίας 83/351/EEC και τροποποιήθηκε το 1988 με την Οδηγία 88/76/EEC.

Ο κύκλος ECE-15, όπως φαίνεται στην εικόνα , αποτελεί ένα πρότυπο για την προσομοίωση αστικής οδήγησης (Urban Driving Cycle). Περιλαμβάνει συνθήκες οδήγησης με χαμηλές ταχύτητες, περιορισμένο φορτίο κινητήρα και χαμηλές θερμοκρασίες καυσαερίων. Ο κύκλος αυτός εκτελείται τρεις φορές διαδοχικά.



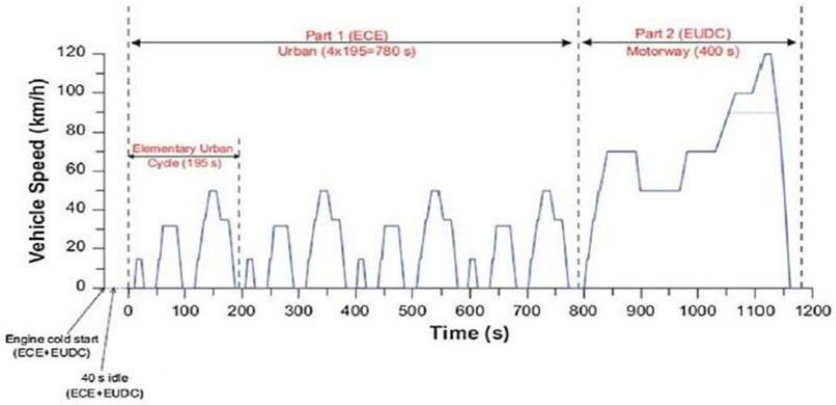
Graph5 Κύκλος ECE-15, *[Πηγή:dieselnet.com]*

Ο κύκλος ECE + EUDC

Ο συνδυαστικός κύκλος ECE + EUDC, γνωστός και ως MVEG-A, τέθηκε σε ισχύ από το 1992 με την Οδηγία 90/C81/01, παράλληλα με την υιοθέτηση του προτύπου EURO 1. Η μέτρηση των εκπομπών πραγματοποιείται σε δυναμομετρική εξέδρα, υπό ελεγχόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες (20–30 °C), αφού το όχημα παραμείνει αδρανές για τουλάχιστον έξι ώρες. Ακολουθεί μια περίοδος 40 δευτερολέπτων αδράνειας πριν ξεκινήσει η δοκιμή.

Η διαδικασία περιλαμβάνει τέσσερις συνεχόμενους κύκλους ECE, που αναπαριστούν συνθήκες αστικής κυκλοφορίας, και στη συνέχεια έναν κύκλο EUDC. Ο τελευταίος έχει σχεδιαστεί για να απεικονίζει συνθήκες υψηλότερης ταχύτητας και πιο απαιτητικής οδήγησης, φτάνοντας έως και τα 120 km/h. Για οχήματα χαμηλής ισχύος, προβλέπεται παραλλαγή του EUDC με μέγιστη ταχύτητα έως 90 km/h.

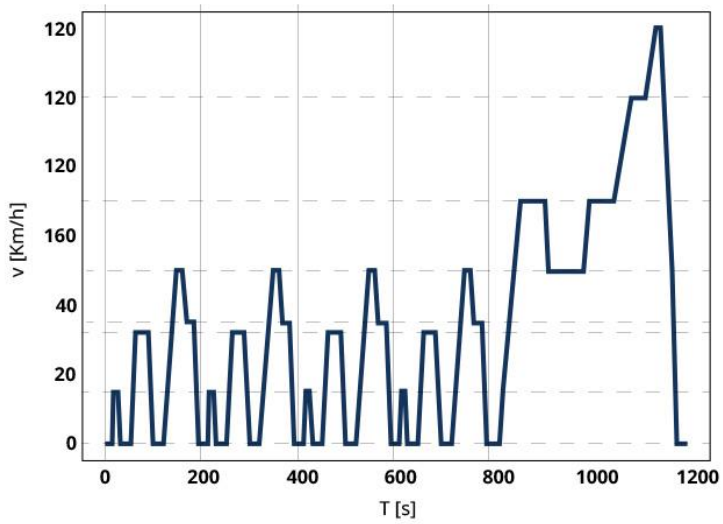
Η δειγματοληψία πραγματοποιείται με βάση την τεχνική σταθερού όγκου (Constant Volume Sampling – CVS), ενώ οι εκπομπές κάθε ρύπου καταγράφονται και παρουσιάζονται σε g/km.



Graph 6 Κύκλος οδήγησης ECE + EUDC *[4]*

Κύκλος NEDC+WLTP

Στις μέρες μας ενδεικτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τον ευρωπαϊκό κύκλο NEDC (New European Driving Cycle), τον πιο πρόσφατο WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure).



Graph 7 Κύκλος οδήγησης NEDC *[19]*

Τα πρωτόκολλα NEDC (New European Driving Cycle) και WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) αποτελούν τις δύο βασικές μεθόδους δοκιμής που χρησιμοποιούνται για την πιστοποίηση και έγκριση νέων οχημάτων στην ευρωπαϊκή αγορά. Κάθε νέο μοντέλο οχήματος που πρόκειται να κυκλοφορήσει εμπορικά στην Ευρώπη πρέπει να αξιολογηθεί βάσει αυτών των διαδικασιών, οι οποίες καθορίζουν με σαφήνεια τον τρόπο μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου και

των εκπομπών ρύπων.

Ο κύκλος NEDC εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1992 και αποτέλεσε το βασικό πρότυπο μέτρησης για περισσότερες από δύο δεκαετίες. Ωστόσο, από τον Σεπτέμβριο του 2017 ξεκίνησε η προοδευτική αντικατάστασή του με το πιο σύγχρονο και ρεαλιστικότερο πρωτόκολλο WLTP, το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό να αποτυπώνει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Το WLTP παρέχει πλησιέστερες στην καθημερινή χρήση τιμές κατανάλωσης και εκπομπών CO_2, προσφέροντας έτσι στους καταναλωτές πιο αξιόπιστες πληροφορίες.[19]

Για να αποφευχθεί η σύγχυση που θα μπορούσε να προκληθεί από τη συνύπαρξη των δύο διαφορετικών κύκλων μέτρησης, θεσπίστηκε μια μεταβατική περίοδος που επρόκειτο να διαρκέσει έως τον Ιανουάριο του 2021. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι αρμόδιες εθνικές αρχές είχαν τη δυνατότητα να εφαρμόζουν τιμές είτε βάσει του NEDC είτε του WLTP ή και των δύο ταυτόχρονα ανάλογα με την εθνική πολιτική, υπό την προϋπόθεση ότι όλοι οι κατασκευαστές ακολουθούσαν το ίδιο καθεστώς εντός κάθε χώρας.

Αξίζει να επισημανθεί ότι οι διαδικασίες ελέγχου και πιστοποίησης υπόκεινται στην εποπτεία των εθνικών φορέων έγκρισης τύπου, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη διασφάλιση της ορθής εφαρμογής των τυποποιημένων κύκλων οδήγησης.

Η σύγκριση μεταξύ των πρωτοκόλλων NEDC και WLTP αναδεικνύει τις σημαντικές διαφορές στον τρόπο αξιολόγησης της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών ρύπων στα σύγχρονα οχήματα. Η διάρκεια της δοκιμής στο πρωτόκολλο NEDC ανέρχεται στα 20 λεπτά, ενώ στο WLTP επεκτείνεται στα 30 λεπτά, γεγονός που επιτρέπει μια πιο αναλυτική αποτύπωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας του κινητήρα.

Η συνολική διανυόμενη απόσταση στο NEDC είναι 11 χιλιόμετρα, σε αντίθεση με τον WLTP, όπου το όχημα καλείται να καλύψει 23,25 χιλιόμετρα, προσομοιώνοντας πιο ρεαλιστικά τις καθημερινές συνθήκες οδήγησης. Επιπλέον, το NEDC περιλαμβάνει δύο φάσεις (αστική και υπεραστική), με την οδήγηση εντός πόλης να καταλαμβάνει το 66% της διαδρομής και εκτός πόλης το 34%. Αντίστοιχα, το WLTP περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις, από τις οποίες το 52% αφορά αστική κυκλοφορία και το 48% υπεραστική, διασφαλίζοντας μεγαλύτερη ποικιλομορφία στο προφίλ οδήγησης.

Αξιοσημείωτες είναι και οι διαφορές στην ταχύτητα. Η μέση ωριαία ταχύτητα στο NEDC περιορίζεται στα 34 χλμ./ώρα, ενώ στο WLTP αυξάνεται στα 46,5 χλμ./ώρα, προσεγγίζοντας

περισσότερο την πραγματική οδική συμπεριφορά. Η μέγιστη ταχύτητα φτάνει τα 120 χλμ./ώρα στο NEDC και τα 131 χλμ./ώρα στο WLTP.

Μια ακόμη σημαντική διαφοροποίηση εντοπίζεται στη διαχείριση του εξοπλισμού. Στο παλαιότερο πρωτόκολλο, η κατανάλωση και οι εκπομπές υπολογίζονται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο προαιρετικός εξοπλισμός. Αντίθετα, το WLTP αξιολογεί ξεχωριστά κάθε εξοπλιστική έκδοση, προσφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.

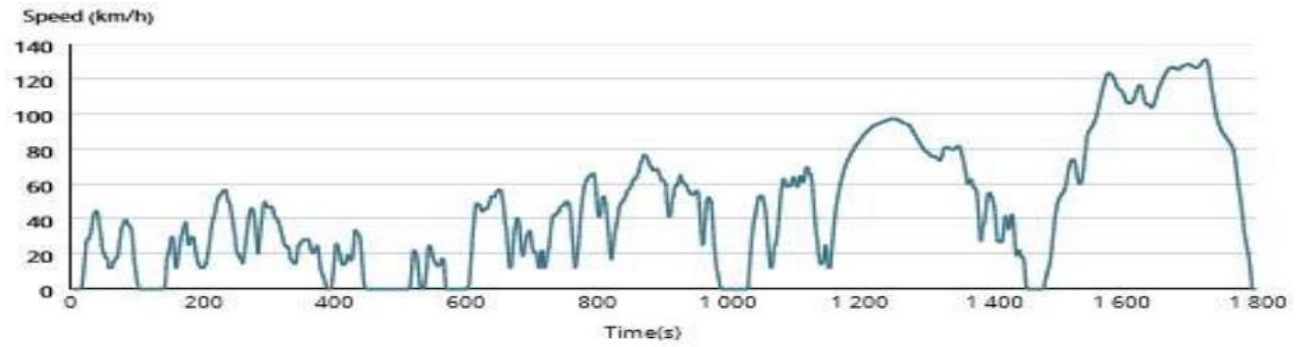
Όσον αφορά τις χειροκίνητες μεταδόσεις, στο NEDC οι αλλαγές ταχυτήτων είναι προκαθορισμένες και δεν αντικατοπτρίζουν τις επιλογές του οδηγού. Αντίθετα, το WLTP επιτρέπει την προσαρμογή των αλλαγών ταχυτήτων ανάλογα με το μοντέλο του οχήματος, γεγονός που οδηγεί σε πιο αντιπροσωπευτικές μετρήσεις.

Οι θερμοκρασιακές συνθήκες κατά τη διάρκεια των δοκιμών επίσης διαφέρουν: στο NEDC οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε περιβάλλον με θερμοκρασίες μεταξύ 20°C και 30°C, ενώ στο WLTP οι μετρήσεις γίνονται αρχικά στους 23°C και στη συνέχεια στους 14°C, ειδικά για τον υπολογισμό των εκπομπών CO_2.

Πλήθος ερευνών έχει καταδείξει ότι τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των κύκλων δοκιμών στην έγκριση τύπου δεν αντανακλούν με ακρίβεια τις πραγματικές συνθήκες χρήσης των οχημάτων.

Ως συνέπεια, οι τιμές εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου που προκύπτουν από αυτές τις δοκιμές παρουσιάζονται συχνά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες στην καθημερινή οδήγηση.

Με σκοπό την ανάπτυξη ενός πιο ρεαλιστικού, δυναμικού και διεθνώς εναρμονισμένου κύκλου δοκιμών, σχεδιάστηκε ο WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle), ο οποίος αφορά οχήματα ελαφριάς κατηγορίας. [11]



Graph 8 Κύκλος οδήγησης WLTP *[4]*

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το WLTP αναπτύχθηκε βάσει πραγματικών δεδομένων οδήγησης, τα οποία συγκεντρώθηκαν από διάφορες περιοχές του κόσμου, με στόχο την καλύτερη αναπαράσταση των καθημερινών αναγκών του οδηγού. Έτσι, οι εκπομπές ρύπων που προσδιορίζονται μέσω WLTP είναι πιο αξιόπιστες και συγκρίσιμες σε διεθνές επίπεδο. Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή του προτύπου ενδέχεται να διαφοροποιείται ανάλογα με τις ρυθμιστικές απαιτήσεις κάθε χώρας ή γεωγραφικής περιοχής.

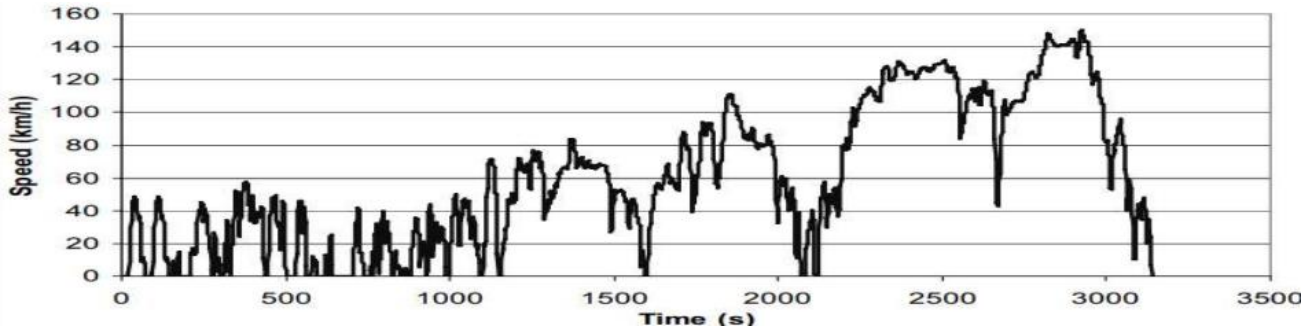
Κριτήριο Σύγκρισης	NEDC (New European Driving Cycle)	WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure)
Έτος εφαρμογής	1992	2017 (σταδιακή αντικατάσταση του NEDC)
Διάρκεια δοκιμής	~20 λεπτά	~30 λεπτά
Συνολική διανυόμενη απόσταση	11 χλμ.	23,25 χλμ.
Φάσεις οδήγησης	2 (Αστική 66%, Υπεραστική 34%)	4 (Αστική 52%, Υπεραστική 48%)
Μέση ταχύτητα	34 χλμ./ώρα	46,5 χλμ./ώρα
Μέγιστη ταχύτητα	120 χλμ./ώρα	131 χλμ./ώρα
Εξοπλισμός (επιρροή στην κατανάλωση/εκπομπές)	Δεν λαμβάνεται υπόψη	Κάθε έκδοση αξιολογείται ξεχωριστά
Αλλαγές ταχυτήτων (χειροκίνητα κιβώτια)	Προκαθορισμένες	Προσαρμόζονται στο μοντέλο οχήματος
Θερμοκρασία περιβάλλοντος στη δοκιμή	20°C – 30°C	23°C (δοκιμή) & 14°C (CO_2)
Βάση δεδομένων σχεδιασμού	Θεωρητικά προφίλ οδήγησης	Πραγματικά δεδομένα από παγκόσμιο δείγμα
Ρεαλιστικότητα αποτελεσμάτων	Περιορισμένη	Αυξημένη – πιο ρεαλιστική
Διεθνής συγκρισιμότητα	Περιορισμένη	Υψηλή (προσαρμοσμένο σε κάθε χώρα)

Table 3 Συγκριτικός πίνακας πρωτοκόλλων NEDC & WLTP

Artemis -Common Artemis Driving Cycle (CADC)

Ο συγκεκριμένος κύκλος βασίζεται σε στατιστική επεξεργασία εκτεταμένων δεδομένων από πραγματικές συνθήκες οδήγησης, τα οποία προήλθαν από τη βάση δεδομένων του ερευνητικού προγράμματος DRIVE-MODEM. Η συλλογή των στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε 58 ιδιωτικά οχήματα σε τρεις ευρωπαϊκές χώρες: Γαλλία, Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο. Πρόκειται για έναν από τους πρώτους και πλέον καθοριστικούς κύκλους δοκιμών σε πραγματικές συνθήκες (real-world), ο οποίος, παρά τις τροποποιήσεις που έχουν εφαρμοστεί με την πάροδο των ετών, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης οχημάτων.

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την ανάπτυξή του αποτέλεσε επίσης το θεμέλιο για τη δημιουργία των νέων κύκλων RDE (Real Driving Emissions), οι οποίοι πλέον έχουν θεσμοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως βασικό στοιχείο της διαδικασίας έγκρισης τύπου. [4]



Graph 9 Κύκλος οδήγησης Artemis *[4]*

Οι κύκλοι δοκιμών Artemis δεν χρησιμοποιούνται για επίσημη πιστοποίηση εκπομπών ρύπων ή κατανάλωσης καυσίμου. Παρ' όλα αυτά, οι κατασκευαστές οχημάτων τους αξιοποιούν ως εργαλείο για να κατανοήσουν καλύτερα τη συμπεριφορά των αυτοκινήτων τους σε ρεαλιστικές συνθήκες οδήγησης και να εκτιμήσουν την πραγματική τους απόδοση.

Οι κύκλοι αυτοί προέκυψαν μέσα από μια εκτενή στατιστική ανάλυση, η οποία πραγματοποιήθηκε στην Ευρώπη στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος Artemis. Η δομή τους περιλαμβάνει τρεις βασικές κατηγορίες: τον αστικό κύκλο, τον αγροτικό και εκείνον του αυτοκινητοδρόμου με ταχύτητα έως 130 km/h. Επιπλέον, υπάρχει και μία παραλλαγή για οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο με ταχύτητα 150 km/h.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι δοκιμές έγκρισης τύπου διεξάγονταν βάσει του κύκλου NEDC, ενώ στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν από τον πιο εξελιγμένο κύκλο WLTC. Από το 2017 και έπειτα,

εφαρμόζεται σταδιακά η μεθοδολογία RDE (Real Driving Emissions), η οποία περιλαμβάνει μετρήσεις εκπομπών ρύπων εκτός εργαστηριακού περιβάλλοντος, σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

Βασικός στόχος όλων αυτών των μεταρρυθμίσεων είναι η προσέγγιση των τιμών εκπομπών που καταγράφονται κατά τη δοκιμή, όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Κύκλος οδήγησης Αθήνας (Ελλάδα)

Η συλλογή δεδομένων για την ανάπτυξη αυτού του κύκλου έγινε με τη μέθοδο chase car, εξοπλίζοντας επιβατικά οχήματα διαφορετικού κυβισμού με GPS, OBDII, επιταχυνσιόμετρο και ένα lap-top να τα συγχρονίζει. Δεδομένα πραγματικής οδήγησης συλλέγονταν επί δύο χρόνια από σχεδόν το συνολικό οδικό δίκτυο της Αθήνας, κατά την διάρκεια και των εφτά ημερών της εβδομάδας, όλες τις ώρες της ημέρας.

Για τη στατιστική ανάλυση των καταγεγραμμένων παραμέτρων αναπτύχθηκε ειδικό λογισμικό και ως εκ τούτου ο πρώτος κύκλος οδήγησης για την Αθήνα (Athens Driving Cycle- ADC διαμορφώθηκε με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Η διάρκεια του κύκλου είναι 1160 δευτερόλεπτα, η συνολική απόσταση είναι 6512 μέτρα, η μέση ταχύτητα είναι 20,21 km/h και η μέγιστη ταχύτητα είναι 70,86 km/h. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του ADC και την μέτρηση εκπομπών ρύπων. [18]

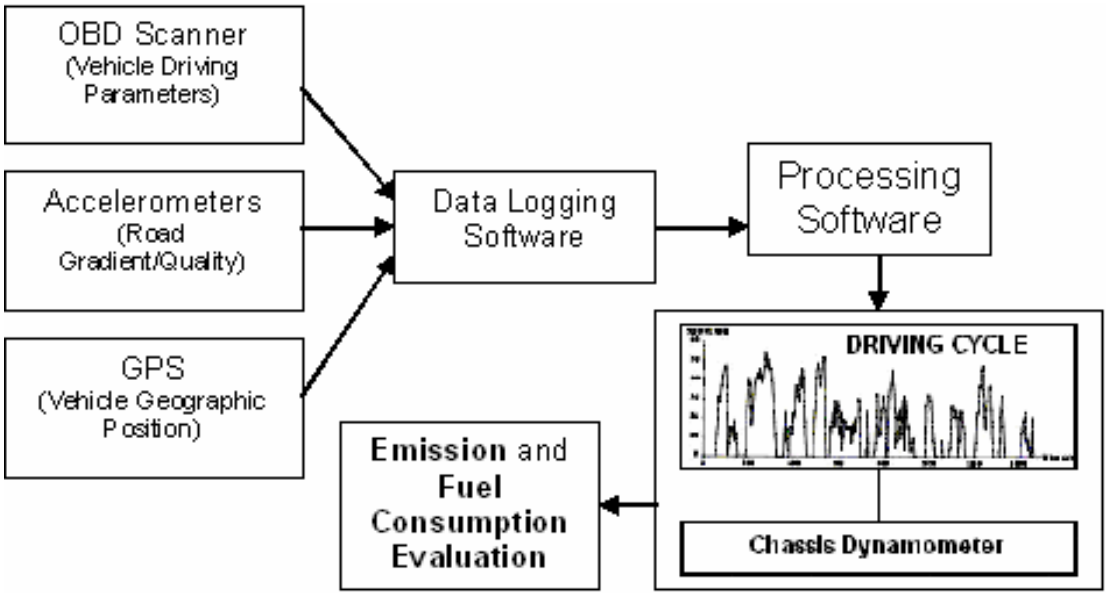
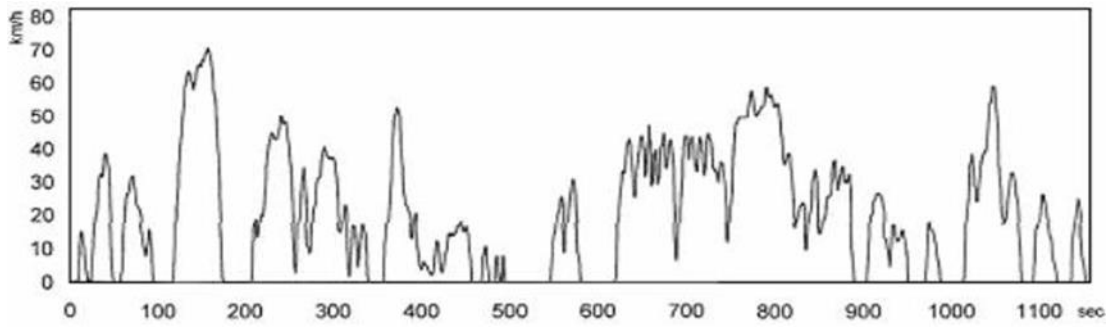


Image 7 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας που υιοθετήθηκε για την ανάπτυξη του ADC και τη μέτρηση των εκπομπών, *[Πηγή:Tzirakis, etal. 2006]*

Η απόσταση του κύκλου οδήγησης που πρόκειται να αναπτυχθεί για μια συγκεκριμένη περιοχή, πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική με αυτή που καλύπτουν συνήθως τα οχήματα σε αυτή την πόλη. Η απόσταση που επιλέχθηκε για την ανάπτυξη του ADC είναι ίση με το μέσο μήκος διαδρομής ανά ψυχρή εκκίνηση που καλύπτουν τα οχήματα στην Αθήνα, δηλαδή τα 6,9 km. Στην προκειμένη περίπτωση η απόσταση μειώθηκε κατά 5% αφενός διότι υπήρξαν καταγραφές και εκτός της αστικής περιοχής, όπου αναπτύσσονται μεγαλύτερες ταχύτητες και αφετέρου γιατί ο κύκλος πρέπει να έχει χρονική διάρκεια συγκρίσιμη με τον ευρωπαϊκό κύκλο EDC.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία από ειδικό λογισμικό λαμβάνοντας υπόψη τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά του λεκανοπεδίου (π.χ κλίση του δρόμου) αλλά και άλλες σχετικές μελέτες. Επιπλέον, ακραίες τιμές πολύ υψηλής ταχύτητας αφαιρέθηκαν. Ο κύκλος αποτελείται από 16 φάσεις. Τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα εξής: Μεγάλο ποσοστό του χρόνου στον κύκλο καταλαμβάνει ο χρόνος αδράνειας (δηλαδή στάση και μηχανή στο ρελαντί), υπάρχουν έντονες αυξομειώσεις ταχύτητας και σχεδόν καθόλου πορεία με σταθερή ταχύτητα. Τα παραπάνω καταδεικνύουν έναν επιθετικό τρόπο οδήγησης μέσα στην πόλη.



Graph 10 Κύκλος οδήγησης ADC (Athens driving Cycle) *[18]*

Αφού δημιουργήθηκε ο κύκλος, χρησιμοποιήθηκε σε δυναμομετρική εξέδρα ώστε να μετρηθούν οι εκπομπές ρύπων HC, CO, CO2, NOx (g km^{-1}) καθώς και η κατανάλωση καυσίμου σε (L/100 km) σε οχήματα διαφορετικού κυβισμού (1,6 L /2 L / 2,4 L). Για λόγους σύγκρισης εκπονήθηκε και ο κύκλος NEDC στην εξέδρα και για τα τρία οχήματα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο κύκλων και στις εκπομπές ρύπων και στην κατανάλωση καυσίμου.

Δυναμομετρική Εξέδρα Πλαισίου (Chassis Dynamometer)

Για την αξιολόγηση των ελαφρών οχημάτων σε ελεγχόμενες συνθήκες, συχνά χρησιμοποιείται η δυναμομετρική εξέδρα πλαισίου. Πρόκειται για μια εξειδικευμένη συσκευή που επιτρέπει την προσομοίωση της οδικής συμπεριφοράς του οχήματος, εφαρμόζοντας αντίσταση στους τροχούς μέσω κυλίνδρων. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η μελέτη παραμέτρων όπως η κατανάλωση καυσίμου, οι εκπομπές ρύπων και η απόδοση. Κατά την διάρκεια των δοκιμών οι τροχοί του οχήματος έρχονται σε επαφή με τους κυλίνδρους της εξέδρας. Η αντίσταση που εφαρμόζεται εξομοιώνει τις πραγματικές συνθήκες κίνησης με σκοπό ην αναπαραγωγή ενός κύκλου οδήγησης. Παράλληλα συλλέγονται καυσαέρια τα οποία αναλύονται με τη μέθοδο “Constant Volume Sampling” , ώστε να προσδιοριστούν οι ποσότητες των ρύπων ανά χιλιόμετρο. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του οχήματος, αλλά και από διάφορους παράγοντες όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και η μορφολογία του δρόμου.

Η χρήση της δυναμομετρικής εξέδρας είναι θεμελιώδους σημασίας για την έγκριση τύπου των οχημάτων. Για την διαδικασία αυτή απαιτείται η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της ευρωπαϊκής νομοθεσίας και πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες συνθήκες φορτίου , γνωστές ως κύκλοι οδήγησης. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της δοκιμής οι εξέδρες μπορεί να είναι δύο ειδών : με σταθερή καμπύλη φορτίου ή με ρυθμιζόμενη καμπύλη φορτίου. Η πρώτη περίπτωση αναπαριστά μία τυπική αντίσταση, ενώ η δεύτερη επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια προσαρμόζοντας την αντίσταση ανάλογα με τις συνθήκες κίνησης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η σταθερότητα της απόδοσης τηε εξέδρας με την πάροδο του χρόνου, καθώς και η αποφυγή δονήσεων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη λειτουργία του οχήματος και να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα της μέτρησης. [3]

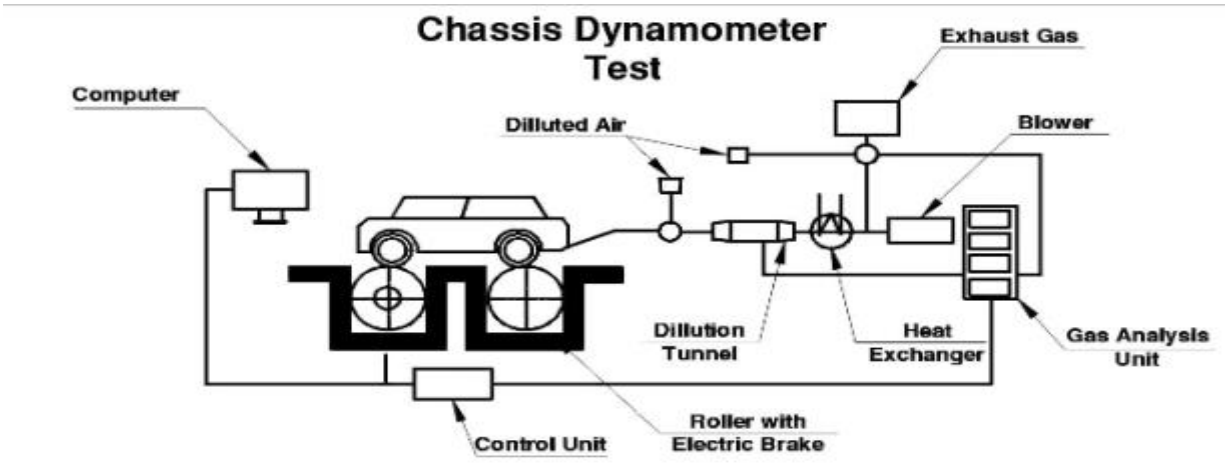


Image 8 Δυναμομετρική εξέδρα διάγραμμα, *[Πηγή:IQSdirectory]*

Διαδικασία RDE

Η συνεχώς αυξανόμενη παρουσία οχημάτων στους δρόμους έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, επηρεάζοντας αρνητικά τόσο το κλίμα όσο και την ποιότητα του αέρα. Αυτός είναι και ο λόγος που δίνεται πλέον ιδιαίτερη βαρύτητα στη μέτρηση των εκπομπών καυσαερίων. Τα επιβατικά και επαγγελματικά οχήματα υποβάλλονται σε ελέγχους εκπομπών όχι μόνο σε εργαστήρια, αλλά και σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης, με στόχο τη μείωση ρύπων όπως τα οξείδια του αζώτου και τα αιωρούμενα σωματίδια, στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών στόχων.

Για τις δοκιμές RDE, τα οχήματα εξοπλίζονται με το σύστημα PEMS και καταγράφονται μετρήσεις για ρύπους όπως το οξείδιο του αζώτου (NOx), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και ο αριθμός σωματιδίων (PN). Οι δοκιμές πραγματοποιούνται τόσο σε κυλινδρικό δυναμόμετρο όσο και σε πραγματικές διαδρομές. Κατά τη διάρκεια της κίνησης, συλλέγονται δεδομένα μέσω αισθητήρων και του PEMS, επιτρέποντας τον συσχετισμό των συνθηκών οδήγησης με τις εκπομπές του οχήματος με μεγάλη ακρίβεια. [20]

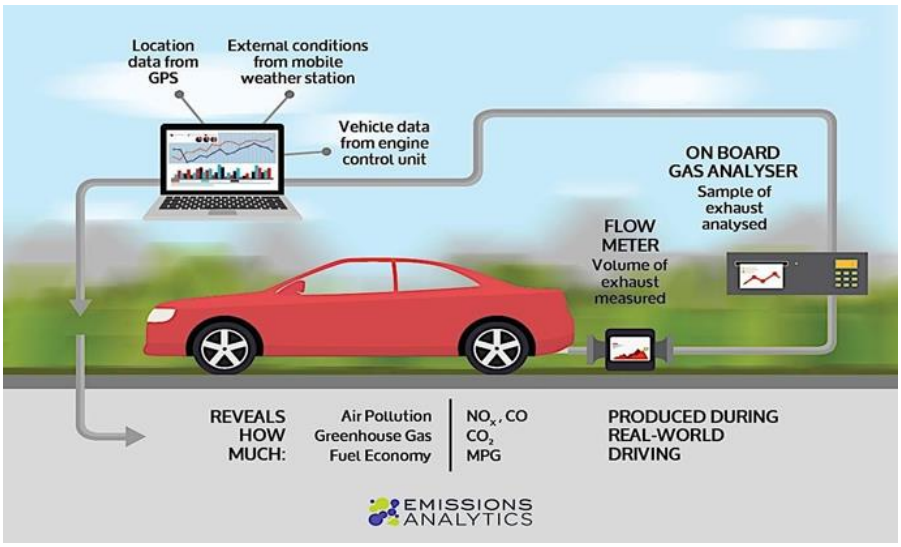


Image 9 Μετρήσεις PEMS *[20]*

Η τεχνολογία PEMS (Portable Emissions Measurement System), ένα σύστημα φορητής μέτρησης εκπομπών που τοποθετείται στα οχήματα και επιτρέπει την καταγραφή των καυσαερίων κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες. Η μέθοδος αυτή εντάσσεται στη διαδικασία RDE (Real Driving Emissions), η οποία έχει θεσπιστεί για να αντικατοπτρίζει τις πραγματικές εκπομπές των οχημάτων σε δημόσιους δρόμους.

Βασικοί παράγοντες διαμόρφωσης κύκλων οδήγησης

Για την κατασκευή ενός αντιπροσωπευτικού κύκλου οδήγησης είναι απαραίτητη η συλλογή και ανάλυση μιας σειράς χαρακτηριστικών μεγεθών, τα οποία καταγράφονται με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής πορείας του υπό εξέταση οχήματος. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά υποβάλλονται σε στατιστική επεξεργασία, ώστε να εξαχθούν τα απαραίτητα πρότυπα. [8]

Καθώς τα χρόνια περνούσαν και οι ανάγκες των κύκλων οδήγησης διαφοροποιούνταν, άλλαζαν και οι παράμετροι που θεωρούνταν ουσιώδεις για τον προσδιορισμό τους. Νέα κριτήρια προστίθενται ενώ κάποια παλαιότερα έχαναν τη σημασία τους και εγκαταλείπονταν.

Από το 1973, όταν οι Kruse και Huls πρότειναν τα πρώτα σχετικά χαρακτηριστικά, έως το 1996, οπότε ο Andre κατέγραψε τις σημαντικότερες, καθιερώθηκαν οι εξής βασικές παράμετροι:

- η συνολική διάρκεια του κύκλου
- η μέση ταχύτητα
- η τυπική απόκλιση της επιτάχυνσης
- η θετική κινητική ενέργεια
- το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο το όχημα παραμένει ακινητοποιημένο
- ο αριθμός στάσεων ανά χιλιόμετρο
- η μέση ταχύτητα εξαιρουμένων των στάσεων
- η μέση επιτάχυνση
- η μέση επιβράδυνση
- η μέση διάρκεια των φάσεων κίνησης
- ο μέσος αριθμός εναλλαγών επιτάχυνσης και επιβράδυνσης
- η κατανομή της ταχύτητας
- η κατανομή της επιτάχυνσης
- η κατανομή της επιβράδυνσης

Σε μεταγενέστερες μελέτες, χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον δείκτες, όπως η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα, οι διακυμάνσεις της ταχύτητας, η σχετική θετική επιτάχυνση (Relative Positive Acceleration – RPA), καθώς και το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της επιτάχυνσης, για την αποτίμηση της δυναμικής συμπεριφοράς του οχήματος.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων

Αυτό το μέρος της εργασίας επικεντρώνεται στη μεθοδολογία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, περιγράφοντας τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τη διαδικασία επεξεργασίας των πληροφοριών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρείς διαφορετικές διαδρομές εντός του αστικού ιστού της Αττικής, αποφέροντας αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, συνοδευόμενα από πίνακες και γραφήματα.

Βασικός στόχος των μετρήσεων και της επεξεργασίας τους ήταν η αποτύπωση ενός ρεαλιστικού προφίλ της κυκλοφοριακής ταχύτητας στην περιοχή της Αττικής.

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν 28/08/2024 και διακόπηκαν 23/09/2024, με διάρκεια τεσσάρων εβδομάδων. Οι μέρες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν Δευτέρα, Τετάρτη και Σάββατο, με δύο μετρήσεις για κάθε ημέρα, μία σε πρωινή ώρα κατά τις 6 το πρωί και μία μεσημεριανή ανάμεσα στο χρονικό διάστημα 15:00-17:00, που θεωρούνται ώρες αιχμής ειδικά οι μεσημεριανές ώρες.

Τα δρομολόγια που χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη των μετρήσεων ήταν με γνώμονα τις μέρες και τις ώρες που χρησιμοποιούσα το όχημα καταγραφής για να προσέλθω και να αποχωρήσω από την εργασία μου. Για αυτό το λόγο έχουμε τρείς διαφορετικές διαδρομές, μία για κάθε ημέρα που αναφέραμε παραπάνω.

Όλες οι διαδρομές είχαν αφετηρία και τερματισμό την ίδια διεύθυνση, απλά ο προορισμός ήταν διαφορετικός για την κάθε ημέρα. Παρακάτω θα παραθέσω τους χάρτες με τις τρείς διαφορετικές διαδρομές που πραγματοποίησα.

Για τις μετρήσεις της Δευτέρας, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διαδρομή:

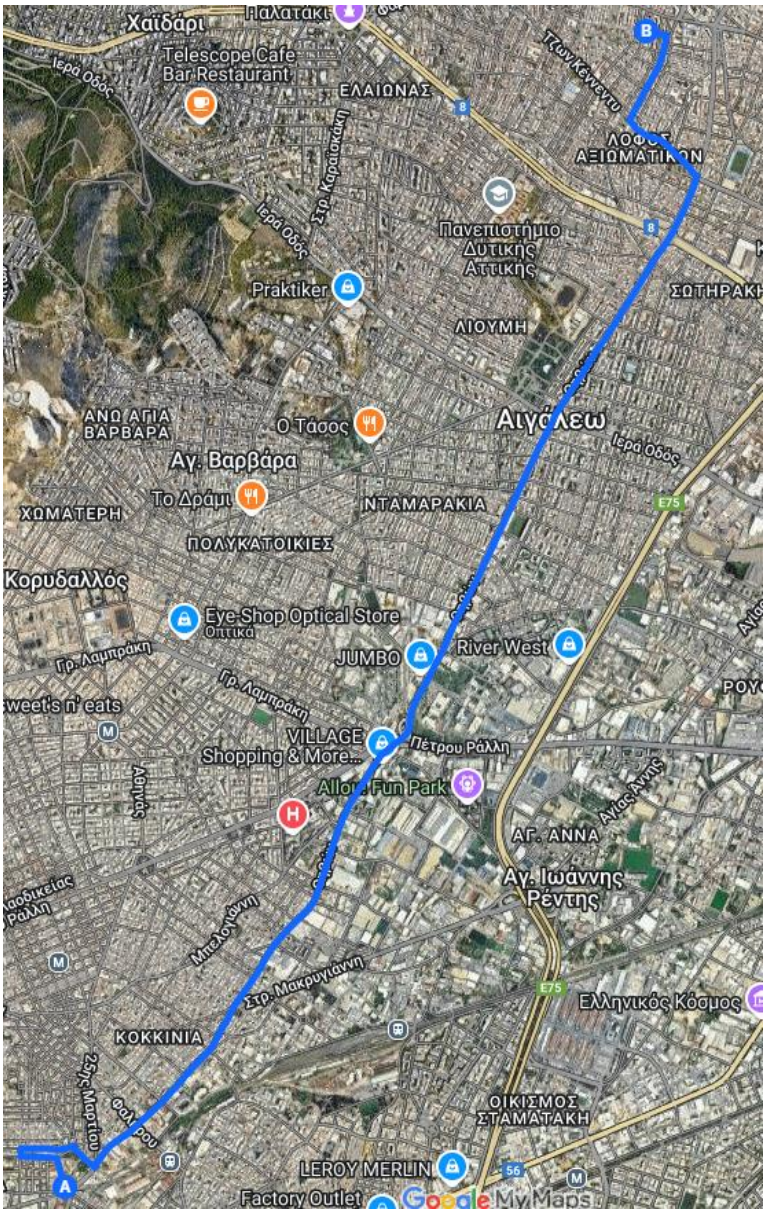


Image 10 Διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της Δευτέρας , *[Πηγή:Google maps]*

Η παραπάνω διαδρομή είχε απόσταση 8.3 χιλιόμετρα με μέσο όρο 25 λεπτά οδήγησης.

Για τις μετρήσεις της Τετάρτης, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διαδρομή:

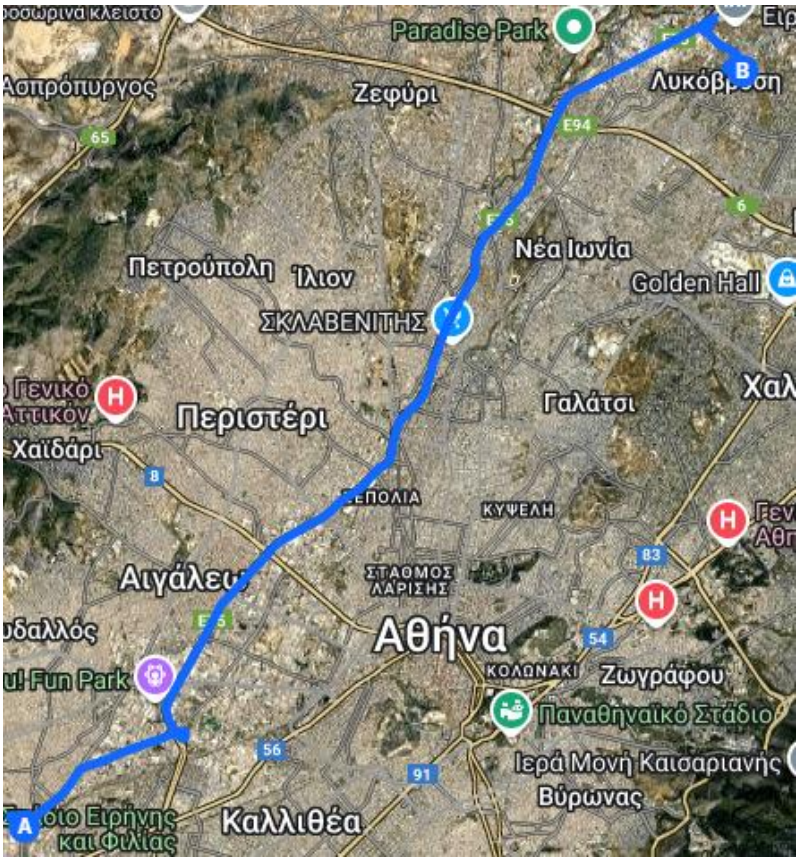


Image 11 Διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της Τετάρτης, *[Πηγή:Google maps]*

Η παραπάνω διαδρομή είχε απόσταση 21.7 χιλιόμετρα με μέσο όρο 40 λεπτά οδήγησης.

Για τις μετρήσεις του Σαββάτου, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διαδρομή:

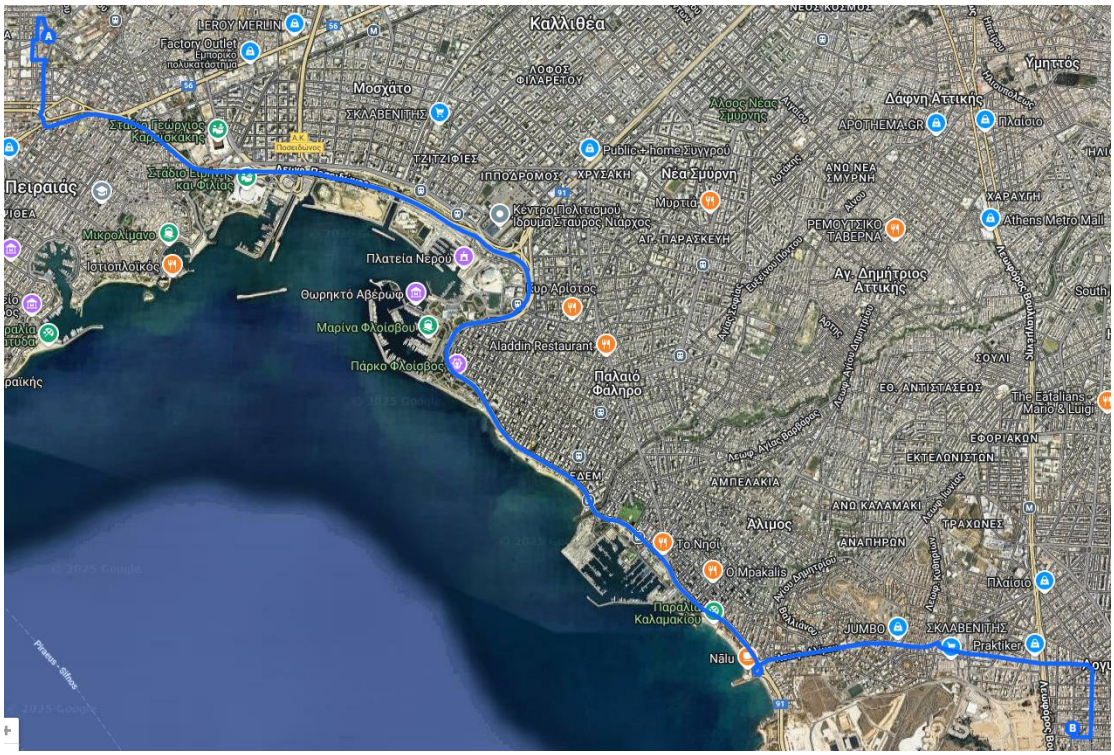


Image 12 Η διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του Σαββάτου, *[Πηγή:Google maps]*

Η παραπάνω διαδρομή είχε απόσταση 14.7 χιλιόμετρα με μέσο όρο 30 λεπτά οδήγησης.

Όχημα καταγραφής



Image 13 Όχημα καταγραφής

Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των δεδομένων είναι ένα ελαφρύ επαγγελματικό όχημα. Συγκεκριμένα, το μοντέλο H1(2000) της εταιρείας Hyundai. Κατατάσσεται στην κατηγορία LCV (Light Commercial Vehicle.

Κύλινδροι	4
Αριθμός βαλβίδων ανά κύλινδρο	1
Μέγιστη ισχύς σε στροφές (rpm)	4500
Μέγιστη ροπή(Nm)	181
Μέγιστη ταχύτητα(km/h)	155
Κατανάλωση καυσίμου-μικτό κύκλο(l/100km)	12.5
Κιβώτιο Ταχυτήτων	5 ταχύτητες
Βάρος(kg)	1765
Εκπομπές CO_2(gr/km)	298

Table 4 Τεχνικά χαρακτηριστικά οχήματος καταγραφής

Συσκευή συλλογής δεδομένων

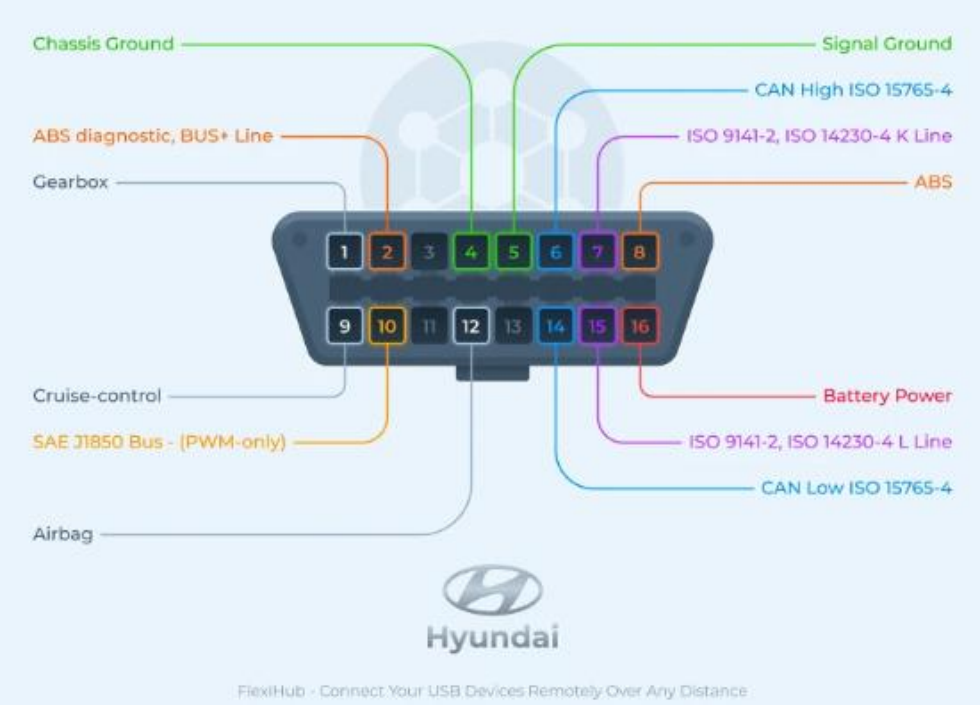


Image 14 Θύρα OBD Hyundai , *[Πηγή:Flexihub]*

Στις μέρες μας, κάθε αυτοκίνητο που κυκλοφορεί στις αγορές της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών πρέπει, βάσει νομοθεσίας, να είναι εξοπλισμένο με το σύστημα OBD (On-Board Diagnostics). Το σύστημα αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση βασικών λειτουργικών δεδομένων του οχήματος. Η πρώτη του εφαρμογή επιβλήθηκε στην Καλιφόρνια το 1988, κυρίως για την εποπτεία των εκπομπών ρύπων. Ωστόσο, η καθιέρωση ενιαίου πρωτοκόλλου για όλους τους κατασκευαστές ξεκίνησε το 1996 στις ΗΠΑ και επεκτάθηκε στην Ευρώπη το 2001 για τα βενζινοκίνητα και το 2004 για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Τα οχήματα που υποστηρίζουν το πρότυπο OBD II διαθέτουν μια ειδική θύρα, γνωστή ως DLC (Data Link Connector), η οποία περιλαμβάνει 16 ακροδέκτες και συνδέεται άμεσα με την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECM). Συνήθως, η θύρα αυτή βρίσκεται κάτω από τον πίνακα οργάνων, κοντά στον οδηγό. Για να αξιοποιηθεί το OBD, απαιτείται η σύνδεση με εξωτερική μονάδα καταγραφής, όπως υπολογιστής, GPS ή έξυπνο κινητό.

Ο ασύρματος σαρωτής OBDII με σύνδεση Bluetooth αποτελεί ένα πρακτικό εργαλείο διάγνωσης, το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με συσκευές Android, tablet ή υπολογιστές με Windows. Επιτρέπει την ασφαλή και εύκολη ανίχνευση κωδικών σφαλμάτων του κινητήρα, την προβολή και καταγραφή δεδομένων και επιδόσεων του οχήματος σε πραγματικό χρόνο, καθώς και τη διεξαγωγή ελέγχων ετοιμότητας για εκπομπές ρύπων. Παρέχει τη δυνατότητα ανάγνωσης και διαγραφής

διαγνωστικών κωδικών (DTC) και μπορεί να απενεργοποιήσει την ένδειξη Check Engine. Συνδέεται με Android συσκευές μέσω εφαρμογών που διατίθενται δωρεάν ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω Bluetooth και με υπολογιστή. Κατά την οδήγηση, εμφανίζει σε πραγματικό χρόνο δεδομένα λειτουργίας του οχήματος, παραμέτρους απόδοσης και γραφήματα. Είναι συμβατό με την πλειονότητα των οχημάτων που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο OBDII.



Image 15 Συσκευή καταγραφής OBD Bluetooth, *[1], [2]*

Πρόκειται για ιδιαίτερα προσιτά οικονομικά εργαλεία, ειδικά σε σύγκριση με πιο προηγμένα διαγνωστικά συστήματα. Ωστόσο, η λειτουργικότητά τους είναι πιο περιορισμένη. Δεν επιτρέπουν, για παράδειγμα, καμία άμεση παρέμβαση στον εγκέφαλο του οχήματος, παρά μόνο την ανάγνωση και διαγραφή διαγνωστικών κωδικών σφαλμάτων και την πρόσβαση σε δεδομένα από αισθητήρες.

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα ανήκει σε αυτή την κατηγορία και είναι το μοντέλο OBD-II ELM327. Ο μικρός αυτός διαγνωστικός προσαρμογέας (scantool) συνδέεται στην υποδοχή OBD του οχήματος και μπορεί να πραγματοποιήσει τις εξής διαγνωστικές λειτουργίες:

- Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου
- Εμφάνιση ταχύτητας λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο
- Μέτρηση πίεσης λαδιού
- Ένδειξη θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού
- Προβολή θέσης γκαζιού, τιμών αισθητήρων οξυγόνου, θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής και πολλών ακόμη παραμέτρων

Για την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα απλό smartphone με λειτουργικό σύστημα Android, το οποίο, παρότι δεν ήταν ειδικά σχεδιασμένο για τέτοιου είδους εφαρμογές, παρείχε ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Η συσκευή OBDII μετέδιδε τις πληροφορίες μέσω σύνδεσης Bluetooth στο κινητό, όπου και καταγράφονταν με τη βοήθεια κατάλληλης εφαρμογής. Το κινητό αξιοποιούσε τόσο το GPS όσο και τους ενσωματωμένους αισθητήρες του, προσφέροντας έτσι ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης. Επιπλέον, καταγραφόταν και η ακριβής ημερομηνία και ώρα κάθε μέτρησης.

Εφαρμογή καταγραφής δεδομένων(Torque)

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή **Torque Pro**, μια προηγμένη έκδοση λογισμικού διάγνωσης οχημάτων μέσω OBDII. Η εφαρμογή συνδέεται ασύρματα με το διαγνωστικό σύστημα του οχήματος μέσω Bluetooth και αντλεί σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα που επιλέγει ο χρήστης, τα οποία προβάλλονται στην οθόνη της κινητής συσκευής. Επιπλέον, προσφέρει δυνατότητα χαρτογράφησης των διαδρομών με οπτική αναπαράσταση μεταβλητών, όπως η ταχύτητα, μέσω χρωματικής διαφοροποίησης. Περιλαμβάνει επίσης στατιστικά στοιχεία για κάθε διαδρομή και επιτρέπει την αποθήκευση ή την αυτόματη αποστολή των δεδομένων σε email, προσφέροντας απομακρυσμένη πρόσβαση μέσω διαδικτύου από οποιοδήποτε σημείο.



Image 16 Αρχική σελίδα εφαρμογής TORQUE

Η εφαρμογή **Torque Pro** αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο παρακολούθησης και καταγραφής δεδομένων λειτουργίας του οχήματος, μέσω της διεπαφής OBDII. Παρέχει στον χρήστη ένα ευρύ φάσμα μετρητών που απεικονίζουν σε πραγματικό χρόνο κρίσιμες παραμέτρους, όπως η ταχύτητα, η ροπή, η ιπποδύναμη, η θερμοκρασία κινητήρα, η πίεση, η κατάσταση του αισθητήρα MAF και πολλά άλλα. Επιπλέον, η εφαρμογή εμφανίζει διαγνωστικούς κωδικούς σφαλμάτων (OBD fault codes), όπως π.χ. προειδοποιήσεις από τον αισθητήρα "check engine", διευκολύνοντας έτσι την αναγνώριση προβλημάτων στο όχημα.

Κατά την πρώτη εκκίνηση της εφαρμογής, ζητείται η δημιουργία ενός προφίλ με τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος, ώστε οι υπολογισμοί που εκτελούνται να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστεροι. Οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη δημιουργία του προφίλ περιλαμβάνουν:

- Κυβισμός κινητήρα
- Τύπος καυσίμου (Βενζίνη ή Diesel)
- Μέγιστες στροφές ανά λεπτό (rpm)
- Συνολικό βάρος του οχήματος

Σε επόμενο στάδιο, πριν την έναρξη της καταγραφής, γίνεται επιλογή των μεταβλητών που θα αποθηκευτούν στο αρχείο εξαγωγής για επεξεργασία. Η εφαρμογή προσφέρει ένα ευρύ σύνολο παραμέτρων, επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εικόνας της οδηγικής συμπεριφοράς και της απόδοσης του οχήματος.

Ενδεικτικά, μερικές από τις μεταβλητές που μπορούν να καταγραφούν είναι:

1. Στιγμιαία ταχύτητα από OBD
2. Στιγμιαία ταχύτητα από GPS
3. Απόκλιση ταχύτητας μεταξύ GPS και OBD
4. Μέση ταχύτητα σε κίνηση χωρίς στάσεις
5. Μέση ταχύτητα με στάσεις
6. Χρόνος από την εκκίνηση του κινητήρα
7. Διάρκεια ταξιδιού σε κίνηση
8. Διάρκεια στάσης
9. Συνολική απόσταση διαδρομής
10. Συνολική επιτάχυνση

11. Επιτάχυνση στους άξονες x, y, z
12. Πραγματικό φορτίο κινητήρα (torque)
13. Βαρομετρική πίεση
14. Παραγόμενο CO_2 ανά χιλιόμετρο (g/km)
15. Στιγμιαία εκπομπή CO_2 (g/km)
16. Θερμοκρασία ψυκτικού υγρού
17. Ροή καυσίμου προς τον κινητήρα
18. Ροή αέρα προς τον κινητήρα
19. Ακρίβεια GPS
20. Αριθμός ενεργών δορυφόρων GPS

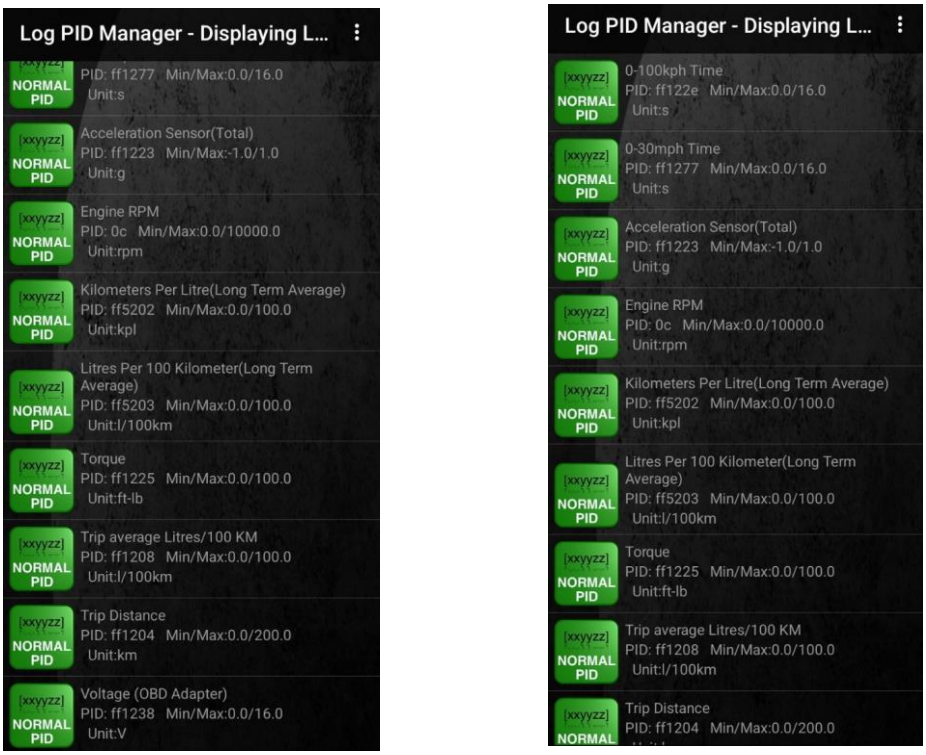


Image 17 Παράμετροι καταγραφής εφαρμογής TORQUE

Στάδιο προετοιμασίας και καταγραφής

Πριν από κάθε μέτρηση, είναι απαραίτητο να ακολουθούνται συγκεκριμένα βήματα, ώστε να διασφαλίζεται η ορθότητα και η ακρίβεια των δεδομένων που καταγράφονται:

- *Σύνδεση της συσκευής OBDII:*

  Η συσκευή τοποθετείται στη θύρα σύνδεσης OBDII του οχήματος, η οποία βρίσκεται συνήθως κάτω από το τιμόνι, στην πλευρά του οδηγού, και επικοινωνεί απευθείας με την Κεντρική Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου (ECM).

- *Σταθερή τοποθέτηση της συσκευής καταγραφής:*

  Το κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιείται για την καταγραφή, θα πρέπει να τοποθετηθεί σε σταθερό σημείο μέσα στο όχημα —π.χ. στο ταμπλό— ώστε να μην κινείται κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Η σχετική κίνηση της συσκευής ως προς το όχημα μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στις μετρήσεις, ειδικά κατά απότομες επιβραδύνσεις.

- *Ενεργοποίηση της σύνδεσης Bluetooth:*

  Τοποθετείται το κλειδί στη μίζα και στρέφεται στην αρχική θέση εκκίνησης, χωρίς να ξεκινήσει ο κινητήρας, ώστε να ενεργοποιηθεί το ρεύμα στη θύρα OBD. Αν πρόκειται για την πρώτη χρήση της συσκευής, απαιτείται σύζευξη (pairing) μεταξύ OBD και κινητού μέσω του μενού Bluetooth της συσκευής.

- *Εκκίνηση καταγραφής δεδομένων:*

  Μέσω της εφαρμογής επιλέγεται η έναρξη καταγραφής και στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας. Η καταγραφή δεν έχει νόημα πριν την ενεργοποίηση του κινητήρα, καθώς τότε δεν υπάρχει κατανάλωση καυσίμου ούτε εκπομπή καυσαερίων. Ωστόσο, η καταγραφή από τη στιγμή της εκκίνησης του κινητήρα είναι χρήσιμη, καθώς συλλέγονται δεδομένα που αφορούν τις στροφές κινητήρα και την άεργη λειτουργία του, τα οποία ενδέχεται να αξιοποιηθούν στον τελικό κύκλο μέτρησης, εφόσον οι αντίστοιχοι χρόνοι είναι υπολογίσιμοι.

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω βημάτων, το όχημα οδηγείται κανονικά, όπως και υπό φυσιολογικές συνθήκες, χωρίς να απαιτούνται επιπλέον παρεμβάσεις στη λειτουργία του. Σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί στάση με σβηστό κινητήρα, η καταγραφή διακόπτεται και

ολοκληρώνεται εκεί ο κύκλος της μέτρησης. Αντίθετα, σε στάση με τον κινητήρα σε λειτουργία, η καταγραφή συνεχίζεται, ώστε να καταγραφεί και η διάρκεια άεργης λειτουργίας του κινητήρα.

Τέλος, προτείνεται η διακοπή της καταγραφής πριν την απενεργοποίηση του κινητήρα, με μια μικρή χρονική καθυστέρηση, ώστε να αποφευχθεί η καταγραφή μηδενικών ή άσχετων τιμών, που θα μπορούσαν να δυσχεράνουν την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων.

Επεξεργασία δεδομένων

Το πρόγραμμα εξάγει τα δεδομένα που έχουν επιλεγεί προς καταγραφή σε αρχείο μορφής κειμένου, ακολουθώντας τη δομή CSV (Comma Separated Values). Στο αρχείο αυτό, κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία καταγεγραμμένη μέτρηση, ενώ τα διάφορα μετρούμενα μεγέθη, όπως ο χρόνος, η ταχύτητα, οι γεωγραφικές συντεταγμένες κ.ά., διαχωρίζονται μεταξύ τους με κόμμα. Η συγκεκριμένη μορφή αρχείου διευκολύνει τη μεταγενέστερη επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων με χρήση κατάλληλων λογισμικών, όπως προγράμματα υπολογιστικών φύλλων ή εφαρμογές στατιστικής ανάλυσης.

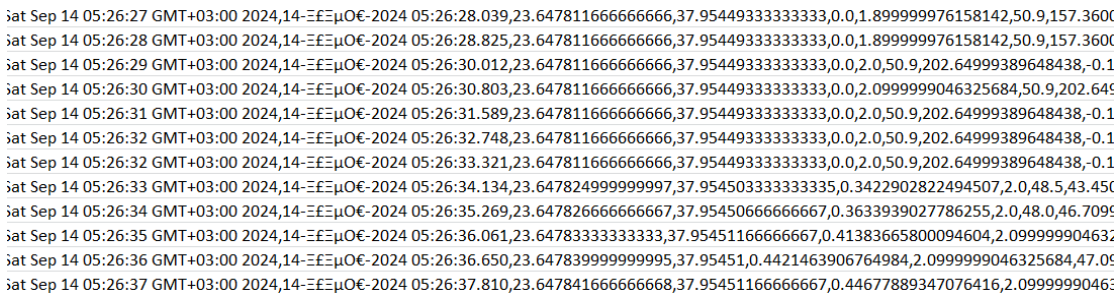


Image 18 Δεδομένα από αρχείο .csv , seperated values

Για την αντιμετώπιση του ζητήματος συμβατότητας αρχείων, επιλέχθηκαν εναλλακτικά λογισμικά μετατροπής. Συγκεκριμένα, τα αρχεία CSV μετατράπηκαν σε μορφή XLSX, η οποία είναι πλήρως αναγνωρίσιμη και συμβατή με το Microsoft Excel. Μέσω αυτών των λογισμικών, κατέστη δυνατή η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων με ευκολότερο και αποδοτικότερο τρόπο. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα αποθηκεύονται αυτόματα σε έναν φάκελο με την ονομασία Logs, ο οποίος περιέχει τα επιμέρους αρχεία Excel για κάθε καταγραφή.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	GPS Time	Device Time	Longitude	Latitude	GPS Speed (Meters/secon	Horizontal Dilution of Precisio	Altitude	Bearing	G(x)	G(y)	G(z)	G(calibrated
2	Sat Sep 07 05:30:17 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:18.064	23.647825	37.95449667	0.02985389	1.899999976	40.2	157.1499939	-1.89705014	7.68000031	5.80200005	0.02054995
3	Sat Sep 07 05:30:18 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:19.213	23.64782667	37.95449833	0.134857222	1.899999976	40.2	213.6699982	-3.44805026	7.8619504	4.02104998	-0.01384085
4	Sat Sep 07 05:30:19 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:19.996	23.64783	37.95450333	0.105003335	1.899999976	40.2	347.2000122	1.30095005	0.90900004	17.64900017	0.82615215
5	Sat Sep 07 05:30:20 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:20.572	23.64783333	37.95451	0	1.799999952	40.1	19.63999939	-0.43095002	1.36905003	9.71895027	0.02127391
6	Sat Sep 07 05:30:21 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:21.735	23.64783667	37.95451833	0.147725284	1.799999952	39.9	40.93999863	-0.40200001	1.35000002	9.70995045	0.01979756
7	Sat Sep 07 05:30:21 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:22.546	23.64783833	37.95451833	0	1.899999976	39.9	40.93999863	-0.41205001	1.35000002	9.70995045	0.02001458
8	Sat Sep 07 05:30:22 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:23.105	23.64784167	37.95451667	0.180152774	1.899999976	40	62.83000183	-0.40200001	1.32105005	9.70995045	0.01957035
9	Sat Sep 07 05:30:23 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:24.276	23.64784167	37.95451667	0.180152774	1.899999976	40	62.83000183	-0.43095002	1.35000002	9.71895027	0.0205214
10	Sat Sep 07 05:30:24 GMT+03:00 2024	07-Σεπ-2024 05:30:24.852	23.64784333	37.954515	0.173461393	2	40.5	12	-0.45000002	1.35900009	9.70995045	0.02028392

Image 19 Επεξεργασμένα δεδομένα από αρχείο Excel

Αφού έχουν ολοκληρωθεί οι διαδρομές και δημιουργηθούν τα αντίστοιχα αρχεία για καθεμία ξεχωριστά, τα δεδομένα αποστέλλονται εύκολα μέσω της εφαρμογής σε οποιαδήποτε διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου έχει επιλεγεί. Έπειτα, ξεκινά η διαδικασία περαιτέρω επεξεργασίας τους.

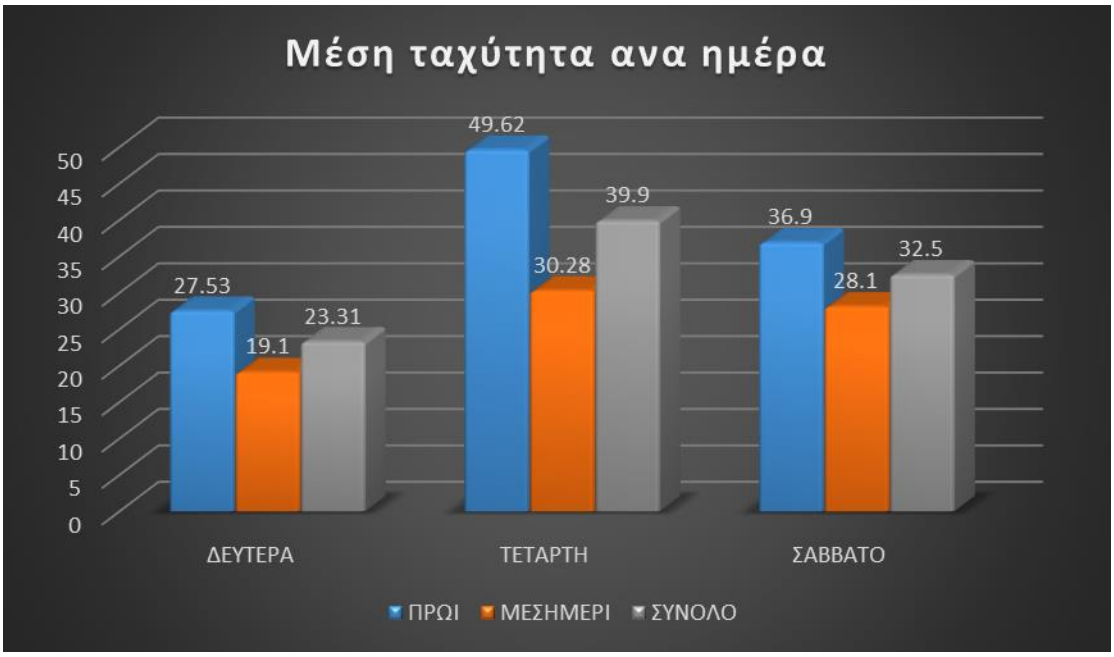
Με το πέρας κάθε διαδρομής, συλλέγονται τα δεδομένα για τις μεταβλητές που έχουν προεπιλεγεί από την εφαρμογή για μέτρηση. Η μοναδική μεταβλητή που καταγράφεται τόσο μέσω του διαγνωστικού πρωτοκόλλου OBD-II όσο και μέσω του GPS του κινητού τηλεφώνου είναι η ταχύτητα. Όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές συλλέγονται αποκλειστικά μέσω της διαγνωστικής συσκευής OBD και στο παρόν πείραμα περιλαμβάνουν τις στροφές του κινητήρα ανά λεπτό (Engine RPM), τον αισθητήρα επιτάχυνσης (Acceleration Sensor (Total)(g)) και τη ροή καυσίμου ανά χιλιόμετρο (Kilometers per Litre - KPL).

Αφού πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες μετατροπές μονάδων, το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας επικεντρώνεται στη σταδιακή εξομάλυνση της ταχύτητας, ώστε να περιοριστούν οι απότομες διακυμάνσεις και να αποδοθεί μια πιο ομαλή καταγραφή. Για την ανάλυση αυτή επιλέχθηκαν οι μετρήσεις ταχύτητας που προέρχονται από το GPS, καθώς κρίθηκαν θεωρητικά πιο ακριβείς από εκείνες του διαγνωστικού συστήματος.

Κατόπιν, απομονώνονται τα σημεία στα οποία η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη του μηδενός, δημιουργώντας έτσι μια σειρά δεδομένων που αντιστοιχούν σε διαδρομή χωρίς στάσεις, δηλαδή μόνο κατά την κίνηση του οχήματος.

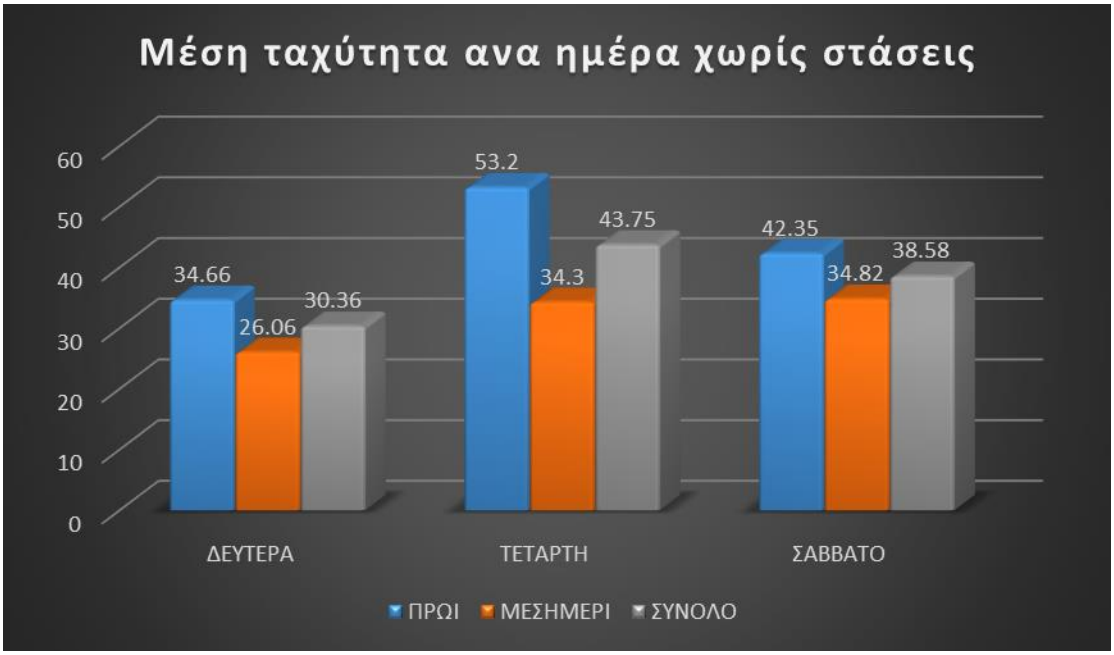
Ακολουθεί ο υπολογισμός της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης της ταχύτητας, καθώς και των μέγιστων τιμών τους ανά φάση, δηλαδή από στάση σε στάση (0 km/h). Τέλος, εξάγονται τα ποσοστά (%) της χρονικής διάρκειας στάσης και κίνησης επί του συνολικού χρόνου διαδρομής, ενώ υπολογίζονται οι μέσες τιμές και οι μέσοι όροι των μεταβλητών ταχύτητας, ταχύτητας χωρίς στάση, επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

Ανάλυση δεδομένων



Graph 11 Μέση ταχύτητα ανά ημέρα

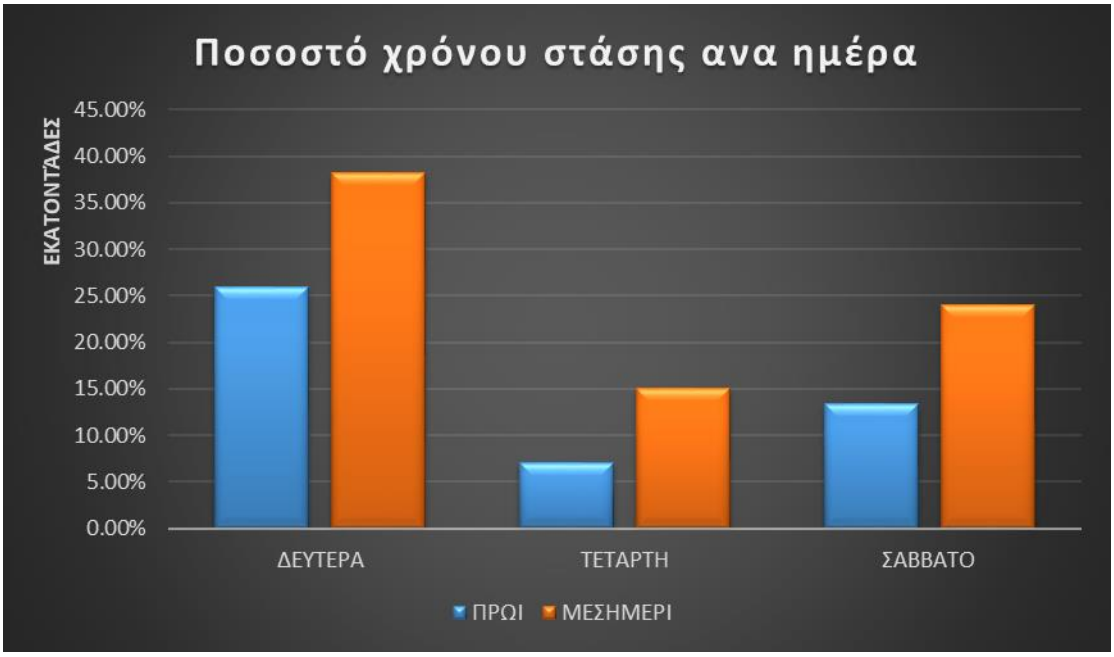
Στο διάγραμμα αυτό φαίνονται αναλυτικά όλοι οι μέσοι όροι των ταχυτήτων που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Παρατηρείται μια τάση για μεγαλύτερη ταχύτητα κυρίως πρωινές ώρες, αυτό συμβαίνει επειδή η κίνηση των οχημάτων το πρωί ήταν μικρότερη σε σχέση με το μεσημέρι. Οι ελάχιστες ταχύτητες σημειώθηκαν την Δευτέρα και τη Τετάρτη, ιδιαίτερα τις μεσημεριανές ώρες, καθώς τις δύο αυτές ημέρες υπήρχε αυξημένη κυκλοφορία στους δρόμους, γεγονός που δυσκόλευε την ανάπτυξη ταχύτητας.



Graph 12 Μέση ταχύτητα ανά ημέρα χωρίς στάσεις

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της ταχύτητας του οχήματος κατά τη διάρκεια συνεχούς κίνησης. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει έπειτα από τον αποκλεισμό όλων των μηδενικών ενδείξεων ταχύτητας από τις μετρήσεις, ώστε να αναδειχθεί καθαρά η πορεία του οχήματος όταν βρίσκεται σε κίνηση, χωρίς στάσεις. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η μέση ημερήσια ταχύτητα υπό συνθήκες συνεχούς μετακίνησης.

Η γραφική απεικόνιση των μέσων ταχυτήτων που προκύπτουν επιτρέπει την πιο άμεση και σαφή σύγκριση μεταξύ των ημερών. Όπως φαίνεται, οι ταχύτητες αυτές είναι σημαντικά αυξημένες σε σύγκριση με το προηγούμενο διάγραμμα, με τη μέγιστη τιμή να φτάνει τα 53.2 km/h και τη χαμηλότερη να διαμορφώνεται στα 26.06 km/h.



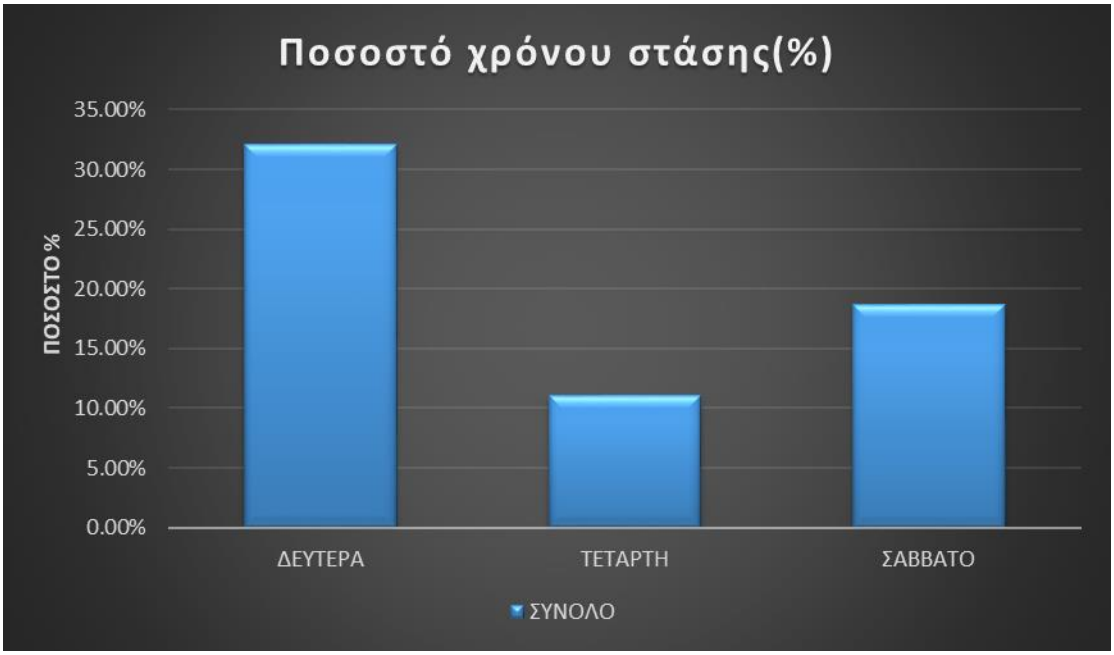
Graph 13 Ποσοστό χρόνου στάσης ανά ημέρα

Σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα, παρατηρείται πως το ποσοστό στάσης την Δευτέρα είναι ιδιαίτερα αυξημένο, με αισθητή διαφορά μεταξύ των άλλων ημερών. Η συγκεκριμένη διαδρομή παρουσιάζει έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση από οχήματα, ενώ καθυστερήσεις προκλήθηκαν και από πολλαπλά κόκκινα φανάρια που συναντάει το όχημα στη συγκεκριμένη διαδρομή.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό της Τετάρτης, όπου το ποσοστό στάσης εμφανίζει σαφή μείωση, λόγω του ότι η διαδρομή είναι σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας, σε αντίθεση με της Δευτέρας που είναι μέσα στη πόλη.

Αντίθετα, το Σάββατο καταγράφει εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά στάσης και στα δύο δρομολόγια που πραγματοποιήθηκαν. Η κίνηση στους δρόμους ήταν ελάχιστη τόσο κατά τις πρωινές όσο και κατά τις απογευματινές ώρες, στοιχείο που αποτυπώνεται ξεκάθαρα στα δεδομένα.

Συνολικά, τα αυξημένα ποσοστά στάσης συνδέονται άμεσα με περιοχές και χρονικές περιόδους αυξημένης κυκλοφορίας. Συνθήκες όπως πυκνή κίνηση οχημάτων, διέλευση πεζών, συχνές στάσεις σε φανάρια ή η αναμονή πίσω από δημόσια μέσα μεταφοράς (π.χ. λεωφορεία), συμβάλλουν σημαντικά στη διαμόρφωση αυτών των ποσοστών.



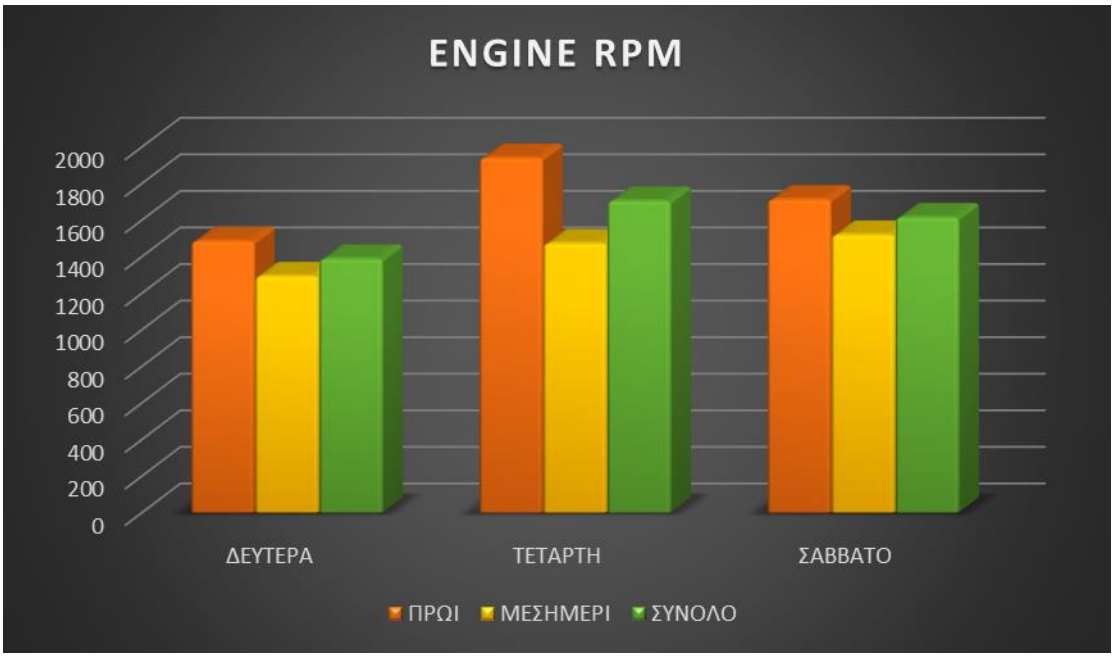
Graph 14 Ποσοστό στάσης επί τοις εκατό ανά ημέρα



Graph 15 Συνολικό ποσοστό στάσης - κίνησης όλων των διαδρομών

Το ποσοστό κίνησης υπολογίζεται ως το ποσοστό των μετρήσεων ταχύτητας που είναι μεγαλύτερες του μηδενός, σε σχέση με το σύνολο των καταγραφών κατά τη διάρκεια ολόκληρου του πειράματος. Το σχετικό διάγραμμα απεικονίζει τη συνολική κατανομή της κίνησης και των στάσεων του οχήματος για όλη τη διάρκεια του πειράματος στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

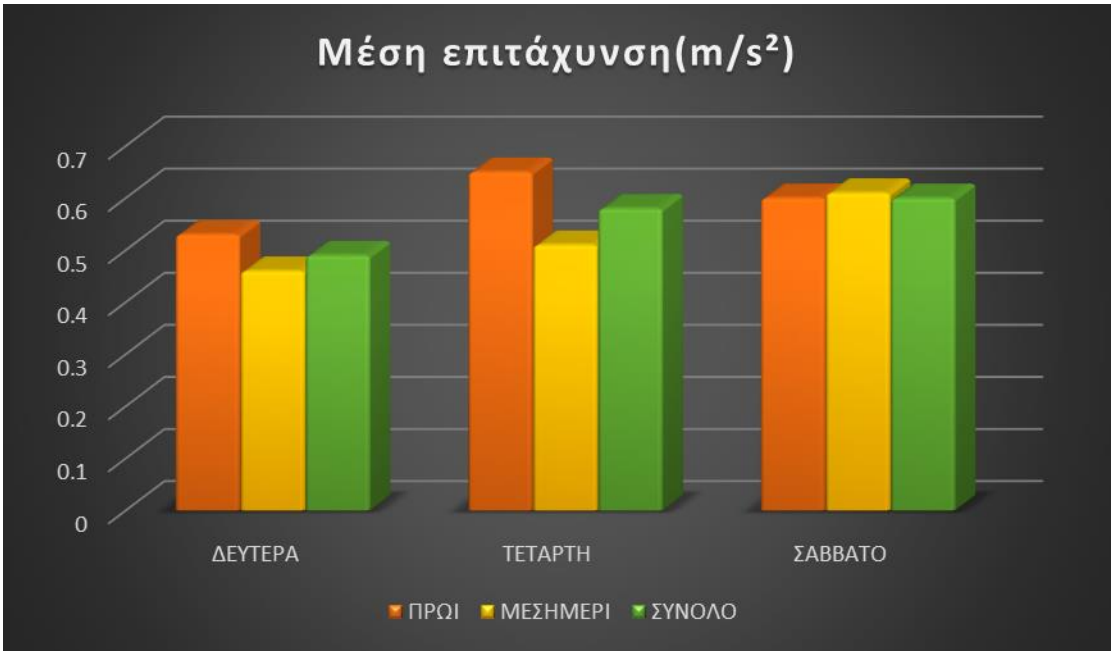
Η εικόνα που προκύπτει θεωρείται αναμενόμενη, δεδομένου ότι το όχημα κινήθηκε ομαλά, χωρίς ιδιαίτερες καθυστερήσεις ή απρόοπτα. Συνεπώς, είναι εύλογο το ποσοστό κίνησης να υπερβαίνει το ποσοστό στάσης, αντανακλώντας μια γενικά σταθερή και απρόσκοπτη πορεία στο μεγαλύτερο μέρος των διαδρομών.



Graph 16 Στροφές κινητήρα

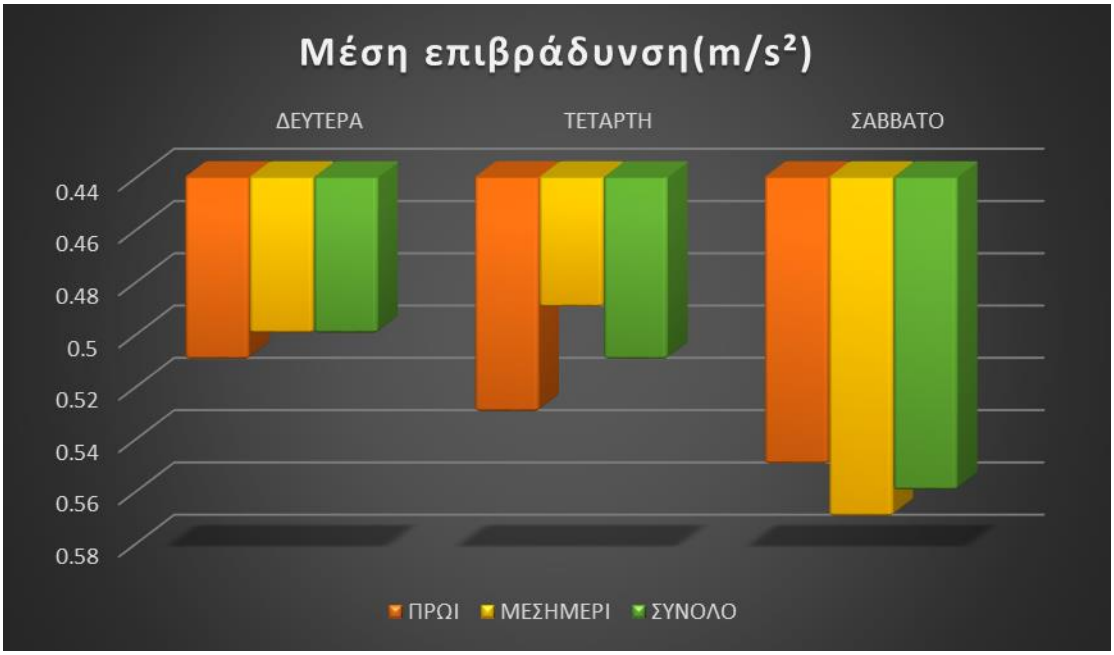
Στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνονται οι στροφές του κινητήρα του οχήματος κατά τη διάρκεια των διαδρομών. Παρουσιάζονται, με ενιαίο τρόπο, οι μέσες τιμές για τις πρωινές ώρες, τις μεσημεριανές καθώς και ο συνολικός ημερήσιος μέσος όρος για κάθε ημέρα ξεχωριστά.

Όπως παρατηρείται, οι τιμές των στροφών παραμένουν σε γενικά παρόμοια επίπεδα, με μικρές αυξήσεις να καταγράφονται τη Τετάρτη, διότι η διαδρομή που διανύει το όχημα ως επί τον πλείστων είναι σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας.



Graph 17 Μέση επιτάχυνση ανά ημέρα και ώρα

Η μέση επιτάχυνση παρουσιάζει γενικά ομαλή κατανομή καθ' όλη των καταγραφών, με εξαίρεση τις μεσημεριανές ώρες της Δευτέρας λόγω της κίνησης στους δρόμους.



Graph 18 Μέση επιβράδυνση ανά ημέρα και ώρα

Η μέση επιβράδυνση παρατηρείται μεγαλύτερη την ημέρα του Σαββάτου διότι στον δρόμο επικρατεί λιγότερη κίνηση με αποτέλεσμα οι επιταχύνσεις και οι επιβραδύνσεις να είναι μεγαλύτερες.

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώθηκαν από όλες τις ημέρες και τις μετρήσεις οι μέσες τιμές για κάθε μέρα ξεχωριστά αλλά και οι συνολικές μέσες τιμές που προκύπτουν από το άθροισμα των τριών. Για τον υπολογισμό των μέσων τιμών, όλες οι τιμές κάθε μέτρησης συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν σε ξεχωριστά υπολογιστικά φύλλα. Στη συνέχεια, με βάση τον βαθμό ομοιότητας κάθε διαδρομής με τις αντίστοιχες μέσες τιμές, προέκυψε μία αντιπροσωπευτική διαδρομή του οχήματος. Η διαδρομή αυτή αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή του αθροίσματος των μετρήσεων.

Χαρακτηριστικά	Μέσες τιμές μετρήσεων	Δευτέρα	Τετάρτη	Σάββατο
Χρόνος(sec)	1809	1336	2405	1686
GPS Speed Average(km/h)	31.9	23.31	39.9	32.5
Average Speed without stops (km/h)	37.56	30.36	43.75	38.58
Acceleration Average (m/s²)	0.55	0.49	0.58	0.6
Deceleration Average (m/s²)	-0.52	-0.5	-0.51	-0.56
Stops	14.6	15	16	13
Stops rate (%)	20.63	32.14	11.09	18.66

Table 5 Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων τιμών

Για τον προσδιορισμό μιας αντιπροσωπευτικής διαδρομής, συγκρίθηκαν τρεις πραγματικές διαδρομές σε διαφορετικές ημέρες (Δευτέρα, Τετάρτη, Σάββατο) με βάση βασικές οδηγικές παραμέτρους, όπως η μέση ταχύτητα, ο αριθμός στάσεων και ο χρόνος της διαδρομής. Η διαδρομή του Σαββάτου παρουσίασε τις μικρότερες αποκλίσεις από τις μέσες τιμές όλων των διαδρομών και επιλέχθηκε ως αντιπροσωπευτική για περαιτέρω ανάλυση.

Χαρακτηριστικά	Μέσες τιμές μετρήσεων	Αντιπροσωπευτική Διαδρομή	Ποσοστό Ομοιότητα
Χρόνος(sec)	1809	1686	93,2
GPS Speed Average(km/h)	31.9	32.5	98,15
Average Speed without stops (km/h)	37.56	38.58	97,36
Acceleration Average (m/s²)	0.55	0.6	91,67
Deceleration Average (m/s²)	-0.52	-0.56	92,86
Stops	14.6	13	89,04
Stops rate (%)	20.63	18.66	90,45

Table 6 Συγκριτικός πίνακας μέσων τιμών και αντιπροσωπευτικής διαδρομής

Σε ό,τι αφορά την ομοιότητα της επιλεγμένης διαδρομής με τις μέσες τιμές των τριών καταγεγραμμένων, δεν εντοπίζονται σημαντικές αποκλίσεις. Οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες διαφορές παρατηρούνται στις τιμές επιτάχυνσης και επιβράδυνσης (m/s^2), γεγονός που θεωρείται αναμενόμενο, καθώς οι επιβραδύνσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την κίνηση των υπόλοιπων οχημάτων και ως εκ τούτου δεν επηρεάζουν καθοριστικά τη συνολική αξιολόγηση. Επίσης σημαντικό ρόλο στην επιλογή έπαιξε η φύση της διαδρομής καθώς για την Δευτέρα η διαδρομή είναι καθαρά αστική το οποίο σημαίνει πολλά φανάρια και κίνηση , ενώ της Τετάρτης είναι μία διαδρομή που το μεγαλύτερο κομμάτι της αποτελείται από δρόμο ταχείας κυκλοφορίας. Η διαδρομή του Σαββάτου είναι μια πιο μεικτή διαδρομή καθώς συνδυάζει και φανάρια , στενά , κίνηση αλλά και οδήγηση στην παραλιακή όπου δεν υπάρχει τόση κίνηση και μπορεί να αναπτυχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει το αντιπροσωπευτικό προφίλ ταχύτητας της διαδρομής που προκρίθηκε ως η πλέον κατάλληλη βάσει των πειραματικών δεδομένων. Στη συγκεκριμένη διαδρομή παρατηρούνται συχνές και έντονες εναλλαγές στην ταχύτητα κατά τη διάρκειά της, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι στο μεγαλύτερο μέρος της η ταχύτητα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, χωρίς να υπερβαίνει τα 50 km/h.



Graph 19 Προφίλ ταχύτητας αντιπροσωπευτικής διαδρομής σε συνάρτηση με το χρόνο

Μπορούμε πλέον να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά της αντιπροσωπευτικής διαδρομής που δημιουργήθηκε από πραγματικά δεδομένα κίνησης στην Αττική, με αυτά του Παγκόσμια Εναρμονισμένου Κύκλου Οδήγησης WLTP , αλλά και του Νέου Ευρωπαϊκού Κύκλου NEDC.

	Αντιπροσωπευτική Διαδρομή	WLTP	NEDC
Διάρκεια (min)	28,1	30	20
Μήκος διαδρομής (km)	14,7	23	11
Μέση ταχύτητα διαδρομής (km/h)	32,5	46,5	33
Μέγιστη ταχύτητα κίνησης (km/h)	79,8	130	120
Ποσοστό χρόνου ακινησίας	18,66	13	25
Σύνολο στάσεων	13	6	14

Table 7 Συγκριτικός πίνακας αντιπροσωπευτικής διαδρομής και κύκλων οδήγησης WLTP και NEDC

Από τον παραπάνω πίνακα διακρίνεται ότι ενώ η διάρκεια της διαδρομής μας είναι σχετικά κοντά με τους δύο κύκλους οδήγησης WLTP και NEDC, σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να φτάσουμε τις ταχύτητες τους που στο τέλος ειδικά των διαδρομών και στους δύο κύκλους είναι πολύ υψηλή με 130 και 120 km/h αντίστοιχα. Σκοπός είναι να αναπαραχθεί μία πιο ρεαλιστική εικόνα της οδήγησης έχοντας υπόψη το κόστος και τον απαιτούμενο χρόνο. Ο NEDC κύκλος βασίζεται σε δεδομένα από άλλες περιοχές και δεν αποδίδει με ακρίβεια τις συνθήκες οδήγησης στην Αττική. Ο αντίστοιχος κύκλος WLTP προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα αλλά λόγω της ταχύτητας του εξακολουθεί να διαφέρει σημαντικά στις καταναλώσεις καυσίμου στην Αττική. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο θα συγκρίνουμε την διαδρομή μας και με τον κύκλο οδήγησης της Αθήνας (ADC), γιατί δεν είναι ρεαλιστικό ένα όχημα στις αστικές περιοχές της Αττικής να φτάσει τέτοιες ταχύτητες.

	ADC	Αντιπροσωπευτική διαδρομή
Απόσταση	6512 m	14700 m
Διάρκεια	1160 sec	1686 sec
Μέση ταχύτητα	20,21 km/ h	32,5 km /h
Μέγιστη ταχύτητα	70,86 km /h	79,8 km /h

Table 8 Συγκριτικός πίνακας αντιπροσωπευτικής διαδρομής και κύκλου ADC

Τα ποσοστά ομοιότητας του προφίλ ταχύτητας της αντιπροσωπευτικής διαδρομής της συγκεκριμένης εργασίας, σε σχέση με τις μετρήσεις πεδίου βρίσκονται σε πολύ καλό επίπεδο δίνοντας πληροφορίες που όντως ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Παρατηρούμε ότι και τα ποσοστά της παρούσας μελέτης είναι σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα και θα μπορούσε να αποτελέσει το πρώτο βήμα για την εκπόνηση ενός κύκλου οδήγησης, ώστε να αξιοποιηθεί για την μέτρηση των εκπομπών ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου των επιβατικών οχημάτων. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι, γίνονται παράλληλα κι άλλες μελέτες στο ίδιο θέμα, σε διαφορετικές κεντρικές αρτηρίες της πόλης. Αν τα αποτελέσματα όλων αυτών των μελετών ενωθούν, μπορούν σίγουρα να δώσουν μία σαφώς πιο αντιπροσωπευτική διαδρομή για την πόλη των Αθηνών με μεγαλύτερη ακρίβεια.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι μεταφορές συγκαταλέγονται στους βασικούς παράγοντες που επιβαρύνουν το περιβάλλον, καθώς ευθύνονται για περίπου το ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το μεγαλύτερο μερίδιο αυτών των εκπομπών προέρχεται από τις οδικές μεταφορές, και κυρίως από τα επιβατικά οχήματα. Παρόλο που έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες όπως η αυστηροποίηση των ευρωπαϊκών προτύπων (π.χ. οι προδιαγραφές EURO), η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών αντιρρύπανσης και η θέσπιση κρατικών κινήτρων για την υιοθέτηση καθαρότερων λύσεων η πρόοδος δεν είναι ακόμη αρκετή για να καλυφθούν οι ευρωπαϊκοί στόχοι για το 2050.

Οι κύκλοι οδήγησης, είτε πρόκειται για θεσμοθετημένα πρότυπα είτε για κύκλους που δημιουργούνται για ερευνητικούς σκοπούς με βάση πραγματικές συνθήκες (Real-World), αποτελούν αναπόσπαστο εργαλείο για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης των οχημάτων. Η μετάβαση από τον κύκλο NEDC στον πιο ρεαλιστικό WLTP έχει βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων. Επιπλέον, οι περιοδικοί τεχνικοί έλεγχοι (ΚΤΕΟ), αλλά και οι επιτόπιοι έλεγχοι στους δρόμους, δείχνουν ξεκάθαρα ότι η συμμόρφωση με τα όρια εκπομπών αποτελεί διαρκή προτεραιότητα για τις αρμόδιες αρχές.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από πραγματικές διαδρομές. Μέσω προκαθορισμένων αστικών διαδρομών, που εκτελέστηκαν από τον ίδιο οδηγό και υπό παρόμοιες συνθήκες κάθε φορά, καταφέραμε να δημιουργήσουμε κύκλους οδήγησης που, αν και δεν βασίζονται σε επίσημα πρότυπα, αποτυπώνουν με ρεαλιστικό τρόπο τη μετακίνηση σε αστικό περιβάλλον. Η συλλογή των δεδομένων κράτησε έναν μήνα και επικεντρώθηκε σε βασικούς οδικούς άξονες, προσφέροντας ένα επαρκές δείγμα για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη σύνδεση της κυκλοφοριακής ροής με την κατανάλωση και τις εκπομπές.

Σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια αυτή έπαιξε η τεχνολογία καταγραφής μέσω GPS και διαγνωστικού OBD2. Παρά το γεγονός ότι έγιναν συγκρίσεις και με δεδομένα από τη μονάδα ελέγχου του οχήματος (ECU), τελικά προτιμήθηκε το σήμα GPS, το οποίο όμως χρειαζόταν περαιτέρω επεξεργασία για να διορθωθούν σφάλματα, ιδιαίτερα σε περιόδους ακινησίας του

οχήματος. Αυτή η εμπειρική προσέγγιση απέδειξε στην πράξη τη σημασία της επιτόπιας έρευνας και επιβεβαίωσε ότι ακόμα και απλές μεθοδολογίες μπορούν να προσφέρουν αξιόπιστα αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται με συνέπεια.

Τέλος, κατέστη σαφές ότι υπάρχει ανάγκη για την ανάπτυξη πιο εξειδικευμένων κύκλων οδήγησης, προσαρμοσμένων σε διαφορετικά είδη οχημάτων, προφίλ οδηγών και κυκλοφοριακές συνθήκες. Η κατεύθυνση αυτή είναι ήδη εμφανής σε διεθνές επίπεδο, με πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη κύκλων ειδικά σχεδιασμένων για ηλεκτρικά οχήματα, βαρέα φορτηγά, δίκυκλα και ακόμη και για περιβάλλοντα με έντονη στάθμευση ή συμφόρηση. Αν και στην Ελλάδα υπάρχουν προκλήσεις όπως ο γηρασμένος στόλος και η σχετικά μικρή διείσδυση των καθαρών τεχνολογιών υπάρχουν επίσης σημαντικές ευκαιρίες. Τεχνολογίες που δεν είναι μεν απολύτως «καθαρές», αλλά αποτελούν λιγότερο ρυπογόνες και οικονομικά προσβάσιμες λύσεις, μπορούν να λειτουργήσουν ως ενδιάμεσο βήμα προς μια πιο βιώσιμη μετακίνηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Caroto.gr. (n.d.). Διαγνωστικό αυτοκινήτου OBD II με Bluetooth συμβατό με Android [Εικόνα]. https://c.scdn.gr/images/sku_main_images/058365/58365929/xlarge_20250121115454_diagnostiko_aytokinitou_obd_2_me_bluetooth_symvato_me_android.jpeg
2. Caroto.gr. (n.d.). Πλάγια όψη διαγνωστικού αυτοκινήτου OBD II [Εικόνα]. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/654175/EPRS_STU(2020)654175_EN.pdf
3. Δρυμισκιανάκη, Ε. (2021–2022). Διαμόρφωση και ανάλυση κύκλων οδήγησης πραγματικών δεδομένων κίνησης επιβατικού οχήματος στην πόλη του Ηρακλείου [Πτυχιακή εργασία]. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/
4. Εργαστήριο 3 – Ρύποι & Κύκλοι Οδήγησης. (n.d.). eClass TEI Κρήτης [Ηλεκτρονικό]. https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM146/KM%20II%20-%20Εργαστήριο/Εργαστήριο%203/Ρύποι%20&%20Κύκλοι%20Οδήγησης2.pdf
5. Λουπάσης, Μ., & Τζιράκης, Ε. (2013). Κύκλοι οδήγησης και ανάλυση διαδρομών για την πόλη των Χανίων [Πτυχιακή εργασία]. http://lap.physics.auth.gr/atmdiasp/index_files/presentation.htm
6. Μελέτη και διαμόρφωση κύκλων οδήγησης πραγματικών δεδομένων κίνησης οχημάτων καθημερινής χρήσης. (n.d.). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο [Διπλωματική εργασία]. https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/52268
7. Ραψομανίκης, Σ. Χ., & Καστρινάκης, Ε. Γ. (2009). Βασικές αρχές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ατμοσφαιρικών ρύπων. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.
8. A synthesis of methodologies and practices for developing driving cycles. (2012). https://www.iqsdirectory.com/articles/dynamometers.html
9. C. E. (1987). European automotive exhaust emissions. Elsevier.
10. DNV. (2021, July 28). How Norway EVs have cut emissions globally [Ηλεκτρονικό]. https://www.dnv.com/energy-transition/how-norway-evs-have-cut-emissions-globally.html
11. European Commission. (2017). From NEDC to WLTP: The new test to measure CO2 emissions and fuel consumption of cars. JRC Science for Policy Report.
12. European Commission. (n.d.). Technical harmonisation in the EU [Ηλεκτρονικό]. https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/technical-harmonisation/eu_en
13. Heywood, J. B. (1988). Internal combustion engine fundamentals. McGraw Hill.
14. NASA. (2020, August 23). The causes of climate change [Ηλεκτρονικό]. https://climate.nasa.gov/causes/
15. SST Sensing. (n.d.). SCR emissions system [Ηλεκτρονικό]. https://sstsensing.com/scr-emissions-system/
16. Torque. (n.d.). Torque Pro App για Android [Εφαρμογή]. https://play-lh.googleusercontent.com/Rwna0Z6-EYHkQb18SaFfCRpk1mfsLE3uC0UQMx_dxf48biXeD3QFsNJrnJjutWMFmh8=w5120-h2880-rw
17. Transport Policy. (2020, August 26). EU: Light-duty: Emissions [Ηλεκτρονικό]. https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-emissions/

18. Tzirakis, E., Pitsas, K., Zannikos, F., & Stournas, S. (2006). Vehicle emissions and driving cycles: Comparison of the Athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and European driving cycle (EDC). *Global NEST Journal, 8*(3), 282–290.
19. Wikipedia. (2020, March 26). New European Driving Cycle [Ηλεκτρονικό]. https://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle
20. Wikipedia. (2021, July 28). Portable emissions measurement system [Ηλεκτρονικό]. https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_emissions_measurement_system
21. C. E. (1987). European automotive exhaust emissions. Elsevier.
22. European Commission. (n.d.). Technical harmonisation in the EU. Retrieved August 26, 2020, from https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/technical-harmonisation/eu_en
23. European Environment Agency. (n.d.). Final energy consumption by sector. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-11/assessment
24. Βικιπαίδεια. (n.d.). Ατμοσφαιρική ρύπανση. Retrieved from https://el.wikipedia.org/wiki/Ατμοσφαιρική_ρύπανση
25. European Commission. (2022). Proposal for a Regulation on type-approval of motor vehicles and engines with respect to their emissions and battery durability (Euro 7). COM(2022) 586 final. Brussels.
26. ACEA – European Automobile Manufacturers' Association. (2023). Euro 7 – Position paper. Retrieved from https://www.acea.auto