

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τμήμα Μηχανολογίας

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ**

**«Vehicle driving patterns & traffic characteristics  
in the greater area of a Greek mid size city»**

**ΣΟΥΡΜΠΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ**  
ΑΜ: 6115

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΕΥΑΓΕΛΛΟΣ ΤΖΙΡΑΚΗΣ

2019

Θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Ευάγγελο Τζιράκη για την συνεχή καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, την συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με έμαθαν να «προσπερνώ» και βοήθησαν να γίνουν «ανεκτοί» οι συμβιβασμοί των τελευταίων χρόνων: την οικογένεια μου, τους φίλους και συναδέλφους μου. Σε αυτούς που με την καθημερινή τους συμπαράσταση, την υπομονή και την θετική τους σκέψη συνέβαλαν στην εκπλήρωση του στόχου μου, αφιερώνεται η εργασία αυτή.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί μια ερευνητική και αναλυτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών που διέπουν την κίνηση των οχημάτων, όσο αφορά ειδικότερα τις εκπομπές ρύπων και τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που συνεπάγονται. Ως συγκεκριμένο πεδίο καταγραφής και επεξεργασίας πραγματικών δεδομένων οδήγησης, επιλέχθηκε το οδικό δίκτυο της πόλης της Ζακύνθου. Συνεπώς, η εργασία αναπτύσσεται σε δύο βασικά μέρη, ένα θεωρητικό και ένα πειραματικό.

Στο θεωρητικό μέρος, αρχικά, γίνεται μια προσπάθεια για προσέγγιση του περιβαλλοντικού προβλήματος, από την οπτική της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την οποία φέρει ευθύνη η κίνηση των οχημάτων και οι εκπομπές ρύπων που αυτή προκαλεί. Συγκεκριμένα, γίνεται μια σχετικά αναλυτική περιγραφή των ρύπων, αφού πρώτα ταξινομηθούν βάσει της προέλευσής τους, είτε από βενζινοκινητήρες είτε από πετρελαιοκινητήρες. Στη συνέχεια, γίνεται μια ανασκόπηση των περιορισμών των εκπεμπόμενων ρύπων που ισχύουν σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (Euro) και αφορούν τις προδιαγραφές που προορίζονται τόσο για τα επιβατικά όσο και για τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα. Ακολούθως, παρουσιάζεται μια λεπτομερής περιγραφή των κύκλων οδήγησης. Δίνεται σημασία στην κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης ενός κύκλου οδήγησης, πώς δηλαδή ορίζεται και ταξινομείται, πώς τελείται η λήψη και η επεξεργασία των αναγκαίων δεδομένων και τέλος στον τρόπο που εκπονείται. Ο κύκλος οδήγησης, ως ένα κρίσιμο εργαλείο για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εξετάζεται επίσης μέσω μιας βιβλιογραφικής έρευνας, όσον αφορά την πορεία εξέλιξής του με παραδείγματα ανά τον κόσμο.

Στο πειραματικό μέρος, αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την καταγραφή πραγματικών δεδομένων οδήγησης. Καταγράφεται η διαδρομή που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Ζακύνθου και η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων που λήφθηκαν με την χρήση σύγχρονης τεχνολογίας. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων και στα πρότυπα των κύκλων οδήγησης που ισχύουν, εφόσον αποτελούν το εργαλείο για την αξιολόγηση των εκπεμπόμενων ρύπων. Σκοπός είναι να συνταχθεί ένα όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτικό προφίλ ταχύτητας για την κίνηση των οχημάτων στο οδικό δίκτυο της πόλης της Ζακύνθου σε πραγματικές συνθήκες.

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is a scientific research and analysis, particularly regarding the driving characteristics of vehicles, with reference to the pollutant emissions and their environmental impacts. Road network of Zakynthos town was selected as the specific field for recording and processing real driving data. Therefore, the thesis develops in two main parts, one theoretical and one experimental.

Initially, in the theoretical part, an attempt is made to approximate the environmental problem, from the perspective of air pollution, considering that the movement of vehicles and their emissions are responsible for. Specifically, a relatively detailed description of the pollutants is made, after classifying them by origin, either by gasoline or diesel engines. Follows an overview of the emission limitations in force in accordance with European standards (Euro), which refer to both passenger and light commercial vehicles. A detailed description of the driving cycles is presented below. It is important to understand how a driving cycle is developed, how it is defined and sorted, how the necessary data is received and processed, and finally how it is created. The driving cycle, as an important tool for controlling air pollution, is also examined through a bibliographical study of its evolution with examples around the world.

In the experimental part, the steps that were taken to record real driving data are analyzed. It records the route taken in the area of Zakynthos town and the process of analyzing the data obtained using modern technology. Finally, the results are presented in the form of diagrams and driving cycle models, since they are the tool for assessing the emissions. The aim is to create a speed profile as representative as possible for the movement of vehicles on the road network of Zakynthos in real time.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

Εκπομπές ρύπων από οχήματα και επιβάρυνση του αστικού περιβάλλοντος.....	7
1.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	7
1.2. Εκπομπές ρύπων από βενζινοκινητήρες .....	8
1.3. Εκπομπές ρύπων από πετρελαιοκινητήρες .....	10

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

Ανασκόπηση των περιορισμών εκπομπών των οχημάτων .....	12
2.1. Ευρωπαϊκά Πρότυπα Εκπομπών Ρύπων - Euro .....	12
2.2. Προδιαγραφές Euro για τα επιβατικά οχήματα.....	12
2.3. Προδιαγραφές Euro για τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα .....	15
2.4. Προδιαγραφές σε ισχύ .....	16

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

Ανάλυση του Κύκλου Οδήγησης .....	18
3.1. Ορισμός και ταξινόμηση .....	18
3.2. Μεθοδολογία λήψης δεδομένων .....	19
3.3. Επεξεργασία δεδομένων .....	20
3.4. Εφαρμογή των κύκλων οδήγησης σε δυναμομετρική εξέδρα.....	22

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

Διερεύνηση των θεσμοθετημένων Κύκλων Οδήγησης.....	24
4.1.Ευρώπη .....	24
4.2. Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	34
4.3. Ιαπωνία.....	39
4.4. Μέθοδοι εκπόνησης κύκλων οδήγησης από ερευνητές ανά τον κόσμο .....	42

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.**

Μελέτη των χαρακτηριστικών κίνησης των οχημάτων στην πόλη της Ζακύνθου .....	44
5.1. Διαδικασία καταγραφής .....	44
5.2. Εξοπλισμός λήψης των δεδομένων .....	46
5.3. Επεξεργασία των δεδομένων .....	50
5.4. Ανάλυση των δεδομένων και γραφικές παραστάσεις.....	52
5.5. Τελικά αποτελέσματα .....	60
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>63</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>65</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

### ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

#### 1.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα για το οποίο προκαλείται έντονη ανησυχία στις μέρες μας. Συγκεκριμένα, η ρύπανση του περιβαλλοντικού αέρα είναι γνωστή ως ατμοσφαιρική ρύπανση και οι παράγοντες που την προκαλούν ονομάζονται ατμοσφαιρικοί ρυπαντές.

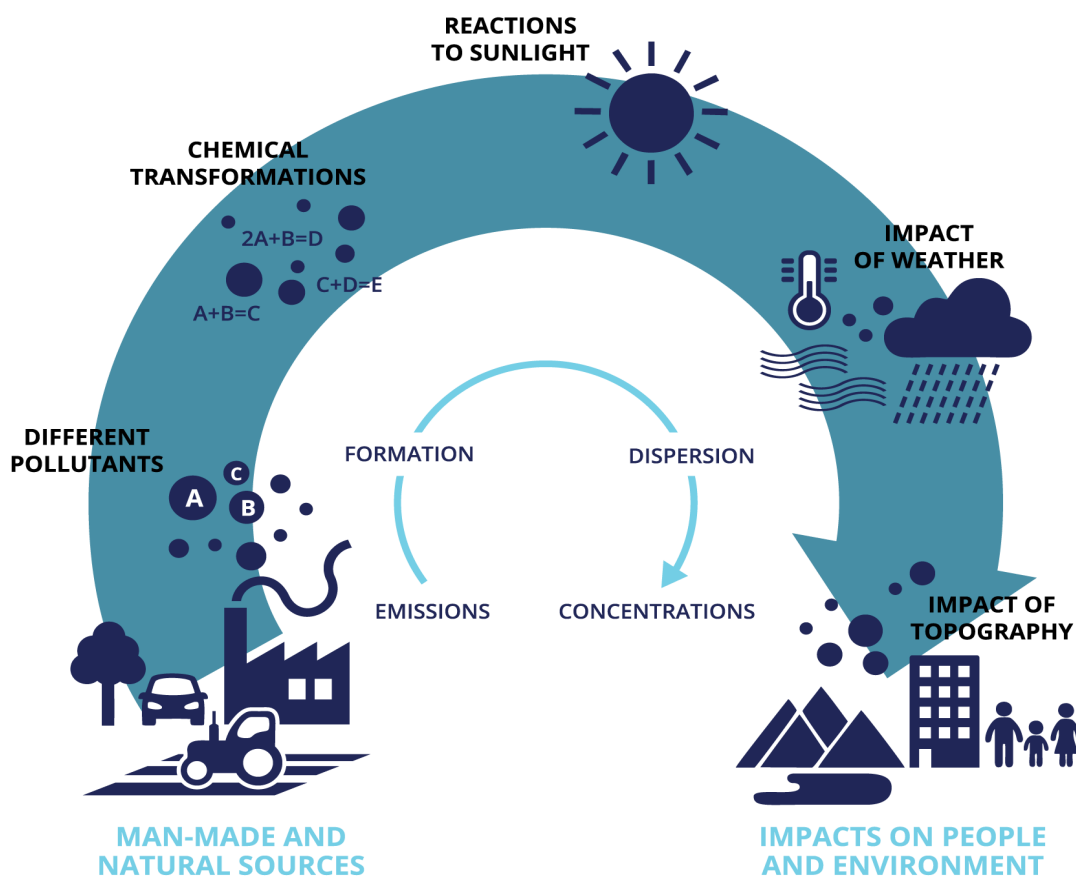
Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την ύπαρξη τοξικών χημικών στοιχείων και ενώσεων στον ατμοσφαιρικό αέρα, οι οποίες, υπό κανονικές συνθήκες, δεν θα έπρεπε να υφίστανται. Η ύπαρξή τους υποβαθμίζει την ποιότητα του αέρα, προκαλεί επιβλαβείς αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον και συνεπώς θέτει την ανθρώπινη υγεία σε κίνδυνο.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται είτε σε φυσικές είτε σε ανθρωπογενείς διαδικασίες. Ωστόσο, το φαινόμενο αυτό απειλεί κυρίως τα αστικά περιβάλλοντα, όπου οι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές πολλαπλασιάζονται στις πόλεις και αποτελούν συνήθως ένα συνδυασμό πολλών διαφορετικών ρυπαντών. Είναι πλέον διαδεδομένο ότι σημαντικό μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην μεγάλη κυκλοφορία οχημάτων μεταφοράς. Έχει αποδειχθεί ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης, που ταξινομούνται σε βενζινοκινητήρες ή πετρελαιοκινητήρες και χρησιμοποιούνται για την κίνηση των μέσων μεταφοράς, αποτελούν μια από τις βασικότερες πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας, με την εκπομπή των βλαβερών ρύπων που συνεπάγονται.

Η ρύπανση δύναται να ταξινομηθεί ως πρωτογενής ή δευτερογενής. Οι πρωτογενείς ρυπαντές είναι ουσίες που απελευθερώνονται απευθείας από μια διαδικασία, όπως ενδεικτικά το μονοξείδιο του άνθρακα από τις εξατμίσεις των οχημάτων, ενώ οι δευτερογενείς ρυπαντές δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα όταν οι πρωτογενείς ρυπαντές αντιδρούν ή αλληλεπιδρούν, όπως για παράδειγμα το όζον.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> European Environment Agency ([www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu))



Road transport contributes about 20 % of the EU's total emissions of carbon dioxide.

More than 30 % of  $\text{NO}_x$  emissions in the EU come from road transport.

Around 12 % of the EU's primary  $\text{PM}_{2.5}$  emissions come from road transport.

Εικόνα 1.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

## 1.2. Εκπομπές ρύπων από βενζινοκινητήρες

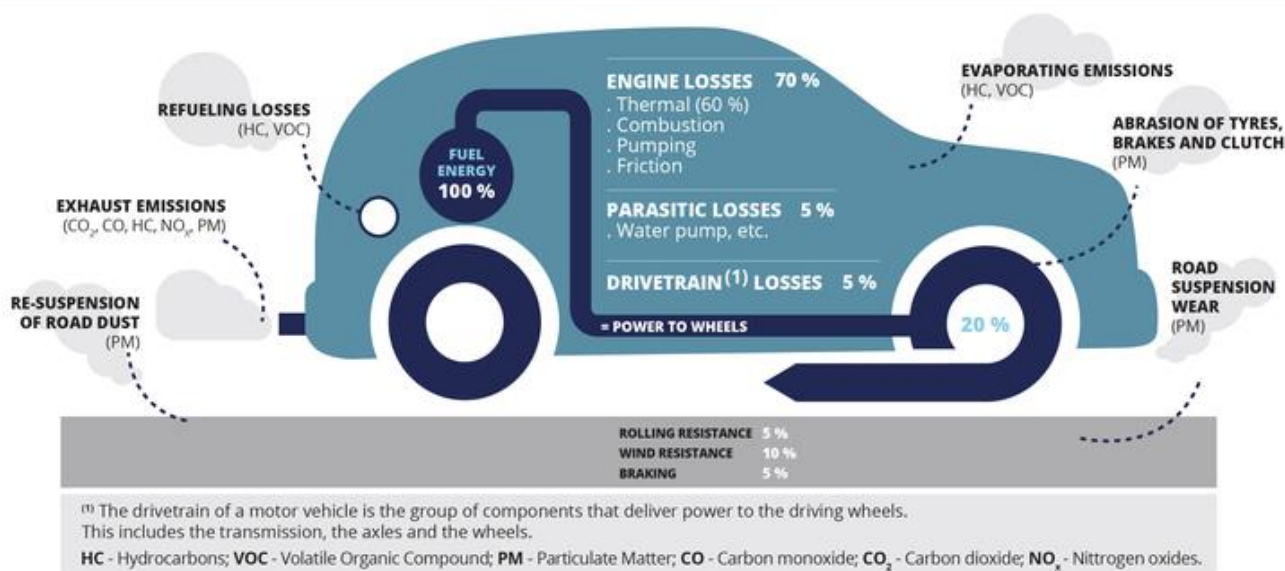
Οι βενζινοκινητήρες κατατάσσονται στους κινητήρες εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με την καύση προϊόντων του αργού πετρελαίου, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η βενζίνη.

Η βενζίνη αποτελείται βασικά από υδρογονάνθρακες, των οποίων η καύση πραγματοποιείται σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Το καύσιμο αναμιγνύεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος παρέχει το απαραίτητο οξυγόνο για την καύση, συμπιέζεται και στην συνέχεια αναφλέγεται. Σε ιδανικές συνθήκες, η καύση των υδρογονανθράκων παράγει διοξείδιο του άνθρακα και νερό, σε μορφή υδρατμών. Δεδομένου όμως ότι ο αέρας, εκτός από οξυγόνο, περιέχει σε μεγάλο ποσοστό και άλλα στοιχεία, στις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν κατά την καύση, αντιδρούν κι αυτά με την σειρά τους, δημιουργώντας παραπροϊόντα τα οποία είναι επιβλαβή για την ατμόσφαιρα.



## Vehicle emissions and efficiency

Fossil fuel powered road transport represents the most significant source of transport related air pollution. Each vehicle releases pollutants from a number of sources.



Εικόνα 1.2. Εκπομπές ρύπων από κινητήρες εσωτερικής καύσης

Ρύποι από βενζινοκινητήρες είναι ενδεικτικά οι εξής: <sup>2</sup>

**HC:** Οι υδρογονάνθρακες είναι στην ουσία βενζίνη που δεν έχει καεί. Ένα ποσοστό άκαυτων υδρογονανθράκων είναι μεν αναπόφευκτο, αλλά το ποσοστό αυτό αυξάνεται σημαντικά όταν παρατηρείται ατελής καύση. Ατελής καύση μπορεί να προκύψει λόγω της κακής αναλογίας του μείγματος βενζίνης και αέρα. Η ιδανική αναλογία για μια πληρέστερη καύση είναι 14,7 προς 1. Αν το μείγμα είναι πλουσιότερο υπάρχει αυξημένη κατανάλωση και ανεβασμένες εκπομπές ρύπων, ενώ αν είναι φτωχότερο παρατηρούνται απώλεια ισχύος, κακή απόκριση του κινητήρα και επίσης αυξημένοι ρύποι.

**CO:** Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι πρωτογενής ρυπαντής και προκύπτει λόγω της ατελούς καύσης της βενζίνης, όταν υπάρχει έλλειψη του οξυγόνου που απαιτείται για να σχηματιστεί διοξείδιο του άνθρακα.

**NOx:** Η δημιουργία οξειδίων του άνθρακα και κυρίως μονοξειδίου (NO) προκαλείται όταν, λόγω των ακραίων συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν κατά την καύση, το οξυγόνο αντιδρά με το άζωτο που υπάρχει επίσης στον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα οξείδια του αζώτου είναι ήδη αυξημένα στην περίπτωση της ιδανικής αναλογίας μείγματος, ενώ αυξάνονται ακόμη περισσότερο σε μια ατελής καύση. Ειδικότερα, το μονοξείδιο του αζώτου όταν οξειδωθεί από το ήδη υπάρχον οξυγόνο, σχηματίζει το διοξείδιο του αζώτου, έναν από

<sup>2</sup> Environmental Pollution Centers ([www.environmentalpollutioncenters.org](http://www.environmentalpollutioncenters.org))

τους πιο επιβλαβείς ρυπαντές, αφού φέρει σημαντική ευθύνη στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους.

CO<sub>2</sub>: Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αναμενόμενο προϊόν της πλήρους καύσης των υδρογονανθράκων της βενζίνης. Μεγάλη συγκέντρωση αυτού στα καυσαέρια των κινητήρων προσδιορίζει μια αποδοτική καύση. Αν και το διοξείδιο του άνθρακα δεν θεωρείται ρυπαντής, εφόσον βρίσκεται στην ατμόσφαιρα λόγω φυσικών διαδικασιών, όταν σε κλειστό χώρο αυξηθεί πολύ, είναι πιθανό να παρατηρηθούν φαινόμενα ασφυξίας. Επιπλέον, εξαιτίας των ολοένα αυξημένων ποσοτήτων που προκύπτουν από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, η περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα συνεχώς αυξάνεται και στο άμεσο μέλλον θα μπορούσε να ταυτιστεί με σοβαρά δυσμενή φαινόμενα στον πλανήτη μας.

### 1.3. Εκπομπές ρύπων από πετρελαιοκινητήρες

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης λειτουργούν με καύσιμο το πετρέλαιο, οπότε γίνεται λόγος για τους πετρελαιοκινητήρες. Τα καυσαέρια πετρελαίου ισοδυναμούν με ρύπους που, είτε μόνοι είτε σε συνδυασμό με άλλες ουσίες, απειλούν το φυσικό περιβάλλον και επομένως τη δημόσια υγεία.

Βασικοί ρύποι από πετρελαιοκινητήρες παρατίθενται παρακάτω:<sup>3</sup>

HC: Οι υδρογονάνθρακες απελευθερώνονται στην περίπτωση της ατελούς καύσης του πετρελαίου. Μεγάλο ποσοστό υδρογονανθράκων θεωρείται επικίνδυνος ατμοσφαιρικός ρύπος, καθώς όταν αντιδράσουν παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας, οδηγούν στο σχηματισμό όζοντος σε επίπεδο εδάφους ή την δημιουργία νέφους, το οποίο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας, όπως ερεθισμό στα μάτια και τους πνεύμονες ή σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα.

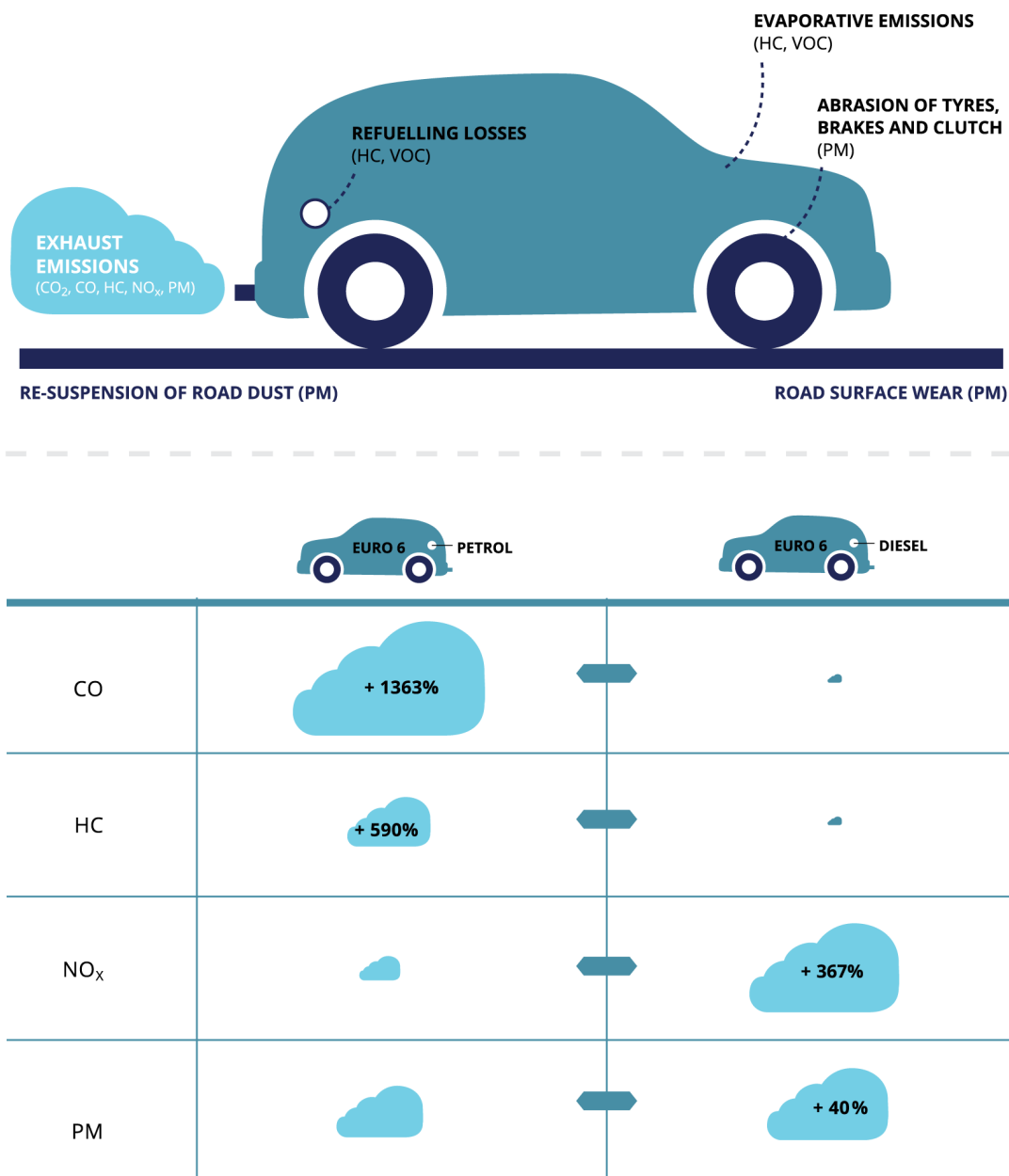
NO<sub>x</sub>: Τα οξείδια του αζώτου είναι επίσης υποπροϊόντα της καύσης του πετρελαίου και συμβάλλουν στο σχηματισμό του όζοντος ή νέφους και συνεπώς στην επιδείνωση των προβλημάτων υγείας. Ακόμη, τα οξείδια του αζώτου συνεργούν στην όξινη βροχή, ώστε να επηρεάσουν το υδάτινο οικοσύστημα και τελικά όλη την φυσική ισορροπία.

CO: Το μονοξείδιο του άνθρακα προκύπτει από την ατελή καύση του καυσίμου. Εξαιτίας της μειωμένης ροής του οξυγόνου στο αίμα που προκαλεί, είναι κρίσιμου ενδιαφέροντος για τα άτομα με καρδιακή νόσο.

PM: Περισσότερο από το 90 τοις εκατό των σωματιδίων που βρέθηκαν σε καυσαέρια πετρελαίου είναι λεπτά σωματίδια, ένα μίγμα στερεών σωματιδίων και υγρών σταγονιδίων που εντοπίζεται στην ατμόσφαιρα. Λόγω του μικρού μεγέθους τους, τα λεπτά σωματίδια μπορούν να εισβάλλουν βαθειά στους πνεύμονες και προκαλέσουν αναπνευστικά ή καρδιαγγειακά προβλήματα, ιδιαίτερα μεταξύ των ευπαθών ομάδων.

<sup>3</sup> Environmental Pollution Centers ([www.environmentalpollutioncenters.org](http://www.environmentalpollutioncenters.org))

Ένα ακόμη προϊόν που προέρχεται από τις εκπομπές των πετρελαιοκινητήρων είναι ο μαύρος άνθρακας και θεωρείται από τους κυριότερους υπεύθυνους για την κλιματική αλλαγή. Πρόκειται για μια ένωση σωματιδίων που απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια θερμαίνουν σημαντικά την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1.3. Εκπεμπόμενοι ρύποι ανά τύπο κινητήρα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

### ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

#### 2.1. Ευρωπαϊκά Πρότυπα Εκπομπών Ρύπων - Euro

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής περιλαμβάνει, ως αναπόσπαστο κομμάτι του, το αυτοκίνητο. Πλέον βέβαια, λόγω της ανησυχίας που έχει προκύψει με την ρύπανση του περιβάλλοντος, για την οποία φέρει σημαντικό μερίδιο ευθύνης ο ολοένα αυξανόμενος αριθμός οχημάτων, παρατηρείται μια τάση για νομοθετικές ρυθμίσεις, ώστε να αναχαιτιστεί η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας.

Σήμερα, έχουν θεσμοθετηθεί ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών, ένα σύνολο δηλαδή από απαιτήσεις και κανονισμούς, οι οποίοι προσδιορίζουν τα αποδεκτά όρια των εκπεμπόμενων ρύπων των οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα πρότυπα αυτά καθορίζονται με μια σειρά από οδηγίες ανάλογα τον τύπο του οχήματος και ο έλεγχος της συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές γίνεται με τυποποιημένους «Κύκλους Πόλης» που έχουν συντεθεί και θεσπιστεί από τα εκτελεστικά και νομοθετικά όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα οχήματα, είτε επιβατικά είτε ελαφρά επαγγελματικά, που δεν τηρούν τις συγκεκριμένες προδιαγραφές δεν μπορούν να ταξινομηθούν στα ευρωπαϊκά κράτη μέλη, ενώ τα νέα πρότυπα δεν ισχύουν για οχήματα που βρίσκονται ήδη στη κυκλοφορία.

#### 2.2. Προδιαγραφές Euro για τα επιβατικά οχήματα

Στην κατηγορία των επιβατικών οχημάτων κατατάσσονται τα μηχανοκίνητα οχήματα με τουλάχιστον τέσσερις τροχούς που προορίζονται για την μεταφορά επιβατών και το καθαρό τους βάρος δεν υπερβαίνει τα 2.610kg. Οι κανονισμοί προβλέπουν διαφορετικά όρια εκπομπών για τα οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν ως καύσιμο τη βενζίνη (βενζινοκίνητα) και εκείνα που λειτουργούν με πετρέλαιο (πετρελαιοκίνητα).<sup>4</sup>

Παρακάτω παρουσιάζεται ο αντίστοιχος πίνακας με τις προδιαγραφές και τις τροπολογίες, γνωστές ως Euro, για τα όρια των εκπεμπόμενων ρύπων που ισχύουν στα επιβατικά οχήματα.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Euro 1 to Euro 6 guide ([www.rac.co.uk](http://www.rac.co.uk))

<sup>5</sup> EUR-Lex, Πρόσβαση στο δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης ([eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu))

## Όρια βενζινοκίνητων οχημάτων

Τροπολογία	Έτος	CO	HC	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	PN (1/km)
Euro 1	1992	2.72 (3.16)	- -	0.97 (1.13)	- -	- -	- -
Euro 2	1996	2.20	-	0.50	-	-	-
Euro 3	2000	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Euro 4	2005	1.00	0.10	-	0.08	-	-
Euro 5	2009	1.00	0.10	-	0.06	0.005	-
Euro 6	2014	1.00	0.10	-	0.06	0.005	6.00x10 <sup>11</sup>

Πίνακας 2.1. Ευρωπαϊκά πρότυπα βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων

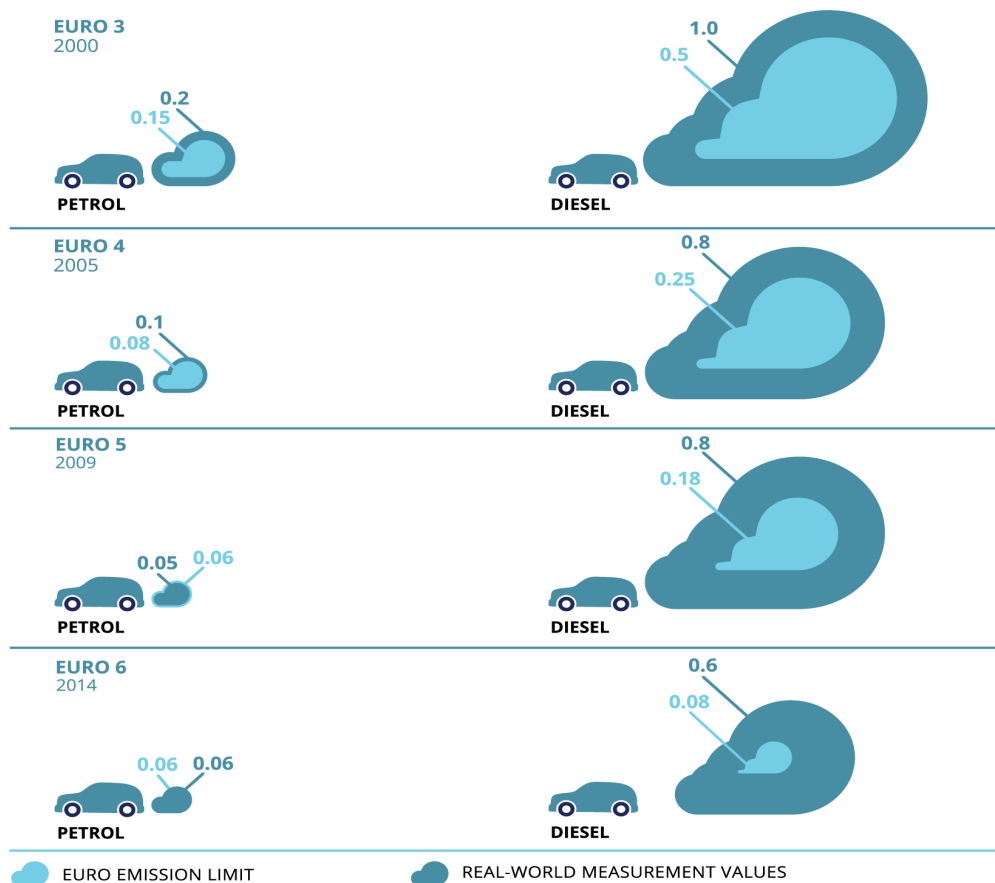
## Όρια πετρελαιοκίνητων οχημάτων

Τροπολογία	Έτος	CO	HC	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	PN (1/km)
Euro 1	1992	2.72 (3.16)	- -	0.97 (1.13)	- -	0.14 (0.18)	- -
Euro 2	1996	1.00	-	0.90	-	0.08	-
Euro 3	2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005	0.50	-	0.30	0.20	0.025	-
Euro 5	2009	0.50	-	0.23	0.18	0.005	6.00x10 <sup>11</sup>
Euro 6	2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005	6.00x10 <sup>11</sup>

Πίνακας 2.2. Ευρωπαϊκά πρότυπα πετρελαιοκίνητων επιβατικών οχημάτων

- Οι τιμές, εκτός των PM, υπολογίζονται σε μονάδα μέτρησης g/km.
- Οι τιμές σε παρένθεση αναφέρονται στα όρια συμμόρφωσης της παραγωγής.
- CO: Μονοξείδιο του άνθρακα
- HC: Υδρογονάνθρακες
- NO<sub>x</sub>: Οξείδια του αζώτου και συγκεκριμένα το οξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Άλλα οξείδια αζώτου που ενδέχεται να υπάρχουν στα καυσαέρια, όπως το N<sub>2</sub>O, δεν ρυθμίζονται.
- Ένα συνδυαστικό όριο για HC + NO<sub>x</sub> χρησιμοποιείται μερικές φορές, αντί για τα δύο ξεχωριστά όρια.
- PM: Σωματίδια, μετρούμενα με βαρυμετρικές μεθόδους.

Το πρώτο ευρωπαϊκό πρότυπο Euro 1 που εφαρμόστηκε, ήταν το λιγότερο αυστηρό όσον αφορά την εκπομπή ρύπων. Χαρακτηριστικά, τα ανώτατα όρια εκπομπών τόσο του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), όσο και των υδρογονανθράκων με τα οξείδια του αζώτου (HC+NOx), είναι στις ίδιες τιμές και για τα δύο είδη κινητήρων. Ήταν στο επόμενο πλαίσιο Euro 2 που εισηγήθηκαν σχετικά μειωμένα όρια εκπομπών ρύπων και τα οποία διαχωρίστηκαν μεταξύ των κινητήρων πετρελαίου και βενζίνης. Στην συνέχεια Euro 3 το συνδυαστικό όριο των υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου διασπάται σε δύο ξεχωριστές τιμές και προτείνονται νέες, ακόμα πιο μειωμένες, τιμές για τους πετρελαιοκινητήρες. Το πλαίσιο που ακολουθεί Euro 4 παρουσιάζεται εμφανώς επικαιροποιημένο και με σημαντική διαφορά από τον προηγούμενο κανονισμό, δεδομένων των αυστηρότερων ορίων. Ακολούθως, από την αρχή εφαρμογής των προτύπων Euro 5 και Euro 6, τα ευρωπαϊκά κράτη μέλη οφείλουν να αρνούνται την έγκριση τύπου, την ταξινόμηση, την πώληση ή τη θέση σε κυκλοφορία των επιβατικών οχημάτων που δεν συμμορφώνονται με τις προτεινόμενες οριακές τιμές εκπομπών. Η μεγάλη αλλαγή που επέφερε το Euro 5 ήταν η εισαγωγή φίλτρων για σωματίδια (DPF) σε όλα τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, μαζί με χαμηλότερα όρια σε όλους τους τομείς, ενώ από την έναρξη ισχύος του προτύπου Euro 6, για όλα τα οχήματα με κινητήρα πετρελαίου ισχύει η υποχρέωση σημαντικής μείωσης των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου.<sup>6</sup>



Εικόνα 2.1. Σύγκριση των προτύπων εκπομπών των οξειδίων του αζώτου (NOx) για τα διαφορετικά ευρωπαϊκά πρότυπα

<sup>6</sup> Euro 1 to Euro 6 guide ([www.rac.co.uk](http://www.rac.co.uk))

### 2.3. Προδιαγραφές Euro για τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα

Όσον αφορά τα μικρά φορτηγά και ελαφρά εμπορικά οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά εμπορευμάτων, ο κανονισμός περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες οριακών τιμών εκπομπών, με βάση τη μάζα αναφοράς του οχήματος: κάτω από 1.305kg, από 1.305kg έως 1.760kg και πάνω από 1.760kg. Γίνεται, επίσης, ο αντίστοιχος διαχωρισμός με αυτόν των επιβατικών οχημάτων, σε βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα.<sup>7</sup>

#### Όρια βενζινοκίνητων οχημάτων

Κατηγορία	Τροπολογία	Έτος	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
< 1.305kg	Euro I	1994	2.72	-	0.97	-	0.14
	Euro II	1998	1.00	-	0.70	-	0.08
	Euro III	2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05
	Euro IV	2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025
	Euro V	2009	0.50	-	0.23	0.18	0.005
	Euro VI	2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005
1.305kg - 1760 kg	Euro I	1994	5.17	-	1.40	-	0.19
	Euro II	1998	1.25	-	1.00	-	0.12
	Euro III	2001	0.80	-	0.72	0.65	0.07
	Euro IV	2006	0.63	-	0.39	0.33	0.04
	Euro V	2010	0.63	-	0.295	0.235	0.005
	Euro VI	2015	0.63	-	0.195	0.105	0.005
> 1760 kg	Euro I	1994	6.90	-	1.70	-	0.25
	Euro II	1998	1.50	-	1.20	-	0.17
	Euro III	2001	0.95	-	0.86	0.78	0.10
	Euro IV	2006	0.74	-	0.46	0.39	0.06
	Euro V	2010	0.74	-	0.350	0.280	0.005
	Euro VI	2015	0.74	-	0.215	0.125	0.005

Πίνακας 2.3. Ευρωπαϊκά πρότυπα βενζινοκίνητων ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων

<sup>7</sup> EU: Cars and Light Trucks, Emission Standards ([www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com))

## Όρια πετρελαιοκίνητων οχημάτων

Κατηγορία	Τροπολογία	Έτος	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
< 1.305kg	Euro I	1994	2.72	-	0.97	-	-
	Euro II	1998	2.20	-	0.50	-	-
	Euro III	2000	2.30	0.20	-	0.15	-
	Euro IV	2005	1.00	0.10	-	0.08	-
	Euro V	2009	1.00	0.10	-	0.06	0.005
	Euro VI	2014	1.00	0.10	-	0.06	0.005
1.305kg - 1760 kg	Euro I	1994	5.17	-	1.40	-	-
	Euro II	1998	4.00	-	0.65	-	-
	Euro III	2001	4.17	0.25	-	0.18	-
	Euro IV	2006	1.81	0.13	-	0.10	-
	Euro V	2010	1.81	0.13	-	0.075	0.005
	Euro VI	2015	1.81	0.13	-	0.075	0.005
> 1760 kg	Euro I	1994	6.90	-	1.70	-	-
	Euro II	1998	5.00	-	0.80	-	-
	Euro III	2001	5.22	0.29	-	0.21	-
	Euro IV	2006	2.27	0.16	-	0.11	-
	Euro V	2010	2.27	0.16	-	0.082	0.005
	Euro VI	2015	2.27	0.16	-	0.082	0.005

Πίνακας 2.4. Ευρωπαϊκά πρότυπα πετρελαιοκίνητων ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων

**2.4. Προδιαγραφές σε ισχύ<sup>8</sup>**

Το πλαίσιο διαμορφώνεται συνεχώς, με νέες βελτιωμένες οδηγίες και τροποποιήσεις, οι οποίες θέτουν ολοένα και αυστηρότερα όρια εκπομπών. Η άμεση συμμόρφωση με τους νέους αυτούς κανονισμούς μειωμένων ρύπων είναι κρίσιμης σημασίας. Επομένως, η Ευρωπαϊκή Ένωση επιχειρεί να δώσει κίνητρα, όπως ενδεικτικά φορολογικές ελαφρύνσεις και χρηματοδοτικά προγράμματα, τόσο προς τις κατασκευαστικές εταιρίες όσο και το αγοραστικό κοινό, όσον αφορά την επιλογή οχημάτων που ικανοποιούν τις τελευταίες απαιτήσεις, προτού αυτές γίνουν υποχρεωτικές.

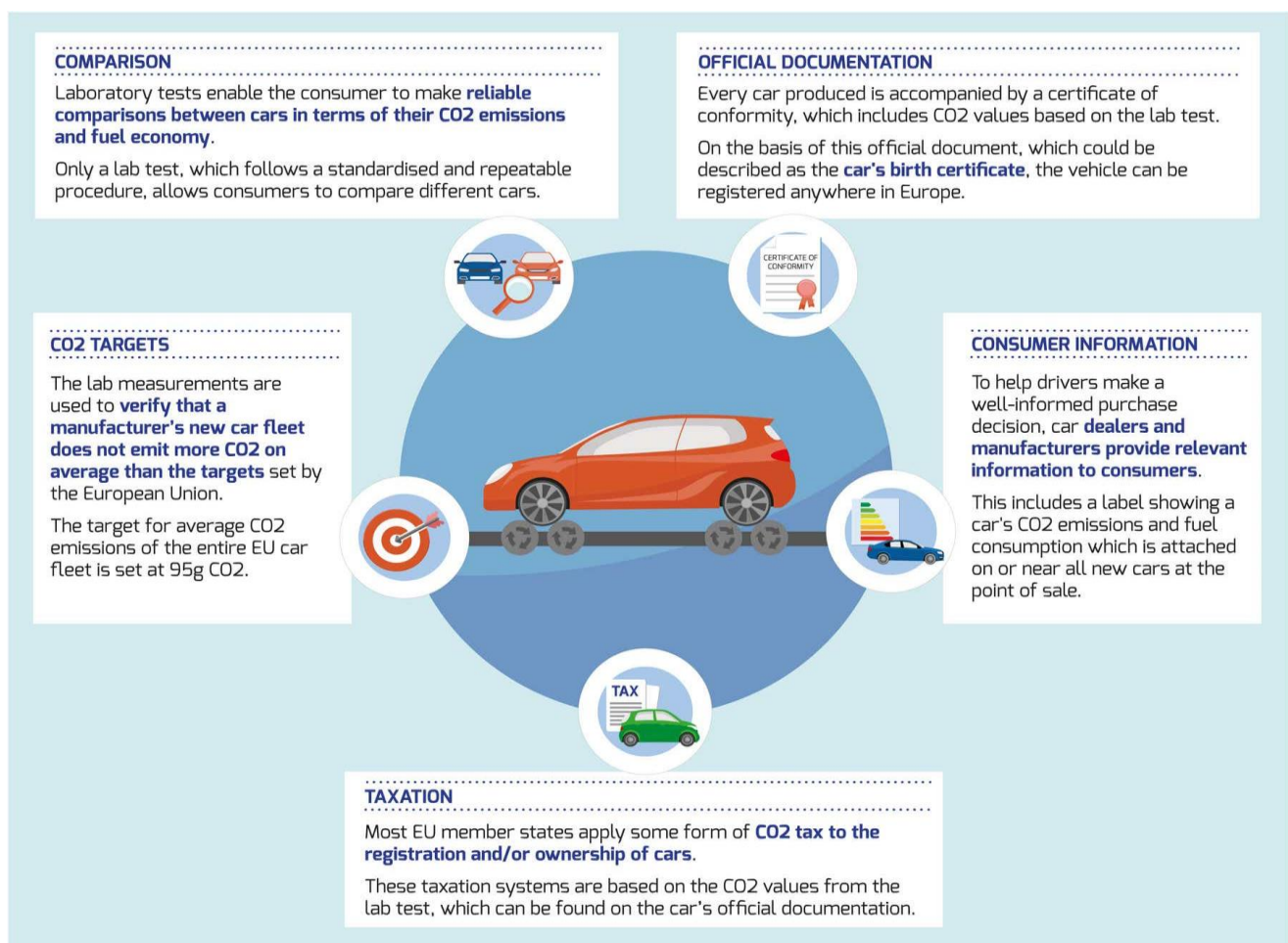
Οι όροι για τα χρηματοδοτικά προγράμματα από τα κράτη μέλη ικανοποιούνται εφόσον: Κάθε νέο όχημα που πωλείται στην αγορά ενός κράτους μέλους πληροί εκ των προτέρων τις απαιτήσεις του ισχύοντος κανονισμού ή για όσα είναι ήδη σε κυκλοφορία

<sup>8</sup> EUR-Lex, Πρόσβαση στο δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (eur-lex.europa.eu)



συμμορφώνονται με τους κανονισμούς προτού την ημερομηνία εφαρμογής των οριακών τιμών, σχεδόν δηλαδή έναν χρόνο μετά την θεσμοθέτησή τους. Επίσης, τα χρηματοδοτικά κίνητρα ανέρχονται, για κάθε τύπο μηχανοκίνητου οχήματος, σε ποσό μικρότερο από το επιπλέον κόστος που συνεπάγονται αφενός τα τεχνικά συστήματα διάγνωσης που διασφαλίζουν την τήρηση των καθοριζόμενων οριακών τιμών και αφετέρου η τοποθέτησή τους στα οχήματα. Ακόμη, οι κατασκευαστικές εταιρίες οφείλουν να διασφαλίζουν την ανθεκτικότητα των συστημάτων ελέγχου ρύπανσης για απόσταση 160.000km, καθώς η συμμόρφωση με τους κανονισμούς πρέπει να είναι δυνατόν να ελέγχεται κατά την λειτουργία των οχημάτων για χρονικό διάστημα έως πέντε έτη ή 100.000km.

Οι προδιαγραφές Euro συνδυάζονται επιπλέον με ειδικά θεσπισμένες απαιτήσεις που αφορούν ενδεικτικά: Τις εκπομπές ρύπων σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, τις εκπομπές σε λειτουργία κινητήρα εν κενό, την καθαρότητα του παραγόμενου καυσαερίου και ειδικότερα του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Για την καλύτερη γνώση και επιλογή των οδηγών, αφορούν επίσης διαδικασίες δοκιμής σε εργαστήριο για την σύγκριση οχημάτων, την επίσημη πιστοποίηση για την ορθή λειτουργία τους, την απόδοση και την αντοχή των συστημάτων ελέγχου ρύπανσης κατά την λειτουργία των οχημάτων, τις διατάξεις αντικατάστασης για τον τεχνικό έλεγχο των εκπομπών, την συμμόρφωση εν χρήσει και την αντίστοιχη φορολόγηση.



Εικόνα 2.2. Στόχοι των προδιαγραφών Euro

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

#### 3.1. Ορισμός και ταξινόμηση

Η ενεργειακή κατανάλωση αλλά και οι επακόλουθες εκπομπές ενός οχήματος εξαρτώνται άμεσα όχι μόνο από τον τρόπο οδήγησης του, αλλά και τις συνθήκες κυκλοφορίας στην περιοχή κίνησης του οχήματος. Προκειμένου λοιπόν να προσεγγιστεί η διαδικασία αυτή, αναπτύχθηκε η έννοια του κύκλου οδήγησης. Ο πρώτος κύκλος οδήγησης δημιουργήθηκε την δεκαετία του 1970 για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ενώ σήμερα υπάρχουν πάνω από 200 επίσημοι κύκλοι οδήγησης και η ανάγκη για περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων παραμένει το ίδιο κρίσιμη.

Κύκλος οδήγησης ονομάζεται το μοντέλο που προσομοιώνει την κίνηση στο αστικό περιβάλλον και χρησιμοποιείται για την ποιοτική και ποσοτική περιγραφή της λειτουργίας των οχημάτων. Ένας κύκλος οδήγησης, ο οποίος ονομάζεται επίσης σχέδιο οδήγησης ή προφίλ ταχύτητας, είναι στην ουσία μια σειρά δεδομένων που αναπαριστούν γραφικά την ταχύτητα του αυτοκινήτου σε συνάρτηση με τον χρόνο, κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας.

Η σύνταξη και θεσμοθέτηση των κύκλων οδήγησης γίνεται από διαφορετικές χώρες και οργανισμούς ανά τον κόσμο και η χρήση τους αποσκοπεί στην αξιολόγηση της απόδοσης των οχημάτων με διάφορους τρόπους, όπως χαρακτηριστικά της κατανάλωσης καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων. Επίσης, ως εργαλείο σύγκρισης, συμβάλλουν στην διαδικασία σχεδιασμού νέων οχημάτων και ανάπτυξης καυσίμων.<sup>9</sup>

Οι κύκλοι οδήγησης ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με την χρήση που προορίζονται και τα δεδομένα από τα οποία προήλθαν:<sup>10</sup>

- τους θεσμοθετημένους κύκλους οδήγησης (Legislative Driving Cycles)
- τους κύκλους οδήγησης πραγματικών συνθηκών (Real World Driving Cycles)

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους κύκλους που χρησιμοποιούνται για την έγκριση τύπου των οχημάτων (Legislative) από τις αρμόδιες υπηρεσίες, την επιβολή, δηλαδή, συγκεκριμένων ορίων για τις εκπομπές ρύπων και την έκδοση του αντίστοιχου πιστοποιητικού για το εκάστοτε όχημα. Εφαρμόζονται στην Ευρώπη (ECE+EUDC, Artemis), στην Αμερική (FTP-75) και στην Ιαπωνία (10-15 mode).

<sup>9</sup> P. Nyberg (2015), *Evaluation, Generation, and Transformation of Driving Cycles*

<sup>10</sup> Ε.Τζιράκης (2007), *Συσχετισμός εκπομπών με φυσικοχημικές ιδιότητες των καυσίμων και με δεδομένα από την κίνηση των οχημάτων στο λεκανοπέδιο της Αττικής*

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους κύκλους οδήγησης που παλαιότερα προορίζονταν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς, όπως έρευνες εξοικονόμησης ενέργειας και εκτίμησης της αέριας ρύπανσης, ενώ πλέον χρησιμοποιούνται και στην διαδικασία έγκρισης τύπου. Αναπτύσσονται με βάση δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικές συνθήκες κίνησης, και ύστερα από στατιστική επεξεργασία, προκύπτουν οι κύκλοι, όπως αιτιολογεί και ο χαρακτηρισμός τους “Real World”.

Ακόμη, μια δεύτερη ταξινόμηση των κύκλων οδήγησης γίνεται ανάλογα με την μορφή και τον τρόπο που αυτοί κατασκευάζονται:<sup>11</sup>

- Modal ονομάζονται οι κύκλοι που προέρχονται από τα αποτελέσματα που προκύπτουν βάσει σταθερών επιταχύνσεων, ταχυτήτων κίνησης και επιβραδύνσεων.
- Real World χαρακτηρίζονται όσοι κύκλοι κατασκευάζονται πιστά στα πρότυπα των πραγματικών καταγραφών κίνησης, καθώς παρατηρούνται διαστήματα με μη σταθερή ταχύτητα, επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

### 3.2. Μεθοδολογία λήψης δεδομένων

Η δημιουργία των κύκλων οδήγησης βασίζεται στην συλλογή δεδομένων οχημάτων, τα οποία κατάλληλα εξοπλισμένα με μέσα καταγραφής των παραμέτρων κίνησής τους ενδείκνυνται για τον σκοπό αυτό. Σημαντικός παράγοντα είναι, επίσης, ο τρόπος κίνησης του εκάστοτε οχήματος από το πεδίο της δειγματοληψίας, προκειμένου οι καταγραφές να είναι αντικειμενικές και αντιπροσωπευτικές του τρόπου κίνησης του μέσου όρου των οχημάτων σε κυκλοφορία.

Για τον λόγο αυτό, έχουν κατασκευαστεί από ερευνητές και ειδικούς μια σειρά από τεχνικές αναφορικά με τον τρόπο κίνησης των εξεταζόμενων οχημάτων:<sup>12</sup>

1. Η ονομαζόμενη τεχνική οδήγησης “chase car” χρησιμοποιείται ευρύτατα στις αντίστοιχες έρευνες. Χαρακτηρίζεται από δύο τακτικές: το όχημα δοκιμών ακολουθεί ένα δεύτερο όχημα παρόμοιων χαρακτηριστικών και προσπαθεί να αντιγράψει την κίνησή του στο σύνολο της διαδρομής, όπως εναλλαγές ταχύτητας, επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, ενώ στην περίπτωση που δεν υπάρχει συγκεκριμένο όχημα να αποτελεί μοντέλο προς αντιγραφή της κίνησής του, το όχημα δοκιμών ακολουθεί την γενική ροή κυκλοφορίας και αποφεύγει τα οχήματα που κινούνται πολύ αργά ή γρήγορα.

2. Ακόμη, ευρέως εφαρμοσμένη είναι η μέθοδος συλλογής δεδομένων κίνησης, μέσω κατάλληλα εξοπλισμένων ιδιωτικών οχημάτων τα οποία χρησιμοποιούνται από τους ιδιοκτήτες τους για τις καθημερινές τους διαδρομές.

<sup>11</sup> M. André, R. Joumard, R. Vidon, P. Tassel και P. Perret (2006), *Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars*

<sup>12</sup> P. Bouter, U. Latham και M. Aigne, (1999), *Driving cycles for measuring car emissions on roads with traffic calming measures*

3. Επαγγελματίες οδηγοί που γνωρίζουν το σκοπό της έρευνας και μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των μετρήσεων, είναι επίσης μια πιθανή επιλογή των διάφορων τεχνικών.

4. Καταγραφή των μετρήσεων μπορεί να γίνει, τέλος, στο ίδιο εξοπλισμένο αυτοκίνητο, το οποίο όμως οδηγούν πολλοί διαφορετικοί οδηγοί.

Βέβαια, όλες οι παραπάνω μέθοδοι συλλογής δεδομένων των οχημάτων θα καταλήξουν στην δημιουργία των κύκλων οδήγησης που εντάσσονται στην κατηγορία των “real world”, δεδομένου ότι βασίστηκαν σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας και επομένως μη σταθερές ή ελέγξιμες. Ανάλογα με τον τρόπο ορισμού του δείγματος, ο τελικός κύκλος οδήγησης μπορεί να αποτελείται από μια πραγματική διαδρομή ή από συνδυασμό φάσεων οδήγησης.

Όσον αφορά την εκπόνηση των “modal” κύκλων οδήγησης, απαιτείται η κατάλληλη επιλογή των τμημάτων αυτών που θα συνθέσουν το τελικό αποτέλεσμα και θα συμφωνούν στατιστικά με τα δεδομένα κίνησης που συλλέχθηκαν. Κατά την συγκεκριμένη μέθοδο, το εξεταζόμενο όχημα τοποθετείται εντός εργαστηρίου σε μια ειδική εξέδρα προσομοίωσης της κίνησης στον δρόμο. Η πέδη οχημάτων, όπως ονομάζεται η εξέδρα αυτή, προσομοιώνει με ηλεκτρικά και μηχανικά μέσα τόσο τις αεροδυναμικές αντιστάσεις και τις αντίστοιχες της τριβής, όσο και την αδράνεια του οχήματος. Η ταχύτητα του οχήματος κατά τη δοκιμή ακολουθεί προκαθορισμένη χρονική εξέλιξη, καθώς επίσης όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με σταθερό ρυθμό δειγματοληψίας.

### 3.3. Επεξεργασία δεδομένων

Κρίσιμο στάδιο στην διαδικασία κατασκευής ενός κύκλου οδήγησης, ώστε αυτός να είναι αντιπροσωπευτικός εφόσον προέρχεται από πραγματικά δεδομένα, είναι η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων αυτών.

Το 1973, οι ερευνητές Kuhler και Karstens σύνταξαν μια λίστα παραμέτρων αξιολόγησης, που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση επιλεγμένων κύκλων οδήγησης, όπως:<sup>13</sup>

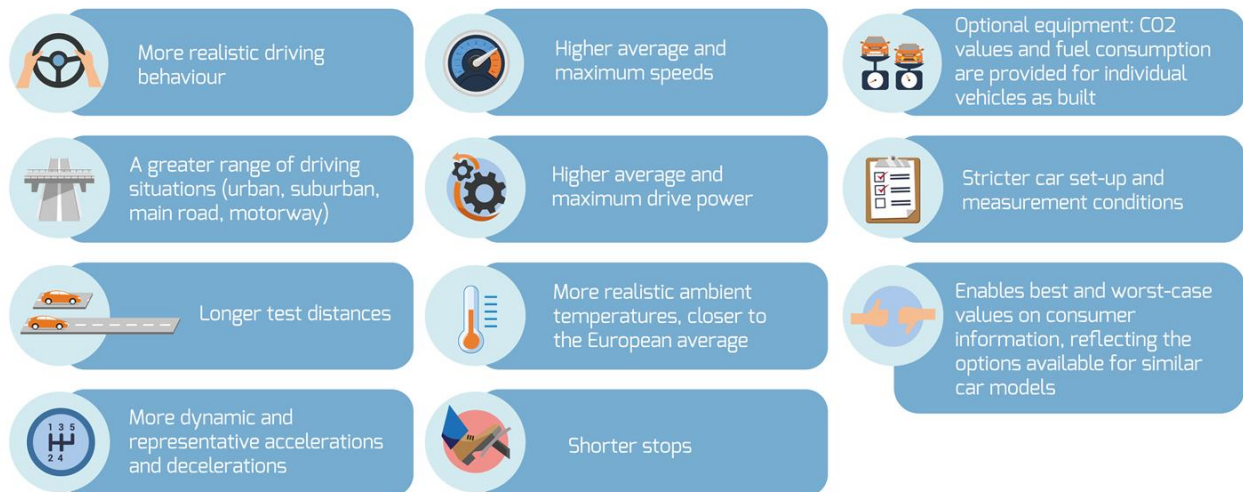
- Η μέση ταχύτητα
- Η μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις
- Η συνολική μέση επιτάχυνση
- Η συνολική μέση επιβράδυνση
- Η μέση διάρκεια της περιόδου κίνησης
- Ο μέσος όρος των εναλλαγών επιτάχυνσης και επιβράδυνσης
- Το ποσοστό του χρόνου σε στάση
- Το ποσοστό του χρόνου σε επιτάχυνση
- Το ποσοστό του χρόνου σε επιβράδυνση
- Το ποσοστό του χρόνου σε σταθερή ταχύτητα

<sup>13</sup> M. Kuhler και D. Karstens (1978), *Improve driving cycle for testing automotive exhaust emissions*

Αργότερα το 1996, έγινε επανεξέταση και αναθεώρηση της συγκεκριμένης λίστας, που οδήγησε στην εισαγωγή νέων παραμέτρων. Σύμφωνα με τον Andre οι πιο σημαντικές παράμετροι είναι:<sup>14</sup>

- Η διάρκεια του κύκλου
- Η μέση ταχύτητα
- Η τυπική απόκλιση της επιτάχυνσης
- Η θετική κινητική ενέργεια
- Το ποσοστό του χρόνου σε στάση
- Ο αριθμός των στάσεων ανά χιλιόμετρο
- Η μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις
- Η μέση επιτάχυνση
- Η μέση επιβράδυνση
- Η μέση διάρκεια των περιόδων κίνησης
- Ο μέσος όρος των εναλλαγών επιτάχυνσης και επιβράδυνσης
- Η κατανομή της ταχύτητας
- Η κατανομή της επιτάχυνσης
- Η κατανομή της επιβράδυνσης

Βέβαια, η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι νέες ανάγκες που συνεχώς προκύπτουν οδηγούν στην εισαγωγή και άλλων παραμέτρων, όπως ενδεικτικά η ισχύς, οι διακυμάνσεις της ταχύτητας, η σχετική θετική επιτάχυνση, το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της επιτάχυνσης και το άθροισμα των τετραγώνων της επιτάχυνσης.



Εικόνα 3.1. Πραγματικές συνθήκες για την εκπόνηση ενός κύκλου οδήγησης

<sup>14</sup> M. Andre (1996), *Driving cycles development: characterization of methods*

### 3.4. Εφαρμογή των κύκλων οδήγησης σε δυναμομετρική εξέδρα<sup>15</sup>

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι δοκιμές έγκρισης τύπου καυσαερίων είναι απαραίτητες βάσει νομοθεσίας, για όλα τα καινούργια μοντέλα οχημάτων μικρής κατηγορίας, επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά. Οι εκπομπές καυσαερίων είναι δυνατό να διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα το όχημα και το καύσιμο που χρησιμοποιείται και συνεπώς η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αξιολόγησής τους εξασφαλίζεται όταν οι δοκιμές πραγματοποιούνται υπό εργαστηριακές συνθήκες. Η αντίστοιχη διαδικασία συλλογής και ανάλυσης των ρύπων προβλέπεται αναλυτικά από τη νομοθεσία.

Τα οχήματα δοκιμάζονται συνήθως με χρήση της δυναμομετρικής εξέδρας πλαισίου (chassis dynamometer), μιας μηχανολογικής δηλαδή συσκευής που απορροφά την κίνηση των τροχών και παρέχει την απαιτούμενη αντίσταση, έτσι ώστε να γίνει δοκιμή του οχήματος όχι μόνο σε προσομοίωση πραγματικής οδήγησης, αλλά με ασφάλεια και ελεγχόμενες παραμέτρους. Η εξέδρα αποτελεί η ίδια ένα χρήσιμο δυναμόμετρο, εφόσον επιτρέπει να γίνει συλλογή πληθώρας μετρήσεων μέσα σε εργαστήριο, καθώς μαζί με τον πρόσθετο εξοπλισμό, όπως το σύστημα μέτρησης καυσίμου, συλλογής αερίων, ανάκτησης και έλεγχου των δεδομένων και το απαραίτητο λογισμικό προκύπτουν κρίσιμα συμπεράσματα για την κατανάλωση καυσίμου, τις εκπομπές ρύπων, αλλά και την γενικότερη δυναμομέτρηση.

Πρακτικά, στην δυναμομετρική εξέδρα οι τροχοί του οχήματος τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να βρίσκονται σε επαφή με τους κυλίνδρους της εξέδρας, των οποίων η περιστροφή είναι ελεγχόμενη και μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να προσομοιάζει τις απώλειες τριβής και την αεροδυναμική αντίσταση ενός κινούμενου οχήματος σε ρεαλιστικές συνθήκες. Στην συνέχεια, η δειγματοληψία των εκπεμπόμενων ρύπων πραγματοποιείται καθώς το αυτοκίνητο πορεύεται με βάση έναν προκαθορισμένο κάθε φορά κύκλο οδήγησης, ο οποίος είτε έχει σχεδιαστεί είτε έχει προκύψει από πραγματικές καταγραφές και αναπαριστά έναν συγκεκριμένο τρόπο οδήγησης.

Οι κύκλοι οδήγησης, που εκτελούνται στις εργαστηριακές δοκιμές, αποτελούνται από την καμπύλη ταχύτητας χρόνου και ένα χρονοδιάγραμμα επιλογής σχέσεων ταχυτήτων, που πρέπει να ακολουθήσει το υπό δοκιμή όχημα. Ένας εκπαιδευμένος οδηγός εκτελεί τον κύκλο οδήγησης στην δυναμομετρική εξέδρα, με τη βοήθεια των απαραίτητων μηχανημάτων που εξασφαλίζουν την όσο το δυνατόν πιο πιστή απόδοση του κύκλου.

---

<sup>15</sup> EUR-Lex, Πρόσβαση στο δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (eur-lex.europa.eu)



Εικόνα 3.2. Δυναμομετρική εξέδρα

Τα παραγόμενα καυσαέρια συλλέγονται κατά την διάρκεια του κύκλου, αναλύονται και στη συνέχεια εκφράζονται σε g/km για κάθε έναν από τους μετρούμενους ρύπους. Οι ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων που μετρούνται, υπόκεινται στην επιρροή πολλών παραμέτρων, μεταξύ των οποίων είναι αυτοί που σχετίζονται με το όχημα, όπως το μοντέλο, το μέγεθος, ο τύπος καυσίμου, η τεχνολογία που διαθέτει και τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει. Επίσης, επηρεάζονται από λειτουργικούς παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι, η ταχύτητα, την επιτάχυνση, η επιλογή σχέσεων ταχυτήτων και η κλίση του οδοστρώματος. Οπότε, δεν είναι περίεργο ότι διαφορετικοί κύκλοι οδήγησης έχουν αναπτυχθεί για διαφορετικούς τύπους οχημάτων. Ακόμα πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι η διαδικασία της εκτέλεσης κύκλων οδήγησης σε δυναμομετρική εξέδρα, μπορεί να εκτελεστεί και για διαφορετικούς σκοπούς εκτός της εκτίμησης εκπομπών, όπως κατά τον σχεδιασμό νέων κινητήρων ή νέων οχημάτων για τον έλεγχο της αντοχής του κιβωτίου ταχυτήτων και του διαφορικού (σύστημα μεταφοράς της κίνησης από το κιβώτιο ταχυτήτων στους τροχούς) ή την δοκιμή νέων συστάσεων καυσίμων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

### ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

#### 4.1. Ευρώπη

Ενδεικτικά κάποιοι από τους σημαντικότερους κύκλους οδήγησης που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη, για τα επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, είναι:

##### 1. ECE + EUDC και NEDC<sup>16</sup>

Ο ευρωπαϊκός κύκλος οδήγησης ECE+EUDC, γνωστός επίσης ως MVEG-A, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση εκπομπής ρύπων και κατανάλωσης καυσίμων, επιβατικών οχημάτων μικρής και μεσαίας κατηγορίας. Η εκτέλεση του κύκλου πραγματοποιείται σε δυναμομετρική εξέδρα.

Γενικά, πρόκειται για έναν κύκλο ο οποίος συντίθεται από τμήματα σταθερής λειτουργίας κινητήρα, σταθερής δηλαδή ταχύτητας, και παρότι περιέχει φάσεις επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, οι οποίες όμως αντιπροσωπεύουν μέσες συνθήκες λειτουργίας, ο κύκλος χαρακτηρίζεται ως σταθερής κατάστασης.

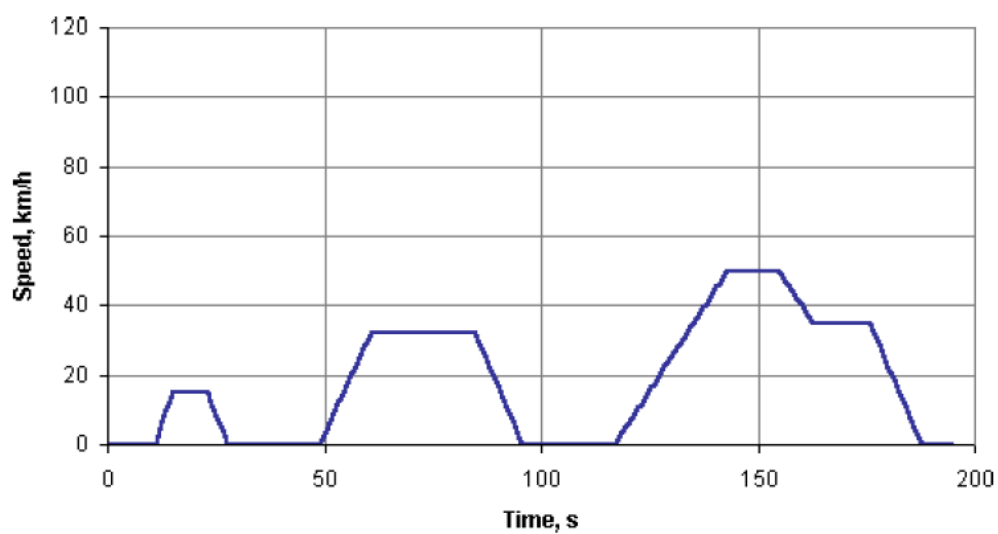
Ειδικότερα, ο κύκλος συνίσταται από δύο επιμέρους κύκλους: περιλαμβάνει τέσσερις επαναλήψεις χωρίς διακοπή του κύκλου ECE και ακολουθεί ένα τμήμα του EUDC. Το ECE 15 είναι ένας κύκλος αστικής οδήγησης, γνωστός και ως UDC (Urban Driving Cycle), ο οποίος σχεδιάστηκε να αντιπροσωπεύει τις συνθήκες οδήγησης στις μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις. Χαρακτηρίζεται από την χαμηλή ταχύτητα του οχήματος, το χαμηλό φορτίο του κινητήρα και την χαμηλή θερμοκρασία καυσαερίων. Ο υπεραστικός κύκλος EUDC (Extra Urban Driving Cycle) προστέθηκε μετά τον τέταρτο κύκλο ECE για να συμπεριλάβει πιθανούς, πιο “επιθετικούς” τρόπους οδήγησης, δηλαδή με υψηλή ταχύτητα, αφού η μέγιστη ταχύτητα του συγκεκριμένου κύκλου φτάνει τα 120 km/h ή εναλλακτικά, για οχήματα χαμηλής ισχύος, τα 90 km/h. Ο κύκλος δοκιμών μπήκε σε εφαρμογή το 1992, με την τροπολογία Euro 1, η οποία θέτει τους πρώτους περιορισμούς για τις εκπομπές ρύπων. Μέχρι τότε, εφαρμοζόταν αποκλειστικά ο κύκλος ECE 15.

---

<sup>16</sup> ECE 15 + EUDC / NEDC, Emission Test Cycles ([www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com))

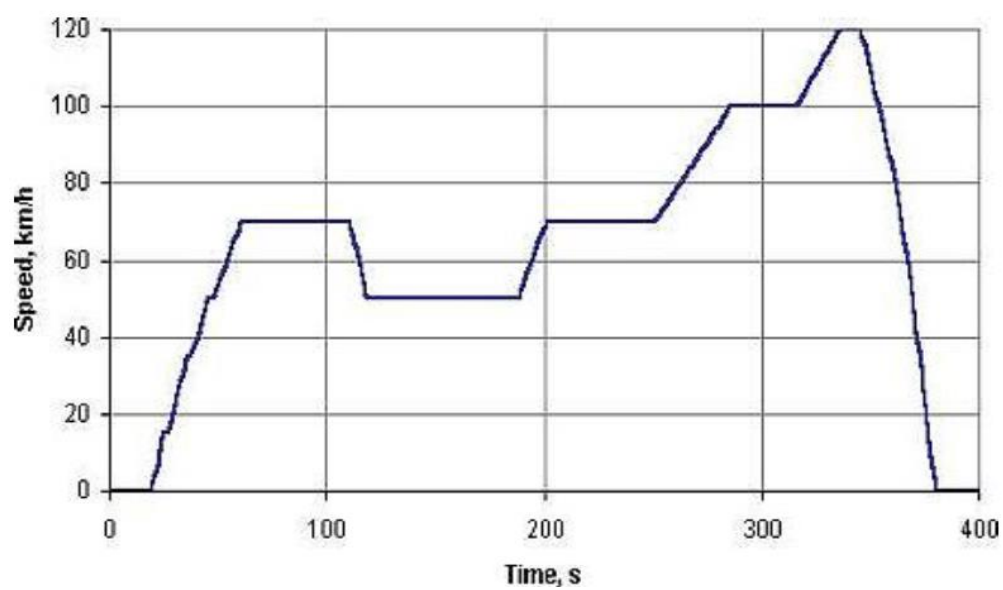


## Κύκλος ECE



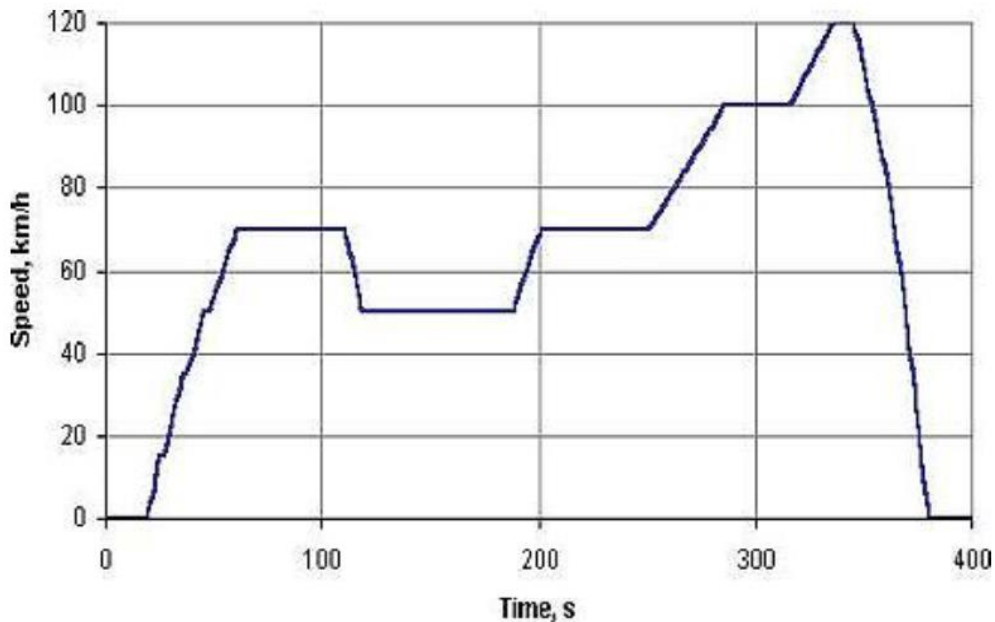
Διάγραμμα 4.1. Κύκλος ECE

## Κύκλος EUDC



Διάγραμμα 4.2. Κύκλος EUDC

### Κύκλος EUDC για χαμηλής ισχύος οχήματα



Διάγραμμα 4.3. Κύκλος EUDC για χαμηλής ισχύος οχήματα

Η διαδικασία μέτρησης των καυσαερίων ξεκινά με το όχημα, το οποίο παραμένει για τουλάχιστον 6 ώρες σε θερμοκρασία δοκιμής 20-30°C. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται η εκκίνησή του και μένει σε άεργη κατάσταση κινητήρα για 40 δευτερόλεπτα. Βέβαια, από το έτος 2000, αυτό το στάδιο καταργείται και γίνεται λόγος για τροποποιημένη διαδικασία ψυχρής εκκίνησης, όπου η δειγματοληψία των εκπομπών αρχίζει αμέσως. Ο νέος αυτός κύκλος αναφέρεται επίσημα ως NEDC (New European Driving Cycle) ή ως MVEG-B. Έπειτα, εκτελείται ο αστικός κύκλος ECE 15, επαναλαμβανόμενος τέσσερις φορές χωρίς διακοπή για συνολικό χρόνο λειτουργίας 780 δευτερολέπτων. Η συνολική απόσταση που διανύεται υπολογίζεται στα 4.052km, με μία μέση ταχύτητα των 19km/h. Κατά την διεκπεραίωση αυτού του μέρους είναι κυρίως που εντοπίζεται η εκπομπή ρύπων μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογονανθράκων (HC). Ακολούθως, εκτελείται ο αστικός κύκλος υψηλής ταχύτητας (EUDC), ο οποίος συνεισφέρει σε μεγαλύτερο ποσοστό από τον προηγούμενο όσον αφορά την εκπομπή οξειδίων του νατρίου (NOx). Κατά τη διάρκεια του συνολικού κύκλου ECE+EUDC, τα δείγματα κάθε ρύπου λαμβάνονται σύμφωνα με την τεχνική δειγματοληψίας σταθερού όγκου (CVS), που αναλύονται και εκφράζονται σε g/km.

Εντούτοις, ο NEDC έχει κριθεί πλέον από τους ειδικούς ως πιθανός ακατάλληλος, καθώς δεν αντιπροσωπεύει πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Εξαιτίας της ομαλότητάς του και δεδομένου ότι καλύπτει μόνο μία μικρή περιοχή από το εύρος λειτουργίας του κινητήρα, η λήψη μετρήσεων δεν δύναται να συμβαδίζει με τις παρατηρήσεις κατά την τυπική χρήση ενός οχήματος. Συνεπώς, οι ευρωπαϊκές αρχές διερευνούν ήδη την αντικατάσταση του NEDC με ένα νέο κύκλο (WLTC) που πιθανότατα να εφαρμοστεί πλήρως με τον επόμενο κανονισμό Euro 7.

Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη	ECE 15	EUDC	NEDC
Συνολική απόσταση (m)	0994.1	6955.07	11016.63
Συνολικός χρόνος (s)	195	400	1180
Μέση ταχύτητα (km/h)	18.35	62.6	33.6
Μέση ταχύτητα οδήγησης (km/h)	25.93	68.6	42.24
Χρόνος σε κίνηση (s)	49	197	458
Χρόνος σε στάση (s)	45	35	241
Μέση επιτάχυνση (m/s <sup>2</sup> )	0.348	0.266	0.528
Μέση επιβράδυνση (m/s <sup>2</sup> )	-0.393	-0.420	-0.719
Αριθμός στάσεων	4	2	14
Μέση διάρκεια στάσεων (s)	11.25	17.5	17.21

Πίνακας 4.1. Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη των κύκλων ECE 15, EUDC και NEDC

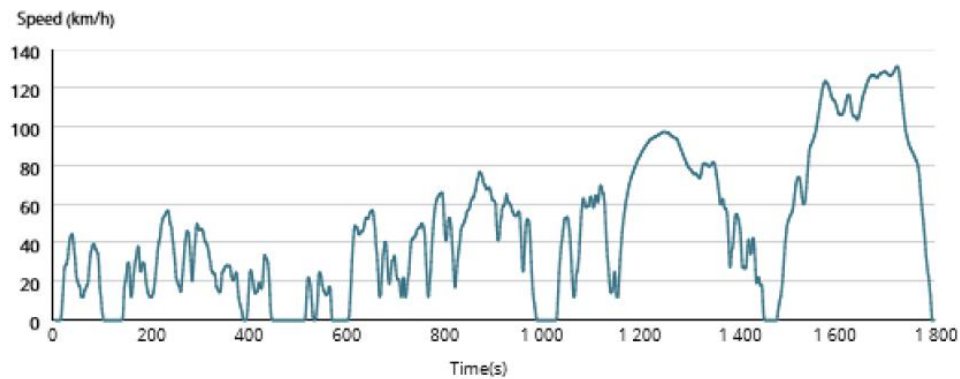
## 2. WLTC<sup>17</sup>

Ο νέος κύκλος WLTC (World Harmonized Light Vehicle Testing Cycle) τίθεται σε ισχύ το 2017 και ταυτόχρονα βάζει τέλος στον προηγούμενο (NEDC), ώστε να γίνουν οι απαραίτητες βελτιώσεις στον τρόπο δοκιμής οχημάτων και να ανταποκρίνεται περισσότερο σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Η δοκιμή WLTP εφαρμόζεται επίσημα στους νέους τύπους οχημάτων, δηλαδή μοντέλα που εισάγονται στην αγορά για πρώτη φορά, και ένα χρόνο αργότερα μετά την εφαρμογή του, η δοκιμή WLTP ισχύει για όλες τις εγγραφές νέων οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Γίνεται λόγος για τον αυστηρότερο εργαστηριακό έλεγχο στην μέτρηση των εκπεμπόμενων ρύπων, καθώς εισάγει πολύ πιο ρεαλιστικές συνθήκες δοκιμών, όπως χαρακτηριστικά υψηλότερες ταχύτητες, πιο αντιπροσωπευτική συμπεριφορά οδήγησης και αυστηρότερες συνθήκες μέτρησης, σε σύγκριση με την τρέχουσα εργαστηριακή διαδικασία. Αντικατοπτρίζει καλύτερα το καθημερινό προφίλ οδήγησης, καθώς αναπτύχθηκε βάσει στοιχείων σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης που συγκεντρώθηκαν ανά τον κόσμο. Κάθε τμήμα του κύκλου περιέχει μια ποικιλία από φάσεις οδήγησης, όπως στάση, εκκίνηση, επιτάχυνση και επιβράδυνση. Επίσης, ο κύκλος δοκιμής WLTP αναπτύχθηκε με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως παγκόσμιος κύκλος δοκιμών και παρά την προσαρμογή του στους νόμους και τις ανάγκες της οδικής κυκλοφορίας της εκάστοτε περιοχής, τα μεγέθη που θα προκύπτουν από τις δοκιμές θα είναι συγκρίσιμα σε όλο τον κόσμο.

<sup>17</sup> WLTP FACTS .EU ([www.wltpfacts.eu](http://www.wltpfacts.eu))

## Κύκλος WLTC



Διάγραμμα 4.4. Κύκλος WLTC

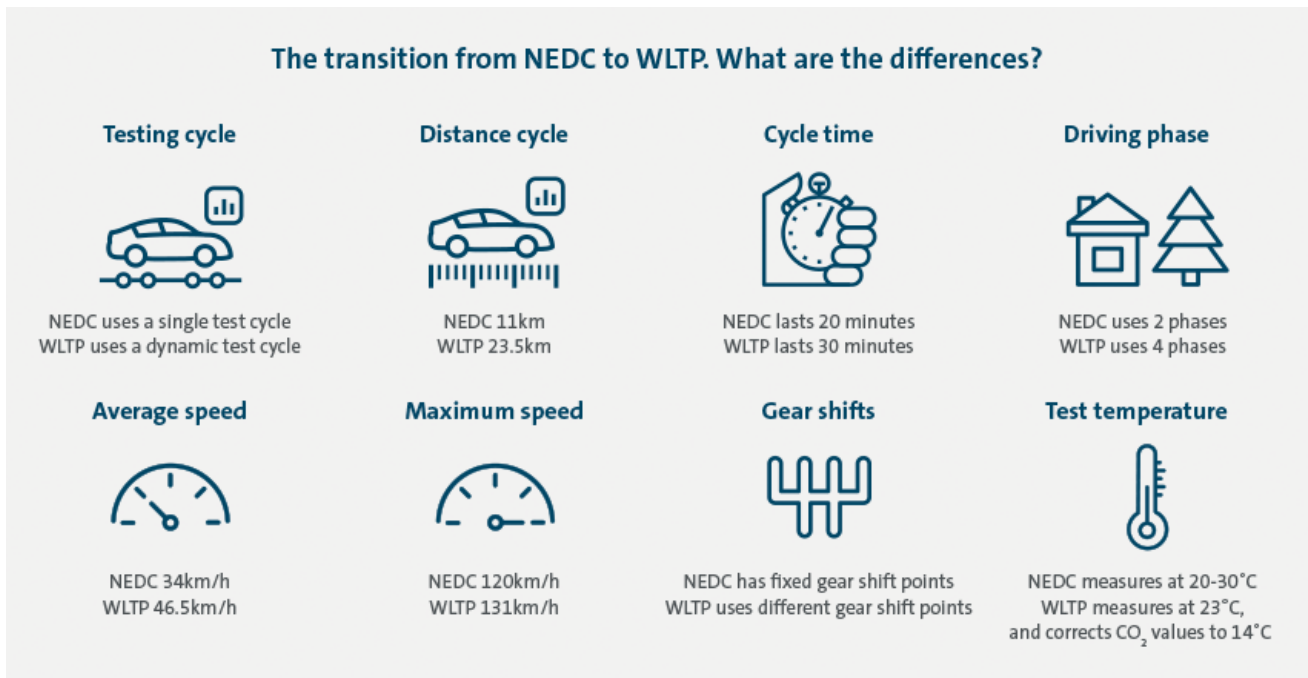
Ακόμη, ο κύκλος WLTP ταξινομείται σε τρεις κατηγορίες:

- Κλάση I: Αποτελείται από ζώνες χαμηλής και μέσης ταχύτητας και είναι χαρακτηριστικό των οχημάτων χαμηλής κατανάλωσης, χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών στην Ινδία.
- Κλάση II: Αντιπροσωπεύει χαμηλές, μεσαίες και σχετικά υψηλές ταχύτητες οχήματος, καλύπτοντας τα ινδικά, ευρωπαϊκά και ιαπωνικά οχήματα χαμηλής ισχύος.
- Κλάση III: Συντίθεται από τέσσερις ζώνες ταχύτητας: αστικής, προαστιακής, υπεραστικής και μιας ζώνης αυτοκινητοδρόμων.

Ο συγκεκριμένος κύκλος δίνει λύση σε πολλά από τα μειονεκτήματα των προκατόχων του. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει περιθώριο βελτίωσης.

Για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας του νέου κύκλου συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα εκπομπών, που συλλέχθηκαν μετά από δοκιμές σε έξι διαφορετικά αυτοκίνητα με τους κύκλους WLTC, NEDC, CADC. Ενδεικτικά, ο νέος κύκλος οφείλει να συμπεριλάβει ρεαλιστικές διαδικασίες εκκίνησης του κινητήρα για να εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του συστήματος απόρριψης καυσαερίων, δεδομένου ότι το πρώτο μέρος του κύκλου μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στις συνολικές εκπομπές ανάλογα με τη διάρκειά του.

Ο κύριος στόχος όλων αυτών των αναθεωρήσεων είναι η υιοθέτηση μοντέλων, που θα προβλέπουν στην εκπομπή ρύπων όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές τιμές.



Εικόνα 4.1. Διαφορές μεταξύ των κύκλων NEDC και WLTP

#### - Δοκιμή RDE<sup>18</sup>

Ήδη από τον Σεπτέμβριο του 2017, τα νέα μοντέλα επιβατικών οχημάτων υποβάλλονται σε νέες και πιο αξιόπιστες δοκιμές εκπομπών RDE (Real Driving Emissions), δηλαδή δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, οι οποίες προβλέπεται να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους οχημάτων έως το 2019. Η δοκιμή RDE λειτουργεί συμπληρωματικά προς την εργαστηριακή δοκιμή WLTP για όλες τις εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων των κρίσιμων ατμοσφαιρικών ρύπων που προκύπτουν από τις εκπομπές των NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> και την κατανάλωση καυσίμων.

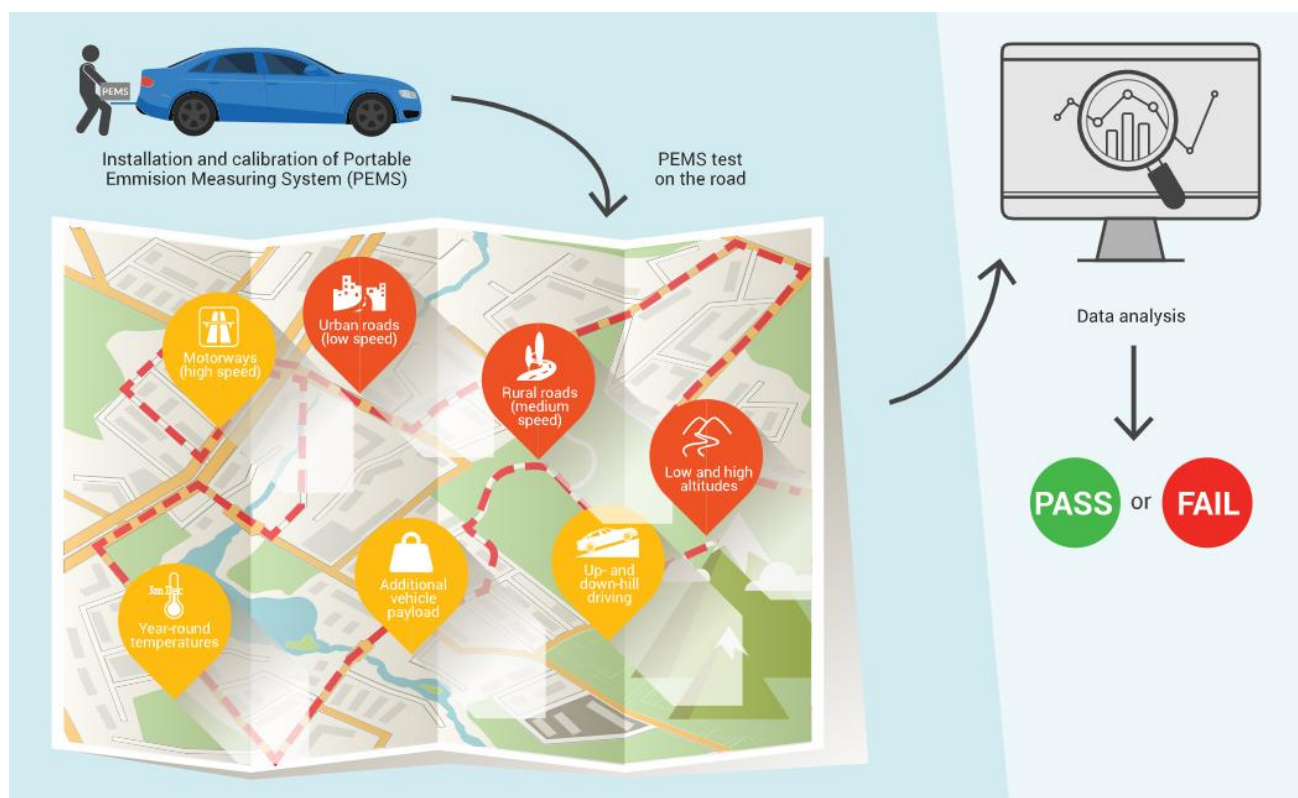
Η διαδικασία μέτρησης RDE θέτει το εξεταζόμενο όχημα σε μια πορεία πραγματικών συνθηκών που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα πιθανών διαφορετικών καταστάσεων και ο ειδικός εξοπλισμός που τοποθετείται στο όχημα, συλλέγει επί τόπου τα απαραίτητα δεδομένα, ώστε να γίνει ο έλεγχος συμμόρφωσης με τα επιτρεπτά όρια εκπομπών.

Οι διαφορετικές καταστάσεις στις οποίες εξετάζεται η απόδοση του οχήματος, είναι:

- Αστικοί οδοί (χαμηλή ταχύτητα)
- Αγροτικοί δρόμοι (μεσαία ταχύτητα)
- Αυτοκινητόδρομοι (υψηλή ταχύτητα)
- Κατηφορική και ανηφορική οδήγηση
- Πρόσθετο φορτίο οχήματος
- Χαμηλά και υψηλά υψόμετρα
- Θερμοκρασιακές διακυμάνσεις

<sup>18</sup> European Automobile Manufacturers Association, Real Driving Emissions Tests ([www.acea.be](http://www.acea.be))

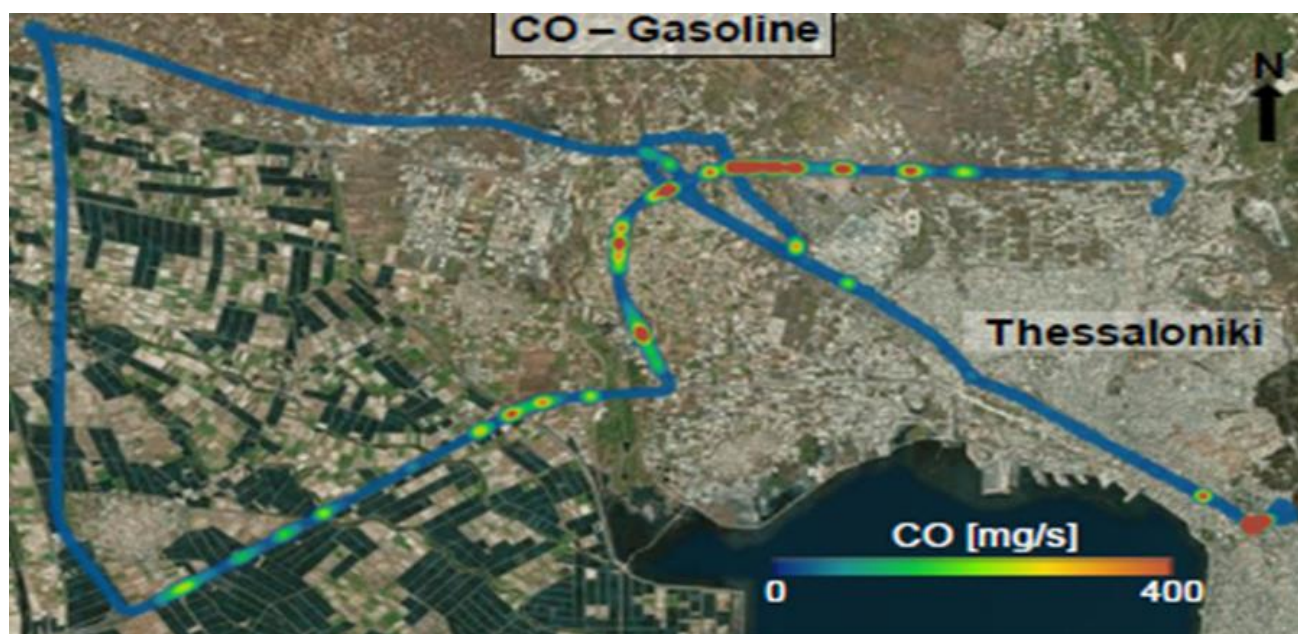
Η μέτρηση των εκπεμπόμενων ρύπων πραγματοποιείται μέσω του συστήματος PEMS (Portable Emission Measuring Systems) που τοποθετείται στο όχημα και παρέχει πλήρη παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των βασικών ρύπων που εκπέμπονται από το όχημα στην διάρκεια της δοκιμαστικής πορείας του. Το σύστημα PEMS αποτελεί μία σύνθεση από ειδικά κομμάτια εξοπλισμού που συμπεριλαμβάνουν προηγμένους αναλυτές αερίων, μετρητές ροής εξάτμισης, μετεωρολογικό σταθμό, σύστημα GPS (Global Positioning System) και σύνδεση με άλλα δίκτυα οχημάτων.<sup>19</sup>



Εικόνα 4.2. Δοκιμή RDE

Η συμπληρωματική δοκιμή RDE φαίνεται να επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στον τομέα, εφόσον οι δοκιμές εκπομπών γίνονται σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και οδηγούν σε πιο αξιόπιστες και ακριβείς μετρήσεις. Επίσης, η ευρωπαϊκή στρατηγική με την εισήγηση της RDE και την ολοένα πιο προσεχτική και αυστηρή προσέγγιση όσο αφορά τους εκπεμπόμενους ρύπους, αποσκοπεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα του συστήματος μεταφορών, να επισπεύσει την ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών ενέργειας χαμηλών εκπομπών στις μεταφορές και να εξασφαλίσει την σταδιακή μετάβαση όλων των οχημάτων σε μηδενικές εκπομπές.

<sup>19</sup> CARE EMISSIONS TESTING FACTS .EU ([www.caremissionstestingfacts.eu](http://www.caremissionstestingfacts.eu))



Εικόνα 4.3. Διαδρομή για μέτρηση RDE στην πόλη της Θεσσαλονίκης

Parameter	WLTC Class 3b	RDE compliant	Dynamic driving	RDE Regulation limits
Trip distance [km]	23.3	76.5	53.8	>48
Trip duration [min]	30	90-100	50	90-120
Maximum speed [km/h]	131	130	145	<145
Altitude difference end-start [m]	—	50	2	<±100
Maximum slope (Up-/Down-hill) [%]	—	4.2/6.5	11.7/17.6	—
Cumulative positive elevation gain [m/100km]	—	400	1600	<1200
Road type distance share [%]*	U:38% R:26% M:36%	U:37% R:33% M:30%	U:25% R:34% M:41%	U:29%-44% R:23%-43% M:23%-43%

Εικόνα 4.4. Όρια κατανάλωσης για RDE

### 3. Artemis - CADC<sup>20</sup>

Ο κύκλος οδήγησης Artemis βασίζεται στην στατιστική ανάλυση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων, τα οποία αντλήθηκαν σε πραγματικές συνθήκες από ένα ερευνητικό πρόγραμμα που πραγματοποιήθηκε για 58 διαφορετικά ιδιωτικά οχήματα σε Γαλλία, Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο. Αποτελεί έναν από τους πρώτους και πιο σημαντικούς κύκλους real world και χρησιμοποιείται, μετά από αρκετές μετατροπές, ακόμη και σήμερα όχι μόνο για την πιστοποίηση ρύπων ή την κατανάλωση καυσίμων, αλλά κυρίως για την αξιολόγηση της επίδοσης από τους κατασκευαστές οχημάτων.

Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη	Artemis
Συνολική απόσταση (m)	50886.36
Συνολικός χρόνος (s)	3143
Μέση ταχύτητα (km/h)	58.3
Μέση ταχύτητα οδήγησης (km/h)	62.89
Χρόνος σε κίνηση (s)	607
Χρόνος σε στάση (s)	230
Μέση επιτάχυνση ( $m/s^2$ )	0.372
Μέση επιβράδυνση ( $m/s^2$ )	-0.418
Αριθμός στάσεων	20
Μέση διάρκεια στάσεων (s)	11.5

Πίνακας 4.2. Κύρια χαρακτηριστικά του κύκλου Artemis

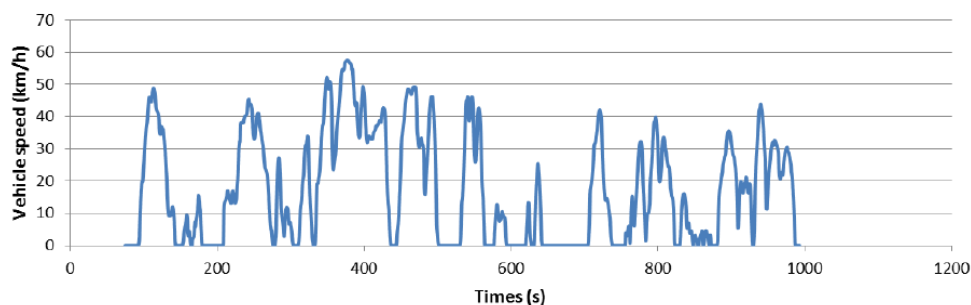
Στα πλαίσια του προγράμματος Artemis αναπτύχθηκε ένα πλήθος κύκλων οδήγησης, οι οποίοι απαντούν σε διαφορετικές συνθήκες οδήγησης, ενώ ο αναφερόμενος ως CADC (Common Artemis Driving Cycle) αποτελεί έναν τέτοιο, του οποίου η μορφή είναι ενδεικτική για τους υπόλοιπους που αναπτύχθηκαν. Ο συγκεκριμένος κύκλος περιλαμβάνει τρία διαφορετικά πεδία οδήγησης: σε αστικό δρόμο, σε αγροτικό και σε αυτοκινητόδρομο με 130km/h ή, σε παραλλαγή, με 150km/h.

<sup>20</sup> M. Andre (2004), *The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions*



Σε αστικό δρόμο παρατηρείται μεγάλος αριθμός στάσεων, περιόδων επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, καθώς και σχετικά μικρές ταχύτητες, μικρότερες των 60km/h.

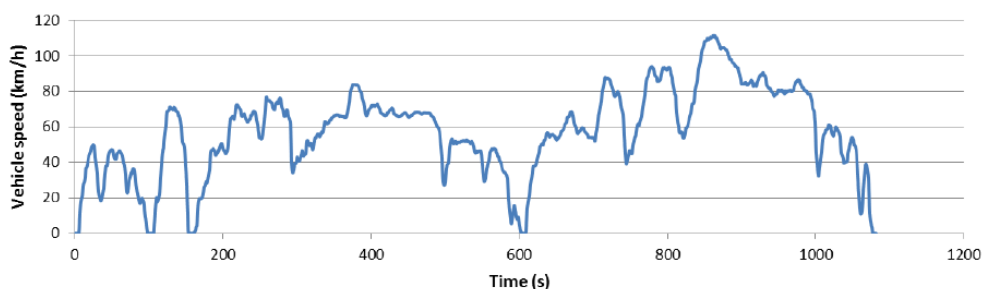
#### Αστικός κύκλος Artemis



Διάγραμμα 4.5. Αστικός κύκλος Artemis

Στον αγροτικό δρόμο αντίστοιχα, ο αριθμός στάσεων είναι εμφανώς μειωμένος και οι ταχύτητες αυξημένες σε σχέση με τον αστικό κύκλο, λόγω λιγότερης κίνησης.

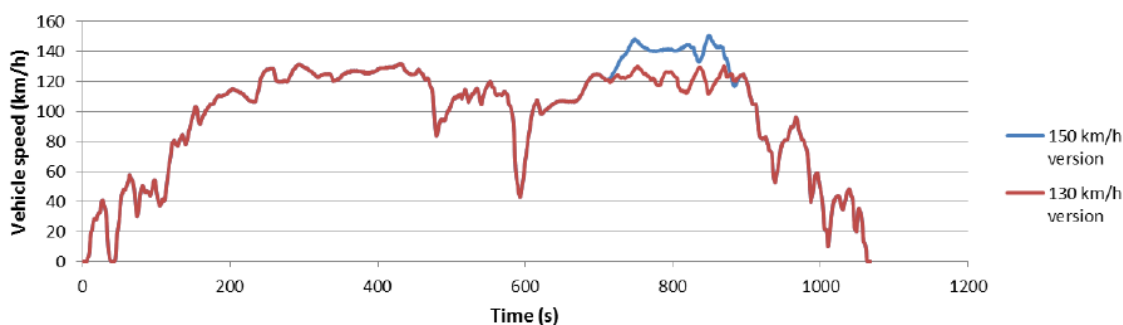
#### Αγροτικός κύκλος Artemis



Διάγραμμα 4.6. Αγροτικός κύκλος Artemis

Στον αυτοκινητόδρομο οι στάσεις φτάνουν το ελάχιστο, η αναλογία χρόνου οδήγησης και στάσης είναι αντίστροφη σε σχέση με τον αστικό κύκλο και οι ταχύτητες φτάνουν σε υψηλότερες τιμές συγκριτικά και με τους δύο προηγούμενους κύκλους.

#### Κύκλος Artemis αυτοκινητοδρόμου



Διάγραμμα 4.7. Κύκλος Artemis αυτοκινητοδρόμου

## 4.2. Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής<sup>21</sup>

### 1. FTP-75 και FTP-72

Ο κύκλος FTP-75 (Federal Test Procedure) ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των κύκλων του United States Environmental Agency (USEA) και χρησιμοποιείται στην λήψη έγκρισης τύπου και τον προσδιορισμό της κατανάλωσης καυσίμου για τα επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα στις ΗΠΑ. Από το 2000 και πλέον, τα οχήματα εξετάζονται με βάση δύο συμπληρωματικές δοκιμαστικές διαδικασίες (SFTP), που έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν την αδυναμία του αρχικού κύκλου να περιγράψει λειτουργίες υψηλής κατανάλωσης καυσίμου, υψηλών ταχυτήτων και την χρήση κλιματισμού.

Ο κύκλος FTP-75 αποτελείται από τρία βασικά μέρη: την κρύα φάση εκκίνησης, την μεταβατική φάση και την τελευταία με ζεστή εκκίνηση.

Οι χαρακτηριστικές παράμετροι του κύκλου είναι: η διανυθείσα απόσταση των 17,77km, η συνολική διάρκεια των 1874s και η μέση ταχύτητα 34.1km/h.

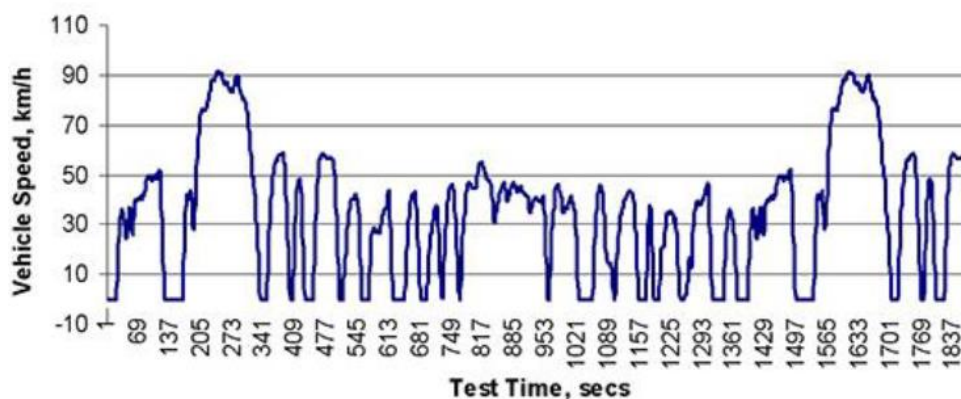
Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη	FTP-75
Συνολική απόσταση (m)	17786.59
Συνολικός χρόνος (s)	1874
Μέση ταχύτητα (km/h)	34.2
Μέση ταχύτητα οδήγησης (km/h)	39.21
Χρόνος σε κίνηση (s)	376
Χρόνος σε στάση (s)	241
Μέση επιτάχυνση ( $m/s^2$ )	0.420
Μέση επιβράδυνση ( $m/s^2$ )	-0.457
Αριθμός στάσεων	16
Μέση διάρκεια στάσεων (s)	15.06

Πίνακας 4.3. Κύρια χαρακτηριστικά του κύκλου FTP-75

<sup>21</sup> Government of Canada Transport and infrastructure ([www.canada.ca/en/services/transport](http://www.canada.ca/en/services/transport))

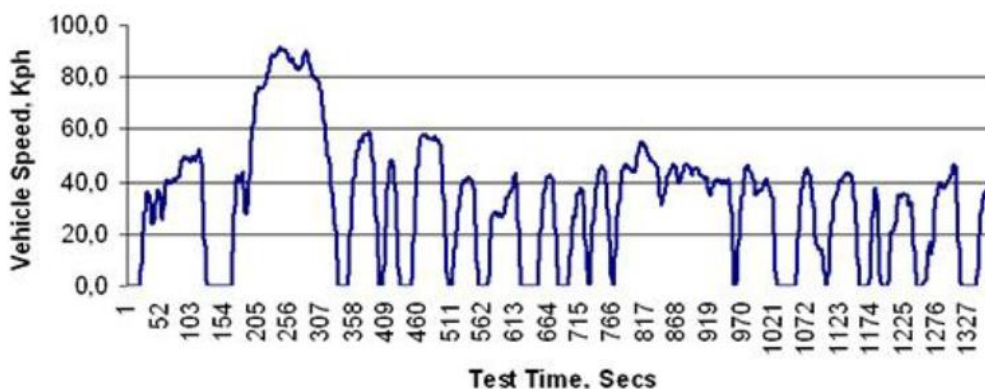
Γενικά, ο κύκλος FTP-75 προέρχεται από τον κύκλο FTP-72, με τις απαραίτητες προσθέσεις και προσαρμογές. Ο κύκλος FTP-72, που ονομάζεται επίσης UDDS ή LA-4, είναι ο ίδιος γνωστός και στην Σουηδία, ως κύκλος A10 ή CVS, αλλά και στην Αυστραλία ως κύκλος ADR 27. Ειδικότερα, ο κύκλος προσομοιώνει μια αστική διαδρομή 12,07 km, με συχνές στάσεις. Η μέγιστη ταχύτητα φτάνει στα 91,2km/h, ενώ η μέση ταχύτητα υπολογίζεται στα 31,5km/h. Ο κύκλος αποτελείται από δύο φάσεις: η πρώτη φάση αρχίζει με την εκκίνηση εν ψυχρώ και οι δύο φάσεις χωρίζονται από το σβήσιμο της μηχανής για 10 λεπτά. Ο κύκλος FTP-75 έρχεται να προσθέσει μια τρίτη φάση των 505s, ίδια με την πρώτη φάση του FTP-72, αλλά με την διαφορά ότι η εκκίνηση πραγματοποιείται με ζεστό κινητήρα, αφού ο κινητήρας έχει απενεργοποιηθεί για 10 λεπτά. Επίσης, ο κύκλος FTP-75 είναι γνωστός στην Αυστραλία ως ADR 37.

Κύκλος FTP-75



Διάγραμμα 4.8. Κύκλος FTP-75

Κύκλος FTP-72

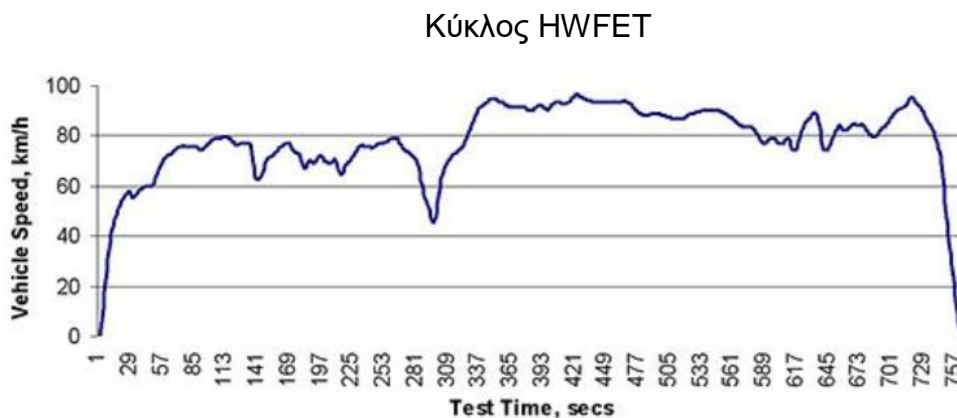


Διάγραμμα 4.9. Κύκλος FTP-72

## 2. Άλλοι Κύκλοι Οδήγησης

### - HWFET

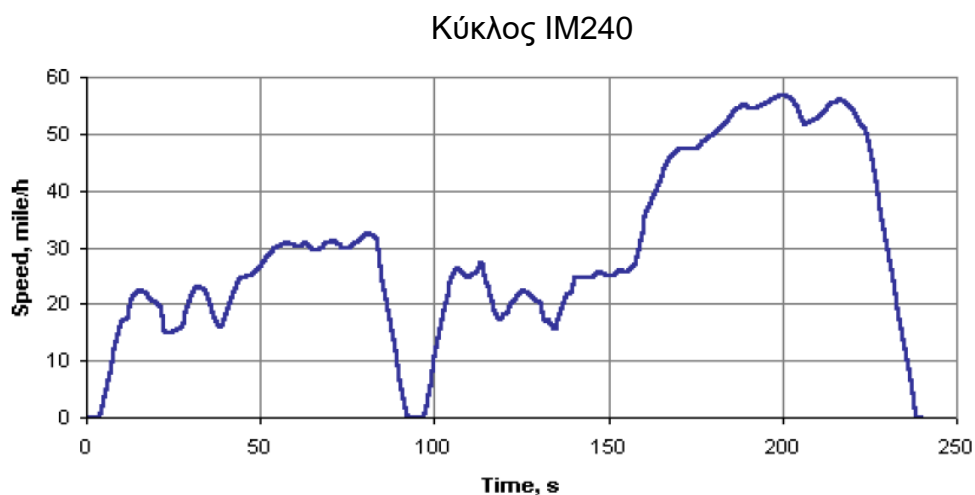
Ο κύκλος HWFET εφαρμόζεται σε δυναμομετρική εξέδρα και εξελίχθηκε από το αμερικανικό EPA (Environment Protection Agency) για τον προσδιορισμό της οικονομίας στα οχήματα μικρής κατηγορίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κύκλου είναι: η διάρκεια των 765s, η διανυθείσα απόσταση των 16.45km και η μέση ταχύτητα που υπολογίζεται στα 77.7km/h.



Διάγραμμα 4.10. Κύκλος HWFET

### - IM240

Ο συγκεκριμένος κύκλος εφαρμόζεται σε κάποιες από τις πολιτείες της Αμερικής και στόχο έχει τον έλεγχο καυσαερίων σε ελαφρά οχήματα κατά την συντήρησή τους, με χρήση της δυναμομετρικής εξέδρας. Η δοκιμή χαρακτηρίζεται από: διάρκεια 240s, διανυθείσα απόσταση 3.1km, μέση ταχύτητα 47.3km/h και μέγιστη ταχύτητα που φτάνει τα 91.2km/h.

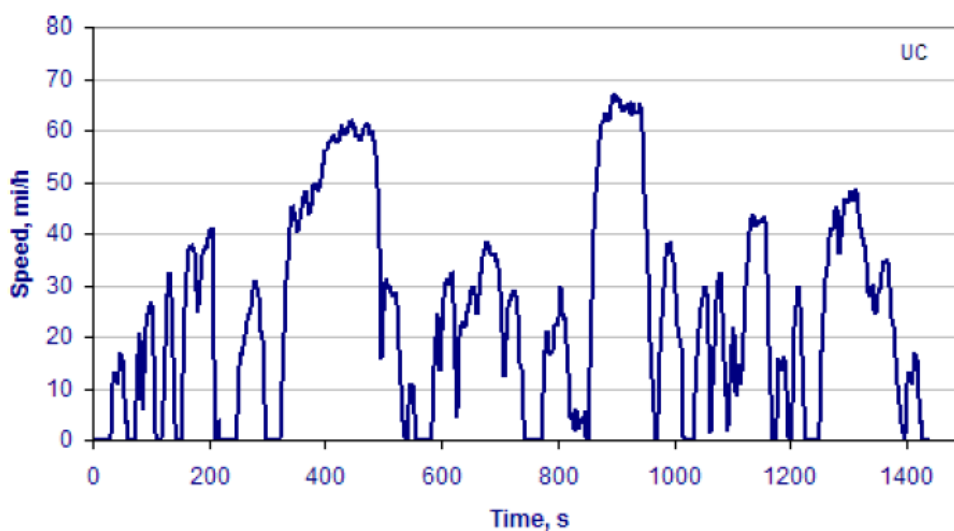


Διάγραμμα 4.11. Κύκλος IM240

### - California Unified Cycle (UC)

Ο κύκλος UC αναπτύχθηκε από το συμβούλιο ατμοσφαιρικών πόρων της Καλιφόρνιας και εφαρμόζεται σε δυναμομετρική εξέδρα για οχήματα που ανήκουν στην ελαφρά κατηγορία. Τα χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται πιο επιθετικά από τον κύκλο FTP-75, με υψηλότερες ταχύτητες κίνησης, μεγαλύτερες επιτάχυνσης, λιγότερες στάσεις ανά απόσταση και λιγότερο χρόνο στο ρελαντί. Συγκεκριμένα, η διάρκειά του είναι 1435s, η συνολική απόσταση 15.74km και η μέση ταχύτητα υπολογίζεται στα 39.61km/h.

Κύκλος California Unified

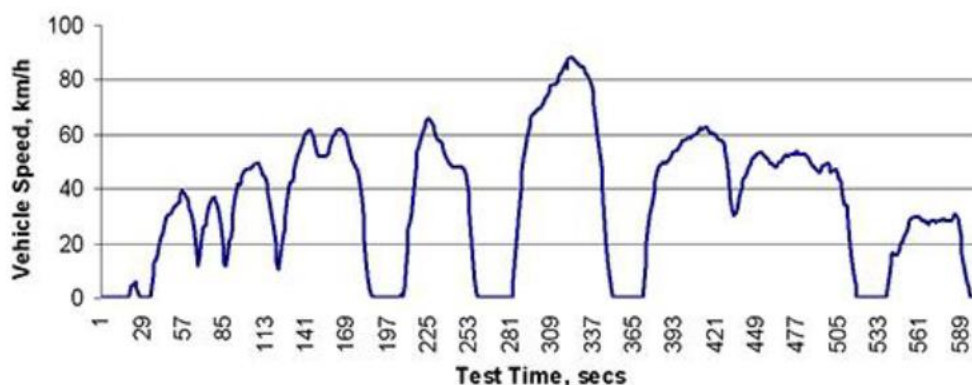


Διάγραμμα 4.12. Κύκλος California Unified

### - SFTP SC03

Ο κύκλος SFTP SC03 αναπτύχθηκε με σκοπό να αντιπροσωπεύσει το φορτίο και τις εκπομπές οι οποίες σχετίζονται με τη χρήση κλιματισμού σε οχήματα που έχουν ήδη εγκριθεί στον κύκλο FTP-75 και αποτελεί συμπληρωματικό αυτού. Τα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν: διάρκεια 596s, διανυθείσα απόσταση 5.8km, μέση ταχύτητα 34.8km/h και μέγιστη ταχύτητα 88.2km/h.

## Κύκλος SFTP SC03

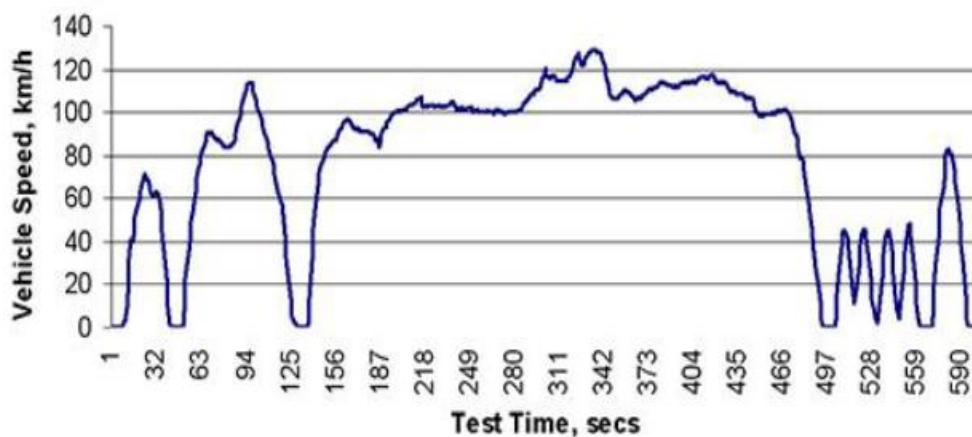


Διάγραμμα 4.13. Κύκλος SFTP SC03

## - SFTP US06

Ο συγκεκριμένος κύκλος αναπτύχθηκε επίσης για να συμπληρώσει τις αδυναμίες του FTP-75, όσον αφορά την επιθετική οδήγηση που περιλαμβάνει υψηλές ταχύτητες κίνησης, υψηλές τιμές επιτάχυνσης, γρήγορες διακυμάνσεις ταχυτήτων κίνησης. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι: η διάρκεια 596s, η συνολική απόσταση 12.8km, η μέση ταχύτητα 77.9km/h και η μέγιστη ταχύτητα 129.2km/h.

## Κύκλος SFTP US06

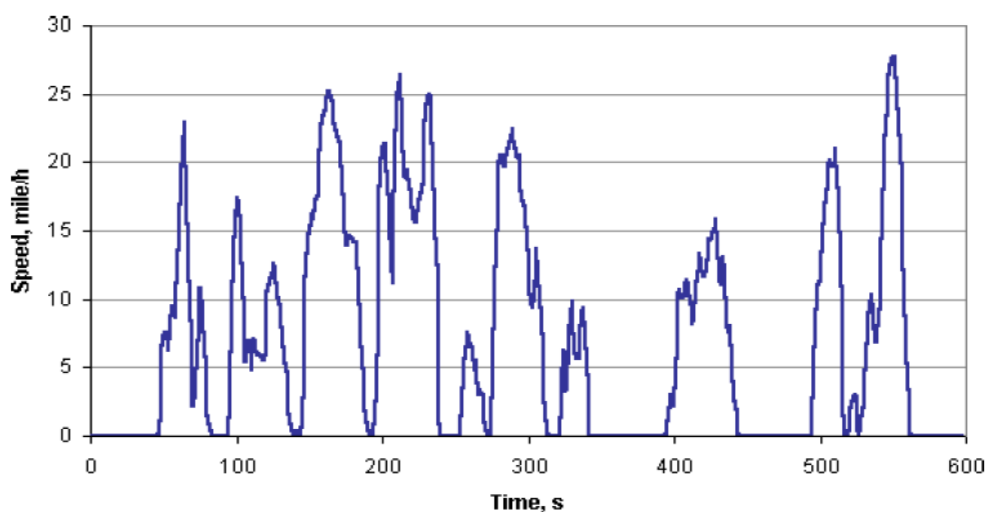


Διάγραμμα 4.14. Κύκλος SFTP US06

## - EPA NYCC

Ο κύκλος EPA NYCC αναπτύχθηκε για μετρήσεις επιβατικών και ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων σε δυναμομετρική εξέδρα. Η δοκιμή προσομοιώνει οδήγηση σε αστικό περιβάλλον με χαμηλές ταχύτητες και πολλές στάσεις. Ειδικότερα, η διάρκειά του είναι 598s, η διανυθείσα απόσταση 1.89km, η μέση ταχύτητα φτάνει τα 11.4km/h, ενώ η μέγιστη ταχύτητα τα 44.6km/h.

Κύκλος EPA NYCC



Διάγραμμα 4.15. Κύκλος EPA NYCC

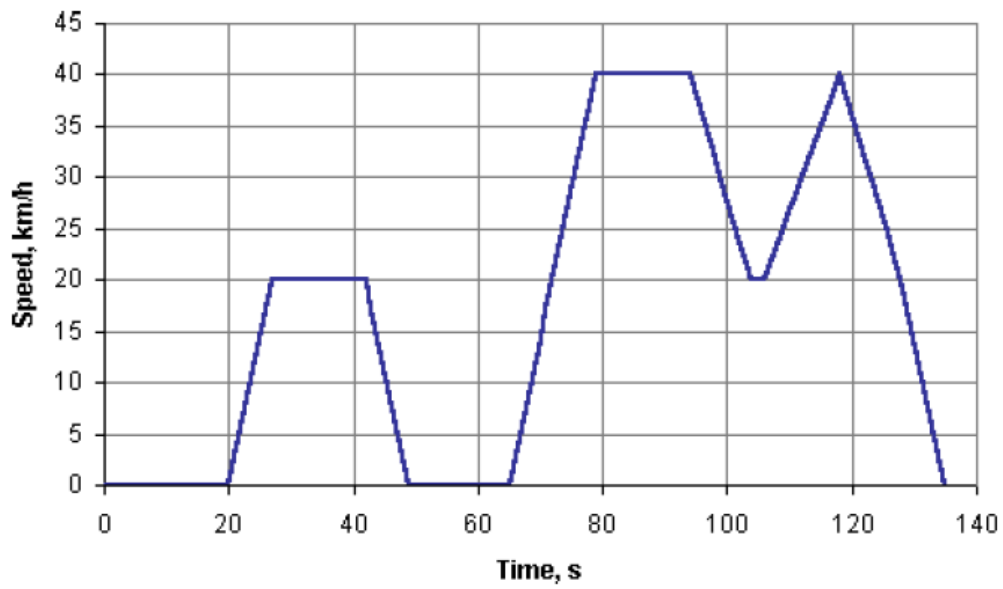
### 4.3. Ιαπωνία<sup>22</sup>

#### 1. 10 mode και 10-15 mode

Ο κύκλος οδήγησης 10 mode χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία, πριν την αντικατάστασή του από τον 10-15 mode, για την έγκριση τύπου των επιβατικών και ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων. Αντιπροσωπεύει αστικές συνθήκες οδήγησης και έχει τα εξής χαρακτηριστικά: διάρκεια 135s, συνολική απόσταση 0.664km, μέση ταχύτητα 17.7km/h και μέγιστη ταχύτητα 40km/h.

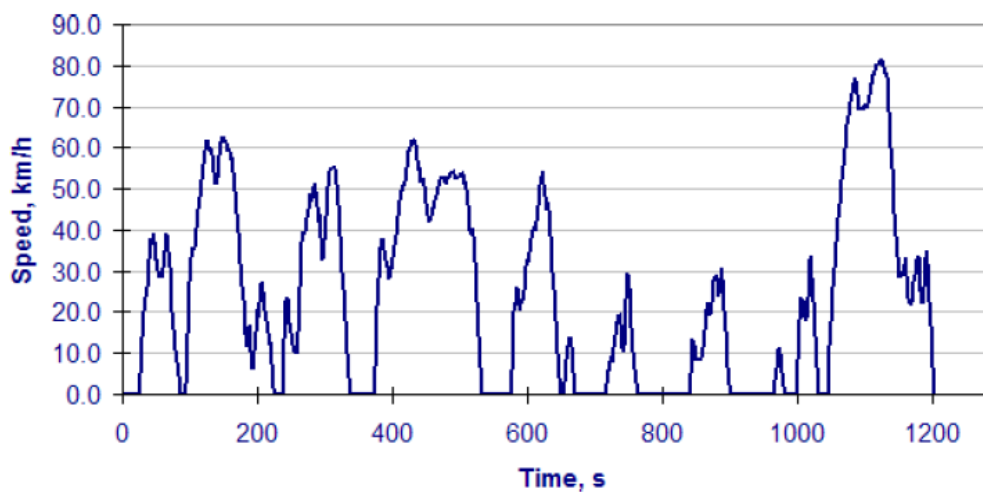
<sup>22</sup> TransportPolicy.net (www.transportpolicy.net)

Κύκλος 10 mode



Διάγραμμα 4.16. Κύκλος 10 mode

Κύκλος 10-15 mode



Διάγραμμα 4.17. Κύκλος 10-15 mode

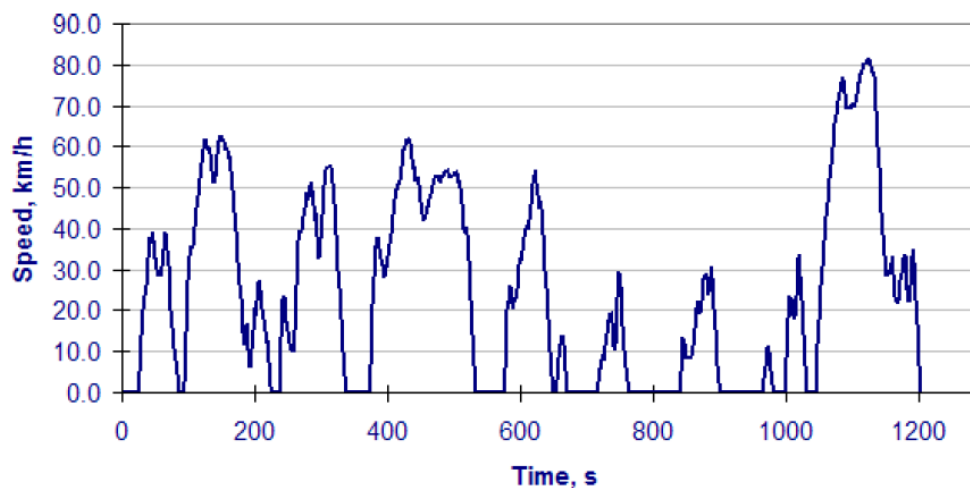


Πλέον, ο κύκλος οδήγησης 10-15 mode είναι αυτός που χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία για την έγκριση τύπου επιβατικών και ελαφρών φορτηγών οχημάτων, όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση. Αντικατέστησε τον κύκλο 10 mode, αφού έγινε προσθήκη ενός τμήματος 15 mode με μέγιστη ταχύτητα τα 70km/h. Ειδικότερα, η διαδικασία που ακολουθείται ξεκινά με προθέρμανση του κινητήρα για 15 λεπτά στα 60km/h, συνεχίζει με μέτρηση στο ρελαντί, 5 λεπτά προθέρμανση στα 60km/h και ακολουθεί ένα τμήμα 15 mode. Συνολικά δηλαδή πραγματοποιούνται τρεις επαναλήψεις του κύκλου 10 mode και άλλη μια του 15-mode. Τα χαρακτηριστικά του κύκλου στο σύνολό του περιλαμβάνουν: διάρκεια 892s, διανυθείσα απόσταση 6,34km και μέση ταχύτητα είναι 25.6km/h.

## 2. JC08

Πρόκειται για ένα νέο αστικό κύκλο οδήγησης για τις μετρήσεις εκπομπής ρύπων και οικονομίας καυσίμων των επιβατικών και ελαφρών φορτηγών, ο οποίος προβλέπεται ότι θα αντικαταστήσει πλήρως τον κύκλο 10-15 mode. Τα κύρια χαρακτηριστικά είναι: η διάρκεια των 1204 s, η συνολική απόσταση των 8.171 km, η μέση ταχύτητα στα 24.4 km/h και η μέγιστη ταχύτητα στα 81.6 km/h.

Κύκλος JC08



Διάγραμμα 4.18. Κύκλος JC08

#### 4.4. Μέθοδοι εκπόνησης κύκλων οδήγησης από ερευνητές ανά τον κόσμο

##### - Μέθοδος Microtrips<sup>23</sup>

Οι περισσότεροι κύκλοι που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, με βάση πραγματικά στοιχεία οδήγησης, εκπονούνται με την μέθοδο των microtrips (μικρο-διαδρομές).

Microtrip ορίζεται ένα τμήμα καταγραφής ταχύτητας και χρόνου, το οποίο αποτελείται από δύο φάσεις. Η πρώτη φάση χαρακτηρίζεται από κίνηση, δηλαδή μη μηδενική ταχύτητα, και ακολουθείται από μία στάσιμη φάση με μηδενική ταχύτητα. Στη συνέχεια, τα microtrips συνδυάζονται με κριτήριο τα χαρακτηριστικά τους, ώστε τέλος να συνδιαμορφώσουν τον κύκλο οδήγησης, που θα αντιπροσωπεύει το δυνατότερο τα δεδομένα κίνησης και χρόνου που συλλέχθηκαν.

Το πλήθος των κύκλων οδήγησης που αναπτύσσεται σύμφωνα με την παραπάνω επαναληπτική διαδικασία, αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων και ύστερα από την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων που προέκυψαν, ακολουθεί σύγκριση των μέσων μεγεθών των παραγόμενων κύκλων με αυτά που αντιπροσωπεύουν το σύνολο των μετρήσεων. Οι κύκλοι αξιολογούνται και ο τελικός κύκλος που επιλέγεται, ως συνδυασμός των Microtrips, είναι αυτός που προσεγγίζει περισσότερο τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συνόλου των δεδομένων.

##### - Μέθοδος Markov Chain<sup>24</sup>

Διαφορετική προσέγγιση στην εκπόνηση κύκλων οδήγησης εισάγει η μέθοδος που βασίστηκε στην θεωρία των πιθανοτήτων του Markov, γνωστή ως Markov Chain.

Κατά την μεθοδολογία αυτή, η ανάπτυξη κύκλων θεωρείται ως μια στοχαστική διεργασία. Η αρχή του Markov, στην οποία υπακούει η μέθοδος αυτή, δηλώνει πως η μελλοντική κατάσταση μίας διεργασίας δεν εξαρτάται από όλες τις καταστάσεις που προηγήθηκαν, αλλά μόνο από την παρούσα κατάσταση. Ειδικότερα σε όρους κύκλων οδήγησης, κάθε μέτρηση χαρακτηρίζεται από μία τιμή ταχύτητας και μία τιμή επιτάχυνσης, ενώ το εκάστοτε σημείο θεωρείται ως μία κατάσταση, που περιέχει όλες τις αναγκαίες πληροφορίες για να προβλεφθεί η αμέσως επόμενη κατάσταση. Γίνεται, επομένως, η παραδοχή πως οι παρελθοντικές καταστάσεις δεν έχουν επιρροή στην μετάβαση προς την μελλοντική, παρά μόνο η παρούσα.

Μια τέτοια διεργασία είναι προφανώς στοχαστική και είναι απαραίτητος ο συνδυαστικός κρίκος που θα περιγράφει τις πιθανές εκβάσεις. Από το σύνολο των δεδομένων που συλλέχθηκαν δημιουργείται ένας πίνακας πιθανών μεταβάσεων από μία κατάσταση στην επόμενη, όπου

<sup>23</sup> Ε.Τζιράκης (2007), *Συσχετισμός εκπομπών με φυσικοχημικές ιδιότητες των καυσίμων και με δεδομένα από την κίνηση των οχημάτων στο λεκανοπέδιο της Αττικής*

<sup>24</sup> P. Nyberg (2015), *Evaluation, Generation, and Transformation of Driving Cycles*

επιλέγεται κάθε φορά αυτή που είναι το πιθανότερο να ακολουθήσει. Έτσι, με αφετηρία ένα σημείο ταχύτητας, ένας κύκλος οδήγησης μπορεί να δημιουργηθεί ενώ μεταβαίνει μόνο από τις καταστάσεις που αντιπροσωπεύουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.

Η μέθοδος Markov Chain, έναντι των microtrips, φαίνεται να υπερτερεί, καθώς απαιτεί λιγότερο χρόνο επεξεργασίας για την ανάπτυξη του κύκλου, εφόσον δημιουργείται μόνο ένας. Επίσης, το αποτέλεσμα θεωρείται περισσότερο αντιπροσωπευτικό, δεδομένου ότι δεν βασίζεται στην αναδιάταξη των υπάρχοντων δεδομένων, αφού κατασκευάζονται από την αρχή μέχρι το τέλος με τέτοιο τρόπο ώστε να εκπροσωπούν το πιο πιθανό σενάριο μετάβασης ταχυτήτων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.**

### **ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ**

Το πειραματικό μέρος της εργασίας αναπτύσσεται με δεδομένα που λήφθηκαν σε πραγματικές συνθήκες για την πόλη της Ζακύνθου. Σε μια αντιπροσωπευτική διαδρομή της περιοχής, που περιλαμβάνει ένα σημαντικό φάσμα παραμέτρων, συγκεντρώθηκαν με ειδικό εξοπλισμό οι μετρήσεις, οι οποίες μετά από επεξεργασία και ανάλυση, καταλήγουν στην δημιουργία ενός αντιπροσωπευτικού προφίλ ταχύτητας για την κίνηση στην πόλη της Ζακύνθου.

#### **5.1. Διαδικασία καταγραφής**

Η λήψη των δεδομένων ξεκίνησε το πρωί της Παρασκευής 21 Δεκεμβρίου 2018 και διήρκησε για δύο ολόκληρες βδομάδες, δηλαδή έως την τελευταία καταγραφή το απόγευμα της Πέμπτης 3 Ιανουαρίου 2019. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα αναμένεται να παρουσιάσουν μεταξύ τους αποκλίσεις, δεδομένου ότι περιλαμβάνουν στοιχεία κίνησης τόσο μιας καθημερινής μέρας, όσο και ειδικών περιστάσεων που ενδέχεται να επηρέασαν την κίνηση, όπως χαρακτηριστικά την Πρωτοχρονιά. Βέβαια, οι διαφοροποιήσεις που εντοπίζονται δεν αποτελούν πρόβλημα για την πειραματική διαδικασία, εφόσον η σωστή επεξεργασία και ανάλυσή τους οδηγήσει σε μια αντιπροσωπευτική καταγραφή της πραγματικότητας για την κίνηση στην πόλη της Ζακύνθου.

Το πρόγραμμα που ακολουθήθηκε σε καθημερινή βάση, περιελάμβανε δύο καταγραφές της ίδια διαδρομής στην διάρκεια της ημέρας, τις ίδιες πάντα ώρες, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των δεδομένων. Το πρώτο δρομολόγιο λάμβανε χώρα γύρω στις 11:30πμ και το δεύτερο στις 18:30μμ, με μέσο όρο συνολικής διάρκειας περίπου 20 λεπτά ανά διαδρομή.

Η επιλογή των οδών και των σημείων που αποτέλεσαν την συνολική διαδρομή καταγραφής, έγινε με γνώμονα την εξασφάλιση ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος μετρήσεων, σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Συγκεκριμένα, η διαδρομή διασχίζει ένα μεγάλο μέρος της πόλης από άκρο σε άκρο, περιλαμβάνει κεντρικές αρτηρίες αυξημένης κίνησης, οδούς μειωμένης κυκλοφορίας, σημεία στάσης λόγω φωτεινού σηματοδότη, ανηφορική και κατηφορική οδήγηση, εναλλαγές επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Επίσης, η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για μια, το δυνατότερο, αντιπροσωπευτική καταγραφή, υπαγόρευε τον ίδιο πάντα οδηγό με το ιδιωτικό του όχημα, ο οποίος ακολουθούσε την γενική ροή της κυκλοφορίας αποφεύγοντας τις απότομες επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις.

Η απόσταση της κάθε διαδρομής υπολογίζεται στα 6,12 χιλιόμετρα, άρα η συνολική απόσταση που διανύθηκε στο διάστημα των 15 ημερών ανέρχεται στα 183,6 χιλιόμετρα.



Εικόνα 5.1. Διαδρομή καταγραφής

## 5.2. Εξοπλισμός λήψης των δεδομένων

- Όχημα καταγραφής

Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση του πειραματικού μέρους ήταν ένα επιβατικό πενταθέσιο αυτοκίνητο, ιδιωτικής χρήσης. Συγκεκριμένα, πρόκειται για το μοντέλο Kia Sportage του 2004. Λειτουργεί με βενζινοκινητήρα 2.0 λίτρων, 112 ίππων (Hp) και σχέση μετάδοσης 5 ταχυτήτων.



Εικόνα 5.2. KIA Sportage (2004)

Μέγιστη Ροπή (Nm) σε rpm	245
Μέγιστη Ταχύτητα (km/h)	168
Κατανάλωση Καυσίμου - Μικτή (Λίτρα/100χλμ)	7
Εκπομπές Ρύπων CO <sub>2</sub> (g/km)	184

Πίνακας 5.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά Kia Sportage (2004)

### - Συσσκευή καταγραφής OBD II



Εικόνα 5.3. Συσσκευή καταγραφής OBD II

Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η διαγνωστική συσκευή OBD (On Board Diagnostics) που μεταφράζεται ως διάγνωση επί του αυτοκινήτου. Πρόκειται για μια καινοτομία που αναπτύχθηκε από την General Motors το 1981 και σκοπό είχε την εκτέλεση διαγνωστικών δοκιμών στο σύστημα ελέγχου εκπομπής καυσαερίων των οχημάτων.

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο πείραμα ανήκει στην κατηγορία των OBD II, που εισήγαγε η ίδια εταιρεία σε πρότυπα οχήματα το 1994. Οι σύγχρονες ενσωματώσεις OBD επιτρέπουν την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, για την ταχεία αναγνώριση και αποκατάσταση δυσλειτουργιών στο όχημα.

Το OBD απαιτεί την χρήση μίας καταγραφικής μονάδας για να λειτουργήσει. Γενικά, η καταγραφική μονάδα εξυπηρετεί δύο λειτουργίες, τόσο την αποθήκευση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες του οχήματος, όσο και την διάθεση επιπλέον αισθητήρων για την καταγραφή δεδομένων που χαρακτηρίζουν την λειτουργία του. Μερικά από τα κυριότερα μεγέθη για τα οποία λαμβάνονται μετρήσεις, είναι: η ταχύτητα κίνησης, η ροή καυσίμου και αέρα προς τον κινητήρα, η θερμοκρασία της μηχανής και του ψυκτικού, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, οι στροφές του κινητήρα, το φορτίο της μηχανής, το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και ύψος, τα μέση μεγέθη του ταξιδιού, όπως η μέση ταχύτητα, η μέση επιτάχυνση και ο μέσος χρόνος κίνησης ή στάσης.

Στην προκείμενη περίπτωση, η συσκευή OBD II συνδέθηκε μέσω τεχνολογίας Bluetooth σε κινητό τηλέφωνο, με λειτουργικό σύστημα Android, όπου αρχικά αποθηκεύτηκαν όλες οι μετρήσεις με χρήση κατάλληλου λογισμικού.

### - Εφαρμογή καταγραφής Torque

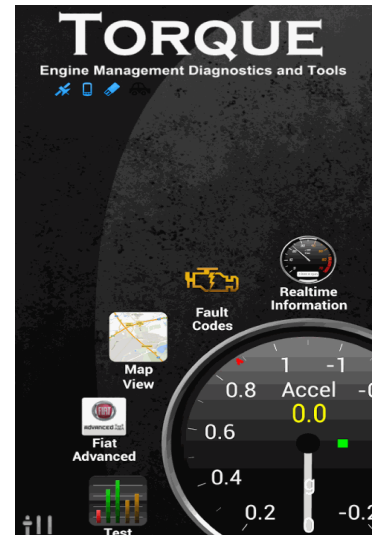
Η καταγραφή των δεδομένων στο κινητό τηλέφωνο, σε τέτοια μορφή ώστε αργότερα να εισαχθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία, απαιτεί την χρήση του κατάλληλου λογισμικού. Αν και διατίθεται πληθώρα εφαρμογών που δύνανται να διεκπαιρέωσουν τον σκοπό αυτό, στην παρούσα εργασία έγινε χρήση της εφαρμογής Torque, η οποία ήταν σχετικά εύχρηστη και κάλυψε πλήρως τις απαιτήσεις του πειράματος.



Εικόνα 5.4. Εφαρμογή καταγραφής Torque

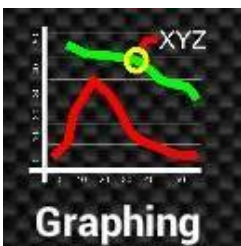
Σε πρώτη φάση, πρέπει να γίνει επιλογή των γενικών ρυθμίσεων στην πλατφόρμα της εφαρμογής, όπως η καταγραφή και αποστολή των δεδομένων (Data Logging and Upload) και οι προτιμήσεις καταγραφής (Logging Preferences), όπου βρίσκονται όλοι οι τύποι δεδομένων.

Ακολουθεί η δημιουργία ενός αντιπροσωπευτικού προφίλ (Create New Profile) που περιλαμβάνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος καταγραφής, ώστε να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο υπολογισμός των μεγεθών προς μέτρηση. Ειδικότερα, γίνεται επιλογή του τύπου του οχήματος (Vehicle Type) και απαιτείται ακόμη η χωρητικότητα της μηχανής σε λίτρα (Engine Displacement in Litre), το συνολικό βάρος του οχήματος στο οποίο συμπεριλαμβάνεται ο οδηγός, τα καύσιμα κ.α. (Total Vehicle Weight, including driver, fuel etc), τον τύπο καυσίμου για τον υπολογισμό της απόδοσής του (Fuel Type for MPG calculation), τις μέγιστες στροφές ανά λεπτό του οχήματος (Max dial RPM) και την τιμή του καυσίμου (Fuel Cost).



Εικόνα 5.5. Πλατφόρμα εφαρμογής Torque

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, ακολουθούν δύο ακόμη επιλογές: η τρέχουσα στάθμη του καυσίμου (Current Fuel Level) και η συνολική απόσταση που διανύθηκε, όσο ήταν συνδεδεμένη η εφαρμογή Torque. Οι συγκεκριμένες επιλογές υπολογίζονται από την εφαρμογή και συμπληρώνονται αυτόματα από την στιγμή που γίνει η επιλογή αποθήκευσης (Save).

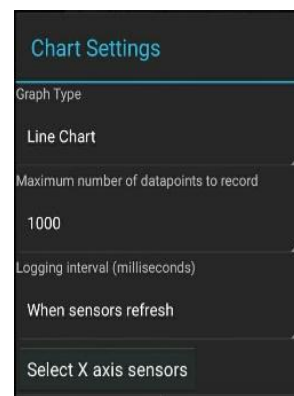


Εφόσον έχουν πραγματοποιηθεί οι ρυθμίσεις για το προφίλ του οχήματος, γίνεται η επιλογή του εικονιδίου της πλατφόρμας με τίτλο γραφήματα (Graphing). Η εφαρμογή διαθέτει την επιλογή αναπαράστασης οποιασδήποτε μεταβλητής προς μέτρηση σε ψηφιακή μορφή, είτε ως όργανο με δείκτη, είτε ως διάγραμμα μεταβλητής χρόνου.

Εικόνα 5.6. Γραφήματα



Ειδικότερα, στις ρυθμίσεις των γραφημάτων (Chart settings), υπάρχει ως επιλογή ο τύπος γραφήματος (Graph Type), ο μέγιστος αριθμός καταγραφής των δεδομένων (Maximum Number of Datapoints to record), το διάστημα καταγραφής (Logging Interval) και τέλος, η πλέον σημαντική επιλογή των δεδομένων των αξόνων (Select X Axis Sensors), όπως ενδεικτικά η ταχύτητα, η επιτάχυνση ή ακόμη και το κόστος καυσίμου. Πρόκειται, δηλαδή, για τις μεταβλητές που θα καταγραφούν από την εφαρμογή κατά την διάρκεια του πειράματος και θα αποθηκευτούν στο τελικό αρχείο προς επεξεργασία.



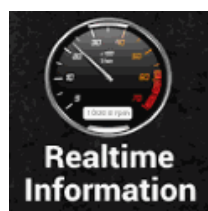
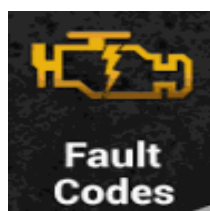
Εικόνα 5.7. Ρυθμίσεις των γραφημάτων

Τα δεδομένα που λαμβάνονται για την κάθε μεταβλητή, αποθηκεύονται αυτόματα στην μνήμη της συσκευής σε χρήση και για την συλλογή τους δημιουργείται ένας φάκελος με όνομα TorqueLogs, όπου υπάρχουν όλα τα δεδομένα καταγραφής σε μορφή αρχείου Excel.

GPS Time	Device Time	Longitude	Latitude	GPS Speed(km/h)	εξομαλυσμένη ταχύτητα	Ταχ. <2=0	επιτάχυνση	α>0	α<0
Mon Dec 31 18:27:59 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:27:59,007	20.899.677.105.817.400	37.770.942.710.361.400	0	1,43	0,00			
Mon Dec 31 18:28:00 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:00,003	20.899.682.497.155.300	3.777.093.997.507.400	0	3,12	3,12	0,87	0,87	
Mon Dec 31 18:28:01 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:01,003	2.089.968.436.972.170	3.777.093.997.507.400	0	5,34	5,34	0,61	0,61	
Mon Dec 31 18:28:02 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:02,003	20.899.682.784.470.900	3.777.094.267.173.270	0	7,91	7,91	0,71	0,71	
Mon Dec 31 18:28:03 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:03,003	20.899.689.575.149.200	37.770.952.076.012.700	2,4308753	9,76	9,76			
Mon Dec 31 18:28:04 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:04,003	20.899.706.437.144.000	3.777.096.656.640.040	4,734096	11,09	11,09	0,37	0,37	
Mon Dec 31 18:28:05 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:05,003	2.089.973.557.237.000	37.770.984.424.033.200	8,459538	12,40	12,40	0,36	0,36	
Mon Dec 31 18:28:06 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:06,003	2.089.977.522.317.820	3.777.100.906.076.890	11,057915	13,80	13,80	0,39	0,39	
Mon Dec 31 18:28:07 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:07,003	20.899.817.440.011.300	37.771.034.504.947.200	12,861667	14,84	14,84			
Mon Dec 31 18:28:08 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:08,003	20.899.857.280.175.700	37.771.057.677.369.500	11,696537	15,61	15,61	0,22	0,22	
Mon Dec 31 18:28:09 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:09,003	20.899.887.130.606.000	37.771.073.812.954.900	11,363214	16,24	16,24	0,17	0,17	
Mon Dec 31 18:28:10 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:10,004	20.899.904.699.196.000	3.777.110.539.716.090	15,004546	15,97	15,97	-0,07		-0,07
Mon Dec 31 18:28:11 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:11,005	2.089.991.102.199.870	3.777.115.165.242.070	18,086262	14,94	14,94			
Mon Dec 31 18:28:12 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:12,003	2.089.993.486.453.640	3.777.120.434.150.430	18,030577	13,61	13,61	-0,37		-0,37
Mon Dec 31 18:28:13 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:13,004	20.899.963.975.071.700	37.771.238.422.415.900	15,576953	12,14	12,14	-0,41		-0,41
Mon Dec 31 18:28:14 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:14,003	2.089.998.072.896.790	37.771.266.815.623.400	14,482479	9,25	9,25	-0,80		-0,80
Mon Dec 31 18:28:15 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:15,004	20.899.987.579.628.400	37.771.298.039.921.700	13,693981	6,51	6,51			
Mon Dec 31 18:28:16 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:16,004	20.899.990.497.650.100	3.777.132.867.551.590	12,891985	3,98	3,98	-0,70		-0,70
Mon Dec 31 18:28:17 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:17,004	2.089.999.634.210.180	3.777.135.592.107.280	11,429268	1,72	0,00	-1,11		-1,11
Mon Dec 31 18:28:19 GMT+02:00 2018	31-12-2018 18:28:19,003	20.900.030.979.122.900	3.777.140.497.864.390	8,222093					

Εικόνα 5.8. Παράδειγμα καταγραφής δεδομένων σε μορφή αρχείου Excel

Επίσης, η εφαρμογή Torque, εκτός από την συλλογή δεδομένων, καθιστά δυνατή την επιτόπου διάγνωση για την κατάσταση του οχήματος. Με την επιλογή του εικονιδίου με όνομα κωδικό βλάβης (Fault Codes) και την προϋπόθεση ότι όλα τα προηγούμενα βήματα έχουν πραγματοποιηθεί σωστά, θα εμφανιστεί η ένδειξη ότι η μηχανή βρίσκεται σε καλή λειτουργία ή αλλιώς θα γίνει υπόδειξη του αντίστοιχου κωδικού που παραπέμπει σε συγκεκριμένο κωδικό βλάβης.



Ακόμα μια δυνατότητα της εφαρμογής αποτελεί η καταγραφή της διαδρομής που πραγματοποιεί κάθε φορά το όχημα και η ενημέρωση για την λειτουργία του σε πραγματικό χρόνο (Real Time Information).

Εικόνα 5.9. Κωδικός βλάβης Εικόνα 5.10. Πληροφορία σε πραγματικό χρόνο

### 5.3. Επεξεργασία των δεδομένων

Για κάθε διαδρομή στα πλαίσια του πειράματος δημιουργείται ένα υπολογιστικό φύλλο εργασίας Excel για όλες τις καταγραφές και τις επακόλουθες διεργασίες. Το συγκεντρωτικό αυτό αρχείο αποστέλεται αυτόματα στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, ώστε να ξεκινήσει η επεξεργασία των δεδομένων με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

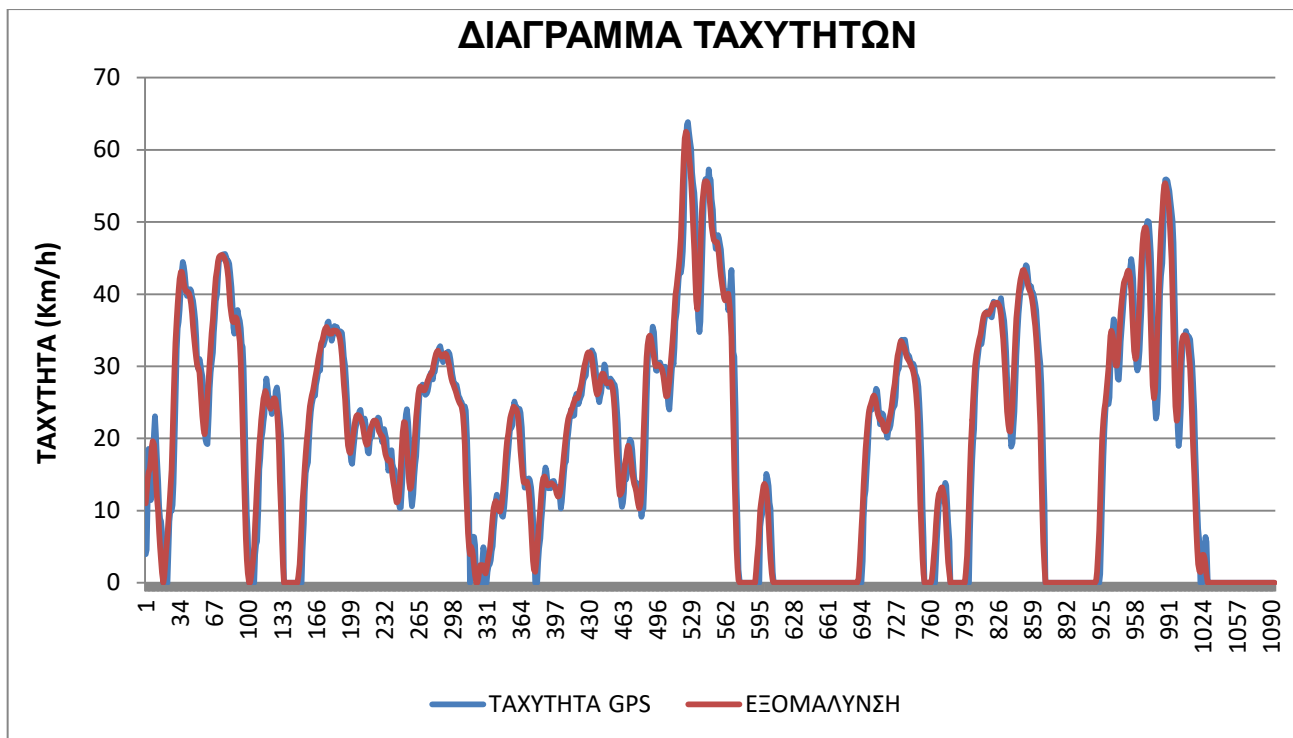
Να σημειωθεί μια σχετικά σημαντική λεπτομέρεια. Είναι απαραίτητο να επιλεγούν όλα τα δεδομένα, ώστε να γίνει αντικατάσταση, όπου υπάρχει, από το κόμμα σε τελεία. Η αλλαγή μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε αρχείο Word, με την χρήση των αντίστοιχων εντολών, και στη συνέχεια να αντιγραφούν όλα τα δεδομένα στο υπολογιστικό φύλλο, όπου θα επεξεργαστούν. Η διαδικασία αυτή απαιτείται, εξαιτίας της αδυναμίας του αρχείου Excel να αναγνωρίσει το κόμμα ως σύμβολο και με επακόλουθο κίνδυνο να εισαχθούν μη αντιπροσωπευτικές τιμές.

Σε κάθε ολοκληρωμένη διαδρομή, προκύπτουν στοιχεία για τις μεταβλητές που έχουν επιλεγεί για μέτρηση και έπειτα ανάλυση. Η ταχύτητα, η οποία πρέπει να μετατραπεί και να υπολογιστεί σε χιλιόμετρα την ώρα (km/h), είναι η μόνη μεταβλητή για την οποία συλλέγονται τιμές όχι μόνο από την διαγνωστική συσκευή OBD II, αλλά και το σύστημα GPS του κινητού τηλεφώνου που χρησιμοποιείται ως καταγραφική μονάδα. Οι υπόλοιπες μετρήσεις πραγματοποιούνται αποκλειστικά μέσω της διαγνωστικής συσκευής και περιλαμβάνουν το φορτίο του οχήματος (%), τις στροφές ανά λεπτό (RPM) και την ροή του καυσίμου ανά λεπτό (cc/min) και ανά ώρα (l/h).

Με τα παραπάνω δεδομένα και με μαθηματικούς υπολογισμούς, το πρώτο βήμα επεξεργασίας αφορά την εξομάλυνση της ταχύτητας, ώστε να προκύψει μια πιο ομαλή ροή, όπου υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι μετρήσεις του GPS θεωρήθηκαν πιο ακριβείς και ήταν αυτές που επιλέχθηκαν για την ανάλυση του πειραματικού μέρους.

Η επεξεργασία των δεδομένων για το κάθε δρομολόγιο καταλήγει σε μια γραφική παράσταση που απεικονίζεται η ταχύτητα του GPS και η εξομάλυνση της ταχύτητας σε συνάρτηση με το χρόνο. Η αναπαράσταση της σχέσης αυτής αποτελεί μια πρώτη ευκαιρία να φανούν οι εναλλαγές της ταχύτητας, καθώς επίσης και οι στάσεις, στην διάρκεια μιας διαδρομής.

Αμέσως μετά, υπολογίζεται η τελική ταχύτητα, η οποία προκύπτει όταν μηδενιστεί όποια ταχύτητα είναι ίση ή μικρότερη των 3 km/h, αφού στην ουσία το όχημα θεωρείται ακίνητο. Επίσης, πρέπει να υπολογιστεί η ταχύτητα μεγαλύτερη του μηδενός, χωρίς δηλαδή να ληφθεί υπόψη η ταχύτητα σε κατάσταση στάσης. Ακολούθως, προκύπτουν τιμές που υπολογίζουν την επιτάχυνση και την επιβράδυνση, βάσει του προηγούμενου βήματος, ενώ ακολουθούν οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους ανά φάση, όπου ως φάση περιγράφεται το διάστημα μεταξύ της εκκίνησης του οχήματος και μέχρι ξανά τον μηδενισμό της ταχύτητάς του κατά την διάρκεια της διαδρομής. Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας ολοκληρώνεται, όταν συμπληρωθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με όλες τις τιμές που υπολογίζονται, για κάθε μία διαδρομή ξεχωριστά.



Διάγραμμα 5.1. Ταχύτητα GPS και ταχύτητα εξομάλυνσης

GPS Speed (m/s)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (GPS)(km/h)	ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ	U final	U=0	U (m/s)	A	A=0	Μέγιστη επιτάχυνση ανα φάση	A=0	Μέγιστη επιτάχυνση ανα φάση
0	0	0,00	0,00		0,00			1,386		-0,752
0	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00		0,286		-0,240
0	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00		0,000		-0,640
0	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00		0,865		-0,780
0	0,00	2,11	0,00		0,59	0,59	0,585	0,400		-0,700
0	0,00	4,22	4,22	4,22	1,17	0,59	0,586	0,978		-0,592
0	0,00	6,33	6,33	6,33	1,76					
0	0,00	8,45	8,45	8,45	2,35	0,59	0,590	1,386		-0,752
10,531	10,53	10,59	10,59	10,59	2,94	0,59	0,595	0,286		-0,458
10,545	10,54	10,66	10,66	10,66	2,96	0,02	0,020	0,865		-0,640
10,5623	10,56	10,77	10,77	10,77	2,99	0,03	0,029	0,735		-0,780
10,6141	10,61	10,89	10,89	10,89	3,04	0,05	0,045	0,400		-0,700
10,7028	10,70	11,24	11,24	11,24	3,12	0,09	0,088	0,978		-0,592
10,8939	10,89	11,78	11,78	11,78	3,27					
11,0587	11,06	12,46	12,46	12,46	3,46	0,19	0,189	1,386		-0,752
11,3737	11,37	13,17	13,17	13,17	3,66	0,20	0,198	0,286		-0,458
12,1923	12,19	13,78	13,78	13,78	3,83	0,17	0,168	0,865		-0,640
13,5798	13,58	14,14	14,14	14,14	3,93	0,10	0,101	0,539		-0,780
14,3044	14,30	14,21	14,21	14,21	3,95	0,02	0,017	0,400		-0,700
14,6198	14,62	13,99	13,99	13,99	3,89	-0,06		0,978	-0,059	-0,592
14,4094	14,41	12,58	12,58	12,58	3,49					
14,0148	14,01	9,71	9,71	9,71	2,70	-0,80		1,386		-0,752
13,684	13,68	7,77	7,77	7,77	2,16	-0,54		0,261	-0,540	-0,640
13,2359	13,24	5,06	5,06	5,06	1,41	-0,75		0,865	-0,752	-0,683
7,55688	7,56	2,92	0,00		0,81	-0,60		0,539	-0,596	-0,780
0,06628	0,07	1,72	0,00		0,48	-0,33		0,400	-0,333	-0,441
4,29944	4,30	1,73	0,00		0,48	0,00	0,005	0,978		-0,592
0,14142	0,14	0,91	0,00		0,25					
2,51223	2,51	1,09	0,00		0,30	0,05	0,052	1,386		-0,688
1,56703	1,57	0,62	0,00		0,17	-0,13		0,261	-0,132	-0,640
0,14858	0,15	0,56	0,00		0,16	-0,02		0,865	-0,016	-0,683
0,15701	0,16	0,54	0,00		0,15	0,00		0,539	-0,005	-0,780
1,07652	1,08	0,76	0,00		0,21	0,06	0,061	0,400		-0,279
0,13202	0,13	0,71	0,00		0,20	-0,01		0,978	-0,014	-0,592
1,28108	1,28	0,85	0,00		0,24					
0,05954	0,06	0,76	0,00		0,21	-0,03		1,386		-0,688
1,24852	1,25	0,88	0,00		0,24	0,03	0,034	0,865		-0,640
0,82382	0,82	0,74	0,00		0,20	-0,04		0,417	-0,040	-0,683
0,84384	0,84	0,70	0,00		0,19	-0,01		0,539	-0,011	-0,780
0,8256	0,83	0,56	0,00		0,16	-0,04		0,400	-0,037	-0,282
0,66676	0,67	0,53	0,00		0,15	-0,01		0,978	-0,009	-0,592
0,52402	0,52	0,44	0,00		0,12					
0,62232	0,62	0,37	0,00		0,10	-0,02		1,386		-0,688
0,17575	0,18	0,45	0,00		0,13	0,02	0,024	0,865		-0,640
0,65491	0,65	1,19	0,00		0,33	0,20	0,205	0,417		-0,270
0,22582	0,23	2,67	0,00		0,74	0,41	0,411	0,539		-0,780

Πίνακας 5.2. Παράδειγμα τελικών τιμών επεξεργασίας δεδομένων

#### 5.4. Ανάλυση των δεδομένων και γραφικές παραστάσεις

Η ανάλυση των δεδομένων που λήφθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία οδηγεί στην δημιουργία γραφικών παραστάσεων, σημαντικό εργαλείο απεικόνισης εφόσον δίνουν με σαφή τρόπο την εικόνα της κυκλοφοριακής κατάστασης ανά ημέρα και καθιστούν άμεσα συγκρίσιμες τις τιμές για την διεξαγωγή ενός αντιπροσωπευτικού προφίλ ταχύτητας για το οδικό δίκτυο της πόλης της Ζακύνθου. Σημαντικές μεταβλητές όπως η διάρκεια της εκάστοτε διαδρομής, η μέση ταχύτητα (ΜΩΤ), η μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις (ΜΩΤ ΧΣ), η μέση επιτάχυνση, η μέση επιβράδυνση, το ποσοστό στάσης και ο αριθμός στάσεων απεικονίζονται και περιγράφονται αναλυτικά στα παρακάτω διαγράμματα.

A/A	Διάρκεια (s)	ΜΩΤ (km/h)	ΜΩΤ ΧΣ (km/h)	Μ. Επιτάχυνση (m/s <sup>2</sup> )	Μ. Επιβράδυνση (m/s <sup>2</sup> )	Στάση (%)	Αριθμός στάσεων
1	1464	13,79	19,59	0,27	-0,30	29,58	20
2	1462	17,21	19,85	0,27	-0,32	28,11	23
3	1121	18,19	23,34	0,29	-0,31	22,03	11
4	1066	19,62	22,04	0,32	-0,35	10,98	12
5	828	25,59	27,95	0,38	-0,41	8,45	7
6	830	26,41	28,62	0,34	-0,38	7,71	6
7	1051	20,43	25,69	0,36	-0,36	20,45	9
8	1018	20,89	26,89	0,38	-0,35	21,71	10
9	1103	19,67	25,26	0,32	-0,34	22,12	10
10	950	22,29	29,77	0,35	-0,36	16,77	8
11	1003	21,43	27,25	0,35	-0,38	21,34	9
12	1065	19,97	23,61	0,35	-0,36	15,40	8
13	1275	15,78	21,78	0,36	-0,37	27,53	13
14	1168	18,11	23,48	0,36	-0,39	22,86	14
15	1317	15,93	23,76	0,36	-0,35	32,95	11
16	1012	20,37	22,81	0,32	-0,36	10,67	12
17	1506	13,59	19,97	0,31	-0,33	31,94	21
18	1171	18,12	23,27	0,35	-0,35	22,12	12
19	1443	14,29	19,89	0,36	-0,35	28,14	16
20	1141	18,20	22,24	0,29	-0,33	18,14	14
21	1133	18,53	22,61	0,35	-0,35	18,01	15
22	1094	19,21	24,16	0,36	-0,37	24,48	12
23	937	22,25	25,74	0,34	-0,38	13,66	8
24	1054	20,05	26,63	0,37	-0,37	24,67	12
25	1052	20,11	27,13	0,37	-0,41	25,86	11
26	1016	21,24	27,60	0,47	-0,43	23,03	9
27	1019	20,87	24,74	0,30	-0,32	15,60	11
28	1019	20,96	26,28	0,33	-0,42	20,22	12

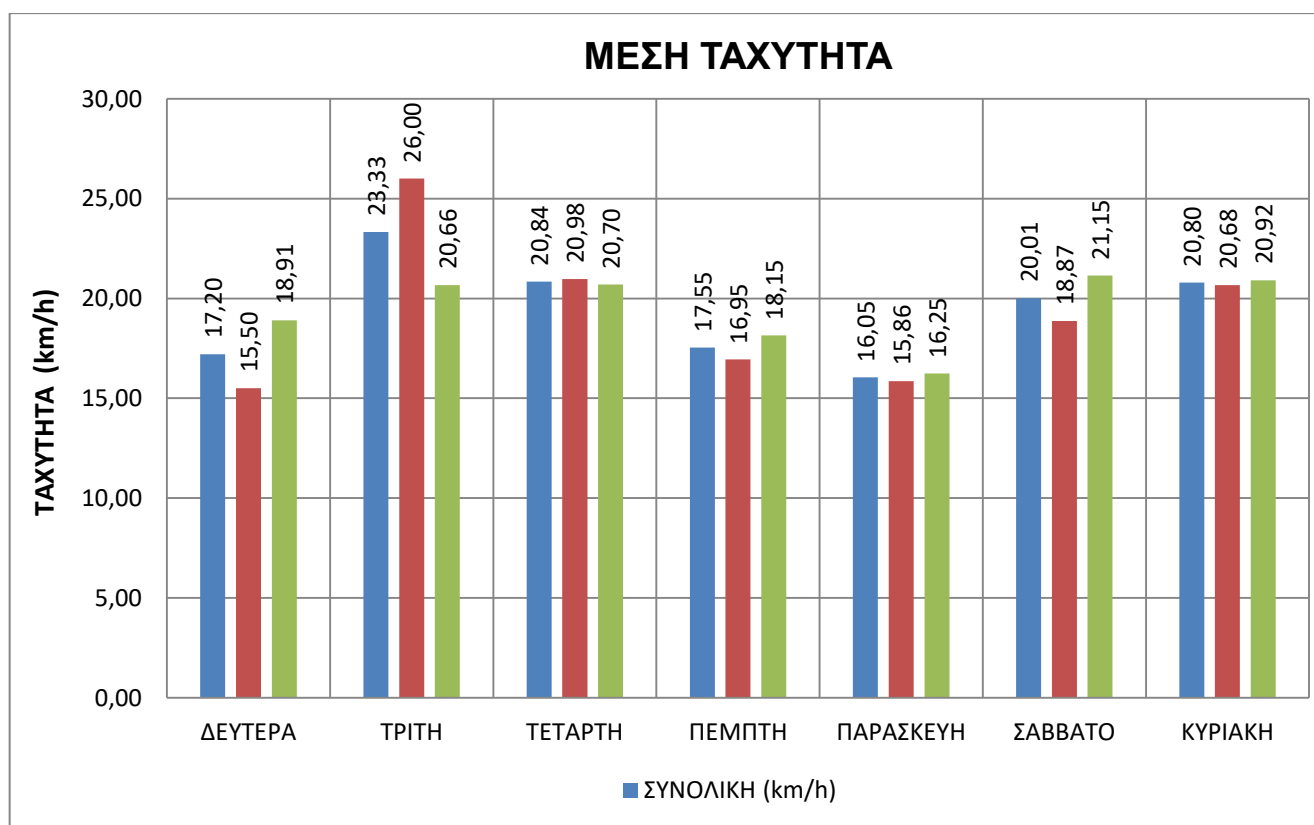
Πίνακας 5.3. Μέσοι όροι των μεταβλητών ανά διαδρομή

Ο παραπάνω συγκεντρωτικός πίνακας παραθέτει τους μέσους όρους που έχουν υπολογιστεί για κάθε μία ολοκληρωμένη διαδρομή. Ανά τέσσερις σειρές τιμών προκύπτει μια ημέρα μετρήσεων, αφού οι πρώτες δύο σειρές αφορούν τις πρωινές μετρήσεις για την ίδια ημέρα στο διάστημα των δύο εβδομάδων που διήρκησε το πείραμα και οι επόμενες δύο τις αντίστοιχες απογευματινές μετρήσεις.

Ο ίδιος πίνακας μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω, όπου η μέση ταχύτητα διαχωρίζεται ανά ημέρα σε δύο διαδρομές, πρωινή και απογευματινή. Τα ίδια δεδομένα μπορούν να εισαχθούν στην συνέχεια για την δημιουργία του αντίστοιχου διαγράμματος.

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ	17,20	23,33	20,84	17,55	16,05	20,01	20,80
ΠΡΩΙ	15,50	26,00	20,98	16,95	15,86	18,87	20,68
ΑΠΟΓΕΥΜΑ	18,91	20,66	20,70	18,15	16,25	21,15	20,92

Πίνακας 5.4. Μέσοι όροι ταχύτητας (km/h)



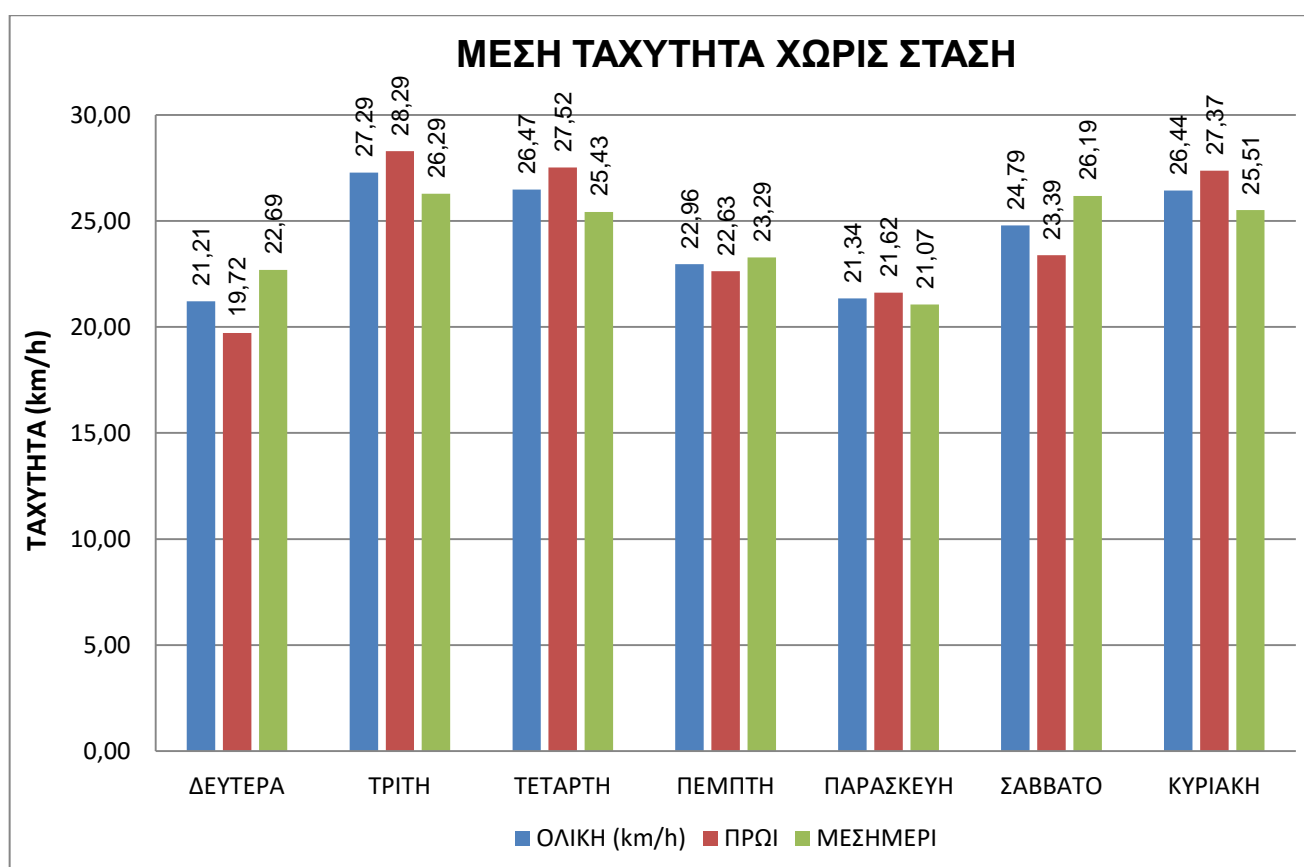
Διάγραμμα 5.2. Μέσοι όροι ταχύτητας (km/h)

Η αναπαράσταση των μέσων όρων ταχύτητας στο διάγραμμα καθιστά ευκολότερη την μεταξύ τους σύγκριση. Συγκεκριμένα, αν και δεν υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις, παρατηρείται μια τάση για μεγαλύτερη ταχύτητα στις απογευματινές διαδρομές και σχετικά υψηλές χαρακτηρίζονται οι ταχύτητες το Σάββατο και την Κυριακή. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις, κυρίως οι πρωινές, της ημέρας Τρίτης φαίνεται να διαφοροποιούνται, εξαιτίας της ειδικής περίπτωσης της Πρωτοχρονιάς που επηρέασε την κυκλοφορία.

Στην συνέχεια, η ίδια ανάλυση γίνεται για την μέση εβδομαδιαία ταχύτητα χωρίς στάσεις, εξαιρούνται δηλαδή οι ταχύτητες από 0 έως 3 km/h. Το διάγραμμα δίνει την εικόνα για την συνεχή κίνηση του οχήματος κατά την διάρκεια των διαδρομών, όπου εμφανώς οι ταχύτητες είναι υψηλότερες.

ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ	21,21	27,29	26,47	22,96	21,34	24,79	26,44
ΠΡΩΙ	19,72	28,29	27,52	22,63	21,62	23,39	27,37
ΜΕΣΗΜΕΡΙ	22,69	26,29	25,43	23,29	21,07	26,19	25,51

Πίνακας 5.5. Μέσοι όροι ταχύτητας χωρίς στάσεις (km/h)

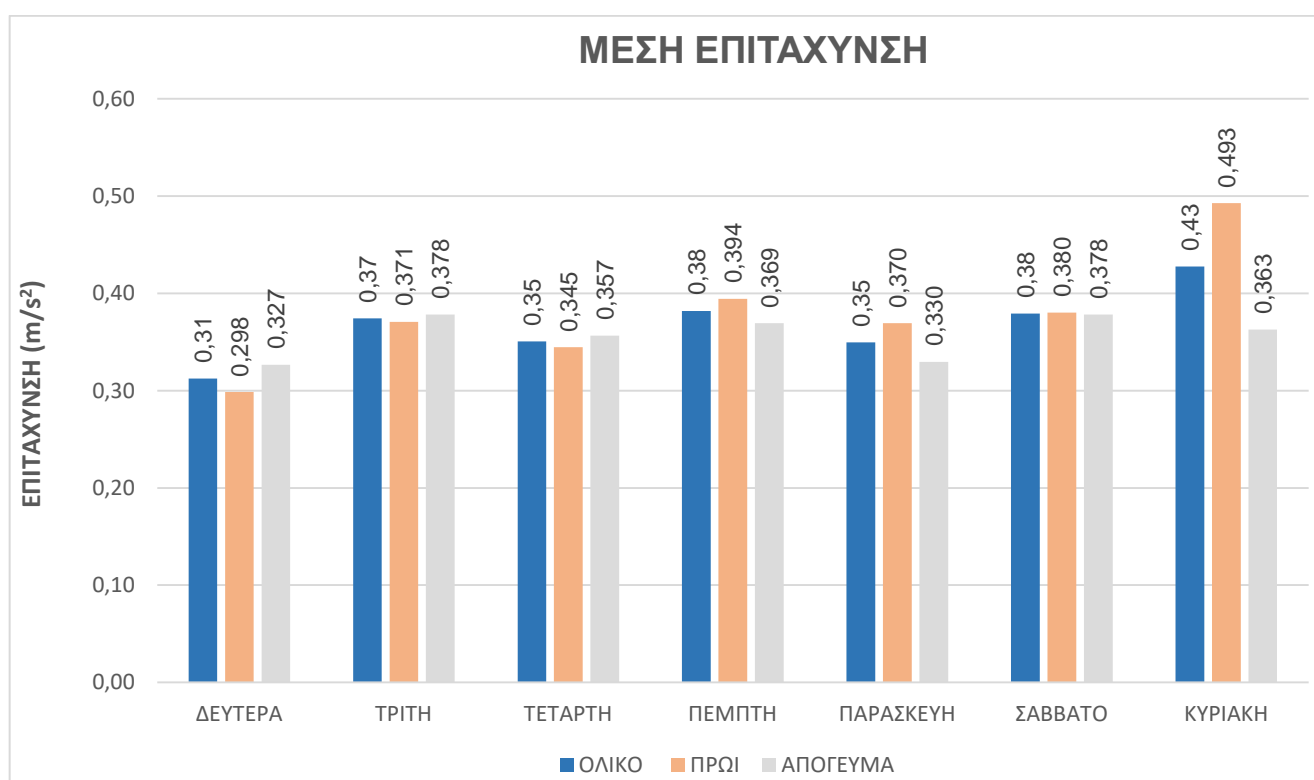


Διάγραμμα 5.3. Μέσοι όροι ταχύτητας χωρίς στάσεις (km/h)

Ακολουθως, υπολογίζονται και παρουσιάζονται γραφικά οι μέσες τιμές της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, ως ο μέσος όρος των δύο διαδρομών που εκτελέστηκαν την ίδια ώρα της αντίστοιχης μέρας. Η τιμή υπολογίζεται αφού πρώτα μετατραπεί η ταχύτητα από χιλιόμετρα ανά ώρα (km/h) σε μέτρα ανά δευτερόλεπτα (m/s) και έπειτα για κάθε μία τιμή ταχύτητας αφαιρεθεί η επόμενη από την προηγούμενη στην σειρά των μετρήσεων. Αν η τιμή που προκύψει είναι θετικός αριθμός, τότε πρόκειται για επιτάχυνση, αλλιώς παρατηρείται επιβράδυνση.

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ	ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ	0,31	0,37	0,35	0,38	0,35	0,38	0,43
ΠΡΩΙ	0,298	0,371	0,345	0,394	0,370	0,380	0,493
ΑΠΟΓΕΥΜΑ	0,327	0,378	0,357	0,369	0,330	0,378	0,363

Πίνακας 5.6. Μέση επιτάχυνση (m/s<sup>2</sup>)

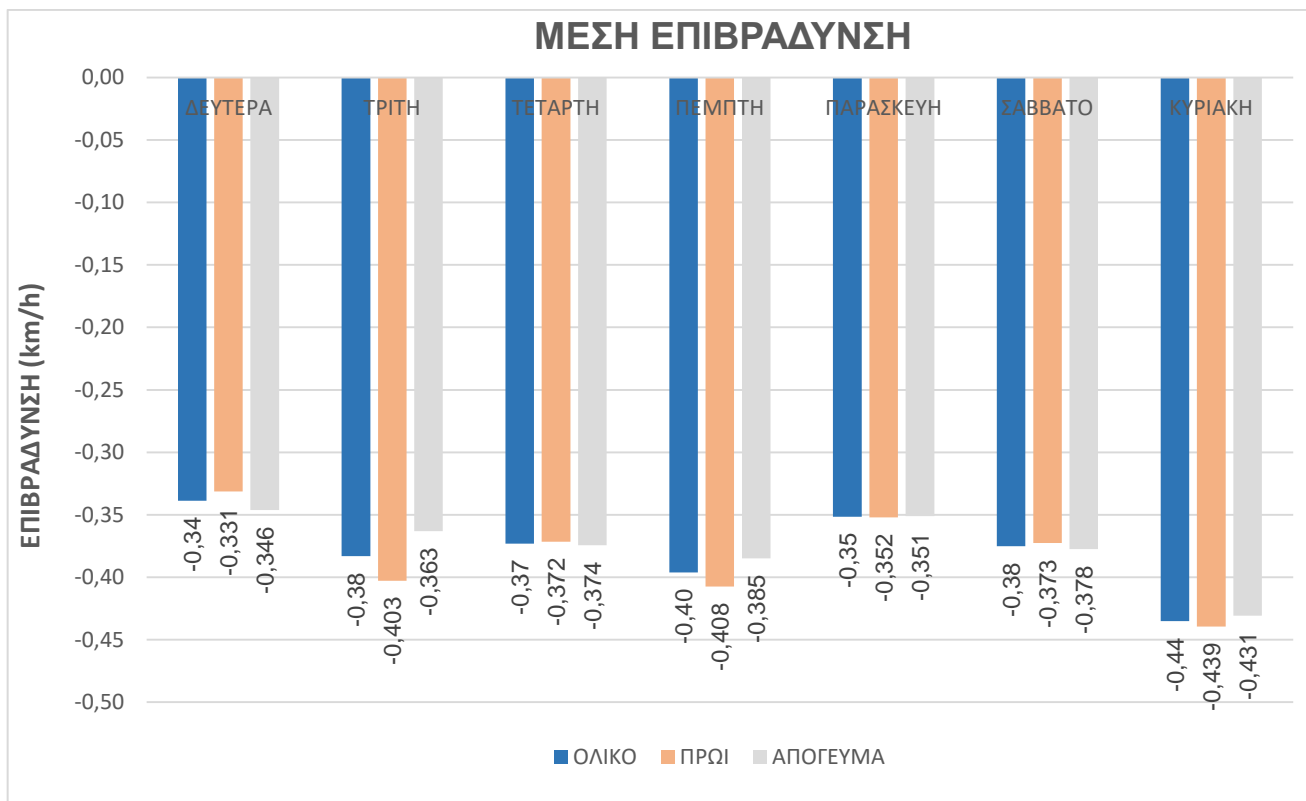


Διάγραμμα 5.4. Μέση επιτάχυνση (m/s<sup>2</sup>)

Η μέση επιτάχυνση εμφανίζεται σχετικά ομαλή και με μικρές διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της εβδομάδας. Η μόνη αισθητή διαφορά παρατηρείται το πρωί της Κυριακής, δεδομένης της μειωμένης οδικής κυκλοφορίας και επομένως της αυξημένης επιτάχυνσης.

ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ	ΔΕΥΤΕΡΑ	ΤΡΙΤΗ	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΠΕΜΠΤΗ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΣΑΒΒΑΤΟ	ΚΥΡΙΑΚΗ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ	-0,34	-0,38	-0,37	-0,40	-0,35	-0,38	-0,44
ΠΡΩΙ	-0,331	-0,403	-0,372	-0,408	-0,352	-0,373	-0,439
ΑΠΟΓΕΥΜΑ	-0,346	-0,363	-0,374	-0,385	-0,351	-0,378	-0,431

Πίνακας 5.7. Μέση επιβράδυνση ( $m/s^2$ )

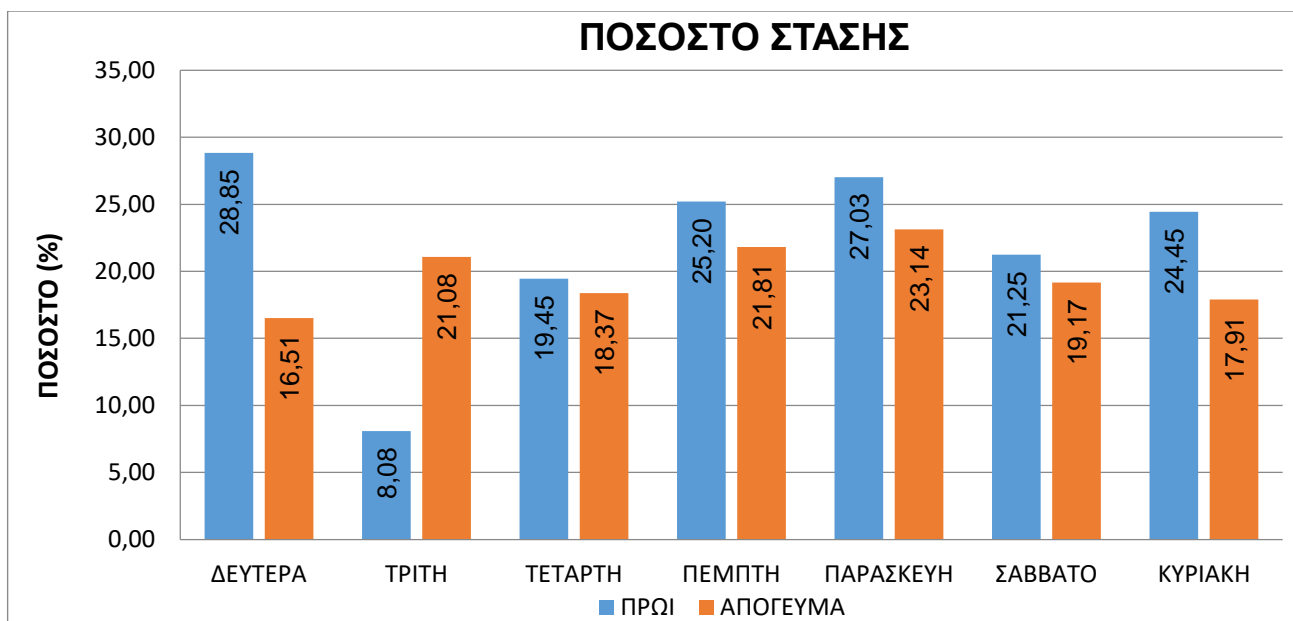


Διάγραμμα 5.5. Μέση επιβράδυνση ( $m/s^2$ )

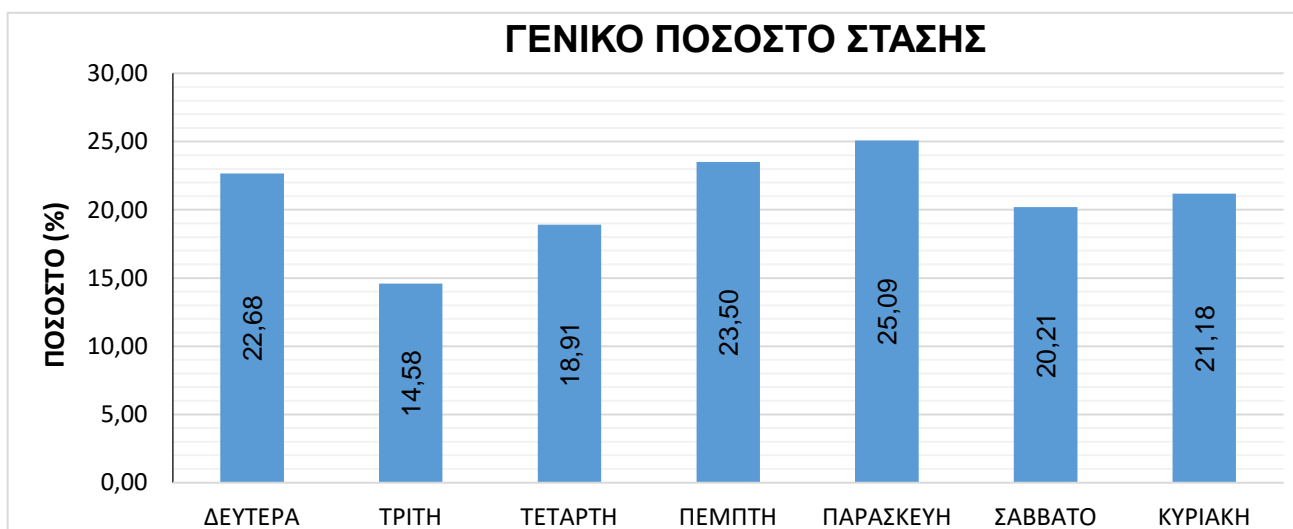
Παρομοίως, η μέση επιβράδυνση παρουσιάζεται το ίδιο ομαλή με την μέση επιτάχυνση. Αξιοσημείωτο είναι πως οι μέσοι όροι που υπολογίστηκαν για την επιτάχυνση μια δεδομένη μέρα κυμαίνονται στο ίδιο επίπεδο με την επιβράδυνση της αντίστοιχης μέρας.

Στην συνέχεια, τα γραφήματα που αφορούν το ποσοστό στάσης και τον αριθμό στάσεων για κάθε μέρα της εβδομάδας μπορούν να δώσουν επιπλέον πληροφορίες για την ομαλότητα της διαδρομής, όπως ενδεικτικά η κυκλοφοριακή συμμόρφωση ή οι φωτεινοί σηματοδότες που τείνουν να προκαλούν καθυστερήσεις.





Διάγραμμα 5.6. Ποσοστό στάσης (%)



Διάγραμμα 5.7. Γενικό ποσοστό στάσης (%)

Τα ποσοστά στάσης, σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα, εμφανίζονται αρκετά διαφορετικά από μέρα σε μέρα, ενώ μερικά διαφοροποιούνται σημαντικά ακόμα και την ίδια μέρα από το πρωί στο απόγευμα. Συγκεκριμένα, οι πρωινές μετρήσεις, με μόνη εξαίρεση αυτή της Τρίτης, αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα ποσοστά στάσης συγκριτικά με το απόγευμα, λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας στο οδικό δίκτυο που επικρατεί εκείνες τις ώρες στην πόλη της Ζακύνθου.

Γενικά, όπου παρατηρείται υψηλό ποσοστό στάσης, συνήθως αντιστοιχεί σε μια διαδρομή με μεγάλη κίνηση οχημάτων, κίνηση πεζών, αναγκαστικές στάσεις λόγω φωτεινού σηματοδότη ή σπανιότερα και ειδικές περιστάσεις, όπως ένα ατύχημα. Βέβαια, ισχύει το αντίστροφο όταν το ποσοστό στάσης είναι χαμηλό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πρωινή μέτρηση της ημέρας Τρίτης που, αντίθετα με τις υπόλοιπες, παρουσιάζει σημαντικά μικρό ποσοστό, εξαιτίας της ελάχιστης κυκλοφορίας το πρωί της Πρωτοχρονιάς.



Διάγραμμα 5.8. Αριθμός στάσεων ανά ημέρα

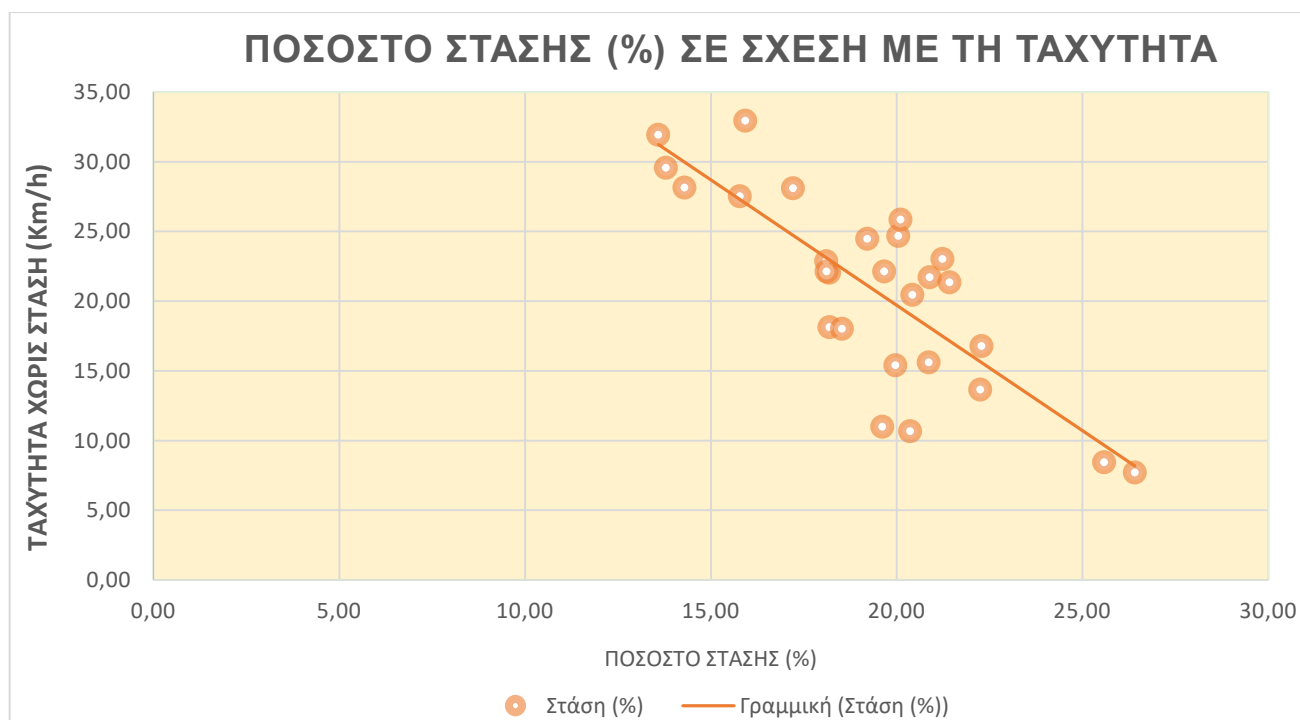
Σύμφωνα με τα τελευταία διαγράμματα, ο αριθμός των στάσεων που έγιναν κατά την διάρκεια της διαδρομής συμβαδίζει με τα ποσοστά στάσης των αντίστοιχων ημερών. Οι περισσότερες στάσεις, τόσο σε ποσότητα όσο και σε διάρκεια, παρατηρούνται την Δευτέρα και την Παρασκευή, ενώ την Τρίτη εκτιμώνται οι χαμηλότερες τιμές.



Διάγραμμα 5.9. Ποσοστά κίνησης και στάσης (%)

Επίσης, η κίνηση του οχήματος σε σχέση με το όχημα σε στάση εκφράζεται συνολικά σε ποσοστά στο προηγούμενο διάγραμμα, σύμφωνα με όλες τις μετρήσεις που λήφθηκαν στην διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Πρόκειται για μια λογική και αναμενόμενη εικόνα, εφόσον η διαδρομή ήταν ομαλή και χωρίς απρόοπτα.

Το επόμενο διάγραμμα εκφράζει την σχέση της ταχύτητας και του ποσοστού στάσης. Είναι προφανές πως όταν παρατηρείται υψηλή ταχύτητα, το ποσοστό στάσης να είναι χαμηλό, εφόσον το όχημα βρίσκεται σε κίνηση, ή αντίστροφα αυξάνεται το ποσοστό στάσης όσο μειώνεται η ταχύτητα.



Διάγραμμα 5.10. Το ποσοστό στάσης (%) σε σχέση με την μέση ταχύτητα (km/h)

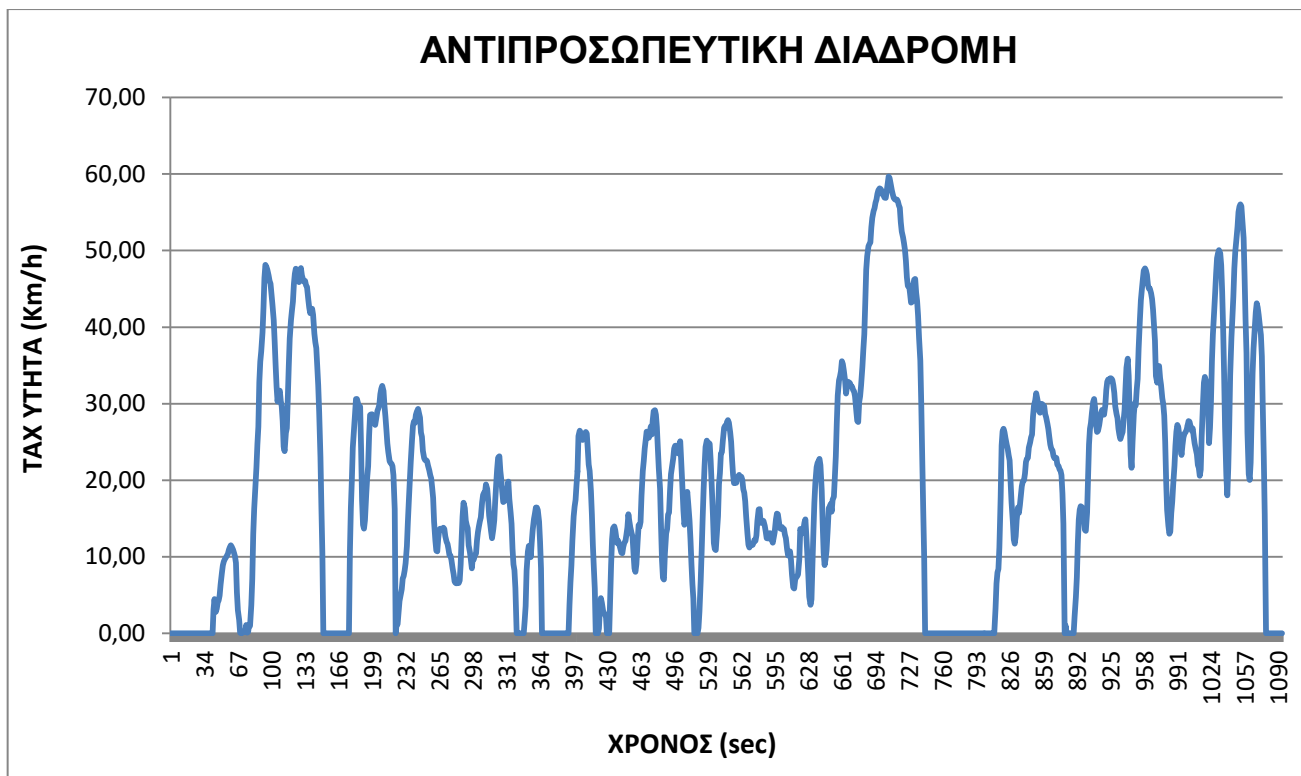
## 5.5. Τελικά αποτελέσματα

Όλες οι μετρήσεις συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν σε ξεχωριστά υπολογιστικά φύλλα, ώστε στην συνέχεια να υπολογιστούν οι μέσες τιμές για κάθε μεταβλητή. Ακολουθως, λαμβάνεται υπόψη η ομοιότητα της κάθε διαδρομής με τις μέσες τιμές και έτσι προκύπτει μια αντιπροσωπευτική καταγραφή της διαδρομής, δηλαδή της ελάχιστης τιμής του αθροίσματος των μετρήσεων για την κάθε διαδρομή.

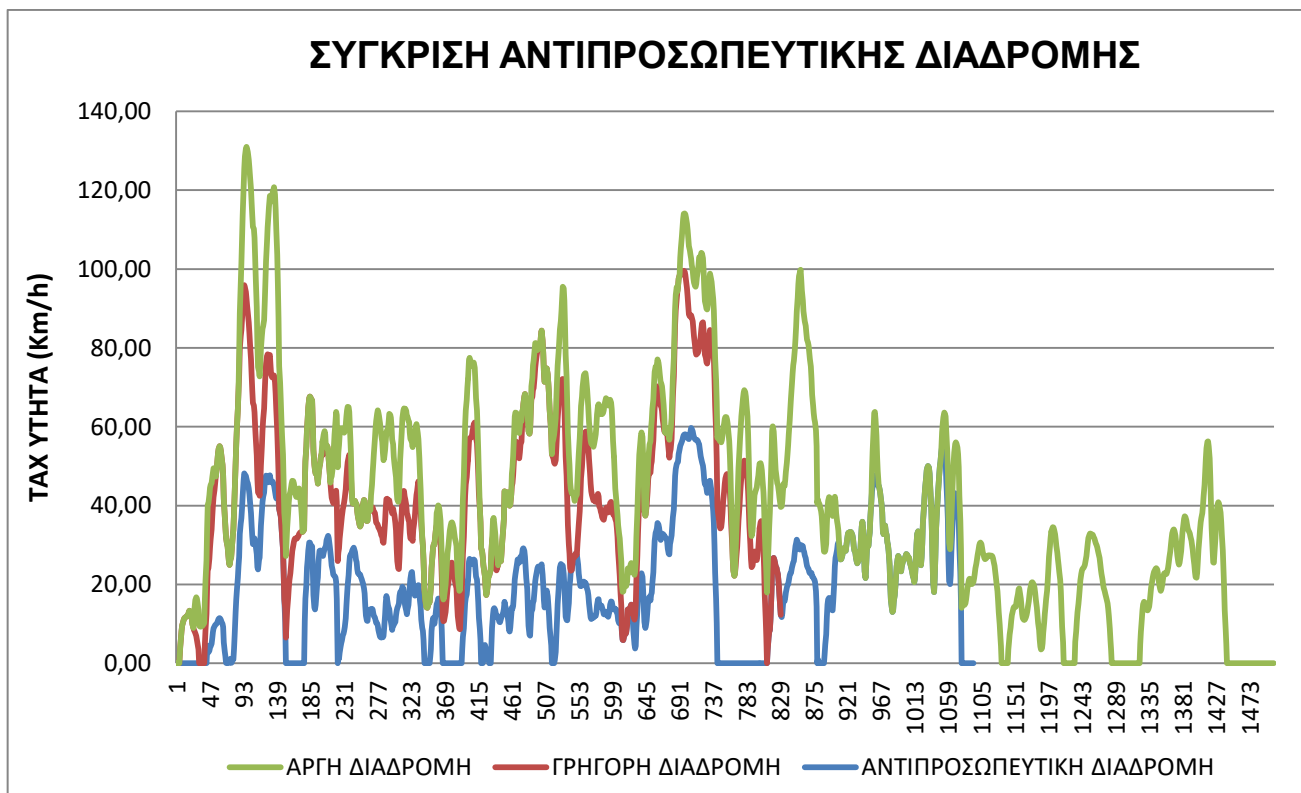
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ	ΟΜΟΙΟΤΗΤΑ (%)
ΔΙΑΡΚΕΙΑ (sec)	1118,50	1094	98
ΜΕΣΗ ΩΡΙΑΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)	19,23	19,21	100
ΜΕΣΗ ΩΡΙΑΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΧΩΡΙΣ ΣΤΑΣΗ (km/h)	24,36	24,16	99
ΜΕΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ( $m/s^2$ )	0,36	0,36	100
ΜΕΣΗ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ ( $m/s^2$ )	-0,38	-0,37	97
ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΤΑΣΗΣ (%)	20,88	24,48	85
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΣΕΩΝ	12	12	100

Πίνακας 5.8. Ομοιότητα των μέσων τιμών μετρήσεων με την αντιπροσωπευτική διαδρομή

Γενικά, η αντιπροσωπευτική διαδρομή δεν φαίνεται να έχει μεγάλη απόκλιση από τις μέσες τιμές των μετρήσεων. Η μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται στο ποσοστό στάσης και εκτιμάται πως η μικρή διάρκεια της διαδρομής επηρέασε τις τιμές, λόγω της περιορισμένης λήψης δεδομένων. Εντούτοις, η πειραματική διαδικασία θεωρείται πετυχημένη, εφόσον το σύνολο των μετρήσεων σχεδόν ταυτίζεται με την αντιπροσωπευτική διαδρομή.



Διάγραμμα 5.11. Προφίλ ταχύτητας της αντιπροσωπευτικής διαδρομής



Διάγραμμα 5.12. Σύγκριση της αντιπροσωπευτικής διαδρομής

Το προφίλ ταχύτητας που προέκυψε από την αντιπροσωπευτική διαδρομή του πειραματικού μέρους, μπορεί να αποτελέσει μια πρώτη εκτίμηση του τρόπου οδήγησης στο οδικό δίκτυο της πόλης της Ζακύνθου. Εφόσον, τα ποσοστά ομοιότητας της αντιπροσωπευτικής διαδρομής, σε σχέση με τις μετρήσεις πεδίου, είναι σε πολύ καλό επίπεδο, το προφίλ ταχύτητας δύναται να δώσει πληροφορίες που όντως ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Πρόκειται για μια διαδρομή με αρκετές διακυμάνσεις στην διάρκειά της, καθώς οι τιμές της ταχύτητας εναλλάσσονται σχετικά συχνά και με σημαντική διαφορά.

Εν κατακλείδι, το αντιπροσωπευτικό αυτό προφίλ θα μπορούσε να αποτελέσει το πρώτο βήμα για την εκπόνηση ενός κύκλου οδήγησης, ώστε να αξιοποιηθεί για την μέτρηση των εκπεμπόμενων ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων. Η περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων θα καταλήξει στην σκιαγράφηση της κυκλοφοριακής κατάστασης στην πόλη της Ζακύνθου με πραγματικά δεδομένα.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	8
Εικόνα 1.2. Εκπομπές ρύπων από κινητήρες εσωτερικής καύσης .....	9
Εικόνα 1.3. Εκπεμπόμενοι ρύποι ανά τύπο κινητήρα.....	11
Πίνακας 2.1. Ευρωπαϊκά πρότυπα βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων .....	13
Πίνακας 2.2. Ευρωπαϊκά πρότυπα πετρελαιοκίνητων επιβατικών οχημάτων.....	13
Εικόνα 2.1. Σύγκριση των προτύπων εκπομπών των οξειδίων του αζώτου (NOx) για τα διαφορετικά ευρωπαϊκά πρότυπα.....	14
Πίνακας 2.3. Ευρωπαϊκά πρότυπα βενζινοκίνητων ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων.....	15
Πίνακας 2.4. Ευρωπαϊκά πρότυπα πετρελαιοκίνητων ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων .....	16
Εικόνα 2.2. Στόχοι των προδιαγραφών Euro.....	17
Εικόνα 3.1. Πραγματικές συνθήκες για την εκπόνηση ενός κύκλου οδήγησης .....	21
Εικόνα 3.2. Δυναμομετρική εξέδρα.....	23
Διάγραμμα 4.1. Κύκλος ECE.....	25
Διάγραμμα 4.2. Κύκλος EUDC.....	25
Διάγραμμα 4.3. Κύκλος EUDC για χαμηλής ισχύος οχήματα.....	26
Πίνακας 4.1. Κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη των κύκλων ECE 15, EUDC και NEDC .....	27
Διάγραμμα 4.4. Κύκλος WLTC .....	28
Εικόνα 4.1. Διαφορές μεταξύ των κύκλων NEDC και WLTP .....	29
Εικόνα 4.2. Δοκιμή RDE.....	30
Εικόνα 4.3. Διαδρομή για μέτρηση RDE στην πόλη της Θεσσαλονίκης.....	31
Εικόνα 4.4. Όρια κατανάλωσης για RDE.....	31
Πίνακας 4.2. Κύρια χαρακτηριστικά του κύκλου Artemis.....	32
Διάγραμμα 4.5. Αστικός κύκλος Artemis.....	33
Διάγραμμα 4.6. Αγροτικός κύκλος Artemis .....	33
Διάγραμμα 4.7. Κύκλος Artemis αυτοκινητοδρόμου .....	33
Πίνακας 4.3. Κύρια χαρακτηριστικά του κύκλου FTP-75 .....	34
Διάγραμμα 4.8. Κύκλος FTP-75.....	35
Διάγραμμα 4.9. Κύκλος FTP-72.....	35
Διάγραμμα 4.10. Κύκλος HWFET .....	36
Διάγραμμα 4.11. Κύκλος IM240 .....	36
Διάγραμμα 4.12. Κύκλος California Unified .....	37
Διάγραμμα 4.13. Κύκλος SFTP SC03 .....	38
Διάγραμμα 4.14. Κύκλος SFTP US06.....	38
Διάγραμμα 4.15. Κύκλος EPA NYCC.....	39
Διάγραμμα 4.16. Κύκλος 10 mode .....	40
Διάγραμμα 4.17. Κύκλος 10-15 mode .....	40
Διάγραμμα 4.18. Κύκλος JC08 .....	41
Εικόνα 5.1. Διαδρομή καταγραφής .....	45

Εικόνα 5.2. KIA Sportage (2004) .....	46
Πίνακας 5.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά Kia Sportage (2004) .....	46
Εικόνα 5.3. Συσκευή καταγραφής OBD II .....	47
Εικόνα 5.4. Εφαρμογή καταγραφής Torque.....	47
Εικόνα 5.5. Πλατφόρμα εφαρμογής Torque .....	48
Εικόνα 5.6. Γραφήματα.....	48
Εικόνα 5.7. Ρυθμίσεις των γραφημάτων .....	49
Εικόνα 5.8. Παράδειγμα καταγραφής δεδομένων σε μορφή αρχείου Excel .....	49
Εικόνα 5.9. Κωδικός βλάβης.....	49
Εικόνα 5.10. Πληροφορία σε πραγματικό χρόνο .....	49
Διάγραμμα 5.1. Ταχύτητα GPS και ταχύτητα εξομάλυνσης.....	53
Πίνακας 5.2. Παράδειγμα τελικών τιμών επεξεργασίας δεδομένων .....	51
Πίνακας 5.3. Μέσοι όροι των μεταβλητών ανά διαδρομή .....	52
Πίνακας 5.4. Μέσοι όροι ταχύτητας (km/h).....	53
Διάγραμμα 5.2. Μέσοι όροι ταχύτητας (km/h).....	53
Πίνακας 5.5. Μέσοι όροι ταχύτητας χωρίς στάσεις (km/h) .....	54
Διάγραμμα 5.3. Μέσοι όροι ταχύτητας χωρίς στάσεις (km/h) .....	54
Πίνακας 5.6. Μέση επιτάχυνση ( $m/s^2$ ) .....	55
Διάγραμμα 5.4. Μέση επιτάχυνση ( $m/s^2$ ) .....	55
Πίνακας 5.7. Μέση επιβράδυνση ( $m/s^2$ ) .....	56
Διάγραμμα 5.5. Μέση επιβράδυνση ( $m/s^2$ ) .....	56
Διάγραμμα 5.6. Ποσοστό στάσης (%).....	57
Διάγραμμα 5.7. Γενικό ποσοστό στάσης (%).....	57
Διάγραμμα 5.8. Αριθμός στάσεων ανά ημέρα.....	58
Διάγραμμα 5.9. Ποσοστά κίνησης και στάσης (%).....	59
Διάγραμμα 5.10. Το ποσοστό στάσης (%) σε σχέση με την μέση ταχύτητα (km/h).....	59
Πίνακας 5.8. Ομοιότητα των μέσων τιμών μετρήσεων με την αντιπροσωπευτική διαδρομή .....	60
Διάγραμμα 5.11. Προφίλ ταχύτητας της αντιπροσωπευτικής διαδρομής .....	61
Διάγραμμα 5.12. Σύγκριση της αντιπροσωπευτικής διαδρομής .....	61



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Έλληνες συγγραφείς:

Τζιράκης Ε. (2007), Διδακτορική διατριβή: *Συσχετισμός εκπομπών με φυσικοχημικές ιδιότητες των καυσίμων και με δεδομένα από την κίνηση των οχημάτων στο λεκανοπέδιο της Αττικής*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ξένοι συγγραφείς:

Andre M. (1996), Technical Paper: *Driving cycles development: characterization of methods*, United States: SAE International

Andre M. (2004), Article in Science of The Total Environment: *The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions*,

André M., Joumard R., Vidon R., Tassel P. and Perret P. (2006), Article in Atmospheric Environment: *Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars*

Bouter P., Latham U. and Aigne M. (1999), *Driving cycles for measuring car emissions on roads with traffic calming measures*, UK: Transport Research Laboratory

Kuhler M. and Karstens D. (1978), *Improve driving cycle for testing automotive exhaust emissions*, United States: SAE International

Nyberg P. (2015), *Evaluation, Generation, and Transformation of Driving Cycles*, Linköping University

Διαδικτυακοί τόποι:

CARE EMISSIONS TESTING FACTS .EU ([www.caremissionstestingfacts.eu](http://www.caremissionstestingfacts.eu))

ECE 15 + EUDC / NEDC, Emission Test Cycles ([www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com))

EU: Cars and Light Trucks, Emission Standards ([www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com))

EUR-Lex, Πρόσβαση στο δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης ([eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu))

Euro 1 to Euro 6 guide ([www.rac.co.uk](http://www.rac.co.uk))

European Automobile Manufacturers Association, Real Driving Emissions Tests ([www.acea.be](http://www.acea.be))

European Environment Agency ([www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu))

Environmental Pollution Centers ([www.environmentalpollutioncenters.org](http://www.environmentalpollutioncenters.org))

Government of Canada Transport and infrastructure ([www.canada.ca/en/services/transport](http://www.canada.ca/en/services/transport))

Transport Policy .net ([www.transportpolicy.net](http://www.transportpolicy.net))

WLTP FACTS .EU ([www.wltpfacts.eu](http://www.wltpfacts.eu))