



# Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας IV – Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών  
Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών

## Ανάπτυξη Αστικού Κύκλου Οδήγησης

**Διπλωματική εργασία**

Παπαδημητρίου-Διακομανώλης Δημήτριος



**Επιβλέπων Καθηγητής :** Ζαννίκος Φανούριος - Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Αθήνα, Σεπτέμβριος 2021

# Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους παρευρέθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, κύριο Ζαννίκο Φανούριο για την υπόδειξη του θέματος, αλλά και για το λόγο του ότι κάτω από τη συστηματική καθοδήγηση και το συνεχή συντονισμό του ολοκληρώθηκε αυτή η προσπάθεια.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το διδακτορικό φοιτητή, Κυριακό Περικλή για την αδιάκοπη υποστήριξη και βοήθεια του σε θέματα τόσο επιστημονικά όσο και πρακτικά, αλλά και για το συνεχές ενδιαφέρον του για την εξέλιξη και περάτωση της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω το άτομο που με βοήθησε με τις καταγραφές δεδομένων για το πειραματικό μέρος της εργασίας.

Ευχαριστώ, τέλος, την οικογένειά μου για την ηθική στήριξη και την υπομονή κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# Πίνακας Περιεχομένων

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</b> | <b>5</b> |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b>      | <b>7</b> |
| <b>Περίληψη</b>               | <b>8</b> |
| <b>Abstract</b>               | <b>9</b> |

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ατμόσφαιρα και Ατμοσφαιρική Ρύπανση</b>                      | <b>11</b> |
| 1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ  | 11        |
| 1.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ   | 14        |
| 1.2.1 Γενικά   | 14        |
| 1.2.2 Ιστορική αναδρομή στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης              | 15        |
| 1.2.3 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης   | 17        |
| 1.2.4 Ατμοσφαιρικοί Ρύποι  | 20        |
| 1.2.5 Επιπτώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης                                      | 26        |
| 1.2.6 Η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι μεταφορές στην Ελλάδα                    | 30        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Σχετική Νομοθεσία Εκπεμπόμενων Ρύπων - Προδιαγραφές EURO</b> | <b>33</b> |
| 2.1 Γενικά Στοιχεία  | 33        |
| 2.2 Νομοθεσία Περιορισμού Εκπεμπόμενων Ρύπων                                 | 35        |
| 2.3 Προδιαγραφές εκπομπών ρύπων (Euro)                                       | 39        |
| 2.4 Προδιαγραφές εκπομπών CO <sub>2</sub>                                    | 46        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Κύκλοι Οδήγησης</b>  | <b>49</b> |
| 3.1 Εισαγωγή στους κύκλους οδήγησης  | 49        |
| 3.2 Κατηγορίες κύκλων οδήγησης   | 50        |
| 3.3 Τεχνικές καταγραφής κίνησης οχημάτων                                     | 52        |
| 3.4 Σημαντικά χαρακτηριστικά μεγέθη  | 54        |
| 3.5 Σχηματισμός Κύκλου Οδήγησης  | 56        |
| 3.6 Γνωστοί Κύκλοι Οδήγησης  | 58        |
| 3.7 Κύκλος WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure)         | 82        |
| 3.7.1 Εισαγωγή στους παγκόσμια εναρμονισμένους κύκλους οδήγησης              | 82        |
| 3.7.2 Περιορισμοί του κύκλου WLTP  | 84        |
| 3.7.3 Κατηγορίες WLTP και χαρακτηριστικά [50]                                | 86        |
| 3.7.4 Διαφορές και μετάβαση από NEDC σε WLTP                                 | 90        |
| 3.8 Η Δυναμομετρική Εξέδρα   | 93        |
| 3.9 Φορητά συστήματα μέτρησης εκπομπών PEMS                                  | 95        |
| 3.9.1 Περιγραφή του PEMS   | 96        |
| 3.9.2 Περιγραφή του AVL  | 97        |
| 3.9.3 Διαδικασία μέτρησης  | 101       |

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

|   |            |
|---|------------|
| <b>Εισαγωγή στο Πειραματικό Μέρος</b>                               | <b>104</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Εξοπλισμός και Δειγματοληψία</b>                    | <b>105</b> |
| 4.1 Όχημα Καταγραφής  | 105        |
| 4.2 Συσκευή Καταγραφής – OBD II                                     | 107        |
| 4.3 Εφαρμογή Καταγραφής Δεδομένων Torque Pro                        | 109        |
| 4.4 Διαδικασία Καταγραφής   | 111        |
| 4.4.1 Προετοιμασία για καταγραφή                                    | 111        |
| 4.4.2 Καταγραφή   | 112        |
| 4.4.3 Λήξη Καταγραφής   | 112        |
| 4.5 Διαδρομές Δειγματοληψίας  | 113        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Επεξεργασία Δεδομένων</b>                           | <b>117</b> |
| 5.1 Προβολή αποθηκευμένων δεδομένων σε Η/Υ                          | 117        |
| 5.2 Επεξεργασία Δεδομένων   | 119        |
| 5.2.1 Πως δημιουργούνται οι Κύκλοι Οδήγησης                         | 119        |
| 5.2.2 Μετατροπή αρχείου δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία         | 121        |
| 5.2.3 Διόρθωση Σφαλμάτων  | 121        |
| 5.2.4 Διαχωρισμός των Microtrips και Αφαίρεση Ακραίων Τιμών         | 122        |
| 5.2.5 Υπολογισμών Μέσων Μεγεθών                                     | 122        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Αποτελέσματα - Συμπεράσματα</b>                     | <b>123</b> |
| 6.1 Αποτελέσματα Διαδρομής Κηφισιά - Βύρνας                         | 123        |
| 6.2 Αποτελέσματα Διαδρομής Κηφισιά - Ταύρος                         | 125        |
| 6.3 Ομαδοποίηση Αποτελεσμάτων ανά Ωρα της ημέρας                    | 128        |
| 6.4 Ομαδοποίηση Αποτελεσμάτων ανά Μήνα                              | 131        |
| 6.5 Συμπεράσματα όσον αφορά τις ώρες της ημέρας                     | 133        |
| 6.6 Συμπεράσματα όσον αφορά τους μήνες                              | 134        |
| 6.7 Αποτελέσματα κύκλων οδήγησης                                    | 135        |
| 6.8 Σύγκριση Κύκλου 8 με WLTP                                       | 136        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Κατακλείδα &amp; Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα</b> | <b>138</b> |
| <b>Πηγές και Βιβλιογραφία</b>                                       | <b>140</b> |

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

**Διάγραμμα 1.1:** Κάθετη δομή της ατμόσφαιρας και διακύμανση της θερμοκρασίας σε σχέση με το υψόμετρο

**Διάγραμμα 1.2.2 :** Η συμβολή των διαφόρων αερίων που περιέχονται στα πρωτόκολλα του Κιότο και του Μόντρεαλ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

**Διάγραμμα 1.2.3.1:** Προέλευση των αερίων ρύπων

**Διάγραμμα 1.2.3.2:** Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών από τις οποίες εκπέμπονται αέριοι ρύποι στην ατμόσφαιρα

**Διάγραμμα 1.2.4:** Κατανομή αερίων ρύπων που εκπέμπονται από ανθρωπογενείς πηγές στην ατμόσφαιρα

**Διάγραμμα 1.2.5.1:** Ημερήσια πορεία των συγκεντρώσεων του φωτοχημικού νέφους

**Διάγραμμα 1.2.5.2:** Εκπομπές των κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων

**Διάγραμμα 1.2.6.1:** Ποσοστά βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην Ελλάδα για το 2015

**Διάγραμμα 1.2.6.2:** Κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο οχήματος στην Ελλάδα

**Διάγραμμα 2.3.1 :** Μείωση των ορίων σε περιεκτικότητα θείου (S) στα καύσιμα

**Διάγραμμα 2.3.2:** Μείωση των ορίων εκπομπών εκπομπής ρύπων για κινητήρες Diesel - επιβατικών αυτοκινήτων στην Ε.Ε.

**Διάγραμμα 2.3.3:** Περιορισμός ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους βενζινοκινητήρες από το 1990 έως σήμερα

**Διάγραμμα 3.2.1** Κύκλος οδήγησης τύπου Modal, παράδειγμα από ECE-15.

**Διάγραμμα 3.2.2** Κύκλος οδήγησης τύπου Real World, Urban Artemis Cycle.

**Διάγραμμα 3.6.1** Ο κύκλος ECE

**Διάγραμμα 3.6.2** Ο κύκλος πόλης EUDC

**Διάγραμμα 3.6.3** Ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC)

**Διάγραμμα 3.6.4** Οι κύκλοι πόλης ARTEMIS σε αστικούς, αγροτικούς δρόμους και αυτοκινητόδρομους και η δομή τους σε τυπικές οδηγικές συνθήκες

**Διάγραμμα 3.6.5** "Αστικός" κύκλος πόλης Artemis

**Διάγραμμα 3.6.6** Ο κύκλος Artemis σε αγροτικό δρόμο

**Διάγραμμα 3.6.7** Ο κύκλος Artemis για αυτοκινητόδρομο (130-150)

**Διάγραμμα 3.6.8** Το διάγραμμα της δοκιμής ELR

**Διάγραμμα 3.6.9** Ο κύκλος Πόλης ETC

**Διάγραμμα 3.6.10** Ο κύκλος πόλης Braunschweig

**Διάγραμμα 3.6.11** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου πόλης FTP-72.

**Διάγραμμα 3.6.12** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου FTP-75.

**Διάγραμμα 3.6.13** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου HWFET.

**Διάγραμμα 3.6.14** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου IM240.

**Διάγραμμα 3.6.15** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου LA92.

**Διάγραμμα 3.6.16** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου SFTP SC03.

**Διάγραμμα 3.6.17** *Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου SFTP US06.*  
**Διάγραμμα 3.6.18** *Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου EPA NYCC*  
**Διάγραμμα 3.6.19** *Διάγραμμα Ιαπωνικού κύκλου 10 – mode.*  
**Διάγραμμα 3.6.20** *Διάγραμμα Ιαπωνικού κύκλου 10 – 15 mode.*  
**Διάγραμμα 3.6.21** *Διάγραμμα Ιαπωνικού κύκλου JC 08.*  
**Διάγραμμα 3.7.1** *Διάγραμμα κύκλου WLTP για οχήματα κατηγορίας 3 a 3 b*  
**Διάγραμμα 3.7.2** *Διάγραμμα κύκλου WLTP για οχήματα κλάσης 2*  
**Διάγραμμα 3.7.3** *Διάγραμμα κύκλου WLTP για οχήματα κλάσης 1*  
**Διάγραμμα 3.7.4** *Διάγραμμα σύγκρισης κύκλου NEDC με τον κύκλο WLTP*  
**Διάγραμμα 3.9:** *Διάγραμμα λειτουργίας μετρήσεων PEMS*

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1.2:* Χρόνοι παραμονής χαρακτηριστικών ατμοσφαιρικών συστατικών
- Πίνακας 2.1:* Ρύποι, όρια και έτος εφαρμογής, με βάση τις οδηγίες της Ε.Ε.
- Πίνακας 2.2 :* Κατηγορίες οχημάτων
- Πίνακας 2.3:* Ευρωπαϊκές προδιαγραφές εκπομπών ρύπων για επιβατικά οχήματα
- Πίνακας 2.4:* Πρότυπα εκπομπών για ελαφρά επιβατικά οχήματα
- Πίνακας 3.6.1:* Διαφορά παραμέτρων για τους κύκλους πόλης ECE, EUDC και NEDC
- Πίνακας 3.6.2* Τα χαρακτηριστικά του κύκλου Artemis
- Πίνακας 3.6.3* Τα χαρακτηριστικά-παράμετροι κύκλου πόλης ECE R49 για βαρέα φορτηγά.
- Πίνακας 3.6.4* Τα χαρακτηριστικά-παράμετροι του κύκλου πόλης ESC για βαρέα φορτηγά και λεωφορεία
- Πίνακας 3.6.5* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης FTP-75
- Πίνακας 3.6.6* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης HWFET.
- Πίνακας 3.6.7* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης IM240.
- Πίνακας 3.6.8* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης LA92.
- Πίνακας 3.6.9* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης SFTP SC03.
- Πίνακας 3.6.10* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης SFTP US06.
- Πίνακας 3.6.11* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης EPA NYCC.
- Πίνακας 3.6.12* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης 10 mode.
- Πίνακας 3.6.13* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης 10 – 15 mode.
- Πίνακας 3.6.14* Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης JC 08.
- Πίνακας 3.7.1* Κατηγορίες οχημάτων σύμφωνα με την αναλογία ισχύος προς την μάζα (PMR)
- Πίνακας 3.7.2* Χαρακτηριστικά κύκλου οχημάτων κλάσεων 3a και 3b του WLTP
- Πίνακας 3.7.3* Χαρακτηριστικά κύκλου οχημάτων κλάσης 2 του WLTP
- Πίνακας 3.7.4* Χαρακτηριστικά κύκλου οχημάτων κλάσης 1 του WLTP
- Πίνακας 3.7.5* Χαρακτηριστικά σύγκρισης του κύκλου NEDC με τον κύκλο WLTP

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τον πλανήτη. Θέτει σε κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων και επηρεάζει την ποιότητα ζωής τους. Έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και καταστρέφει οικοσυστήματα. Μέρος όμως αυτής της ευθύνης έχουν τα οχήματα που ο αριθμός τους και η χρήση τους είναι ανοδική. Η παγκόσμια κοινότητα αντιλαμβάνομενη την έκταση του προβλήματος θεσμοθετεί όλο και πιο αυστηρούς νόμους για τον περιορισμό των αερίων ρύπων. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες προσπαθούν μέσα από την βελτίωση των τεχνολογιών τους να διατηρήσουν τις εκπομπές των οχημάτων σε όλο και χαμηλότερα όρια.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει αφενός τους αέριους ρύπους που εκλύονται από τα οχήματα, τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και τα μέτρα που λαμβάνονται για την αντιμετώπισή τους και αφετέρου να εισάγει τον αναγνώστη στους κύκλους οδήγησης, τη μέθοδο καταγραφής και ελέγχου των εκπεμπόμενων αυτών ρύπων από επιβατηγά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα.

Η εργασία αρχικά παρουσιάζει την ατμοσφαιρική ρύπανση και το ρόλο των μεταφορών στον σχηματισμό της. Περιγράφονται οι αέριοι ρύποι που εκπέμπονται από τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης και οι παράγοντες που επηρεάζουν την σύστασή τους. Αναφέρονται οι επιπτώσεις των αερίων εκπομπών στην υγεία του ανθρώπου. Παρατίθενται τα πρότυπα και οι νομοθεσίες που θεσπίστηκαν για την αντιμετώπισή τους μέσα από το πέρασμα των χρόνων και τέλος οι νέες τεχνολογίες των αυτοκινητοβιομηχανιών που επιδιώκουν την μείωσή τους.

Στη συνέχεια ορίζεται το προφίλ οδήγησης, αναφέρεται η εξέλιξη, οι κατηγορίες και οι νέες τεχνολογίες των κύκλων οδήγησης, όπως επίσης και οι πιο γνωστοί κύκλοι οδήγησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ιαπωνίας. Ολοκληρώνεται το θεωρητικό κομμάτι της διατριβής με τους κύκλους οδήγησης που ισχύουν εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης και τις διαφορές τους.

Η εργασία κλείνει με το πειραματικό μέρος στο οποίο μετά από καταγραφή δεδομένων, περιλαμβάνει την μεθοδολογία για επεξεργασία δεδομένων και για την ανάπτυξη προφίλ οδήγησης επιβατηγού οχήματος εντός Αθηνών. Εξηγείται πως εάν πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία σε μεγαλύτερο στόλο αυτοκινήτων, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και στην πλειονότητα των περιοχών μιας πόλης, μπορεί να δημιουργηθεί ένας αντιπροσωπευτικός κύκλος οδήγησης για την πόλη αυτή.

**Λέξεις κλειδιά:** Αέρια ρύπανση, Εκπομπές καυσαερίων, Κύκλοι/Προφίλ Οδήγησης



# Urban Driving Cycle Development

## Abstract

Air pollution is one of the most important modern problems of the planet. It endangers people's health and affects their quality of life. It has serious environmental impacts and has started destroying the ecosystem. An important part of this responsibility lies with vehicles whose number and use is growing. The world community, aware of the extent of the problem, is institutionalizing ever more stringent laws to limit air pollutants. Automobile industries are trying to improve their technologies to keep vehicle emissions as low as possible and aim to reach as close as zero emissions in the future. This work aims at presenting on one hand the gaseous pollutants that are emitted from the vehicles, their effects on human health and the measures taken to deal with them and on the other hand, to introduce the reader to driving cycles, a method used to measure car emissions effectively.

This Master thesis begins by presenting air pollutants and the role of transport in its formation. The gaseous pollutants emitted by the Internal Combustion Engines and the factors affecting their composition are introduced. The impact of gaseous emissions on human health are also mentioned. Also important are the legislative measures put in place to deal with air pollution over the years and finally the new technologies of the automotive industry that seek to reduce it.

The main part of the thesis defines driving cycles, presents the different categories of driving cycles and their evolution through time, and mentions the most famous European, Japanese and American driving cycles. This part of the dissertation ends with analysing the two latest driving cycles used in the European Union and their differences.

The thesis concludes with the experimental part, in which after recording and processing data from a passenger vehicle in Athens, contains an example of the methodology used to develop a driving profile. It is then explained that if this process is carried out in a larger fleet of cars, for a longer period of time and in the majority of areas of a city, a representative driving cycle can be effectively created for that city.

**Keywords:** Air pollution, Exhaust emissions, Driving cycles, Cycle construction, Real World Emissions, Microtrips, Data processing

# ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ατμόσφαιρα και Ατμοσφαιρική Ρύπανση

## 1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Η ατμόσφαιρα αποτελείται από έναν φλοιό περίπου 150 χιλιομέτρων ύψους από την επιφάνεια της γης ή αλλιώς από περίπου 500 δις. τόνους αέρα που περιβάλλουν τη Γη. Παρατηρώντας μακροσκοπικά την ατμόσφαιρα βλέπουμε την θερμοκρασία και την πυκνότητά της να μεταβάλλονται με το ύψος.

Η ατμόσφαιρα είναι η πηγή του οξυγόνου ( $O_2$ ) που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των ανθρώπων και των ζώων, του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) που είναι απαραίτητο για την λειτουργία του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης και του αζώτου ( $N_2$ ) το οποίο με την επίδραση βακτηριδίων ή με την τεχνολογία του ανθρώπου δίνει κατάλληλες ενώσεις του αζώτου που είναι απαραίτητες για την ζωή. Επίσης η ατμόσφαιρα είναι ο αποδέκτης των τεράστιων ποσοτήτων χημικών ουσιών που ελκύονται από την Γη, τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η ατμόσφαιρα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανθρώπινος μανδύας της Γης διότι, αφενός μεν χρησιμεύει σαν χώρος ψύξης του κύκλου του ύδατος της Γης (συμπυκνώνοντας τους υδρατμούς που προέρχονται από την εξάτμιση των θαλάσσιων υδάτων και αποδίδοντας τους ξανά σαν νερό), αφετέρου δε, απορροφώντας ορισμένες περιοχές του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, προστατεύει τη ζωή στη Γη.

Τέλος, λόγω της απορρόφησης της ενέργειας που εκπέμπει η Γη με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, δρα σαν ρυθμιστικός παράγοντας της θερμότητας για τον πλανήτη. Ένας πρώτος διαχωρισμός της ατμόσφαιρας γίνεται με βάση τη μεταβολή (ή όχι) της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος. Σε γενικές γραμμές ο αέρας έχει προοδευτικά μικρότερη πυκνότητα καθώς απομακρύνεται από την επιφάνεια της Γης, από την τροπόσφαιρα, στη μεσόσφαιρα και τέλος στην εξώσφαιρα.

**Τροπόσφαιρα:** Είναι το χαμηλότερο τμήμα της ατμόσφαιρας που ξεκινώντας από το επίπεδο της θάλασσας εκτείνεται μέχρι το ύψος των 10-15 χλμ. Χαρακτηρίζεται από μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος και από τις έντονες τάσεις κάθετης ανάμειξης των αέριων μαζών. Το χαμηλότερο ένα τρίτο της τροπόσφαιρας, περιέχει το 50% του συνόλου των ατμοσφαιρικών αερίων. Αυτό είναι το μόνο τμήμα της ατμόσφαιρας στο οποίο μπορούμε να αναπνεύσουμε, και επίσης η περιοχή όπου όλα τα καιρικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα. Έχει επίσης την ιδιότητα του προσανατολισμού

βορρά-νότου. Ο αέρας του βορείου ημισφαιρίου και ο αέρας του νοτίου συναντιούνται και σμίγουν στον ισημερινό. Στη συνέχεια της τροπόσφαιρας βρίσκεται ένα λεπτό στρώμα που ονομάζεται τροπόπαυση και χωρίζει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα.

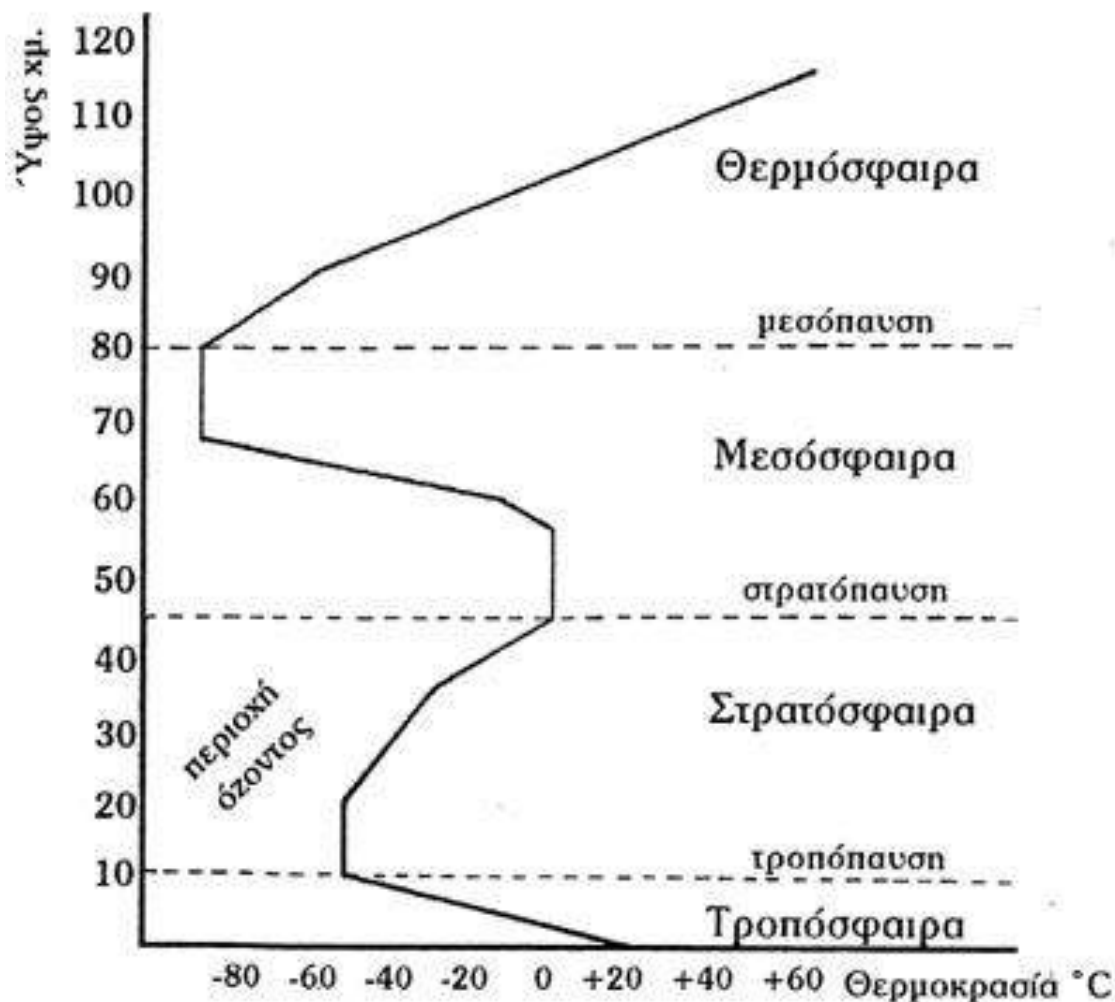
**Στρατόσφαιρα:** Είναι το στρώμα πάνω από την τροπόσφαιρα που εκτείνεται μέχρι το ύψος των 45-55 χλμ. Στην στρατόσφαιρα, η θερμοκρασία, κατόπιν μιας αρχικής αμεταβλητότητας στα κατώτερα στρώματα, αυξάνεται με το ύψος, δημιουργώντας μια κατάσταση σταθερής ατμόσφαιρας, δηλαδή ατμόσφαιρας με σημαντικά μικρές τάσεις κάθετης ανάμιξης.

**Μεσόσφαιρα :** Είναι το στρώμα που ακολουθεί τη στρατόσφαιρα και φτάνει μέχρι το ύψος των 89-90 χλμ. Η θερμοκρασία της μεσόσφαιρας ελαττώνεται όσο αυξάνεται το ύψος. Το άνω της όριο είναι το ψυχρότερο σημείο όλης της ατμόσφαιρας. Χαρακτηρίζεται από έντονη κάθετη ανάμιξη.

**Θερμόσφαιρα:** Είναι το στρώμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται πάνω από τη μεσόσφαιρα. Χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες ως αποτέλεσμα της απορρόφησης ακτινοβολίας από τα μόρια Οξυγόνου και Αζώτου. Η κάθετη ανάμιξη είναι εδώ έντονη.

Τα ανώτερα στρώματα της μεσόσφαιρας και τα κατώτερα της θερμόσφαιρας απαρτίζουν την Ιονόσφαιρα.

Η **Εξώσφαιρα** αφορά τα εξώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας που εκτείνονται σε πολύ μεγάλα ύψη (>500 χλμ).



**Διάγραμμα 1.1:** Κάθετη δομή της ατμόσφαιρας και διακύμανση της θερμοκρασίας σε σχέση με το υψόμετρο (Πηγή: ΠΕΡΠΑ 1989).

Η στρατόσφαιρα αφορά την ζώνη κίνησης των αεροπλάνων και συνεπώς αφορά επίσης σημαντικά τη διερεύνηση της ρύπανσης. Τα κατώτερα στρώματα αυτής της ζώνης περιέχουν το στρατοσφαιρικό **στρώμα του όζοντος**, το οποίο απορροφά την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία (UV). Το πάχος του στρώματος του όζοντος μεταβάλλεται από τη μακρόχρονη συσσώρευση των χλωροφθορανθράκων (CFCs) και άλλων αερίων ρύπων που το καταστρέφουν. <sup>[1]</sup>

Οι ρύποι αυτοί αρχικά ελευθερώνονται από την επιφάνεια της Γης ή από αεροσκάφη μεγάλου ύψους και μεταφέρονται αργά αλλά σταθερά προς την στρατόσφαιρα. Η τροπόσφαιρα είναι η αέρια ζώνη που μας περιβάλλει και συνεπώς αφορά ιδιαίτερα την ατμοσφαιρική ρύπανση.

## 1.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

### 1.2.1 Γενικά

Ως ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα χαρακτηρίζεται η περιεκτικότητα του σε στερεές, υγρές ή αέριες ουσίες σε ποσότητα η οποία μπορεί να βλάψει την υγεία του ανθρώπου ή να μεταβάλει τις αναλογίες του οικοσυστήματος. Επιπλέον σε ορισμένες συγκεντρώσεις και πάνω μπορεί να διαταράξει την οικολογική ισορροπία της γης σε οποιαδήποτε μικρή ή μεγάλη γεωγραφική κλίμακα.

Φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να προκύψουν είτε από μία απροσδόκητη μεταβολή των εκπομπών, είτε από την εμφάνιση ιδιαίτερα δυσμενών μετεωρολογικών φαινομένων, είτε από συνδυασμό των δύο παραπάνω. Κάτω από ορισμένες συνθήκες η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε επίπεδα που μπορεί να δημιουργήσουν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Σε αυτήν την περίπτωση έχει επικρατήσει ο όρος του «Νέφους».

Η **καπνομίχλη - smog (από smoke και fog)** ήταν αρχικά ο κυρίαρχος τύπος ρύπανσης, δεδομένου ότι η βασική πηγή ρύπανσης ήταν η καύση του κάρβουνου. Οι παραγόμενοι ρύποι ήταν συνεπώς καπνός και διοξείδιο του θείου.

Με την βιομηχανική ανάπτυξη ξεκίνησε η ύπαρξη υψηλών επιπέδων ρύπανσης με αποτέλεσμα ο νέος όρος που έχει επικρατήσει να λέγεται **Νέφος αιθαλομίχλης**. Η βιομηχανική αιθαλομίχλη προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανάλωση καυσίμων ορυκτών υλών, ειδικά άνθρακα και πετρελαίου, σε στάσιμες πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια. Χαρακτηρίζεται από υψηλή συγκέντρωση ρύπων, παραδείγματος χάριν, μονοξειδίου του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.

Το νέφος αποτελείται κυρίως από καπνό, μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του θείου που αντιδρά με τους υδρατμούς και δίνει θειικό οξύ.

Το **φωτοχημικό νέφος** είναι μια μορφή ρύπανσης της ατμόσφαιρας που εμφανίζεται σε μεγάλες πόλεις, όπως και στην Αθήνα. Παρουσιάζεται όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια, μικρή σχετικά υγρασία και υψηλή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα, όζοντος και δευτερογενών προϊόντων, που αποτελούν τα κύρια συστατικά του.

## 1.2.2 Ιστορική αναδρομή στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

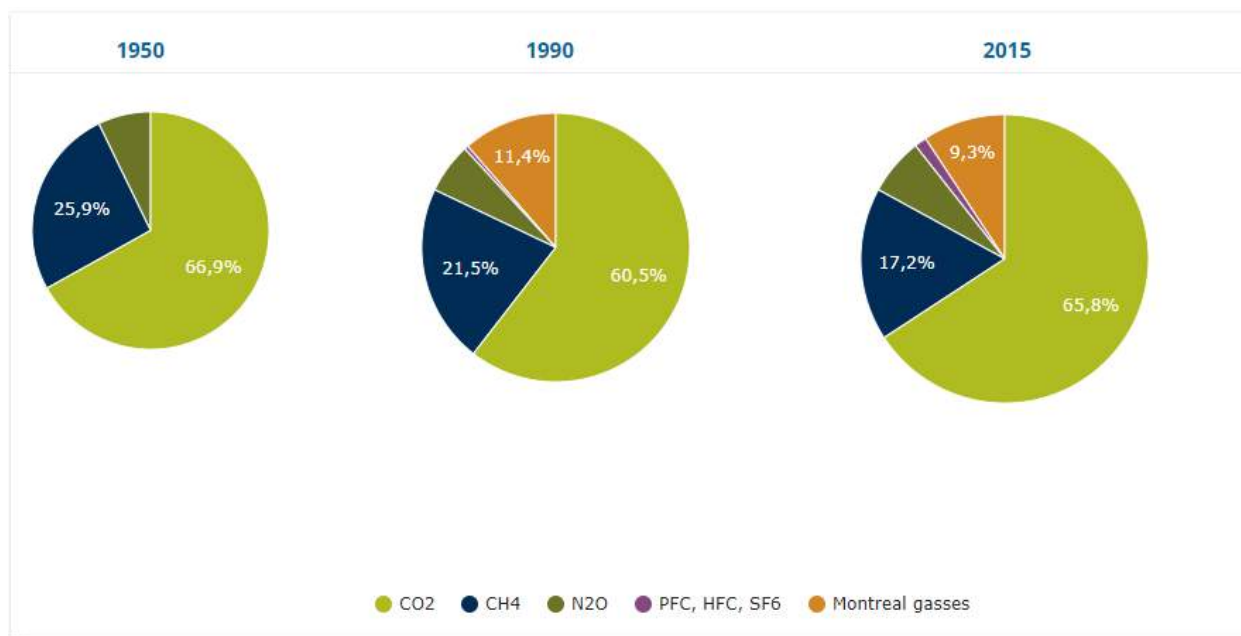
Ο άνθρωπος όταν ανακάλυψε την φωτιά άρχισε να την χρησιμοποιεί για την βελτίωση της ποιότητας ζωής του, αλλά για χιλιετίες, με λάθος τρόπο. Εξαιτίας της έλλειψης καμινάδων, γέμιζε τους χώρους της κατοικίας του με τα παράγωγα της καύσης. Σε διάφορους ρύπους ήταν εκτεθειμένα και τα χωριά στην εποχή του χαλκού και του σιδήρου. Στην αρχαία Ρώμη, γίνονται αναφορές από τον Ρωμαίο φιλόσοφο Σενέκα, για την ανυπόφορη ατμοσφαιρική ρύπανση των καμινάδων και των άλλων δυσάρεστων εκπομπών. Στην Αγγλία, το 1157, ο βασιλιάς Ερρίκος Β΄ παίρνει μέτρα για την καύση των ξύλων, ύστερα από προτροπή της γυναίκας του. Στο Λονδίνο, το 1661, παρά τις διαδοχικές απαγορεύσεις, συνεχίζεται η χρήση κάρβουνου, γεγονός που οδηγεί τον Evelyn John να καταθέσει προς το κοινοβούλιο και τον βασιλιά Κάρολο τον Β΄ τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μέτρα που ακόμα και σήμερα ισχύουν.<sup>[2]</sup>

Οι πρώτες βιομηχανίες που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η μεταλλουργία, η κεραμοποιία και η συντήρηση ζωικών προϊόντων. Τον 18ο αιώνα γίνονται τα πρώτα βήματα στην χρήση του ατμού με τον σχεδιασμό αντλιών, το 1784 κατασκευάζεται η πρώτη παλινδρομική μηχανή του Watt και τον 20ο αιώνα οι τουρμπίνες ατμού, που τροφοδοτούνται με κάρβουνο για την παραγωγή ατμού. Ο 19ος αιώνας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο χειρότερος αιώνας από πλευράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου, στους ατμοκινητήρες, τα πλοία και τα τζάκια των κατοικιών. Αποτέλεσε την αφορμή της πρώτης δράσης για την δημόσια υγεία το 1848 και στην συνέχεια επιπλέον δράσεων το 1866 και το 1875. Στην Αμερική το 1880 η κάθε επαρχία πλέον αποκτά την ευθύνη για τον έλεγχο των εκπομπών μαύρου καπνού στις βιομηχανίες και τις μεταφορές.

Μεγάλες τεχνολογικές αλλαγές εμφανίζονται την περίοδο 1900 -1925, με την αντικατάσταση της ατμομηχανής από ηλεκτρικό κινητήρα, και με την μεταφορά τέφρας και καπνού από τους δρόμους της πόλης στις μη κατοικημένες περιοχές λόγω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το διάστημα 1925- 1950 άρχισαν να εκδηλώνονται σημαντικά επεισόδια αέριας ρύπανσης με ανθρώπινα θύματα, όπως στο Βέλγιο το 1930 με 63 νεκρούς και στις Η.Π.Α. το 1948 με 20 νεκρούς. Στο Los Angeles της Καλιφόρνιας το 1940 κάνει την εμφάνιση του για πρώτη φορά το φωτοχημικό νέφος. Τεχνολογική πρόοδος την περίοδο αυτή σημειώνεται στην εγκατάσταση αγωγών φυσικού αερίου και κατά συνέπεια στην μείωση της χρήσης του άνθρακα και του πετρελαίου.

Το διάστημα 1950 - 1980 διαδραματίζονται εξαιτίας της παρουσίας αιθαλομίχλης στην Αγγλία άσχημα γεγονότα, με τον θάνατο 4.000 ανθρώπων το 1952 στο Λονδίνο και άλλων 700, το 1962. Αίτια αποτελούν, το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και τα υψηλά επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων. Προβλήματα εμφανίζονται στην Ιαπωνία, την Νέα Ζηλανδία και την Αυστραλία που οδηγούν στην θέσπιση εθνικής νομοθεσίας ελέγχου των αέριων ρύπων. Στην Ευρώπη και την Αμερική αρχίζει η ανάπτυξη επιστημονικής και τεχνολογικής έρευνας για τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται από τις μεταφορές.

Από το 1980 έως και σήμερα το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εκτείνεται από την επιστημονική κοινότητα έως τους απλούς πολίτες. Το **φαινόμενο του θερμοκηπίου, η μείωση του στρώματος του όζοντος στην στρατόσφαιρα**, η μεταφορά των ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις και η **όξινη βροχή** αποτελούν κινδύνους όχι μόνο για την ανθρώπινη ζωή, αλλά και ολόκληρου του πλανήτη. Στοιχεία που οδήγησαν το 1987 να υπογραφεί (για πρώτη φορά) το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, για την μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και το 1997, το Πρωτόκολλο του Κιότο για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στο διάγραμμα 1.2.2 παρουσιάζεται η συμβολή των διαφόρων αερίων που εμπεριέχονταν στα πρωτόκολλα του Κιότο και του Μόντρεαλ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και η διαφοροποίησή τους με το πέρασμα των χρόνων.



**Διάγραμμα 1.2.2 :** Η συμβολή των διαφόρων αερίων που περιέχονται στα πρωτόκολλα του Κιότο και του Μόντρεαλ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (EEA, 2018)



### 1.2.3 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Κύρια φυσική πηγή εκπομπής αέριας ρύπανσης αποτελεί η χλωρίδα του πλανήτη. Μέσα από την φωτοσύνθεση των φυτών και των δέντρων μετατρέπεται το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σε οξυγόνο, ενώ με την αναπνοή παράγεται διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης με την βιολογική διάσπαση των φυτών και των ζώων παράγονται υδρογονάνθρακες.

Οι ωκεανοί και οι θάλασσες με το φυτοπλαγκτόν και την δράση των βενθικών οργανισμών παράγουν ποσότητες θειούχων ενώσεων.

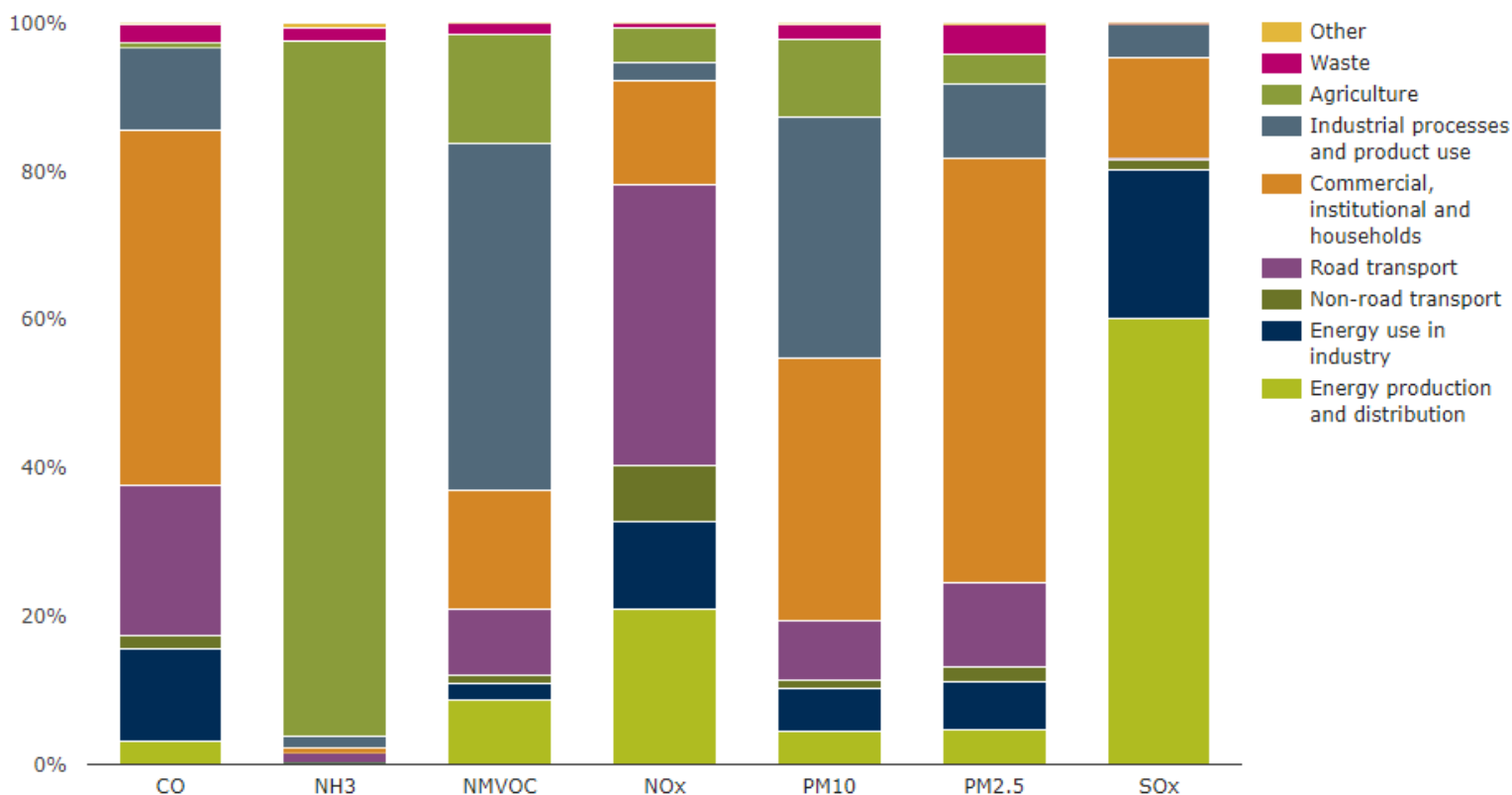
Τα κύματα που σκάνε στα βράχια, τα διαβρώνουν και παράγουν αιωρούμενα σωματίδια που ταξιδεύουν μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο άνεμος με την σειρά του συμπαρασύρει σταγονίδια νερού με διάφορα άλατα, αλλά και αποσαθρώνει το ερημικό έδαφος ή το ακάλυπτο από βλάστηση.

Οι πυρκαγιές κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε μεγάλη έκταση δασών ή λιβαδιών εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες από αέριους ρύπους.

Τα ηφαίστεια τέλος, με τις εκρήξεις τους, παράγουν σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων και διαφόρων αερίων, όπως μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )<sup>[3]</sup>.

Η καύση των ορυκτών καυσίμων, για θέρμανση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κίνησης των μηχανών εσωτερικής (Μ.Ε.Κ.) και εξωτερικής (Μ.ΕΞ.Κ.) καύσης οδηγούν σε μεγάλα ποσοστά εκπεμπόμενων αέριων ρύπων με δύσκολο τον προσδιορισμό τους εξαιτίας των μεταβολών που υφίστανται στον χώρο και στον χρόνο.

Στο διάγραμμα 1.2.3.1 φαίνονται τα ποσοστά των σημαντικότερων ρύπων που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, με τον τομέα των μεταφορών να συμβάλλει στην εκπομπή μεγάλων συγκεντρώσεων από οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{PM}_{2,5}$  και  $\text{PM}_{10}$ ), αλλά και πτητικών οργανικών ενώσεων ( $\text{VOCs}$ ).



**Διάγραμμα 1.2.3.1:** Προέλευση των αέριων ρύπων (Πηγή: EEA, 2017a)

Με την κατηγοριοποίηση των πρωτογενών ρύπων από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (Ε.Ο.Π.), παρέχεται η δυνατότητα καλύτερης αξιολόγησης των αέριων εκπομπών και αναδεικνύεται η ανάγκη της ύπαρξης ελέγχων.

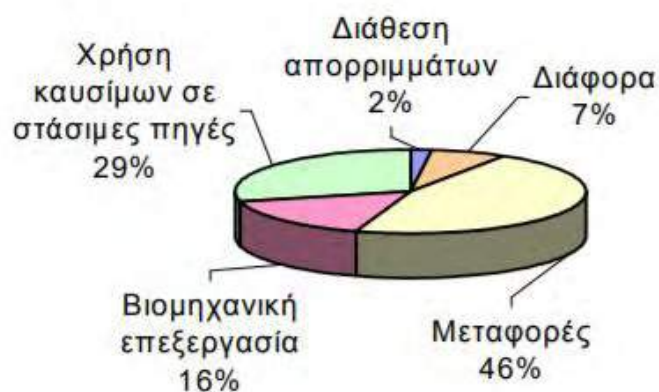
Οι κύριοι τομείς προέλευσης των αέριων ρύπων είναι ο ενεργειακός, ο αγροτικός και οι μεταφορές. Αξίζει να σχολιαστεί και η ύπαρξη ρύπων που προέρχονται, εκτός από την επαγγελματική δραστηριότητα των ανθρώπων, και από τις ανθυγιεινές τους συνήθειες, όπως κάπνισμα και η χρήση διαφόρων σπρέι κ.α. (Farmer et al., 2014, Harro et al., 2014, Κουτούση, 2014, Mackay et al., 2010).

Συνοπτικά οι κυριότερες φυσικές πηγές ρύπων είναι οι εξής:

- Η Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων
- Η αποσάθρωση του εδάφους
- Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις
- Οι πυρκαγιές δασών
- Τα ηφαίστεια

Οι ανθρωπογενείς πηγές χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Οι βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία)
- Η παραγωγή και μεταφορά ενέργειας
- Η κεντρική θέρμανση
- Η εναπόθεση αποβλήτων
- Οι αναθυμιάσεις (χρώματα, σπρέι μαλλιών, βερνίκι, σπρέι αεροζόλ και άλλοι διαλύτες)
- Και οι μεταφορές (από μηχανοκίνητα οχήματα, πλοία και αεροσκάφη)



**Διάγραμμα 1.2.3.2:** Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών από τις οποίες εκπέμπονται αέριοι ρύποι στην ατμόσφαιρα (Μελάς κ.ά. 2000).

## 1.2.4 Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Ατμοσφαιρικός ρύπος θεωρείται κάθε ουσία η οποία διοχετεύεται άμεσα ή έμμεσα στην ατμόσφαιρα και σε ποσότητες ικανές να επηρεάσουν τη σύσταση, τη δομή, ή τα χαρακτηριστικά της.

Ειδάλλως, μια ουσία που εκπέμπεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα ή προκύπτει από την αλληλεπίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας με το οικοσύστημα και η οποία επιφέρει άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στην ευεξία και υγεία του ανθρώπου και όλων των έμβιων οργανισμών καλείται επίσης ρύπος.

Οι ρύποι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την φυσική τους κατάσταση σε:

- Αέριους ρύπους (οι σημαντικότεροι είναι οι CO/CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, HxCx/VOCs)
- και Σωματίδια τα οποία με την σειρά τους ομαδοποιούνται σύμφωνα με το μέγεθός τους σε σκόνες, αιωρούμενα σωματίδια, και σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την χημική τους σύσταση.

Επίσης ανάλογα με τον τρόπο που παράγονται κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Πρωτογενείς ρύποι είναι αυτοί που εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή στην ατμόσφαιρα (π.χ. CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, καπνός κ.α.)
- Δευτερογενείς ρύποι είναι αυτοί που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους με χημικές αντιδράσεις με φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας και με καταλυτική δράση λόγω της ακτινοβολίας, της υγρασίας ή της θερμοκρασίας (O<sub>3</sub>, οξειδούμενοι υδρογονάνθρακες, κ.α.)

Οι συγκεντρώσεις ρύπων στην ατμόσφαιρα μετρούνται συνήθως σε μg/m<sup>3</sup>, το οποίο ισοδυναμεί με τη μάζα του ρυπαντή σε μg ανά κυβικό μέτρο όγκου αέρα και καυσαερίων.

Μερικές φορές η συγκέντρωση των αέριων ρύπων υπολογίζεται σε ppmv (όγκος ρυπαντή ανά όγκου αέρα), δηλαδή πρόκειται περί ποσοστού όγκου. Η μετατροπή από το ένα σύστημα μέτρησης στο άλλο έχει ως εξής :

$$\text{ppmv} = \text{mg}/\text{m}^3 \cdot \frac{(0.082057338 \cdot T)}{M}$$

$$\text{mg}/\text{m}^3 = \text{ppmv} \cdot \frac{M}{(0.082057338 \cdot T)}$$

όπου:

**ppmv** = συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων, σε μέρη ανά εκατομμύριο κατ 'όγκο

**mg / m<sup>3</sup>** = mg ρύπου ανά κυβικό μέτρο αέρα στην ατμοσφαιρική πίεση της στάθμης της θάλασσας

**T** = θερμοκρασία περιβάλλοντος σε K = 273 + x ° C

**0.082057338** = Παγκόσμια σταθερά αερίων σε L atm mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>

**M** = μοριακή μάζα (ή μοριακό βάρος) του ρύπου

Στην συνέχεια αναφέρονται οι σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι:

**Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO):** Άχρωμο και άοσμο αέριο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και αναφλέξιμο. Είναι ένας από τους μαζικότερα παραγόμενους ρύπους, ο οποίος προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων.

Κύρια πηγή του είναι τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα (70% των εκπομπών CO). Υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να βρεθούν σε χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής. Τα επίπεδα του CO είναι συνήθως πιο αυξημένα τον χειμώνα γιατί οι κινητήρες εσωτερικής καύσης τελούν ατελή καύση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Λόγω μικρής ταχύτητας διάχυσης, δημιουργεί πρόβλημα στην περιοχή όπου εκπέμπεται. Επίσης, το μονοξείδιο του άνθρακα προέρχεται και από φυσικές πηγές όπως τα ηφαίστεια και οι πυρκαγιές.

**Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>):** Αν και όχι άμεσα τοξικό αποτελεί ένα απόβλητο εκτεταμένης κλίμακας, με έμμεσες επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Τα αποτελέσματα της εκπομπής CO<sub>2</sub> είναι μακροπρόθεσμα. Εκτιμάται μία ετήσια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα της τάξης των 10<sup>13</sup> τόνων/έτος από διεργασίες βιολογικής αποσύνθεσης, που έχουν ως αρχή την παραγωγή μεθανίου, ενώ στην ποσότητα αυτή συνεισφέρουν και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες με ένα ετήσιο ποσό της τάξης των 10<sup>10</sup> τόνων.

**Υδρογονάνθρακες (HCs ή HxCx):** περιλαμβάνουν όλες τις ενώσεις που αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα, εκτός από τα οξείδια του άνθρακα, τα καρβίδια και τα ανθρακικά άλατα. Δεδομένου ότι το μεθάνιο ουσιαστικά δεν συμμετέχει σε φωτοχημικές αντιδράσεις, έχει καθιερωθεί ένας διαχωρισμός των υδρογονανθράκων της ατμόσφαιρας σε δύο κατηγορίες :

- Το μεθάνιο και
- Όλους τους υπόλοιπους υδρογονάνθρακες (VOCs: Volatile Organic Compounds/ πτητικές οργανικές ενώσεις).

Ως **VOC** χαρακτηρίζεται κάθε πτητική οργανική ένωση η οποία όταν εισέλθει στην ατμόσφαιρα μπορεί να παραμείνει σε αυτήν τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για να πάρει μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις.

Οι **πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)** είναι συνηθισμένα προϊόντα πυρόλυσης οργανικής ύλης και έτσι συναντώνται ευρύτερα στο ανθρώπινο περιβάλλον. Προέρχονται κυρίως από τις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, την καταλυτική διάσπαση του πετρελαίου, από ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς που λειτουργούν με καύση μαζούτ, την παραγωγή κτλ.

**Οξείδια του Αζώτου (NOx):** η μεγάλη μάζα των οξειδίων του αζώτου (NOx) προέρχονται από καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες, αν και υπάρχουν και φυσικές πηγές (μικροβιακοί οργανισμοί) που παράγουν οξείδια και άλλες ενώσεις του αζώτου. Η παραγωγή του NO κατά τις καύσεις ευνοείται από την αύξηση της θερμοκρασίας, για αυτό και η σπουδαιότερη πηγή του είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων οι οποίες εργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Εκτός από τις ενώσεις NOx άλλοι ατμοσφαιρικοί ρύποι με βάση το άζωτο είναι το υποοξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και η αμμωνία (NH<sub>3</sub>).

**Φωτοχημικά Οξειδωτικά :** προκύπτουν από μία σειρά πολύπλοκων ατμοσφαιρικών αντιδράσεων που συμβαίνουν, όταν ενεργές οργανικές ουσίες και οξείδια του αζώτου (NOx) συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα και εκτίθενται στο ηλιακό φως. Από αυτές τις αντιδράσεις σχηματίζονται διάφορες δευτερογενείς ουσίες, ανάμεσα στις οποίες συγκαταλέγονται, οξείδια, όζον και νιτρικά υπεροξυακετύλια (PAN).

**Ενώσεις θείου (S):** Η πλέον καταστροφική ομάδα ατμοσφαιρικών ρύπων σχετίζεται με το άτομο του θείου. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα οξείδια του θείου, το H<sub>2</sub>S και έναν αριθμό άλλων ενώσεων οι οποίες είναι κατά κανόνα δύσσομες. Το διοξείδιο του θείου

(SO<sub>2</sub>) είναι η πλέον συνηθισμένη πρωτογενής εκπομπή από αυτή την ομάδα ρύπων. Οι μεταλλουργικές βιομηχανίες παράγουν SO<sub>2</sub> κατά την φρύξη των ορυκτών που είναι συνήθως σουφλίδια των μετάλλων. Στην ατμόσφαιρα το SO<sub>2</sub> αντιδρά για να σχηματιστεί SO<sub>3</sub> το οποίο εμφανίζει έντονη δραστικότητα με τους υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη (αεροζόλ) θειικού οξέος, με τοξικές ιδιότητες που εξαρτώνται άμεσα από το μέγεθος των σωματιδίων αυτής της ομίχλης.

**Σωματιδιακοί ρύποι - Αιωρούμενα σωματίδια PM:** Ως αιωρούμενα σωματίδια ή Particulate Matters (PM) χαρακτηρίζονται τα στερεά ή υγρά σωματίδια (σταγονίδια) που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μεγεθών, με αεροδυναμική διάμετρο από 1 nm έως 100 μm. Είναι συνδυασμοί πολλών μορίων, μερικές φορές παρόμοιων, άλλες φορές διαφορετικών μεταξύ τους. Περιλαμβάνουν ιόντα, συμπλέγματα μορίων, κρυστάλλους πάγου, σκόνη, σωματίδια καπνού, σταγόνες βροχής, γύρη κτλ.

Είναι υλικά σε στερεή ή υγρή φάση που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ικανά σε υψηλά επίπεδα να μεταβάλουν το μπλε χρώμα του ουρανού, λόγω σκέδασης, σε λευκό ή γκριζό. Αυτά που προέρχονται από ερήμους (Σαχάρα, Σαχελιανή ζώνη) είναι καφέ κόκκινης απόχρωσης.

**Άλλοι Ρυπογόνοι Παράγοντες** εκλύονται στην ατμόσφαιρα από ανθρώπινες δραστηριότητες και τη ρυπαίνουν. Ο βαθμός ρύπανσης από αυτούς μπορεί να είναι επικίνδυνος όταν οι συγκεντρώσεις ξεπεράσουν κάποια όρια. Όλα γενικώς τα στοιχεία (μέταλλα ή αμέταλλα) παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία όταν ξεπεράσουν τα όρια που ανέχεται ένας οργανισμός. Τα τοξικά μέταλλα αναφέρονται ως «βαριά μέταλλα», χωρίς ουσιαστική έννοια του όρου αλλά κυρίως επειδή τα πρώτα μέταλλα που θεωρήθηκαν τοξικά ήταν ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και άλλα, που ήταν πράγματι βαριά. Τα μέταλλα επιδρούν κυρίως μέσω του αναπνευστικού συστήματος.



**Διάγραμμα 1.2.4:** Κατανομή αέριων ρύπων που εκπέμπονται από ανθρωπογενείς πηγές στην ατμόσφαιρα (Μελάς κ.ά., 2000).

Για να μετρήσουμε την ηλικία των ρύπων, χρησιμοποιούμε το χρόνο ημιζωής τους (half-time), δηλαδή το χρόνο που απαιτείται προκειμένου το μισό της ποσότητας ενός ρύπου να εξαφανιστεί. Ευτυχώς, αρκετοί ρύποι έχουν πολύ μικρό χρόνο ημιζωής (ημέρες αντί δεκαετίες) και έτσι αποσοβείται η συσσώρευση τους στον αέρα. Ορισμένα αέρια τείνουν να συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα, πράγμα που σημαίνει ότι αυξάνεται η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα από χρόνο σε χρόνο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), όπως και άλλων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής πχ. του υποξειδίου του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ), του μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ), των χλωροφθορανθράκων (CFCs), καθώς και άλλων αλογόνων υδρογονανθράκων. Πιο συγκεκριμένα, οι χλωροφθοράνθρακες είναι πολύ σταθερές χημικά ενώσεις, με τάση συσσώρευσης στην τροπόσφαιρα και με χρόνο ημιζωής μεταξύ 10 και 150 έτη.



| Ρύπος            | Χρόνος Παραμονής |
|------------------|------------------|
| O <sub>3</sub>   | 0.4-90 ημέρες    |
| NO               | 4-5 ημέρες       |
| NO <sub>2</sub>  | 2-8 ημέρες       |
| NO <sub>3</sub>  | 4-20 ημέρες      |
| NH <sub>4</sub>  | 7-19 ημέρες      |
| H <sub>2</sub> S | 0.08-2 ημέρες    |
| SO <sub>2</sub>  | 0.01-7 ημέρες    |
| SO <sub>4</sub>  | 3-51 ημέρες      |
| Hg               | 11-2080 ημέρες   |
| CO               | 0.9-2.7 ημέρες   |
| CH <sub>4</sub>  | 1.5-2 ημέρες     |
| Freon            | 16 έτη           |
| CO <sub>2</sub>  | 2-10 έτη         |

**Πίνακας 1.2:** Χρόνοι παραμονής χαρακτηριστικών ατμοσφαιρικών συστατικών (Πηγή: [www.lap.physics.auth.gr](http://www.lap.physics.auth.gr))

## 1.2.5 Επιπτώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στον άνθρωπο μπορεί να προκαλέσει από έναν απλό ερεθισμό στα μάτια έως σοβαρές αναπνευστικές, δερματικές και άλλες παθήσεις. Πιο συγκεκριμένα, τα κυριότερα όργανα που επηρεάζονται από τους ρύπους αυτούς είναι οι πνεύμονες και ειδικότερα το αναπνευστικό σύστημα, καθώς και τα μάτια. Μάλιστα, αρκετά αυξημένα είναι τα επίπεδα καρκίνου που σχετίζονται άμεσα με τη ρύπανση, ενώ δεν εκλείπουν και οι περιπτώσεις δηλητηρίασης, ακόμα και θανάτου. Η αναπνοή αποτελεί τον πρώτο και βασικό τρόπο έκθεσης του ανθρώπου σ' αυτή, μέσα από τα 20 m<sup>3</sup> περίπου αέρα που εισπνέει καθημερινά.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει παρομοίως και τις υλικές κατασκευές, ακόμα και τις μεταλλικές κατασκευές και τα υλικά οικοδομών στα οποία επιδρά διαβρωτικά. Η ένταση της επίδρασής της εξαρτάται από το είδος των ρύπων, τις συγκεντρώσεις τους, και το χρόνο ζωής τους, αλλά και από το χρόνο έκθεσης των οργανισμών σε αυτούς.

Οι επιδράσεις που ασκούν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στη χλωρίδα είναι επίσης ιδιαίτερα σοβαρές, μιας και παρατηρούνται σημαντικές γεωγραφικές απώλειες, λόγω της μετατόπισης των εύκρατων ζωνών, της παρατεταμένης ξηρασίας, των τυφώνων και των καταστροφικών βροχοπτώσεων. Παράλληλα, ορισμένα στοιχεία όπως το SO<sub>2</sub> προσβάλλουν τα δέντρα και τα φυτά, καταστρέφοντας τη βλάστηση και νεκρώνοντας το φύλλωμα και τους ιστούς τους.

Τα φυτά μπορεί να εμφανίσουν κηλίδες στα φύλλα ή ακόμα και να περιοριστεί η καρποφορία τους.

Επίσης, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι προκαλούν πληθώρα μετεωρολογικών φαινομένων, όπως η αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών, η σημαντική αύξηση ραγδαίων καταστροφικών βροχοπτώσεων, η λειψυδρία, η υπερβολική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με σωματιδιακή ύλη, οι πυκνές ομίχλες και οι βίαιες καταιγίδες. Ακόμη, η επαύξηση της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας σε αστικές περιοχές, το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε πλανητικό επίπεδο, αλλά και προβλήματα αστικής.

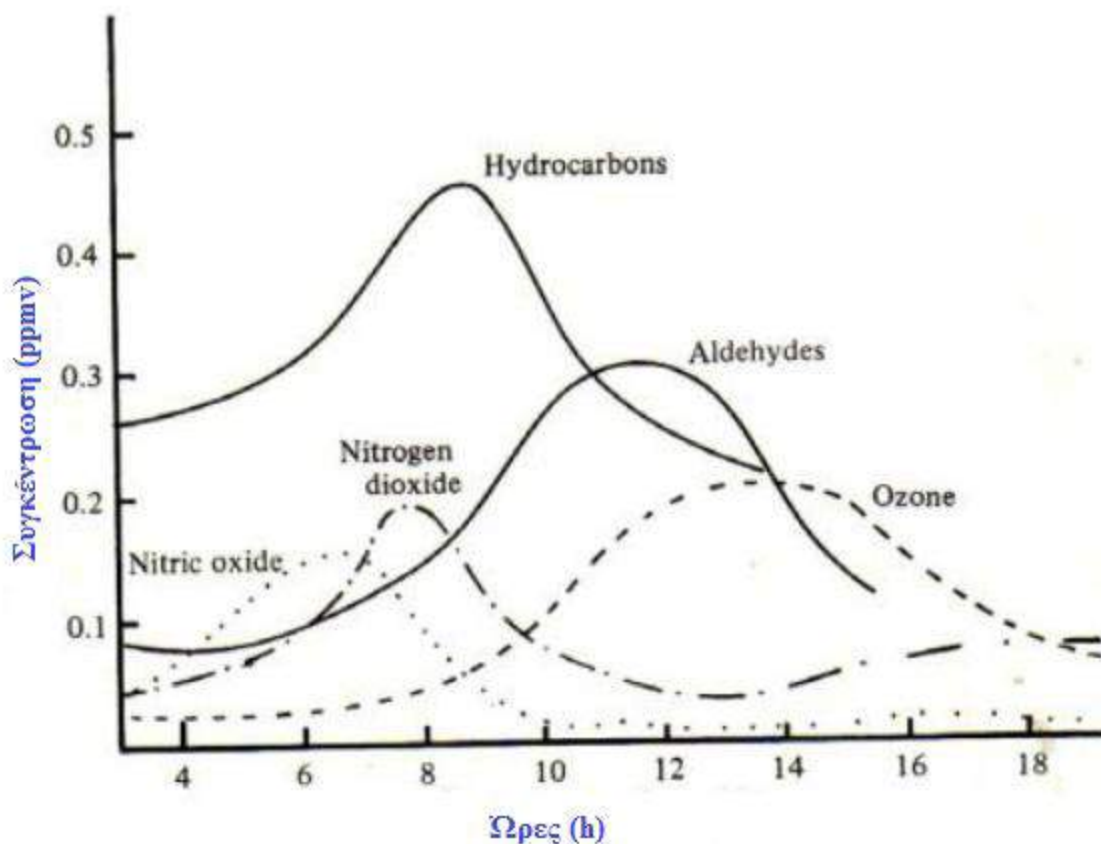
Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα τελευταία χρόνια έγιναν ακόμα πιο εμφανείς στο κλίμα της κάθε περιοχής, αλλά και σε μια ευρύτερη κλίμακα. Στις αστικές περιοχές αυξήθηκε η συχνότητα εμφάνισης της αιθαλομίχλης, της νέφωσης και της βροχόπτωσης, ενώ παρατηρήθηκε μείωση της ορατότητας. Το θερμικό ισοζύγιο της γης με την ατμόσφαιρα άρχισε να διαταράσσεται σε παγκόσμιο πλέον επίπεδο με την αυξανόμενη εκπομπή αέριων ρύπων. Οι μηχανισμοί βέβαια της αλληλεπίδρασης ρύπανσης και κλίματος χαρακτηρίζονται από μεγάλη πολυπλοκότητα.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως προνόμιο της σύγχρονης εποχής. Το 1824, ο Γάλλος μαθηματικός, φυσικός και αστρολόγος Ζόζεφ Φουριέ ανακάλυψε το **φαινόμενο του θερμοκηπίου**, ενώ το 1896 ο Σβάντε Αρρένιους το διερεύνησε αναλυτικότερα. Πρόκειται για ένα φυσικό φαινόμενο που ενισχύεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η καύση των ορυκτών καυσίμων ενισχύει τα ποσοστά των συγκεντρώσεων των θερμοκηπιακών αερίων, όπως του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), ενώ και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλούν την έκλυση άλλων ενώσεων, όπως των χλωροφθορανθράκων (CFCS) και δημιουργούν ένα αέριο θόλο που δρα ως θερμοκήπιο. Η ηλιακή ακτινοβολία το διαπερνά, απορροφάται, διαχέεται και επανεκπέμπεται από τη Γη χωρίς να γυρίσει πίσω στο διάστημα, αλλά παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα και μετατρέπεται σε θερμότητα. Αποτέλεσμα του μηχανισμού αυτού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με ό,τι αυτό συνεπάγεται.<sup>[4]</sup>

Η **τρύπα του όζοντος** από την άλλη, η περιοχή δηλαδή της στρατόσφαιρας που η περιεκτικότητα του όζοντος είναι μικρότερη από την συνηθισμένη επιτρέπει τις ανεπιθύμητες και βλαβερές υπεριώδεις ακτινοβολίες να φτάσουν στην επιφάνεια της γης με καταστροφικές συνέπειες σε ανθρώπους, φυτά και ζώα. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που ευθύνονται σε ένα μεγάλο ποσοστό είναι τα μέσα μεταφοράς με τα εκπεμπόμενα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), τα προωθητικά αέρια σε σπρέι για τα ψυγεία και τα κλιματιστικά με τους χλωροφθοράνθρακες (CFCS). Πρόκειται για ενώσεις πολύ σταθερές και δραστικές στην πορεία ως την Οζονόσφαιρα, καταστρέφουν το όζον χωρίς οι ίδιες να καταστραφούν (Clapp & Jenkin, 2001).

Στην δεκαετία του '60 στο Λος Άντζελες οι επιστήμονες εξήγησαν την **φωτοχημική καπνομίχλη ή φωτοχημικό νέφος**. Διαπίστωσαν ότι οι πτητικοί υδρογονάνθρακες και τα οξειδία του αζώτου της βιομηχανίας και των οχημάτων αντιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία και σχηματίζουν αυτή την ιδιαίτερη ομίχλη. Η ποσότητα του παραγόμενου όζοντος αυξάνεται κατά την διάρκεια της ημέρας με την αύξηση της θερμοκρασίας, εξαιτίας των χημικών αντιδράσεων που επιτυγχάνονται με την παρουσία της ηλιακής ενέργειας. Σχηματίζονται βέβαια από το όζον και άλλες δευτερογενείς ενώσεις, όπως το διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), το νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ), το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (PAN) που αποτελούν τους φωτοχημικούς ρύπους. Το φωτοχημικό νέφος και το τροποσφαιρικό όζον είναι φαινόμενα κυρίως των θερινών μηνών που η θερμοκρασία είναι υψηλή.

Στο διάγραμμα 1.2.5.1 φαίνεται η κλασική ημερήσια πορεία των συγκεντρώσεων των επιμέρους ρύπων του φωτοχημικού νέφους.

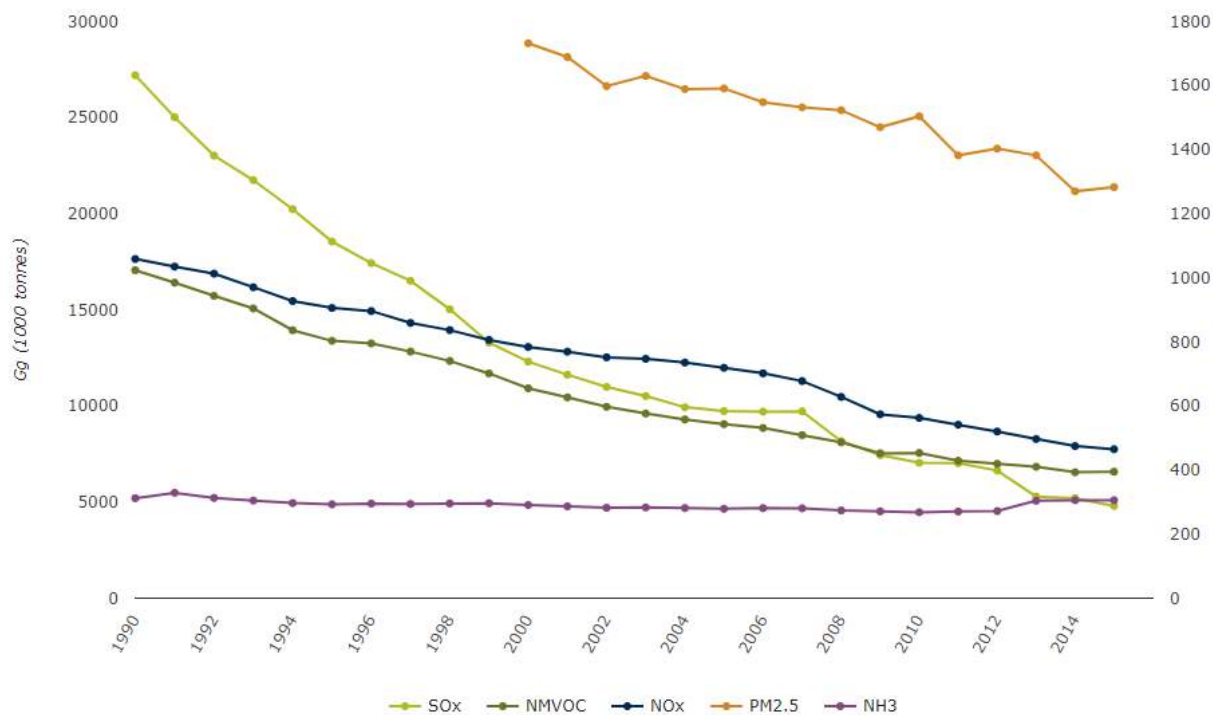


**Διάγραμμα 1.2.5.1:** Ημερήσια πορεία των συγκεντρώσεων του φωτοχημικού νέφους (Πηγή: Ζάνης, 2008)

Στο φαινόμενο της **όξινης βροχής**, ενώσεις κυρίως θειικού και νιτρικού οξέος μεταφέρονται με την βροχή, το χιόνι και την ομίχλη στο έδαφος σε υγρή μορφή. Διανύουν μεγάλες αποστάσεις με την βοήθεια των ανέμων και εμφανίζουν το φαινόμενο χιλιάδες μέτρα μακριά από την εστία παραγωγής τους. Η οξύτητα που εμφανίζεται είναι αποτέλεσμα του διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) που παράγονται από την καύση ορυκτών καυσίμων, την βιομηχανία και τις μεταφορές. Παρουσιάζουν καταστροφικές συνέπειες στην χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής, αλλά και στα κτίρια και τα μνημεία.

Το πρόβλημα λοιπόν της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πολύπλευρο και η διαχείριση και η αντιμετώπισή του απαιτεί υψηλό κόστος (Holder, 2015, Kumar et al., 2015). Τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες στον προσδιορισμό του προβλήματος και των συνεπειών του. Εμφανίζεται η ανάπτυξη νέων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών, αλλά και η θέσπιση πιο αυστηρών ορίων/νόμων στις εκπομπές των πηγών του.

Στο διάγραμμα 1.2.5.2 φαίνονται οι σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, αλλά και η σταδιακή μείωση με το πέρασμα των χρόνων. Ο δεξιός άξονας  $y$  εκφράζει τις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων (PM).



**Διάγραμμα 1.2.5.2:** Εκπομπές των κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων: οξείδια του θείου (SOx), οξείδια του αζώτου (NOx), αμμωνία (NH3), πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός του μεθανίου (NMVOCs) και πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια (PM2,5) κατά το διάστημα 1990 έως 2015 (2000 έως 2015 για τα ΑΣ). Οι εκπομπές PM2.5 εμφανίζονται στον δευτερεύοντα άξονα  $y$  (Πηγή: ΕΕΑ, 2017α)

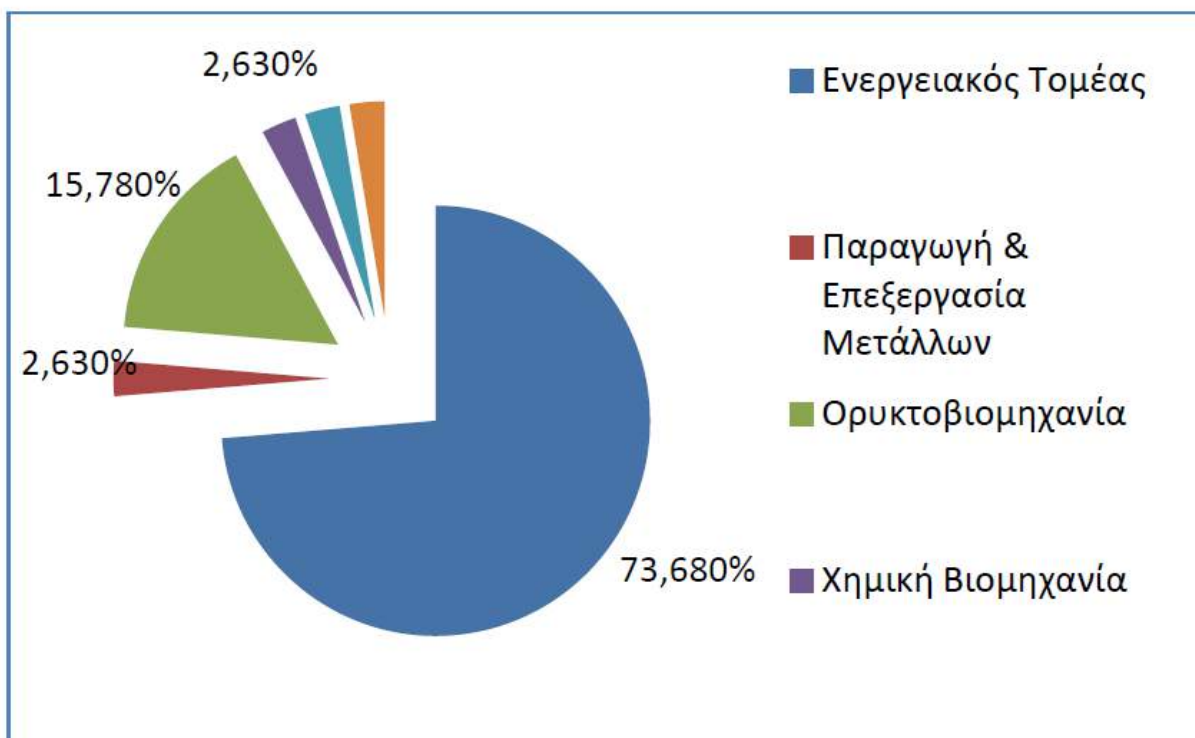
## 1.2.6 Η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι μεταφορές στην Ελλάδα

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα έκανε έντονη την παρουσία της με την μη-προγραμματισμένη και ανεξέλεγκτη μετακίνηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα. Η ανάπτυξη της βιομηχανίας εντός οικιστικών ζωνών, αλλά και η άναρχη δόμηση οδήγησε στην έξαρση του φαινομένου. Η οικονομική άνεση που επήλθε αύξησε την κατανάλωση ενέργειας.

Στην Ελλάδα η ενέργεια αυτή, προέρχεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η αύξηση της χρήσης των επιβατικών οχημάτων, η θέρμανση των κατοίκων, αλλά και η ανάπτυξη των βιομηχανιών και βιοτεχνιών συνέβαλε στην χρήση υγρών καυσίμων.

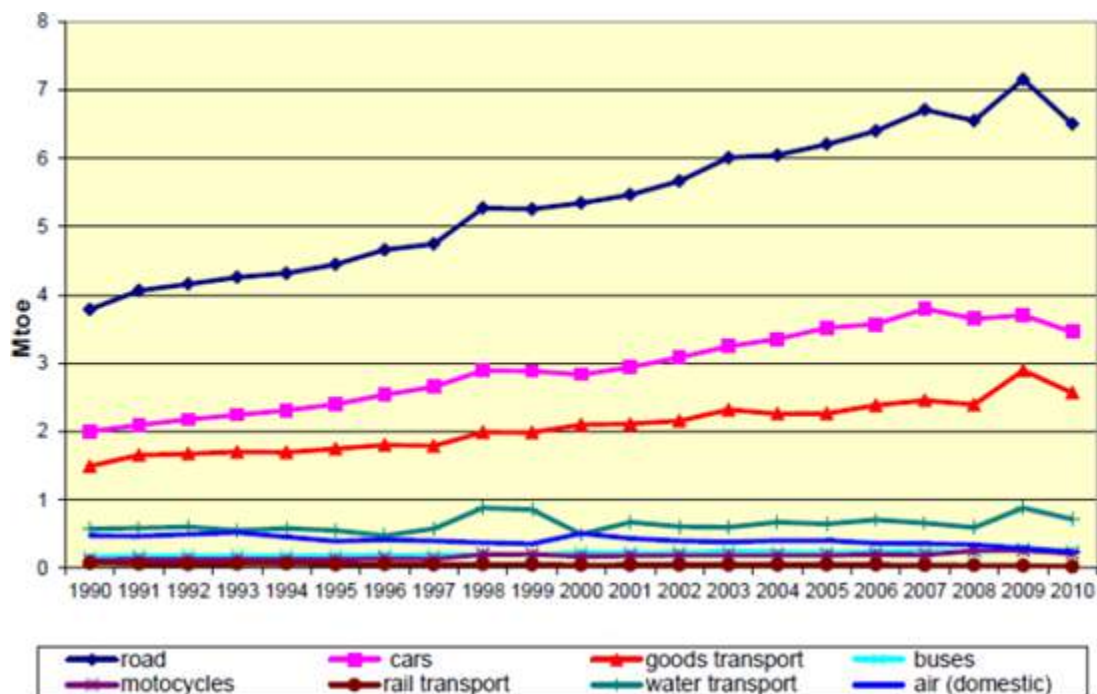
Στην Ελλάδα οι τομείς που συμβάλλουν στην εκπομπή αέριων ρύπων είναι κυρίως ο ενεργειακός τομέας, με τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και τα διυλιστήρια πετρελαίου και αερίου, η ορυκτοβιομηχανία με την παραγωγή κλίνκερ, τσιμέντου και ασβέστη, η παραγωγή και η επεξεργασία μετάλλων, καθώς και η παραγωγή χάλυβα και χυτοσίδηρου. Η επεξεργασία χαρτιού και χαρτονιού, η χημική βιομηχανία με την παραγωγή νιτρικών, φωσφορικών και καλιούχων λιπασμάτων και τέλος η διαχείριση των αποβλήτων και η διάθεσή τους στους χώρους υγειονομικής ταφής (με εξαίρεση αυτών που έκλεισαν πριν τις 16/7/2001) παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην έκλυση αερίων ρύπων.

Στο διάγραμμα 1.2.6.1 φαίνονται τα ποσοστά της κάθε βιομηχανικής δραστηριότητας για το έτος 2015 στην Ελλάδα με βάση τα δεδομένα της e-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register).



**Διάγραμμα 1.2.6.1 :** Ποσοστά βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην Ελλάδα για το 2015 (Πηγή: e-PRTR, 2015)

Σημαντική πηγή ρύπων για την Ελλάδα αποτελεί και ο τομέας των μεταφορών. Με βάση το διάγραμμα 1.2.6.2 την περίοδο 1990-2007 στην Ελλάδα εμφανίζεται αύξηση των αέριων εκπομπών από τα οχήματα σε ποσοστό 36%, ενώ το διάστημα 2007 -2010 παρουσιάζεται μια μείωση της τάξης του 7% που οφείλεται στην εφαρμογή των μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας και την χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς.



**Διάγραμμα 1.2.6.2:** Κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο οχήματος στην Ελλάδα (Πηγή: Ajanovic & Haas, 2012)

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στην Ελλάδα έγινε το 1998 και εφαρμόστηκε η χρήση του στα δημόσια λεωφορεία. Βελτίωση όμως κατά 28.9% της ενεργειακής απόδοσης του τομέα των μεταφορών καταγράφηκε το 2010. Ως αιτία μπορεί να χαρακτηριστεί το νομοθετικό πλαίσιο που θεσπίστηκε για την αντικατάσταση των οχημάτων παλιάς τεχνολογίας, μειώνοντας τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Οι φοροαπαλλαγές και η χρήση χωρίς περιορισμό των ηλεκτρικών, υβριδικών και εναλλακτικών οχημάτων στο κέντρο της Αθήνας εφαρμόστηκε από το 1999. Τέλος η βελτίωση της διαχείρισης των δρομολογίων στα αεροπλάνα και στους σιδηροδρόμους συνέβαλλε στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας περίπου κατά 60% και 67% αντίστοιχα (ΑΕΑ, 2014, Χρέμου, 2013).



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Σχετική Νομοθεσία Εκπεμπόμενων Ρύπων - Προδιαγραφές EURO

## 2.1 Γενικά Στοιχεία

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, έτσι ώστε να αποκλείονται δυσμενείς επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο, στα φυτά και στο υλικό περιβάλλον, έχουν θεσμοθετηθεί από διάφορες χώρες ή οργανισμούς πρότυπα ποιότητας αέρα. Τα πρότυπα αυτά είναι νομικά θεσμοθετημένες ή προτεινόμενες τιμές συγκεντρώσεων ρύπων για καθορισμένες χρονικές περιόδους.

Τα πρότυπα ποιότητας του αέρα εκφράζονται ως οριακές τιμές ή κατευθυντήριες τιμές. Οι πρώτες είναι ανώτερες (οριακές) επιτρεπτές συγκεντρώσεις ρύπων για καθορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. ένα έτος, μία ημέρα, μία ώρα κ.α.). Ο στόχος των ορίων είναι κυρίως, η προστασία της υγείας του ανθρώπου αλλά και του περιβάλλοντος. Οι κατευθυντήριες τιμές εκφράζουν την επιθυμητή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα όπως αυτή καθορίζεται από συγκεκριμένους στόχους. Οι κατευθυντήριες τιμές ισχύουν για καθορισμένες χρονικές περιόδους, όπως και οι οριακές προορίζονται να χρησιμεύσουν για τη μακροπρόθεσμη πρόληψη σε θέματα υγείας και προστασίας περιβάλλοντος, και ως σημεία αναφοράς για τη θέσπιση ειδικών καθεστώτων σε διάφορες περιοχές (π.χ. ζώνες προστασίας, αρχαιολογικούς χώρους κ.α.).<sup>[4]</sup>

Η διαδικασία θεσμοθέτησης των προτύπων ποιότητας του αέρα είναι πολύπλοκη και διαφέρει από χώρα σε χώρα. Βασικό άξονα της διαδικασίας αυτής αποτελούν τα κριτήρια ποιότητας του αέρα. Αυτά είναι τιμές συγκεντρώσεων ρύπων και χρόνοι έκθεσης σ' αυτούς που συνδέονται με ειδικές επιδράσεις στον άνθρωπο, στα ζώα, στα φυτά και γενικά στο περιβάλλον.

Παράλληλα, καθορίζονται οι στόχοι για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Ο ιδανικός στόχος για τις κατοικημένες περιοχές είναι φυσικά, ίδια ποιότητα αέρα με τις μη ρυπασμένες περιοχές.

Με βάση τα κριτήρια ποιότητας του αέρα διαμορφώνονται τα πρότυπα ποιότητας του αέρα. Στην τελική διαμόρφωση των προτύπων υπεισέρχονται και άλλες παράμετροι, όπως η ατμοσφαιρική διασπορά κάθε τύπου, οι ατμοσφαιρικές χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα και κυρίως οι οικονομικές, τεχνικές και πολιτικές παράμετροι.

Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει σε ένα πλήθος ορίων διαφορετικών από χώρα σε χώρα. Στην Ελλάδα ισχύουν τα όρια που έχουν θεσπιστεί ή προταθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τα κράτη μέλη με βάση αποτελέσματα σχετικών μελετών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας ή άλλων αναγνωρισμένων ερευνητικών κέντρων.

Η Ευρώπη ακολουθεί με την ίδρυση πολλών υπηρεσιών, την θέσπιση ευρωπαϊκών προδιαγραφών, αλλά και τον έλεγχο στις εκπομπές των αέριων ρύπων στα οχήματα της Ε.Ε. Ως αποτέλεσμα αυτών είναι η σημαντική μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα μέσα μεταφοράς και η αντικατάσταση της παλιάς τεχνολογίας με νέα.

## 2.2 Νομοθεσία Περιορισμού Εκπεμπόμενων Ρύπων

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθορίζονται τα αποδεκτά όρια εκπομπών ρύπων από τα καυσαέρια των οχημάτων, γνωστά και ως Euro (1,2,3...6) και από μια σειρά οδηγιών εισάγονται σταδιακά όλο και αυστηρότερα πρότυπα. Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην συνέχεια μέσα από τους διάφορους οργανισμούς που διαθέτουν αποφασίζουν την καλύτερη εφαρμογή των οδηγιών στην χώρα τους.

Στην εφημερίδα της ΕΟΚ, το 1970, δημοσιεύεται η πρώτη οδηγία (70/220/ΕΟΚ) που υποδεικνύει την ανάγκη λήψης μέτρων για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις εκπομπές των οχημάτων από τα κράτη μέλη της. Η οδηγία αυτή μέσα από μια σειρά άλλων οδηγιών τροποποιήθηκε και προσαρμόστηκε (ΑΕΑ, 2011), με σκοπό την σταδιακή μείωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την συμμόρφωση των αυτοκινητοβιομηχανιών. Τελικά στις 20/6/2007 η οδηγία 70/220/ΕΟΚ αντικαταστάθηκε από τον κανονισμό 715/2007 που σχετίζεται με τις εκπομπές από ελαφρά επιβατικά και εμπορικά οχήματα (Euro 5 & Euro 6) και την πρόσβαση σε πληροφορίες συντήρησης και επισκευής οχημάτων.

Η εναλλαγή των οδηγιών που θεσπίστηκαν με σκοπό την μείωση των αέριων ρύπων από τα οχήματα (Εφημερίδα Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2006) φαίνεται παρακάτω:<sup>[2]</sup>

- Οδηγία 74/290/ΕΟΚ του Συμβουλίου (28.5.1974), αποσκοπεί στην πρώτη μείωση των οριακών τιμών του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) από τις εκπομπές των οχημάτων
- Οδηγία 77/102/ΕΟΚ της Επιτροπής (30.11.1976), εισάγει οριακές και επιτρεπόμενες τιμές στις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NOX)
- Οδηγία 78/665/ΕΟΚ της Επιτροπής (14.7.1978), ορίζει νέα μείωση στις οριακές τιμές, για τα οξείδια του αζώτου (NOX) ,το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τους άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC)
- Οδηγία 83/351/ΕΟΚ του Συμβουλίου (6.6.1983), θέτει νέα μείωση στις οριακές τιμές των τριών παραπάνω ρύπων
- Οδηγία 88/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου (3.12.1987), θεσμοθετεί επιπλέον μείωση των προηγούμενων δύο οδηγιών

- Οδηγία 88/436/ΕΟΚ του Συμβουλίου (16.6.1988), καθορίζει για πρώτη φορά οριακές τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων από τους πετρελαιοκινητήρες
- Οδηγία 89/458/ΕΟΚ του Συμβουλίου (18.7.1989), θεσπίζει πιο αυστηρά πρότυπα για τις εκπομπές των ρύπων σε κινητήρες οχημάτων κάτω από 1400cm<sup>3</sup>
- Οδηγία 91/441/ΕΟΚ του Συμβουλίου (26.6.1991), θέτει νέα όρια στις εκπομπές των εξατμίσεων των οχημάτων (αναγκαστική τοποθέτηση καταλυτικών μετατροπέων) , καθώς και αυστηρότερα πρότυπα στους κινητήρες πετρελαίου για τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπουν
- Οδηγία 93/59/ΕΟΚ του Συμβουλίου (28.6.1993), αποτελεί τροποποίηση της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 94/12/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (23.3.1994), τροποποίηση της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 96/44/ΕΚ της Επιτροπής (1.7.1996), αποτελεί προσαρμογή της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 96/69/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (8.10.1996), τροποποίηση της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 98/69/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (13.10.1998), τροποποίηση της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 98/77/ΕΚ της Επιτροπής (2.10.1998), προσαρμογή της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 1999/102/ΕΚ της Επιτροπής (15.12.1999), αποτελεί προσαρμογή της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 2001/1/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (7.12.2001), τροποποίηση της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 2002/80/ΕΚ της Επιτροπής (3.10.2002), προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου

- Οδηγία 2003/76/EK της Επιτροπής (11.8.2003) , τροποποίηση της οδηγίας 70/220 / ΕΟΚ του Συμβουλίου
- Οδηγία 2006/26/EK της Επιτροπής (17.2.2006), αποτελεί προσαρμογή ορισμένων οδηγιών στον τομέα της ελεύθερης κυκλοφορίας των εμπορευμάτων, εξαιτίας της προσχώρησης της Βουλγαρίας και της Ρουμανίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στην ελληνική νομοθεσία η προσέγγιση των αποφάσεων των Ευρωπαϊκών κρατών που αφορούσαν τα μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχονται από τους κινητήρες των οχημάτων έγινε μέσα από μια σειρά από Υπουργικές Αποφάσεις.

Η πρώτη από αυτές ήταν η Υπουργική Απόφαση 1265/84 (679/B/20.94) που αποτελούσε συμμόρφωση προς την οδηγία 70/220/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, η οποία τροποποιήθηκε από τις οδηγίες 74/290/ΕΟΚ, 77/102/ΕΟΚ, 78/655/ΕΟΚ και 83/351/ΕΟΚ. Καταργήθηκε βέβαια από την Υπουργική Απόφαση 81400/860/91(575/B/25.7.91) που αναφερόταν στα μέτρα για τον περιορισμό των αέριων ρύπων που εκπέμπουν οι βενζινοκινητήρες οχημάτων σε συμμόρφωση προς τις οδηγίες 88/76/ΕΟΚ, 88/436/ΕΟΚ, 89/458/ΕΟΚ, 89/401/ΕΟΚ και η οποία τροποποιήθηκε από μια σειρά αποφάσεων (ΑΕΑ, 2011):

- Υπουργική Απόφαση 74379/3650/04, (1694/B/16.11.04), η οποία αποτελεί συμμόρφωση στις διατάξεις της οδηγίας 2003/76/EK που θεσπίστηκε από την επιτροπή του Συμβουλίου (1./8.2003) και ισχύει ως σήμερα.
- Υπουργική Απόφαση 30408/1491/03 (1054/B/ 29.7.03), που αποτελεί συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2002/80/EK για την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο της οδηγίας 70/220/ΕΟΚ και ισχύει σήμερα.
- Υπουργική Απόφαση 8407/395/02 (1368/B/24.10.02), που ζητά συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2001/100/EK του Κοινοβουλίου της Ευρώπης και του Συμβουλίου (7.12.2001). Την Υ.Α. 10689/523/02, (408/B/4.4.02) προς συμμόρφωση στις διατάξεις της οδηγίας 2001/1/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου στις 22.1.2001.
- Την Υπουργική Απόφαση 4179/346/00, (182/B/17.2.00) που επίσης αποτελεί συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 98/69/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου αλλά και του Συμβουλίου (13.10.1998), για την τροποποίηση της οδηγίας 70/220/ΕΟΚ και αφορά τα μέτρα που πρέπει να παρθούν για την

αντιμετώπιση της αέριας ρύπανσης από τις εκπομπές των οχημάτων με κινητήρα.

Ενδεικτικά τα όρια των βασικών ρύπων των οχημάτων και οι διακυμάνσεις τους με βάση τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

| Ρύπος                                     | Οριακή Τιμή   | Έτος Ισχύος | Ενδεικτική Οριακή Τιμή για Προετοιμασία |                        |                        |                       |
|---|---|-------------|---|------------------------|------------------------|-----------------------|
|   |   |             | 2002                                    | 2003                   | 2004                   | 2005                  |
| Μονοξειδίο του άνθρακα (CO)               | 10 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή)                                   | 1/1/2005    | 16 μg/m <sup>3</sup>                    | 14 μg/m <sup>3</sup>   | 12 μg/m <sup>3</sup>   | 10 μg/m <sup>3</sup>  |
| Βενζόλιο (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) | 5 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέση ετήσια τιμή)   | 1/1/2011    | 10 μg/m <sup>3</sup>                    | 10 μg/m <sup>3</sup>   | 10 μg/m <sup>3</sup>   | 10 μg/m <sup>3</sup>  |
| Διοξειδίο του θείου (SO <sub>2</sub> )    | 350 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέση ωριαία τιμή, με όχι υπέρβαση της πάνω από 24 φορές/έτος)   | 1/1/2005    | 440 μg/m <sup>3</sup>                   | 410 μg/m <sup>3</sup>  | 380 μg/m <sup>3</sup>  | 350 μg/m <sup>3</sup> |
|   | 125 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέση ημερήσια τιμή, με όχι υπέρβαση της πάνω από 3 φορές /έτος) | 1/1/2005    | 125 μg/m <sup>3</sup>                   | 125 μg/m <sup>3</sup>  | 125 μg/m <sup>3</sup>  | 125 μg/m <sup>3</sup> |
| Διοξειδίο του αζώτου (NO <sub>2</sub> )   | 200 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέση ωριαία τιμή, με όχι υπέρβαση της από 18 φορές/ έτος)       | 1/1/2011    | 280 μg/m <sup>3</sup>                   | 270 μg/m <sup>3</sup>  | 260 μg/m <sup>3</sup>  | 250 μg/m <sup>3</sup> |
| Αιωρούμενα σωματίδια                      | 50 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέση ημερήσια τιμή, με όχι υπέρβαση της 35 φορές/ έτος)          | 1/1/2005    | 65 μg/m <sup>3</sup>                    | 60 μg/m <sup>3</sup>   | 55 μg/m <sup>3</sup>   | 50 μg/m <sup>3</sup>  |
|   | 40 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέση ετήσια τιμή)  | 1/1/2005    | 44,8 μg/m <sup>3</sup>                  | 43,2 μg/m <sup>3</sup> | 41,6 μg/m <sup>3</sup> | 40 μg/m <sup>3</sup>  |
| Μόλυβδος (Pb)                             | 0,5 μg/m <sup>3</sup><br>(Μέση ετήσια τιμή)   | 1/1/2005    | 0,8 μg/m <sup>3</sup>                   | 0,7 μg/m <sup>3</sup>  | 0,6 μg/m <sup>3</sup>  | 0,5 μg/m <sup>3</sup> |

**Πίνακας 2.1:** Ρύποι, όρια και έτος εφαρμογής, με βάση τις οδηγίες της Ε.Ε. (Πηγή: Γαζής & Παύλου, 2012)

## 2.3 Προδιαγραφές εκπομπών ρύπων (Euro)

Στην προσπάθεια ταξινόμησης των οχημάτων, ώστε να εφαρμοστούν ανάλογοι κανονισμοί και κατά συνέπεια οι προδιαγραφές των αέριων εκπομπών τους, πραγματοποιήθηκε με βάση την οδηγία 2001/116/EK η παρακάτω κατηγοριοποίηση των οχημάτων (Πίνακας 2.2) λαμβάνοντας υπόψη το σκοπό της χρήσης, το βάρος, αλλά και τον αριθμό των θέσεων που διαθέτουν. Αποτελεί τροποποίηση της οδηγίας<sup>[2]</sup> 70/156/ΕΟΚ.

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ   | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ   |
|----------------------|---|
| <b>M</b>             | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά ανθρώπων, έχουν τουλάχιστον τέσσερις τροχούς.  |
| <b>M<sub>1</sub></b> | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά ανθρώπων, περιλαμβάνουν το πολύ οκτώ θέσεις καθήμενων πέρα του καθίσματος του οδηγού.  |
| <b>M<sub>2</sub></b> | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά ανθρώπων, περιλαμβάνουν περισσότερες από οκτώ θέσεις καθήμενων πέρα του καθίσματος του οδηγού, με μάζα που δεν υπερβαίνει τους 5t. |
| <b>M<sub>3</sub></b> | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά ανθρώπων, περιλαμβάνουν περισσότερες από οκτώ θέσεις καθήμενων πέρα του καθίσματος του οδηγού, με μάζα που υπερβαίνει τους 5t.     |
| <b>N</b>             | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, έχουν τουλάχιστον τέσσερις τροχούς.  |
| <b>N<sub>1</sub></b> | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, η μάζα τους δεν υπερβαίνει τους 3,5t.  |
| <b>N<sub>2</sub></b> | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, η μάζα τους δεν υπερβαίνει τους 12t.   |
| <b>N<sub>3</sub></b> | Οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, η μάζα τους υπερβαίνει τους 12t.   |
| <b>O</b>             | Ρυμουλκούμενα - ημρυμουλκούμενα   |
| <b>G</b>             | Οχήματα παντός εδάφους  |

**Πίνακας 2.2 :** Κατηγορίες οχημάτων (Πηγή: Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2002)

Το **1992** θεσπίζεται το Euro 1, θέτοντας για όλα τα καινούργια οχήματα την χρήση καταλύτη (οδηγία 91/441/ΕΟΚ για επιβατικά οχήματα & οδηγία 93/59/ΕΟΚ για επιβατικά και ελαφρά οχήματα).

Το **1996** εμφανίζεται το Euro 2, όπου διαφοροποιεί τα όρια εκπομπών για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα, αλλά και θέτει ως στόχο την μείωση κατά 40-50% των ρύπων (οδηγία 94/12/ΕΚ & 96/69/ΕΚ για επιβατικά οχήματα, αλλά και 2002/51/ΕΚ για μοτοσυκλέτες σειράς Α).

Το **2002** εφαρμόζεται το Euro 3, καθώς και το **2005** το Euro 4, όπου διαδοχικά το καθένα θέτει πιο αυστηρά όρια στις εκπομπές CO και NOx των πετρελαιοκινητήρων (οδηγία 98/69/ΕΚ για κάθε όχημα & 2002/51/ΕΚ για μοτοσυκλέτες σειράς Β). Γίνεται πλέον αναφορά στην μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων (PM) και στην χρήση φίλτρων συγκράτησής τους από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα που οδηγεί βέβαια στην αύξηση του κόστους.

Στην συνέχεια το **2009** εφαρμόζεται το Euro 5 και το **2014/2015** το Euro 6, όπου θέτουν για τους πετρελαιοκινητήρες, αλλά πλέον και για τους βενζινοκινητήρες άμεσης έγχυσης (DI) τα ίδια όρια στην εκπομπή σωματιδίων (οδηγία 715/2007/ΕΚ). Οι εκπομπές των ρύπων με βάση τα πρότυπα της Ε.Ε. συνοψίζονται στους πίνακες 2.3 και 2.4.

Από τον Σεπτέμβριο του **2018** έχει τεθεί σε ισχύ η αποκαλούμενη τροπολογία Euro 6.2 (ή αλλιώς 6d TEMP), η οποία θέτει πιο αυστηρούς στόχους για τις εκπομπές ρύπων και προβλέπει την δοκιμή σε οδικό δίκτυο οχημάτων RDE (Real Driving Emissions) για την εκπομπή ρύπων (Schoenhaber et al., 2017). Επικεντρώνεται στην μέτρηση των οξειδίων του αζώτου (NOx) και στις εκπομπές των σωματιδίων (PM), στα ελαφρά βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα υπό πραγματικές συνθήκες. Η διαδικασία δοκιμής RDE περιλαμβάνει δοκιμές σε οδικό δίκτυο με οχήματα που διαθέτουν φορητά συστήματα μέτρησης εκπομπών (PEMS). Το 2015 προκαταρκτικές δοκιμές έδειξαν δυσκολία των πετρελαιοκινητήρων να είναι στα επιθυμητά όρια (Gibbs, 2015).

Λεπτομέρειες για το Euro 7, το τελικό πρότυπο, θα ανακοινωθούν κατά τη διάρκεια του **2021** και πιθανότατα θα τεθούν σε ισχύ το 2025, πριν από τη σταδιακή κατάργηση των οχημάτων ορυκτών καυσίμων για τον περαιτέρω περιορισμό της κλιματικής αλλαγής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη.



**Πίνακας 2.3:** Ευρωπαϊκές προδιαγραφές εκπομπών ρύπων για επιβατικά οχήματα (Πηγή: Dieselnets Archives, 2015)

| Τύπος                                | Ημερομηνία           | CO<br>(g/Km)   | HC<br>(g/Km)      | HC+NO <sub>x</sub><br>(g/Km) | NO <sub>x</sub><br>(g/Km) | PM<br>(g/Km)         | PN<br>(g/Km)         |
|--------------------------------------|----------------------|----------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Δiesel (Ανάφλεξη με συμπίεση)</b> |                      |                |                   |                              |                           |                      |                      |
| Euro 1 <sup>+</sup>                  | 1992.07              | 2,72<br>(3,16) | -                 | 0,97 (1,13)                  | -                         | 0,14<br>(0,18)       | -                    |
| Euro 2,<br>IDI                       | 1996.01              | 1,0            | -                 | 0,7                          | -                         | 0,08                 | -                    |
| Euro 2,<br>IDI                       | 1996.01 <sup>a</sup> | 1,0            | -                 | 0,9                          | -                         | 0,10                 | -                    |
| Euro 3                               | 2000.01              | 0,64           | -                 | 0,56                         | 0,50                      | 0,05                 | -                    |
| Euro 4                               | 2005.01              | 0,50           | -                 | 0,30                         | 0,25                      | 0,025                | -                    |
| Euro 5a                              | 2009.09 <sup>b</sup> | 0,50           | -                 | 0,23                         | 0,18                      | 0,005 <sup>f</sup>   | -                    |
| Euro 5b                              | 2011.09 <sup>c</sup> | 0,50           | -                 | 0,23                         | 0,18                      | 0,005 <sup>f</sup>   | 6,0x10 <sup>11</sup> |
| Euro 6                               | 2014.09              | 0,50           | -                 | 0,17                         | 0,08                      | 0,005 <sup>f</sup>   | 6,0x10 <sup>11</sup> |
| <b>Βενζίνη (Θετική ανάφλεξη)</b>     |                      |                |                   |                              |                           |                      |                      |
| Euro 1 <sup>+</sup>                  | 1992.07              | 2,72<br>(3,16) | -                 | 0,97 (1,13)                  | -                         | -                    | -                    |
| Euro2                                | 1996.01              | 2,20           | -                 | 0,50                         | -                         | -                    | -                    |
| Euro 3                               | 2000.01              | 2,30           | 0,20              | -                            | 0,15                      | -                    | -                    |
| Euro 4                               | 2005.01              | 1,00           | 0,10              | -                            | 0,08                      | -                    | -                    |
| Euro 5                               | 2009.09 <sup>b</sup> | 1,0            | 0,10 <sup>d</sup> | -                            | 0,06                      | 0,005 <sup>e,f</sup> | -                    |

\*Στο Euro 1-4, τα επιβατικά οχήματα >2.500Kg εγκρίθηκαν ως της κατηγορίας N1 οχήματα

+ Τιμές σε παρένθεση είναι συμμόρφωση της παραγωγής (COP)

a. μέχρι 30/9/1999 (έπειτα DI κινητήρες (άμεσης έγχυσης) οφείλουν να πληρούν τα όρια IDI(έμμεσης έγχυσης))

b. από 1/2011, για όλα τα μοντέλα

c. από 1/2013, για όλα τα μοντέλα

d. NMHC=0,068g/Km (εκτός CH<sub>4</sub>)

e. μόνο για οχήματα με DI κινητήρες

f. για την μέθοδο μέτρησης PMP είναι 0,0045 g/Km

g. εντός των τριών πρώτων ετών από την εφαρμογή του Euro 6 είναι 6,0x10<sup>12</sup> 1/km

**Πίνακας 2.4:** Πρότυπα εκπομπών για ελαφρά επιβατικά οχήματα (Πηγή: Dieselnets Archives, 2015)

| Κατηγορία                            | Τύπος         | Ημερομηνία           | CO<br>(g/Km) | HC<br>(g/Km) | HC+NOX<br>(g/Km) | NO <sub>x</sub><br>(g/Km) | PM<br>(g/Km)       | PN<br>(g/Km)         |
|--------------------------------------|---------------|----------------------|--------------|--------------|------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Diesel (Ανάφλεξη με συμπίεση)</b> |               |                      |              |              |                  |                           |                    |                      |
| N1 Class<br>≤1305Kg                  | Euro 1        | 1994.10              | 2,72         | -            | 0,97             | -                         | 0,14               | -                    |
|                                      | Euro2<br>IDI  | 1998.01              | 1,00         | -            | 0,70             | -                         | 0,08               | -                    |
|                                      | Euro 2<br>DI  | 1998.01 <sup>a</sup> | 1,00         | -            | 0,90             | -                         | 0,10               | -                    |
|                                      | Euro3         | 2000.01              | 0,64         | -            | 0,56             | 0,50                      | 0,05               | -                    |
|                                      | Euro4         | 2005.01              | 0,50         | -            | 0,30             | 0,25                      | 0,025              | -                    |
|                                      | Euro<br>5a    | 2009.09 <sup>b</sup> | 0,50         | -            | 0,23             | 0,18                      | 0,005 <sup>f</sup> | -                    |
|                                      | Euro<br>5b    | 2011.09 <sup>d</sup> | 0,50         | -            | 0,23             | 0,18                      | 0,005 <sup>f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
|                                      | Euro 6        | 2014.09              | 0,50         | -            | 0,17             | 0,08                      | 0,005 <sup>f</sup> | 6,9x10 <sup>11</sup> |
| N1<br>Class II<br>1305-<br>1760Kg    | Euro 1        | 1994.10              | 5,17         | -            | 1,40             | -                         | 0,19               | -                    |
|                                      | Euro 2<br>IDI | 1998.01              | 1,25         | -            | 1,0              | -                         | 0,12               | -                    |
|                                      | Euro 2<br>DI  | 1998.01 <sup>a</sup> | 1,25         | -            | 1,30             | -                         | 0,14               | -                    |
|                                      | Euro 3        | 2001.01              | 0,80         | -            | 0,72             | 0,65                      | 0,07               | -                    |
|                                      | Euro 4        | 2006.01              | 0,63         | -            | 0,39             | 0,33                      | 0,04               | -                    |
|                                      | Euro<br>5a    | 2010.09 <sup>c</sup> | 0,63         | -            | 0,295            | 0,235                     | 0,005 <sup>f</sup> | -                    |
|                                      | Euro<br>5b    | 2010.09 <sup>d</sup> | 0,63         | -            | 0,295            | 0,235                     | 0,005 <sup>f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
|                                      | Euro 6        | 2015.09              | 0,63         | -            | 0,195            | 0,105                     | 0,005 <sup>f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
| N1<br>Class III<br>>1760<br>Kg       | Euro 1        | 1994.10              | 6,90         | -            | 1,70             | -                         | 0,25               | -                    |
|                                      | Euro 2<br>IDI | 1998.01              | 1,5          | -            | 1,20             | -                         | 0,17               | -                    |
|                                      | Euro 2<br>DI  | 1998.01 <sup>a</sup> | 1,5          | -            | 1,60             | -                         | 0,20               | -                    |
|                                      | Euro3         | 2001.01              | 0,95         | -            | 0,86             | 0,78                      | 0,10               | -                    |
|                                      | Euro 4        | 2006.01              | 0,74         | -            | 0,46             | 0,39                      | 0,06               | -                    |
|                                      | Euro<br>5a    | 2010.09 <sup>c</sup> | 0,74         | -            | 0,350            | 0,280                     | 0,005 <sup>f</sup> | -                    |
|                                      | Euro<br>5b    | 2011.09 <sup>d</sup> | 0,74         | -            | 0,350            | 0,280                     | 0,005 <sup>f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
|                                      | Euro 6        | 2015.09              | 0,74         | -            | 0,215            | 0,125                     | 0,005 <sup>f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
| N2                                   | Euro<br>5a    | 2010.09 <sup>c</sup> | 0,74         | -            | 0,350            | 0,280                     | 0,005 <sup>f</sup> | -                    |
|                                      | Euro<br>5b    | 2011.09 <sup>d</sup> | 0,74         | -            | 0,350            | 0,280                     | 0,005 <sup>f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
|                                      | Euro 6        | 2015.09              | 0,74         | -            | 0,215            | 0,125                     | 0,005 <sup>f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
| <b>Βενζίνη (Θετική ανάφλεξη)</b>     |               |                      |              |              |                  |                           |                    |                      |
| N1<br>Class I                        | Euro 1        | 1994.10              | 2,72         | -            | 0,97             | -                         | -                  | -                    |

|                                    |        |                      |      |                   |      |      |                      |                      |
|------------------------------------|--------|----------------------|------|-------------------|------|------|----------------------|----------------------|
| ≤1305Kg                            |        |                      |      |                   |      |      |                      |                      |
|                                    | Euro2  | 1998.01              | 2,2  | -                 | 0,50 | -    | -                    | -                    |
|                                    | Euro 3 | 2000.01              | 2,3  | 0,20              | -    | 0,15 | -                    | -                    |
|                                    | Euro 4 | 2005.01              | 1,0  | 0,10              | -    | 0,08 | -                    | -                    |
|                                    | Euro 5 | 2009.09 <sup>b</sup> | 1,0  | 0,10 <sup>g</sup> | -    | 0,06 | 0,005 <sup>e,f</sup> | -                    |
|                                    | Euro 6 | 2014.09              | 1,0  | 0,10 <sup>g</sup> | -    | 0,06 | 0,005 <sup>e,f</sup> | 6,0x10 <sup>11</sup> |
| N1<br>Class II<br>1305-<br>1760 Kg | Euro 1 | 1994.10              | 5,17 | -                 | 1,40 | -    | -                    | -                    |

Για το Euro 1/2 της κατηγορίας N1, μάζα αναφοράς τάξεις ήταν Class I ≤ 1.250 Kg, Class II= 1250-1700 Kg, Class III > 1.700 Kg

a. μέχρι της 1999.09.30 (μετά την ημερομηνία αυτή DI κινητήρες πρέπει να πληρούν τα IDI όρια)

b. από 2011.01, για όλα τα μοντέλα

c. από 2012.01, για όλα τα μοντέλα

d. από 2013.01, για όλα τα μοντέλα

e. ισχύει μόνο για τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν DI κινητήρες

f. 0,0045 g/Km χρησιμοποιώντας την PMP διαδικασία μέτρησης

g. και NMHC = 0,068 g/Km

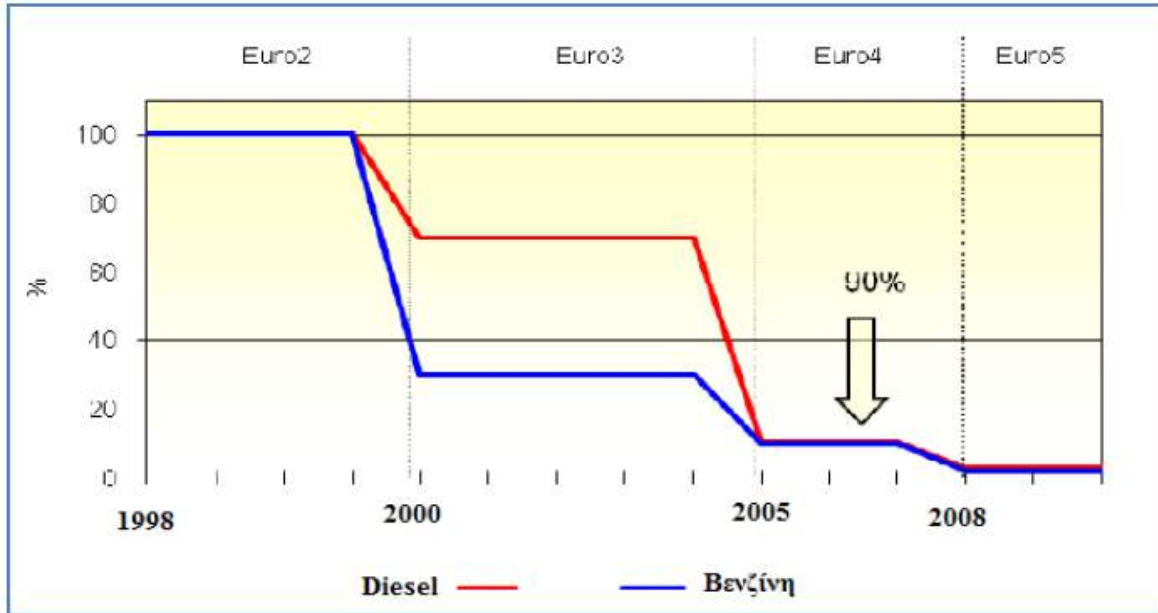
h. και NMHC = 0,090 g/Km

i. NMHC = 0,108 g/Km

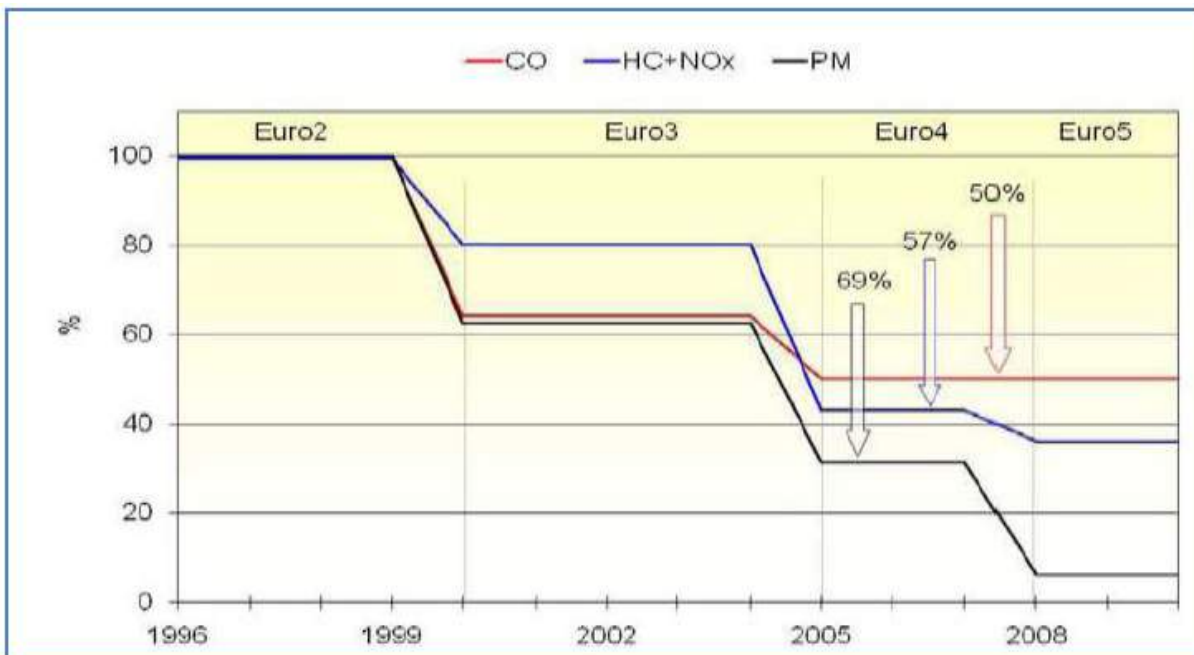
j.  $6,0 \times 10^{12}$  1/Km εντός των πρώτων τριών ετών από Euro 6 ημερομηνίες

Η εφαρμογή των πρότυπων προδιαγραφών Euro στις εκπομπές των ρύπων των διαφόρων οχημάτων έφερε ως αποτέλεσμα την ανάγκη δημιουργίας καλύτερων καυσίμων.

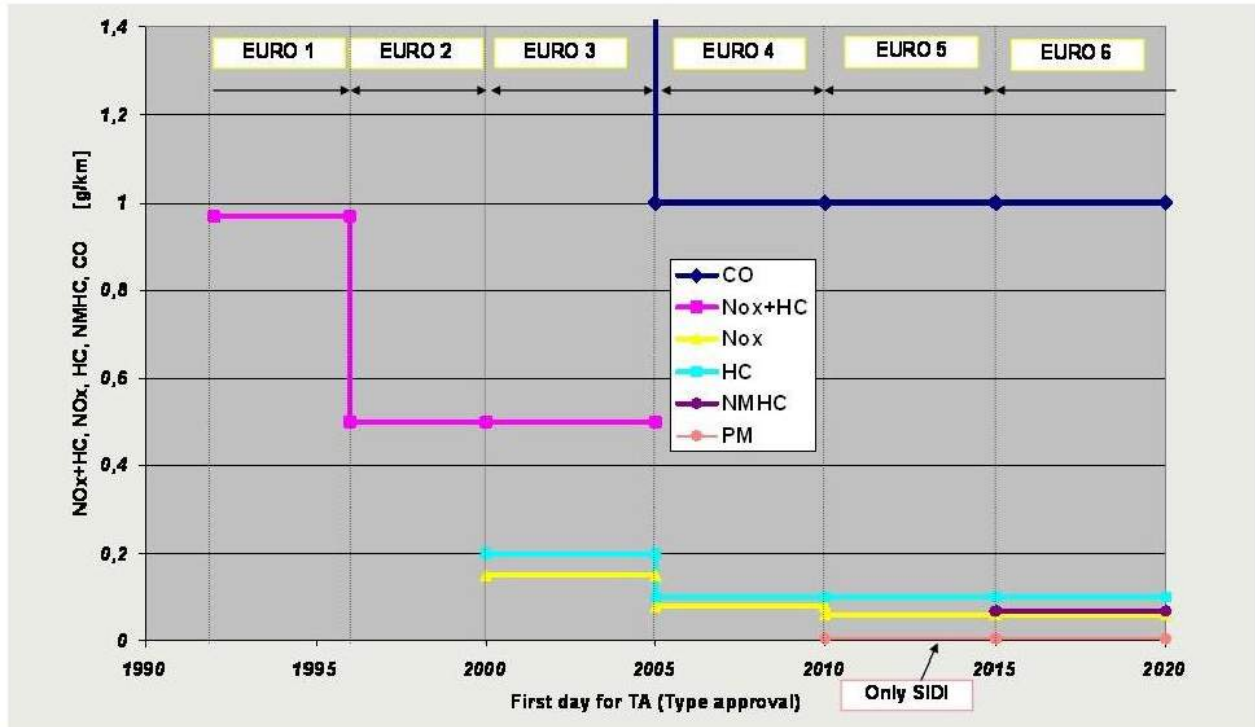
Χαρακτηριστική είναι η μείωση του θείου που απεικονίζεται στο διάγραμμα 2.3.1, ενώ παρουσιάζεται η πορεία βασικών ρύπων (CO, HC+NOX & PM) σε επιβατηγά πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα οχήματα με βάση τα Ευρωπαϊκά πρότυπα στα διαγράμματα 2.3.2 και 2.3.3.



**Διάγραμμα 2.3.1 :** Μείωση των ορίων σε περιεκτικότητα θείου (S) στα καύσιμα (Πηγή: Καραγιάννης, 2013)



**Διάγραμμα 2.3.2:** Μείωση των ορίων εκπομπών εκπομπής ρύπων για κινητήρες Diesel - επιβατικών αυτοκινήτων στην Ε.Ε. (Πηγή: Καραγιάννης, 2013)



**Διάγραμμα 2.3.3:** Περιορισμός ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους βενζινοκινητήρες από το 1990 έως σήμερα (Πηγή: *Hasdutoene, 2011*)

## 2.4 Προδιαγραφές εκπομπών CO<sub>2</sub>

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα επιβατηγά αυτοκίνητα είναι υπεύθυνα περίπου για το 12% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα αντίστοιχα υπεύθυνα για το 2,5% των εκπομπών αυτών. <sup>[5]</sup>

Η Ευρωπαϊκή Ένωση το 2009, με τον Κανονισμό 443/2009/ΕΚ θέτει ως στόχο την περαιτέρω μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το οποίο χαρακτηρίζεται ως ένας έμμεσος ρύπος, αφού συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Θέτει λοιπόν μέσα από την βελτίωση της τεχνολογίας ως ανώτερο όριο τα 130 g CO<sub>2</sub>/Km, για τα καινούργια επιβατικά οχήματα (κατηγορίας M1). Ενώ, το 2020 με τα νέα πλέον οχήματα στην ευρωπαϊκή αγορά, ο στόχος ήταν το ανωτερο επιτρεπτο όριο να κατέβει στα 95 g CO<sub>2</sub>/Km με προοπτική την περαιτέρω μείωση του κατά 10 g CO<sub>2</sub>/Km, σύμφωνα με τον Κανονισμό 443/2009/ΕΚ.

Την 1η Ιανουαρίου 2020, τέθηκε σε ισχύ ο Κανονισμός (ΕΕ) 2019/631, ο οποίος καθορίζει πρότυπα προδιαγραφών εκπομπών CO<sub>2</sub> για νέα επιβατικά αυτοκίνητα και φορτηγά και ο οποίος αντικατέστησε και κατάργησε τους προηγούμενους Κανονισμούς: (ΕΚ) 443/2009 για αυτοκίνητα και (ΕΕ) 510/2011 για φορτηγά.

Ο Κανονισμός αυτός καθορίζει στόχους εκπομπών CO<sub>2</sub> σε όλα τα οχήματα της Ε.Ε. για το 2020, το 2025 και το 2030 και περιλαμβάνει έναν μηχανισμό για την παροχή κινήτρων για οχήματα μηδενικών και χαμηλών εκπομπών (ZLEV).

Καθώς οι νέοι στόχοι άρχισαν να ισχύουν το 2020, οι μέσες εκπομπές CO<sub>2</sub> από τα νέα επιβατικά αυτοκίνητα που ταξινομήθηκαν στην Ευρώπη μειώθηκαν κατά 12% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Επίσης, το μερίδιο στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων τριπλασιάστηκε.

Στις 14 Ιουλίου 2021, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε μια σειρά νομοθετικών προτάσεων (Green Deal) που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο σκοπεύει να επιτύχει την κλιματική ουδετερότητα στην Ε.Ε. έως το 2050, συμπεριλαμβανομένου του ενδιάμεσου στόχου της καθαρής μείωσης τουλάχιστον 55% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έως το 2030. Το πακέτο αυτό προτείνει την αναθεώρηση πολλών ευρωπαϊκών νομοθετικών πράξεων για το κλίμα, συμπεριλαμβανομένου του Συστήματος Ανταλλαγής Εκπομπών (EU Emissions Trading System - EU ETS), του Κανονισμού Κοινής Προσπάθειας (Effort Sharing Regulation), της νομοθεσίας για τις μεταφορές και τη χρήση της γης, ορίζοντας σε πραγματικούς όρους τους τρόπους με

τους οποίους θα επιτευχθούν οι στόχοι της Ε.Ε. για το κλίμα στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας.

Συγκεκριμένα, τα οφέλη του Κανονισμού (ΕΕ) 2019/631 είναι τα εξής:

- συμβάλλει στην επίτευξη των δεσμεύσεων της Ε.Ε. βάσει της Συμφωνίας του Παρισιού για το Κλίμα, η οποία έχει ως στόχο την παγκόσμια μείωση των αερίων του θερμοκηπίου.
- μειώνει το κόστος κατανάλωσης καυσίμου για τους καταναλωτές,
- ενισχύει την ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής αυτοκινητοβιομηχανίας της και έχει ως στόχο να τονώσει την απασχόληση.

Για την περίοδο 2020-2024, ο Κανονισμός (ΕΕ) 2019/631 επικυρώνει τους στόχους για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που καθορίζονται στους κανονισμούς (ΕΚ) αριθ. 443/2009 και (ΕΕ) αριθ. 510/2011. Συγκεκριμένα, το ανώτατο όριο εκπομπών για τα αυτοκίνητα είναι τα 95 g CO<sub>2</sub>/km ενώ για τα φορτηγά είναι τα 147 g CO<sub>2</sub>/km.

Αυτά τα επίπεδα - στόχοι αναφέρονται στη διαδικασία καταγραφής εκπομπών NEDC\*, ενώ από το 2021 και μετά, οι στόχοι εκπομπών για τους κατασκευαστές βασίζονται στη νέα διαδικασία καταγραφής εκπομπών WLTP\*.

\*NEDC & WLTP (αναλύεται στο τρίτο κεφάλαιο - Κύκλοι Οδήγησης)

Επίσης, καθορίζονται ετησίως συγκεκριμένοι στόχοι εκπομπών για κάθε κατασκευαστή, οι οποίοι βασίζονται στους ευρωπαϊκούς στόχους για το σύνολο του στόλου και λαμβάνουν υπόψη το μέσο μέγεθος των νέων οχημάτων ενός δεδομένου έτους, χρησιμοποιώντας καμπύλη οριακής τιμής. Αυτό σημαίνει ότι θα επιτρέπονται στους κατασκευαστές βαρύτερων αυτοκινήτων, υψηλότερες μέσες εκπομπές από τους κατασκευαστές ελαφρύτερων αυτοκινήτων. Η καμπύλη έχει οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται οι ευρωπαϊκοί στόχοι για τις μέσες εκπομπές.

Για τους κατασκευαστές επιβατικών αυτοκινήτων, το 2020 είναι μεταβατικό έτος: οι συγκεκριμένοι στόχοι εκπομπών θα ισχύουν μόνο για το 95% των νέων λιγότερο ρυπογόνων αυτοκινήτων.

Για την περίοδο 2025- 2030, ο Κανονισμός (ΕΕ) 2019/631 θέτει αυστηρότερους στόχους εκπομπών CO<sub>2</sub> πανευρωπαϊκά, ορίζοντας ποσοστιαίες μειώσεις σε σχέση με τα αρχικά όρια του 2021.

Συγκεκριμένα, για τα αυτοκίνητα επιβάλλεται μείωση 15% από το 2025 και 37,5% από το 2030 και μετά. Όσον αφορά τα φορτηγά επιβάλλεται ίδια μείωση ύψους 15% από το 2025 αλλά 31% μείωση από το 2030 και μετά.

Οι ετήσιοι ειδικοί στόχοι εκπομπών για κάθε κατασκευαστή θα βασίζονται στους παραπάνω πανευρωπαϊκούς τους στόχους, λαμβάνοντας υπόψη τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων των δοκιμών σε πρόσφατα καταχωρημένα οχήματα.

### **Μηχανισμός κινήτρου για οχήματα μηδενικών και χαμηλών εκπομπών ZLEV (Zero and Low Emission Vehicles)<sup>[5]</sup>**

Από το 2020 έως το 2022, ισχύει ένα σύστημα υπερπίστωσης (super-credit system) για επιβατικά αυτοκίνητα με εκπομπές κάτω από 50 g CO<sub>2</sub>/km (NEDC). Πολλές φορές αυτά τα οχήματα υπολογίζονται για την καταμέτρηση του μέσου όρου ειδικών εκπομπών ενός κατασκευαστή. Συγκεκριμένα το 2020 υπολογίζονται ως 2 οχήματα, το 2021 ως 1,67 οχήματα και το 2022 ως 1,33 οχήματα.

Το ανώτατο όριο για τις υπερ-πιστώσεις ορίζεται στα 7,5 g/km ανά κατασκευαστή αυτοκινήτων ανά τρία χρόνια. Όσον αφορά τα φορτηγά δεν υπάρχει σύστημα υπερπίστωσης.

Από το 2025, ένα διαφορετικό σύστημα πίστωσης ZLEV εισάγεται τόσο για κατασκευαστές αυτοκινήτων όσο και για τους κατασκευαστές φορτηγών. Το σύστημα αυτό επιτρέπει στον κατασκευαστή τη χαλάρωση όσον αφορά τον συγκεκριμένο στόχο εκπομπών, εάν το μεριδίό του σε νέα ZLEV (οχήματα με εκπομπές μεταξύ 0 και 50 g CO<sub>2</sub>/km (WLTP)) που ταξινομήθηκαν σε ένα δεδομένο έτος υπερβαίνει τα ακόλουθα κριτήρια αναφοράς:

Αυτοκίνητα: 15% ZLEV από το 2025 και 35% ZLEV από το 2030 και μετά

Φορτηγά: 15% ZLEV από το 2025 και 30% ZLEV από το 2030 και μετά

Η υπέρβαση κατά μία ποσοστιαία μονάδα του δείκτη αναφοράς ZLEV θα αυξήσει το στόχο CO<sub>2</sub> του κατασκευαστή (σε g CO<sub>2</sub>/km) κατά ένα τοις εκατό. Η χαλάρωση όσον αφορά το στόχο περιορίζεται στο 5% κατ' ανώτατο όριο για τη διαφύλαξη της περιβαλλοντικής διάστασης του Κανονισμού.

Για τον υπολογισμό του μεριδίου ZLEV στο στόλο ενός κατασκευαστή, ισχύει ένας συγκεκριμένος λογιστικός κανόνας, ο οποίος δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στο ZLEV με χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub>.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Κύκλοι Οδήγησης

### 3.1 Εισαγωγή στους κύκλους οδήγησης

Η ενεργειακή κατανάλωση και συνεπώς οι εκπομπές αέριων ρύπων ενός οχήματος εξαρτώνται από τον τρόπο οδήγησης του, όπως επίσης και από τις συνθήκες κυκλοφορίας στη περιοχή κίνησης του οχήματος αυτού. Προκειμένου λοιπόν να εξεταστεί η ενεργειακή κατανάλωση ενός οχήματος, απαιτείται η παραμετρική περιγραφή του τρόπου οδήγησης στην εξεταζόμενη περιοχή. Λύση σε αυτό το πρόβλημα καλείται να δώσει ένας κύκλος οδήγησης, ο οποίος είναι ουσιαστικά μια τυποποιημένη συνάρτηση της ταχύτητας ενός οχήματος με το χρόνο, σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Οι κύκλοι οδήγησης χρησιμοποιούνται για να ορίσουν τη λειτουργία ενός οχήματος κατά τη διάρκεια των δοκιμών που πραγματοποιούνται πάνω σε μια δυναμομετρική εξέδρα με σκοπό τον προσδιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων από αυτό. Ο κύριος λόγος ύπαρξης των κύκλων οδήγησης είναι για την προσομοίωση των συνθηκών των πραγματικών συνθηκών κίνησης και λειτουργίας ενός οχήματος στο εργαστηριακό περιβάλλον.<sup>[6]</sup>

Οι «Κύκλοι Πόλης» (Urban cycles) έρχονται ώστε να καλύψουν αυτό το σφάλμα στις διαδικασίες ελέγχου, εισάγοντας νέες διαδικασίες μεγαλύτερης ακρίβειας που προσομοιώνουν την πραγματική λειτουργία του οχήματος και συμβάλλουν ουσιαστικά στην αποτελεσματική καταγραφή των πραγματικών εκπομπών αέριων ρύπων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι δύο κατηγορίες, στις οποίες χωρίζονται οι κύκλοι οδήγησης, καθώς και αυτοί στους οποίους υπεβλήθη το υπό μελέτη όχημα της εργασίας αυτής.<sup>[7]</sup>

## 3.2 Κατηγορίες κύκλων οδήγησης

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

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους θεσμοθετημένους κύκλους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στους προβλεπόμενους ελέγχους που διενεργούνται κατά τη διαδικασία της χορήγησης έγκρισης κυκλοφορίας και στους ελέγχους επιθεώρησης και συντήρησης αυτοκινήτων.

Παραδείγματα τέτοιων κύκλων οδήγησης είναι ο **FTP-75** και ο **Unified LA-92** για Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (**NEDC**) για Ευρώπη και ο **Japan 10-15 mode** στην Ιαπωνία.<sup>[8]</sup>

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει κύκλους οδήγησης που εκπονούνται περισσότερο για ερευνητικό σκοπό.

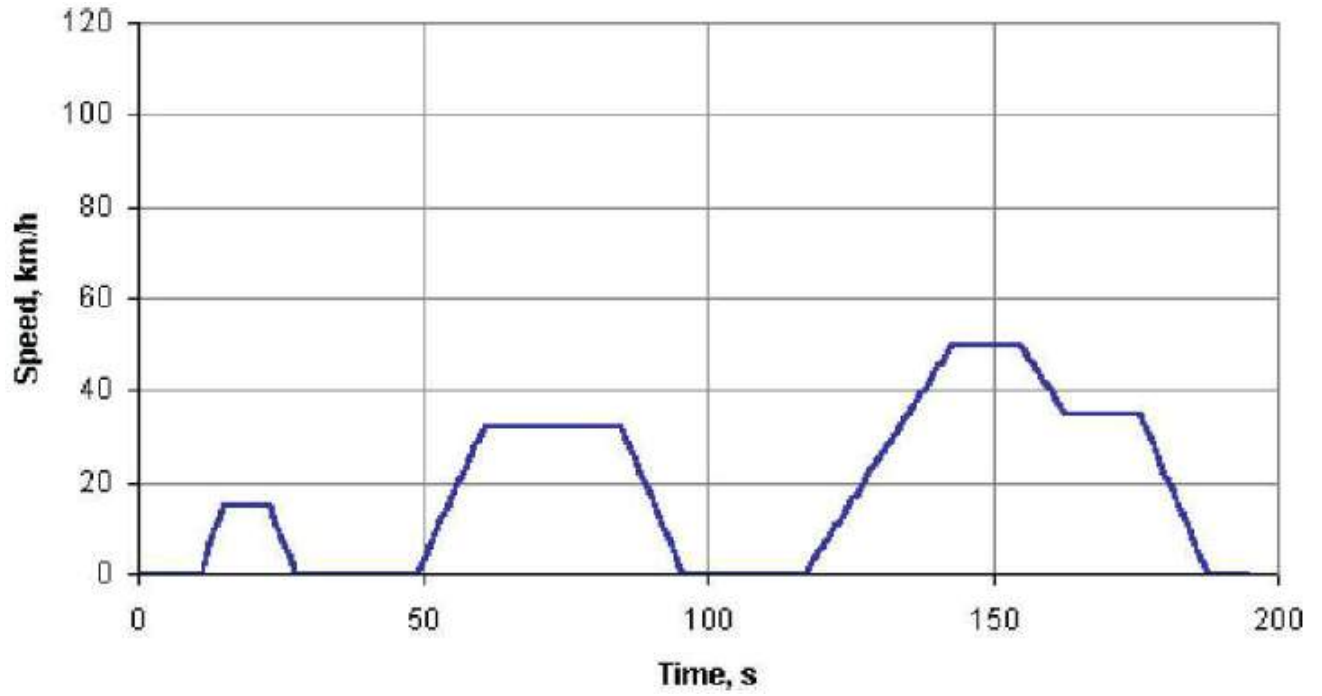
Χρησιμοποιούνται δεδομένα από πραγματικές συνθήκες κίνησης και για το λόγο αυτό ονομάζονται “Real World”. Η χρήση τους περιλαμβάνει τον υπολογισμό εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου.

Οι κύκλοι οδήγησης αυτού του είδους αναπτύσσονται από ιδρύματα όπως είναι το ινστιτούτο μεταφορών INRETS της Γαλλίας, ή άλλα πανεπιστημιακά ιδρύματα.<sup>[9]</sup>

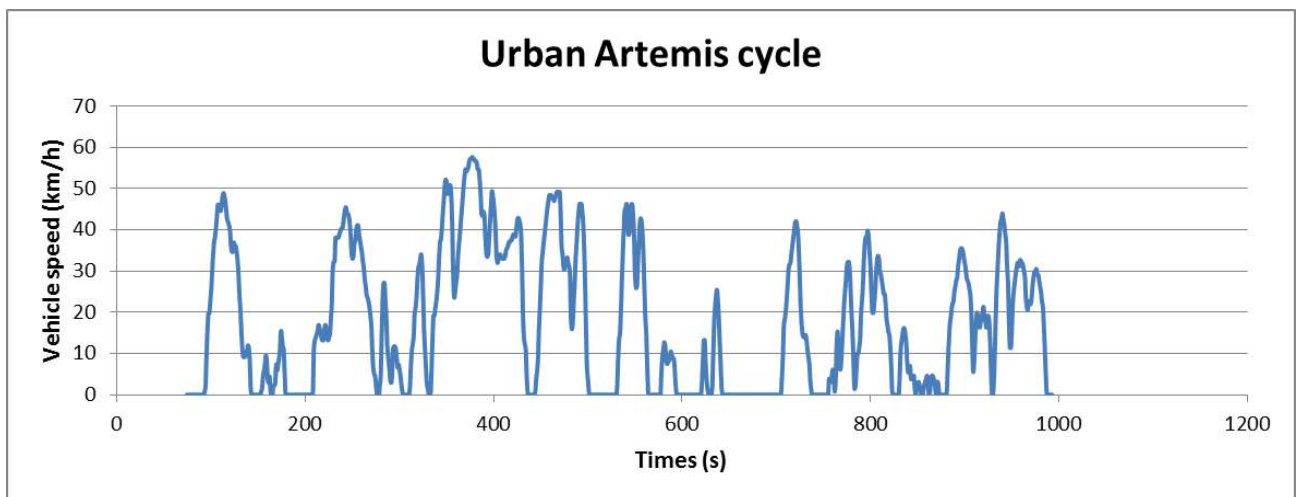
- ❖ Χωρίζονται όμως και ανάλογα με την μορφή και τον τρόπο που κατασκευάζονται σε άλλες δύο κατηγορίες.<sup>[10]</sup>

Αυτοί που κατασκευάζονται βάσει σταθερών επιταχύνσεων, ταχυτήτων κίνησης και επιβραδύνσεων, αυτοί οι κύκλοι ονομάζονται «modal». Τέτοιοι κύκλοι είναι συνήθως αυτοί που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία της χορήγησης έγκρισης κυκλοφορίας (διάγραμμα 3.2.1).

Η δεύτερη κατηγορία με βάση τη μορφή είναι οι Real World που αναφέρθηκαν στην παραπάνω κατηγορία με τις πραγματικές συνθήκες κίνησης (διάγραμμα 3.2.2) .



**Διάγραμμα 3.2.1** Κύκλος οδήγησης τύπου *Modal*, παράδειγμα από *ECE-15*.



**Διάγραμμα 3.2.2** Κύκλος οδήγησης τύπου *Real World*, *Urban Artemis Cycle*.

### 3.3 Τεχνικές καταγραφής κίνησης οχημάτων

Για την δημιουργία ενός έγκυρου κύκλου οδήγησης, είναι απαραίτητο τα δεδομένα κίνησης να είναι κατάλληλα για τον σκοπό αυτό.

Καταρχήν επιλέγεται ο κατάλληλος τρόπος κίνησης του οχήματος προκειμένου οι καταγραφές να είναι αντικειμενικές και αντιπροσωπευτικές του τρόπου κίνησης της πλειοψηφίας των κινούμενων οχημάτων στο πεδίο της δειγματοληψίας.

Ένας κατάλληλος τρόπος για να είναι αντιπροσωπευτικές οι μετρήσεις είναι η δειγματοληψία να μην γίνει από κάποιον γνώστη του αντικειμένου αλλά από κάποιον ασ πούμε πολίτη ο οποίος κυκλοφορεί υπο κανονικές συνθήκες κίνησης και δεν επηρεάζει τον τρόπο οδήγησης του ενώ καταγράφεται.

Στην συνέχεια, το όχημα εξοπλίζεται με μια ειδική συσκευή καταγραφής, παραδείγματος χάριν μια συσκευή OBD, η οποία συνδέεται με αντίστοιχο λογισμικό με δυνατότητα αποθήκευσης μετρήσεων.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες τεχνικών μέτρησις των χαρακτηριστικών κίνησης των οχημάτων (τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται στη συνέχεια): <sup>[11]</sup>

1. Μετρήσεις με όχημα εξοπλισμένο με κατάλληλα όργανα μέτρησης.
2. Μετρήσεις με σύστημα σταθερής εγκατάστασης στο δρόμο (π.χ synchronised road tubes)
3. Μετρήσεις με σύστημα για την εξ αποστάσεως μέτρηση (π.χ. radar, κάμερες στο δρόμο)

Στην κατηγορία μέτρησης με εξοπλισμένο όχημα υπάρχουν τέσσερις διακριτοί τρόποι μέτρησης χαρακτηριστικών κίνησης:

- 1) Μετρήσεις με όχημα εξοπλισμένο με όργανα οδηγούμενο από επαγγελματίες οδηγούς, οι οποίοι όμως γνωρίζουν τους σκοπούς των μετρήσεων και συνεπώς είναι επηρεασμένοι στον τρόπο οδήγησης τους.
- 2) Μετρήσεις με εξοπλισμένο αυτοκίνητο, το οποίο οδηγούν, κοινοί οδηγοί. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στο να λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά των ευρύτερου κοινού που οδηγεί αυτοκίνητα.
- 3) Μετρήσεις με τη μέθοδο Chase Car, με την τεχνική της αντιγραφής της κίνησης του προπορευόμενου αυτοκινήτου. Με τον τρόπο αυτό, η τεχνική αυτή προσπαθεί να ενσωματώσει τις συμπεριφορές μεγάλου αριθμού οδηγών, ώστε

να είναι ανεξάρτητη γενικά από τη συμπεριφορά του οδηγού που οδηγεί το πειραματικό αυτοκίνητο <sup>[12]</sup>. Η συγκεκριμένη μέθοδος χαρακτηρίζεται από δύο αρχές:

- Σύμφωνα με την πρώτη αρχή, το όχημα δοκιμών ακολουθεί κάποιο όχημα παρόμοιων χαρακτηριστικών προσπαθώντας να αντιγράψει την κίνηση του, όπως εναλλαγές ταχύτητας, επιταχύνσεις, επιβραδύνσεις, καθ'όλη τη διάρκεια της διαδρομής.
- Η δεύτερη αρχή, έρχεται να συμπληρώσει την πρώτη όπου στην περίπτωση που δεν υπάρχει συγκεκριμένο όχημα που να αποτελεί τον στόχο για αντιγραφή ακολουθείτε άλλη τακτική. Το όχημα οδηγείτε ακολουθώντας τη γενική ροή των αυτοκινήτων αποφεύγοντας τα πολύ αργά και τα πολύ γρήγορα κινούμενα οχήματα. <sup>[13]</sup>

4) Μετρήσεις με εξοπλισμένα ιδιωτικά αυτοκίνητα, τα οποία οδηγούνται από τους κατόχους τους.

Οι δυο πρώτοι μεθόδου, που παρουσιάστηκαν παραπάνω επηρεάζονται από τη συμπεριφορά του οδηγού που οδηγεί το πειραματικό αυτοκίνητο. Ο τρίτος τρόπος είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικός των χαρακτηριστικών κίνησης το συνόλου των κινούμενων αυτοκινήτων. Ο τέταρτος τρόπος όταν εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα, μπορεί όντως να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικός.

Με άλλα λόγια, η μέθοδος μέτρησης με εξοπλισμένα ιδιωτικά αυτοκίνητα, η οποία είναι εκείνη που θα εφαρμοστεί στο πειραματικό μέρος της εργασίας, τείνει να αποδειχθεί ότι είναι η μοναδική τεχνική στην επιλογή διαδρομών μέσα στην κυκλοφορία, που είναι πραγματικά αντιπροσωπευτική για την περιοχή στην οποία πραγματοποιούνται.

### 3.4 Σημαντικά χαρακτηριστικά μεγέθη

Οι κύκλοι οδήγησης έχουν ξεκινήσει να διερευνώνται από τη δεκαετία του 1970, τα χαρακτηριστικά μεγέθη που αποτελούν σημαντικές παραμέτρους προς επεξεργασία για αντιπροσωπευτικούς κύκλους έχουν υποστεί μεγάλες αλλαγές.

Οι Kruse και Hulls το 1973, επέλεξαν μέσα από 6 διαδρομές την αντιπροσωπευτικότερη, με βάση το χρόνο σε στάση, τη μέση ταχύτητα και τον μέσο αριθμό στάσεων. Οι βασικότεροι παράμετροι από τους Kuhler και Karstens ήταν:<sup>[14] [15]</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-επιβράδυνσης
- το ποσοστό του χρόνου σε στάση
- το ποσοστό του χρόνου σε επιτάχυνση
- το ποσοστό του χρόνου σε επιβράδυνση
- το ποσοστό του χρόνου σε σταθερή ταχύτητα

Αρκετά αργότερα, το 1996, αρκετοί αναθεώρησαν <sup>[18]</sup>, επανεξέτασαν και εισήγαγαν νέες παραμέτρους. Σύμφωνα με τον Andre <sup>[19]</sup> οι πιο σημαντικές παράμετροι είναι : <sup>[16][17]</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 κίνηση
- ο μέσος όρος των εναλλαγών επιτάχυνσης και επιβράδυνσης
- η κατανομή της ταχύτητας
- η κατανομή της επιτάχυνσης
- η κατανομή της επιβράδυνσης

Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν κι άλλες παράμετροι όπως η ισχύς και παράμετροι όπως είναι οι διακυμάνσεις της ταχύτητας, η σχετική θετική επιτάχυνση (RPA) το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της επιτάχυνσης (IS: Internal Square), και το άθροισμα των τετραγώνων της επιτάχυνσης που σύμφωνα με την E. Ericsson κατέληξε μεταξύ άλλων να χρησιμοποιεί πρόγραμμα παραγοντικής ανάλυσης SPSS. <sup>[20][21][22]</sup>

### 3.5 Σχηματισμός Κύκλου Οδήγησης

Για την δημιουργία ενός κύκλου οδήγησης από το σύνολο των δεδομένων που έχουν καταγραφεί, δημιουργείται μια αλληλουχία προφίλ ταχύτητας-χρόνου, ορισμένης χρονικής διάρκειας, για την οποία τα στατιστικά στοιχεία πρέπει να προσεγγίζουν τα στατιστικά στοιχεία του συνόλου δεδομένων.

Ο κύκλος οδήγησης που θα σχηματιστεί έχει δυνατότητες να αποτελείται από: <sup>[17]</sup>

- Μια πραγματική διαδρομή
- Μια διαδρομή μετά την αφαίρεση επιλεγμένων τμημάτων
- Την σύνθεση μιας διαδρομής από διάφορες φάσεις οδήγησης, μετά από μια διαδικασία δοκιμής σφάλματος για την επιτυχία των αποδεκτών στατιστικών χαρακτηριστικών της. Οι κύκλοι που δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο ενσωματώνουν τα περισσότερα μεταβατικά χαρακτηριστικά της πραγματικής οδήγησης.
- Από ευθύγραμμα τμήματα (modal) που αντιπροσωπεύουν φάσεις σταθερής επιτάχυνσης, σταθερής ταχύτητας ή σταθεράς επιβράδυνσης των οποίων τιμές προσεγγίζουν τις μέσες τιμές που προκύπτουν από τα στατιστικά στοιχεία του συνόλου των δεδομένων.

Οι κύκλοι που δημιουργούνται για να περιγράψουν μια συγκεκριμένη δραστηριότητα με σκοπό, παραδείγματος χάριν, τον προσδιορισμό της κατανάλωσης καυσίμου ή των εκπεμπόμενων ρύπων, πρέπει να προσαρμόζονται συνεχώς στα νέα δεδομένα της κυκλοφορίας. Ο κύκλος οδήγησης μιας πόλης πρέπει συνεχώς να αναμορφώνεται, καθώς οι συνθήκες κυκλοφορίας στις πόλεις μεταβάλλονται. Δημιουργούνται νέοι δρόμοι, ο αριθμός των αυτοκινήτων αυξάνεται, η τεχνολογία των οχημάτων αλλάζει οπότε όλοι οι προηγούμενοι παράγοντες επηρεάζουν την οδήγηση στην πόλη αυτή.

Αντίθετα, για τους κύκλους οδήγησης που προορίζονται για την έγκριση κυκλοφορίας, δεν είναι απαραίτητη η συχνή αναθεώρηση. Αυτό διότι οι κύκλοι αυτοί δεν χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκπεμπόμενων ρύπων ή της κατανάλωσης καυσίμου που αφορούν μια περιοχή αλλά χρησιμοποιούνται ως βάση για το χαρακτηρισμό ενός αυτοκινήτου ως κατάλληλου ή μη νομοθετικά. <sup>[23]</sup>



Γενικά, οι κύκλοι οδήγησης πρέπει να αναμορφώνονται ώστε να ενσωματώνουν τα καινούργια προκύπτοντα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά. Αυτό έγινε ήδη στον ευρωπαϊκό κύκλο οδήγησης, με την πρόσθεση ενός υπεραστικού μέρους.

Η ψηφιακή τεχνολογία είχε επιτρέψει στα οχήματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης να εκπέμπουν χαμηλούς ρύπους μέχρι την ταχύτητα των 50 km/h (μέγιστη ταχύτητα του αστικού κύκλου οδήγησης) και έτσι να συμμορφώνονται με τη νομοθεσία. Όμως, για ταχύτητες μεγαλύτερες, η εκπομπή ρύπων αυξανόταν, δεδομένου ότι βασικός στόχος, πλέον, του κατασκευαστή ήταν η αύξηση των επιδόσεων του κινητήρα του αυτοκινήτου.  
[13]

Για αυτόν ακριβώς το λόγο είναι απαραίτητη η ανανέωση μεθοδολογίας, τεχνολογίας και τεχνικής ώστε και να γίνονται πιο ακριβείς καταγραφές και σε μεγαλύτερο εύρος παρατήρησης του κινητήρα.

## 3.6 Γνωστοί Κύκλοι Οδήγησης

### 3.6.1 Ευρωπαϊκή Ένωση <sup>[25]</sup>

#### 3.6.1.1 Κύκλοι ECE+EUDC

Ο κύκλος ECE+EUDC εκτελείται σε μία δυναμομετρική εξέδρα (Κεφάλαιο 3.8) και χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων από επιβατικά-ελαφρά οχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση [Οδηγία 90/C81/01 της ΕΟΚ].

Ο κύκλος περιλαμβάνει τέσσερα ECE τμήματα επαναλαμβανόμενα χωρίς διακοπή, που ακολουθούνται από ένα EUDC (Extra Urban Driving Cycle) τμήμα.<sup>[24]</sup>

Πριν από τη δοκιμή, το όχημα προβλέπεται να παραμείνει για τουλάχιστον 6 ώρες σε μια θερμοκρασία δοκιμής περίπου 20°C με 30°C.

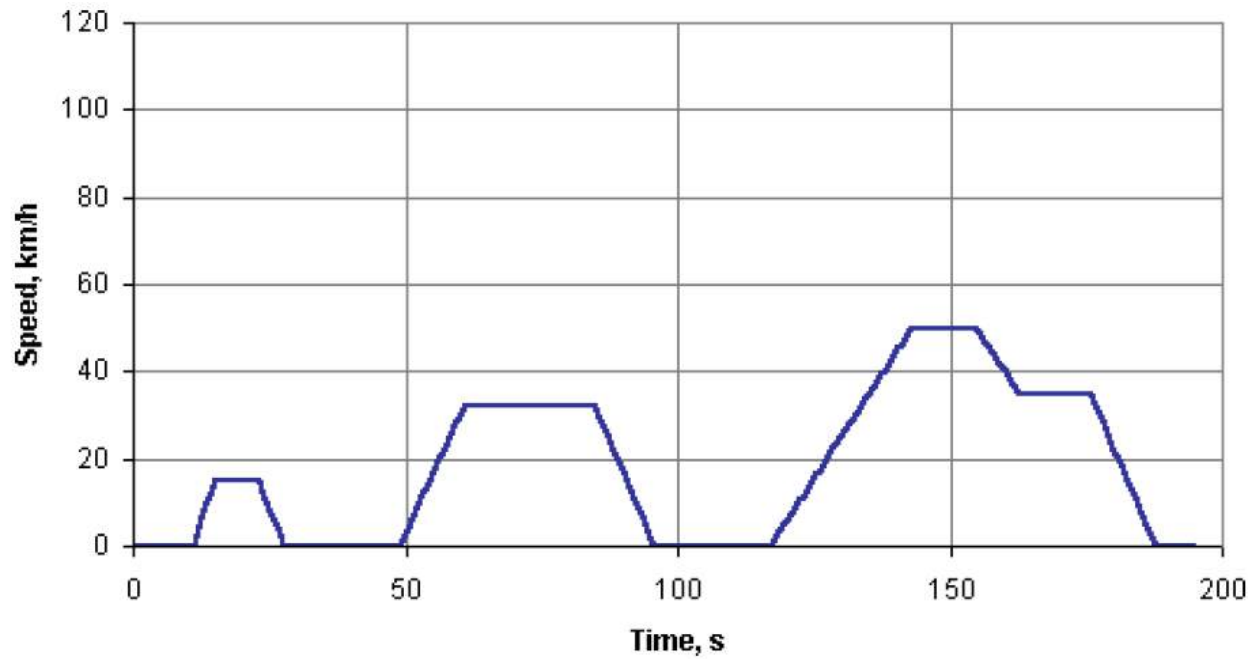
Έπειτα πραγματοποιείται η εκκίνηση του και μένει στο «ρελαντί» για 40 δευτερόλεπτα.

Από το 2000 και μετά, ο κινητήρας εκκινείται «κρύος» δηλαδή η περίοδος κατά την οποία το όχημα είναι στο «ρελαντί» καταργείται, οπότε η δειγματοληψία των εκπομπών αρχίζει αμέσως. Αυτή η τροποποιημένη διαδικασία ψυχρής εκκίνησης αναφέρεται επίσης ως **NEDC** (New European Driving Cycle).

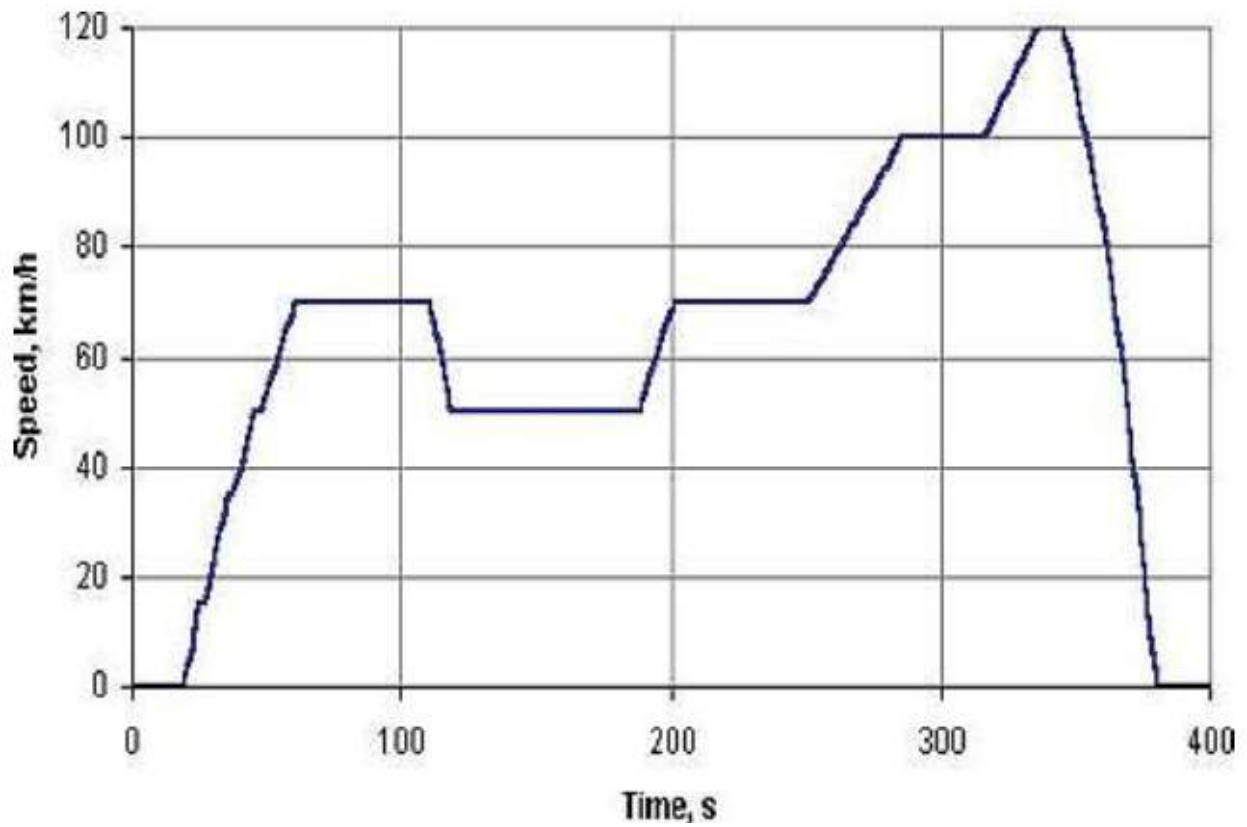
Οι εκπομπές λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου σύμφωνα με τη μέθοδο «Σταθερών Όγκων» (Constant Volume Sampling), αναλύονται, και στη συνέχεια εκφράζονται σε g/km για κάθε έναν από τους μετρούμενους ρύπους.

Ο ECE είναι ένας αστικός κύκλος, επίσης γνωστός και ως UDC (Urban Driving Cycle). Επινοήθηκε για να αντιπροσωπεύσει τις συνθήκες οδήγησης σε πόλεις όπως το Παρίσι και τη Ρώμη. Χαρακτηρίζεται από χαμηλή ταχύτητα οδήγησης, χαμηλό φορτίο του κινητήρα, και χαμηλή θερμοκρασία των καυσαερίων.

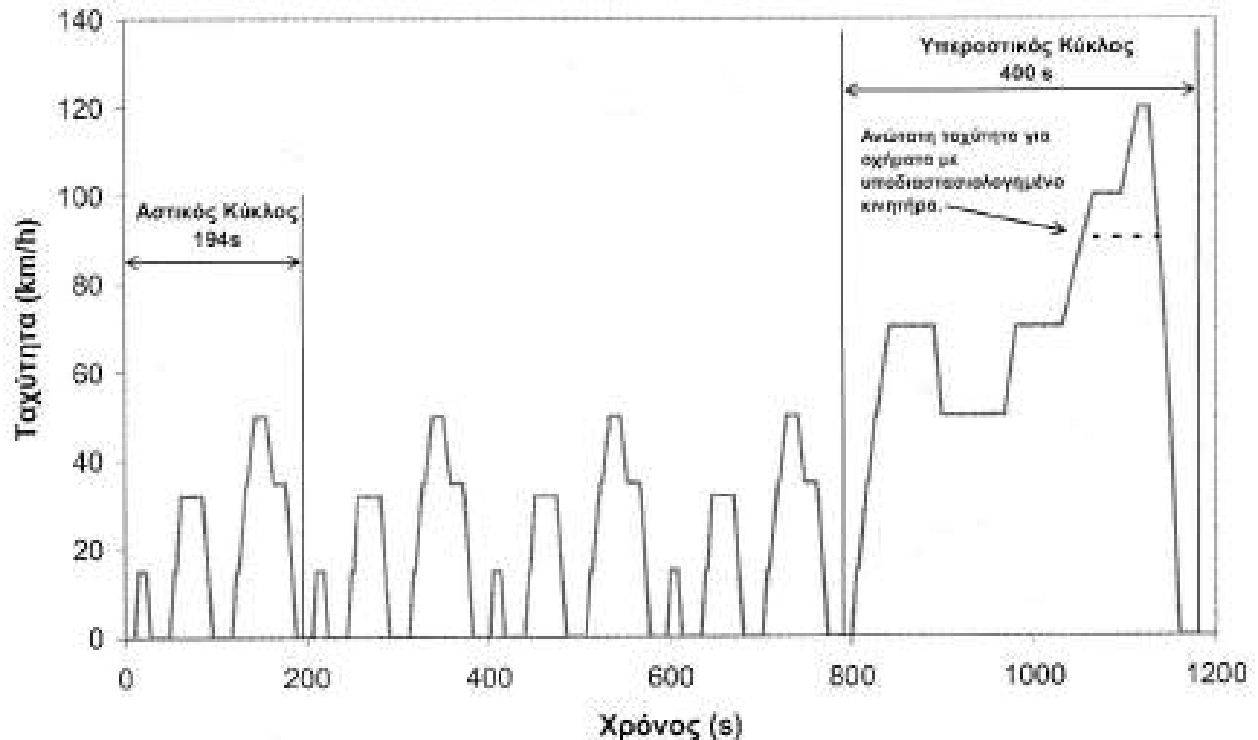
Το τμήμα EUDC (Extra Urban Driving Cycle) έχει προστεθεί μετά από τον τέταρτο ECE κύκλο για να χαρακτηρίσει τον πιο “επιθετικό” και με μεγαλύτερη ταχύτητα οδήγησης. Η μέγιστη ταχύτητα του κύκλου EUDC είναι 120 km/h. Επίσης έχει καθοριστεί ένας εναλλακτικός κύκλος EUDC για τα χαμηλής ισχύος οχήματα, με μέγιστη ταχύτητα που περιορίζεται σε 90 km/h.<sup>[25]</sup>



Διάγραμμα 3.6.1 Ο κύκλος ECE<sup>[26]</sup>



Διάγραμμα 3.6.2 Ο κύκλος πόλης EUUDC<sup>[27]</sup>



**Διάγραμμα 3.6.3** Ο Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης (NEDC)

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει μια περίληψη των παραμέτρων για τους κύκλους πόλης ECE, EUDC και NEDC.

| Χαρακτηριστικά         | Μονάδα | ECE 15            | EUDC     | NEDC  |
|------------------------|--------|-------------------|----------|-------|
| Απόσταση               | Km     | 4×1,013=4,052     | 6.955    | 11007 |
| Χρονική Διάρκεια       | s      | 4×195=780         | 400      | 1180  |
| Μέση Ταχύτητα          | km/h   | 18,7 (με στάσεις) | 62.6     | 33,6  |
| Μέγιστη Ταχύτητα (LPV) | km/h   | 50                | 120 (90) | 120   |

**Πίνακας 3.6.1:** Διαφορά παραμέτρων για τους κύκλους πόλης ECE, EUDC και NEDC

[28]

### 3.6.1.2 Κύκλος οδήγησης Artemis (CADC)

Ο Κύκλος οδήγησης Artemis βασίζεται στη στατιστική ανάλυση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων στα Ευρωπαϊκά πρότυπα του real world.

Οι κύκλοι περιλαμβάνουν τρία διαφορετικά πεδία οδήγησης.

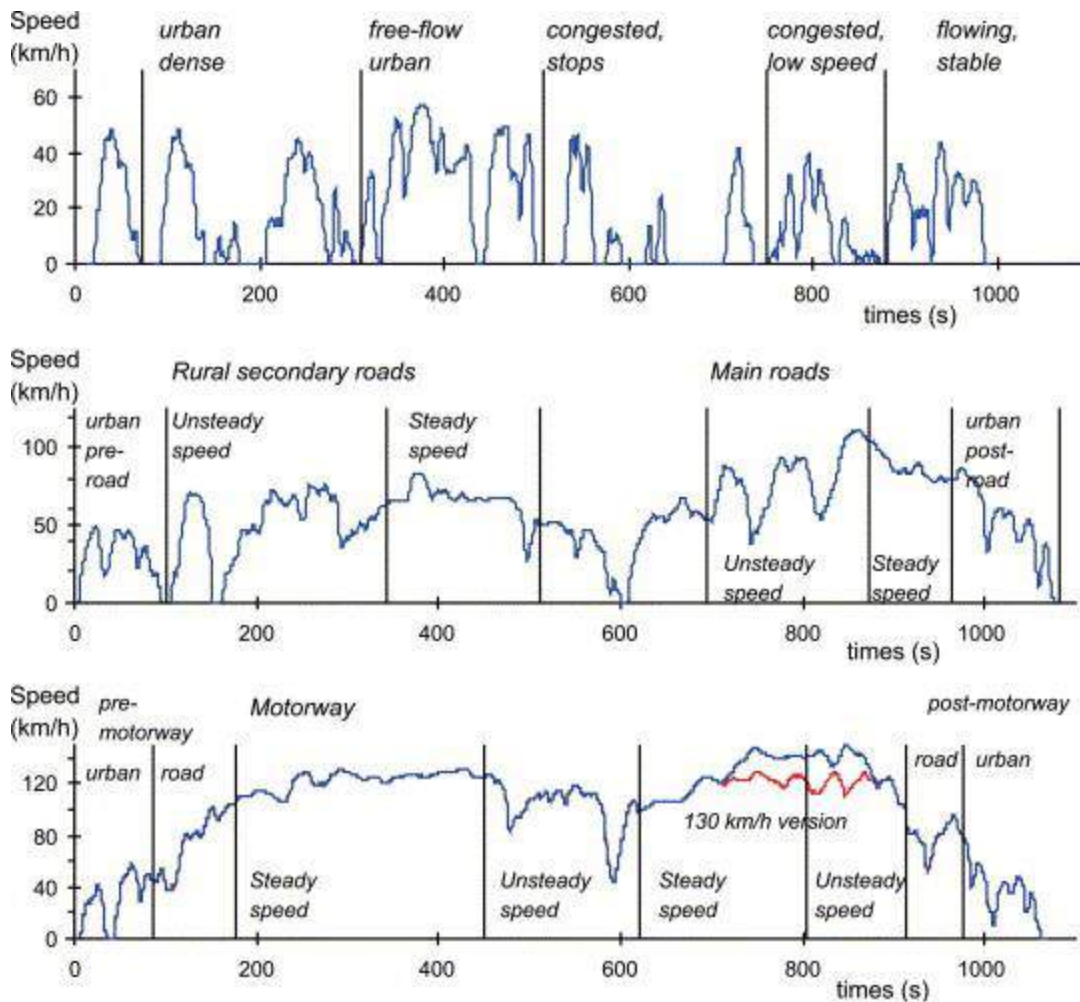
- α) σε αστικό δρόμο
- β) σε αγροτικό δρόμο
- γ) σε αυτοκινητόδρομο

Το τρίτο στάδιο του αυτοκινητόδρομου χωρίζεται σε δύο επιμέρους στάδια, αυτό του αυτοκινητόδρομου με μέγιστη ταχύτητα τα 130 km/h, και σε αυτόν με μέγιστη ταχύτητα τα 150 km/h.<sup>[29]</sup> Χαρακτηριστικά του κύκλου οδήγησης Artemis παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Characteristics of Artemis Driving Cycles

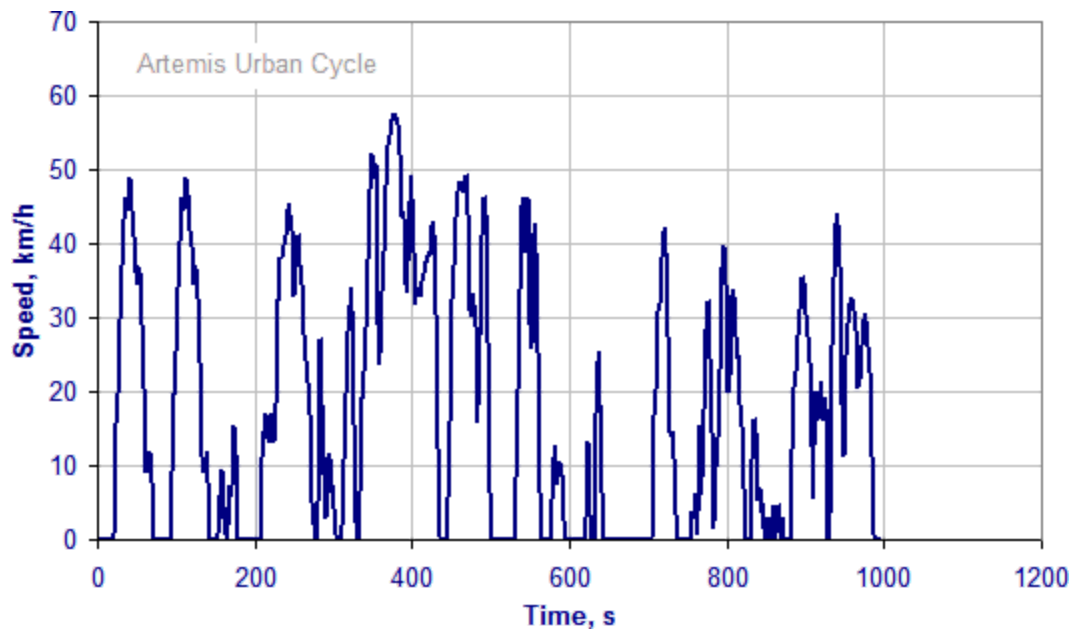
| Characteristic                      | Urban | Rural Road | Motorway 130 | Motorway 150 |
|-------------------------------------|-------|------------|--------------|--------------|
| Duration, s                         | 920   | 1081       | 1067         | 1067         |
| Distance, km                        | 4.47  | 17.27      | 28.74        | 29.55        |
| Average speed, km/h                 | 17.5  | 57.5       | 97.0         | 99.7         |
| Maximum speed, km/h                 | 58    | 112        | 132          | 150          |
| Speed distribution, %               |       |            |              |              |
| - Idle ( $S = 0$ km/h)              | 29    | 3          | 2            | 2            |
| - Low speed ( $0 < S \leq 50$ )     | 69    | 31         | 15           | 15           |
| - Medium speed ( $50 < S \leq 90$ ) | 2     | 59         | 13           | 13           |
| - High speed ( $S > 90$ )           | 0     | 7          | 70           | 70           |

**Πίνακας 3.6.2** Τα χαρακτηριστικά του κύκλου Artemis

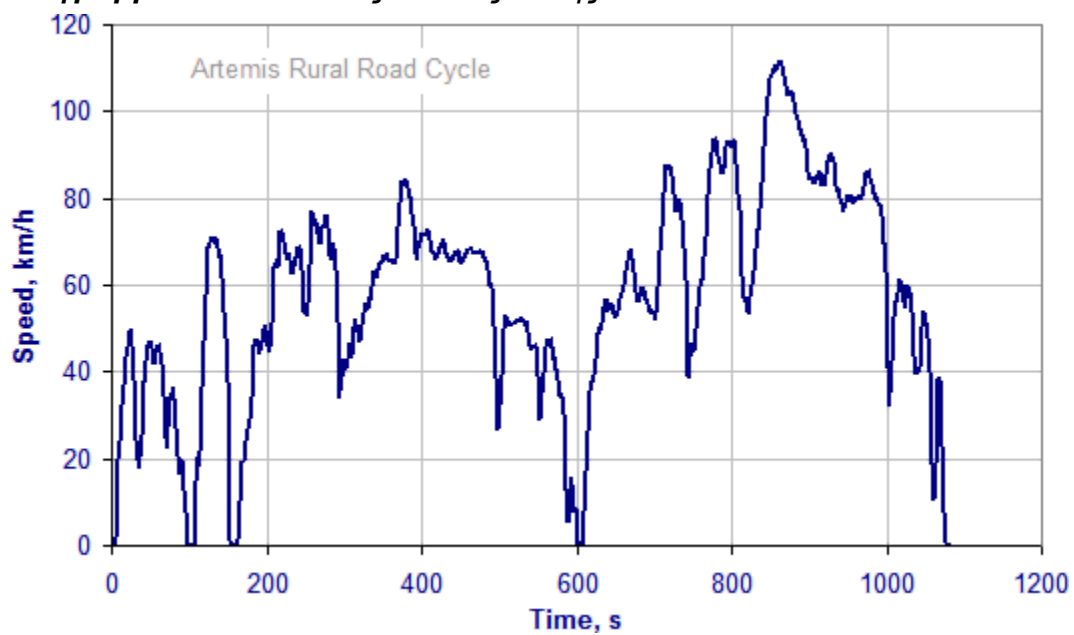


**Διάγραμμα 3.6.4** Οι κύκλοι πόλης ARTEMIS σε αστικούς, αγροτικούς δρόμους και αυτοκινητόδρομους και η δομή τους σε τυπικές οδηγικές συνθήκες <sup>[30]</sup> <sup>[31]</sup> .

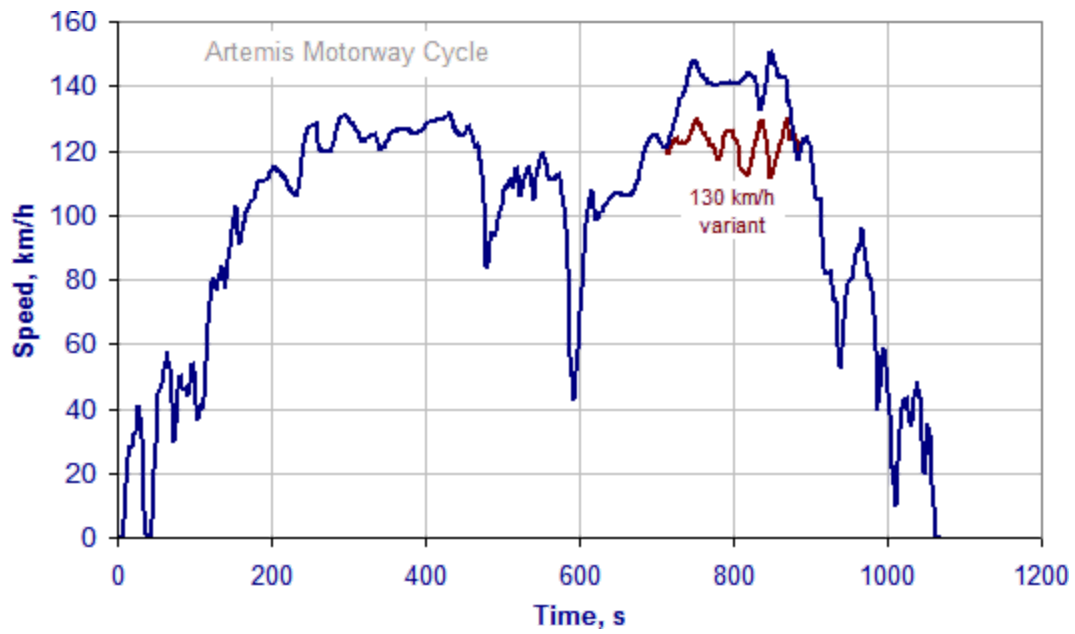
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι ταχύτητες των οχημάτων κατά τους κύκλους Artemis.



**Διάγραμμα 3.6.5** “Αστικός” κύκλος πόλης Artemis <sup>[32]</sup>



**Διάγραμμα 3.6.6** Ο κύκλος Artemis σε αγροτικό δρόμο <sup>[33]</sup>



**Διάγραμμα 3.6.7** Ο κύκλος Artemis για αυτοκινητόδρομο (130-150) <sup>[33]</sup>



### 3.6.1.3 Κύκλος ECE R49

Πρόκειται για κύκλο οδήγησης βαρέων οχημάτων. Αποτελείται από μια ακολουθία δεκατριών δοκιμών δυναμομέτρησης της μηχανής του οχήματος. Χρησιμοποιείτε για την πιστοποίηση εκπομπής ρύπων μηχανών βαρέων οχημάτων μέσω του σταδίου EURO2.<sup>[34]</sup>

ECE R49 and US 13-mode Cycles

| Mode No. | Speed                | Load, % | Weighting Factors |        |
|----------|----------------------|---------|-------------------|--------|
|          |                      |         | R49               | US     |
| 1        | idle                 | –       | 0.25/3            | 0.20/3 |
| 2        | maximum torque speed | 10      | 0.08              | 0.08   |
| 3        |                      | 25      | 0.08              | 0.08   |
| 4        |                      | 50      | 0.08              | 0.08   |
| 5        |                      | 75      | 0.08              | 0.08   |
| 6        |                      | 100     | 0.25              | 0.08   |
| 7        | idle                 | –       | 0.25/3            | 0.20/3 |
| 8        | rated power speed    | 100     | 0.10              | 0.08   |
| 9        |                      | 75      | 0.02              | 0.08   |
| 10       |                      | 50      | 0.02              | 0.08   |
| 11       |                      | 25      | 0.02              | 0.08   |
| 12       |                      | 10      | 0.02              | 0.08   |
| 13       | idle                 | –       | 0.25/3            | 0.20/3 |

**Πίνακας 3.6.3** Τα χαρακτηριστικά-παράμετροι κύκλου πόλης ECE R49 για βαρέα φορτηγά.

### 3.6.1.4 Κύκλος ESC (OICA)

Κύκλος οδήγησης για βαρέα φορτηγά και λεωφορεία. Η δοκιμή ESC χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των εκπομπών ρύπων βαρέων οχημάτων με μηχανές diesel μέσω του σταδίου EURO 3.

Ο ESC είναι και αυτός ένας κύκλος με 13 στάδια δοκιμής και αντικαθιστά τον ECE R49<sup>[35]</sup>.

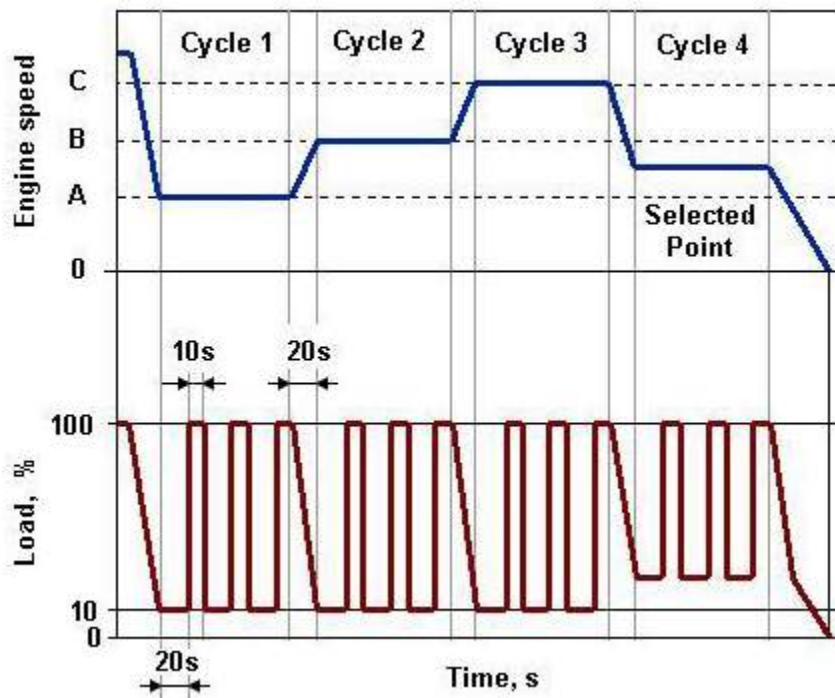
ESC Test Modes

| Mode | Engine Speed | % Load | Weight factor, % | Duration  |
|------|--------------|--------|------------------|-----------|
| 1    | Low idle     | 0      | 15               | 4 minutes |
| 2    | A            | 100    | 8                | 2 minutes |
| 3    | B            | 50     | 10               | 2 minutes |
| 4    | B            | 75     | 10               | 2 minutes |
| 5    | A            | 50     | 5                | 2 minutes |
| 6    | A            | 75     | 5                | 2 minutes |
| 7    | A            | 25     | 5                | 2 minutes |
| 8    | B            | 100    | 9                | 2 minutes |
| 9    | B            | 25     | 10               | 2 minutes |
| 10   | C            | 100    | 8                | 2 minutes |
| 11   | C            | 25     | 5                | 2 minutes |
| 12   | C            | 75     | 5                | 2 minutes |
| 13   | C            | 50     | 5                | 2 minutes |

**Πίνακας 3.6.4** Τα χαρακτηριστικά-παράμετροι του κύκλου πόλης ESC για βαρέα φορτηγά και λεωφορεία

### 3.6.1.5 Κύκλος ELR

Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αδιαφάνειας του καπνού κατά τη διάρκεια της πιστοποίησης της εκπομπής των ρύπων των βαρέων οχημάτων με μηχανές diesel μέσω του σταδίου EURO 3 [Οδηγία 1999/96/EC της 13ης Δεκεμβρίου 1999].<sup>[36]</sup> Η δοκιμή αποτελείται από τρεις φάσεις φόρτισης για κάθε μια από τις τρεις ταχύτητες του κινητήρα A (κύκλος 1), B (κύκλος 2) και Γ (κύκλος 3), ακολουθούμενη από τον κύκλο 4 με στροφές μεταξύ της ταχύτητας A και ταχύτητα C και φορτίο μεταξύ 10% και 100%, που επιλέγονται από το προσωπικό πιστοποίησης.



**Διάγραμμα 3.6.8** Το διάγραμμα της δοκιμής ELR

### 3.6.1.6 Κύκλος Πόλης ETC (European Transient Cycle)

Ο κύκλος πόλης ETC έχει εισαχθεί, μαζί με τον ESC (European Stationary Cycle), για την πιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων από βαρέως τύπου κινητήρες Diesel στην Ευρώπη ενώ η ισχύ του άρχισε το έτος 2000 (Οδηγία 1999/96/EC της 13ης Δεκεμβρίου 1999).<sup>[37]</sup>

Οι κύκλοι ESC και ETC αντικατέστησαν την παλαιότερη δοκιμή R-49.

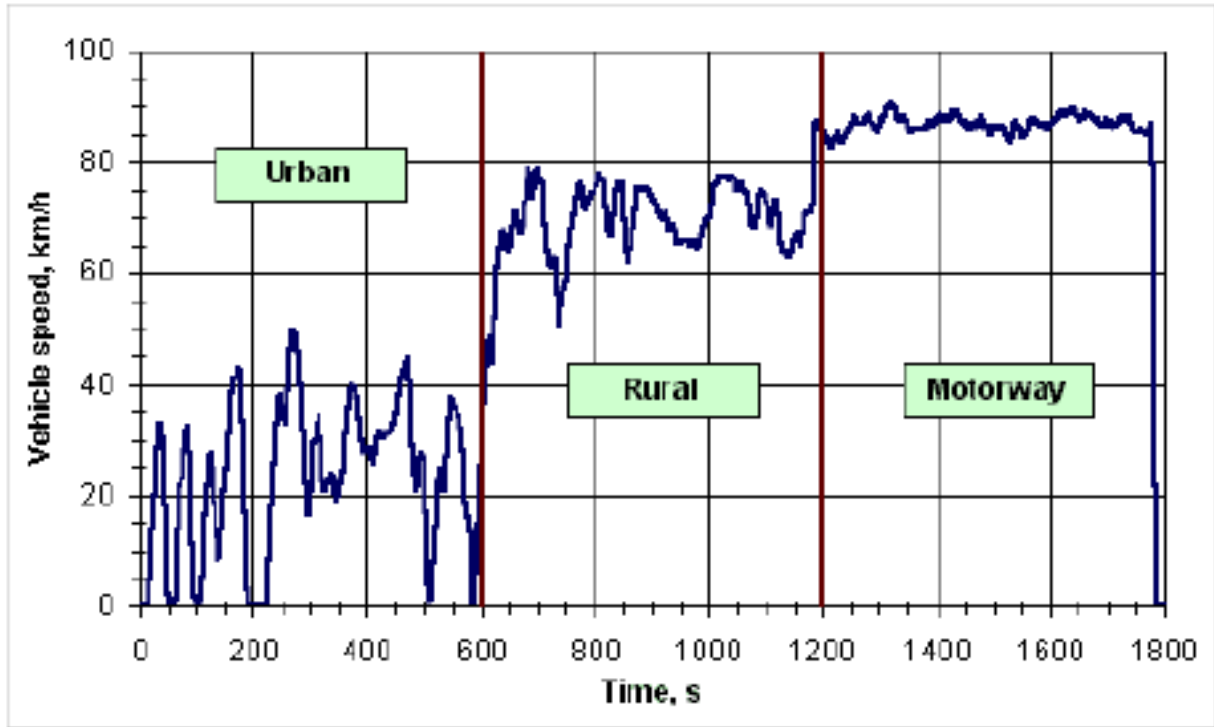
Ο κύκλος ETC έχει αναπτυχθεί από το ίδρυμα FIGE που εδρεύει στο Άαχεν της Γερμανίας, και βασίστηκε σε πραγματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε βαρέως τύπου οχήματα κατά τη διάρκεια της κυκλοφορίας τους (FIGE έκθεση 104 05 316, Ιανουάριος 1994).

Ο τελικός κύκλος ETC που εφαρμόστηκε είναι μια μικρότερη και ελαφρώς τροποποιημένη έκδοση της αρχικής πρότασης FIGE.

Οι διαφορετικές συνθήκες οδήγησης αντιπροσωπεύονται από τρία μέρη του κύκλου ETC, συμπεριλαμβανομένης της οδήγησης σε αστικό, επαρχιακό και εθνικό δίκτυο. Η διάρκεια ολόκληρου του κύκλου είναι 1800s. Η διάρκεια κάθε τμήματος είναι 600s.

Το πρώτο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση μέσα στη πόλη (Urban) που χαρακτηρίζεται από συχνές εκκινήσεις και στάσεις και μια μέγιστη ταχύτητα 50 km/h. Το δεύτερο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση σε επαρχιακό δίκτυο (Rural) αρχίζοντας από ένα απότομο τμήμα επιτάχυνσης. Η μέση ταχύτητα είναι περίπου 72 km/h. Το τρίτο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας (Motorway) με μέση ταχύτητα περίπου 88 km/h.

Με σκοπό την πιστοποίηση των κινητήρων, ο κύκλος ETC εκτελείται σε μία πένδη κινητήρων. Στο διάγραμμα 3.6.9 φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας του οχήματος συναρτήσει του χρόνου.



**Διάγραμμα 3.6.9** Ο κύκλος Πόλης ETC <sup>[37]</sup>

### 3.6.1.7 Κύκλος Braunschweig

Το πολυτεχνείο του Braunschweig ανέπτυξε ένα κύκλο οδήγησης που προσομοιώνει την μεταβατική κίνηση λόγω συχνών στάσεων των αστικών λεωφορείων. Τα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

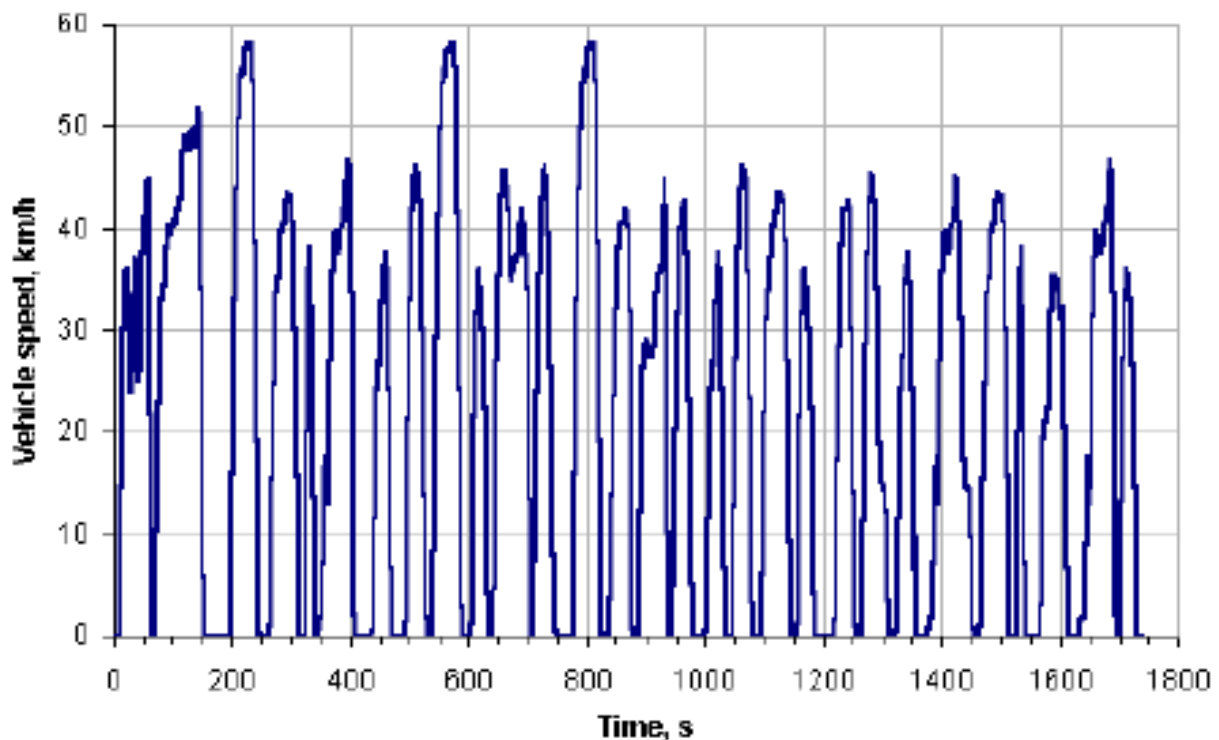
Διάρκεια: 1740 sec

Απόσταση: περίπου 11 km

Μέση ταχύτητα: 58.2 km/h

Ποσοστό χρόνου στο ρελαντί: 22%

Ο συγκεκριμένος κύκλος οδήγησης ήταν από τους ελάχιστους για τα βαρέα οχήματα στην Ευρώπη και έχει χρησιμοποιηθεί από διάφορα ερευνητικά προγράμματα, μέχρι την εμφάνιση του ETC που μείωσε το ρόλο του πρώτου στο ελάχιστο.<sup>[38]</sup>

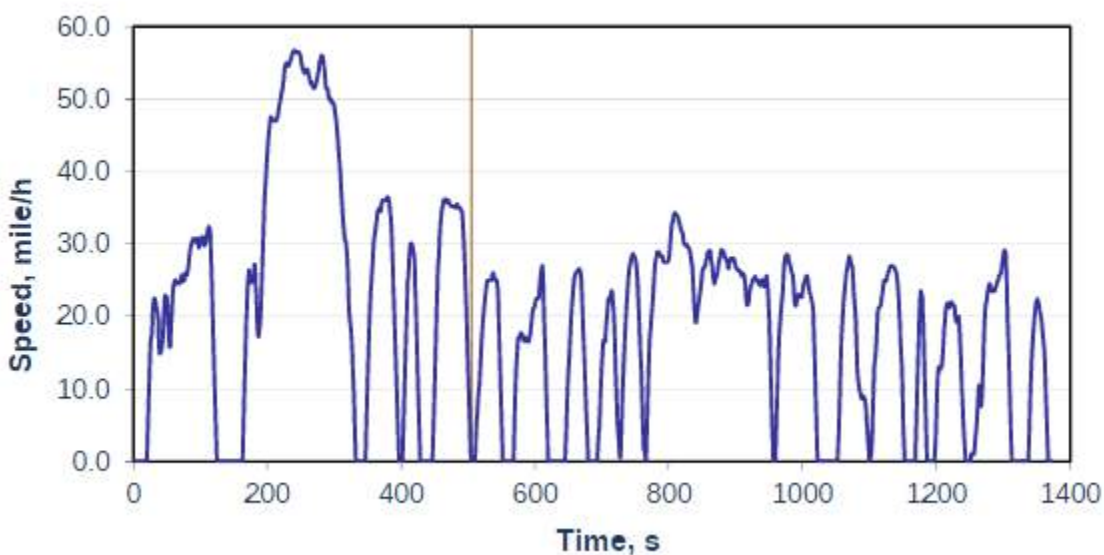


**Διάγραμμα 3.6.10** Ο κύκλος πόλης Braunschweig

## 3.6.2 Ηνωμένες Πολιτείες <sup>[25]</sup>

### 3.6.2.1 Κύκλος U.S FTP-72 <sup>[39]</sup>

Ο κύκλος FTP-72 ονομάζεται και UDDS ή LA-4 cycle. Είναι γνωστός και στην Σουηδία ως κύκλος A10 ή CVS και στην Αυστραλία ως κύκλος ADR 27. Ο κύκλος αυτός προσομοιώνει μια αστική διαδρομή 12,07 χιλιομέτρων, με συχνές στάσεις. Η μέγιστη ταχύτητα είναι 91,2 χλμ/ώρα και η μέση ταχύτητα είναι 31,5 km/h.



**Διάγραμμα 3.6.11** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου πόλης FTP-72.

Ο κύκλος αποτελείται από δύο φάσεις: (1) 505s (5,78 χιλιόμετρα σε 41,2 χιλιόμετρα μέση ταχύτητα) και (2) 864s. Η πρώτη φάση αρχίζει με την εκκίνηση εν ψυχρώ. Οι δύο φάσεις χωρίζονται από το σβήσιμο της μηχανής για 10 λεπτά. Στις ΗΠΑ εφαρμόζονται φορτία της τάξης των 0,43 και 0,57 για την πρώτη και δεύτερη φάση, αντίστοιχα. Στη Σουηδία και οι δύο φάσεις έχουν το ίδιο φορτίο. <sup>[40]</sup>

### 3.6.2.2 Κύκλος FTP-75 <sup>[41]</sup>

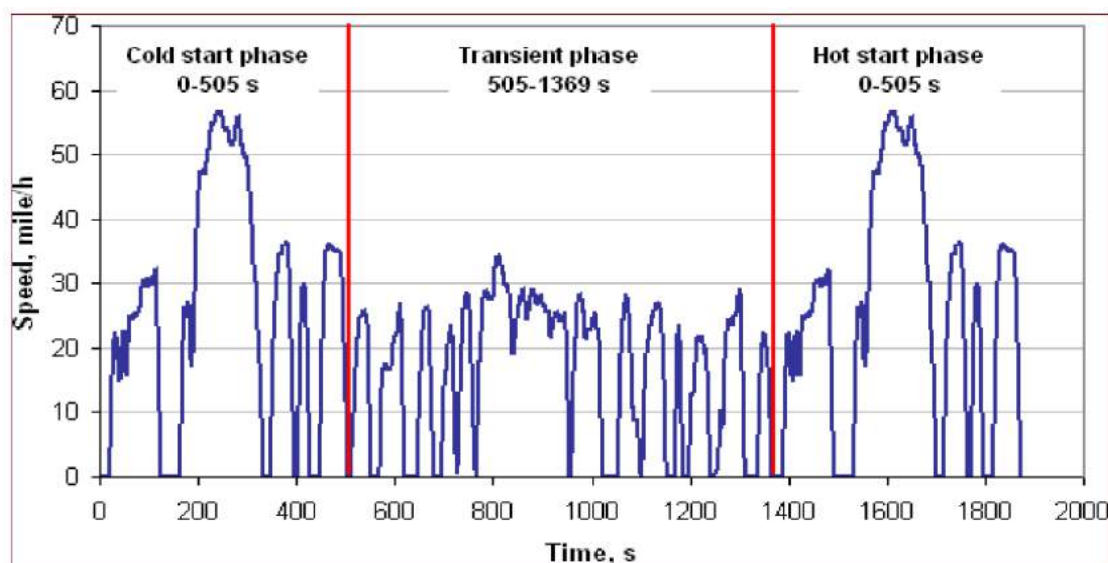
Ο κύκλος FTP-75 χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής για την έγκριση τύπου των ελαφρών φορτηγών και επιβατικών οχημάτων. Από το 2000 και μετά τα οχήματα δοκιμάζονται σε δύο συμπληρωματικές διαδικασίες (SFTP), οι οποίες σχεδιάστηκαν να καλύψουν τις ατέλειες του FTP-75 όσον αφορά α) την επιθετική οδήγηση υψηλών ταχυτήτων και β) την χρήση κλιματισμού. Ο κύκλος FTP-75 προέρχεται από τον κύκλο FTP-72 προσθέτοντας μια τρίτη φάση των 505s, ίδια με την πρώτη φάση του FTP-72 με την διαφορά ότι η εκκίνηση είναι με ζεστό κινητήρα. Η Τρίτη φάση ξεκινά αφού ο κινητήρας έχει απενεργοποιηθεί για 10 λεπτά.

Επομένως ο κύκλος FTP-75 αποτελείται από τα παρακάτω μέρη : <sup>[25]</sup>

- κρύα φάση εκκίνησης
- μεταβατική φάση
- ζεστή φάση εκκίνησης.

| Χαρακτηριστικά | Μονάδες     | Τιμή  |
|----------------|-------------|-------|
| Απόσταση       | Km          | 17.77 |
| Διάρκεια       | Seconds (s) | 1874  |
| Μέση Ταχύτητα  | Km / h      | 34.1  |

**Πίνακας 3.6.5** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης FTP-75



**Διάγραμμα 3.6.12** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου FTP-75.

Οι εκπομπές από κάθε φάση συλλέγονται σε χωριστές τσάντες τεφλόν, αναλύονται και εκφράζονται σε g / μίλι ή g / km. Οι συντελεστές στάθμισης είναι 0,43 για την εκκίνηση εν ψυχρώ, 1 για την μεταβατική φάση και 0,57 για το ζεστή φάση εκκίνησης. Ο κύκλος FTP-75 είναι γνωστός στην Αυστραλία ως ADR 37. <sup>[25]</sup>

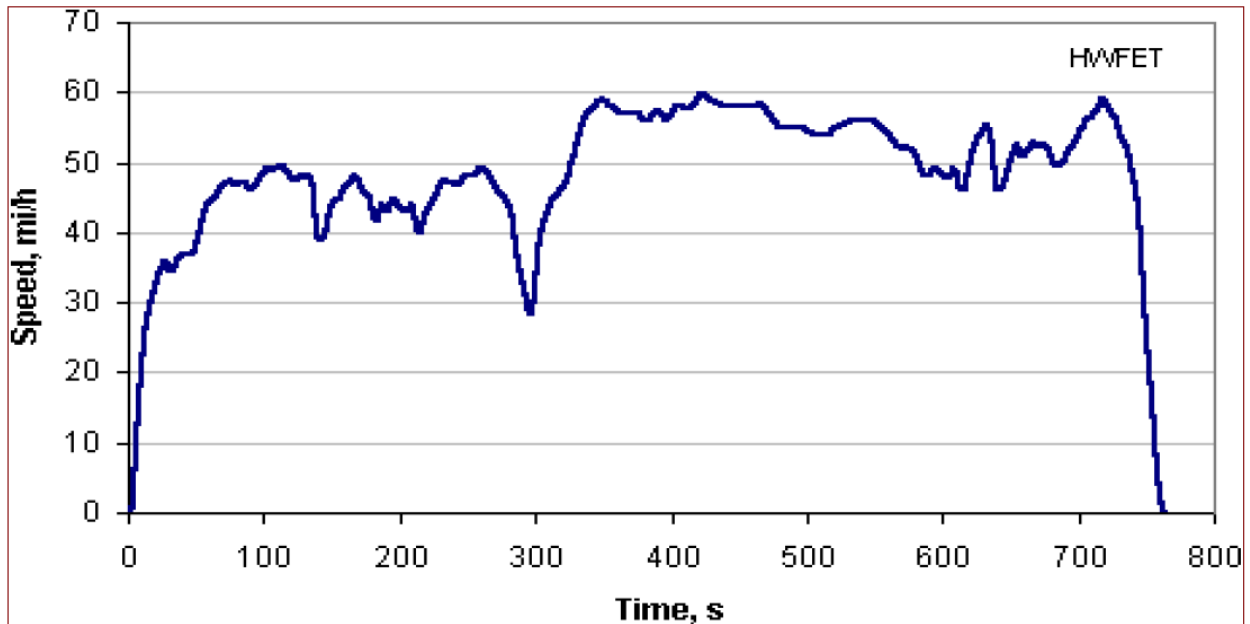


### 3.6.2.3 Κύκλος HWFET

Ο κύκλος HWFET εφαρμόζεται σε δυναμομετρική εξέδρα και εξελίχθηκε από το Αμερικανικό EPA για τον προσδιορισμό της οικονομίας στα ελαφρά οχήματα.<sup>[42]</sup>

| Χαρακτηριστικά | Μονάδες     | Τιμή  |
|----------------|-------------|-------|
| Απόσταση       | Km          | 16.45 |
| Διάρκεια       | Seconds (s) | 765   |
| Μέση Ταχύτητα  | Km / h      | 77.7  |

**Πίνακας 3.6.6** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης HWFET.



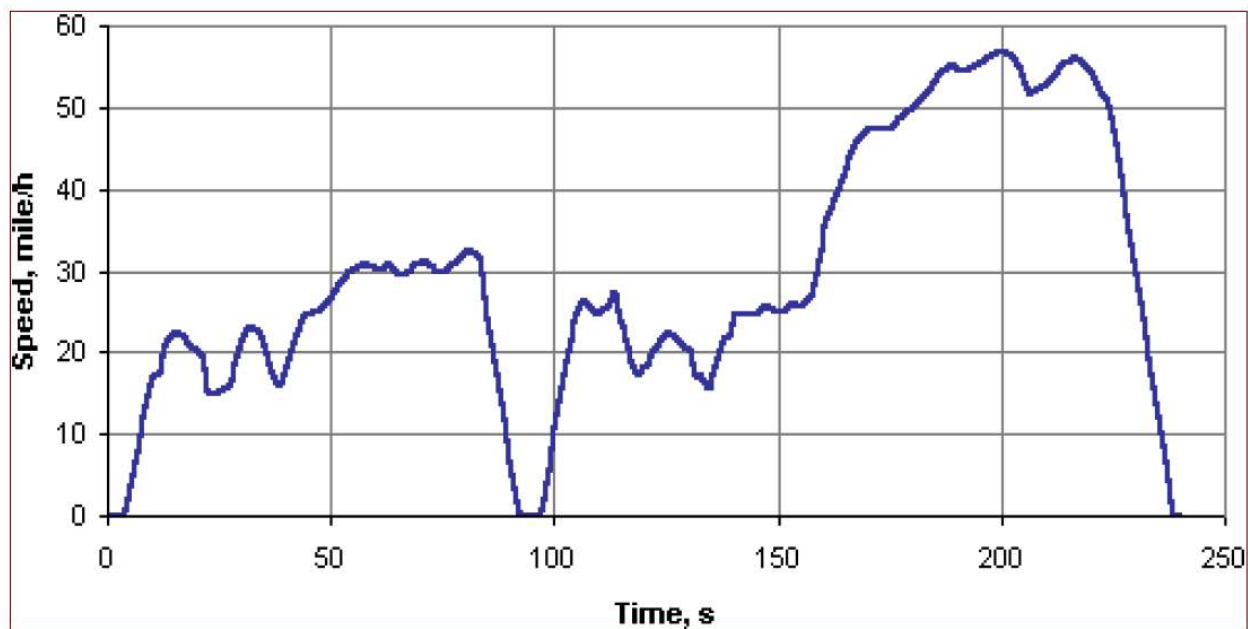
**Διάγραμμα 3.6.13** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου HWFET.

### 3.6.2.4 Κύκλος IM240 <sup>[43]</sup>

Ο κύκλος χρησιμοποιείται σε δυναμομετρική εξέδρα για έλεγχο καυσαερίων σε ελαφρά οχήματα κατά την συντήρησή τους. Τα προγράμματα αυτά εφαρμόζονται σε κάποιες από τις πολιτείες της Αμερικής.

| Χαρακτηριστικά   | Μονάδες     | Τιμή |
|------------------|-------------|------|
| Απόσταση         | Km          | 3.1  |
| Διάρκεια         | Seconds (s) | 240  |
| Μέση Ταχύτητα    | Km / h      | 47.3 |
| Μέγιστη Ταχύτητα | Km / h      | 91.2 |

**Πίνακας 3.6.7** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης IM240.



**Διάγραμμα 3.6.14** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου IM240.

### 3.6.2.5 Κύκλος LA92

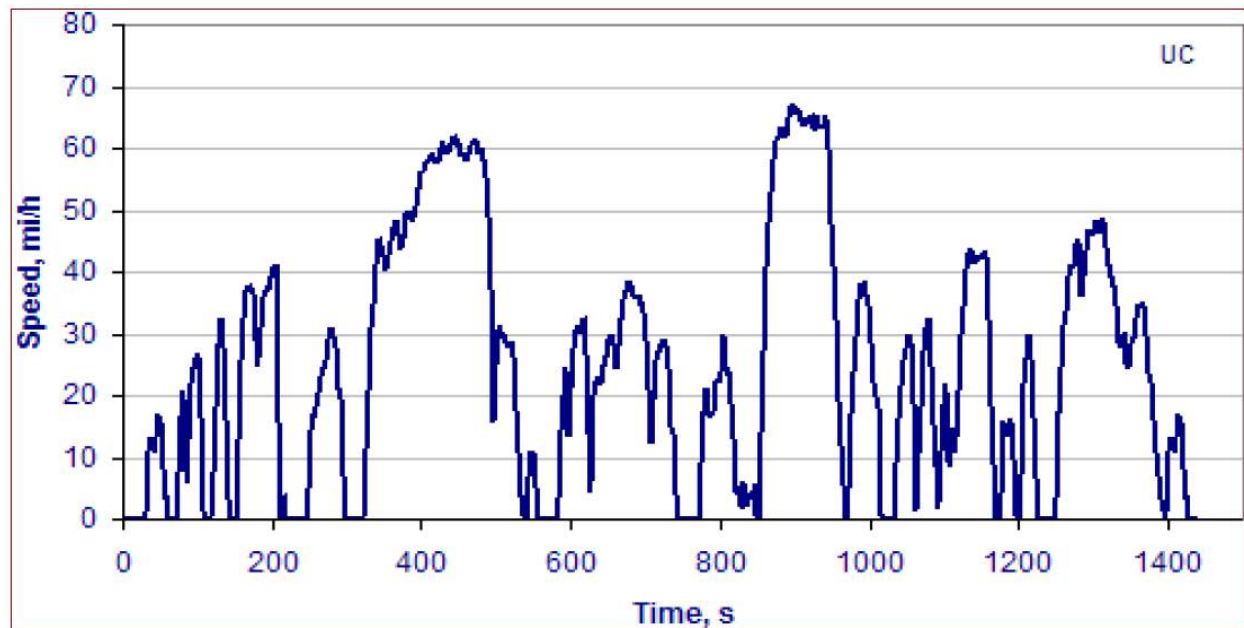
Ο κύκλος LA92 εφαρμόζεται σε δυναμομετρική εξέδρα για ελαφρά οχήματα και αναπτύχθηκε από το συμβούλιο ατμοσφαιρικών πόρων της Καλιφόρνια.

Τα χαρακτηριστικά του είναι πιο επιθετικά από τον κύκλο FTP-75, με υψηλότερες ταχύτητες κίνησης, μεγαλύτερες επιτάχυνσης, λιγότερες στάσεις ανά απόσταση και λιγότερο χρόνο στο ρελαντί. <sup>[25]</sup>

| Χαρακτηριστικά | Μονάδες     | Τιμή  |
|----------------|-------------|-------|
| Απόσταση       | Km          | 15.74 |
| Διάρκεια       | Seconds (s) | 14.35 |
| Μέση Ταχύτητα  | Km / h      | 39.61 |

**Πίνακας 3.6.8** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης LA92.

Ο κύκλος συνήθως αποκαλείται ως Unified LA92. Υπάρχει και ο «σύντομος LA92» ο οποίος περιλαμβάνει τα πρώτα 969s του Unified LA92.



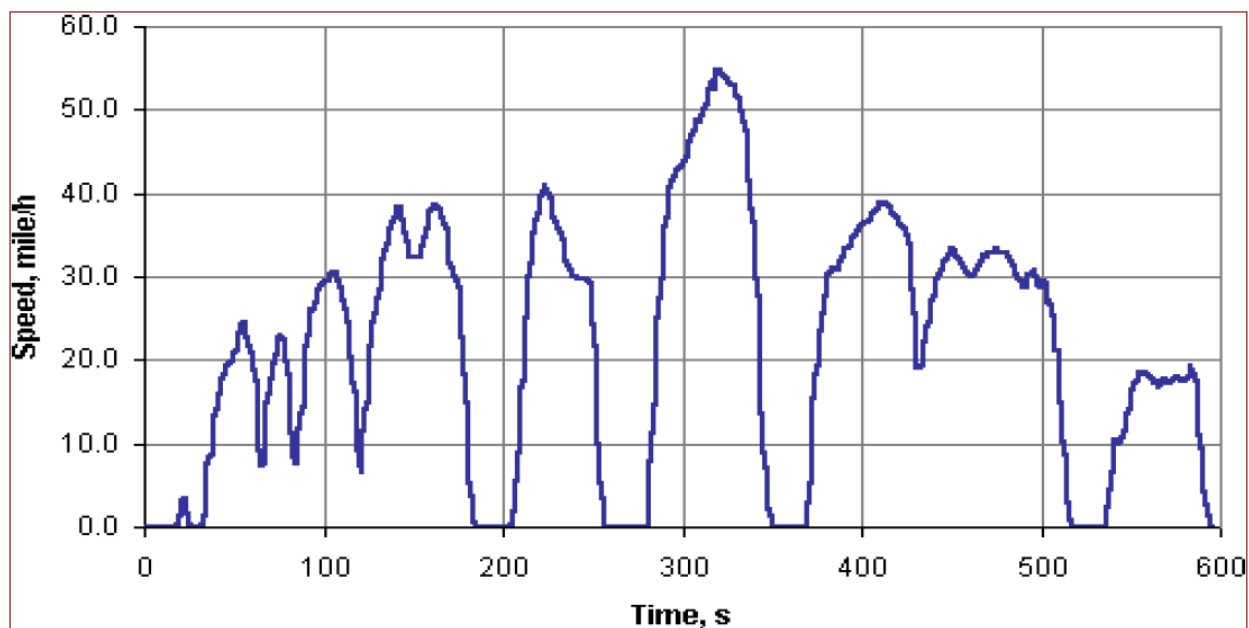
**Διάγραμμα 3.6.15** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου LA92.

### 3.6.2.6 Κύκλος SFTP SC03 <sup>[44]</sup>

Ο κύκλος SFTP SC03 είναι συμπληρωματικός και 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. Τα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν. <sup>[25]</sup>

| Χαρακτηριστικά   | Μονάδες     | Τιμή |
|------------------|-------------|------|
| Απόσταση         | Km          | 5.8  |
| Διάρκεια         | Seconds (s) | 596  |
| Μέση Ταχύτητα    | Km / h      | 34.8 |
| Μέγιστη Ταχύτητα | Km / h      | 88.2 |

**Πίνακας 3.6.9** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης SFTP SC03.



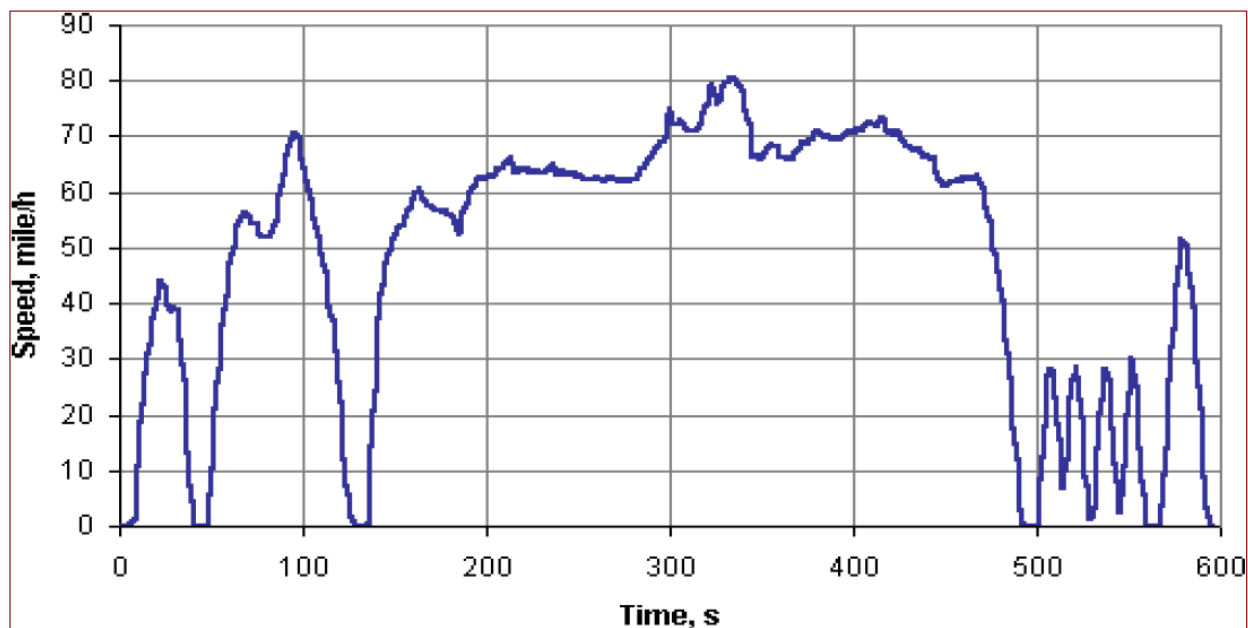
**Διάγραμμα 3.6.16** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου SFTP SC03.

### 3.6.2.7 Κύκλος SFTP US06 <sup>[45]</sup>

Ο κύκλος SFTP US06 αναπτύχθηκε 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 χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν. <sup>[25]</sup>

| Χαρακτηριστικά   | Μονάδες     | Τιμή  |
|------------------|-------------|-------|
| Απόσταση         | Km          | 12.8  |
| Διάρκεια         | Seconds (s) | 596   |
| Μέση Ταχύτητα    | Km / h      | 77.9  |
| Μέγιστη Ταχύτητα | Km / h      | 129.2 |

**Πίνακας 3.6.10** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης SFTP US06.



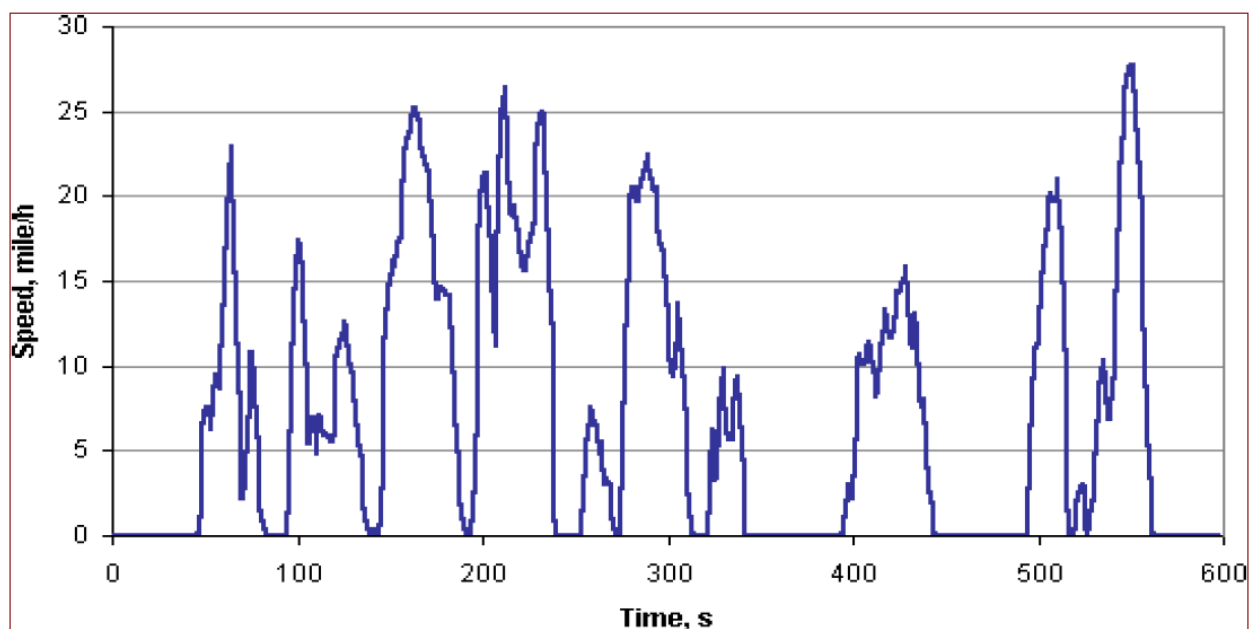
**Διάγραμμα 3.6.17** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου SFTP US06.

### 3.6.2.8 Κύκλος EPA NYCC <sup>[46]</sup>

Ο κύκλος EPA NYCC αναπτύχθηκε για μετρήσεις επιβατικών και ελαφρών φορτηγών στην δυναμομετρική εξέδρα. Η δοκιμή προσομοιώνει οδήγηση σε αστικό περιβάλλον με χαμηλές ταχύτητες και πολλές στάσεις. <sup>[25]</sup>

| Χαρακτηριστικά   | Μονάδες     | Τιμή |
|------------------|-------------|------|
| Απόσταση         | Km          | 1.89 |
| Διάρκεια         | Seconds (s) | 598  |
| Μέση Ταχύτητα    | Km / h      | 11.4 |
| Μέγιστη Ταχύτητα | Km / h      | 44.6 |

**Πίνακας 3.6.11** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης EPA NYCC.

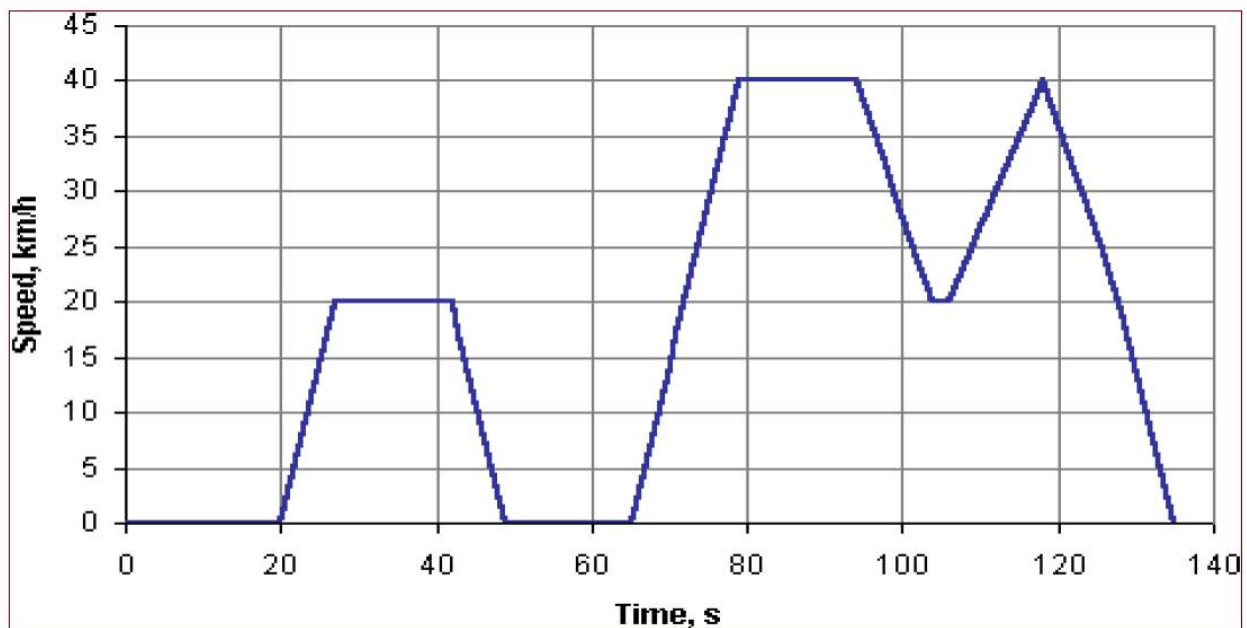


**Διάγραμμα 3.6.18** Διάγραμμα Αμερικάνικου κύκλου EPA NYCC

### 3.6.3 Ιαπωνία <sup>[25]</sup>

#### 3.6.3.1 Κύκλος οδήγησης 10-mode <sup>[47]</sup>

Ο κύκλος οδήγησης 10-mode χρησιμοποιούνταν στην Ιαπωνία πριν τον 10-15 mode, για την έγκριση τύπου των επιβατικών και ελαφρών φορτηγών. Αντιπροσωπεύει αστικές συνθήκες οδήγησης μόνο που οι εκπομπές μετρούνται για πέντε επαναλήψεις του ίδιου τμήματος το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά. <sup>[25]</sup>



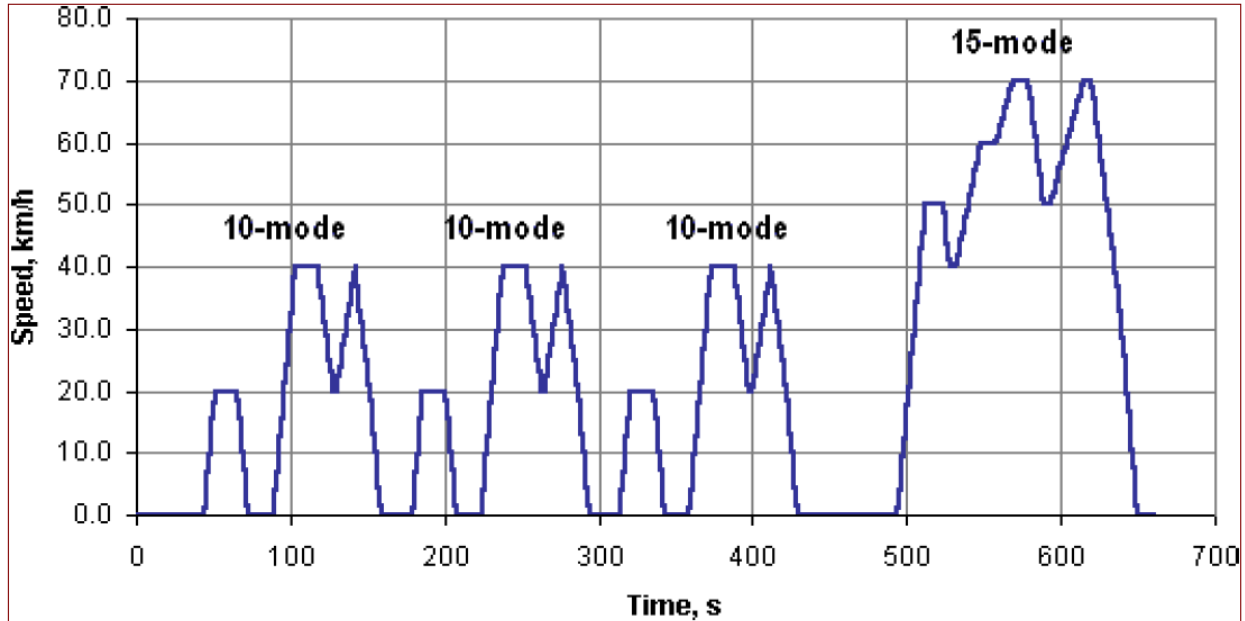
**Διάγραμμα 3.6.19** Διάγραμμα Ιαπωνικού κύκλου 10 – mode.

| Χαρακτηριστικά   | Μονάδες     | Τιμή |
|------------------|-------------|------|
| Απόσταση         | Km          | 0.66 |
| Διάρκεια         | Seconds (s) | 135  |
| Μέση Ταχύτητα    | Km / h      | 17.7 |
| Μέγιστη Ταχύτητα | Km / h      | 40   |

**Πίνακας 3.6.12** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης 10 mode.

### 3.6.3.2 Κύκλος οδήγησης 10-15 mode <sup>[48]</sup>

Ο συγκεκριμένος κύκλος οδήγησης χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία για την έγκριση τύπου όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση, σε επιβατικά και ελαφρά φορτηγά. Προέρχεται από τον 10-mode με την προσθήκη ενός τμήματος 15-mode με μέγιστη ταχύτητα τα 70 km/h. <sup>[25]</sup>



**Διάγραμμα 3.6.20** Διάγραμμα Ιαπωνικού κύκλου 10 – 15 mode.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Προθέρμανση του κινητήρα για 15 λεπτά στα 60 km/h, μέτρηση στο ρελαντί, 5 λεπτά προθέρμανση στα 60 km/h, ακολουθούμενο από ένα τμήμα 15-mode. Αμέσως μετά τρεις επαναλήψεις του κύκλου 10-mode και άλλη μια του 15-mode. Οι εκπομπές λαμβάνονται υπόψη στα τέσσερα τελευταία τμήματα (3X10-mode + 1X15-mode). 21

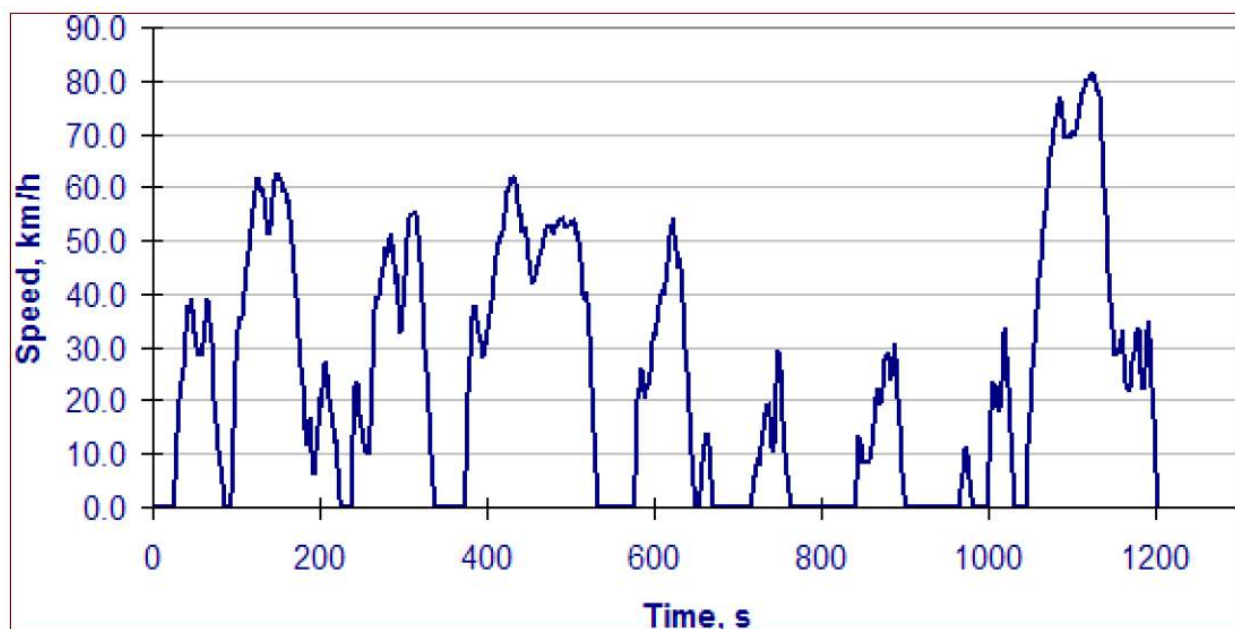
| Χαρακτηριστικά | Μονάδες     | Τιμή        |
|----------------|-------------|-------------|
| Απόσταση       | Km          | 4.16 – 6.34 |
| Διάρκεια       | Seconds (s) | 22.7 -25.6  |
| Μέση Ταχύτητα  | Km / h      | 660 - 892   |

**Πίνακας 3.6.13** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης 10 – 15 mode.



### 3.6.3.3 Κύκλος οδήγησης JC 08 <sup>[49]</sup>

Πρόκειται για ένα νέο αστικό κύκλο οδήγησης για τις μετρήσεις εκπομπής ρύπων και οικονομίας καυσίμων των επιβατικών και ελαφρών φορτηγών, ο οποίος έχει αντικαταστήσει πλήρως τον κύκλο 10-15 mode μέχρι το 2011.



**Διάγραμμα 3.6.21** Διάγραμμα Ιαπωνικού κύκλου JC 08.

| Χαρακτηριστικά   | Μονάδες     | Τιμή |
|------------------|-------------|------|
| Απόσταση         | Km          | 8.17 |
| Διάρκεια         | Seconds (s) | 1204 |
| Μέση Ταχύτητα    | Km / h      | 24.4 |
| Μέγιστη Ταχύτητα | Km / h      | 81.6 |
| Λόγος φορτίου    | ( % )       | 29.7 |

**Πίνακας 3.6.14** Χαρακτηριστικά κύκλου οδήγησης JC 08.

## 3.7 Κύκλος WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure)

### 3.7.1 Εισαγωγή στους παγκόσμια εναρμονισμένους κύκλους οδήγησης

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφει το WLTP, σκοπός του οποίου είναι η δημιουργία ενός κύκλου οδήγησης, ο οποίος θα αντιπροσωπεύει ρεαλιστικά τις συνθήκες δρόμου και θα μπορεί ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθεί για την πιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμου σε οχήματα.<sup>[23]</sup>

Αφορμή για την ιδέα του συγκεκριμένου έργου ήταν το γεγονός πως οι δοκιμές για τις επιδόσεις των οχημάτων, τις οποίες έχουν χρησιμοποιήσει κατά καιρούς οι κατασκευαστές για να παράγουν στοιχεία σχετικά με την κατανάλωση καυσίμων και την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, παρουσίασαν κενά, τα οποία δεν ανταποκρίνονται σε καθημερινές συνθήκες οδήγησης. Έτσι λοιπόν, έγινε προσπάθεια να τροποποιηθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα ο NEDC, με σκοπό τη διαμόρφωση μιας παγκόσμιας διαδικασίας δοκιμών ελαφρών οχημάτων (WLTP), όπως αυτή ορίζεται από τον ΟΗΕ.

Τα μέλη του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου διασφάλισαν ότι: «Η επιτροπή θα πρέπει να εκπονήσει μια εμπειρισταωμένη μελέτη συσχέτισης του κύκλου δοκιμών NEDC με το νέο WLTP, ώστε να εξασφαλιστεί η αντιπροσωπευτικότητά του στις πραγματικές συνθήκες οδήγησης». Ο στόχος εκπομπής CO<sub>2</sub> των αυτοκινήτων για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι της τάξης των 95 g για το 2020<sup>[51]</sup>.

Η διαδικασία αυτή θα αντικατοπτρίζει καλύτερα την συμπεριφορά του οδηγού, δεδομένου ότι ο νέος κύκλος δοκιμών είναι πιο διαφοροποιημένος με αυξημένη τελική ταχύτητα και μεγαλύτερη επιτάχυνση σε σύγκριση με την τρέχουσα διαδικασία και θα μειώσει τις δυνατότητες ευελιξίας, οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν χρησιμοποιηθεί από τους κατασκευαστές κατά τη μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Παράλληλα με τις εργασίες σχετικά με την WLTP, η Ευρωπαϊκή Ένωση προετοίμασε μια νέα διαδικασία δοκιμών, προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση της επίπτωσης του κινητού εξοπλισμού κλιματισμού στην κατανάλωση ενέργειας. Αναθεωρήθηκαν επίσης οι διαδικασίες δοκιμών για τα υβριδικά και τα καθαρά ηλεκτρικά οχήματα, με στόχο την ακριβέστερη μέτρηση των εκπομπών τους και της

εκ μέρους τους κατανάλωσης ενέργειας. Όλες αυτές οι δραστηριότητες θα επιτρέψουν την παροχή ακριβέστερων πληροφοριών στους νομοθέτες και τους καταναλωτές, και ως εκ τούτου θα προσφέρουν ένα πιο ισχυρό πλαίσιο για περαιτέρω ενέργειες προς την κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> και πιο αποδοτικών οχημάτων από ενεργειακή άποψη <sup>[51]</sup>.

Για ελαφρά επιβατικά οχήματα, εμπλέκονται πολλές δυναμομετρικές δοκιμές στην έγκριση τύπου για πιστοποίηση εκπομπών ρύπων. Τέτοιου είδους δοκιμαστικοί κύκλοι είναι: ο NEDC που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη, ο JC08 που εφαρμόζεται στην Ιαπωνία και ο UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) αντίστοιχα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Ο JC08 αντιπροσωπεύει την οδήγηση σε δρόμους με κυκλοφοριακή συμφόρηση, που περιέχει μεγάλες περιόδους του οχήματος σε ρελαντί και με συχνά εναλλασσόμενες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις <sup>[51]</sup>.

Ο καθένας από αυτούς τους κύκλους οδήγησης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, ο NEDC, ο οποίος αποτελείται από διάφορες περιόδους σταθερής κατάστασης, είναι σχετικά απλός στην οδήγηση και έτσι επαναλαμβανόμενος. Ωστόσο είναι γνωστό, ότι ο NEDC δεν αντιπροσωπεύει σωστά συνθήκες οδήγησης σε πραγματική κυκλοφορία και έτσι δεν αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση του καυσίμου.

Από την άλλη, ο JC08 αντιπροσωπεύει πραγματικές συνθήκες οδήγησης μόνο σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης, χωρίς να καλύπτει άλλες που χαρακτηρίζονται από σταθερότητα και ηρεμία <sup>[51]</sup>.

Επομένως, όταν ξεκίνησε το WLTP συμφωνήθηκε να σχεδιαστεί ένας νέος νομοθετικός κύκλος οδήγησης που θα προβλέπει ακριβέστερα τις εκπομπές ρύπων και την κατανάλωση καυσίμου κάτω από πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Ο WLTC (worldwide harmonized light duty test cycle) προέρχεται από πραγματικά δεδομένα κίνησης που έχουν καταγραφεί σε πέντε διαφορετικές περιοχές: Ευρωπαϊκή Ένωση, ΗΠΑ, Ινδία, Κορέα και Ιαπωνία και καλύπτει ένα μεγάλο εύρος κατηγοριών οχημάτων (M1, N1, M2 οχήματα, διάφορους κυβισμούς κινητήρων, οχήματα με διαφορετικούς λόγους ισχύος προς μάζα) πάνω σε διάφορες συνθήκες οδήγησης (αστικό, υπεραστικό και αυτοκινητόδρομο).<sup>[23]</sup>

### 3.7.2 Περιορισμοί του κύκλου WLTP

Σκοπός του WLTP είναι η δημιουργία μιας διαδικασίας δοκιμής των οχημάτων, του οποίου οι συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της οδήγησης θα είναι όσο πιο κοντά γίνεται σε αυτά που εμφανίζονται στην πράξη. Ωστόσο, η διαδικασία για πιο αντιπροσωπευτικές συνθήκες οδήγησης μπορεί να οδηγήσει σύγκρουση με άλλες κύριες συνιστώσες.<sup>[23]</sup>

Υπάρχουν πολλοί περιορισμοί, για τους οποίους πρέπει να δοθεί προσοχή για την ανάπτυξη της διαδικασίας δοκιμής, όπως είναι η :<sup>[52]</sup>

- Επαναληψιμότητα  
Αν η δοκιμή επαναλαμβάνεται στις ίδιες συνθήκες και στο ίδιο εργαστήριο, τότε τα αποτελέσματα θα είναι σχεδόν ίδια, εντός μιας αποδεκτής απόκλισης. Αυτό σημαίνει πως όλες οι συνθήκες στην αρχή της δοκιμής θα πρέπει να είναι σωστά ορισμένες. Στην περίπτωση που είναι δύσκολο να ελεγχθεί ή να αντιπροσωπευθεί κάποια παράμετρος, τότε είναι αναγκαίο να διορθωθεί σε μία τιμή, που θα αναφέρεται είτε στην καλύτερη είτε στην χειρότερη περίπτωση, ενώ σε ρεαλιστικές συνθήκες θα βρίσκεται κάπου ανάμεσα. Έτσι λοιπόν, ένα ποσοστό της ικανότητας της δοκιμής να αντιπροσωπεύει πραγματικές συνθήκες οδήγησης θυσιάζεται για να αυξηθεί η επαναληψιμότητα του πειράματος.
- Αναπαραγωγικότητα  
Αν η δοκιμή επαναλαμβάνεται στις ίδιες συνθήκες, αλλά σε διαφορετικά εργαστήρια, τότε τα αποτελέσματα πρέπει να είναι παρόμοια, εντός μίας αποδεκτής απόκλισης. Όμως το γεγονός αυτό θέτει περιορισμούς σε συνθήκες δοκιμής και στην χρήση μετρητικών οργάνων. Για παράδειγμα, το επίπεδο θερμοκρασίας στην δοκιμή δεν μπορεί να επιλεγεί ιδιαίτερα χαμηλό, εφόσον υπάρχουν πολλά εργαστήρια σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
- Σχέση κόστους – αποδοτικότητας  
Ο στόχος της κάλυψης όλων των επιδράσεων των συνθηκών και των χαρακτηριστικών οδήγησης απαιτεί πολλές διαφορετικές δοκιμές, το οποίο έχει ως αντίκτυπο αυξημένο κόστος. Επιπρόσθετες δοκιμές μπορούν να δικαιολογηθούν μόνο σε περιπτώσεις που τροποποίηση των συνθηκών έχει σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα. Επομένως, ποσοστό της ικανότητας της δοκιμής να αντιπροσωπεύει πραγματικές συνθήκες οδήγησης θυσιάζεται για να μειώσει το αυξημένο κόστος.

Για παράδειγμα, η διάρκεια του κύκλου οδήγησης είναι μόλις 30 λεπτά, το οποίο είναι αρκετά δύσκολο να περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά οδήγησης.

- Πρακτικότητα

Μία δοκιμασία δοκιμής θα πρέπει να είναι εφικτή με έναν πρακτικό τρόπο, χωρίς να απαιτείται υπερβολική προσπάθεια από το προσωπικό ή από τον εξοπλισμό. Μια τέτοιου είδους περίπτωση θα ήταν αν χρειαζόταν να ζεσταθούν τα λάστιχα μέχρι ενός σημείου για να γίνει στην συνέχεια η δοκιμή. Ακόμη, τέτοιες απαιτήσεις θα έχουν επίδραση έμμεσα και σε άλλους περιορισμούς, όπως είναι η σχέση κόστους – αποδοτικότητας.

### 3.7.3 Κατηγορίες WLTP και χαρακτηριστικά <sup>[50]</sup>

Οι διαδικασίες του WLTP περιλαμβάνουν διάφορους κύκλους δοκιμών που εφαρμόζονται σε κατηγορίες οχημάτων με διαφορετική αναλογία ισχύος προς την μάζα (PMR).

Η παράμετρος PMR ορίζεται ως λόγος της ονομαστικής ισχύος ( W ) προς την μάζα του οχήματος ( kg ). Η μάζα του οχήματος σε αυτήν την περίπτωση σημαίνει “την μάζα χωρίς το φορτίο” δηλαδή η μάζα του οχήματος χωρίς τον οδηγό. Όπως αυτό ορίζεται στο πρότυπο ECE R83. Ωστόσο, οι κανονισμοί της Ε.Ε εμφανίζονται ασυμβίβαστοι με το GTR 15 και καθιστούν την μάζα αυτή ως “μάζα σε κατάσταση λειτουργίας η οποία περιλαμβάνει τον οδηγό και είναι 75kg υψηλότερη.” <sup>[53]</sup>

Υπολογισμός αναλογίας ισχύος προς την μάζα ( RMR ) :

$$PMR\left(\frac{W}{Kg}\right) = \frac{\text{Ονομαστική ισχύς}(W)}{\text{Μάζα}(Kg)}$$

Ο ορισμός της κατηγορίας μπορεί επίσης να εξαρτάται από την μέγιστη ταχύτητα, η οποία είναι η μέγιστη ταχύτητα του οχήματος από τον κατασκευαστή και όχι ο περιορισμός χρήσης ή ο περιορισμός που βασίζεται στην ασφάλεια. Επιτρέπονται οι τροποποιήσεις κύκλων οδήγησης για την αντιμετώπιση προβλημάτων οδήγησης για οχήματα με αναλογίες κοντά στις οριακές γραμμές ή με μέγιστες ταχύτητες που περιορίζονται σε τιμές κάτω από τη μέγιστη ταχύτητα που απαιτείται από τον κύκλο. <sup>[53]</sup>

| Κατηγορία | PMR ( W / Kg ) | Μέγιστη Ταχύτητα ( km/h ) | Φάσεις Ταχυτήτων                                 |
|-----------|----------------|---------------------------|--|
| Class 3b  | PMR > 34       | v_max ≥ 120               | Χαμηλή 3 + Μεσαία 3-2 + Υψηλή 3-2 + πολύ Υψηλή 3 |
| Class 3a  |                | v_max < 120               | Χαμηλή 3 + Μεσαία 3-1 + Υψηλή 3-1 + πολύ Υψηλή 3 |
| Class 2   | 34 ≥ PMR > 22  |                           | Χαμηλή 2 + Μεσαία 2 + Υψηλή 2 + πολύ Υψηλή 2     |
| Class 1   | PMR ≤ 22       |                           | Χαμηλή 1 + Μεσαία 1 + Χαμηλή 1                   |

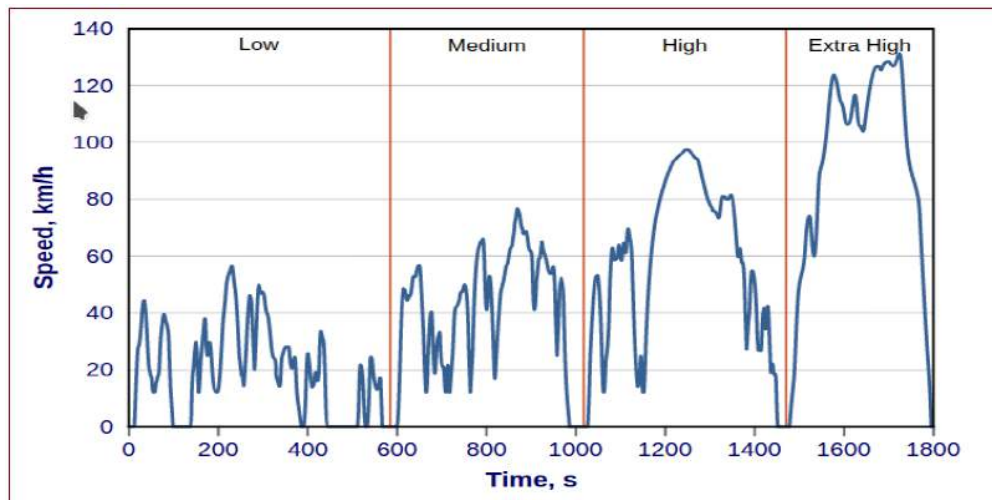
**Πίνακας 3.7.1** Κατηγορίες οχημάτων σύμφωνα με την αναλογία ισχύος προς την μάζα (PMR)

### 3.7.3.1 Κατηγορία WLTP - Class 3

Με την υψηλότερη αναλογία ισχύος προς την μάζα, η κλάση 3 αντιπροσωπεύει τα οχήματα που κινούνται στην Ευρώπη και την Ιαπωνία. Τα οχήματα κατηγορίας 3 χωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες σύμφωνα με την μέγιστη ταχύτητά τους, την κατηγορία 3a με  $v_{max} < 120$  km/h και την κατηγορία 3b με  $v_{max} \geq 120$  km/h. Οι επιλεγμένες παράμετροι των κύκλων της κλάσης 3 δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Επίσης παρουσιάζεται και το διάγραμμα για τις κλάσεις 3a και 3b.<sup>[53]</sup>

| Φάση                                 | Διάρκεια | Διάρκεια στάσης | Απόσταση | Ποσοστό στάσης | Μέγιστη Ταχύτητας | Μέση Ταχύτητα w/o stops | Μέση Ταχύτητα w/ stops | Επιβράδυνση      | Επιτάχυνση       |
|--------------------------------------|----------|-----------------|----------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------|------------------|
|                                      | sec      | sec             | m        | ( % )          | km/h              | km/h                    | km/h                   | m/s <sup>2</sup> | m/s <sup>2</sup> |
| Class 3a ( $v_{max} < 120$ km/h )    |          |                 |          |                |                   |                         |                        |                  |                  |
| Χαμηλή 3                             | 589      | 156             | 3095     | 26.5           | 56.5              | 25.7                    | 18.9                   | -1.47            | 1.47             |
| Μεσαία 3-2                           | 433      | 48              | 4756     | 11.1           | 76.6              | 44.5                    | 39.5                   | -1.49            | 1.57             |
| Υψηλή 3-2                            | 455      | 31              | 7162     | 6.8            | 97.4              | 60.8                    | 56.7                   | -1.49            | 1.58             |
| Πολύ Υψηλή 3                         | 323      | 7               | 8254     | 2.2            | 131.3             | 94                      | 92                     | -1.21            | 1.03             |
| Σύνολο                               | 1800     | 242             | 23266    |                |                   |                         |                        |                  |                  |
| Class 3b ( $v_{max} \geq 120$ km/h ) |          |                 |          |                |                   |                         |                        |                  |                  |
| Χαμηλή 3                             | 589      | 156             | 3095     | 26.5           | 56.5              | 25.7                    | 18.9                   | -1.47            | 1.47             |
| Μεσαία 3-2                           | 433      | 48              | 4721     | 11.1           | 76.6              | 44.1                    | 39.3                   | -1.47            | 1.28             |
| Υψηλή 3-2                            | 455      | 31              | 7124     | 6.8            | 97.4              | 60.5                    | 56.4                   | -1.49            | 1.58             |
| Πολύ Υψηλή 3                         | 323      | 7               | 8254     | 2.2            | 131.3             | 94                      | 92                     | -1.21            | 1.03             |

**Πίνακας 3.7.2** Χαρακτηριστικά κύκλου οχημάτων κλάσεων 3a και 3b του WLTP



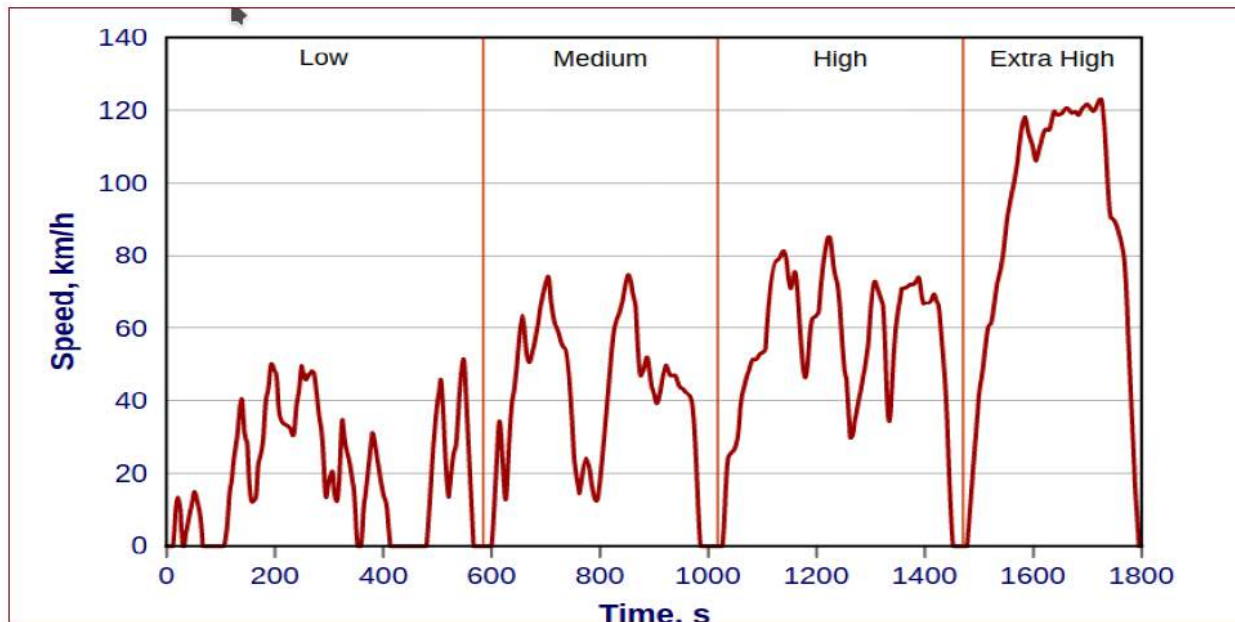
**Διάγραμμα 3.7.1** Διάγραμμα κύκλου WLTP για οχήματα κατηγορίας 3 a 3 b

### 3.7.3.2 Κατηγορία WLTP - Class 2

Η κλάση 2 είναι αντιπροσωπευτική των οχημάτων που κινούνται στην Ινδία και των οχημάτων χαμηλής ισχύος που κυκλοφορούν στην Ιαπωνία και την Ευρώπη. Επιλεγμένες παράμετροι του κύκλου WLTP, οχημάτων κλάσης 2, δίνονται στον παρακάτω πίνακα και το αντιπροσωπευτικό προφίλ στο παρακάτω διάγραμμα. <sup>[53]</sup>

| Φάση         | Διάρκεια | Διάρκεια στάσης | Απόσταση | Ποσοστό στάσης | Μέγιστη Ταχύτητας | Μέση Ταχύτητα w/o stops | Μέση Ταχύτητα w/ stops | Επιβράδυνση      | Επιτάχυνση       |
|--------------|----------|-----------------|----------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------|------------------|
|              | sec      | sec             | m        | ( % )          | km/h              | km/h                    | km/h                   | m/s <sup>2</sup> | m/s <sup>2</sup> |
| Χαμηλή 2     | 589      | 155             | 3101     | 26.3           | 51.4              | 25.7                    | 19                     | -0.94            | 0.9              |
| Μεσαία 2     | 433      | 48              | 4737     | 11.1           | 74.7              | 44.3                    | 39.4                   | -0.93            | 0.96             |
| Υψηλή 2      | 455      | 30              | 6792     | 6.6            | 85.2              | 57.5                    | 53.7                   | -1.11            | 0.85             |
| Πολύ Υψηλή 2 | 323      | 7               | 8019     | 2.2            | 123.1             | 91.4                    | 89.4                   | -1.06            | 0.65             |

**Πίνακας 3.7.3** Χαρακτηριστικά κύκλου οχημάτων κλάσης 2 του WLTP



**Διάγραμμα 3.7.2** Διάγραμμα κύκλου WLTP για οχήματα κλάσης 2

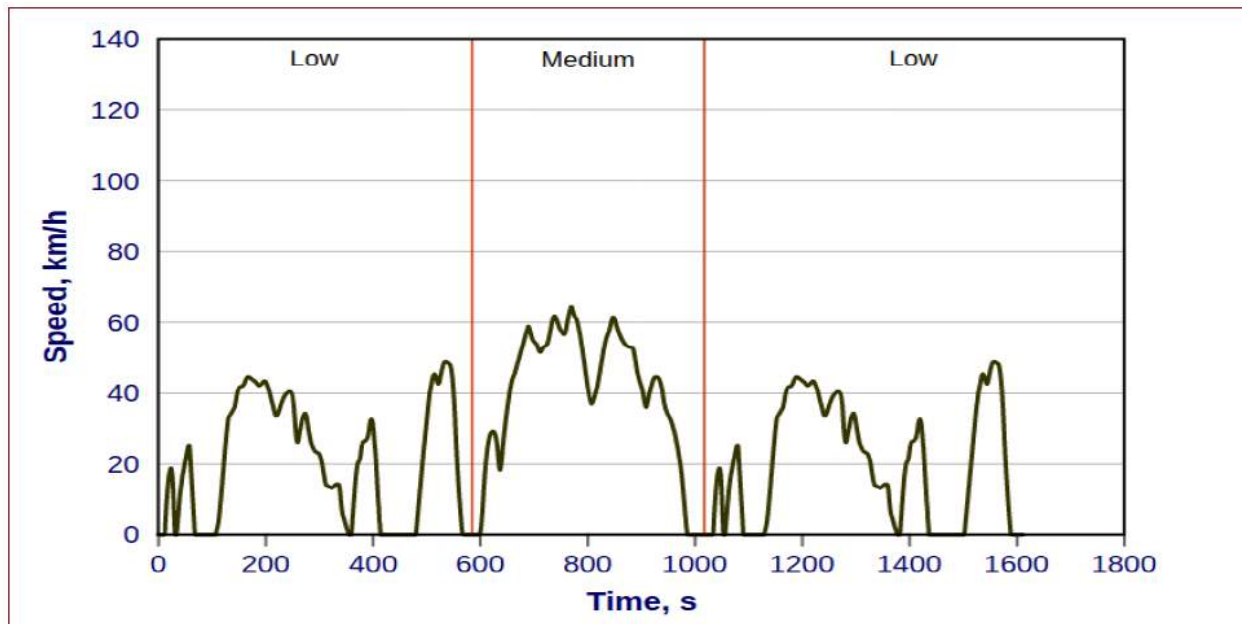


### 3.7.3.3 Κατηγορία WLTP - Class 1

Με την χαμηλότερη αναλογία ισχύος προς την μάζα, η κλάση 1 είναι αντιπροσωπευτική των οχημάτων που οδηγούνται στην Ινδία. Επιλεγμένες παράμετροι του κύκλου κλάσης 1 δίνονται στον παρακάτω πίνακα και το αντιπροσωπευτικό προφίλ του κύκλου στο παρακάτω διάγραμμα. <sup>[53]</sup>

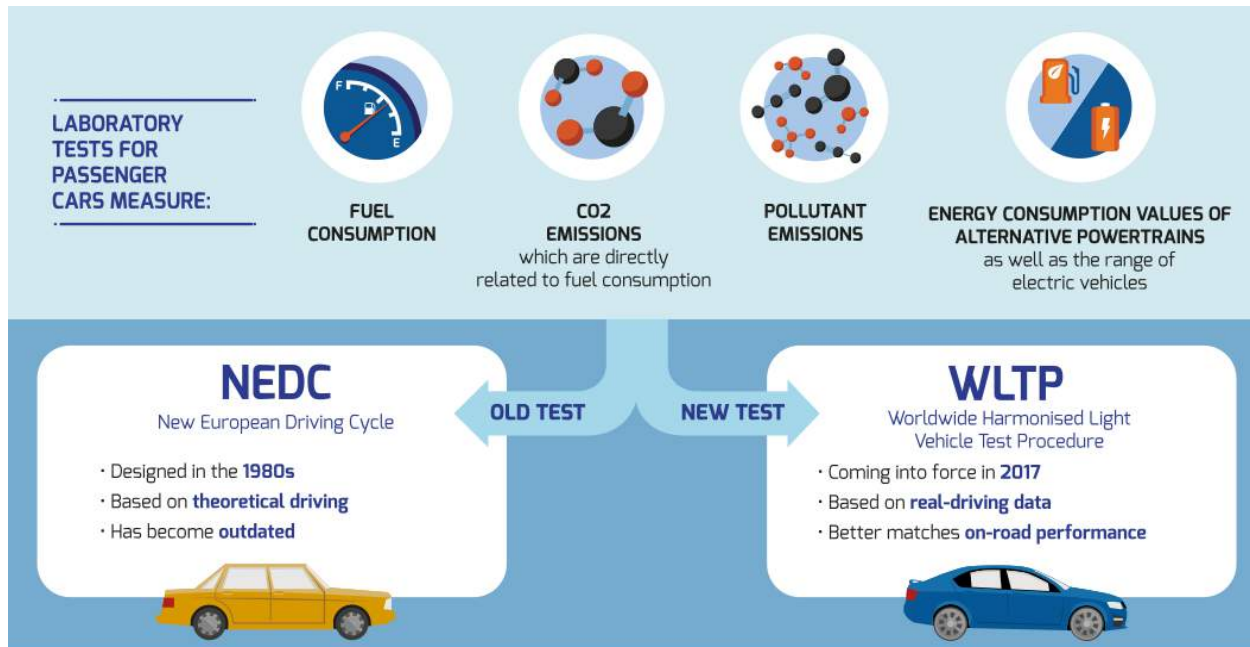
| Φάση     | Διάρκεια | Διάρκεια στάσης | Απόσταση | Ποσοστό στάσης | Μέγιστη Ταχύτητας | Μέση Ταχύτητα w/o stops | Μέση Ταχύτητα w/ stops | Επιβράδυνση      | Επιτάχυνση       |
|----------|----------|-----------------|----------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------|------------------|
|          | sec      | sec             | m        | ( % )          | km/h              | km/h                    | km/h                   | m/s <sup>2</sup> | m/s <sup>2</sup> |
| Χαμηλή 1 | 589      | 154             | 3330     | 26.1           | 49.1              | 27.6                    | 20.4                   | -1               | 0.76             |
| Μεσαία 1 | 433      | 48              | 4767     | 11.1           | 64.4              | 44.6                    | 39.6                   | -0.53            | 0.63             |
| Χαμηλή 1 | 154      | 3330            | 26.1     | 26.1           | 49.1              | 27.6                    | 20.4                   | -1               | 0.76             |

**Πίνακας 3.7.4** Χαρακτηριστικά κύκλου οχημάτων κλάσης 1 του WLTP



**Διάγραμμα 3.7.3** Διάγραμμα κύκλου WLTP για οχήματα κλάσης 1

### 3.7.4 Διαφορές και μετάβαση από NEDC σε WLTP

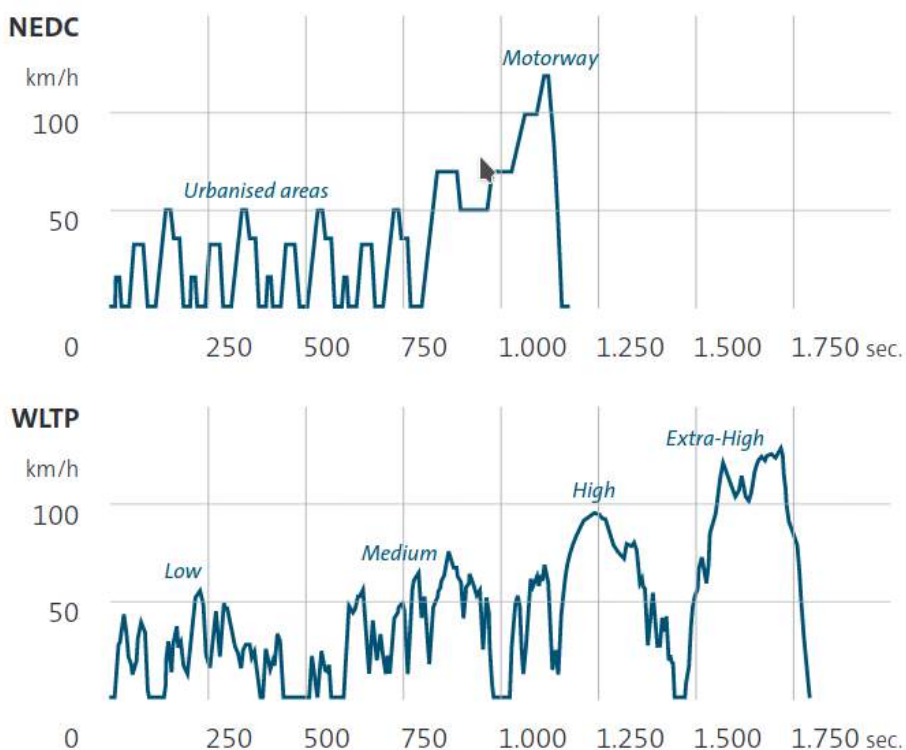


**Εικόνα 3.7.4** Σύγκριση του κύκλου NEDC με τον κύκλο WLTP <sup>[50]</sup>

Οι παράμετροι της δοκιμής κατά WLTP έχουν οριστεί ώστε να αντιστοιχούν περισσότερο σε πραγματικές συνθήκες. Πλέον περιλαμβάνουν: <sup>[55]</sup>

- Μεγαλύτερους χρόνους κύκλου (30 λεπτά έναντι 20 λεπτών)
- Μικρότερους χρόνους σταματήματος (13% έναντι 25%)
- Μεγαλύτερες αποστάσεις (περίπου 23 χλμ. έναντι 11 χλμ.)
- Υψηλότερες ταχύτητες (έως 130 χλμ./ώρα έναντι 120 χλμ./ώρα)
- Σχεδόν 50% υψηλότερες μέσες ταχύτητες
- Υψηλότερη μέγιστη επιτάχυνση και περισσότερες φάσεις επιτάχυνσης
- Περίπου 20-30% υψηλότερη ισχύς οδήγησης βάσει των πιο δυναμικών συνθηκών οδήγησης
- Πιο ρεαλιστικός υπολογισμός της αντίστασης κατά την οδήγησης για τις δοκιμές κατανάλωσης καυσίμου
- Λαμβάνεται υπ' όψιν ο προαιρετικός εξοπλισμός του οχήματος

Οι τιμές που προκύπτουν βάσει του κύκλου οδήγησης WLTP είναι συγκρίσιμες παγκοσμίως, ενώ οι τιμές βάσει του κύκλου NEDC ίσχυαν μόνο για την Ευρώπη.



**Διάγραμμα 3.7.4** Διάγραμμα σύγκρισης κύκλου NEDC με τον κύκλο WLTP

| Χαρακτηριστικά        | Μονάδες              | NEDC   | WLTP  |
|-----------------------|----------------------|--|---|
| Θερμοκρασία Εκκίνησης |                      | Ψυχρή  | Ψυχρή   |
| Διάρκεια              | ( sec )              | 1180   | 1800  |
| Ποσοστό στάσης        | ( % )                | 25   | 13  |
| Απόσταση              | ( km )               | 10.96  | 23.27   |
| Φάσεις                |                      | 2 φάσεις: Αστική Οδήγηση & Οδήγηση μακρυνων αποστάσεων | 4 φάσεις: Χαμηλή, Μεσαία, Υψηλή, πολύ Υψηλή Ταχύτητα. |
| Ταχύτητα              | ( km/h )             | Μέση: 34<br>Μέγιστη : 120                              | Μέση 47<br>Μέγιστη 131                                |
| Επιτάχυνση            | ( m/s <sup>2</sup> ) | Μέση : 0.50<br>Μέγιστη : 1.04                          | Μέση : 0.39<br>Μέγιστη 1.58                           |
| Πρόσθετα              |                      | Δεν περιλαμβάνονται                                    | Ειδικός εξοπλισμός μετρήσεων                          |

**Πίνακας 3.7.5** Χαρακτηριστικά σύγκρισης του κύκλου NEDC με τον κύκλο WLTP

Για την εφαρμογή του κύκλου WLTP, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επέβαλε διαφορετικών ειδών προθεσμίες για τα επιβατικά αυτοκίνητα και τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα.

- Η πρώτη προθεσμία για τα επιβατικά αυτοκίνητα ήταν στις 1 Σεπτεμβρίου του 2017. Από αυτή την ημερομηνία και μετά, η έγκριση τύπου απαιτεί τις τιμές της κατανάλωσης και τις τιμές των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα να προκύπτουν από τον WLTP.
- Την 1η Σεπτεμβρίου του 2018 ο κύκλος WLTP εφαρμόστηκε σε όλα τα νέα οχήματα όσο και για τα τρέχοντα μοντέλα που έλαβαν τύπου approval με βάση τον κύκλο NEDC.

Ως αποτέλεσμα οι κατασκευαστές έπρεπε να επισημάνουν αυτά τα οχήματα με τιμές από τον κύκλο WLTP. <sup>[54]</sup>

Όσον αφορά τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, οι προθεσμίες ήταν λίγο πιο γενναιόδωρες.

- Από την 1η Σεπτεμβρίου του 2017 το WLTP εφαρμόστηκε μόνο στα νέο-αναπτυσσόμενα οχήματα κατηγορίας N1 κλάσης I, δηλαδή τα μοντέλα με μάζα αναφοράς μικρότερη από 1305kg.
- Ενώ από την 1η Σεπτεμβρίου του 2018 ο κύκλος WLTP ισχύει για όλες τις νέες ταξινομήσεις στην κατηγορία N1 κλάσης I.

Η μάζα αναφοράς αποτελείται από την άδεια μάζα ενός οχήματος συν 75kg για τον οδηγό, 100% για τα υγρά λειτουργίας, 90% γέμισμα στο ντεπόζιτο και ακόμα 25kg.

- Από την 1η Σεπτεμβρίου του 2018 οι κατασκευαστές πρέπει να παράσχουν τιμές σύμφωνα με τον WLTP για τα νεοαποκτηθέντα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα κατηγορίας N1 και κλάσης II και III.
- Από την 1η Σεπτεμβρίου του 2019, αυτό ισχύει για όλα τα μοντέλα στον τομέα των επαγγελματικών οχημάτων. <sup>[54]</sup>

## 3.8 Η Δυναμομετρική Εξέδρα

Η δυναμομετρική εξέδρα πλαισίου (chassis dynamometer) μας επιτρέπει να δοκιμάσουμε έναν κινητήρα ενώ βρίσκεται μέσα στο όχημα, προσομοιώνοντας με ασφάλεια και ελεγχόμενες παραμέτρους, συνθήκες από την πραγματική οδήγηση.

Με τη χρήση της δυναμομετρικής εξέδρας μπορούμε να δοκιμάσουμε τα δυναμικά μέρη του οχήματος όπως είναι ο κινητήρας, το σύστημα μετάδοσης και τα διαφορικά, επίσης μπορούμε να δοκιμάσουμε αν τα υπόλοιπα στοιχεία του οχήματος, όπως είναι το σύστημα πέδησης, το σύστημα ψύξης καθώς και το ηλεκτρικό σύστημα λειτουργούν σωστά σε όλο το φάσμα της ισχύς και των στροφών. <sup>[56]</sup>

Η εξέδρα από μόνη της είναι ένα δυναμόμετρο όμως μας χρησιμεύει διότι μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις μέσα σε εργαστήριο, μαζί με τον επιπρόσθετο εξοπλισμό (όπως είναι το σύστημα μέτρησης καυσίμου, το σύστημα συλλογής αερίων, το σύστημα ανάκτησης και ελέγχου των δεδομένων (αισθητήρες, αναλυτές), το απαραίτητο λογισμικό και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, ώστε να βγάλουμε συμπεράσματα για την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων, τον εξαρχής στόχο του αντικειμένου.

Στην εξέδρα αυτή, επειδή χρησιμοποιούμε όλο το όχημα και όχι μόνο τη μηχανή, οδηγεί άνθρωπος, οπότε μπορούμε να προσομοιάσουμε την 'πραγματική' οδήγηση και να έχουμε ρεαλιστικές μετρήσεις και συμπεράσματα. <sup>[57]</sup>

Τα κύρια μέρη μιας δυναμομετρικής εξέδρας είναι:

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

## Η Διαδικασία μιας δοκιμής:

1. Αρχικά το όχημα προσδένεται με ιμάντες πάνω στη στην εξέδρα.
2. Τοποθετούνται οι εύκαμπτοι σωλήνες συλλογής καυσαερίων, καθώς και τα όργανα μέτρησης κατανάλωσης καυσίμου και ανάληψης δεδομένων από τη κεντρική μονάδα του οχήματος
3. Ο οδηγός παρακολουθεί το μόνιτορ (driver aid) το οποίο τον καθοδηγεί με διαγράμματα στην οθόνη, τα οποία τον καθοδηγούν στη ταχύτητα που πρέπει να ακολουθήσει καθώς και τις αλλαγές ταχυτήτων στο κιβώτιο.



### 3.9 Φορητά συστήματα μέτρησης εκπομπών PEMS (Portable Emissions Measurement System)

Η κάλυψη όλων των πραγματικών συνθηκών κίνησης σε μία δοκιμή είναι αδύνατη. Για το λόγο αυτό ακολουθούμε τυχαίες συνθήκες δοκιμών, οι οποίες δυνητικά καλύπτουν τις περισσότερες καταστάσεις που λαμβάνουν χώρα στο δρόμο. Επίσης, μέσω κανονικοποίησης μπορεί να επιτευχθεί μια ικανοποιητική στατιστική συσχέτιση μεταξύ μιας ξεχωριστής δοκιμής PEMS και των ρεαλιστικών συνθηκών κίνησης.

Οι Real Driving Emissions (RDE) δοκιμές πραγματοποιούνται με τη χρήση φορητών συστημάτων μέτρησης εκπομπών, στα αγγλικά PEMS, πάνω στο όχημα, σε τυχαίοποιημένες διαδρομές, με δυναμικές και οριακές συνθήκες.

Η ανάπτυξη της διαδικασίας RDE δοκιμών με τη χρήση PEMS ξεκίνησε το 2011. Έκτοτε έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι «κανονικοποίησης» των δυναμικών συνθηκών οδήγησης, όπως η μέθοδος δυναμικού διαχωρισμού βάσει ισχύος (power binning) με τη χρήση του εργαλείου CLEAR και η μέθοδος παραθύρων κινητού μέσου όρου (moving average windows) με το εργαλείο EMROAD. <sup>[58]</sup>

Βασικές προϋποθέσεις για τη διεξαγωγή των μετρήσεων είναι ο ορισμός των περιβαλλοντικών ορίων, των συνθηκών και των τεχνικών διαδικασιών για την εκτέλεση της δοκιμής. Προς το παρόν, ορισμένες εκπομπές, όπως οι εκπομπές κατά την ψυχρή εκκίνηση και τις μετεπεξεργασμένες αναγεννήσεις του συστήματος αποκλείονται από την αξιολόγηση RDE, ενώ πρόκειται να αντιμετωπιστούν εν καιρώ από ειδική διαδικασία.

Η αρχική έγκριση τύπου για την διαδικασία δοκιμής RDE ψηφίστηκε από την Τ.Ε.Μ.Ο (Τεχνική Επιτροπή Μηχανοκίνητων Οχημάτων) στις 19 Μαΐου, 2015. Από τις αρχές του Ιανουαρίου του 2016 ξεκίνησε η παρακολούθηση των εκπομπών NO<sub>x</sub> μέσω δοκιμών RDE, χωρίς να υπάρχουν ακόμη υποχρεωτικές απαιτήσεις. Ο σχεδιασμός περιέλαβε την έναρξη RDE δοκιμών από τον Σεπτέμβριο του 2017 για τον καθορισμό των NTE (Not-To-Exceed) ορίων (NO<sub>x</sub> και PN), ώστε να καθοριστούν τα νέα όρια εκπομπών όλων των καινούργιων οχημάτων.

### 3.9.1 Περιγραφή του PEMS

Η νομοθεσία, η οποία αφορά τις εκπομπές σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης για τα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ευρώπη, απαιτεί από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να πραγματοποιήσουν μετρήσεις στο δρόμο με φορητά συστήματα μέτρησης εκπομπών ούτως ώστε να είναι εναρμονισμένοι με τους καινούριους κανονισμούς RDE. Η δοκιμή με PEMS σε επιβατικά οχήματα απαιτεί περιορισμένου μεγέθους και βάρους συσκευές, που να είναι αρκετά συμπαγείς, ώστε να μπορούν να χωρέσουν και σε μικρότερα οχήματα και πρωτίστως να χαρακτηρίζονται από την εύκολη και γρήγορη εγκατάστασή τους.<sup>[59]</sup>

Μελλοντικά αναμένεται πως θα σχεδιαστεί μια πληθώρα συστημάτων για εφαρμογή επί του οχήματος, τα οποία θα κυμαίνονται από PEMS σε μέγεθος βαλίτσας έως όργανα εγκατεστημένα πίσω από τα υπό δοκιμή οχήματα. Τα οφέλη της εκάστοτε προσέγγισης πρέπει να εξεταστούν υπό το πρίσμα και των υπολοίπων πηγών σφαλμάτων, τα οποία σχετίζονται με την παρακολούθηση των εκπομπών και τη διαφοροποίησή τους, τόσο στο ίδιο το όχημα, όσο και μεταξύ των διαφόρων οχημάτων.<sup>[59]</sup>

Με άλλα λόγια θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το σύνολο:

- της διαφοράς μεταξύ αυτού που μετράται και αυτού που πραγματικά εκπέμπεται κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής
- της διαφοράς μεταξύ αυτού που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής και αυτού που το όχημα εκπέμπει κατά την καθημερινή του λειτουργία
- της διαφοράς μεταξύ των χαρακτηριστικών των εκπομπών του υπό δοκιμή οχήματος και των συνολικών επιπέδων εκπομπών του συνόλου του στόλου οχημάτων

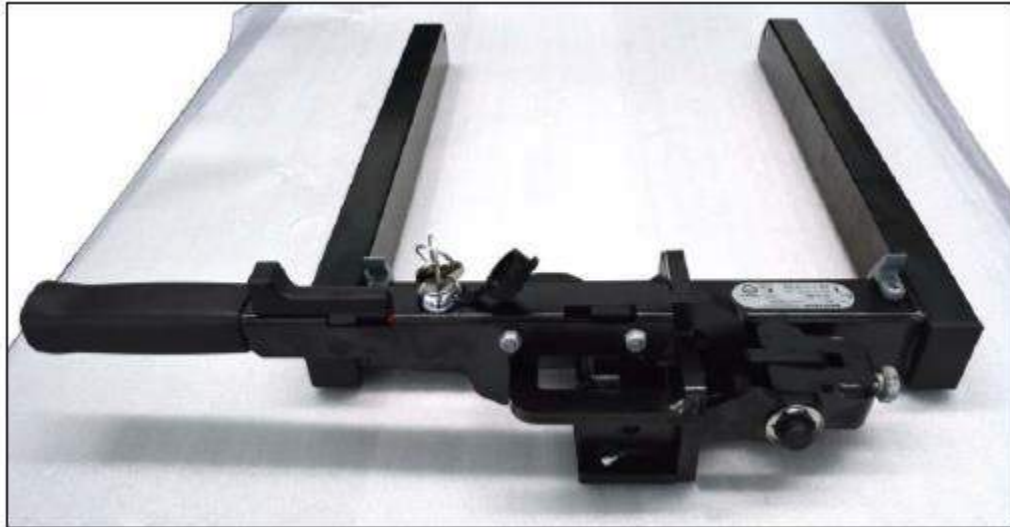


### 3.9.2 Περιγραφή του AVL

Το AVL M.O.V.E GAS PEMS είναι ένα φορητό σύστημα μέτρησης εκπομπών και έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των NO/NO<sub>2</sub> και CO/CO<sub>2</sub> στα καυσαέρια οχημάτων diesel και βενζίνης <sup>[60]</sup>

Το σύστημα AVL Gas PEMS iS αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία: <sup>[59]</sup>

1. Φορέας: για την τοποθέτηση του συστήματος μέτρησης στον κοτσαδόρο του οχήματος.



**Εικόνα 3.9.1:** Φορέας εγκατάστασης PEMS

2. Πλαίσιο στήριξης: για τη γρήγορη και εύκολη τοποθέτηση της βάσης της μονάδας και των φορέων των θερμαινόμενων γραμμών επί του προαναφερθέντα φορέα ή για την εγκατάσταση της βάσης της μονάδας στο εσωτερικό του οχήματος.

3. Μονάδα βάσης: μπορεί να εγκατασταθεί και στο εσωτερικό του οχήματος, εάν κριθεί απαραίτητο.



*Εικόνα 3.9.2: Πίσω όψη κεντρικής μονάδας PEMS*

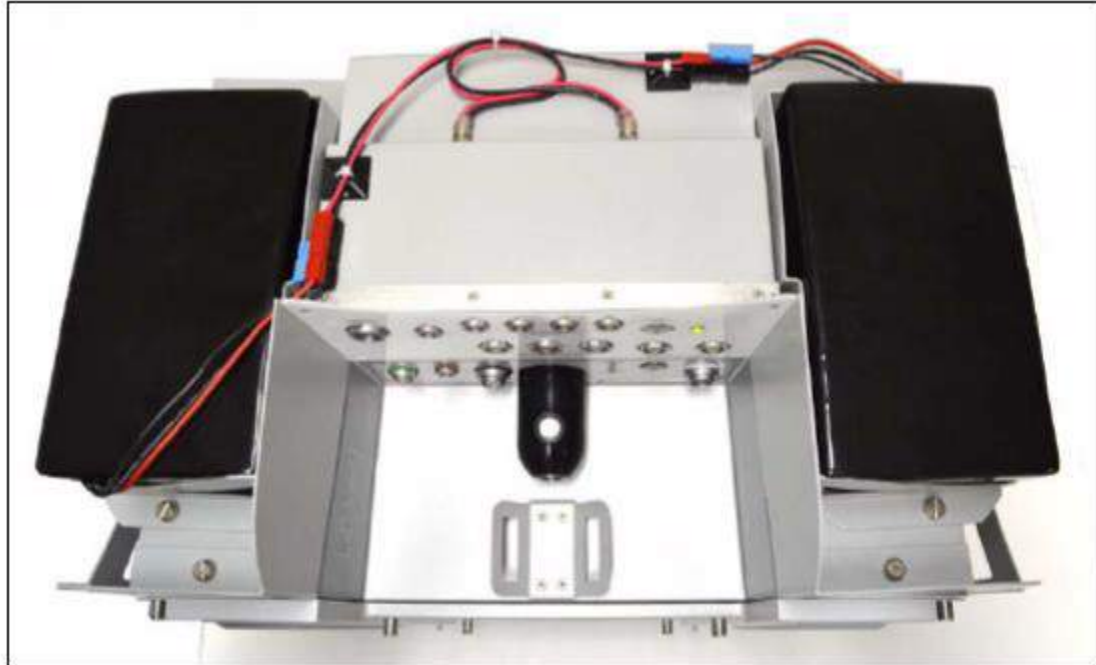
4. Φορείς θερμαινόμενων γραμμών: για την ευέλικτη ευθυγράμμιση του θερμαινόμενου αγωγού δειγματοληψίας



*Εικόνα 3.9.3: Φορείς θερμαινόμενων γραμμών*

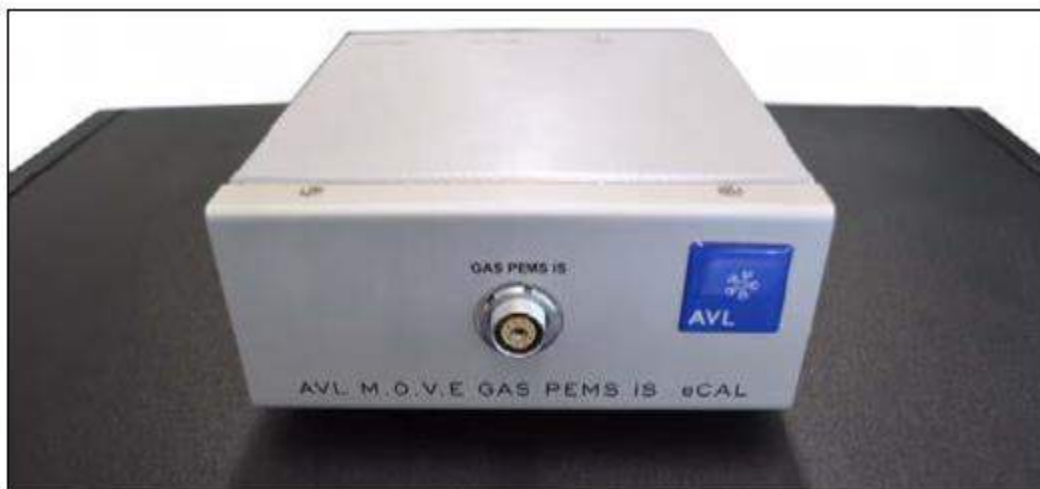
Ορισμένα επιπλέον προαιρετικά στοιχεία είναι τα ακόλουθα:

5. E-Box: για τη φορητή φόρτιση του συστήματος μέτρησης με τη χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών.



**Εικόνα 3.9.4:** E-box

6. Μονάδα βαθμονόμησης (eCAL): για τη βαθμονόμηση και τη γραμμικοποίηση του συστήματος, εάν αυτό είναι απαραίτητο.



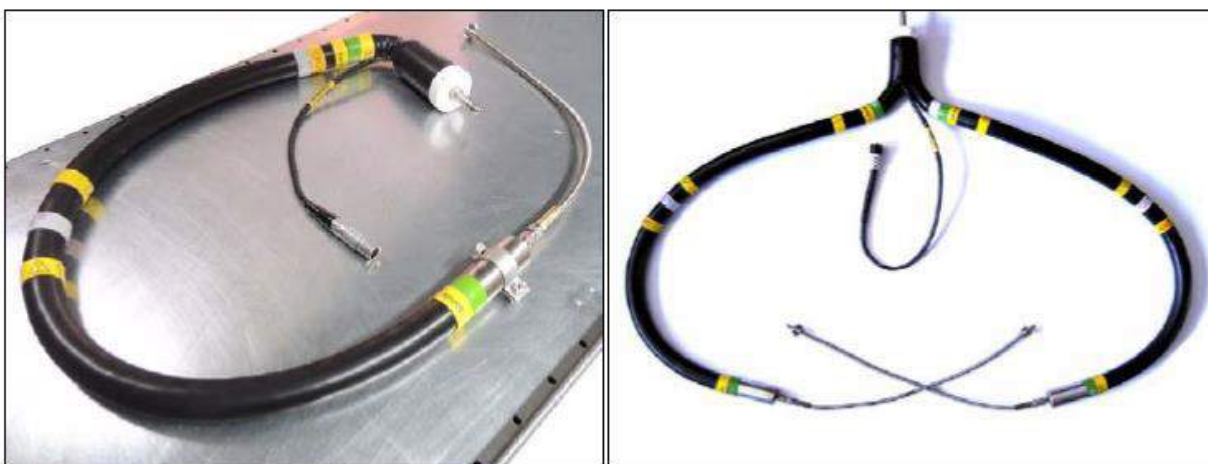
**Εικόνα 3.9.5** Μονάδα βαθμονόμησης (eCAL)

7. Μονάδα φόρτισης/Πηγή ενέργειας: για τη λειτουργία της διάταξης μέσω του συστήματος τροφοδοσίας και για την επαναφόρτιση των μπαταριών



**Εικόνα 3.9.6:** Μονάδα φόρτισης/Πηγή ενέργειας

8. Θερμαινόμενος αγωγός δειγματοληψίας (100 °C): για τη δειγματοληψία των καυσαερίων χρησιμοποιώντας μονό ή διπλό αγωγό λήψης, διατιθέμενος σε διάφορα μήκη

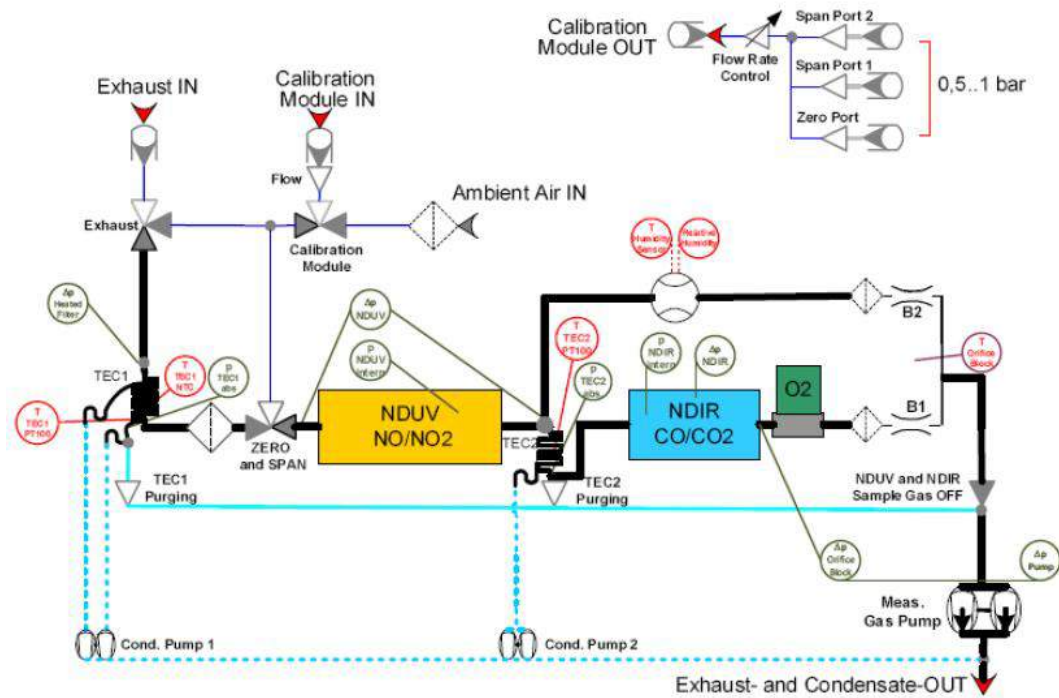


**Εικόνα 3.9.7:** Μονός και διπλός θερμαινόμενος αγωγός δειγματοληψίας

### 3.9.3 Διαδικασία μέτρησης

Η βασική λειτουργική αρχή της συσκευής έχει ως εξής: <sup>[59]</sup>

1. Μια ροή της τάξεως των περίπου 2 l/min πρωτογενών καυσαερίων μεταφέρεται στη συσκευή μέσω μιας θερμαινόμενης γραμμής δειγματοληψίας.
2. Στο φίλτρο, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο τέλος της θερμαινόμενης γραμμής δειγματοληψίας, τα σωματίδια αφαιρούνται από τα πρωτογενή καυσαέρια
3. Αφού εγκαταλείψει το θερμαινόμενο φίλτρο η ροή αερίου προ-ψύχεται μέσω των συνθηκών του περιβάλλοντος και μεταφέρεται μέσα σε έναν διβάθμιο ψύκτη
4. Μετά το πρώτο στάδιο του ψύκτη, η ροή αερίου περνά μέσω του αναλυτή NDUV, όπου μετρώνται χωριστά σε δύο διαφορετικές ροές τα NO και NO<sub>2</sub>
5. Μία εκ των δύο αυτών ροών περνά μέσα από τον δεύτερο ψύκτη· τα CO και CO<sub>2</sub> μετρώνται μέσω του αναλυτή NDIR και το οξυγόνο μετριέται από έναν αισθητήρα O<sub>2</sub>. Η δεύτερη ροή καθοδηγείται ως ροή παράκαμψης.
6. Και οι δύο ροές περιορίζονται από τις κρίσιμες διατομές του μπλοκ διατομών
7. Στους δύο θερμοηλεκτρικούς ψύκτες το συσσωρευμένο συμπύκνωμα και μια μικρή ποσότητα αερίου δείγματος αναρροφώνται μέσω δύο ξεχωριστών κυκλωμάτων αντλίας
8. Στο τμήμα του μπλοκ διατομών, οι δύο ροές επανενώνονται, περνούν μέσω της δειγματοληπτικής αντλίας, ενώνονται με τη ροή συμπυκνώματος, που προέρχεται από τις αντλίες συμπυκνωμάτων και τελικά οδηγούνται εκτός της συσκευής μέσω της εξόδου αποστράγγισης
9. Οι αναλυτές NDUV και NDIR, καθώς και ο αισθητήρας O<sub>2</sub> καταγράφουν τις αντισταθμισμένες, μέσω της πίεσης, συγκεντρώσεις των συστατικών των καυσαερίων σε ppm ή vol % <sup>[60]</sup>



**Διάγραμμα 3.9:**  
 Διάγραμμα λειτουργίας μετρήσεων PEMS



**Εικόνα 3.9.3:**  
 Μονάδες PEMS από διάφορους κατασκευαστές

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## *Εισαγωγή στο Πειραματικό Μέρος*

Το πειραματικό μέρος αυτής της διπλωματικής περιλαμβάνει όλη τη διαδικασία καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων, τον σχολιασμό αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πάρθηκαν σε διαδρομές ενός συμβατικού/κοινού οχήματος ιδιωτικής χρήσεως εντός Αθηνών, μαζί με τον εύκολα προσβάσιμο εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε.

Έχει σκοπό να δείξει στον αναγνώστη πόσο εύκολη (και οικονομική) είναι, μέσω μιας συσκευής OBD (On-Board Diagnostics) και μια εφαρμογής κινητού τηλεφώνου, η καταγραφή δεδομένων από το ECU (Engine Control Unit - Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου) κάθε οχήματος.

Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για ερευνητικούς σκοπούς, παραδείγματος χάριν, για ανανέωση προφίλ/κύκλων οδήγησης με απώτερο σκοπό την εκτίμηση κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών αερίων ρύπων, είτε για τη χρήση από οποιονδήποτε ιδιώτη για καλύτερη κατανόηση και έλεγχο της συμπεριφοράς του αυτοκινήτου του.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Εξοπλισμός και Δειγματοληψία

### 4.1 Όχημα Καταγραφής

Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για τις καταγραφές είναι ένα μικρομεσαίο επιβατικό αυτοκίνητο Ιδιωτικής Χρήσης, κατηγορίας M, τύπου Hatchback.

Συγκεκριμένα είναι το Hyundai GETZ 1.1L /62 Hp, μοντέλο που κυκλοφόρησε από το 2002 έως το 2005. Σύμφωνα με την άδεια κυκλοφορίας του οχήματος, το αυτοκίνητο αυτό εκπέμπει 138 γραμμάρια CO<sub>2</sub>/km και ακολουθεί το ευρωπαϊκό πρότυπο Euro 4. Το όχημα αυτό μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα του Ελληνικού στόλου οχημάτων.



**Κυβισμός κινητήρα**

1086 cm<sup>3</sup>

**Ιπποδύναμη**

62 Hp @ 5500 σ.α.λ.

|   |  |
|---|--|
| <b>Αρχιτεκτονική της μονάδας κίνησης</b>              | Κινητήρας εσωτερικής καύσης, ο οποίος κινεί τους μπροστινούς τροχούς του οχήματος. |
| <b>Σύστημα καυσίμου</b>                               | Ψεκασμός πολλαπλών σημείων   |
| <b>Τύπος καυσίμου</b>                                 | Βενζίνη  |
| <b>Κατανάλωση καυσίμου - Κύκλος εντός πόλης</b>       | 7.2 l/100 km   |
| <b>Κατανάλωση καυσίμου - Κύκλος εκτός πόλης</b>       | 5 l/100 km   |
| <b>Κατανάλωση καυσίμου - Μικτός κύκλος</b>            | 6 l/100 km   |
| <b>μέγιστη ταχύτητα</b>                               | 152 km/h   |
| <b>Ονομαστική ροπή του κινητήρα</b>                   | 96 Nm @ 3250 σ.α.λ.  |
| <b>Αριθμός ταχυτήτων (μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων)</b> | 5  |
| <b>βάρος</b>  | 930 κιλά   |
| <b>Αριθμός κυλίνδρων</b>                              | 4  |
| <b>μήκος</b>  | 3810 mm  |
| <b>πλάτος</b>   | 1665 mm  |
| <b>ύψος</b>   | 1495 mm  |

## 4.2 Συσκευή Καταγραφής – OBD II

Η συσκευή καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο ασύρματος σαρωτής ΗΗ OBD ELM327 Bluetooth OBDII. Η τιμή του κυμαίνεται από 7 έως 9 ευρώ.

Είναι ένα διαγνωστικό εργαλείο που σε συνδυασμό με Android smartphone, Tablet ή Windows υπολογιστή, επιτρέπει να σαρώσετε εύκολα και με ασφάλεια κωδικούς βλάβης κινητήρα, προβολή και αποθήκευση των δεδομένων και επιδόσεων σε πραγματικό χρόνο, την εκτέλεση δοκιμών ετοιμότητας εκπομπών (emission) και πολλά άλλα.

Λειτουργεί σε όλα τα οχήματα OBD-II (1996+ στις ΗΠΑ) και τα οχήματα EOBD (βενζινοκίνητα από το 2001+ και τα αυτοκίνητα ντίζελ από το 2003-2004 στην Ευρώπη). Το όχημά σας πρέπει να έχει σύνδεσμο 16 Pin DLC (Data Link Connector) κάτω από το ταμπλό, και το σήμα του οχήματος πληροφοριών ελέγχου εκπομπών πρέπει να αναφέρει ότι το όχημα είναι OBD-II συμβατό.

Με τις κατάλληλες εφαρμογές, μπορείτε να εκτελέσετε τις ακόλουθες εργασίες:

- Ανάγνωση των διαγνωστικών κωδικών βλάβης, γενικών και ειδικών, με περιγραφές των κωδικών (με πάνω από 3000 στη βάση δεδομένων).
- Διαγραφή διαγνωστικών κωδικών βλάβης, και απενεργοποίηση ενδείξεων ελέγχου κινητήρα.
- Διατήρηση αρχείου δεδομένων ή εμφάνιση σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων του κινητήρα σας.
- Εξαγωγή δεδομένων σε διάφορες μορφές.

Εμφάνιση και καταγραφή των δεδομένων των αισθητήρων, σε πραγματικό χρόνο όπως:

- Εκπομπές CO<sub>2</sub> g/km
- Στροφές κινητήρα
- Θερμοκρασία ψυκτικού

- Πίεση λαδιού
- Πίεση καυσίμου
- Ταχύτητα οχήματος
- Θέση πεταλούδας
- Κατάσταση συστήματος καυσίμου
- Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής
- Ταχύτητα ροής αέρα
- Απόλυτη θέση ρυθμιστικών βαλβίδων και πολλά άλλα



## 4.3 Εφαρμογή Καταγραφής Δεδομένων Torque Pro



Η εφαρμογή Android που χρησιμοποιήθηκε είναι η Torque Pro. Ενώ υπάρχουν αρκετές εφαρμογές για την ίδια ακριβώς χρήση, η συγκεκριμένη έχει δοκιμαστεί από συνάδελφο χημικό μηχανικό επιτυχώς και έχει καλές κριτικές στο Google play (4 στα 5 αστέρια).

Υπάρχει σε δύο εκδόσεις, την δωρεάν έκδοση lite (καλύπτει πλήρως τις ανάγκες των μετρήσεων) και την επί πληρωμή έκδοση Pro (τιμή 4 ευρώ), η οποία προτιμήθηκε καθαρά από προσωπικό ενδιαφέρον.

Πρακτικό κομμάτι του Torque Pro είναι η μορφή εξαγωγής δεδομένων. Η εξαγωγή γίνεται σε αρχεία .csv (Comma-separated values) δηλαδή Τιμές διαχωρισμένες με κόμματα. Αυτός ο ειδικός τύπος αρχείου μπορεί να ανοίξει και να επεξεργαστεί στο Microsoft Excel, ακόμη και στο δωρεάν online πρόγραμμα Google Spreadsheet.

Με άλλα λόγια η εφαρμογή είναι διαθέσιμη στον καθένα δωρεάν (αρκεί μια συσκευή Android) και τα δεδομένα μπορούν να επεξεργαστούν από προγράμματα διαθέσιμα σε όλους.

Η εφαρμογή Torque και άλλες παρόμοιες εφαρμογές μπορούν να διαγνώσουν βλάβες, να επικοινωνήσουν με τους αισθητήρες που υπάρχουν στον κινητήρα του οχήματος, τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της μετάδοσης της κίνησης, με αισθητήρες για όλα τα ηλεκτρικά του οχήματος ακόμα και το ABS, τους αισθητήρες των τροχών, του αερόσακου, των ρύπων και πολλούς άλλους. Όλα τα δεδομένα μπορεί να διαγνώσει μια συσκευή OBD από κάθε όχημα, μπορεί να αποθηκευτούν σε μια κινητή συσκευή Android ή Apple.

Επίσης η εφαρμογή αυτή συνδυάζει την τεχνολογία GPS με αποτέλεσμα την δυνατότητα ανάγνωσης πληροφοριών εν κινήσει που αφορούν την επιτάχυνση, την επιβράδυνση και πολλές άλλες διαδικασίες κατά οδήγησης του οχήματος. Με την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να παρακολουθήσει το όχημα, ως προς τις καταναλώσεις καυσίμων, πόσο κοστίζει να κάνει μια συγκεκριμένη διαδρομή, να υπολογίσει με ακρίβεια τους ρύπους που παράγει και να έχει την δυνατότητα ανα πάσα στιγμή να γνωρίζει σε τι κατάσταση είναι το όχημα του.



Τελευταίο φαίνεται το εικονίδιο της εφαρμογής στο Google Play και στο App Store.

## 4.4 Διαδικασία Καταγραφής

### 4.4.1 Προετοιμασία για καταγραφή

Πριν ξεκινήσουν οι καταγραφές πρέπει ο οδηγός/χειριστής της εφαρμογής να ακολουθήσει κάποια βήματα ώστε η δειγματοληψία να περιλαμβάνει μετρήσεις από την πρώτη στιγμή που θα ξεκινήσει η λειτουργία του κινητήρα (δηλαδή η στιγμή που θα ξεκινήσει η κατανάλωση καυσίμου και η εκπομπή αερίων ρύπων) μέχρι και την στιγμή της διακοπής λειτουργίας του.

Τα βήματα αυτά είναι:

1. Να επιβεβαιώσει ότι η συσκευή OBD είναι συνδεδεμένη σωστά με το ECU του οχήματος.
2. Να γυρίσει το κλειδί στην θέση εκκίνησης για να παρέχεται ρεύμα από την μηχανή στο OBD χωρίς να προκαλέσει την εκκίνηση της μηχανής. Όταν η συσκευή συνδεθεί, θα ανάψει η ενδεικτική λυχνία για επιβεβαίωση.
3. Να ανοίξει την εφαρμογή και να επιλέξει την έναρξη της καταγραφής από την εφαρμογή και κατόπιν να πραγματοποιήσει την εκκίνηση της μηχανής. Πριν την εκκίνηση του κινητήρα η εφαρμογή είναι έτοιμη αλλά δεν λαμβάνει ακόμα δεδομένα.

## 4.4.2 Καταγραφή

Αφότου ξεκινήσει η δειγματοληψία, η εφαρμογή καταγράφει οτιδήποτε έχει επιλέξει ο χρήστης στις ποικίλες ρυθμίσεις του λογισμικού καταγραφής. Στο συγκεκριμένο πείραμα επιλέχθηκαν αρκετές επιλογές όπως:

- Η Στιγμιαία Ταχύτητα OBD
- Η Στιγμιαία Ταχύτητα GPS
- Η Απόκλιση ταχύτητας GPS/OBD
- Η Μέση Ταχύτητα Κίνησης (χωρίς στάσεις)
- Η Μέση Ταχύτητα Κίνησης (με στάσεις)
- Ο Χρόνος από την έναρξη του κινητήρα
- Ο Χρόνος Ταξιδιού (εν κινήσει)
- Ο Χρόνος Ταξιδιού (στάσιμος)
- Η Συνολική Διανυθείσα απόσταση
- Η Συνολική Επιτάχυνση
- Η Επιτάχυνση στους άξονες x,y,z
- Το Πραγματικό Φορτίο Μηχανής
- Η Βαρομετρική Πίεση
- Το Στιγμιαίο παραγόμενο CO<sub>2</sub> σε g/km
- Η Θερμοκρασία Ψυκτικού Μηχανής
- Η Ροή Καυσίμου προς τον Κινητήρα
- Η Ροή Αέρα προς τον Κινητήρα
- Η Ακρίβεια του GPS

## 4.4.3 Λήξη Καταγραφής

Κατά τη λήξη της διαδρομής, ο βέλτιστος τρόπος για να ολοκληρωθεί η μέτρηση είναι να διακοπεί η καταγραφή αμέσως πριν το σβήσιμο του κινητήρα.

Εάν σβήσει η μηχανή του οχήματος πριν την λήξη της μέτρησης αυξάνουμε τις πιθανότητες να υπάρχουν κενές τιμές στην αποθηκευμένη πια μορφή των μετρήσεων.



## 4.5 Διαδρομές Δειγματοληψίας

Οι διαδρομές αυτής της διπλωματικής μπορούν να θεωρηθούν ιδανικές για ερευνητικούς σκοπούς λόγω του ότι είναι πραγματικές διαδρομές εργαζόμενου πολίτη στην πόλη της Αθήνας.

Ο πολίτης αυτός είχε δύο πιθανά ωράρια εργασίας και κατά τους μήνες αυτούς δούλευε είτε 7:30 με 14:30, είτε 14:30 με 22:30.

Οι καταγραφές αυτές πραγματοποιήθηκαν από την κατοικία προς την περιοχή εργασίας και αντιστρόφως. Η περιοχή κατοικίας του είναι στην Κηφισιά με αποτέλεσμα οι διαδρομές να είναι από Κηφισιά προς την περιοχή εργασίας (Βύρωνας και Ταύρος) και πίσω στην Κηφισιά.

Όχι μόνο καλύπτουν μεγάλο μέρος του λεκανοπεδίου (από Βόρεια Προάστια μέχρι κέντρο προς Νότια) αλλά μετρήθηκαν επίσης κατά αρκετά διαφορετικές περιόδους της ημέρας.

Οι μετρήσεις χωρίζονται σε :

- πρωινές ώρες (6 με 6:30 η ώρα το πρωί) όπου δεν έχει ξεκινήσει ακόμα η κανονική κίνηση στους δρόμους,
- μεσημεριανές ώρες (14:30 - 15:00), μπορούν να θεωρηθούν και ώρες αιχμής ειδικά λόγω λήξης των σχολείων και του δημόσιου τομέα,
- και βραδινές ώρες (22:30-23:00) όπου ειδικά στην Αθήνα υπάρχουν αρκετά οχήματα στους δρόμους ακόμα και καθημερινές.

Επίσης οι συγκεκριμένες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί κατά τους μήνες του Ιουλίου και του Σεπτεμβρίου, μήνες οι οποίοι έχουν μεγάλη κινητικότητα πολιτών καθημερινά αλλά και τον ενδιάμεσο μήνα του Αυγούστου στον οποίο σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού της Αθήνας είτε πηγαινοέρχεται είτε λείπει.

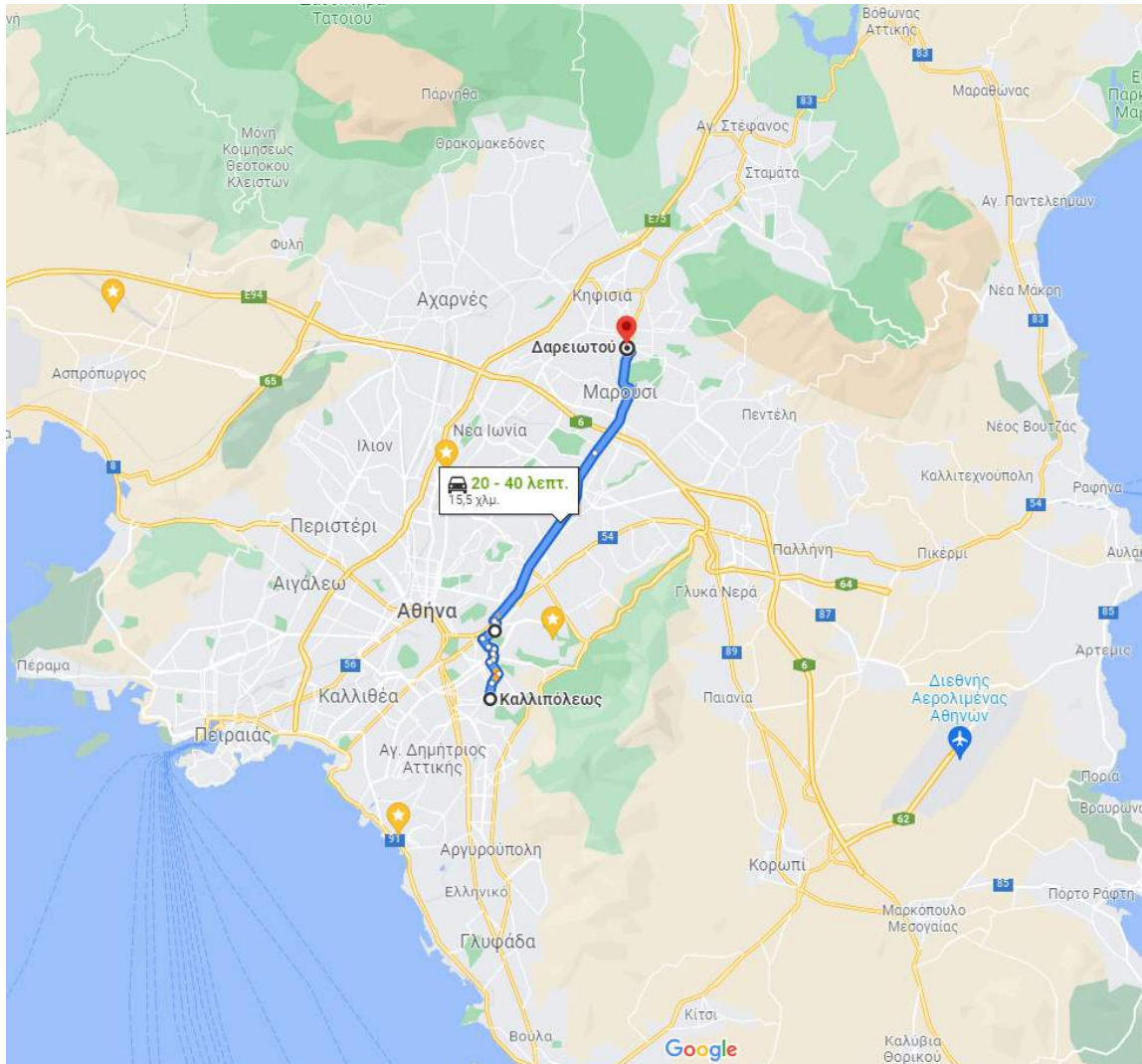
Οι κάτοικοι που διαμένουν στην πόλη κατά τη διάρκεια του Αυγουστιάτικου καύσωνα συνηθίζεται να μένουν εντός κατοικίας όσο περισσότερο γίνεται και προτιμούν να μην κυκλοφορούν πολύ σε αυτές τις συνθήκες αφόρητης ζέστης.

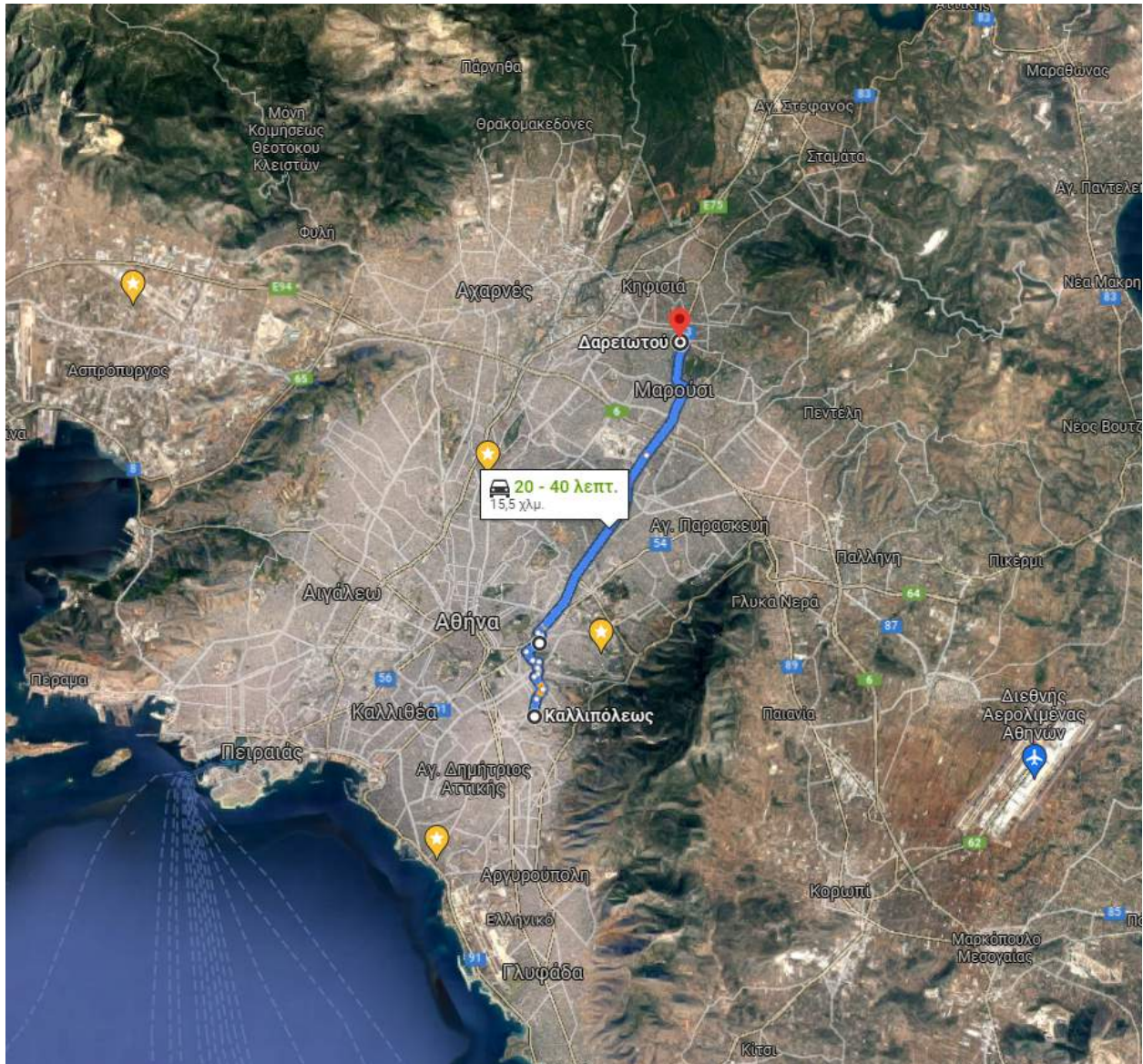
## Διαδρομή Κηφισιά - Βύρωνας

Η διαδρομή αυτή έχει απόσταση περίπου 16 km και διασχίζει όλη τη Λεωφόρο Κηφισιάς, έναν από τους μεγαλύτερους δρόμους της Αθήνας, ο οποίος συνδέει το κέντρο της πόλης με τον Βόρειο τομέα της.

Παρόλο που το μεγαλύτερο ποσοστό αυτή της διαδρομής (πάνω από 80%), βρίσκεται σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον ως προς τις συνθήκες οδήγησης και συνεπάγεται κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών αερίων ρύπων.

Η διαδρομή αυτή είναι στο μεγαλύτερο κομμάτι της μια ευθεία με υψηλό όριο ταχύτητας και στη συνέχεια περιλαμβάνει αστικούς δρόμους κυρίως στο κομμάτι από το τέλος της Λεωφόρου μέχρι και το κέντρο της περιοχής του Βύρωνα.





Σημείωση:

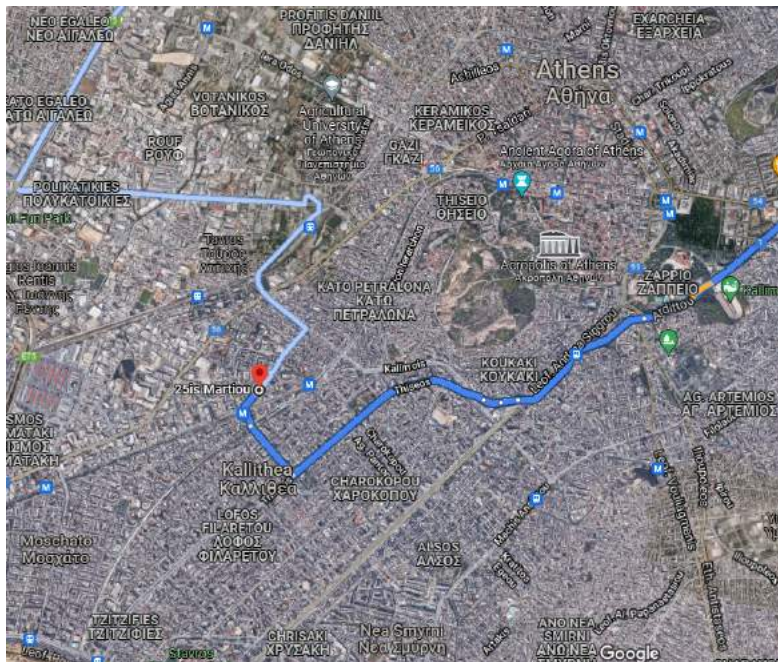
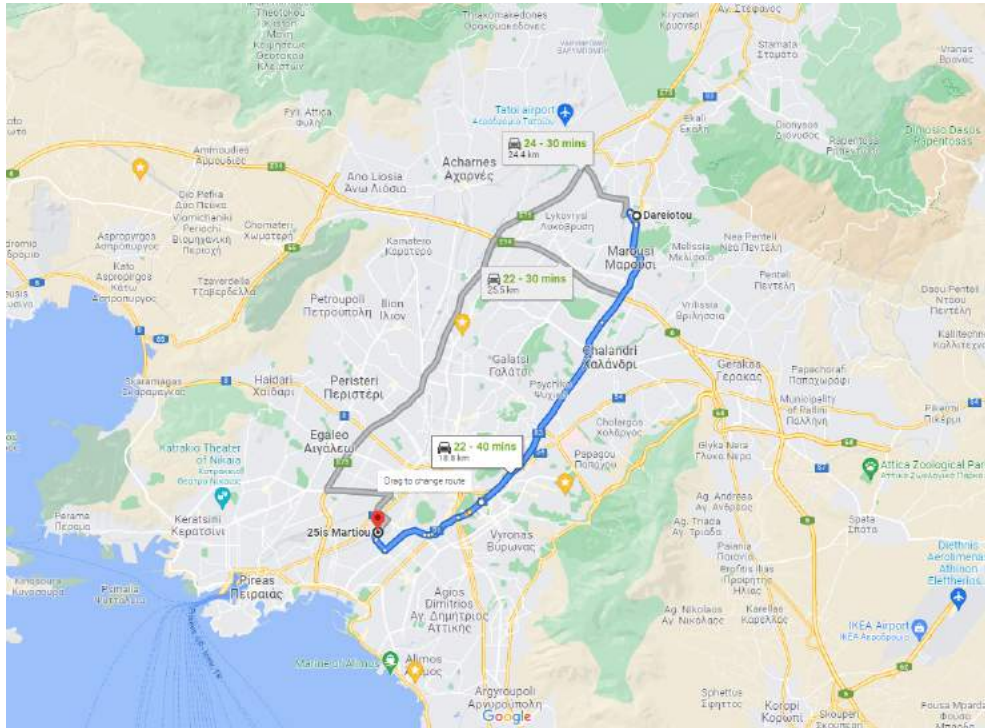
Η διαδρομή αυτή σε συνθήκες ελάχιστης κυκλοφορίας π.χ. 23:00 - 06:00 μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περίπου 20 λεπτά ενώ σε ώρες αιχμής μπορεί να χρειαστεί έως και πάνω από μία ώρα, χρόνο τριπλάσιο λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Περαιτέρω λεπτομέρειες αναλύονται σε κεφάλαιο των αποτελεσμάτων (Κεφάλαιο 6).

Επίσης οι απεικονιζόμενες διαδρομές προέρχονται από τους χάρτες του **Google Maps**.

## Διαδρομή Κηφισιά - Ταύρος

Η διαδρομή αυτή διασχίζει όχι μόνο την Λεωφόρο Κηφισίας αλλά και την Λεωφόρο Βασιλίσσης Σοφίας και Λεωφόρο Βασιλέως Κωνσταντίνου. Το κομμάτι της διαδρομής σε μικρούς συνοικιακούς δρόμους είναι πολύ μικρό, με πάνω από 90% της διαδρομής να βρίσκεται σε μεγάλους κεντρικούς δρόμους της Αθήνας. Η διαδρομή αυτή έχει μήκος σχεδόν 19 km.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Επεξεργασία Δεδομένων

## 5.1 Προβολή αποθηκευμένων δεδομένων σε Η/Υ

Οι αποθηκευμένες καταγραφές στο Torque μπορούν να σταλούν σε Η/Υ με διάφορους τρόπους, ένας βολικός τρόπος ήταν η αποστολή με email. Για κάθε διαδρομή ο χρήστης μπορεί από την εφαρμογή να στείλει ένα αρχείο csv (Comma-Separated Values) στον υπολογιστή του. Τα αρχεία csv όταν ανοιχτούν εμφανίζονται σε ένα κείμενο με τιμές χωρισμένες με κόμμα.

```
GPS Time, Device Time, Longitude, Latitude, GPS Speed (Meters/second), Horizontal Dilu
ude(°), GPS Longitude(°), GPS Satellites, GPS vs OBD Speed difference(km/h), Horsepower (
47.81,0,0,67,-,18.43,780.5,0.05,3.43,57.13,0.45,96.51,0.06,5,233.11,0,37.98,23.78,11,1
0.0,0.46,-0.15,9.65,-0.01,-0.01,0,-0.02,-0.01,7.84,7.84,26,0,14.07,100,100,-,-,247.8,1
17 13:24:41.633,23.780789852769544,37.976565576264164,0.0,5.0,233.11204469483346,0.0,1
0,11.33,0,247,0,1,0.7,-,-,-,0,0.3,0,0.15,14.4,-,79Tue May 09 13:24:43 GMT+03:00 201
0.06,22.75,21.96,26,0.21,14.07,100,100,-,-,247.73,0,16.47,67,4.12,76.08,953,0.06,3.16
1,24.96,14.61,4.76,11.32,11.76,253,17.08,18,46.27,1,99.92,2.83,0.01,5,5.39,0,0.73,14.
17,09-Maĩ-2017 13:24:51.633,23.780537703684388,37.97671518403378,7.9984384,5.0,222.28
06,-0.07,-0.08,-0.02,-0.06,16.86,16.47,26,2.17,14.07,113.2,100,551,573.99,247.5,0,7.8
1.35,96.48,0.08,5,217.58,313,37.98,23.78,12,2.58,5.12,27,14.21,10.2,4.01,24.92,8.58,2
1,36,31.38,5.35,18.67,15.13,0.09,14,14.35,0,0.15,14.32,-,58Tue May 09 13:24:57 GMT+03
633,23.779799175153656,37.977283690789754,10.598051,5.0,212.76365086156875,312.1511,0
0.07,9.8,9.41,25,5.19,14.07,113.2,100,373.8,343.92,248.72,0,1.18,68,2.12,1.18,1345.5,1
8,23.78,10,3.52,-,27,14.36,7.97,4.03,24.79,13.05,22.51,11.4,0,268,38.52,35,-,6.8,14.7
2017 13:25:07.633,23.779197608867566,37.97771490344983,6.432761,5.0,207.0936262570321
0,342.74,266.04,249.54,0,5.49,68,-,23.92,859,0.08,2.31,38.56,0.35,96.46,0.09,5,206.36
71,11.24,13.07,11.43,7.06,276,24.74,25,58.24,7.42,13.47,20.97,0.21,28,28.38,0,0.29,13
Maĩ-2017 13:25:14.634,23.778794623269487,37.97800365895101,8.490136,5.0,206.018887443.
```

Ωστόσο το Microsoft Excel και το Google Spreadsheet προτείνουν απευθείας στην χρήστη επιλογές διαχωρισμού, αρκεί να επιλέξουμε διαχωρισμός με κόμμα και το αρχείο εμφανίζεται πλέον σε οργανωμένη μορφή.

Η ανάγνωση δεδομένων είναι πλέον εύκολη και ο χρήστης μπορεί να ξεκινήσει να παρατηρεί τις μεταβολές κατά την διάρκεια της διαδρομής σε οποιαδήποτε παράμετρο επιθυμεί.

Εμφανίζεται η οργανωμένη πλέον μορφή ενός Google Spreadsheet και μπορούμε να δούμε πόσο σωστά ταξινομημένα είναι όλα τα δεδομένα τα οποία επιλέξαμε από την εφαρμογή να αποθηκευτούν στο αρχείο της μέτρησης.



## 5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Για την επεξεργασία δεδομένων με σκοπό, παραδείγματος χάριν, τη δημιουργία ενός προφίλ οδήγησης θα χρειαστούν κάποια επιπλέον βήματα όπως:

1. η μετατροπή του αρχείου δεδομένων ώστε να είναι εφικτή η χρήση σε υπολογιστικό πρόγραμμα όπως το MATLAB,
2. η ανάπτυξη κώδικα για την επεξεργασία των δεδομένων για τα επόμενα βήματα
3. η διόρθωση σφαλμάτων,
4. ο χωρισμός σε Microtrips,
5. η παραγωγή μέσων όρων.

### 5.2.1 Πως δημιουργούνται οι Κύκλοι Οδήγησης

Οι γνωστές μέθοδοι παραγωγής κύκλων οδήγησης μέχρι στιγμής είναι δύο, η μέθοδος Markov Chain και η μέθοδος των Microtrip.

- Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ανάπτυξης, είναι αυτή των Microtrips (μικρο-διαδρομές).<sup>[61]</sup>

Ένα Microtrip, ορίζεται ως ένα τμήμα καταγραφής ταχύτητας/χρόνου που αποτελείται από δύο φάσεις. Η πρώτη φάση είναι αυτή της κίνησης (μη μηδενική ταχύτητα), που ακολουθείται από μία στάσιμη φάση (μηδενική ταχύτητα). Τα microtrips συνδυάζονται βάση των χαρακτηριστικών τους, ώστε να συναποτελέσουν έναν κύκλο οδήγησης που αντιπροσωπεύει, όσο το δυνατόν πιο πιστά, τα δεδομένα κίνησης/ χρόνου που συλλέχθηκαν.

Στον κορμό αυτής της μεθόδου βρίσκεται μία επαναληπτική διαδικασία, κατά την οποία αναπτύσσεται ένα πλήθος προφίλ οδήγησης, που στη συνέχεια αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων (data pool). Κατόπιν χρήσης κριτηρίων που προκύπτουν από την στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων, συγκρίνονται τα μέσα μεγέθη των κύκλων που παρήχθησαν με αυτά που αντιπροσωπεύουν το σύνολο των μετρήσεων. Οι κύκλοι αξιολογούνται και επιλέγεται, με βάση τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη, ο κύκλος (συνδυασμός Microtrips) που προσεγγίζει περισσότερο τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συνόλου των δεδομένων. Οι περισσότεροι κύκλοι που έχουν αναπτυχθεί, από πραγματικά στοιχεία οδήγησης μέχρι σήμερα, αναπτύσσονται βάση αυτής της μεθόδου.

- Αναλυτικότερη μέθοδος ανάπτυξης κύκλων οδήγησης είναι η μέθοδος Markov Chain. <sup>[62]</sup>

Αυτός ο κύκλος αποτελεί στοχαστική διαδικασία, δηλαδή η κάθε μελλοντική κατάσταση κίνησης στην οποία θα βρεθεί το όχημα δεν εξαρτάται από όλες τις προηγούμενες καταστάσεις της κίνησης, αλλά μόνο από την παρούσα κατάσταση.

Έτσι κάθε κατάσταση ορίζεται από 1 ζεύγος μεγεθών, την ταχύτητα και την επιτάχυνση, δηλαδή κάθε κατάσταση συμβολίζεται ως  $x_n$  ( $u_n$ ,  $a_n$ ), όπου  $x_n$  η παρούσα κατάσταση κίνησης,  $u$  η ταχύτητα και  $a$  η επιτάχυνση. Η μετάβαση από την κατάσταση αυτήν στην κατάσταση  $x_{n+1}$  ( $u_{n+1}$ ,  $a_{n+1}$ ) καθορίζεται από τον πίνακα πιθανών μεταβάσεων (Transition Probability Matrix).

Αυτός ο πίνακας κατασκευάζεται μετά από στατική επεξεργασία των καταγραφών ταχύτητας και επιτάχυνσης όλων των καταστάσεων κίνησης και περιέχει τις πιθανότητες μετάβασης από κάθε κατάσταση κίνησης σε όλες τις υπόλοιπες. Συνεπώς γνωρίζοντας το πρώτο σημείο της κίνησης μπορούμε να βρούμε και τα υπόλοιπα ακολουθώντας την μεγαλύτερη πιθανότητα μετάβασης από τη μία κατάσταση στην άλλη.

Εναλλακτικά είναι δυνατό τα δεδομένα καταγραφών να χωριστούν σε κλάσεις ανάλογα την τιμή της ταχύτητας τους. Κάθε κλάση περιέχει 4 διαστήματα. Αυτά είναι τα διαστήματα επιτάχυνσης, επιβράδυνσης, σταθερής ταχύτητας και το διάστημα στο οποίο το όχημα είναι ακίνητο. Για κάθε καταγραφή υπολογίζεται η πιθανότητα μετάβασης από την τωρινή κατάσταση σε άλλο διάστημα της ίδιας κλάσης και σε όλα τα άλλα διάστημα των άλλων κλάσεων.

Συνεπώς είναι αντιληπτό ότι απαιτεί λιγότερο χρόνο η μέθοδος αυτή καθώς χρειάζεται η δημιουργία ενός μόνο κύκλου οδήγησης. Αντίθετα, η μέθοδος των microtrips απαιτεί την δημιουργία πολλών κύκλων οδήγησης από τους οποίους επιλέγεται ο πιο αντιπροσωπευτικός των πραγματικών καταγραφών. Παρόλα αυτά η δημιουργία του Πίνακα Μετάβασης (Transition Probability Matrix) αποτελεί μια αρκετά χρονοβόρα και απαιτητική διαδικασία. Η μέθοδος Markov Chain λόγω της στοχαστικότητας της παράγει πιο αντιπροσωπευτικούς κύκλους οδήγησης.



## 5.2.2 Μετατροπή αρχείου δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία

Τα δεδομένα εξάγονται από την συγκεκριμένη εφαρμογή σε αρχεία .csv, αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα πρόγραμμα που δεν υποστηρίζει αυτή τη μορφή θα χρειαστεί να κάνουμε μια μετατροπή.

Υπάρχουν πλέον πολλές ιστοσελίδες στο διαδίκτυο που να επιτρέπουν να κάνουμε όλων των ειδών μετατροπές αρχείων online δωρεάν, ο πιο πιθανός περιορισμός είναι στον όγκο των αρχείων που μπορούν να μετατραπούν δωρεάν ανά χρονική διάρκεια.

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η ιστοσελίδα:

**Convertio — File Converter** ( <https://convertio.co/> )

Η ιστοσελίδα αυτή επιτρέπει την μετατροπή αρχείων csv σε αρχεία xlsx. Ο περιορισμός μετατροπών είναι 8 αρχεία ανά 24ώρο χωρίς πληρωμή.

## 5.2.3 Διόρθωση Σφαλμάτων

Είναι πολύ πιθανό κάθε αποθηκευμένο αρχείο να περιέχει καταχωρημένες τιμές με σφάλματα. Ανάλογα τη συσκευή OBD, την ποιότητα επικοινωνίας της με την Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου του οχήματος και πολλές άλλες παραμέτρους αυτά τα σφάλματα διαφέρουν.

Ένα παράδειγμα σφάλματος είναι π.χ. ότι στη στήλη κατανάλωσης καυσίμου τις στιγμές που δεν έγινε σωστά η καταγραφή εμφανίζεται ένα γράμμα σε θέση αριθμού. Στην επεξεργασία δεδομένων, το γραμμα αυτο θα αποτρέψει την καλή λειτουργία του κώδικα, άρα πρέπει οι τιμές αυτές να διορθωθούν.

Μέσω ανάπτυξης κώδικα MATLAB μπορούν να διορθωθούν όλες οι εσφαλμένες τιμές σε όλες τις καταγραφές αυτόματα.

## 5.2.4 Διαχωρισμός των Microtrips και Αφαίρεση Ακραίων Τιμών

Για να μπορέσουμε να σχηματίσουμε κύκλους οδήγησης με την μέθοδο των Microtrips που αναφέρθηκε στο 5.2.1 πρέπει να χωρίσουμε τις μικροδιαδρομές κάθε καταγραφής. Εφόσον είναι πολύ χρονοβόρο να γίνει αυτή η διαδικασία χειροκίνητα για κάθε μέτρηση, η ανάπτυξη κώδικα μπορεί να ολοκληρώσει το έργο αυτό γρήγορα και αυτόματα.

Για να δημιουργηθεί ένας συνολικός κύκλος, ο οποίος θέλουμε να είναι όσο πιο αντιπροσωπευτικός γίνεται, είναι σημαντικό να γίνει αφαίρεση του 5% των ακραίων τιμών του συνόλου των δεδομένων.

Στο συγκεκριμένο κομμάτι εντοπίστηκαν τα Microtrips που έχουν ποσοστό εμφάνισης μικρότερο του 5 τοις εκατό, και στη συνέχεια αφαιρέθηκαν από την βάση δεδομένων.

## 5.2.5 Υπολογισμών Μέσων Μεγεθών

Αφού ολοκληρωθούν τα προηγούμενα βήματα, τα δεδομένα βρίσκονται πλέον σε μορφή που μπορούν να συγκριθούν και στη συνέχεια να μας επιτρέψουν να εξαγάγουμε συμπεράσματα :

1. για την συμπεριφορά του οχήματος υπό ανάλυση,
2. για την συμπεριφορά του εκάστοτε οδηγού,
3. και για τις συνθήκες κυκλοφορίας στις διαδρομές που καταγράφηκαν.

Τα μεγέθη που επιλέχθηκαν για να συγκριθούν σε αυτή την εργασία, για τα οποία θα υπολογιστούν μέσοι όροι, είναι:

1. Η Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)
2. Η Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στάσεις (km/h)
3. Ο Μέσος Αριθμός Στάσεων
4. Η Μέση Διάρκεια Microtrip (seconds)
5. Το Ποσοστό Χρόνου σε Κίνηση (%)
6. Το Ποσοστό Χρόνου σε Στάση(%)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

### 6.1 Αποτελέσματα Διαδρομής Κηφισιά - Βύρωνας

#### 6.1.1 Κηφισιά - Βύρωνας

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **πρωινές ώρες** (06:00 - 07:00) κατά τους μήνες **Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο** :

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 43.15 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 49.29 |
| Συνολο Στάσεων                               | 12    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (s)                 | 65.44 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 86.88 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 13.12 |

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **μεσημεριανές ώρες** (14:00 - 15:00) κατά τη διάρκεια του **Αυγούστου**:

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 38.12 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 46.71 |
| Συνολο Στάσεων                               | 14    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 64.70 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 80.86 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 19.14 |

## 6.1.2 Βύρωνας - Κηφισιά

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **μεσημεριανές ώρες** (15:00 - 16:00) κατά τη διάρκεια του **Ιουλίου** :

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 30.75 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 39    |
| Συνολο Στάσεων                               | 26.5  |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 38.88 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 77.97 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 22.03 |

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **μεσημεριανές ώρες** (15:00 - 16:00) κατά τη διάρκεια του **Αυγούστου**:

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 28.15 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 36.70 |
| Συνολο Στάσεων                               | 18    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 34.17 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 76.10 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 23.90 |

Εφόσον έχουμε μετρήσεις της ίδιας διαδρομής, την ίδια ώρα αλλά σε διαφορετικούς μήνες μπορούμε να συγκρίνουμε με σχετικά καλή αξιοπιστία αυτές τις τιμές σε επίπεδο διαφοράς.

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **βραδινές ώρες** (22:00 - 23:00) κατά τη διάρκεια του **Αυγούστου**:

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 38.43 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 46.07 |
| Συνολο Στάσεων                               | 13.4  |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 32.30 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 82.97 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 17.03 |

## 6.2 Αποτελέσματα Διαδρομής Κηφισιά - Ταύρος

### 6.2.1 Κηφισιά - Ταύρος

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **πρωινές ώρες** (08:00 - 09:00) κατά τη διάρκεια του **Σεπτεμβρίου** :

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 19.70 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 31.07 |
| Συνολο Στάσεων                               | 50    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 48.40 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 63.29 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 36.71 |

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **πρωινές ώρες** (10:00 - 11:00) κατά τη διάρκεια του **Αυγούστου** :

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 32.05 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 45.95 |
| Συνολο Στάσεων                               | 25    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 30.30 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 69.72 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 30.28 |

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **πρωινές ώρες** (10:00 - 11:00) κατά τη διάρκεια του **Σεπτεμβρίου** :

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 26.96 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 36.57 |
| Συνολο Στάσεων                               | 29.5  |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 33.21 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 73.77 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 26.23 |

## 6.2.2 Ταύρος - Κηφισιά

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **μεσημεριανές ώρες** (14:00 - 15:00) κατά τη διάρκεια του **Αυγούστου**:

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 30.70 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 43.02 |
| Συνολο Στάσεων                               | 18    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 26.23 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 71.37 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 28.62 |

Μέσοι όροι των Διαδρομών για **μεσημεριανές ώρες** (14:00 - 15:00) κατά τη διάρκεια του **Σεπτεμβρίου** :

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 15.24 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 25.17 |
| Συνολο Στάσεων                               | 71    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 46.40 |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 60.58 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 39.42 |

### 6.3 Ομαδοποίηση Αποτελεσμάτων ανά Ώρα της ημέρας

- Ακολουθεί σύγκριση μέσων όρων χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη διάρκεια πρωινών, μεσημεριανών και βραδινών ωρών του μήνα του Αυγούστου στην διαδρομή Κηφισιά - Βύρωνας.

Σημείωση : Για την στήλη της μεσημεριανής ώρας υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μεσημεριανών ωρών του Αυγούστου στην διαδρομή Κηφισιά - Βύρωνας και Βύρωνας - Κηφισιά.

|  | Πολύ Πρωινές Ώρες | Μεσημεριανές Ώρες | Βραδινές Ώρες |
|--|-------------------|-------------------|---------------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 43.15             | 33.14             | 38.43         |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 49.29             | 41.70             | 46.07         |
| Συνολο Στάσεων                               | 12                | 15.75             | 13.4          |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 65.44             | 32.33             | 49.44         |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 86.88             | 78.48             | 82.97         |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 13.12             | 21.52             | 17.03         |

Έχοντας μετρήσεις ίδιων ημερών σε διαφορετικές ώρες μπορούμε να βγάλουμε σχετικά αξιόπιστα συμπεράσματα όσον αφορά την κίνηση του οχήματος ανά διαφορετική χρονική περίοδο και να τις συγκρίνουμε παρατηρώντας ποσο διαφέρουν οι τιμές αυτές.



- Ακολουθεί σύγκριση μέσων όρων χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη διάρκεια πρωινών και μεσημεριανών ωρών του μήνα του Σεπτεμβρίου στην διαδρομή Κηφισιά - Ταύρος.

|  | (08:00 - 09:00) | (10:00 - 11:00) | (14:00 - 15:00) |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 19.70           | 26.96           | 15.24           |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 31.07           | 36.57           | 25.17           |
| Συνολο Στάσεων                               | 50              | 29.5            | 71              |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 48.40           | 33.21           | 46.40           |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 63.29           | 73.77           | 60.58           |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 36.71           | 26.23           | 39,42           |

- Ακολουθεί σύγκριση μέσων όρων χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη διάρκεια μεσημεριανών ωρών (με διαφορά μόνο μίας ώρας) του μήνα του Αυγούστου στην διαδρομή Κηφισιά - Βύρωνας.

|  | (14:00 - 15:00) | (15:00 - 16:00) |
|--|-----------------|-----------------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 38.12           | 28.15           |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στάσεις (km/h) | 46.71           | 36.70           |
| Συνολο Στάσεων                               | 14              | 18              |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 64.70           | 34.17           |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 80.86           | 76.10           |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 19.14           | 23.90           |

- Ακολουθεί σύγκριση μέσων όρων χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη διάρκεια πρωινών και μεσημεριανών ωρών του μήνα του Αυγούστου στην διαδρομή Κηφισιά - Ταύρος.

|  | (10:00 - 11:00) | (14:00 - 15:00) |
|--|-----------------|-----------------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 32.05           | 30.70           |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στάσεις (km/h) | 45.95           | 43.02           |
| Συνολο Στάσεων                               | 18              | 25              |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 30.30           | 26.23           |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 71.37           | 69.72           |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 28.62           | 30.28           |

## 6.4 Ομαδοποίηση Αποτελεσμάτων ανά Μήνα

- Ακολουθεί σύγκριση μέσων όρων χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αυγούστου κατά τις μεσημεριανές ώρες (15:00 - 16:00) στην διαδρομή Βύρωνα - Κηφισιά.

|  | Ιούλιος | Αύγουστος |
|--|---------|-----------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 30.75   | 28.15     |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 39      | 36.70     |
| Συνολο Στάσεων                               | 26.5    | 17.5      |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 38.88   | 34.17     |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 77.97   | 76.10     |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 22.03   | 23.90     |

- Ακολουθεί σύγκριση μέσων όρων χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου κατά τις πρωινές ώρες (10:00 - 11:00) στην διαδρομή Κηφισιά - Ταύρος.

|  | Αύγουστος | Σεπτέμβριος |
|--|-----------|-------------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 32.05     | 26.96       |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 45.95     | 36.57       |
| Συνολο Στάσεων                               | 25        | 29.5        |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 30.30     | 33.21       |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 69.72     | 73.77       |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 30.28     | 26.23       |

- Ακολουθεί σύγκριση μέσων όρων χαρακτηριστικών μεγεθών κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου κατά τις μεσημεριανές ώρες (14:00 - 15:00) στην διαδρομή Ταύρος - Κηφισιά.

|  | Αύγουστος | Σεπτέμβριος |
|--|-----------|-------------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 30.70     | 15.24       |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 43.02     | 25.17       |
| Συνολο Στάσεων                               | 18        | 71          |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 26.23     | 46.40       |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 71.37     | 60.58       |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 28.62     | 39.42       |

## 6.5 Συμπεράσματα όσον αφορά τις ώρες της ημέρας

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης ανά χρονικής στιγμής της ημέρας μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής :

- Τις πολύ πρωινές ώρες, 06:00 με 07:00 το πρωί, ώρα η οποία δεν έχει ακόμα ξεκινήσει πολύς κόσμος να κυκλοφορεί είναι οι ώρες οι οποίες επικρατούν οι βέλτιστες συνθήκες οδήγησης. Αυτές τις ώρες παρατηρούνται οι υψηλότερες μέσες ταχύτητες, οι λιγότερες στάσεις, η μεγαλύτερη μέση διάρκεια Microtrip και το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου σε κίνηση.
- Αυτές τις ώρες λοιπόν ένας οδηγός καταναλώνει τη μικρότερη ποσότητα καυσίμου και εκπέμπει την ελάχιστη ποσότητα αερίων ρύπων συγκριτικά με όλες τις υπόλοιπες στιγμές της ημέρας. Αυτό διότι είναι η στιγμή της ημέρας με την λιγότερη κίνηση.
- Αντιθέτως τις πρωινές ώρες 08:00 με 09:00, και τις μεσημεριανές ώρες 14:00 - 16:00, παρατηρείται ότι επικρατούν οι χειρότερες συνθήκες οδήγησης (η περισσότερη κίνηση όλης της ημέρας).
- Τις ώρες αυτές είναι, πολύ μειωμένη η μέση ταχύτητα οδήγησης, οι περισσότερες στάσεις, η μικρότερη μέση διάρκεια Microtrip και το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου σε στάση.
- Τις βραδινές ώρες και τις ώρες ανάμεσα στις ώρες αιχμής π.χ. 10:00 - 11:00, επικρατούν ενδιάμεσες καταστάσεις σε όλα τα μετρούμενα μεγέθη.
  - Προκύπτει άλλη μια παρατήρηση από τις μετρήσεις κατά τη διάρκεια μεσημεριανών ωρών (με διαφορά μόνο μίας ώρας) του μήνα του Αυγούστου στην διαδρομή Κηφισιά - Βύρωνα.
- Παρατηρούμε λοιπόν ότι μέσα σε μόλις μια ώρα, οι συνθήκες κίνησης έχουν μεταβληθεί σε σημαντικό βαθμό.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η Μέση Ταχύτητα Διαδρομής έχει μεταβληθεί από 38 σε 28 km/h, και η Μέση Διάρκεια Microtrips έχει ακόμη μεγαλύτερη διαφορά, από 65 σε 34 δευτερόλεπτα.

## 6.6 Συμπεράσματα όσον αφορά τους μήνες

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης ανά μήνα καταγραφής μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής :

- Στους περισσότερους πίνακες της ομαδοποίησης ανά μήνα, επιβεβαιώνεται ότι τον μήνα του Αυγούστου λόγω του ότι μέρος του πληθυσμού απουσιάζει, οι συνθήκες κυκλοφορίας είναι όντως καλύτερες.

Κατά τις πρωινές ώρες (10:00 - 11:00) στην διαδρομή Κηφισιά - Ταύρος, η βελτίωση είναι μικρή διότι δεν είναι ώρες αιχμής οπότε και σε περίοδο με λιγότερο κόσμο στον δρόμο, οι σχετικά καλές συνθήκες κίνησης δεν βελτιώνονται σημαντικά.

- Αρκετά μεγαλύτερο ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει ο πίνακας σύγκρισης μέσων όρων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου, τις μεσημεριανές ώρες (14:00 - 15:00) στην διαδρομή Ταύρος - Κηφισιά.

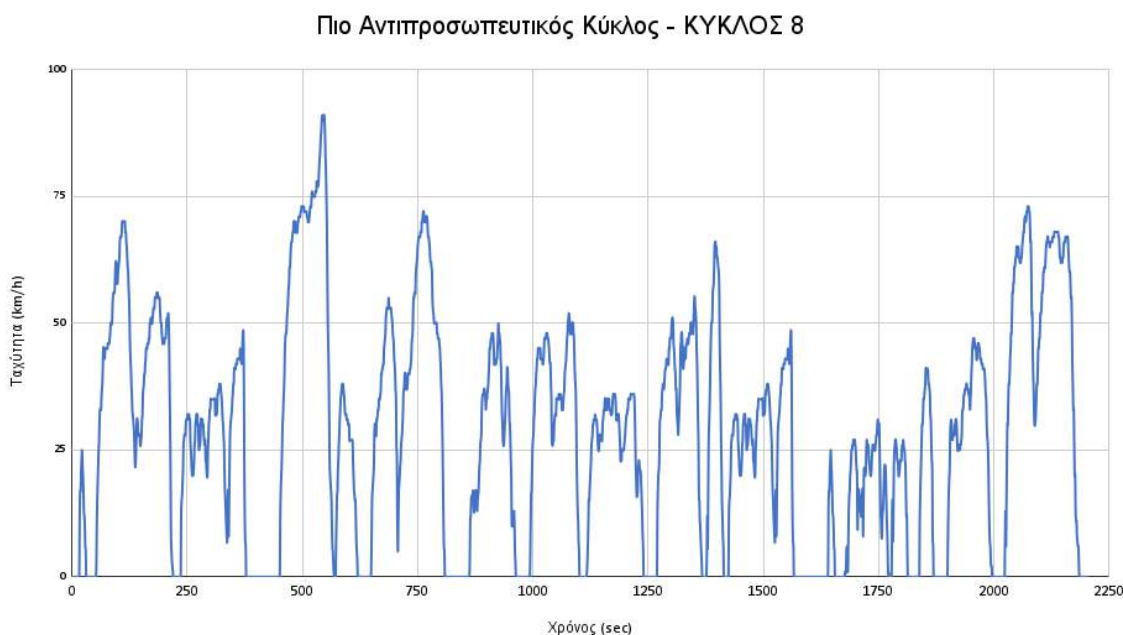
Η Μέση Ταχύτητα Διαδρομής τον Αύγουστο είναι 30km/h ενώ τον Σεπτέμβριο που είναι όλοι παρόντες η Μέση Ταχύτητα Διαδρομής φτάνει 15 km/h, σημαντική μείωση.

Ακόμα μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζει ο μέσος όρων των στάσεων, ο Αύγουστος μόλις 18 στάσεις ενώ ο Σεπτέμβριος 71 στάσεις.

- Οι στάσεις πάνω στην ίδια ακριβώς διαδρομή με διαφορά ένα μήνα, υπερ τριπλασιάστηκαν, αυτή η μεταβολή θεωρείται ακραία.
- Επίσης στον πίνακα που συγκρίνει τα χαρακτηριστικά μεγέθη στη διαδρομή Βύρωνα - Κηφισιά, μεσημεριανές ώρες, μεταξύ Ιουλίου και Αυγούστου παρατηρούμε ότι οι τιμές του Ιουλίου είναι καλύτερες από του Αυγούστου. Αυτό μας βάζει σε σκέψεις ότι πιθανότατα οι καταγραφές τον μήνα του Αυγούστου, που θα περιμέναμε καλύτερες συνθήκες κυκλοφορίας, δεν πραγματοποιήθηκαν κοντά στην περίοδο 10 με 20 Αυγούστου, δεκαήμερο το οποίο μεγάλο μέρος των εργαζόμενων παίρνει άδειες και λείπει.
- Μελετώντας τις ημερομηνίες των καταγραφών επαληθεύεται η σκέψη αυτή.

## 6.7 Αποτελέσματα κύκλων οδήγησης

Με την μέθοδο των Microtrip που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5.2.1 (Πως δημιουργούνται οι Κύκλοι Οδήγησης) παρήχθησαν δέκα (10) πιθανοί κύκλοι. Ο κύκλος που προσεγγίζει περισσότερο τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συνόλου των δεδομένων απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου :

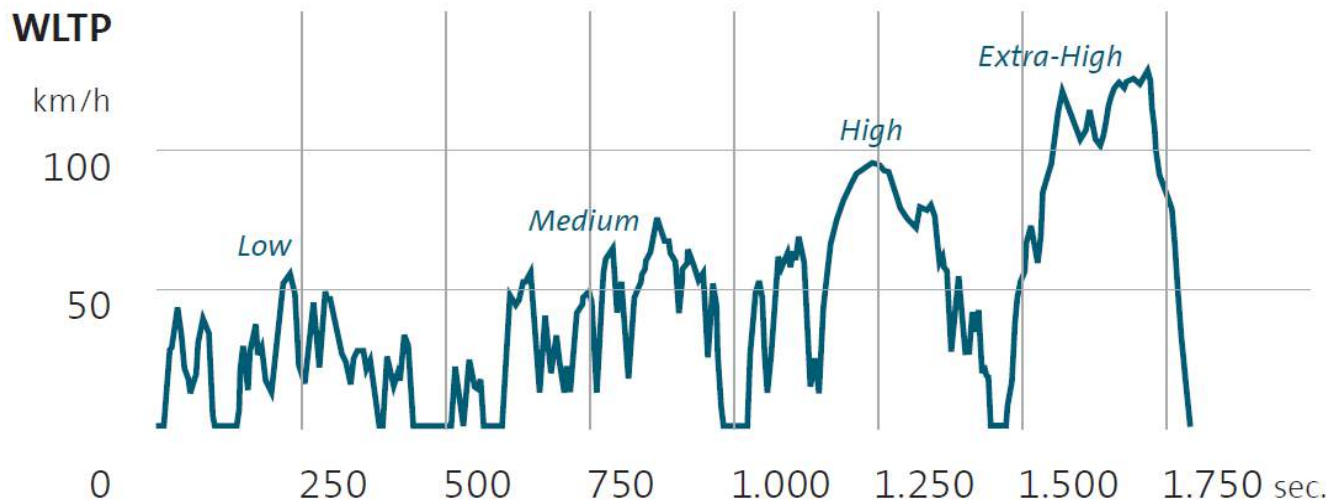


Ο κύκλος αυτός, ο ΚΥΚΛΟΣ 8 (από τους 10), έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

|  |       |
|--|-------|
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h)               | 29.94 |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής χωρίς Στασεις (km/h) | 39.36 |
| Συνολο Στάσεων                               | 17    |
| Μέση Διάρκεια Microtrips (seconds)           | 92    |
| Ποσοστό του χρόνου σε κίνηση                 | 76.07 |
| Ποσοστό του χρόνου σε στάση                  | 23.93 |

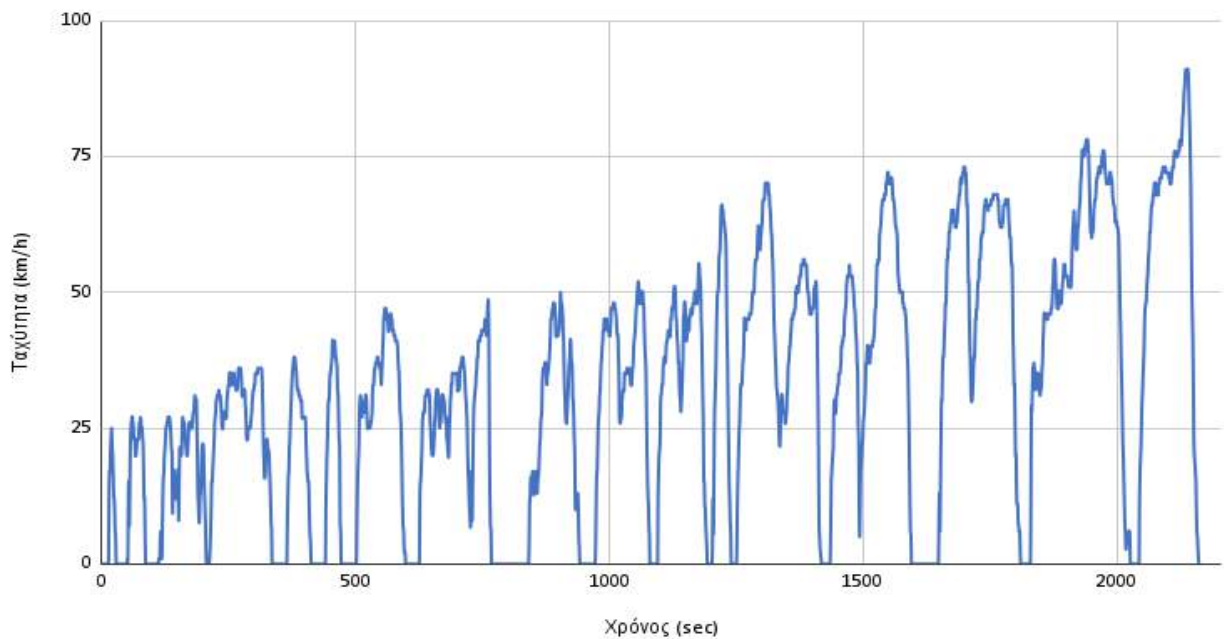
Στη συνέχεια ο κύκλος 8 τροποποιείται σε επίπεδο MicroTrip ώστε να μπορέσει να συγκριθεί με τον WLTP στη μορφή των τεσσάρων φάσεων που βρίσκεται. Ο τροποποιημένος κύκλος 8 πλέον αποτελείται από MicroTrips που είναι κατανομημένα κατά αύξουσα σειρά μέγιστης ταχύτητας.

## 6.8 Σύγκριση Κύκλου 8 με WLTP



**Εικόνα κύκλου WLTP από την Vehicle Certification Agency [63]**

### Πιο Αντιπροσωπευτικός Κύκλος - Microtrips κατά σειρά μέγιστης ταχύτητας



Μπορούμε πλέον να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά του κύκλου που δημιουργήθηκε από δεδομένα πραγματικής κίνησης στην πόλη της Αθήνας, με αυτά του Παγκόσμια Εναρμονισμένου Κύκλου Οδήγησης WLTP που χρησιμοποιείται από το 2017 μέχρι και σήμερα για τη μέτρηση και την πιστοποίηση εκπομπών αερίων ρύπων.



Συγκρίνοντας τα διαγράμματα του κύκλου πιστοποίησης WLTP με τον κύκλο 8 παρατηρούμε πώς οι μεταβολές ταχύτητας (Real World) είναι πολύ πιο απότομες, πολύ πιο συχνές, και μεταξύ τους πραγματοποιούνται πολλές περισσότερες από τις προβλεπόμενες στάσεις. Όσον αφορά τα MicroTrips είναι μεγαλύτερα σε πλήθος ανά χρονικό διάστημα.

|                                | WLTP | ΚΥΚΛΟΣ 8 |
|--------------------------------|------|----------|
| Διάρκεια (min)                 | 30   | 36       |
| Μήκος διαδρομής (km)           | 23   | 17.5     |
| Μέση Ταχύτητα Διαδρομής (km/h) | 47   | 30       |
| Ποσοστό χρόνου ακινησίας       | 13   | 24       |
| Σύνολο Στάσεων                 | 6    | 17       |

Μπορούμε πλέον να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά του κύκλου που δημιουργήθηκε από δεδομένα πραγματικής κίνησης στην πόλη της Αθήνας, με αυτά του Παγκόσμια Εναρμονισμένου Κύκλου Οδήγησης WLTP που χρησιμοποιείται από το 2017 μέχρι και σήμερα για τη μέτρηση και την πιστοποίηση εκπομπών αερίων ρύπων.

Από τον πίνακα σύγκρισης χαρακτηριστικών παρατηρούμε πώς :

- ❖ Σε πραγματικές συνθήκες κίνησης, το όχημα του πειράματος διήνυσε μικρότερη απόσταση, σε περισσότερη ώρα.
- ❖ Η μέση ταχύτητα διαδρομής έχει σημαντική διαφορά από την διαδικασία πιστοποίησης (47 km/h vs 30 km/h).
- ❖ Το ποσοστό του χρόνου σε ακινησία είναι επίσης μη αντιπροσωπευτικό.
- ❖ Και οι στάσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά μέσο λόγω κυκλοφοριακών συνθηκών είναι υπερτριπλάσιες (5 vs 17) των στάσεων του WLTP.

Σημείωση : Στον κύκλο WLTP, η τελευταία φάση η οποία είναι υψηλής ταχύτητας και φτάνει τα 130 km/h, δεν αντιστοιχεί σε παρόμοιο κομμάτι του δημιουργημένου κύκλου διότι, εντός Αθηνών (εξαιρουμένου Εθνικής και Αττικής Οδού) είναι σπάνιο η καθημερινή οδήγηση να φτάσει αυτά τα επίπεδα ταχύτητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Κατακλείδα & Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Συνοψίζοντας η παρούσα εργασία αποτελεί έρευνα η οποία πραγματεύεται τη μεθοδολογία δημιουργίας ενός αστικού κύκλου πόλης.

Στο πειραματικό μέρος της παρουσιάστηκαν οι σύγχρονες μέθοδοι καταγραφής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και τα βήματα που εφαρμόστηκαν ώστε να δημιουργηθεί ένα παράδειγμα προφίλ κίνησης για συγκεκριμένες διαδρομές.

Η πραγματοποίηση της δειγματοληψίας δεν ήταν δύσκολη και ο απαιτούμενος εξοπλισμός είναι εύκολα προσβάσιμος και οικονομικός.

Για την επεξεργασία των δεδομένων και τη δημιουργία κύκλων έπαιξε σημαντικό ρόλο η ανάπτυξη κώδικα με σκοπό την αυτοματοποίηση διαδικασιών. Η εκτέλεση των υπολογισμών αυτών χωρίς τη βοήθεια κάποιου υπολογιστικού προγράμματος και χωρίς κάποιον να το διαμορφώσει καθιστούν όλη τη δημιουργία κύκλων πολύ χρονοβόρα έως και ανέφικτη.

Η τήρηση της μεθοδολογίας και η χρήση υπολογιστικού κώδικα είχαν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό πιθανών κύκλων οδήγησης ώστε να επιλεγθεί ένας από αυτούς ως πιο αντιπροσωπευτικός.

Ο κύκλος που επιλέχθηκε επέτρεψε τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων όσον αφορά τις συνθήκες κυκλοφορίας και τις εκπομπές αερίων ρύπων στις συγκεκριμένες διαδρομές για τη χρονική περίοδο που καταγράφηκαν.

Η διαδικασία WLTP που εφαρμόζεται για την πιστοποίηση έγκρισης κυκλοφορίας οχημάτων διαφέρει σημαντικά από τον κύκλο που δημιουργήθηκε.

Ο κύκλος αυτός μπορεί να είναι μεν μια προσέγγιση ενός προφίλ κίνησης, παρόλα αυτά δείχνει κατα πόσο διαφέρει η συμπεριφορά οχήματος υπό πραγματικές συνθήκες κίνησης εντός Αθηνών, από τη θεσμοθετημένη διαδικασία ελέγχου παραγωγής καυσαερίων.

Εάν η παρούσα μεθοδολογία εφαρμοστεί σε πλήθος διαφορετικών οχημάτων και περιοχών ανά τακτά χρονικά διαστήματα αλλά και από διαφορετικούς οδηγούς (για να παρατηρηθεί και η οδηγική συμπεριφορά), είναι δυνατό να προσεγγίσει με ικανοποιητική ακρίβεια έναν αντιπροσωπευτικό αστικό κύκλο οδήγησης.

Επιπρόσθετα είναι σημαντικό να αναφερθεί η σημασία της συνεχούς ανανέωσης αστικών κύκλων μέσω στοχευμένων καταγραφών δεδομένων.

Όλα τα παραπάνω σκοπεύουν στη βελτίωση της ποιότητας των μετρήσεων των εκπομπών αερίων ρύπων. Με τα σημερινά δεδομένα η πιο ολοκληρωμένη διαδικασία μέτρησης αποτελεί ο συνδυασμός δυναμομετρικής εξέδρας/κύκλων οδήγησης με τα φορητά συστήματα μέτρησης εκπομπών PEMS.

Η συνεχής έρευνα κατέχει εξαιρετική σημασία για την εξέλιξη τεχνικών με απώτερο σκοπό τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τη βελτίωση του επιπέδου ζωής, ιδιαίτερα σε μία εποχή που απαιτούνται δραστικά μέτρα προστασίας του πλανήτη ο οποίος διατρέχει σοβαρό κίνδυνο.

#### Προτάσεις για περαιτέρω Έρευνα :

- Χρήση του κύκλου που δημιουργήθηκε για την εκτίμηση εκπομπής ρύπων σε δυναμομετρική εξέδρα και σύγκριση με τον έλεγχο καυσαερίων που πραγματοποιήθηκε.
- Έρευνα της κατηγορίας ρύπων των οχημάτων, ώστε να δοθεί μια εικόνα για τη κατάσταση συνολικά στην Ελλάδα, ίσως επειδή ο συνολικός αριθμός των οχημάτων να είναι EURO 4 να χρειαστεί να ληφθούν πιο δραστικά μέτρα.
- Έρευνες και ενημέρωση του πολίτη πάνω στην οδηγική συμπεριφορά η οποία επηρεάζει άμεσα την κατανάλωση καυσίμου και την εκπομπή ρύπων.
- Μελέτη περιοχών σημαντικής κυκλοφοριακής συμφόρησης ώστε να ληφθούν μέτρα βελτίωσης συνθηκών κίνησης.
- Συνεχόμενες καταγραφές οχημάτων εν κινήσει με τις νέες τεχνολογίες.
- Κρατικοί μηχανισμοί ώστε να προωθήσουν τους πολίτες να αλλάξουν το παλιό και ρυπογόνο όχημα τους για ένα καινούργιο λιγότερο ρυπογόνο.

## Πηγές και Βιβλιογραφία

- [1] Ατμοσφαιρική ρύπανση Δημήτρη Μελά - Τμήμα Φυσικής - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης:  
Dobbins R.A. 1979: Atmospheric Motion and Air Pollution, John Wiley and Sons. 324pp.  
-Fox L. Donald, Boubel W. Richard, Turner D. Bruce and Stern C. Arthur, 1992: Fundamentals of Air Pollution. Third Edition. Academic Press, Inc.  
-Godish Thad, 1991: Air Quality. Second Edition. Lewis Publishers INC., Chelsea, Michigan, U.S.A.. 422pp.  
-Seinfeld J.H. and Pandis S.N., 1998: Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons.
- [2] Αέρια ρύπανση οχημάτων Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Θέση κρατών και Μέτρα αυτοκινητοβιομηχανιών. Μελέτη περίπτωσης: Dieselgate - 2018 - Βούλγαρη Βαΐα,  
Γαζής & Παύλου, 2012, Schoenhaber et al., 2017, - Gibbs, 2015, Dieselnet Archives, 2015, *Καραγιάννης, 2013, Hastdutoene, 2011*
- [3] Ζιώμας & Ρεμουντάκη, 2004
- [4] Κοτρώτσου Βασιλική - 2019 - Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αττική Οδό  
-Βογιατζής. Κ (2012). Περιβαλλοντική Τεχνική & Θεσμικό Πλαίσιο Εφαρμογής, Εκδόσεις Συμμετρία , Αθήνα 2012  
- Βαλκανάς Γ. , Ρύπανση Περιβάλλοντος, Επιστήμη και Τεχνική Αντιμετώπισης, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα 1992.  
- Καντζάς Ευριπίδης –Παντελής, Παραγωγή Χαρτών Οπτικής Πυκνότητας Αεροζόλ με Χρήση Δορυφορικών Εικόνων ΝΟΑΑΑVHRR και Κώδικα Προσομοίωσης 6S, 2004.  
- Κουϊμτζής, Θ., Σαμαράς - Κωνσταντίνος, Κ. (1994). Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1998.
- [5] [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation\\_el](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_el)  
CO<sub>2</sub> emission performance standards for cars and vans
- [6] Ψυλλάκη Δέσποινα, Κύκλοι οδήγησης για την μέτρηση εκπομπών καυσαερίων και κατανάλωσης καυσίμου, 2013.
- [7] Δημοσθένης Κακαλόπουλος, Επίδραση κλιμάκωσης κιβωτίου ταχυτήτων στις εκπομπές CO<sub>2</sub> από επιβατικό όχημα, 2014]
- [8] Michel André, Robert Joumard,, Robert Vidon,, Patrick Tassel,, Pascal Perret,

- (2006), “ Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars ”.
- [9] K. A. Stonex. (1957). “Survey of Los Angeles traffic characteristics”.
- [10] Andre.M , DGXI, INRETS report LEN9434, 49 p, Bron, "Statistical elements for the definition of a new European Evaporative Emissions Control Procedure; Diurnal test conditions and Urban Driving Cycle." Study for the European Commission
- [11] v.Bulach -Prediction of line source of emissions along urban roads – 1977 – University of Melbourne, Dept. of Mechanical Engineering Report T26
- [12] P.G Boulter, U.S Latham, M. Ainge – 1999 - Driving cycles for measuring passenger car emissions on roads with traffic calming measures – The Science of the Total Environment 235, σελ 77-89
- [13] Κ.Α Πίτσας – Τεχνικός Έλεγχος Οχημάτων Κύκλοι Οδήγησης και Ατμοσφαιρική Ρύπανση – 2003 – Διδακτορική Διατριβή - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών – σελ 217 - 222.
- [14] Ευάγγελος Γ. Τζιράκης – Συσχετισμός Εκπομπών Οχημάτων με Φυσικοχημικές Ιδιότητες των Καυσίμων και με Δεδομένα από την Κίνηση των Οχημάτων στο Λεκανοπέδιο – 2007 – Διδακτορική Διατριβή - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών – σελ 93-95
- [15] Kuhler M., Karstens D – 1978 – Improved driving cycle for testing automotive exhaust emissions – SAE Technical Paper, Series 780650
- [16] M. Andre – 1996 – Driving cycles development : characterization of methods – SAE paper 961112
- [17] Sierra Research Inc. - 1995 – Methodology of generating Driving Cycles for Inventory development ( Prepared for U.S EPA ) Report SR-09-02
- [18] Haan,P.D. and M.Keller. Final Report (Μάρτιος, 2001). "Real-world driving cycles for emission measurement: ARTEMIS and Swiss cycles"
- [19] M Andre,( 1996), “Driving cycles development: characterization of methods”
- [20] E. Ericsson “The relationship between vehicular fuel consumption and exhaust emission and the characteristics of driving patterns”
- [21] E. Ericsson,( 1999 ),“Variability of urban driving patterns”
- [22] Ericsson(2001), “Independent driving pattern factors and their influence on fuel use and exhaust emission factors”
- [23] Δημοσθένης Κακαλόπουλος – 2014 – Επίδραση Κλιμάκωσης Κιβωτίου Ταχυτήτων στις Εκπομπές CO2 από επιβατικό όχημα σελ.11-13
- [24] Το συμβούλιο των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων «Οδηγία 88/76/ΕΟΚ, 3 Δεκεμβρίου 1987, για την τροποποίηση της οδηγίας 70/220/ΕΟΚ

- [25] Λουπάσης Μιχάλης – 2013 – Κύκλοι οδήγησης και ανάλυση διαδρομών για την πόλη των Χανίων – Τει Κρήτης, ΣΤΕΦ, Τμήμα Μηχανολογίας – σελ 28-72
- [26] Dieselnet Archives, Emission Test Cycles ,European Union ,Light Duty Vehicles,([http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php))
- [27] Dieselnet, Emission Test Cycles ,European Union ,Light Duty Vehicles ([http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php))
- [28] Dieselnet, emission test cycles ,European union ,light duty vehicles ([http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php))
- [29] Science of The Total Environment, Δεκέμβρης ,(2004) ,τομος, 1, Pages 73–84
- [30] Michel Andre , report INRETS-LTE 0411(,Ιούνιος 2004),”Real world driving cycles for measuring cars pollutant emissions-Part A The ARTEMIS European driving cycles ”
- [31] Dieselnet,European Union,Emission Test Cycles ,Common Artemis Driving Cycles (CADC),(<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php>)
- [32] Dieselnet,European union,Emission Test Cycles ,Common Artemis Driving Cycles (CADC),<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php> (<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php>)
- [33] Dieselnet,European union,Emission Test Cycles ,Common Artemis Driving Cycles (CADC),<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php> (<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php>)
- [34] Dieselnet,European union,Emission Test Cycles , Heavy-Duty Engines & Vehicles, ECE R49([http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_r49.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_r49.php))
- [35] Dieselnet,European union,Emission Test Cycles , Heavy-Duty Engines & Vehicles,ESC,(<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.php>)
- [36] Dieselnet,European union,Emission Test Cycles , Heavy-Duty Engines & Vehicles,,ELR(<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/elr.php>)
- [37] Dieselnet,European union,Emission Test Cycles , Heavy-Duty Engines & Vehicles,ETC,(<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.php>)
- [38] Dieselnet,European Union,Emission Test Cycles , Heavy-Duty Engines & Vehicles, Braunschweig, (<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/braunschweig.php>)
- [39] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle ( WLTP ), <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>,
- [40] Government Canada,Transport Canada,Driving Cycles North America, (<http://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-pagepolo-testplan>)

- [41] Government Canada Transport Canada, Driving Cycles, north America , U.S FTP-75,  
(<http://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-pagepolo-testplan-en-1772.htm#t5.2> )
- [42] Government Canada , Transport Canada, Driving Cycles, North America, EPA, (<http://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-pagepolo-testplan>)
- [43] EPA 400-F-93-005 U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF MOBILE SOURCES FACT SHEET, OMS-(16 July, 1994), High-Tech Inspection and Maintenance Tests  
(<http://www.epa.gov/oms/consumer/16-hitec.pdf>)
- [44] Government Canada , Transport Canada, Driving Cycles, North America SFTP SC03,  
(<http://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-pagepolo-testplan>)
- [45] Government Canada , Transport Canada, Driving Cycles, North America , SFTP US06,  
(<http://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-pagepolo-testplan>)
- [46] Transportpolicy, Emission Test Cycles, North America, Light Vehicles, EPA NYCC, ([http://transportpolicy.net/index.php?title=US:\\_Light-duty:\\_NYCC](http://transportpolicy.net/index.php?title=US:_Light-duty:_NYCC))
- [47] Transportpolicy, Emission Test Cycles, North Japan, Light Vehicles, 10 mode([http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan:\\_Light-duty:\\_10-Mode](http://transportpolicy.net/index.php?title=Japan:_Light-duty:_10-Mode))
- [48] Transport Policy, Emission Test Cycles, North America, Light Vehicles, 10-15 mode ([http://transportpolicy.net/index.php-title=Japan:\\_Light-duty:\\_10-15\\_Mode](http://transportpolicy.net/index.php-title=Japan:_Light-duty:_10-15_Mode))
- [49] Transport Policy, Emission Test Cycles, Japan, Light Vehicles, JC08,  
([http://www.transportpolicy.net/index.php?title=Japan:\\_Light-duty:\\_JC08](http://www.transportpolicy.net/index.php?title=Japan:_Light-duty:_JC08))
- [50] Κουλογιάννης Θεόδωρος - Ανάλυση διαδρομών για την ανάπτυξη αντιπροσωπευτικού κύκλου οδήγησης πραγματικών συνθηκών για την πόλη της Χαλκίδας - 2020
- [51] Vicente Franco, Marina Kousoulidou, Marilena Muntean, Leonidas Ntziachristos, Stefan Hausberger, Panagiota Dilara. Review Road vehicle emission factors development: A review Magazine: Atmospheric Environment, 2013, Volume 70, 84-97
- [52] Monica Tutuianu, Alessandro Marotta, Heinz Steven, Eva Ericsson, Takahiro Haniu, Noriyuki Ichikawa, Hajime Ishii. Development of a world-wide harmonized light duty driving test cycle (WLTC), 2013
- [53] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle ( WLTP ),  
<https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>

- [54] Volkswagen, Aktiengesellschaft – A new standard, An overview of WLTP for passenger cars and light commercial vehicles  
[https://www.volkswagenag.com/presence/konze rn/group fleet/dokumente/wltp/GFI\\_WTLP\\_Broschuere](https://www.volkswagenag.com/presence/konze rn/group fleet/dokumente/wltp/GFI_WTLP_Broschuere)
- [55] Εφαρμογές Σύγχρονων Τεχνολογιών στον Συσχετισμό Κατανάλωσης Καυσίμου - Συνθηκών Κίνησης Οχημάτων - ΓΕΩΡΓΑΝΤΖΑΚΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ - 2017
- [56] Accuracy of exhaust emission factor measurements on chassis dynamometer.”( Ιουνιος 2009 )Joumard R, Laurikko J, Le Han T, Geivanidis S, Samaras Z, Merétei T, Devaux P, André JM, Cornelis E, Lacour S, Prati MV, Vermeulen R, Zallinger M. Source :Laboratory of Transport and Environment, French National Institute for Transport and Safety Research, Bron, France. [joumard@inrets.fr](mailto:joumard@inrets.fr)
- [57] “Towards completing Euro 6/VI in the laband for the real world”: selected topicsTAP 2012, 19th International Transport and Air Pollution Conference November 2012, Thessaloniki/Greece, Nikolaus Steininger, Automotive Industry Unit Enterprise and Industry Directorate-General, European Commission
- [58] The introduction of the Real-Driving Emissions procedure in the European type-approval process and the EMROAD tool.  
([https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rde-ldv-emroad\\_19oct\\_morning\\_3.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rde-ldv-emroad_19oct_morning_3.pdf))
- [59] Σπυριδων Διαμαντάρας - Φεβρουάριος 2020 - Μέθοδοι Αντιμετώπισης της Παραποίησης των Μετρήσεων των Εκπομπών Ρύπων σε Οχήματα
- [60] AVL M.O.V.E SYSTEM CONTROL TM, 2015.
- [61] ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΠΕΡΙΚΛΗΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «Μεθοδολογία – Ανάπτυξη Κύκλων Οδήγησης από Δεδομένα Κίνησης, στην πόλη της Αθήνας»
- [62] ΛΑΓΟΥΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ - Μελέτη και διαμόρφωση κύκλων οδήγησης πραγματικών δεδομένων κίνησης οχημάτων καθημερινής χρήσης.
- [63] Vehicle Certification Agency  
(<https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/fuel-consumption-co2/the-worldwide-harmonised-light-vehicle-test-procedure/>)