ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Προδιαγραφές αερίων θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση από ελαφρά οχήματα, και τρόποι επίτευξής τους»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Σακαλίδη Νικόλαου

Επιβλέπων

Γιακουμής Ευάγγελος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2018

Μεταπτυχιακη Εργασια:	**«Προδιαγραφές αερίων θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση από ελαφρά οχήματα, και τρόποι επίτευξής τους»**
Φοιτητης:	**Σακαλίδης Νικόλαος**
Επιβλεπων:	**Γιακουμής Ευάγγελος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών**
Ακαδημαϊκο Ετος:	**2017-18**

Σύνοψη

Το θέμα της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται στις προδιαγραφές εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από επιβατικά και ελαφρά φορτηγά οχήματα (μικτό βάρος μικρότερο ή ίσο με 3,5 t) στην Ευρωπαϊκή Ένωση, και τους τρόπους επίτευξής τους. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο μέσω του οποίου η ατμόσφαιρά συγκρατεί θερμότητα οδηγώντας στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Ωστόσο η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει ενισχύσει σημαντικά την δράση του φαινομένου αυτού με αποτέλεσμα την κλιματική αλλαγή και την παγκόσμια υπερθέρμανση. Τα τελευταία χρόνια για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης, έχουν ξεκινήσει δράσεις για τον περιορισμό της ανθρώπινης δραστηριότητας που συντελεί στην κλιματική αλλαγή. Σήμερα τα επιβατικά οχήματα παράγουν το 12% των συνολικών εκπομπών CO_2 στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι ευρωπαϊκοί θεσμοί αναγνωρίζοντας την μεγάλη επίδραση των οχημάτων στην κλιματική αλλαγή έχουν θέσει όρια εκπομπής CO_2 για τις συνολικές μέσες εκπομπές των στόλων οχημάτων των διάφορων κατασκευαστών. Τα σημερινά (2018) όρια εκπομπής ορίζουν 130 gCO_2/km για τα επιβατικά οχήματα με στόχο τα 95 g/km από το 2021. Οι εκπομπές CO_2 των οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση ελέγχονται από τη διαδικασία πιστοποίησης WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure), η οποία από τον Σεπτέμβριο του 2017 αντικατέστησε την προηγούμενη διαδικασία NEDC (New European Driving Cycle – Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης) που ίσχυε για αρκετές δεκαετίες και πλέον είχε κριθεί ως απαρχαιωμένη και μη αντιπροσωπευτική της πραγματικής οδήγησης στο δρόμο. Οι κατασκευαστές οχημάτων προσπαθώντας να ανταποκριθούν στα νέα όρια εκπομπών και στην αυστηρότερη διαδικασία δοκιμής WLTP, εισάγουν σταδιακά στους κινητήρες και τα οχήματά τους νέες τεχνολογίες με σκοπό τη μείωση των εκπομπών CO_2, όπως χαρακτηριστικά εδώ και χρόνια κινητήρες Diesel, στροβιλο-υπερπλήρωση, συστήματα start-stop και απενεργοποίησης κυλίνδρων, αλλά και άλλες πιο ρηξικέλευθες λύσεις όπως υβριδικά ή και πλήρως ηλεκτρικά οχήματα αλλά και χρήση βιοκαυσίμων.

Περίληψη

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελείται από δύο βασικούς άξονες, τις ισχύουσες προδιαγραφές εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα σε επιβατικά και ελαφρά φορτηγά οχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και τους τρόπους μείωσής τους.

Αρχικά (1° κεφάλαιο) γίνεται αναφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, δηλαδή του φυσικού φαινομένου σύμφωνα με το οποίο η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συγκρατεί θερμότητα συντελώντας έτσι στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Καθοριστικό ρόλο σε αυτό το φαινόμενο διαδραματίζουν τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι οι υδρατμοί (H_20), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), το όζον (O_3) και ορισμένα φθοριούχα αέρια. Αν και το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί έναν φυσικό μηχανισμό του πλανήτη, ο όρος του φαινομένου αυτού έχει συνδεθεί τις τελευταίες δεκαετίες με την κλιματική αλλαγή και την παγκόσμια υπερθέρμανση. Αυτό συμβαίνει λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων μέσω των οποίων αυξάνεται η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας στην δράση του 'ενισχυμένου' φαινομένου του θερμοκηπίου.

Δεδομένης της κατάστασης και της διαρκούς επιβάρυνσης της κλιματικής κατάστασης του πλανήτη, κυρίως λόγω των μη αναμενόμενων και εκτεταμένων μετεωρολογικών μεταβολών, το θέμα συγκέντρωσε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, η οποία προέβλεψε ότι στο τέλος του αιώνα είναι πιθανή μια συνολική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη 1.5-2.5^{o}C πάνω από τα επίπεδα της προβιομηχανικής εποχής. Τα τελευταία χρόνια έχουν ξεκινήσει δράσεις σχετικά με τον περιορισμό της ανθρώπινης δραστηριότητας που συντελεί στην κλιματική αλλαγή. Πρωταρχικό ρόλο σε αυτήν την προσπάθεια διαδραματίζει η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή

(IPCC) και τα Ηνωμένα Έθνη μέσα από ενέργειες όπως η Σύμβαση-Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), το Πρωτόκολλο του Κιότο και η Συμφωνία του Παρισιού, δράσεις που θα συζητηθούν στα αντίστοιχα κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

Η θεματική εξέλιξη της παρούσας εργασίας προχωράει με τις προδιαγραφές των εκπομπών CO_2 στην Ευρωπαϊκή Ένωση (το οποίο είναι και το μοναδικό αέριο του θερμοκηπίου για το οποίο υπάρχουν προδιαγραφές) από επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά. Ακολουθείται μια ιστορική αναδρομή των προσπαθειών των ευρωπαϊκών θεσμών σχετικά με την τον περιορισμό των εκπομπών CO_2 από τις παραπάνω κατηγορίες οχημάτων. Οι προσπάθειες αυτές ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1990 με την μορφή εθελοντικών συμφωνιών που υπογράφηκαν ανάμεσα στους ευρωπαϊκούς θεσμούς και τους σημαντικότερους συνδέσμους κατασκευαστών αυτοκινήτων που δραστηριοποιούνται στον ευρωπαϊκό χώρο (ACEA, JAMA, KAMA). Ενώ αρχικά οι κατασκευαστές έδειξαν να ανταποκρίνονται στις εθελοντικές τους δεσμεύσεις, ήταν φανερό αρκετά πριν την χρονική λήξη αυτών (2009), ότι υπήρχε αδυναμία ταύτισης του μέσου όρου των εκπομπών CO_2 των οχημάτων με τους στόχους που είχαν τεθεί. Έτσι οι ευρωπαϊκοί θεσμοί έθεσαν σε εφαρμογή υποχρεωτικά όρια εκπομπής για τους στόλους των οχημάτων των αυτοκινητοβιομηχανιών. Η αρχή έγινε το 2009 με την εισαγωγή του ορίου του μέσου όρου εκπομπής των 130 gCO_2/km για τα επιβατικά οχήματα με τελικό χρόνο καθολικής εφαρμογής το 2015. Στην συνέχεια, και συγκεκριμένα το 2011, εισήχθη η προδιαγραφή που όριζε για τα ελαφρά φορτηγά μέσο όρο εκπομπών ανά στόλο κατασκευαστή τα 147 g CO_2/km με χρονικό ορίζοντα επίτευξης του ορίου το 2020 και ενδιάμεση φάση προσαρμογής τα 175 gCO_2/km για το διάστημα 2014-2016. Σήμερα βρίσκονται σε εφαρμογή οι κανονισμοί που υιοθετήθηκαν στο τέλος του 2013 και ορίζουν από το 2020 μέσο όρο εκπομπής τα 95 gCO_2/km και 147 gCO_2/km για τους στόλους των επιβατικών οχημάτων και ελαφρών φορτηγών των αυτοκινητοβιομηχανιών αντιστοίχως. Όσον αφορά τα μελλοντικά σχέδια, ο στόχος που έχει προταθεί από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο για τα επιβατικά οχήματα βρίσκεται στο φάσμα των 68-78 gCO_2/km με ισχύ από το 2025.

Στο Κεφάλαιο 4 θα γίνει ανάλυση των κύκλων οδήγησης, δηλαδή του συστήματος που χρησιμοποιείται από τα διάφορα κράτη και οργανισμούς για την μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής καυσαερίων των οχημάτων. Μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2017, στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρησιμοποιούταν για την μέτρηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (και ρύπων) ο κύκλος NEDC (New European Driving Cycle – Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης), ο οποίος εγκαταλείφθηκε λόγω της αδυναμίας του να ανταποκριθεί πλήρως σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, οδηγώντας έτσι σε υποεκτιμημένες μετρήσεις. Αυτό έχει αλλάξει πλέον, και χρησιμοποιείται ο πολύ πιο αντιπροσωπευτικός παγκόσμιος κύκλος οδήγησης WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) για τα ελαφρά οχήματα, ο οποίος έχει σχεδιαστεί βάσει πραγματικών δεδομένων οδήγησης.

Στο τελευταίο και σημαντικότερο τμήμα της παρούσας εργασίας (Κεφάλαιο 5) αναλύονται τρόποι μείωσης των εκπομπών CO_2 από τα επιβατικά και ελαφρά φορτηγά οχήματα μέσω τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σήμερα στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης διαδραματίζει έναν καθοριστικό ρόλο στις σημερινές μεταφορές κάτι που θα συνεχίσει να ισχύει και στα επόμενα χρόνια. Οι επιδόσεις των κινητήρων, η καύση, η απόδοσή και οι εκπομπές αυτών σχετίζονται με τον σχεδιασμό του κινητήρα, τις παραμέτρους λειτουργίας του και τις ιδιότητες των καυσίμων. Οι παραπάνω παράμετροι είναι σημαντικοί για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του κινητήρα και την μείωση των εκπομπών του. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα των πετρελαιοκινητήρων έναντι των αντίστοιχων βενζινοκινητήρων στην κατανάλωση καυσίμου και επομένως στις εκπομπές CO_2 δεδομένης της ένα προς ένα σχέσης σύνδεσης που υπάρχει μεταξύ τους. Ακόμη παρουσιάζονται τεχνολογίες όπως η χρήση συστημάτων υπερπλήρωσης, παύσης της λειτουργίας του κινητήρα κατά τα διαστήματα ακινησίας (start-stop), απενεργοποίησης κυλίνδρων του κινητήρα ανάλογα με το επιβαλλόμενο φορτίο, μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων, μεταβλητού λόγου συμπίεσης και λειτουργία σε κύκλο Miller. Επίσης, θα συζητηθούν τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και τεχνικών που συντελούν στην βελτίωση της αεροδυναμικής και την μείωση του βάρους του οχημάτων.

Post-Graduate Thesis:	**«Greenhouse gas emission standards for light-duty vehicles in the European Union and ways to achieve them»**
Student:	**Sakalidis Nikolaos**
Supervisor:	**Giakoumis Evangelos, Associate Professor, School of Mechanical Engineering**
Academic Year:	**2017-18**

Abstract

The subject of this diploma thesis focuses on the applicable/valid carbon dioxide emission standards for passenger and light commercial vehicles (gross weight lower or equal to 3,5 t) in the European Union and the ways to achieve these emissions targets. The greenhouse effect is a natural phenomenon according to which the atmosphere of the earth holds heat, thereby increasing its surface temperature. Due to the human activities the action of this phenomenon has been enhanced, leading to climate change and global warming. In recent years, actions have been launched to curb human activity that contributes to Climate Change. Today, passenger cars are responsible for 12% of the total CO_2 emissions in the in European Union. The legislative European institutions having recognized the critical effect of vehicles to climate change, have set compulsory CO_2 emission targets corresponding to the whole fleet of each manufacturers. The current (2018) emission limits set 130 g CO_2/km for passenger cars while targeting the 95 gCO_2/km limit from year 2021. The CO_2 emissions of vehicles in the European Union are measured through the Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP), which has, since September 2017, replaced the previous NEDC (New European Driving Cycle) procedure that has been in place for several decades and has been deemed obsolete and unrepresentative of real-world driving conditions. In the pursuit of achieving the EU's new emission limits and handling the tight WLTP test procedure, vehicle manufacturers gradually introduce to their engines and vehicles new technologies to reduce CO_2 emissions such as diesel engines, turbocharging, start-stop and cylinder deactivation schemes, as well as other more groundbreaking solutions such as hybrid or fully electric vehicles and the use of biofuels.

Summary

The subject of this diploma thesis consists of two main axes: the applicable/valid carbon dioxide emission standards for passenger and light commercial vehicles in the European Union and the ways to reduce these emissions.

Initially, (Chapter 2) reference is made to the greenhouse effect, i.e. the natural phenomenon according to which the atmosphere of the earth holds heat, thereby increasing its surface temperature. Greenhouse gases, such as water vapor (H_2O), carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrogen monoxide (N_2O), ozone (O_3) and some fluoride gases, play the most significant and determining role in this phenomenon. Although the greenhouse effect is a natural mechanism of the Earth's planet, the term of this phenomenon has been linked to Climate Change and global warming over the last decades. This is due to the human activities that increase the Concentration of greenhouse gases in the atmosphere, leading to the action of the "enhanced" greenhouse effect.

Given the situation and the continuing burden of the global climate, mainly due to unexpected and widespread meteorological changes, the issue raised the interest of the scientific community, which predicted that at the end of the century a total increase in global warming of 1.5-2.5°C above pre-industrial levels is likely to happen. In recent years, actions have been launched to curb human activity that contributes to Climate Change. A primary role in this effort is played by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the United Nations through actions such as the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Change), the Kyoto Protocol and the Paris Agreement, actions to be discussed in the relevant chapters of this thesis.

In the third chapter, the standards of CO_2 emissions from passenger cars and light trucks in the European Union are discussed (carbon dioxide is the only greenhouse gas for which emission standards exist in the EU). A historical review of the European institutions' efforts to reduce CO_2 emissions from the above categories of vehicles is then

presented. These efforts began in the late 1990s in the form of voluntary agreements between the European institutions and the major car manufacturers' associations operating in the Europe (ACEA, JAMA, KAMA). While initially manufacturers proved to respond to their voluntary commitments, it was clear enough before their expiration (2009) that there was a failure to match the average CO_2 emissions of vehicles with the targets set. Thus, European institutions introduced mandatory CO_2 emission limits for automotive vehicles fleets. The start was made in 2009 with the introduction of the average emission target of 130 gCO_2/km for passenger vehicles to be fully applicable in 2015. Then, in 2011, the specification was introduced for light trucks (Light Commercial Vehicles) in the order of 147 gCO_2/km with a 2020 deadline and an intermediate adjustment phase of 175 g CO_2/km between 2014 and 2016. The regulations adopted at the end of 2013 set an average emission level of 95 g CO_2/km and 147 g CO_2/km for the fleets of the passenger cars and light trucks to be enforced from 2020. For future projects, the European Parliament's proposed target for passenger cars is in the range of 68-78 gCO2/km, to be enforced from 2025.

Chapter four discusses the driving cycles test procedure, i.e. of the system used by the various countries and organizations to measure fuel consumption and emissions from vehicles. Until September 2017, the NEDC (New European Driving Cycle), was used in the European Union for the measurement of carbon dioxide and pollutant emissions; this has now been abandoned due to its inability to fully represent actual driving conditions, thus leading to underestimated measurements. Beginning September 2017, the much more representative WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) procedure for light-duty vehicles is employed, based on real-world driving data.

In the last, and most important part, of this thesis (Chapter 5) we analyze ways to reduce CO_2 emissions from passenger and light commercial vehicles via technologies currently used (or proposed to be used) in internal combustion engines. The internal combustion engine plays a key role in today's transport, a fact that is expected continue to apply in the years to come. Engine performance, its combustion, efficiency and emissions are related to engine design, operating parameters and fuel properties. The above parameters are important for optimizing engine performance and reducing emissions. In this paper we present the advantages of diesel engines over their respective petrol engines in regard to fuel consumption and therefore CO_2 emissions. In addition, technologies, such as the use of turbocharging, engine start-stop, cylinder deactivation depending on the engine load, variable valve timing, variable compression ratio engines and Miller cycle are presented. The benefits of using hybrid or electrified vehicles as well as a variety of techniques that help to improve the aerodynamic efficiency and weight reduction of vehicles are also discussed.

Περιεχόμενα

Σύνοψη 3
Περίληψη 3
Abstract 5
Summary 5
Κατάλογος πινάκων 10
Κατάλογος σχημάτων 12
Συντομογραφίες 16
1. Εισαγωγή 19
2. Φαινόμενο του θερμοκηπίου 21
2.1. Περιγραφή του φαινομένου του θερμοκηπίου 21
2.2. Αέρια του θερμοκηπίου 22
2.3. Κλιματική αλλαγή 24
2.4. Παγκόσμιες ενέργειες για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου 25
2.4.1. Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή 26
2.4.2. Δράσεις υπό την σκέπη των Ηνωμένων Εθνών 27
2.5. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από μεταφορές στην Ευρώπη 31
3. Προδιαγραφές εκπομπών CO_2 στην Ευρωπαϊκή Ένωση 35
3.1. Προδιαγραφές εκπομπής ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση 35
3.1.1. Εξέλιξη ευρωπαϊκών προτύπων εκπομπής ρύπων 35
3.1.2. Όρια εκπομπών για κατηγορίες Euro 1-6 37
3.2. Ιστορική αναδρομή πολιτικής εκπομπών CO_2 στην Ευρωπαϊκή Ένωση 42
3.2.1. Εθελοντικοί στόχοι 43
3.2.2. Υποχρεωτικοί στόχοι 43
3.3. Τεχνικές προδιαγραφές εκπομπής CO_2 44
3.3.1. 1998-2008 εθελοντικές συμφωνίες 44
3.3.2. Προδιαγραφή επιβατικών οχημάτων 2009 (130 g/km) 46
3.3.3. Προδιαγραφή ελαφρών φορτηγών 2011 (175/147 g/km) 48
3.3.4. Προδιαγραφές επιβατικών οχημάτων και ελαφρών φορτηγών 2013 (95 και 147 g/km) 50
3.3.5. Μελλοντικοί στόχοι 51
3.4. Κάλυψη των στόχων εκπομπής CO_2 52

3.6. Πολιτικές αποφάσεις 58
3.7. Διαμόρφωση του σημερινού στόλου οχημάτων στην Ευρώπη 60
3.8. Σχέση σύνδεσης κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO_2 ενός οχήματος 65
4. Κύκλοι οδήγησης – διαδικασία μέτρησης CO_2 69
4.1. Δυναμομετρικές εξέδρες και δυναμόμετρα πάγκου 69
4.2. Διάκριση κύκλων οδήγησης 70
4.3. Ανάπτυξη κύκλων οδήγησης 71
4.4. Βασικοί παράμετροι των κύκλων οδήγησης 72
4.5. Κύκλοι οδήγησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση 73
4.5.1. Συνδυασμένος κύκλος ECE και EUDC 73
4.5.2. Διαδικασία πιστοποίησης WLTP 78
4.5.3. Μετάβαση από δοκιμή NEDC σε WLTP 85
4.6. Διαδικασία μέτρησης εκπομπών καυσαερίων 86
5. Τρόποι μείωσης CO_2 92
5.1. Πλεονεκτήματα χρήσης πετρελαιοκίνητων έναντι βενζινοκίνητων οχημάτων 92
5.1.1. Εκτιμώμενες εκπομπές CO_2 από τα οχήματα του 2015 98
5.2. Υπερπλήρωση – Downsizing 100
5.2.1. Πλεονεκτήματα υπερπλήρωσης κινητήρα 100
5.2.2. Χρήση συστήματος ψυχόμενης ανακυκλοφορίας καυσαερίων 102
5.2.3. Εφαρμογές downsized κινητήρων 103
5.2.4. Εκτιμήσεις μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου με εφαρμογή τεχνολογιών υπερπλήρωσης 105
5.3. Παύση της λειτουργίας του κινητήρα κατά τα διαστήματα ακινησίας (Idle stop-start) 106
5.3.1. Τύποι εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων start-stop 107
5.3.2. Μείωση εκπομπών CO_2 από την χρήση συστήματος start-stop 110
5.4. Απενεργοποίηση κυλίνδρων 113
5.4.1. Πλεονεκτήματα χρήσης συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων 113
5.4.2. Εμπορικές εφαρμογές συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων 113
5.4.3. Διάκριση συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων 114
5.4.4. Εκτιμώμενη μείωση κατανάλωσης καυσίμου από την χρήση συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων 118
5.5. Μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων (VVT) 118
5.5.1. Πλεονεκτήματα χρήσης συστημάτων μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων 118

5.5.2. Φάσεις βαλβίδων στους συμβατικούς κινητήρες σπινθηρισμού 119
5.5.3. Στρατηγικές χειρισμού βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής 121
5.5.4. Μηχανισμοί ενεργοποίησης των βαλβίδων 130
5.5.5. Μείωση εκπομπών CO_2 από την χρήση συστήματος μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων 132
5.6. Μεταβλητός λόγος συμπίεσης κυλίνδρου 134
5.6.1. Πλεονεκτήματα χρήσης συστήματος μεταβλητού λόγου συμπίεσης κυλίνδρου .. 134
5.6.2. Διάκριση συστημάτων μεταβλητού λόγου συμπίεσης 134
5.6.3. Εφαρμογή σε κινητήρες πετρελαίου 138
5.6.4. Στρατηγικές χειρισμού του λόγου συμπίεσης στο μερικό και υψηλό φορτίο 139
5.6.5. Πλεονεκτήματα σε κινητήρες βενζίνης 142
5.6.6. Μείωση εκπομπών CO_2 από σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων 144
5.7. Κύκλος Miller 144
5.7.1. Πλεονεκτήματα κύκλου Miller 144
5.7.2. Εφαρμογές κύκλου Miller σε πετρελαιοκινητήρες 146
5.7.3. Εφαρμογές κύκλου Miller σε βενζινοκινητήρες 147
5.8. Ηλεκτρικά οχήματα 150
5.8.1. Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων 150
5.8.2. Εξοικονόμηση καυσίμου από την χρήση διαφόρων τεχνολογιών ηλεκτρικών οχημάτων 155
5.8.3. Επιδράσεις στα επίπεδα εκπομπών CO_2 των ηλεκτρικών οχημάτων 156
5.9. Αεροδυναμική βελτίωση 162
5.9.1. Βασικές αρχές 162
5.9.2. Μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου 163
5.10. Μείωση βάρους 164
5.10.1. Υποκατάσταση υλικών στην αυτοκινητοβιομηχανία 164
5.10.2. Βασικά υλικά αυτοκινητοβιομηχανίας 166
5.10.3. Εκτίμηση του περιθωρίου μείωσης βάρους 168
6. Σύνοψη και Συμπεράσματα 170
7. Βιβλιογραφία 174

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3.1: Προδιαγραφές εκπομπών ρύπων Ευρωπαϊκής Ένωσης για επιβατικά οχήματα (κατηγορίες M_1, M_2) [14] 37
Πίνακας 3.2: Προδιαγραφές εκπομπής Ευρωπαϊκής Ένωσης για ελαφρά φορτηγά (κατηγορίες N_1, N_2) [14] 40
Πίνακας 3.3: Μέσος όρος εκπομπών των ελαφρών οχημάτων για το 2003, μειώσεις εκπομπών στα διαστήματα 1995-2003 / 2002-2003 και μεσοπρόθεσμοι στόχοι εκπομπής για το έτος 2003 [16] 46
Πίνακας 3.4: Μέσες εκπομπές CO_2 σε g/km των ελαφρών οχημάτων για το διάστημα 2000-2009 [16] 46
Πίνακας 3.5: Ποσοστό του νέου στόλου αυτοκινήτων των κατασκευαστών που έπρεπε να πληροί το όριο των 130 gCO_2/km ανά έτος στην φάση προσαρμογής [16] 47
Πίνακας 3.6: Ποσοστό των νέων στόλων ελαφρών φορτηγών των κατασκευαστών που έπρεπε να πληροί το όριο των 175 gCO_2/km ανά έτος στην φάση προσαρμογής [16] 49
Πίνακας 3.7: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 επιβατικών οχημάτων για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17] 53
Πίνακας 3.8: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 ελαφρών φορτηγών για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17] 55
Πίνακας 3.9: Πίνακας κατανάλωσης καυσίμου-εκπομπών CO_2 για διάφορα οχήματα με κινητήρα βενζίνης [21] 66
Πίνακας 3.10: Πίνακας κατανάλωσης καυσίμου-εκπομπών CO_2 για διάφορα οχήματα με κινητήρα πετρελαίου [21] 67
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικοί παράμετροι κύκλων οδήγησης ECE-15, EUDC και NEDC [11] (το πλέον χαρακτηριστικό μέγεθος μη αντιπροσωπευτικότητας του κύκλου είναι ίσως η (ιδιαίτερα χαμηλή) μέγιστη επιτάχυνση που ισοδυναμεί με 3,6 km/h/s ή αλλιώς απαιτούνται περίπου 27 s για να «πιάσει» το όχημα ταχύτητα 100 km/h) 76
Πίνακας 4.2: Κύκλοι οδήγησης WLTC [26] 79
Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικοί παράμετροι του WLTC Class 3 [27] 80
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικοί παράμετροι του κύκλου WLTC κλάσης 2 [27] 82
Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικοί παράμετροι του κύκλου WLTC κλάσης 1 [27] 82
Πίνακας 4.6: Δοκιμή WLTP για υβριδικά οχήματα [27] 84
Πίνακας 5.1: Οικονομία καυσίμου, κατανάλωση καυσίμου και μέσες εκπομπές CO_2 για τα οχήματα της βορειοαμερικανικής και γερμανικής αγοράς του 2001 [30] 97
Πίνακας 5.2: Επίδραση νέων τεχνολογιών στην οικονομία καυσίμου των οχημάτων [30] 99
Πίνακας 5.3: Εκτίμηση οικονομίας καυσίμου, κατανάλωσης καυσίμου και μέσων εκπομπές CO_2 για τα οχήματα της βορειοαμερικανικής και γερμανικής αγοράς του 2015 [30] 100
Πίνακας 5.4: Συστήματα υπερπλήρωσης για υπερπληρωμένους downsized κινητήρες Otto [33] 103
Πίνακας 5.5: Παραδείγματα downsized υπερπληρωμένων 3-κύλινδρων κινητήρων διαφόρων κατασκευαστών [31] 105

Πίνακας 5.6: Ποσοστό οχημάτων με υπερπληρωμένο κινητήρα στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [31] 105
Πίνακας 5.7: Ποσοστιαίες μειώσεις της κατανάλωσης καυσίμου που μπορεί να επέλθουν με την χρήση διαφορετικών τεχνολογιών υπερπλήρωσης [32] 106
Πίνακας 5.8: Λίστα οχημάτων που εξετάστηκαν στην δοκιμή επίδρασης του συστήματος start-stop στις εκπομπές CO_2 [38] 111
Πίνακας 5.9: Εφαρμογές συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων από ορισμένους κατασκευαστές κινητήρων [39] 114
Πίνακας 5.10: Εκτιμώμενη μείωση κατανάλωσης καυσίμου από χρήση συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων σε κινητήρες V6 και V8 [31] 118
Πίνακας 5.11: Σύγκριση του 13L Miller κινητήρα της SCANIA με την γκάμα των συμβατικών 9L κινητήρων της [60] 147
Πίνακας 5.12: Ποσοστιαίες διαφορές κατανάλωσης και οικονομίας καυσίμου ανάμεσα σε ηλεκτρικά και τα αντίστοιχα συμβατικά οχήματα [31] 156
Πίνακας 5.13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της εκτιμώμενης μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου ανά κατηγορία ηλεκτρικού οχήματος [31] 156
Πίνακας 5.14: Σενάρια φόρτισης, [68] 158
Πίνακας 5.15: Εκτιμώμενες μειώσεις του συντελεστή οπισθέλκουσας και αντίστοιχες μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου [31] 164
Πίνακας 5.16: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης καυσίμου ανά ποσοστό περιορισμού του συνολικού βάρους του οχήματος για μεσαία και μεγάλα επιβατικά οχήματα [31] 168
Πίνακας 5.17: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης καυσίμου ανά ποσοστό περιορισμού του συνολικού βάρους του οχήματος για ελαφρά φορτηγά [31] 169

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Η ισορροπία της ενέργειας της γης [1] 21
Σχήμα 2.2: Θερμοκρασιακή ανωμαλία της γης στο διάστημα 1961-2017 [2] 25
Σχήμα 2.3: Εκπομπές αερίων του Θερμοκηπίου ανά τομέα [9] 31
Σχήμα 2.4: Μερίδιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λόγω μεταφορών ανά κατηγορία [10] 32
Σχήμα 2.5: Καταμερισμός μεριδίων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου ανά κατηγορία οδικών μεταφορών [10] 32
Σχήμα 2.6: Εκπομπές CO_2 από τον τομέα των μεταφορών στο διάστημα 1990-2015 [10] 34
Σχήμα 3.1: Κατανομή εκπεμπόμενων ρύπων PM, NO_X, SO_X, NMVOC and NH_3 ανά πηγή προέλευσης στην Ευρώπη για την περίοδο 2001-2010 (Gg/year = 1 000 tonnes/year) [15] 41
Σχήμα 3.2: Σύγκριση των παγκόσμιων ρυθμίσεων σχετικά με τις εκπομπές CO_2 για επιβατικά οχήματα [17] 42
Σχήμα 3.3: Ιστορική εξέλιξη του μέσου όρου εκπομπών CO_2 και των στόχων που τέθηκαν μέχρι σήμερα, καθώς και των μελλοντικών σχεδίων της περιόδου 2021-2030 [19] 51
Σχήμα 3.4: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 επιβατικών οχημάτων για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17] 52
Σχήμα 3.5: Μέση κατανάλωση (σε L/100km) και εκπομπές CO_2 (σε g/km) επιβατικών οχημάτων των κυριότερων κατασκευαστών της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020. Οι πράσινες μπάρες αντιπροσωπεύουν το ποσοστό της συμμόρφωσης με τα όρια του 2015, ήδη από το 2012 [17] 54
Σχήμα 3.6: Εκπομπές CO_2 από επιλεγμένα εμπορικά διαθέσιμα επιβατικά οχήματα στην Ευρώπη το 2013 [17] 54
Σχήμα 3.7: Μέση κατανάλωση (σε L/100km) και εκπομπές CO_2 (σε g/km) ελαφρών φορτηγών των κυριότερων κατασκευαστών της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020. Οι πράσινες μπάρες αντιπροσωπεύουν το ποσοστό της συμμόρφωσης με τα όρια του 2015, ήδη από το 2012 [17] 56
Σχήμα 3.8: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 ελαφρών φορτηγών για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17] 56
Σχήμα 3.9: Εκπομπές CO_2 του στόλου των light-duty οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμίσεων που εισήχθησαν σχετικά με τις εκπομπές CO_2 [17] 58
Σχήμα 3.10: Μερίδιο αγοράς των οχημάτων SUV σαν ποσοστό επί του συνολικού αριθμού οχημάτων που πωλήθηκαν στην Γερμανία, την Ολλανδία και σε όλη την Ευρώπη [19] 61
Σχήμα 3.11: Μέση κινητήρια ισχύς των νέων επιβατικών οχημάτων στην Γερμανία, στην Ολλανδία και στην Ευρώπη συνολικά [19] 62
Σχήμα 3.12: Μερίδιο αγοράς των ηλεκτροκίνητων οχημάτων (HEVs, PHEVs, BEVs), σαν ποσοστό επί του συνόλου των πωλήσεων των νέων οχημάτων στην Γερμανία, στην Ολλανδία και ολόκληρη την Ευρώπη [19] 63
Σχήμα 3.13: Μέσες εκπομπές CO2 των νέων επιβατικών οχημάτων στην Γερμανία, στην Ολλανδία και στην Ευρώπη συνολικά (σύμφωνα με τον κύκλο οδήγησης NEDC) [19] 64
Σχήμα 3.14: Γραφική αναπαράσταση της σχέσης κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO_2 [20] 65
Σχήμα 3.15: Εκπομπές CO_2 σε σχέση με κατανάλωση βενζίνης [21] 67
Σχήμα 3.16: Εκπομπές CO_2 σε σχέση με κατανάλωση πετρελαίου [21] 68

Σχήμα 4.1: Δυναμομετρική εξέδρα πλαισίου [23] 69
Σχήμα 4.2: Δυναμόμετρο πάγκου [24] 70
Σχήμα 4.3: Απλοϊκός (modal) κύκλος πόλης (Japanese 10-15 mode) - οι 10 φάσεις στο σχήμα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες διαδικασίες οδήγησης (επιλεγμένη ταχύτητα στο κιβώτιο, ταχύτητα οχήματος και επιτάχυνση) που αναπαράγονται κατά το «τρέξιμο» του κύκλου στο εργαστήριο [11] 71
Σχήμα 4.4: Κύκλος πόλης (Αμερικανικός FTP-72) βασισμένος σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας στο δρόμο [11] 71
Σχήμα 4.5: Κύκλοι οδήγησης ECE+EUDC και NEDC με εμφανή τη διαφορά στο διάστημα ρελαντί των 40 sec κατά την εκκίνηση της δοκιμής [11] 74
Σχήμα 4.6: Κύκλος ECE-15 (ECE)· στο πάνω διάγραμμα φαίνονται οι 15 φάσεις του κύκλου ενώ στο κάτω διακρίνονται οι χειρισμού του οδηγού [11] 75
Σχήμα 4.7: Κύκλος οδήγησης EUDC (με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η αντίστοιχη κίνηση του οχήματος χαμηλής ισχύος [11] 76
Σχήμα 4.8: Προφίλ ταχυτήτων του κύκλου WLTC [11] 81
Σχήμα 4.9: Τυπική διάταξη δειγματοληψίας σταθερού όγκου με χρήση αντλίας θετικής μετατόπισης (PDP) για την μέτρηση των εκπομπών των οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση [11] 87
Σχήμα 4.10: Αναλυτής καυσαερίων NDIR για την μέτρηση των εκπομπών CO_2 [28] 89
Σχήμα 4.11: Αρχή λειτουργίας του αναλυτή καυσαερίων NDIR [29] 89
Σχήμα 5.1: Στοιχεία εκπομπής CO_2 ανά κατηγορία βάρους οχημάτων της γερμανικής αγοράς επιβατικών του 2001 (με μπλε σταυρό αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα οχήματα και με κόκκινο τρίγωνο τα πετρελαιοκίνητα) [30] 94
Σχήμα 5.2: Μέσες τιμές εκπομπών CO_2 ανά κατηγορία βάρους οχημάτων της γερμανικής αγοράς επιβατικών του 2001 (με κύκλο αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα οχήματα και με τρίγωνο τα πετρελαιοκίνητα) [30] 95
Σχήμα 5.3: Μέσες τιμές εκπομπής CO_2 ανά κατηγορία βάρους για τα ελαφρά φορτηγά της γερμανικής αγοράς του 2001 (με κύκλο αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα ελαφρά φορτηγά και με τρίγωνο τα πετρελαιοκίνητα), [30] 96
Σχήμα 5.4: Μέσες τιμές εκπομπής CO_2 ανά κατηγορία βάρους για την αγορά του 2001 της Βόρειας Αμερικής (με κύκλο αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα ελαφρά φορτηγά και με τρίγωνο τα βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα επιβατικά οχήματα), [30] 97
Σχήμα 5.5: Επίδραση της υπερπλήρωσης/downsizing στην ειδική κατανάλωση καυσίμου και την ροπή του κινητήρα [31] 101
Σχήμα 5.6: Σύστημα ψυχόμενης ανακυκλοφορίας καυσαερίων (Cooled Exhaust Gas Recirculation) [34] 102
Σχήμα 5.7: Διαγράμματα ροπής ορισμένων υπερπληρωμένων κινητήρων βενζίνης τεχνολογίας άμεσου ψεκασμού (GDI) σε υψηλό φορτίο [35] 104
Σχήμα 5.8: Σύστημα start-stop i-StARS της Valeo [37] 107
Σχήμα 5.9: Ενισχυμένες μίζες της Bosch για χρήση σε κινητήρες start-stop (Αριστερά μίζα nose-type για χρήση σε επιβατικά και δεξιά noseless-type για χρήση σε heavy duty οχήματα) [36] . 108
Σχήμα 5.10: Σύστημα start-stop τύπου Enhanced Starter της Bosch [36] 108
Σχήμα 5.11: Λειτουργία του start-stop συστήματος i-Stop της Mazda [36] 109

Σχήμα 5.12: Σύστημα start-stop τύπου ISG, τοποθετημένο ανάμεσα σε κινητήρα και κιβώτιο ταχυτήτων [36] 110
Σχήμα 5.13: Επίδραση του συστήματος start-stop στης εκπομπές CO_2 βενζινοκίνητου οχήματος που υποβλήθηκε σε δοκιμές NEDC και WLTP [38] 112
Σχήμα 5.14: Επίδραση του συστήματος start-stop στο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας οχήματος που υποβλήθηκε σε δοκιμές NEDC και WLTP [38] 112
Σχήμα 5.15: Χάρτης λειτουργίας κινητήρα και καμπύλη αντίστασης δρόμου, (όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, η περιοχή οικονομικής λειτουργίας του κινητήρα προσεγγίζεται στην περίπτωση που το σύστημα απενεργοποίησης των κυλίνδρων είναι ενεργοποιημένο) [39] 113
Σχήμα 5.16: Διατήρηση βαλβίδων σε κλειστή θέση κατά την απενεργοποίηση κυλίνδρων σε κινητήρα με ωστήριες ράβδους (στην αριστερή εικόνα η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα δεν επιτρέπει την διαρροή λαδιού από το ωστήριο και η βαλβίδα ανοίγει, στην δεξιά εικόνα το λάδι διαρρέει από το ωστήριο και η ωστήρια ράβδος δεν μετατοπίζεται με αποτέλεσμα η βαλβίδα να παραμένει κλειστή) [40] 115
Σχήμα 5.17: Σύστημα διατήρησης της βαλβίδας σε κλειστή θέση κατά την απενεργοποίηση κυλίνδρων σε κινητήρα με επικεφαλής εκκεντροφόρους [41] 116
Σχήμα 5.18: Σύστημα απενεργοποίησης κυλίνδρων της Volkswagen (Active Cylinder Technology) [42] 117
Σχήμα 5.19: Μείωση κατανάλωσης καυσίμου ως αποτέλεσμα της απενεργοποίησης κυλίνδρων στον κινητήρα 1.4L της Volkswagen [39] 117
Σχήμα 5.20: Χρονισμός βαλβίδων σε αντιπαραβολή με το αντίστοιχο διάγραμμα P-V για συμβατικό 4-X κινητήρα σπινθηρισμού [43] 121
Σχήμα 5.21: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LIVC [43] 123
Σχήμα 5.22: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EIVC [43] 124
Σχήμα 5.23: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LIVO [43] 125
Σχήμα 5.24: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EIVO [43] 126
Σχήμα 5.25: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EEVC [43] 127
Σχήμα 5.26: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LEVC [43] 128
Σχήμα 5.27: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EEVO [43] 129
Σχήμα 5.28: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LEVO [43] 130
Σχήμα 5.29: Μηχανισμοί μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων 131
Σχήμα 5.30: Επίδραση του συστήματος μεταβλητής ενεργοποίησης των βαλβίδων στις εκπομπές CO_2 [38] 133
Σχήμα 5.31: Περιοχή λειτουργίας κινητήρα στον κύκλο οδήγησης NEDC και WLTP [38] 133
Σχήμα 5.32: Διωστήρας μεταβλητού μεγέθους τηλεσκοπικού τύπου της AVL [46] 135
Σχήμα 5.33: Διωστήρας κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης της εταιρείας FEV [51] 136
Σχήμα 5.34: Μηχανισμός μεταβλητού λόγου συμπίεσης της Nissan [52] 137
Σχήμα 5.35: Τομή κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης της Nissan [52] 137
Σχήμα 5.36: Τομή κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης της MCE-5 [54] 138
Σχήμα 5.37: Πλεονεκτήματα του υψηλού λόγου συμπίεσης στο χαμηλό φορτίο (οι δοκιμές έγιναν σε κινητήρα 1.6L HECS στις 1500rpm/3bar bmep) [55] 139
Σχήμα 5.38: Στρατηγική μεταβολής λόγου συμπίεσης για έναν κινητήρα πετρελαίου ελαφρού τύπου με σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων [56] 140

Σχήμα 5.39: Τροποποίηση σχήματος θαλάμου καύσης για χρήση σε κινητήρα diesel με μεταβλητό λόγο συμπίεσης [57] 141
Σχήμα 5.40: Επιδράσεις της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης στις εκπομπές και στην κατανάλωση καυσίμου κινητήρα με μεταβλητό λόγο συμπίεσης (Μερικό φορτίο: 1200rpm και IMEP: 8.5 bar, Υψηλό φορτίο: 4000rpm) [57] 142
Σχήμα 5.41: Επίδραση της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης στις απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων σε πετρελαιοκινητήρα με σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης [57] 142
Σχήμα 5.42: Επίδραση του λόγου συμπίεσης ενός κινητήρα σπινθηρισμού στην ειδική κατανάλωση καυσίμου (BSFC), σε μερικό και υψηλό φορτίο [58] 143
Σχήμα 5.43: Επίδραση του λόγου συμπίεσης στην ειδική κατανάλωση καυσίμου για υψηλό φορτίο [59] 143
Σχήμα 5.44: Μείωση εκπομπών CO_2 από την χρήση συστημάτων μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων [58] 144
Σχήμα 5.45: Κύκλος Miller [61] 145
Σχήμα 5.46: Επίδραση του πρόωρου κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής στην θερμοκρασία των καυσαερίων και στην θερμική απόδοση για λόγους συμπίεσης 23:1 και 17.3:1 (χαμηλό φορτίο, 1250rpm, ισχύς 50kw, χωρίς EGR) [64] 146
Σχήμα 5.47: Επίδραση του χρόνου κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και του λόγου ανακυκλοφορίας καυσαερίων στην ειδική κατανάλωση καυσίμου και στις απώλειες άντλησης σε χαμηλό φορτίο (κινητήρας Toyota 2ZR-FXE στις 1200rpm και 80nm) [65] 148
Σχήμα 5.48: Επίδραση του χρόνου κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και του λόγου ανακυκλοφορίας καυσαερίων στην ειδική κατανάλωση καυσίμου και στον χρόνο του σπινθηρισμού σε υψηλό φορτίο (κινητήρας Toyota 2ZR-FXE στις 1200rpm και 80nm, [65] .. 148
Σχήμα 5.49: Σύγκριση των πλεονεκτημάτων στην ειδική κατανάλωση καυσίμου ανάμεσα στις περιπτώσεις της φτωχής στρωματοποιημένης καύσης, της στοιχειομετρικής καύσης και της στοιχειομετρικής καύσης σε κύκλο Miller, σε συνάρτηση με το φορτίο του κινητήρα [66] 149
Σχήμα 5.50: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της κατηγορίας P2 [31] 151
Σχήμα 5.51: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της κατηγορίας Power Split Hybrid [31] 152
Σχήμα 5.52: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της Series κατηγορίας PHEV [31] 154
Σχήμα 5.53: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της κατηγορίας BEV [31] .. 155
Σχήμα 5.54: Διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας άνθρακα για κάθε μίξη καυσίμων που χρησιμοποιούν πέντε διαφορετικά ηλεκτρικά δίκτυα 157
Σχήμα 5.55: Τύποι οχημάτων και μέγιστη ηλεκτρική εμβέλεια, [68] 158
Σχήμα 5.56: Παράγοντες εκπομπής C02 ανά πηγή καυσίμου, [68] 159
Σχήμα 5.57: Σύγκριση εκπομπών CO_2 ανάμεσα σε BEVs, PHEVs και συμβατικά οχήματα για την περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής περιεκτικότητας άνθρακα, [68] 161
Σχήμα 5.58: Σύγκριση εκπομπών CO_2 ανάμεσα σε BEVs, PHEVs και συμβατικά οχήματα για την περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου υψηλής περιεκτικότητας άνθρακα, [68] 162
Σχήμα 5.59: Σταδιακή μείωση της χρήσης χυτού σιδήρου και αύξηση της χρήσης χάλυβα υψηλής αντοχής, πλαστικών, σύνθετων υλικών και αλουμινίου 165

Συντομογραφίες

AAUs	Assigned Amount Units	Επιτρεπόμενα Ποσά Εκπομπής
ACEA	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles - European Car Manufacturers Association	Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Οχημάτων
AER	All Electric Range	Πλήρως Ηλεκτρική Εμβέλεια
BEV	Battery Electric Vehicle	Ηλεκτρικό Όχημα Μπαταρίας
BMEP	Brake Mean Effective Pressure	Μέση Πραγματική Πίεση
CAFE	Clean Air for Europe	Καθαρός Αέρας Για Την Ευρώπη
CDM	Clean Development Mechanism	Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης
COP	Conference of the Parties	Διάσκεψη Των Μερών
CVS	Constant Volume Sampling	Δειγματοληψία Σταθερού Όγκου
CWF	Carbon Weight Fraction	Κλάσμα Μάζας Άνθρακα
DOC	Diesel Oxidation Catalyst	Οξειδωτικός Καταλύτης
DOHC	Dual Overhead Camshaft	Δύο Επικεφαλής Εκκεντροφόροι
EAER	Equivalent All Electric Range	Ισοδύναμη Πλήρως Ηλεκτρική Εμβέλεια
EEA	European Environment Agency	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
EEVC	Early Exhaust Valve Closing	Πρόωρο Κλείσιμο Της Βαλβίδας Εξαγωγής
EEVO	Early Exhaust Valve Opening	Πρόωρο Άνοιγμα Της Βαλβίδας Εξαγωγής
EGR	Exhaust Gas Recirculation	Ανακυκλοφορία Καυσαερίου
EIVC	Early Intake Valve Closing	Πρόωρο Κλείσιμο Της Βαλβίδας Εισαγωγής
EIVO	Early Intake Valve Closing	Πρόωρο Άνοιγμα Της Βαλβίδας Εισαγωγής
EPA	Environmental Protection Agency	Οργανισμός Περιβαλλοντικής Προστασίας (ΗΠΑ)
ETS	Emissions Trading Scheme	Εμπορία Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου
EUDC	Extra Urban Driving Cycle	Υπεραστικός Κύκλος Οδήγησης
EVC	Exhaust Valve Closing	Κλείσιμο Βαλβίδας Εξαγωγής
EVO	Exhaust Valve Opening	Άνοιγμα Της Βαλβίδας Εξαγωγής
FC	Fuel Consumption	Κατανάλωση Καυσίμου

FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle	Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου
GDI	Gasoline Direct Injection	Άμεσος Ψεκασμός Βενζίνης
GHG	Greenhouse Gases	Αέρια του Θερμοκηπίου
HEPA	(Filter) High-Efficiency Particulate Air	(Φίλτρο) Υψηλής Απόδοσης Σωματιδιακού Αέρα
HEV	Hybrid Electric Vehicle	Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα
ICCT	International Council on Clean Transportation	Διεθνές Συμβούλιο Καθαρών Μεταφορών
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή
IVC	Intake Valve Closing	Κλείσιμο Βαλβίδας Εισαγωγής
IVO	Intake Valve Opening	Άνοιγμα Βαλβίδας Εισαγωγής
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association	Ιαπωνική Ένωση Κατασκευαστών Οχημάτων
KAMA	Korean Automobile Manufacturers Association	Κορεάτικη Ένωση Κατασκευαστών Οχημάτων
LEVC	Late Exhaust Valve Closing	Καθυστερημένο Κλείσιμο της Βαλβίδας Εξαγωγής
LEVO	Late Exhaust Valve Opening	Καθυστερημένο Άνοιγμα της Βαλβίδας Εξαγωγής
LIVC	Late Intake Valve Closing	Καθυστερημένο Κλείσιμο της Βαλβίδας Εισαγωγής
LIVO	Late Intake Valve Opening	Καθυστερημένο Άνοιγμα της Βαλβίδας Εισαγωγής
NDC	National Determined Contributions	Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές
NDIR	Non-Dispersive Infrared (Emission Analyzer)	Μη-Σκεδαζόμενης Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (Αναλυτής Καυσαερίων)
NEDC	New European Driving Cycle	Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	Εθνική Αρχή Ασφάλειας της Οδικής Κυκλοφορίας (ΗΠΑ)
NMVOC	Non Methane Volatile Organic Compounds	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις Εκτός του Μεθανίου
PDP	Positive Displacement Pump	Αντλία Θετικής Μετατόπισης

PEV	Plug-in Electric Vehicles	Ηλεκτρικά Οχήματα Πρίζας
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicles	Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα Πρίζας
PMR	Power to Mass Ratio	Πηλίκο Ισχύος προς Βάρος (οχήματος)
SCR	Selective Catalyst Reduction	Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή
SOHC	Single Overhead Camshaft	Μονός Επικεφαλής Εκκεντροφόρος
TERM	Transport and Environment Reporting Mechanism	Μηχανισμός Αναφοράς για τις Μεταφορές και το Περιβάλλον
UNEP	United Nations Environment Programme	Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον
UNFCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	Σύμβαση Πλαίσιο του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή
VIN	Vehicle Identification Number	Αριθμός Πλαισίου Οχήματος
VVA	Variable Valve Actuation	Μεταβλητή Ενεργοποίηση Βαλβίδων
VVT	Variable Valve Timing	Μεταβλητός Χρονισμός Βαλβίδων
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle	Παγκόσμιος Εναρμονισμένος Κύκλος Δοκιμής για Ελαφρά Οχήματα
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure	Παγκόσμια Εναρμονισμένη Διαδικασία Δοκιμών για Ελαφρά Οχήματα
WMO	World Meteorological Organization	Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός

1. Εισαγωγή

Η αυξανόμενη επιβάρυνση του κλίματος του πλανήτη από το 'ενισχυμένο' φαινόμενο του θερμοκηπίου και την συνεπακόλουθη εκτιμώμενη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας είναι ένα θέμα που απασχολεί σοβαρά την επιστημονική κοινότητα και την ανθρωπότητα γενικότερα. Ένα από τα κυριότερα αέρια που συμβάλλουν στην λειτουργία του μηχανισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Τα επιβατικά οχήματα παράγουν το 12% των συνολικών εκπομπών CO_2 στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ οι εκπομπές λόγω μεταφορών αυξήθηκαν κατά 26% στο διάστημα 1990-2010. Αναγνωρίζοντας την μεγάλη και αυξανόμενη επίδραση των οχημάτων στην κλιματική αλλαγή, οι ευρωπαϊκοί θεσμοί ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του ΄90 ξεκίνησαν προγράμματα για την μείωση του μέσου όρου εκπομπής CO_2 των στόλων των κατασκευαστών οχημάτων. Αρχικά τα προγράμματα προέβλεπαν εθελοντικές συμφωνίες, όμως από το 2009 εφαρμόστηκε νομοθεσία για την οριοθέτηση των εκπομπών CO_2 των οχημάτων. Τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου δεν καλύπτονται από τις ευρωπαϊκές οδηγίες καθώς αυτές καθορίζουν μόνο τις εκπομπές CO_2.

Οι εκπομπές CO_2 των οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση ελέγχονται με την βοήθεια εργαστηριακών δοκιμών. Μέχρι το 2017 για τον έλεγχο των εκπομπών CO_2 χρησιμοποιούνταν ο κύκλος οδήγησης NEDC (New European Driving Cycle). Πρόκειται για έναν κύκλο οδήγησης που σχεδιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας καθώς και οι αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά των οδηγών τον κατέστησαν απαρχαιωμένο. Ο κύκλος NEDC, περιλάμβανε πολλά τμήματα σταθερής ταχύτητας και επιτάχυνσης και έτσι αδυνατούσε να αντιπροσωπεύσει πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας των οχημάτων οδηγώντας σε υποεκτιμημένα αποτελέσματα ρύπων, CO_2 και κατανάλωσης καυσίμου. Υπό αυτές τις συνθήκες, η Ευρωπαϊκή Ένωση σε συνεργασία με μη ευρωπαϊκές χώρες ανέπτυξε την δοκιμασία WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure), η οποία τέθηκε σε ισχύ από το Σεπτέμβριο του 2017. Οι επιμέρους κύκλοι οδήγησης της δοκιμής WLTP αναπτύχθηκαν με την βοήθεια αληθινών οδηγικών δεδομένων από όλον τον κόσμο ώστε να αντιπροσωπεύουν καλύτερα τα διάφορα οδηγικά προφίλ των οδηγών.

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης διαδραματίζουν έναν καθοριστικό ρόλο στις σημερινές μεταφορές και αυτό δεν προβλέπεται να αλλάξει στο σύντομο μέλλον. Έτσι θα πρέπει και αυτοί να συνεισφέρουν στην προστασία του κλίματος του πλανήτη αλλά και στην διατήρηση των περιορισμένων ορυκτών καυσίμων. Ο έλεγχος των εκπομπών των οχημάτων είναι ένας από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες της σύγχρονης διαχείρισης του περιβάλλοντος. Οι επιδόσεις, η καύση, η απόδοση και οι εκπομπές ενός κινητήρα σχετίζονται με τον σχεδιασμό, τις παραμέτρους λειτουργίας του και τις ιδιότητες των καυσίμων. Αυτές οι παράμετροι είναι σημαντικοί για την βελτιστοποίηση των επιδόσεων και την μείωση των εκπομπών ενός κινητήρα. Στην κατεύθυνση αυτή και προσπαθώντας να καλύψουν τα όρια εκπομπών της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, οι κατασκευαστές οχημάτων εισάγουν στους κινητήρες τους νέες τεχνολογίες περιορισμού των εκπομπών, όπως στροβιλο-υπερπλήρωση, παύση της λειτουργίας του κινητήρα κατά τα διαστήματα ακινησίας (start-stop), απενεργοποίηση των κυλίνδρων του κινητήρα, μεταβλητό χρονισμό βαλβίδων, μεταβλητό λόγο συμπίεσης και λειτουργία κύκλου Miller. Σημαντικά οφέλη

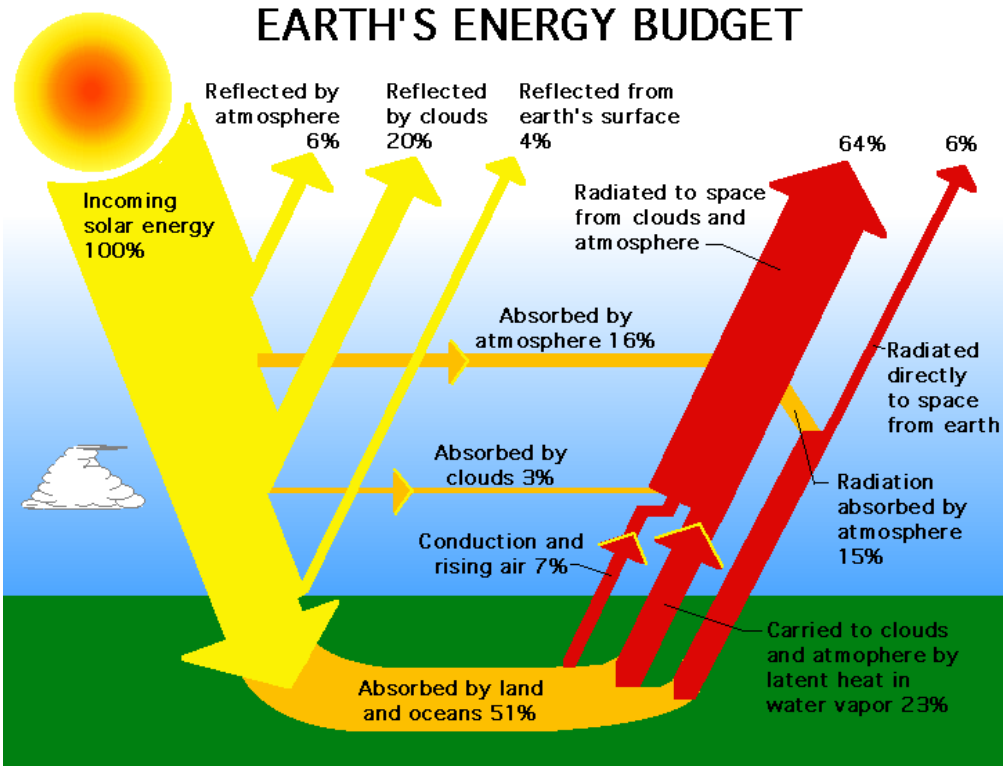
στην μείωση των εκπομπών CO_2 μπορούν ακόμα να προκύψουν από την χρήση υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και μέσω τεχνικών βελτίωσης της αεροδυναμικής και μείωσης του βάρους των οχημάτων.

2. Φαινόμενο του θερμοκηπίου

2.1. Περιγραφή του φαινομένου του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο συντελεί στην θέρμανση της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης. Τα ονομαζόμενα αέρια του θερμοκηπίου (GHG – Greenhouse Gases), διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου αυτού. Τα σημαντικότερα από αυτά τα αέρια είναι οι υδρατμοί (H_20), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το μονοξείδιο του αζώτου (N_2O) και ορισμένα φθοριούχα αέρια. Τα παραπάνω αέρια μπορούν να μεταβάλλουν την ενεργειακή ισορροπία της γης απορροφώντας την μακρά ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνειά της. Αν δεν υπήρχε το φαινόμενο του θερμοκηπίου εκτιμάται ότι η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν -18ºC. Τις τελευταίες δεκαετίες ο όρος του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει συνδεθεί με την κλιματική αλλαγή και την παγκόσμια θέρμανση, ενώ το ίδιο το φαινόμενο έχει ενταθεί από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η ηλιακή ενέργεια διαπερνά την ατμόσφαιρα και ένα σημαντικό μέρος αυτής, περίπου 26%, αντανακλάται πίσω στο διάστημα αφού εμποδίζεται από νεφώσεις και λοιπά σωματίδια της ατμόσφαιρας. Ακόμη, 19% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα, και από το 55% της εναπομείνουσας ακτινοβολίας που εισέρχεται στην γη το 4% αντανακλάται πίσω στο διάστημα από την επιφάνεια της γης και το υπολειπόμενο 51% απορροφάται από την επιφάνεια και τους ωκεανούς (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Η ισορροπία της ενέργειας της γης [1]

Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην γη στην υπεριώδη και ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Από τους νόμους ακτινοβολίας του μέλανος σώματος, λόγω της πολύ μικρότερης θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης συγκριτικά με την επιφάνεια του ήλιου, πραγματοποιείται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τον ήλιο στην γη σε περιοχές μεγαλύτερου μήκους κύματος και περισσότερο στην περιοχή του υπέρυθρου. Για την διαχρονική σταθεροποίηση της μέσης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας είναι απαραίτητη προϋπόθεση η εξισορρόπηση ανάμεσα στην εισερχόμενη και εξερχόμενη ακτινοβολία.

Η θερμοκρασία που θα αναμενόταν να έχει ένα ιδανικό μέλαν σώμα που θα είχε απόσταση από τον ήλιο ίδια με αυτή που έχει η γη, είναι περίπου 5ºC. Η γη όμως αντανακλά σχεδόν το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι θα περίμενε κανείς με υπολογισμούς μια μέση θερμοκρασία των -18ºC. Ωστόσο η μέση θερμοκρασία της γης είναι περίπου 15ºC, δηλαδή παρατηρείται μια διαφορά της τάξης των 33ºC. Η θερμοκρασιακή αυτή διαφορά οφείλεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Σε περιοχές κοντά στην επιφάνεια της γης, η ατμόσφαιρα είναι σχεδόν αδιαφανής στην θερμική ακτινοβολία, και οι περισσότερες εκ των θερμικών απωλειών της επιφάνειας γίνονται λόγω της μεταφοράς της αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας. Οι ενεργειακές απώλειες γίνονται συνεχώς μεγαλύτερες λόγω της φθίνουσας συγκέντρωσης των υδρατμών, που όπως προαναφέρθηκε είναι και το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου και έτσι είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά κύριο λόγω λαμβάνει χώρα στην περιοχή της μέσης τροπόσφαιρας.

Όταν η επιφάνεια της γης θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία της τάξης των -18ºC, εκπέμπει μεγάλα μήκη κύματος, δηλαδή υπέρυθρη ακτινοβολία 4-100 μm. Σε τέτοια μήκη κύματος τα αέρια του θερμοκηπίου απορροφούν περισσότερη εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και επίσης κάθε ατμοσφαιρικό στρώμα που έχει αέρια του θερμοκηπίου απορροφά μέρος από την θερμότητα που ακτινοβολούν προς τα πάνω τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Για την διατήρηση της ισορροπίας του το κάθε στρώμα επανεκπέμπει την θερμότητα που απορροφά προς κάθε κατεύθυνση. Σαν αποτέλεσμα δημιουργείται περισσότερη ζέστη στα χαμηλά στρώματα, και παράλληλα τα ανώτερα στρώματα εκπέμπουν υψηλά ποσά θερμότητας πίσω στο διάστημα για την διατήρηση της συνολικής ισορροπίας.

Η αύξηση των αεριών του θερμοκηπίου από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αυξάνει την ποσότητα που απορροφάται και επανεκπέμπεται με αποτέλεσμα τα ατμοσφαιρικά στρώματα και επομένως η επιφάνεια της γης να ζεσταίνονται περισσότερο.

2.2. Αέρια του θερμοκηπίου

- Υδρατμοί (H_20)

Οι υδρατμοί αποτελούν το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου και ευθύνονται περίπου για τα 2/3 του φυσικού φαινομένου. Τα μόρια του νερού που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, δεσμεύουν την θερμότητα που εκπέμπεται από την γη και στην συνέχεια την επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της γης.

Οι υδρατμοί που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα περνούν σε αυτήν από το έδαφος και τους ωκεανούς με την βοήθεια του κύκλου του νερού και από την ατμόσφαιρα επιστρέφουν πάλι πίσω με την εξάτμιση, την διαπνοή, την συμπύκνωση και την κατακρήμνιση.

Οι ανθρωπογενείς παράγοντες δεν μπορούν να αυξήσουν τους ατμοσφαιρικούς υδρατμούς, ωστόσο μέσω του θερμότερου αέρα μπορεί να κατακρατηθεί περισσότερη υγρασία και έτσι γίνεται κατανοητό ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντείνουν τις κλιματικές αλλαγές.

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί τον πιο σημαντικό συντελεστή του εκτεταμένου, λόγω και της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, φαινομένου του θερμοκηπίου. Σε χώρες με μεγάλη βιομηχανική δραστηριότητα αποτελεί περίπου το 80% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Τα αποθέματα άνθρακα στην γη είναι πεπερασμένα και αυτά ανακυκλώνονται μέσα από το πολύπλοκο σύστημα του κύκλου του άνθρακα. Ο άνθρακα κινείται ανάμεσα στην ατμόσφαιρα, την επίγεια βιόσφαιρα και τους ωκεανούς. Το διοξείδιο του άνθρακα απορροφάται από τους φυτικούς οργανισμούς από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης. Τα φυτά κάνουν χρήση του άνθρακα για την σύνθεση του ιστού τους και έπειτα τον απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα με την αποσύνθεσή τους. Ομοίως και οι ζωικοί οργανισμοί λαμβάνουν άνθρακα με την κατανάλωση τροφών και στην συνέχεια τον απελευθερώνουν μέσω της αναπνοής ή της αποσύνθεσης τους.

Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούνται από απολιθώματα νεκρών ζωικών και φυτικών οργανισμών, που συντίθενται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες σε διάστημα εκατομμυρίων ετών και επομένως έχουν υψηλό ποσοστό άνθρακα.

Από την βιομηχανική επανάσταση και μετά, η ενεργειακή κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων οδήγησε σε μια ραγδαία αύξηση των εκπομπών CO_2, διαταράσσοντας τον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα και οδηγώντας τελικά σε θέρμανση του πλανήτη. Η παγκόσμια υπερθέρμανση και η κλιματική αλλαγή, έχουν ένα ευρύ φάσμα οικολογικών και φυσικών επιδράσεων και επιπτώσεων της υγείας των ζώντων οργανισμών, μεταξύ άλλων ακραία καιρικά φαινόμενα (πλημμύρες, ξηρασίες, καταιγίδες, καύσωνες), αύξηση της στάθμης της θάλασσας, αλλοιωμένη ανάπτυξη καλλιεργειών, διασπασμένα συστήματα ύδρευσης.

- Μεθάνιο (CH_4)

Είναι το δεύτερο κατά σειρά αέριο που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις αυτού του αερίου έχουν διπλασιαστεί, συμβάλλοντας στην ενίσχυση του φαινομένου κατά 20%. Στις βιομηχανικές χώρες το ποσοστό του μεθανίου είναι περίπου το 15% των εκπομπών των αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Γενικά το CH_4 συντίθεται από βακτήρια που υπάρχουν σε οργανικές ύλες λόγω έλλειψης οξυγόνου. Οι φυσικές πηγές που ευθύνονται για την εκπομπή του μεθανίου είναι οι υγρότοποι, οι τερμίτες και οι ωκεανοί. Οι πηγές λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας είναι οι κτηνοτροφικές μονάδες (λόγω κοπράνων), η καύση ορυκτών καυσίμων, οι ρυζοκαλλιέργειες και οι χώροι ταφής (λόγω της αποσύνθεσης των σωμάτων). Η εκπομπή του μεθανίου στην ατμόσφαιρα δεσμεύει θερμότητα μεγαλύτερη του CO_2 κατά 23 φορές. Ωστόσο η παραμονή του

στην ατμόσφαιρα είναι σαφώς μικρότερη του διοξειδίου του άνθρακα και κυμαίνεται από 10 ως 15 χρόνια.

- Υποξείδιο του αζώτου (N_2O)

Η απελευθέρωση του αερίου αυτού στην ατμόσφαιρα γίνεται μέσω των ωκεανών και των δασών, καθώς και από τα βακτήρια του εδάφους. Η ανθρώπινη δραστηριότητα που συμβάλλει στη δημιουργία και απελευθέρωση του N_2O στην ατμόσφαιρα είναι: η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, η καύση ορυκτών καυσίμων και η επεξεργασία λυμάτων λόγω βιομηχανικής χημικής παραγωγής με τη χρήση του αζώτου. Το ποσοστό του N_2O στις βιομηχανικές χώρες ανέρχεται στο 6% του συνόλου εκπομπής αερίων, υπεύθυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όπως και τα δύο προαναφερθέντα αέρια, έτσι και το N_2O απορροφά θερμότητα και μάλιστα 310 φορές πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με το CO_2. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης οι συγκεντρώσεις του υποξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά 16% περίπου, κάτι που ενισχύσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου από 4% ως 6%.

- Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

Είναι τα μόνα από τα αέρια του θερμοκηπίου που έχουν δημιουργηθεί από τον ίδιο τον άνθρωπο, τεχνητά, για τις ανάγκες της βιομηχανικής παραγωγής. Το ποσοστό εκπομπής τους στο σύνολο των αερίων θερμοκηπίου που απελευθερώνουν οι βιομηχανικές χώρες ανέρχεται στο 1,5%. Παρά το μικρό αυτό ποσοστό, τα συγκεκριμένα αέρια δεσμεύουν 22.000 φορές περισσότερη θερμότητα σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για χιλιάδες χρόνια. Τα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου αποτελούνται από: τους υδροφθοράνθρακες (οι οποίοι χρησιμοποιούνται για ψύξη), το εξαφθοριούχο θείο (με χρήση στην ηλεκτρονική βιομηχανία), τους υπερφθοράνθρακες (που εκτός από την βιομηχανία των ηλεκτρονικών χρησιμοποιούνται και στην παραγωγή αλουμινίου και τους χλωροφθοράνθρακες, που έχουν την ιδιότητα να καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος. Αυτός είναι και ο λόγος που, αν και αποτελούν το πιο διαδεδομένο είδος φθοριούχου αερίου, σταματάει σταδιακά η κυκλοφορία τους με βάση το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987).

2.3. Κλιματική αλλαγή

Ο όρος της κλιματικής αλλαγής αναφέρεται στην παγκόσμια μεταβολή του κλίματος και στην μεταβολή των μετεωρολογικών συνθηκών σε μακροχρόνια κλίμακα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ιδιαίτερα έντονη και εκτεταμένη αλλαγή των μετεωρολογικών συνθηκών και όπως έχει αποδειχθεί, οι μεταβολές αυτές είναι αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς δραστηριότητας.

Ο κύριος μηχανισμός μέσα από τον οποίο συντελείται η κλιματική αλλαγή είναι η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Μέσα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, αυξάνονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και συνεπώς ενισχύεται η δράση του μηχανισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης

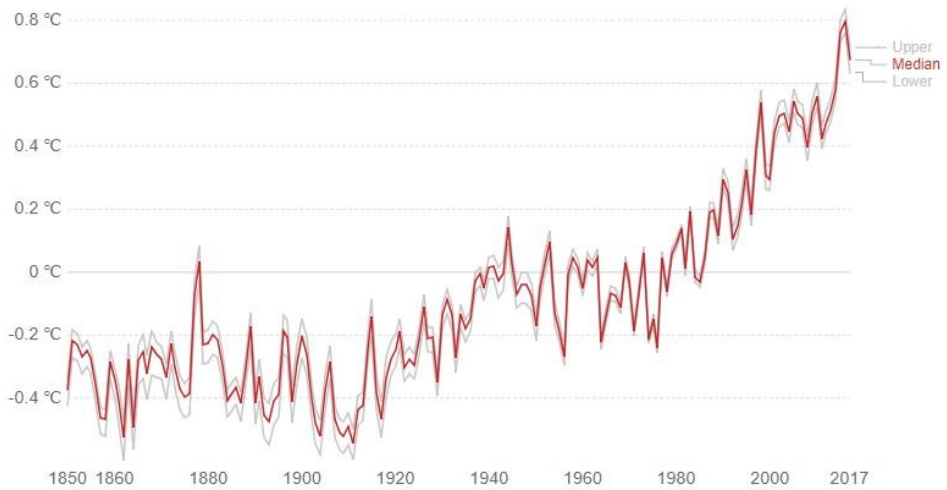
θερμοκρασίας του πλανήτη. Η ενίσχυση του μηχανισμού αυτού από τον άνθρωπο ονομάζεται «ενισχυμένο» φαινόμενο του θερμοκηπίου [2].

Τα αέρια του θερμοκηπίου και η ενισχυμένη εκπομπή τους από τις δραστηριότητες του ανθρώπου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο για το μέλλον του πλανήτη. Συνεπώς κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για έρευνα και εύρεση τρόπων για τον περιορισμό του φαινομένου. Οι κυριότερες προσπάθειες που συντελούνται αυτήν την στιγμή εστιάζονται στην προώθηση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και κυρίως την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

2.4. Παγκόσμιες ενέργειες για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου

Είναι πλέον επιβεβαιωμένο από την επιστημονική κοινότητα ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνες για την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη που παρατηρείται από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Η παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη είναι ένα φαινόμενοι που υπολογίζεται ότι θα συνεχιστεί και πέρα από τον 21^{ο} αιώνα.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) έχει καταγράψει μια σειρά από προβλέψεις σχετικά με την μελλοντική αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας [3] (Σχήμα 2.2). Οι προβλέψεις αυτές εμπεριέχουν την υπόθεση της μη λήψης περαιτέρω μέτρων για την μείωση του φαινομένου και καλύπτουν την περίοδο από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα μέχρι και το τέλος του. Η πιθανότητα της μελλοντικής επιβεβαίωσης του σεναρίου του IPCC υπολογίστηκε στο 66% και οι προβλέψεις κάνουν λόγο για μέση αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στο εύρος των 1.1-6.4^{o}C. Το πιθανό φάσμα των θερμοκρασιακών προβλέψεων εμπεριέχει διαφορετικά προβλεπόμενα σενάρια σχετικά με τις μελλοντικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Τα σενάρια υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψιν υποθέσεις σχετικά με τις μελλοντικές κοινωνικές και οικονομικές εξελίξεις που είναι ικανές να επηρεάσουν τα επίπεδα των μελλοντικών εκπομπών.



Σχήμα 2.2: Θερμοκρασιακή ανωμαλία της γης στο διάστημα 1961-2017 [2]

2.4.1. Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), δημιουργήθηκε από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO – World Meteorological Organization) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP – United Nations Environment Programme) ως αντικειμενική πηγή παροχής επιστημονικών πληροφοριών. Το 2013 η επιτροπή IPCC μέσα από την 5η Έκθεση Αξιολόγησης για την κλιματική αλλαγή έδωσε στοιχεία με πλήρη διαφάνεια και ήταν κατηγορηματική σχετικά με την υπαιτιότητα του ανθρώπου στην εξέλιξη του φαινομένου.

Η έκθεση παρείχε περιεκτικές εκτιμήσεις σχετικά με την αύξηση της στάθμης της θάλασσας και τις αιτίες που οδήγησαν σε αυτό το φαινόμενο τις προηγούμενες δεκαετίες. Επίσης υπολόγιζε τις συνολικές εκτιμώμενες εκπομπές CO_2 από την εποχή προ της βιομηχανικής επανάστασης και προϋπολόγιζε το ύψος των μελλοντικών εκπομπών που αντιστοιχούν σε περιορισμό του φαινομένου της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας έως 2ºC. Το μισό ποσό από αυτές τις εκπομπές είχαν ήδη απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα από το 2011.

Από την εργασία της επιτροπής IPCC, σήμερα είναι γνωστά τα εξής [4]:

- Από το 1880 έως το 2012, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά 0.85ºC.
- Οι ωκεανοί έχουν θερμανθεί, τα συνολικά ποσά του χιονιού και του πάγου έχουν μειωθεί, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Από το 1901 έως το 2010, η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά 19 cm λόγω του λιωσίματος των πάγων. Η έκταση του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής, έχει συρρικνωθεί διαδοχικά σε κάθε δεκαετία από το 1979 με ρυθμό απώλειας πάγου 1.07×10^6 km^2 ανά δεκαετία.
- Δεδομένων των σημερινών συγκεντρώσεων και των εξελίξει εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, είναι πιθανό ότι με το τέλος αυτού του αιώνα η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αναμένεται 1-2ºC πάνω από τα επίπεδα του 1990 (1.5-2.5ºC πάνω από τα επίπεδα της προβιομηχανικής εποχής). Οι ωκεανοί θα ζεσταθούν και το λιώσιμο των πάγων θα συνεχίσει να υφίσταται. Η μέση αύξηση της στάθμης της θάλασσας εκτιμάται στα 24-30cm μέχρι το 2065 και 40-63cm μέχρι το 2100, πάντα σε σύγκριση με τα επίπεδα αναφοράς της περιόδου 1986-2005. Οι περισσότερες πτυχές του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, θα συνεχίσουν για αρκετούς αιώνες, ακόμα και αν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σταματήσουν.

Υπάρχουν ανησυχητικές ενδείξεις ότι μπορεί να έχουν ήδη ξεπεραστεί ορισμένα κρίσιμα σημεία που οδηγούν σε οριστικές και μη αναστρέψιμές αλλαγές σε μεγάλα οικοσυστήματα και στο κλιματικό σύστημα του πλανήτη. Ποικίλα οικοσυστήματα, όπως αυτό του δάσους του Αμαζονίου και της Αρκτικής τούνδρας, πλησιάζουν στο κατώφλι δραματικών αλλαγών μέσα από την θέρμανση και την ξήρανση που υφίστανται. Οι παγετώνες των βουνών βρίσκονται σε ανησυχητική υποχώρηση και μελλοντικά οι επιδράσεις από την μειωμένη παροχή νερού κατά τους ξηρότερους μήνες θα γίνουν εντονότερες.

2.4.2. Δράσεις υπό την σκέπη των Ηνωμένων Εθνών

2.4.2.1. Σύμβαση-Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή

Η οικογένεια του ΟΗΕ πρωτοστατεί στην προσπάθεια που γίνεται για να σωθεί ο πλανήτης γη. Το 1992 με την Σύνοδο Κορυφής για την ΓΗ (Earth Summit) ιδρύθηκε η Σύμβαση-Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), ως το πρώτο βήμα για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής. Τη Σύμβαση έχουν επικυρώσει 197 χώρες του κόσμου που αποτελούν μέλη του UNFCCC. Ο ύψιστος σκοπός της Σύμβασης είναι η αποτροπή της επικίνδυνης παρέμβασης του ανθρώπου στο κλιματικό σύστημα.

Με την μεταγενέστερη υιοθέτηση του πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997 και της συμφωνίας του Παρισιού το 2015, τα συμβαλλόμενα μέρη αυτών των συμφωνιών επιβεβαίωσαν προοδευτικά τον ρόλο της γραμματείας του UNFCCC, ως την οντότητα του ΟΗΕ που έχει επωμιστεί με την αποστολή της υποστήριξης της παγκόσμιας αντίδρασης στην απειλή της κλιματικής αλλαγής. Από το 1995 η γραμματεία εδρεύει στην Βόννη της Γερμανίας και απασχολεί 450 υπαλλήλους που προέρχονται από περισσότερες από 100 χώρες και αντιπροσωπεύουν έναν συνδυασμό διαφορετικών πολιτισμών και επαγγελματικών υποβάθρων [5].

Η γραμματεία κατά τα πρώτα της χρόνια επικεντρώθηκε στην διευκόλυνση των διακυβερνητικών διαπραγματεύσεων για την κλιματική αλλαγή. Σήμερα υποστηρίζει ένα πολύπλοκο σύνολο διαφορετικών σωμάτων που δρουν για την εφαρμογή της αρχικής Σύμβασης του 1991, του Πρωτοκόλλου του Κιότο και της συμφωνίας του Παρισιού (βλ. επόμενες παραγράφους).

2.4.2.2. Πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι μια διεθνής συμφωνία που συνδέεται με την UNFCCC και δεσμεύει τα μέλη της με τον καθορισμό, την υιοθέτηση και τήρηση διεθνώς δεσμευτικών στόχων μείωσης εκπομπών. Αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι οι ανεπτυγμένες χώρες είναι κατά βάση οι υπεύθυνες για τα υψηλά επίπεδα εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα άνω των 150 χρόνων βιομηχανικής δραστηριότητας, το Πρωτόκολλο θέτει βαρύτερο φορτίο στα ανεπτυγμένη κράτη, υπό την αντίληψη των κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών [6].

Το Πρωτόκολλο του Κιότο, εγκρίθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας στις 11 Δεκεμβρίου του 1997 και τέθηκε σε εφαρμογή στις 16 Φεβρουαρίου του 2005. Οι λεπτομερείς κανόνες για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου καθορίστηκαν στην διάσκεψη COP7 (Conference of the Parties, Διάσκεψη των Μερών της Σύμβασης-Πλαισίου του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή) στο Μαρρακές του Μαρόκου το 2001 (γνωστή και ως Συμφωνία του Μαρρακές). Η πρώτη περίοδος ανάληψης υποχρεώσεων ξεκίνησε το 2008 και έληξε το 2012.

2.4.2.2.1. Η Τροποποίηση της Ντόχα

Στην Ντόχα του Κατάρ, στις 8 Δεκεμβρίου του 2012, εγκρίθηκε η τροποποίηση της Ντόχα στο Πρωτόκολλο του Κιότο (Doha Amendment to the Kyoto Protocol). Η τροποποίηση περιλάμβανε τα εξής:

- Νέες δεσμεύσεις για τα μέλη του Παραρτήματος Ι του Πρωτοκόλλου του Κιότο, που συμφώνησαν να αναλάβουν δεσμεύσεις σε μία δεύτερη περίοδο που οριζόταν από την 1η Ιανουαρίου του 2013 έως τις 31 Δεκεμβρίου του 2020.
- Τα μέλη θα πρέπει κατά την δεύτερη περίοδο δέσμευσης να αναφέρουν μια αναθεωρημένη λίστα των αερίων του θερμοκηπίου.
- Τροποποιήσεις σε διάφορα άρθρα του Πρωτοκόλλου του Κιότο που αναφέρονταν ειδικά σε θέματα σχετικά με την πρώτη περίοδο εφαρμογής και που έπρεπε να ανανεωθούν για την δεύτερη περίοδο εφαρμογής.

Στις 21 Δεκεμβρίου του 2012, η τροποποίηση δόθηκε σε όλα τα μέλη του Πρωτοκόλλου του Κιότο από τον γενικό γραμματέα του ΟΗΕ.

Κατά την πρώτη περίοδο εφαρμογής του Πρωτοκόλλου, 37 βιομηχανοποιημένες χώρες και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 5% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Κατά την δεύτερη περίοδο εφαρμογής, τα μέλη δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές κατά 18% σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπής του 1990, σε μια περίοδο 8 χρόνων (2013-2020). Η σύνθεση των μελών της δεύτερης περιόδου εφαρμογής διαφέρει της πρώτης [6].

2.4.2.2.2. Μηχανισμοί του Πρωτοκόλλου του Κιότο

Η λογική πίσω από την λειτουργία των παρακάτω μηχανισμών, είναι το γεγονός ότι οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα και έτσι ο τόπος που επιτυγχάνεται ο περιορισμός του προβλήματος είναι δευτερευούσης σημασίας. Με την βοήθεια των παρακάτω μηχανισμών, ενισχύονται οι 'πράσινες' επενδύσεις και τα μέλη του Πρωτοκόλλου βοηθιούνται να επιτύχουν τους στόχους εκπομπής τους, με οικονομικά αποδοτικούς τρόπους.

- Εμπορία Εκπομπών (Emissions Trading)

Τα μέλη που έχουν δεσμευτεί απέναντι στο Πρωτόκολλο του Κιότο (Παράρτημα Β – Annex B), έχουν δεχθεί την υιοθέτηση ορίων για των περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτά τα όρια εκφράζονται σαν επίπεδα επιτρεπόμενης εκπομπής, ή διαφορετικά εκχωρημένων ποσών εκπομπής στο διάστημα δέσμευσης 2008-2012. Τα επιτρεπόμενα επίπεδα εκπομπής διακρίνονται σε εκχωρημένες μονάδες (AAUs-Assigned Amount Units) [7].

Η εμπορία εκπομπών, όπως έχει καθοριστεί από το άρθρο 17 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, επιτρέπει σε χώρες που έχουν διαθέσιμες μονάδες εκπομπής που δεν έχουν χρησιμοποιήσει (δηλαδή αν δεν έχουν εκπέμψει το μέγιστο ποσό που τους έχει επιτραπεί), να πωλήσουν την περίσσεια σε χώρες που έχουν ξεπεράσει το όριο που τους έχει οριστεί. Έτσι έχει δημιουργηθεί

ένα καινούριο εμπόρευμα με την μορφή των μειώσεων των εκπομπών. Από την στιγμή που το CO_2 είναι το βασικό αέριο του θερμοκηπίου, το παραπάνω σύστημα έχει επικρατήσει να ονομάζεται ως *εμπόριο του άνθρακα*. Ο άνθρακας παρακολουθείται και ανταλλάσσεται όπως κάθε άλλο εμπόρευμα μέσω της αγοράς του άνθρακα.

- Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism)

Σύμφωνα με το άρθρο 12 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, προβλέπεται η δυνατότητα υλοποίησης προγραμμάτων από ανεπτυγμένες χώρες (Παράρτημα I – Annex I) σε αναπτυσσόμενες χώρες. Μέσα από την εθελοντική συμμετοχή των ανεπτυγμένων χωρών, οι ίδιες επωφελούνται από τις μειώσεις των εκπομπών που θα προκύψουν, για την εκπλήρωση των δικών τους υποχρεώσεων, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες ωφελούνται από την χρηματοδότηση των έργων και την παροχή τεχνολογίας. Στην αναπτυσσόμενη χώρα που θα δεχθεί τις παρεχόμενες υπηρεσίες από μια ανεπτυγμένη χώρα, είναι απαραίτητη η πιστοποίηση της επιπλέον μείωσης εκπομπών και του υπαρκτού οφέλους για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών [7].

- Μηχανισμός Κοινής Εφαρμογής (Joint Implementation)

Το άρθρο 6 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, επιτρέπει την υλοποίηση κοινών προγραμμάτων και δραστηριοτήτων μεταξύ των χωρών του Παραρτήματος I της Σύμβασης. Οι δραστηριότητες αυτές χρηματοδοτούνται από την χώρα που θα επωφεληθεί από την μείωση των εκπομπών που θα προκύψουν από την υλοποίηση του προγράμματος στην δεύτερη συμβαλλόμενη χώρα. Είναι απαραίτητη προϋπόθεση η επίτευξη επιπλέον μείωσης εκπομπών στην χώρα εφαρμογής μέσω των υλοποιούμενων προγραμμάτων [7].

2.4.2.2.3. Παρακολούθηση των στόχων εκπομπής

Στο Πρωτόκολλο ορίζεται ότι οι πραγματικές εκπομπές των χωρών θα πρέπει να παρακολουθούνται, και να καταγράφονται λεπτομερώς τα στοιχεία από τις πραγματοποιούμενες συναλλαγές μεταξύ των μελών.

Συστήματα καταγραφής, παρακολουθούν και καταγράφουν τις συναλλαγές των μελών στα πλαίσια των μηχανισμών. Η Γραμματεία του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή διατηρεί αρχεία που πιστοποιούν ότι οι παραπάνω συναλλαγές είναι σύμφωνες και συνεπείς με τους κανόνες του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Το σύστημα αναφοράς περιλαμβάνει την καταβολή ετήσιων τακτικών απογραφών εκπομπών και εθνικών εκθέσεων από τα μέλη του Πρωτοκόλλου. Παράλληλα λειτουργεί και ένα σύστημα συμμόρφωσης, που διασφαλίζει την τήρηση των δεσμεύσεων των μελών και τα βοηθάει στην περίπτωση που αντιμετωπίζουν πρόβλημα σχετικά με την επίτευξή τους. Το Πρωτόκολλο του Κιότο, όπως άλλωστε και η αρχική Σύμβαση, έχει σχεδιαστεί προκειμένου να βοηθά τις χώρες να προσαρμοστούν στις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Διευκολύνει την ανάπτυξη τεχνολογιών που συμβάλουν στην αύξηση της ανθεκτικότητας στις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής. Στα πλαίσια του Πρωτοκόλλου λειτουργεί και το 'Ταμείο Προσαρμογής' (Adaption Fund) που ιδρύθηκε για να χρηματοδοτεί προγράμματα σε αναπτυσσόμενες χώρες που αποτελούν μέλη του Πρωτοκόλλου. Στην πρώτη περίοδο δέσμευσης, το ταμείο χρηματοδοτούνταν κυρίως με ένα μέρος των εσόδων από τις

δραστηριότητες του CDM (Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης). Ωστόσο με την τροποποίηση της Ντόχα το 2012, αποφασίστηκε για την δεύτερη περίοδο δέσμευσης, να συνεισφέρουν οικονομικά και οι μηχανισμοί του Emissions Trading και Joint Implementation με το 2% των εσόδων τους [6].

2.4.2.3. Συμφωνία του Παρισιού

Η συμφωνία του Παρισιού βασίζεται στην Σύμβαση του 1992, και για πρώτη φορά φέρνει όλα τα έθνη αντιμέτωπα με μια κοινή προσπάθεια για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και προσαρμογής στις επιπτώσεις αυτής, με επιπλέον υποστήριξη προς τις αναπτυσσόμενες χώρες. Με αυτόν τον τρόπο παρουσιάστηκε μια νέα πορεία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Ο βασικός στόχος της Συμφωνίας του Παρισιού είναι η ενδυνάμωση της παγκόσμιας αντίδρασης απέναντι στην απειλή της κλιματικής αλλαγής, συγκρατώντας την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας αρκετά κάτω από 2ºC πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, και συνεχίζοντας τις προσπάθειες για περαιτέρω περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στον 1.5ºC. Επιπροσθέτως, η συμφωνία στοχεύει στην ενίσχυση της ικανότητας των κρατών να αντιμετωπίζουν τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής. Για την επίτευξη αυτών των φιλόδοξων στόχων πρέπει να δημιουργηθούν οι απαραίτητες οικονομικές ροές, ένα νέο τεχνολογικό πλαίσιο και ένα ενισχυμένο πλαίσιο δημιουργίας ικανοτήτων, υποστηρίζοντας έτσι τις ενέργειες των αναπτυσσόμενων και των πιο ευάλωτων χωρών σύμφωνα με τους δικούς τους εθνικούς στόχους. Η συμφωνία παρέχει επίσης αυξημένη διαφάνεια των δράσεων και υποστήριξη μέσα από ένα ισχυρό πλαίσιο διαφάνειας [8].

2.4.2.3.1. Εθνικές συνεισφορές

Η συμφωνία του Παρισιού απαιτεί από όλα τα μέλη να καταβάλουν τις καλύτερές τους προσπάθειες μέσα από εθνικές συνεισφορές (NDCs – National Determined Contributions) και να αυξήσουν αυτές τις συνεισφορές στα χρόνια που ακολουθούν. Για να γίνει αυτό απαιτείται από όλα τα μέλη να αναφέρουν τακτικά τις εκπομπές τους καθώς και κάθε προσπάθεια που κάνουν στην κατεύθυνση αυτή.

Το 2018, τα μέλη θα προβούν σε απολογισμό των συλλογικών προσπαθειών προκειμένου να γίνει σύγκριση με του στόχους που τέθηκαν από την Συμφωνία του Παρισιού και για να γίνει ενημέρωση σχετικά με την προετοιμασία των NDCs.

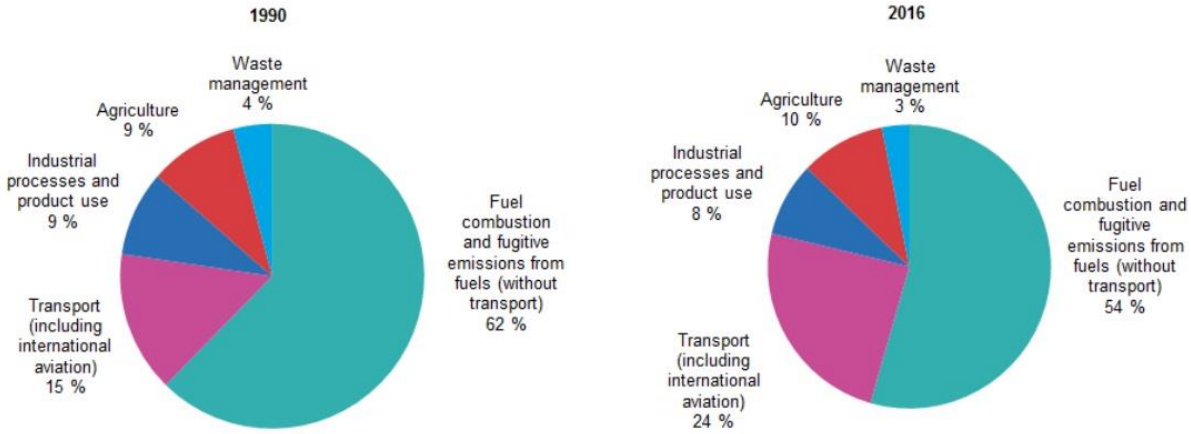
Επίσης ανά πενταετία, θα υπάρχει παγκόσμιο αποθεματικό (stocktake) για την αξιολόγηση της συλλογικής προόδου απέναντι στην επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας και την ενημέρωση των μελών σχετικά με επιπλέον ενέργειες που θα πρέπει να κάνουν σαν μεμονωμένα κράτη [8].

Η Συμφωνία του Παρισιού τέθηκε σε εφαρμογή στις 4 Νοεμβρίου του 2016, 30 μέρες μετά την ημερομηνία, κατά την οποία τουλάχιστον 55 συμβαλλόμενα μέλη της Σύμβασης που αντιπροσωπεύουν συνολικά το 55% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατέθεσαν τα έγγραφα επικύρωσης, αποδοχής και έγκρισης με τον Θεματοφύλακα της Συμφωνίας.

2.5. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από μεταφορές στην Ευρώπη

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environment Agency – EEA) κάθε χρόνο συντάσσει έκθεση σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Υπολογισμοί των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου παράγονται για έναν αριθμό πηγών που οριοθετούνται σε τομείς ανάλογα με την προέλευση των εκπομπών. Οι πέντε βασικοί τομείς των πηγών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Σχήμα 2.3) είναι οι ακόλουθοι:

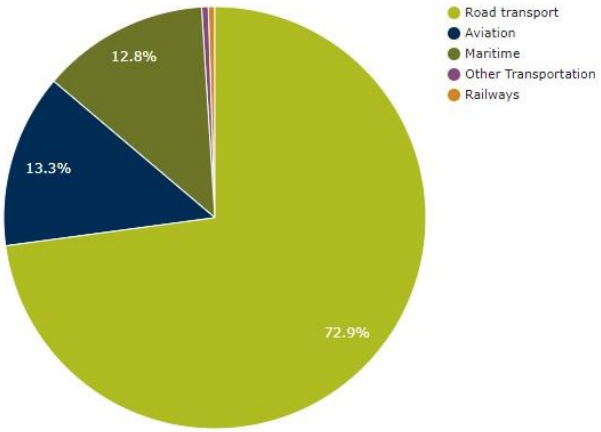
- Ενέργεια (καύση και καυσαέρια καυσίμων)
- Μεταφορές
- Βιομηχανικές δραστηριότητες και χρήση προϊόντων
- Γεωργία
- Διαχείριση αποβλήτων



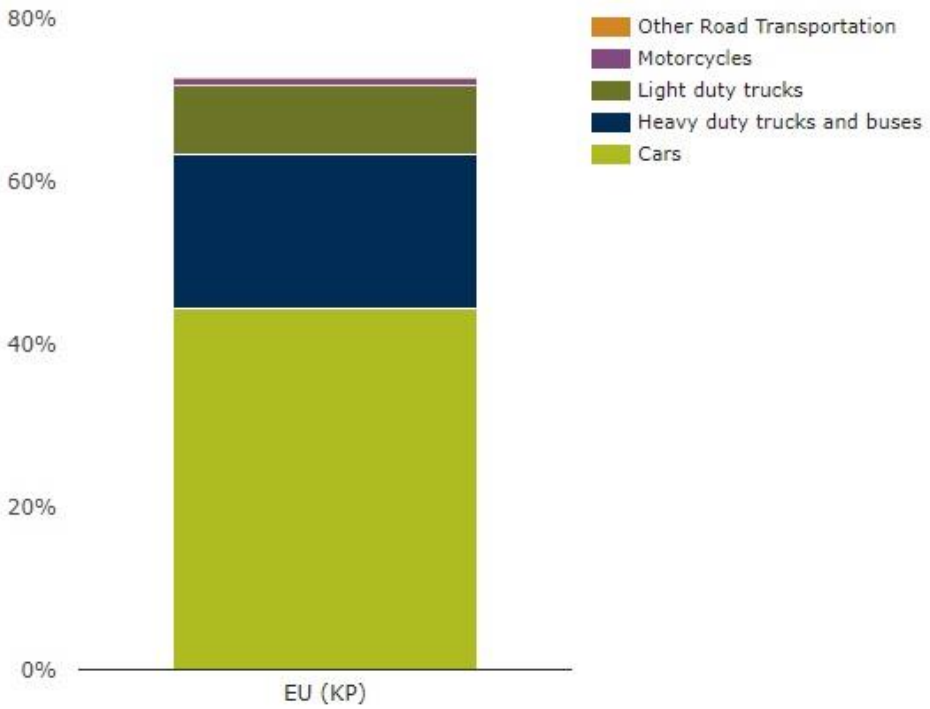
Σχήμα 2.3: Εκπομπές αερίων του Θερμοκηπίου ανά τομέα [9]

Από το 2013 οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου λόγω μεταφορών (συμπεριλαμβανομένων των αέριων μεταφορών αλλά χωρίς τις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές) από τα 28 κράτη μέλη αυξάνονται διαρκώς. Συγκριτικά με το 2014, οι εκπομπές του 2015 αυξήθηκαν κατά 2% κυρίως λόγω των υψηλότερων εκπομπών στις οδικές μεταφορές και λιγότερο λόγω της αύξησης των αέριων μεταφορών. Το 2015, οι μεταφορές (συμπεριλαμβανομένων των αέριων και θαλάσσιων)

συνεισέφεραν το 25.8% των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από τα 28 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 21% εάν εξαιρεθούν από το σύνολο οι διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές. Οι οδικές μεταφορές ήταν υπεύθυνες για το 73% της συνολικής εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου (Σχήμα 2.4), από το σύνολο των μεταφορών. Από αυτές τις εκπομπές, το 44.5% οφειλόταν σε επιβατικά οχήματα ενώ το 18.8% προήλθε από βαρέα οχήματα (Σχήμα 2.5) [10].



Σχήμα 2.4: Μερίδιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λόγω μεταφορών ανά κατηγορία [10]



Σχήμα 2.5: Καταμερισμός μεριδίων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου ανά κατηγορία οδικών μεταφορών [10]

Ως αποτέλεσμα της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης στις διεθνείς αέριες μεταφορές (τόσο επιβατική όσο και εμπορευματική και μάλιστα με τάση για αύξηση των αποστάσεων που διανύονται), οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου υπερδιπλασιάστηκαν από τα επίπεδα του 1990 σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 105% ενώ ακολουθούν οι θαλάσσιες μεταφορές με αύξηση 22% και οι οδικές μεταφορές με αύξηση 19%.

Σε σύγκριση με τα στοιχεία του 2014, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου της Ευρώπης από τις θαλάσσιες μεταφορές, μειώθηκαν κατά 1.1% το 2015 επιστρέφοντας έτσι στα επίπεδα εκπομπών του 2000. Ωστόσο πρέπει να μειωθούν περαιτέρω κατά 28% έως το 2050 προκειμένου να καλυφθούν οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με μείωση της τάξης του 40%, με βάση τα επίπεδα εκπομπών του 2005.

Οι εκπομπές λόγω των μεταφορών (συμπεριλαμβανομένων των αέριων χωρίς όμως να προσμετρώνται οι διεθνείς θαλάσσιες) το 2015 ήταν αυξημένες κατά 23% από τα επίπεδα του 1990. Οι εκπομπές αυτές πρέπει μειωθούν κατά 68% μέχρι το 2050 για να επιτευχθούν οι στόχοι μείωσης (κατά 60%) σύμφωνα με το πρόγραμμα Transport White Paper του 2011 [10].

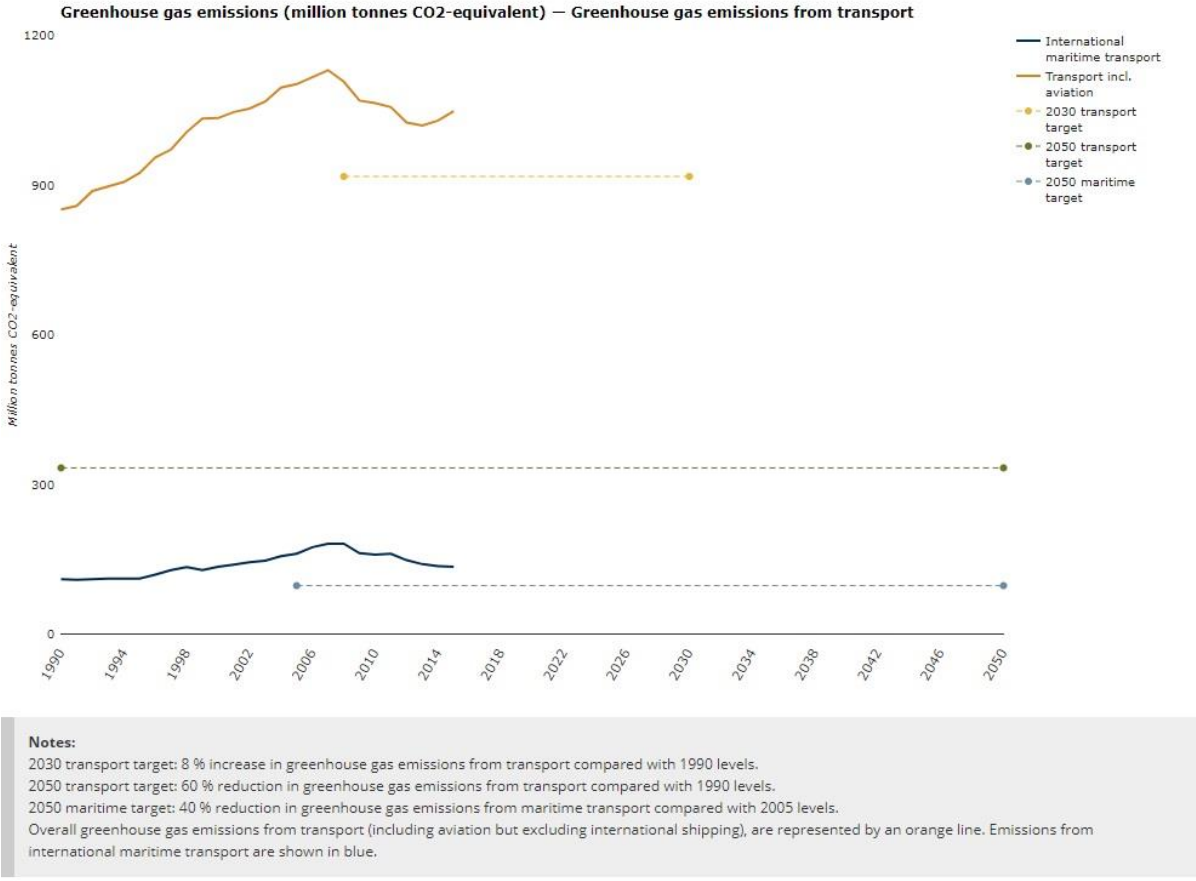
Η ραγδαία αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση στρατηγικών πολιτικών για τον περιορισμό του φαινομένου. Σχετικά με τον τομέα των μεταφορών, δεν έχουν προβλεφθεί συγκεκριμένοι στόχοι μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από το πρωτόκολλο του Κιότο. Ωστόσο υπάρχουν διάφορες ευρωπαϊκές πολιτικές και στρατηγικές που αποσκοπούν στην μείωση των εκπομπών αυτών. Από την 1η Ιανουαρίου του 2012, οι αέριες μεταφορές προστέθηκαν στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Emissions Trading System. Όμως για να δοθεί το χρονικό περιθώριο για διαπραγματεύσεις στην διεθνή αγορά, μέτρα μπορούν να τεθούν μόνο για τις πτήσεις μεταξύ των μελών της EEA (Europe Economic Area).

Ο γενικός στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι να μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (συμπεριλαμβανομένων των διεθνών αερίων αλλά εξαιρώντας τις διεθνείς θαλάσσιες) κατά 60% κάτω από τα επίπεδα του 1990, μέχρι το 2050. Αυτός ο στόχος περιλαμβάνει και τον μεσοπρόθεσμο στόχο της μείωσης των εκπομπών των μεταφορών κατά 20% συγκριτικά με τα επίπεδα του 2008 μέχρι το 2030, δηλαδή 8% περισσότερο από τα επίπεδα του 1990. Ομοίως, οι εκπομπές των θαλάσσιων διεθνών μεταφορών προβλέπεται βάσει των στόχων να μειωθούν κατά 40% από τα επίπεδα εκπομπών του 2005, έως το 2050. Οι στόχοι στον τομέα των μεταφορών, παρακολουθούνται σε ετήσια βάση (Σχήμα 2.6) και είναι ευθυγραμμισμένοι με τον συνολικό στόχο μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% από τα επίπεδα το 1990, μέχρι το 2020 [10].

Άλλες πολιτικές στον τομέα των μεταφορών που υποστηρίζουν την επίτευξη των παραπάνω στόχων, όπως οι διάφοροι κανονισμοί που καθορίζουν τις εκπομπές CO_2 των επιβατικών οχημάτων και των ελαφρών φορτηγών, παρακολουθούνται και από τον TERM (Transport and Environment Reporting Mechanism).

Καθώς ο τομέας των μεταφορών δεν υπόκειται στο σύστημα ETS (Emissions Trading Scheme), είναι υπευθυνότητα των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης να μειώσουν τις εκπομπές του τομέα αυτού μέσα από υιοθέτηση εθνικών πολιτικών (για όλους τους τομείς που δεν υπάγονται στο σύστημα ETS, προβλέπεται μείωση 10% από τα επίπεδα του 2005, μέχρι το 2020). Όσον

αφορά τους τομείς που ανήκουν στο σύστημα ETS (π.χ. ηλεκτροπαραγωγή και βιομηχανικές εφαρμογές), η μείωση των εκπομπών καθορίζεται από ένα σχήμα ανταλλαγής ανάμεσα στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης [10].



Σχήμα 2.6: Εκπομπές CO_2 από τον τομέα των μεταφορών στο διάστημα 1990-2015 [10]

3. Προδιαγραφές εκπομπών CO_2 στην Ευρωπαϊκή Ένωση

3.1. Προδιαγραφές εκπομπής ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

3.1.1. Εξέλιξη ευρωπαϊκών προτύπων εκπομπής ρύπων

Αν και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας σε σχέση με τις προδιαγραφές εκπομπών των επιβατικών οχημάτων αφορά στις εκπομπές CO_2, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια σύντομη ιστορική αναφορά στις συνθήκες που οδήγησαν τους ευρωπαϊκούς θεσμούς να αναλάβουν δράση και να ορίσουν προδιαγραφές προκειμένου να ελέγχουν τις εκπομπές καυσαερίων των οχημάτων.

Η ρυθμιστική λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε ότι αφορά τις εκπομπές (και τους κύκλους οδήγησης που θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο), ασκείται υπό την μορφή λειτουργικών κανονισμών από τα ακόλουθα σώματα [11]:

i. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
ii. Το Συμβούλιο Της Ευρώπης
iii. Την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Με την πάροδο των χρόνων, η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα (ΕΟΚ) και αργότερα η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), δημιούργησαν ένα σύνολο οδηγιών και ρυθμιστικών διατάξεων, που συχνά βασίζονταν στις προτάσεις της Οικονομικής Επιτροπής για την Ευρώπη του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (UNECE). Τα πρώτα όρια εκπομπών τέθηκαν σε εφαρμογή το 1970 με την οδηγία 70/220/ΕΟΚ και αφορούσε τις εκπομπές HC και CO από βενζινοκίνητα οχήματα. Η Οδηγία υιοθετήθηκε από τα τότε 6 κράτη μέλη (Δυτική Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Βέλγιο, Λουξεμβούργο και Ολλανδία). Τα όρια των εκπομπών αυτών (g/test) καθορίζονταν σε σχέση με το βάρος του οχήματος για κάθε όχημα που χρησιμοποιούσε κινητήρα θετικής ανάφλεξης (Otto), προοριζόταν για χρήση σε δρόμο, με ή χωρίς αμάξωμα, με την προϋπόθεση ότι έκανε χρήση τεσσάρων τροχών, είχε βάρος πάνω από 400 kg και μέγιστη ικανότητα ταχύτητας τουλάχιστον 50 km/h. Από τα παραπάνω όρια αποκλείονταν τα γεωργικά τρακτέρ και μηχανήματα καθώς και τα κρατικά οχήματα. Η οδηγία 70/220/ΕΟΚ αποτελούσε ένα συνδυασμό των εθνικών νομοθεσιών σχετικά με τους κανονισμούς των εκπεμπόμενων ρύπων της Γερμανίας ('Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung', 1968) και της Γαλλίας ('Composition des gaz d'échappement émis par les véhicules automobiles équipés de moteur à essence', 1969). Με την οδηγία 70/220/ΕΟΚ, νομοθετήθηκε και ο πρώτος ευρωπαϊκός κύκλος οδήγησης, ο ECE-15 [11].

Η οδηγία 70/220/ΕΟΚ καθώς και η τροποποίηση αυτής 74/290/ΕΟΚ, εστίασαν αποκλειστικά στις εκπομπές HC και CO. Για την αντιμετώπιση των προδιαγραφών, οι κατασκευαστές ανταποκρίθηκαν προσαρμόζοντας τη λειτουργίας των κινητήρων σπινθηρισμού στην κατεύθυνση καύσης φτωχότερων μιγμάτων αέρα-καυσίμου. Όμως αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών NO_x από τα επιβατικά οχήματα και έτσι τον Οκτώβριο του 1977 εισήχθη η οδηγία 77/102/ΕΟΚ με την οποία καθορίστηκαν περιορισμοί και στις εκπομπές NO_x. Οι έλεγχοι προέβλεπαν όρια εκπομπών NO_2 (g/test) σε σχέση με το βάρος του οχήματος. Οι εκπομπές των

κινητήρων πετρελαίου καλύφθηκαν το 1988 με την οδηγία 88/76/ΕΟΚ ενώ τα εκπεμπόμενα σωματίδια από την οδηγία 88/436/ΕΟΚ. Η μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου εισήχθη με την οδηγία 80/1268/ΕΟΚ [11].

Η κατηγοριοποίηση 'Euro' ξεκίνησε το 1992, λίγο πριν την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με τη συνθήκη του Μάαστριχτ. Η αρχή έγινε με την κατηγορία Euro 1 μέσω της οδηγίας 91/441/ΕΟΚ για τα επιβατικά αυτοκίνητα κάτι που επέφερε ως αποτέλεσμα την χρήση καταλυτών και αμόλυβδης βενζίνης και την θέσπιση προδιαγραφών για τις πτητικές εκπομπές. Οι ίδιες εξελίξεις ακολούθησαν το 1993 και για τα ελαφρά φορτηγά με την οδηγία 93/59/ΕΟΚ. Το Σεπτέμβριο του 2014 τέθηκε σε εφαρμογή το τελευταίο στάδιο 'Euro 6' με τις οδηγίες 715/2007/ΕΚ και 692/2008/ΕΚ.

Γενικά, η ανάπτυξη των προδιαγραφών στην δεκαετία 1980-1990, ανταποκρίθηκε στην αυξανόμενη πίεση του κοινού στην Γερμανία, την Δανία και την Ολλανδία για την αντιμετώπιση της οξίνισης του αέρα και τον υποβιβασμό και άλλων ποιοτικών του χαρακτηριστικών, θέτοντας τις βάσεις για υποχρεωτική τοποθέτηση και χρήση καταλυτικών μετατροπέων στα βενζινοκίνητα οχήματα (από το 1992 με το Πρότυπο Εκπομπών Euro 1). Αυτή η προσέγγιση βρήκε αντιμέτωπα κράτη μέλη όπως η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ιταλία, όπου το μέγεθος των οχημάτων που κατασκευάζονταν καθώς και η τιμή αυτών ήταν μικρότερη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση καταλυτικού μετατροπέα να επιφέρει μεγαλύτερη ποσοστιαία επίπτωση στην τιμή κατασκευής του κάθε οχήματος. Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες χώρες, οι Γερμανοί κατασκευαστές οχημάτων πωλούσαν ήδη οχήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και ήταν εξοικειωμένοι με την χρήση καταλυτικών μετατροπέων από την άποψη του κόστους κατασκευής.

Επόμενες νομοθετικές μεταρρυθμίσεις στα χρόνια που ακολούθησαν στόχευαν και σε καθαρότερα καύσιμα σε απάντηση των ανησυχιών της εποχής για τα αυξημένα κόστη που θα προέκυπταν από τις τεχνολογικές απαιτήσεις των μελλοντικών οχημάτων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημιούργησε το European Auto-Oil Programme, το οποίο οδήγησε στην υιοθέτηση της οδηγίας 98/69/ΕΚ σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων της βενζίνης και του πετρελαίου. Με την οδηγία αυτή, τέθηκαν όρια εκπομπών για τις κρύες εκκινήσεις του κινητήρα (cold-start) και δημιουργήθηκε η απαίτηση για χρήση διαγνωστικού συστήματος OBD στα οχήματα με κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα.

Από το 2000 και μετά μπορεί να φανεί μια συστηματική προσπάθεια με το πρόγραμμα CAFE (Clean Air for Europe) [12] και από την ανάπτυξη προδιαγραφών από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπό την σκέπη του προγράμματος Auto-Oil, με τρόπο πιο συγκροτημένο και όχι αποσπασματικά όπως είχαν αναπτυχθεί έως τότε, αποσκοπώντας στην κάλυψη διαφορετικών τύπων οχημάτων και εκπομπών.

Η δημοσίευση του προγράμματος CAFE το 2001 και η υιοθέτηση του 6th Environmental Action Programme το 2002 με κοινή απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, το οποίο έδινε ιδιαίτερη έμφαση στην θέσπιση στρατηγικών για την επίτευξη ευρείας ατζέντας που θα επέτρεπε την βελτίωση σε βασικές πολιτικές, οδήγησε στην έγκρισή από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή της θεματικής στρατηγικής για την μόλυνση του αέρα το 2005 [13].

3.1.2. Όρια εκπομπών για κατηγορίες Euro 1-6

Μέχρι και την εφαρμογή του προτύπου Euro 4 (2006), οι εκάστοτε ρυθμίσεις εκπομπών ρύπων για τα νέα επιβατικά και ελαφρά οχήματα, καθορίζονταν από την οδηγία 70/220/ΕΟΚ και τις τροποποιήσεις της. Ξεκινώντας από το πρότυπο Euro 5 το 2009, οι προδιαγραφές εκπομπών ρυθμίζονται από κανονισμούς (Regulations) που έχουν *άμεση* ισχύ σε όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σε αντίθεση με τις έως τότε οδηγίες (Directives), οι οποίες έπρεπε πρώτα να μετατραπούν κατά περίπτωση για να εφαρμοσθούν στο κάθε κράτος μέλος. Τα πρότυπα ρύπων Euro διαφέρουν αναλόγως χρησιμοποιούμενου καυσίμου (βενζινοκίνητα/πετρελαιοκίνητα οχήματα), μεγέθους οχήματος και εφαρμόζονται σε επιβατικά και ελαφρά φορτηγά οχήματα.

Κατηγορία	Στάδιο	Ημερομηνία	CO (g/km)	HC (g/km)	HC+NO_x (g/km)	NO_x (g/km)	Σωματίδια PM (g/km)
Οχήματα με κινητήρες ντίζελ							
Euro 1*	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2,IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01[a]	1.0	-	0.7	-	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[b]	0.50	-	0.23	0.18	0.005[f]	-
Euro 5b	2011.09[c]	0.50	-	0.23	0.18	0.005[f]	6.0×10^{11}
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005[f]	6.0×10^{11}
Οχήματα με κινητήρες βενζίνης							
Euro 1	1992.07	2.72 (3.16)	–	0.97 (1.13)	–	–	–
Euro 2	1996.01	2.2	–	0.5	–	–	–
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	–	0.15	–	–
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	–	0.08	–	–
Euro 5	2009.09[b]	1.0	0.10[d]	–	0.06	0.005[e,f]	–
Euro 6	2014.09	1.0	0.10[d]	–	0.06	0.005[e,f]	6.0×10^{11} [e,g]

Για τα στάδια Euro 1-4, τα επιβατικά οχήματα με βάρος>2500kg έπαιρναν έγκριση τύπου ως οχήματα της κατηγορίας N_1
*Οι τιμές στις παρενθέσεις αντιπροσωπεύουν τις τιμές των ορίων συμμόρφωσης παραγωγής (Conformity of Production limits)
a. έως την 30/09/1999, μετά από την ημερομηνία αυτή τα οχήματα με κινητήρες άμεσου ψεκασμού θα πρέπει να τηρούν τα όρια των κινητήρων έμμεσου ψεκασμού
b. από 01/2011 για όλα τα μοντέλα
c. από 01/2013 για όλα τα μοντέλα
d. επιπροσθέτως όριο NMHC (non-methane hydrocarbons) = 0.068 g/km
e. μόνο για κινητήρες άμεσου ψεκασμού
f. 0.0045 g/km με την χρήση της διαδικασίας μέτρησης PMP
g. 6.0×10^{12} /km μέσα στα τρία πρώτα χρόνια ισχύος του προτύπου Euro 6

Πίνακας 3.1: Προδιαγραφές εκπομπών ρύπων Ευρωπαϊκής Ένωσης για επιβατικά οχήματα (κατηγορίες M_1, M_2) [14]

Στους Πίνακες 3.1 και 3.2 παρουσιάζονται τα όρια εκπομπών ρύπων Euro 1-6 για επιβατικά οχήματα (κατηγορίες M_1 και M_2) και ελαφρά φορτηγά (κατηγορίες N_1 και N_2). Οι ημερομηνίες που συνοδεύουν τις αντίστοιχες κατηγορίες, αναφέρονται σε νέες εγκρίσεις τύπου. Ωστόσο κάθε κατηγορία Euro καθορίζεται από αντίστοιχη οδηγία, ή οποία εκτός από την προαναφερθείσα ημερομηνία, περιλαμβάνει και μία δεύτερη (συνήθως έναν χρόνο αργότερα) που αντιπροσωπεύει την ημερομηνία πρώτης ταξινόμησης οχήματος, για οχήματα που ήδη έχουν πάρει έγκριση τύπου. Τα παρακάτω όρια προδιαγραφών αναφέρονται σε εκπομπές ρύπων ανά όχημα.

Κατηγορία*	Στάδιο	Ημερομηνία	CO (g/km)	HC (g/km)	HC+NO_x (g/km)	NO_x (g/km)	Σωματίδια PM (g/km)	Πλήθος Σωματιδίων PN (#/km)
Οχήματα με κινητήρες πετρελαίου								
N_1,Class I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	–	0.97	–	0.14	–
	Euro 2 IDI	1998.01	1.0	–	0.70	–	0.08	–
	Euro 2 DI	1998.01[a]	1.0	–	0.90	–	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[b]	0.50	–	0.23	0.18	0.005[f]	–
	Euro 5b	2011.09[d]	0.50	–	0.23	0.18	0.005[f]	6.0×10^{11}
	Euro 6	2014.09	0.50	–	0.17	0.08	0.005[f]	6.0×10^{11}
N_1,Class II 1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	–	1.40	–	0.19	–
	Euro 2 IDI	1998.01	1.25	–	1.0	–	0.12	–
	Euro 2 DI	1998.01[a]	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 5a	2010.09[c]	0.63	–	0.295	0.235	0.005[f]	–
	Euro 5b	2011.09[d]	0.63	–	0.295	0.235	0.005[f]	6.0×10^{11}
	Euro 6	2015.09	0.63	–	0.195	0.105	0.005[f]	6.0×10^{11}

N_1,Class III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	–	1.70	–	0.25	–
	Euro 2 IDI	1998.01	1.5	–	1.20	–	0.17	–
	Euro 2 DI	1998.01[a]	1.5	–	1.60	–	0.20	–
	Euro 3	2001.01	0.95	–	0.86	0.78	0.10	–
	Euro 4	2006.01	0.74	–	0.46	0.39	0.06	–
	Euro 5a	2010.09[c]	0.74	–	0.350	0.280	0.005[f]	–
	Euro 5b	2011.09[d]	0.74	–	0.350	0.280	0.005[f]	6.0×10^{11}
	Euro 6	2015.09	0.74	–	0.215	0.125	0.005[f]	6.0×10^{11}
N_2	Euro 5a	2010.09[c]	0.74	–	0.350	0.280	0.005[f]	–
	Euro 5b	2011.09[d]	0.74	–	0.350	0.280	0.005[f]	6.0×10^{11}
	Euro 6	2015.09	0.74	–	0.215	0.125	0.005[f]	6.0×10^{11}
Οχήματα με κινητήρες βενζίνης								
N_1,Class I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	–	0.97	–	–	–
	Euro 2	1998.01	2.2	–	0.50	–	–	–
	Euro 3	2000.01	2.3	0.20	–	0.15	–	–
	Euro 4	2005.01	1.0	0.1	–	0.08	–	–
	Euro 5	2009.09[b]	1.0	0.10[g]	–	0.06	0.005[e,f]	–
	Euro 6	2014.09	1.0	0.10[g]	–	0.06	0.005[e,f]	6.0×10^{11} [e,j]
N_1,Class II 1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	–	1.40	–	–	–
	Euro 2	1998.01	4.0	–	0.65	–	–	–
	Euro 3	2001.01	4.17	0.25	–	0.18	–	–
	Euro 4	2006.01	1.81	0.13	–	0.10	–	–
	Euro 5	2010.09[c]	1.81	0.13[h]	–	0.075	0.005[e,f]	–
	Euro 6	2015.09	1.81	0.13[h]	–	0.075	0.005[e,f]	6.0×10^{11} [e,j]
N_1,Class III	Euro 1	1994.10	6.90	–	1.70	–	–	–
	Euro 2	1998.01	5.0	–	0.80	–	–	–
	Euro 3	2001.01	5.22	0.29	–	0.21	–	–

>1760 kg	Euro 4	2006.01	2.27	0.16	–	0.11	–	–
	Euro 5	2010.09[c]	2.27	0.16[i]	–	0.082	0.005[e,f]	–
	Euro 6	2015.09	2.27	0.16[i]	–	0.082	0.005[e,f]	6.0×10^{11} [e,j]
N_2	Euro 5	2010.09[c]	2.27	0.16[i]	–	0.082	0.005[e,f]	–
	Euro 6	2015.09	2.27	0.16[i]	–	0.082	0.005[e,f]	6.0×10^{11} [e,j]

Σημειώσεις:

*Για τα στάδια Euro 1 και Euro 2, οι μάζες αναφοράς της κατηγορίας N_1, ήταν οι ακόλουθες: Class I ≤ 1250 kg, Class II 1250-1700 kg, Class III > 1700 kg

a. έως 30.09.1999 μετά από την ημερομηνία αυτή τα οχήματα με κινητήρες άμεσου ψεκασμού θα πρέπει να τηρούν τα όρια των κινητήρων έμμεσου ψεκασμού

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. μόνο για κινητήρες άμεσου ψεκασμού

f. 0.0045 g/km με την χρήση της διαδικασίας μέτρησης PMP

g. επιπροσθέτως όριο NMHC (non-methane hydrocarbons) = 0.068 g/km

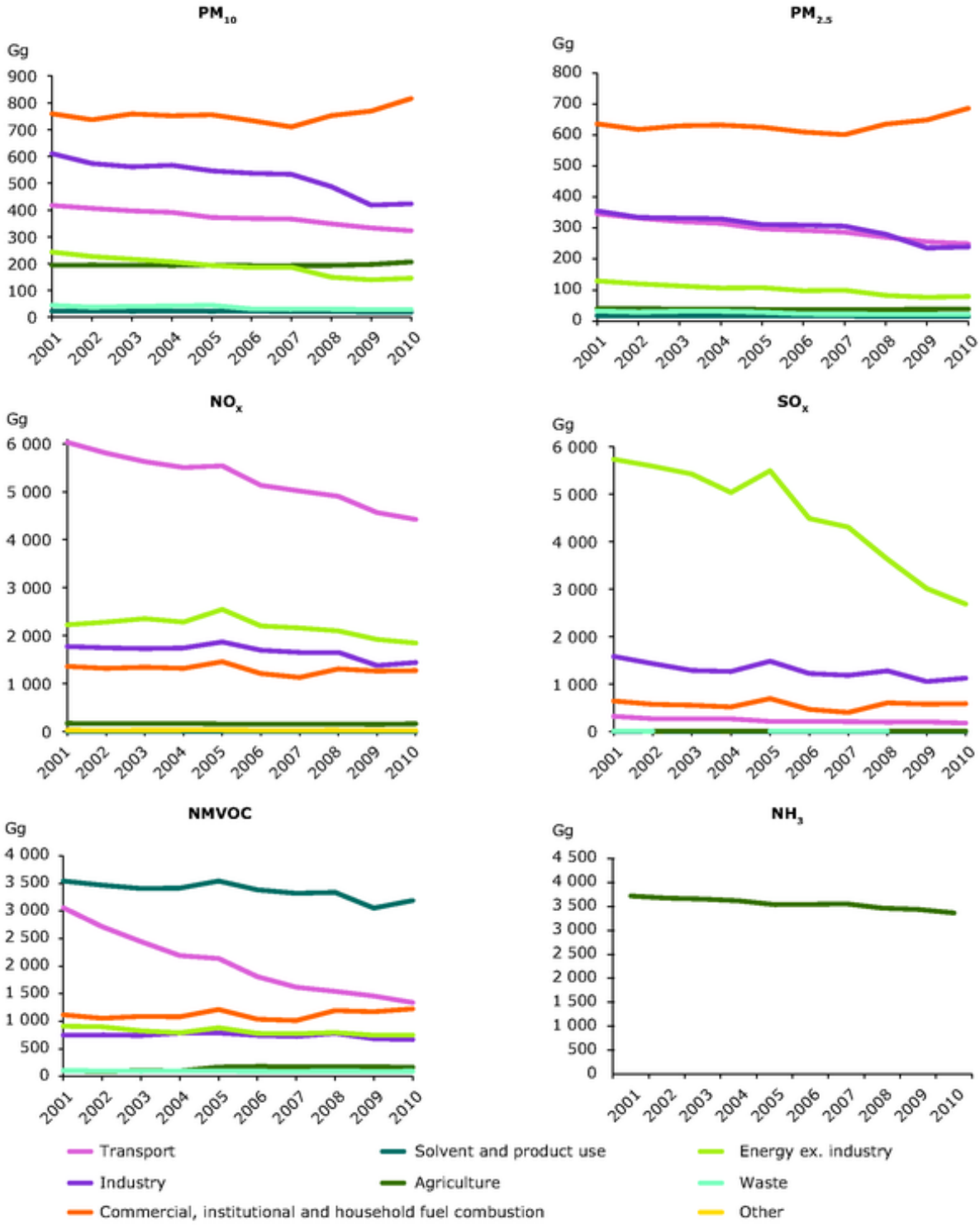
h. επιπροσθέτως όριο NMHC (non-methane hydrocarbons) = 0.090 g/km

i. επιπροσθέτως όριο NMHC (non-methane hydrocarbons) = 0.108 g/km

j. 6.0×10^{12}/km μέσα στα τρία πρώτα χρόνια ισχύος του προτύπου Euro 6

Πίνακας 3.2: Προδιαγραφές εκπομπής Ευρωπαϊκής Ένωσης για ελαφρά φορτηγά (κατηγορίες N_1, N_2) [14]

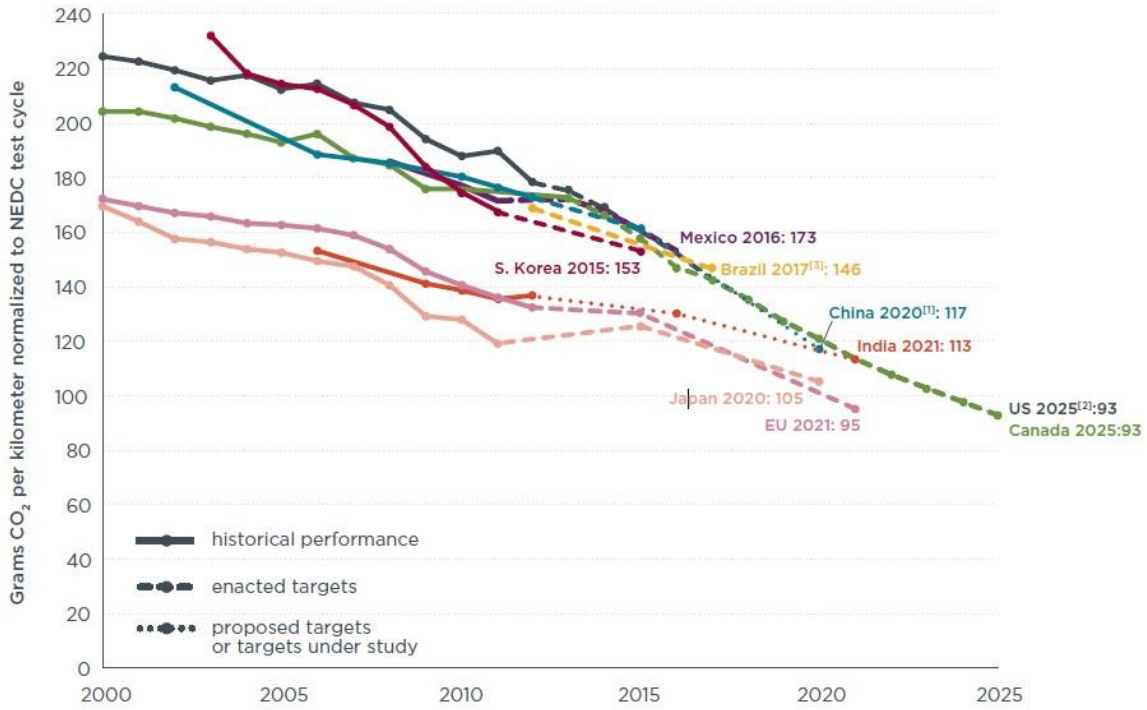
Ακολουθούν οι κατανομές διαφόρων ρύπων ανά πηγή προέλευσης στην Ευρώπη για την περίοδο 2001-2010 (Σχήμα 3.1)· μπορεί κανείς να παρατηρήσει την πτωτική πορεία των εκπομπών NO_x και σωματιδίων-PM λόγω της εφαρμογής των ορίων εκπομπής ρύπων που καθορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές Euro.



Σχήμα 3.1: Κατανομή εκπεμπόμενων ρύπων PM, NO_X, SO_X, NMVOC and NH_3 ανά πηγή προέλευσης στην Ευρώπη για την περίοδο 2001-2010 (Gg/year = 1 000 tonnes/year) [15]

3.2. Ιστορική αναδρομή πολιτικής εκπομπών CO_2 στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Με παραγωγή ύψους 17 εκατομμυρίων οχημάτων κάθε χρόνο, η Ευρωπαϊκή Ένωση με τα 28 της μέλη, αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο κατασκευαστή οχημάτων παγκοσμίως. Ένα στα τέσσερα αυτοκίνητα που πωλούνται παγκοσμίως, κατασκευάζεται ή εισάγεται στην Ευρώπη και έτσι πολλές χώρες ανά τον κόσμο ακολουθούν τα όρια εκπομπών (ρύπων και CO_2) που ισχύουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Σχήμα 3.2). Δηλαδή η Ευρωπαϊκή αγορά επηρεάζει ισχυρά την στρατηγική επιλογών που υιοθετούν οι μεγάλοι κατασκευαστές οχημάτων ανά τον κόσμο [16].



Σχήμα 3.2: Σύγκριση των παγκόσμιων ρυθμίσεων σχετικά με τις εκπομπές CO_2 για επιβατικά οχήματα [17]

Τα επιβατικά οχήματα στην Ευρώπη παράγουν το 12% της συνολικής της εκπομπής σε CO_2. Οι εκπομπές λόγω των μεταφορών στο χρονικό διάστημα 1990-2010 παρουσίασαν μια αύξηση της τάξης του 26%. Αναγνωρίζοντας την μεγάλη επίδραση αυτής της αυξητικής τάσης στην κλιματική αλλαγή, στα μέσα της δεκαετίας του ΄90 στον ευρωπαϊκό χώρο ξεκίνησαν προγράμματα για την μείωση του μέσου όρου εκπομπών CO_2 του στόλου των οχημάτων. Αρχικά τέθηκαν εθελοντικοί στόχοι για τους κατασκευαστές οχημάτων. Τελικά η Ευρωπαϊκή Ένωση το 2009 μεταπήδησε σε εφαρμογή υποχρεωτικών ορίων εκπομπών CO_2. Στην συνέχεια γίνεται παρουσίαση των εθελοντικών και υποχρεωτικών μέτρων εκπομπών που εφαρμόστηκαν στην Ευρώπη [16].

Μία βασική παρατήρηση όσον αφορά τους στόχους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που θα παρουσιαστούν στις επόμενες παραγράφους είναι ότι αυτές αναφέρονται στο *συνολικό ετήσιο στόλο* κάθε κατασκευαστή, σε αντίθεση με τις προδιαγραφές ρύπων της προηγούμενης παραγράφου που αναφέρονται *ανά όχημα*.

3.2.1. Εθελοντικοί στόχοι

- 1995

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια στρατηγική μείωσης των εκπομπών CO_2 για τα επιβατικά οχήματα που βασιζόταν στην εθελοντική δέσμευση των κατασκευαστών οχημάτων, βελτίωση στην πληροφόρηση των καταναλωτών σχετικά με τις εκπομπές CO_2 καθώς και την προώθηση μέσω οικονομικών μέτρων, για αγορά οχημάτων υψηλής αποδοτικότητας στην κατανάλωση καυσίμου.

- 1998

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπέγραψε εθελοντικές συμφωνίες σχετικά με την μείωση των εκπομπών CO_2 με την Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Οχημάτων (European Car Manufacturers Association – ACEA), την Ιαπωνική Ένωση Κατασκευαστών Οχημάτων (Japan Automobile Manufacturers Association – JAMA) και την Κορεάτικη Ένωση Κατασκευαστών Οχημάτων (Korean Automobile Manufacturers Association – KAMA). Αυτές οι εθελοντικές συμφωνίες δέσμευαν του κατασκευαστές οχημάτων στον στόχο των 140 gCO_2/km και θα έπρεπε να εφαρμοσθούν στους νέους στόλους οχημάτων που θα πωλούνταν στην ευρωπαϊκή αγορά με καταληκτική ημερομηνία συμμόρφωσης το 2008 για την ACEA και το 2009 για τις JAMA και KAMA. Ενώ στα πρώτα χρόνια εφαρμογής σημειώθηκαν σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές CO_2, από το 2004 παρουσιάστηκαν αποκλίσεις και οι κατασκευαστές πλέον δεν τηρούσαν τα εθελοντικά όρια.

3.2.2. Υποχρεωτικοί στόχοι

3.2.2.1. Επιβατικά οχήματα

- 2009

Με την οδηγία 443/2009/ΕΚ εφαρμόστηκε ο υποχρεωτικός στόχος των 130 gCO_2/km, ο οποίος έπρεπε να επιτευχθεί μέχρι το 2015. Η ίδια οδηγία περιέγραφε και έναν μακροπρόθεσμο στόχο που περιλαμβάνει το όριο των 95 gCO_2/km για επίτευξη έως το 2020.

- 2013

Τα όρια εκπομπής τέθηκαν σε 95 gCO_2/km για εφαρμογή από το 95% των νέων στόλων έως το 2020 και για εφαρμογή στο 100% των στόλων για το 2020.

3.2.2.2. Ελαφρά φορτηγά οχήματα

- 2009

Ο κανονισμός 593/2009/ΕΕ έθεσε ως στόχο εκπομπών CO_2 τον μέσο όρο των 175 g/km, ο οποίος θα έπρεπε να έχει καλυφθεί πλήρως από το 2016. Επίσης ο ίδιος κανονισμός από το 2020 ορίζει ως στόχο τα 135 g/km εκπομπών CO_2.

- 2012

Οι στόχοι που τέθηκαν με τον κανονισμό 593/2009/ΕΕ τροποποιήθηκαν με τον νεότερο κανονισμό 393/2012/ΕΕ, ο οποίος προέβλεπε χρονική μεταφορά κατά ένα έτος (από το 2016 για το 2017) στην εφαρμογή του ορίου των 175 gCO_2/km, καθώς και αλλαγή του μακροπρόθεσμου στόχου των 135 gCO_2/km σε 147 gCO_2/km για το 2020.

- 2013

Τα όρια για τα ελαφρά φορτηγά ορίστηκαν στα 147 gCO_2/km από το 2020.

3.2.2.3. Δίκυκλα και τρίκυκλα οχήματα

- 2010

Οι κατασκευαστές των δίκυκλων και τρίκυκλων οχημάτων, πρέπει να μπορούν να υπολογίσουν και να αναφέρουν στοιχεία εκπομπής CO_2, ωστόσο για τα συγκεκριμένα οχήματα δεν έχουν προσδιοριστεί στόχοι εκπομπής.

3.3. Τεχνικές προδιαγραφές εκπομπής CO_2

3.3.1. 1998-2008 εθελοντικές συμφωνίες

Μέσα στην διετία 1998-1999, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπέγραψε εθελοντικές συμφωνίες με την βιομηχανία των αυτοκινήτων για τον έλεγχο και την μείωση των εκπομπών CO_2. Οι συμφωνίες αυτές παρέμειναν σε ισχύ μέχρι και την εισαγωγή υποχρεωτικών ορίων εκπομπής με ρυθμίσεις που εισήχθησαν το 2008. Οι τελευταίες συμφωνίες καθόριζαν, ότι ο μέσος όρος εκπομπών CO_2 των στόλων των νέων οχημάτων που θα πωλούνταν στην Ευρωπαϊκή Ένωση, θα έπρεπε να τηρείται συλλογικά από τα μέλη του εκάστοτε αυτοκινητιστικού συνδέσμου. Οι εκπομπές CO_2 ήταν η μόνη εκπομπή που καλυπτόταν από τις ρυθμίσεις που εισήχθησαν, ενώ άλλες εκπομπές που συνεισφέρουν στην κλιματική αλλαγή δεν συμπεριλαμβάνονταν σε αυτές. Οι συμφωνίες που υπογράφηκαν την διετία 1998-1999 ήταν τρεις και αφορούσαν αυτοκινητοβιομηχανίες που κάλυπταν το 90% της ευρωπαϊκής αγοράς. Οι σύνδεσμοι κατασκευαστών αυτοκινήτου με τις αντίστοιχες αυτοκινητοβιομηχανίες που έλαβαν μέρος στις συμφωνίες αυτές, είναι οι ακόλουθοι [16]:

- ACEA—European Automobile Manufacturers Association (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles): BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, GM, Porsche, PSA Peugeot Citroën, Renault, Volkswagen Group.
- JAMA—Japanese Automobile Manufacturers Association: Daihatsu, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Subaru, Suzuki, Toyota.
- KAMA—Korean Automobile Manufacturers Association: Daewoo, Hyundai, Kia, Ssangyong.

3.3.1.1. Συμφωνία ACEA

Η συμφωνία με τον ευρωπαϊκό σύνδεσμο ACEA, υπογράφηκε τον Μάρτιο του 1998 και προέβλεπε τα παρακάτω [16]:

- Κάλυψη του στόχου των 140 gCO_2/km από το 2018 (μείωση 25% από τα επίπεδα εκπομπής 186 gCO_2/km του 1995)
- Πιθανότητα για επέκταση της συμφωνίας στα 120 gCO_2/km από το 2012
- Ενδιάμεσος στόχος εκπομπής CO_2 με εύρος 165-170 gCO_2/km από το 2003
- Ξεχωριστά τα μέλη της ACEA να εισάγουν μοντέλα αυτοκινήτων με εκπομπές 120 gCO_2/km ή λιγότερες από το 2000

Τα όρια εφαρμόστηκαν συλλογικά στα μέλη της ACEA, δηλαδή στο σύνολο του νέου στόλου επιβατικών οχημάτων της κατηγορίας M_1 που κατασκευάστηκε ή εισήχθη στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι εκπομπές CO_2 μετρήθηκαν με τον κύκλο οδήγησης NEDC (επόμενο κεφάλαιο).

3.3.1.2. Συμφωνίες JAMA και KAMA

Οι σύνδεσμοι κατασκευαστών αυτοκινήτων JAMA και KAMA, υπέγραψαν παρόμοιες δεσμεύσεις με αυτές του ACEA με τις ακόλουθες όμως διαφορές [16]:

- Ο στόχος εκπομπής των 140 gCO_2/km για τους συνδέσμους JAMA και KAMA, πήρε χρονική παράταση εφαρμογής κατά έναν χρόνο, δηλαδή το 2009
- Ο σύνδεσμός JAMA είχε ένα ευρύτερο φάσμα ορίου εκπομπής για τον ενδιάμεσο στόχο του 2003 που προέβλεπε εκπομπές 165-175 gCO_2/km
- Ο σύνδεσμος KAMA είχε παράταση ενός έτους για τον ενδιάμεσο στόχο των 165-170 gCO_2/km, με χρονολογία ισχύος το 2004

Οι στόχοι εκπομπών έπρεπε να καλυφθούν μέσα από τεχνολογικές προόδους που θα οδηγούσαν σε αυξημένη οικονομία καυσίμου. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτίμησε ότι ο στόλος αυτοκινήτων που θα προέκυπτε το 2008-2009 από τις ανωτέρω συμφωνίες, θα είχε μια μέση κατανάλωση της τάξης των 5.8 λίτρων βενζίνης/100km ή 5.25 λίτρων πετρελαίου/100km. Οι εκπομπές CO_2 ήταν ένας σημαντικός παράγοντας που οδήγησε στην υπερίσχυση των πετρελαιοκίνητων οχημάτων στην ευρωπαϊκή αγορά.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μειώσεις εκπομπής CO_2 των ελαφρών οχημάτων που επιτεύχθηκαν από τις εθελοντικές συμφωνίες που υπέγραψε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή με τους συνδέσμους των αυτοκινητοβιομηχανιών ACEA, JAMA και KAMA (Πίνακας 3.3 και Πίνακας 3.4).

	gCO_2/km το έτος 2003			Μείωση εκπομπών από		Στόχος εκπομπών
	Σύνολο	Βενζίνη	Πετρέλαιο	1995	2002	
ACEA	163	171	154	11.9%	1.2%	165-170 (2003)
JAMA	172	170	177	12.2%	1.1%	165-175 (2003)
KAMA	179	171	201	9.1%	2.2%	165-170 (2004)
EU-15	164	171	157	11.8%	1.2%	–

Πίνακας 3.3: Μέσος όρος εκπομπών των ελαφρών οχημάτων για το 2003, μειώσεις εκπομπών στα διαστήματα 1995-2003 / 2002-2003 και μεσοπρόθεσμοι στόχοι εκπομπής για το έτος 2003 [16]

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ACEA	169.2	167.0	164.4	162.5	160.7	160.0	159.7	157.0	152.3	145.1
JAMA	179.6	176.6	173.7	172.0	169.7	166.2	161.4	159.5	153.7	142.6
KAMA	184.2	185.5	183.5	178.7	167.5	166.6	164.3	161.1	151.5	141.8
EU-27	172.2	169.7	167.2	165.5	163.4	162.4	161.3	158.7	153.6	145.7
Σημείωση: Τα στοιχεία εκπομπής CO_2 για τους συνδέσμους ACEA, JAMA και KAMA έχουν υποστεί μείωση 0,7% λόγω αλλαγής της διαδικασίας δοκιμής, ενώ στα στοιχεία από τα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι μη προσαρμοσμένες μετρήσεις από την δοκιμή ECE+EUDC σύμφωνα με την οδηγία 93/116/ΕΚ.										

Πίνακας 3.4: Μέσες εκπομπές CO_2 σε g/km των ελαφρών οχημάτων για το διάστημα 2000-2009 [16]

3.3.2. Προδιαγραφή επιβατικών οχημάτων 2009 (130 g/km)

Τον Δεκέμβριο του 2009, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο υιοθέτησε υποχρεωτικά όρια εκπομπής για τα νέα επιβατικά οχήματα, τα οποία καθόριζαν ως μέσο όρο εκπομπής τα 130 gCO_2/km για το 2015. Κάθε αυτοκινητοβιομηχανία ξεχωριστά θα έπρεπε να μπορεί να καλύψει το συγκεκριμένο όριο εκπομπής μέσω νέων τεχνολογιών μέχρι το 2015. Μία επιπλέον μείωση 10 gCO_2/km αναμενόταν να καλυφθεί με πρόσθετα μέτρα, όπως η χρήση βιοκαυσίμων. Ο στόχος έπρεπε να μπορεί να καλυφθεί σε ένα χρονικό περιθώριο τεσσάρων χρόνων, δηλαδή με έτος εκκίνησης το 2012 (Πίνακας 3.5). Τα ανωτέρω όρια εκπομπής CO_2 θα έβρισκαν εφαρμογή σε όλα τα επιβατικά

οχήματα κατηγορίας M_1 και η μέτρησή τους θα γινόταν μέσω του κύκλου οδήγησης NEDC. Ο στόχος εκπομπών CO_2 του εκάστοτε κατασκευαστή αυτοκινήτων σε ένα ημερολογιακό έτος, βασίζεται στην μάζα του οχήματος. Από την παρακάτω σχέση, υπολογίζεται η μέση ειδική εκπομπή gCO_2/km (Specific Emissions of CO_2) κάθε καινούριου επιβατικού οχήματος που ταξινομείται σε αυτό το ημερολογιακό έτος [9].

$$Ειδικές\ Εκπομπές\ CO_2 = 130 + 0.0457 \times (M - M_O) \tag{3.1}$$

Όπου M είναι η μάζα του οχήματος σε kg και η παράμετρος M_O είναι ίση με 1372 kg για τα ημερολογιακά έτη 2012-2015. Από το έτος 2016 η τιμή της παραμέτρου M_O ρυθμίζεται ανά έτος, ώστε να αντανακλά την μέση μάζα των επιβατικών οχημάτων στα τρία προηγούμενα ημερολογιακά έτη. Με αυτόν τον τρόπο, ο στόχος τον 130 gCO_2/km γίνεται άμεσα εφαρμόσιμος σε οχήματα μιας μέσης μάζας, ενώ ελαφρύτερα οχήματα έχουν χαμηλότερους στόχους εκπομπών CO_2 και τα βαρύτερα οχήματα έχουν μεγαλύτερους στόχους. Η περίοδος προσαρμογής για την ρύθμιση αυτή ήταν το 2012-2015.

Έτος	Ποσοστό των οχημάτων του στόλου της κάθε αυτοκινητοβιομηχανίας που πληροί το όριο εκπομπών CO_2
2012	65%
2013	75%
2014	80%
2015 και μετά	100%

Πίνακας 3.5: Ποσοστό του νέου στόλου αυτοκινήτων των κατασκευαστών που έπρεπε να πληροί το όριο των 130 gCO_2/km ανά έτος στην φάση προσαρμογής [16]

3.3.2.1. Πρόσθετα κίνητρα

Στην αρχική περίοδο προσαρμογής, ορισμένα οχήματα έλαβαν πρόσθετα κίνητρα:

- Οχήματα με εκπομπές κάτω των 50 gCO_2/km λαμβάνουν πόντους που ονομάστηκαν super-credits. Κάθε αυτοκίνητο που πληρούσε αυτόν τον στόχο μετρούσε ως 3,5 οχήματα το 2012, ως 2,5 οχήματα το 2014, ως 1,5 όχημα το 2015 και ως 1 όχημα από το 2016.
- Οι εκπομπές CO_2 οχήματος που έκανε χρήση μίγματος βενζίνης με 85% αιθανόλη (καύσιμο E85), μειωνόταν κατά 5% μέχρι το τέλος του 2015. Η μείωση αυτή εφαρμοζόταν μόνο στα κράτη που οι σταθμοί ανεφοδιασμού καυσίμου τους είχαν στο 30% επί του συνολικού τους αριθμού διαθέσιμο προς πώληση το καύσιμο E85.

3.3.2.2. Ελαστικότητα στην εφαρμογή των στόχων

Η οδηγία προέβλεπε και ορισμένες διευκολύνσεις για τους κατασκευαστές οχημάτων, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Δημιουργία κοινοπραξιών (pooling)

Ορισμένοι κατασκευαστές μπορούσαν να σχηματίσουν μια μορφή συνεταιρισμού προκειμένου να επιτύχουν μαζί τους στόχους εκπομπής CO_2 που είχαν τεθεί.

- Κατασκευαστές μικρού όγκου οχημάτων (low volume manufacturers)

Οι κατασκευαστές οχημάτων που ταξινομούσαν λιγότερα από 10.000 νέα οχήματα κάθε έτος, υπό την ισχύ ορισμένων προϋποθέσεων, μπορούσαν να κάνουν αίτηση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή για μείωση του ειδικού στόχου εκπομπής CO_2.

- Εισαγωγή οικολογικών καινοτομιών (eco-innovation)

Παραχωρήθηκε στους κατασκευαστές το δικαίωμα να αιτηθούν για πόντους (credits), για νέες τεχνολογίες μείωσης του εκπεμπόμενου CO_2, που δεν μπορούν να μετρηθούν από τα διαδικασία μέτρησης εκπομπών, δηλαδή το κύκλο οδήγησης. Η μέγιστη μείωση που μπορεί να λάβει κάθε κατασκευαστής ορίστηκε στα 7 gCO_2/km.

3.3.2.3. Εφαρμογή προστίμων

Για τους κατασκευαστές που δεν ήταν σε θέση να καλύψουν τους στόχους εκπομπών της συμφωνίας, προβλέπονταν τα ακόλουθα πρόστιμα:

Για την χρονική περίοδο 2012-2018, τα πρόστιμα ανέρχονταν σε 5€ για κάθε όχημα για το πρώτο gCO_2/km, 15€ για το δεύτερο gCO_2/km, 25€ για το τρίτο gCO_2/km και 95€ από το τέταρτο και για κάθε επόμενο gCO_2/km.

Από το 2019 ορίστηκε, κάθε κατασκευαστής να πληρώνει για κάθε όχημα, 95€ για κάθε gCO_2/km που ξεπερνάει τον στόχο που ορίζει η οδηγία.

3.3.3. Προδιαγραφή ελαφρών φορτηγών 2011 (175/147 g/km)

Τον Μάιο του 2011 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο υιοθέτησε τον κανονισμό 510/2011/ΕΕ, με τον οποίο για πρώτη φορά θα ρυθμίζονταν οι εκπομπές CO_2 των ελαφρών φορτηγών (LVCs – Light Commercial Vehicles) στην Ευρώπη.

Οι στόχοι για τις μέσες εκπομπές του συνολικού *στόλου* ελαφρών φορτηγών (LCVs) κάθε κατασκευαστή ορίστηκαν στα 175 gCO_2/km και η φάση εφαρμογής τους θα ήταν το διάστημα 2014-2016. Η πρόταση για το μακροπρόθεσμο όριο εκπομπής ήταν τα 135 gCO_2/km που θα ίσχυε από το 2020. Τελικά υιοθετήθηκε μια πιο χαλαρή εκδοχή της αρχικής πρότασης που προέβλεπε 147 gCO_2/km αντί των 135 gCO_2/km για τους νέους στόλους των LCVs από το 2020. Επίσης, το

τέλος της φάσης εφαρμογής για τον βραχυπρόθεσμο στόχο των 175 gCO_2/km παρατάθηκε κατά ένα έτος, δηλαδή θα έπρεπε να καλυφθεί από το 2017 αντί του 2016 (Πίνακας 3.6).

Ο κανονισμός αναφέρεται σε όλα τα οχήματα της κατηγορίας N_1 με μάζα αναφοράς που δεν ξεπερνάει τα 2610 kg. Η δομή του κανονισμού είναι παρόμοια με την αντίστοιχη των επιβατικών οχημάτων. Ο ετήσιος ειδικός στόχος εκπομπών CO_2 για τον κάθε κατασκευαστή, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Ειδικές\ Εκπομπές\ CO_2 = 175 + 0.093 \times (M - M_O) \tag{3.2}$$

Όπου M είναι η μάζα του οχήματος σε kg και η παράμετρος M_O είναι ίση με 1706 kg για τα ημερολογιακά έτη 2014-2017. Από το έτος 2018 η τιμή της παραμέτρου M_O ρυθμίζεται ανά έτος, ώστε να αντανακλά την μέση μάζα των νέων LCVs στα τρία προηγούμενα ημερολογιακά έτη.

Έτος	Ποσοστό των LCVs του στόλου της κάθε αυτοκινητοβιομηχανίας που πληροί το όριο των εκπομπών CO_2
2014	70%
2015	75%
2016	80%
2017 και μετά	100%

Πίνακας 3.6: Ποσοστό των νέων στόλων ελαφρών φορτηγών των κατασκευαστών που έπρεπε να πληροί το όριο των 175 gCO_2/km ανά έτος στην φάση προσαρμογής [16]

3.3.3.1. Πρόσθετα κίνητρα

Στην αρχική περίοδο προσαρμογής, ορισμένα οχήματα έλαβαν πρόσθετα κίνητρα:

- Οχήματα με εκπομπές κάτω των 50 gCO_2/km λάμβαναν πόντους που ονομάστηκαν super-credits. Κάθε όχημα που πληρούσε αυτόν τον στόχο μετρούσε ως 3,5 οχήματα το 2014 και το 2015, ως 2,5 οχήματα το 2016, ως 1,5 όχημα το 2017 και ως 1 όχημα από το 2018.

3.3.3.2. Εφαρμογή προστίμων

Για τους κατασκευαστές που δεν ήταν σε θέση να καλύψουν τους στόχους εκπομπών της συμφωνίας, προβλέπονταν τα ακόλουθα πρόστιμα:

Έως το 2018, το πρόστιμο ανέρχεται σε 5€ ανά όχημα για το πρώτο gCO_2/km που υπερβαίνει τον στόχο, 15€ για το δεύτερο gCO_2/km, 25€ για το τρίτο gCO_2/km, και 120€ για κάθε επόμενο gCO_2/km που υπερβαίνει το στόχο.

Από το 2019 και μετά, το πρόστιμο θα ανέρχεται στα 120€ για κάθε gCO_2/km που υπερβαίνει τον στόχο που έχει τεθεί.

3.3.4. Προδιαγραφές επιβατικών οχημάτων και ελαφρών φορτηγών 2013 (95 και 147 g/km)

Στο τέλος του 2013 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έφτασαν σε συμφωνία σχετικά με δύο ρυθμιστικές προτάσεις που θα καταστήσουν νέους υποχρεωτικούς στόχους εκπομπών CO_2 από το 2020. Οι προτάσεις αυτές αφορούν τόσο τα επιβατικά οχήματα, όσο και τα ελαφρά φορτηγά. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησαν επισήμως τις προαναφερθείσες ρυθμίσεις τον Φεβρουάριο του 2014 και τον Μάρτιο του 2014 για τα ελαφρά φορτηγά και τα επιβατικά οχήματα αντιστοίχως.

Το μέσο όριο εκπομπής για το 2020 τέθηκε στα 95 gCO_2/km για κάθε στόλο νέων επιβατικών οχημάτων ανά κατασκευαστή. Μέχρι την καθολική ισχύ του ανωτέρου ορίου, θα υπάρχει μια μικρή φάση προσαρμογής που προβλέπει την κάλυψη του ορίου για το 95% των πωλήσεων των νέων οχημάτων του κάθε κατασκευαστή για το έτος του 2020 και 100% κάλυψη από το τέλος του 2020. Σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου, οι ευρωπαϊκοί θεσμοί ευελπιστούν μέσα από τους στόχους εκπομπών CO_2, να επιτευχθούν καταναλώσεις της τάξης του 4.1 L/100 km για τα βενζινοκίνητα οχήματα και 3.6 L/100 km για τα πετρελαιοκίνητα.

Το βάρος του οχήματος παραμένει και πάλι ο βασικός παράγοντας ρύθμισης αφού όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος του στόλου του εκάστοτε κατασκευαστή, τόσο υψηλότερες εκπομπές CO_2 του επιτρέπονται από τον κανονισμό. Ο ρυθμιστικός παράγοντας που χρησιμοποιείται, είναι ίσος με 0,0333 και αυτό σημαίνει ότι για κάθε επιπλέον 100 kg ενός οχήματος, επιτρέπονται 3,33 gCO_2/km περισσότερα από το προκαθορισμένο όριο των 95 gCO_2/km.

Σχετικά με τα ελαφρά φορτηγά, το όριο εκπομπής ορίστηκε στα 147 gCO_2/km από το 2020. Και πάλι το βάρος είναι ο βασικός παράγοντας ρύθμισης, με τιμή ίση με 0,0960, κάτι που σημαίνει πως για κάθε 100 kg πρόσθετου βάρους του οχήματος, επιτρέπονται περισσότερες εκπομπές κατά 9,60 gCO_2/km.

Τα τρέχοντα (2018) αλλά και μελλοντικά από το 2020 όρια εκπομπών CO_2 που αναφέρθηκαν παραπάνω είχαν προταθεί όσο ακόμα ίσχυε αποκλειστικά ο κύκλος NEDC (βλ. επόμενο κεφάλαιο περί κύκλων πιστοποίησης). Για το διάστημα από τον 9/2017 που έχει ήδη αρχίσει η εφαρμογή της νέας διαδικασίας WLTP μέχρι και το 2020, η δοκιμή του οχήματος γίνεται κανονικά στον κύκλο WLTP και στη συνέχεια μέσω του λογισμικού CO2MPAS (https://co2mpas.io/ - Κανονισμοί 1152/2017/EE and 1153/2017/EE) οι μετρημένες εκπομπές CO_2 μετατρέπονται σε NEDC-ισοδύναμες εκπομπές· στις εγκρίσεις τύπου αναφέρονται και οι δύο τιμές. Από το 2020 και μετά, θα υπάρξει κατάλληλη αναπροσαρμογή των σημερινών ορίων (π.χ. 95 g/km για

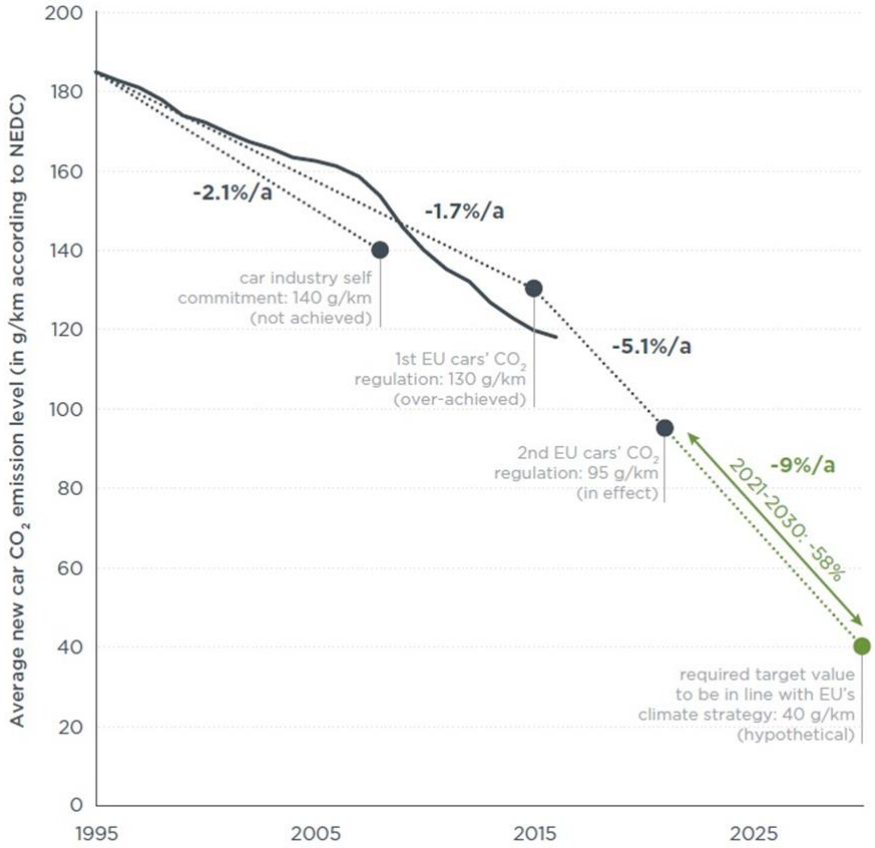
επιβατικά) σε απευθείας πλέον αναφορά στη διαδικασία WLTP, με βάση και τα στατιστικά στοιχεία που θα συγκεντρωθούν μέχρι τότε από όλους τους κατασκευαστές (εδώ εγείρεται ήδη ένα θέμα για πιθανή, εσκεμμένη αποστολή από τους κατασκευαστές αυξημένων τιμών CO_2 έτσι ώστε να είναι πιο ευνοϊκά για αυτούς τα αναπροσαρμοσμένα επί της διαδικασίας WLTP όρια από το 2020).

Αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη για τον προσδιορισμό των ορίων εκπομπής χρησιμοποιείται ένα σύστημα που βασίζεται στο βάρος του εκάστοτε οχήματος. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, έχει ήδη προτείνει να γίνεται χρήση του αποτυπώματος του αυτοκινήτου (vehicle footprint = wheelbase x track width) ως ρυθμιστικού παράγοντα από το 2020 για τον καθορισμό και υπολογισμό των ορίων των εκπομπών CO_2.

3.3.5. Μελλοντικοί στόχοι

Για το 2025, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει προτείνει έναν ενδεικτικό στόχο εκπομπής που κινείται στο φάσμα των 68-78 gCO_2/km.

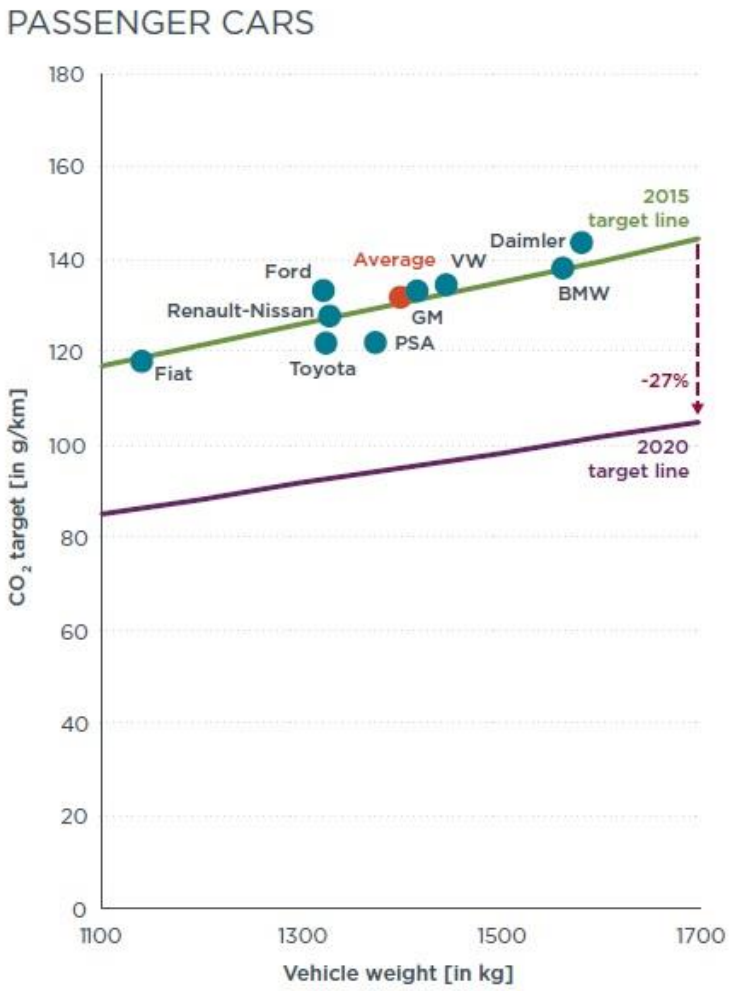
Ακολουθεί η εξέλιξη του μέσου όρου εκπομπών CO_2, των στόχων που τέθηκαν μέχρι σήμερα, καθώς και των μελλοντικών σχεδίων της περιόδου 2021-2030 (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Ιστορική εξέλιξη του μέσου όρου εκπομπών CO_2 και των στόχων που τέθηκαν μέχρι σήμερα, καθώς και των μελλοντικών σχεδίων της περιόδου 2021-2030 [19]

3.4. Κάλυψη των στόχων εκπομπής CO_2

Σε άρθρο που δημοσιεύτηκε από το ICCT (International Council on Clean Transportation) το 2014 [17], τα στοιχεία έδειχναν ότι ο τότε ισχύων κανονισμός που καθόριζε ως όριο εκπομπής τα 130 gCO_2/km, με ημερομηνία κάλυψης του ορίου από τις αυτοκινητοβιομηχανίες το 2015, οδήγησε σε μια δραστική πτώση του μέσου όρου εκπομπής CO_2. Συγκεκριμένα ενώ ο μέσος όρος εκπομπής για τα επιβατικά οχήματα το 2006 ήταν 160 gCO_2/km, αυτός μέχρι το 2012 είχε πέσει στα 132 gCO_2/km (οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τον κύκλο οδήγησης NEDC) (Σχήμα 3.4, Πίνακας 3.7). Δηλαδή, υπήρξε μια μείωση της τάξης του 17%, ενώ ο ετήσιος ρυθμός πτώσης του μέσου όρου εκπομπών CO_2 ήταν διπλάσιος συγκριτικά με τους αντίστοιχους ρυθμούς που εμφανίζονταν πριν από την επιβολή των υποχρεωτικών ορίων εκπομπής από τους ευρωπαϊκούς θεσμούς.

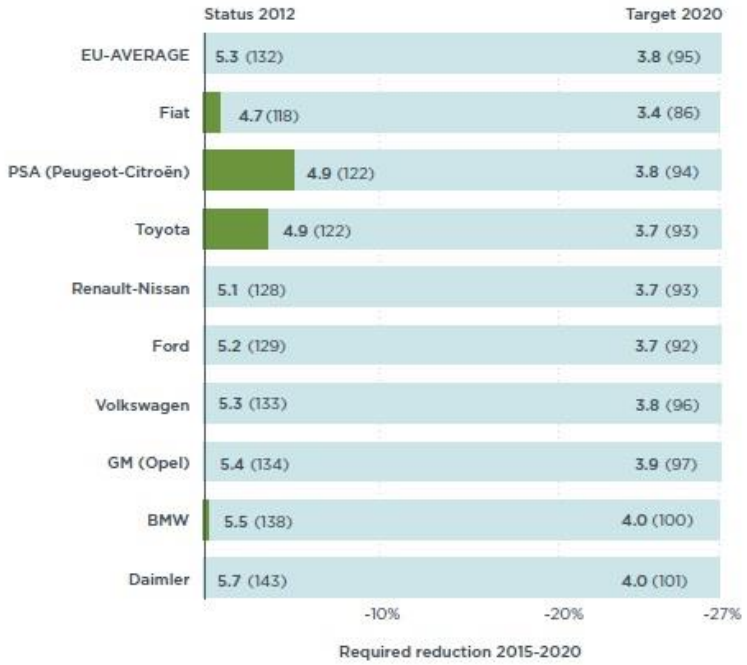


Σχήμα 3.4: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 επιβατικών οχημάτων για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17]

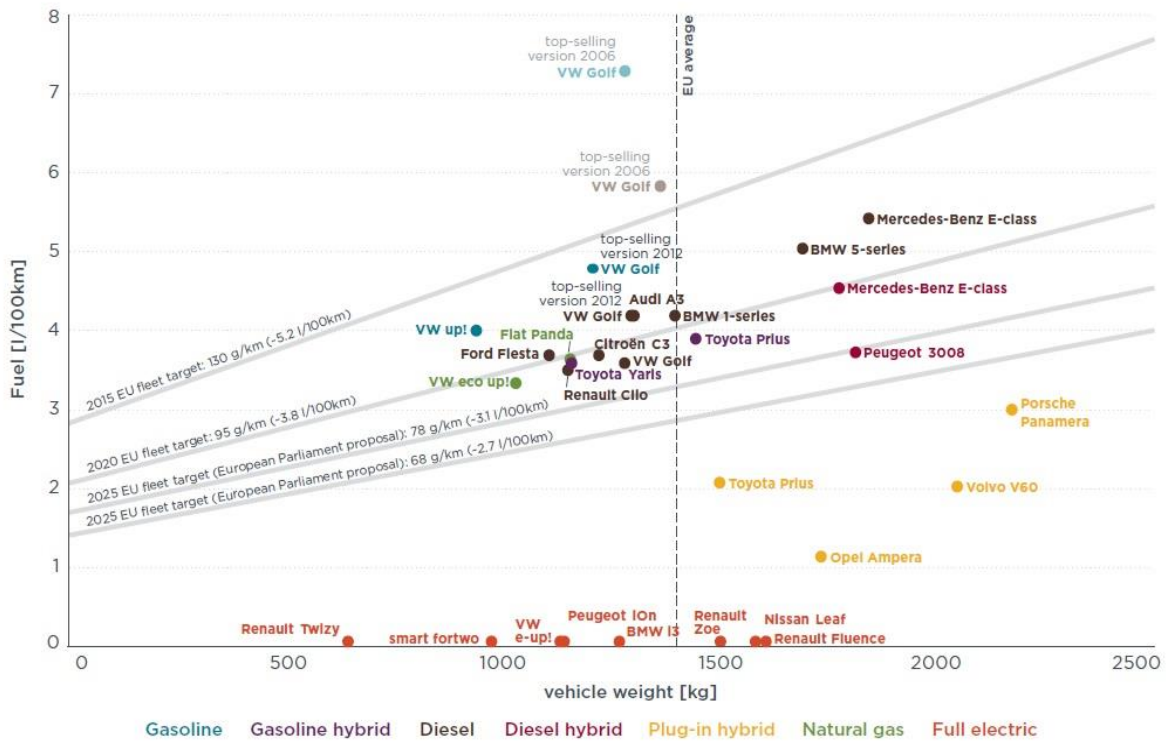
	Market share	Mass [kg]	CO_2 [g/km]		
			2012	2015	2020
Daimler	5%	1583	143	140	101
BMW	6%	1563	138	139	100
GM	8%	1445	134	133	96
Volkswagen	25%	1417	133	132	96
Average		1400	132	130	95
Ford	8%	1322	129	128	92
Renault-Nissan	12%	1329	128	128	93
Fiat (incl. Chrysler)	6%	1209	124	123	89
Toyota	4%	1325	122	128	92
PSA (Peugeot-Citroën)	12%	1374	122	130	94

Πίνακας 3.7: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 επιβατικών οχημάτων για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17]

Η απαιτούμενη ποσοστιαία πτώση του μέσου όρου εκπομπών CO_2, που οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν κληθεί να καλύψουν στο διάστημα 2015-2020 (με πλήρη κάλυψη του ορίου το 2021), είναι 27% για όλους τους κατασκευαστές. Ο στόχος των 95 gCO_2/km για το 2020, αντιστοιχεί σε κατανάλωση καυσίμου περίπου ίση με 3.8 L/100 km (Σχήμα 3.5). Πολύ ενθαρρυντικό σημείο για την επίτευξη των στόχων του 2020 είναι το γεγονός, πως ήδη από το 2013 υπήρχαν στην αγορά οχήματα που τους υπερκάλυπταν (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.5: Μέση κατανάλωση (σε L/100km) και εκπομπές CO_2 (σε g/km) επιβατικών οχημάτων των κυριότερων κατασκευαστών της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020. Οι πράσινες μπάρες αντιπροσωπεύουν το ποσοστό της συμμόρφωσης με τα όρια του 2015, ήδη από το 2012 [17]



Σχήμα 3.6: Εκπομπές CO_2 από επιλεγμένα εμπορικά διαθέσιμα επιβατικά οχήματα στην Ευρώπη το 2013 [17]

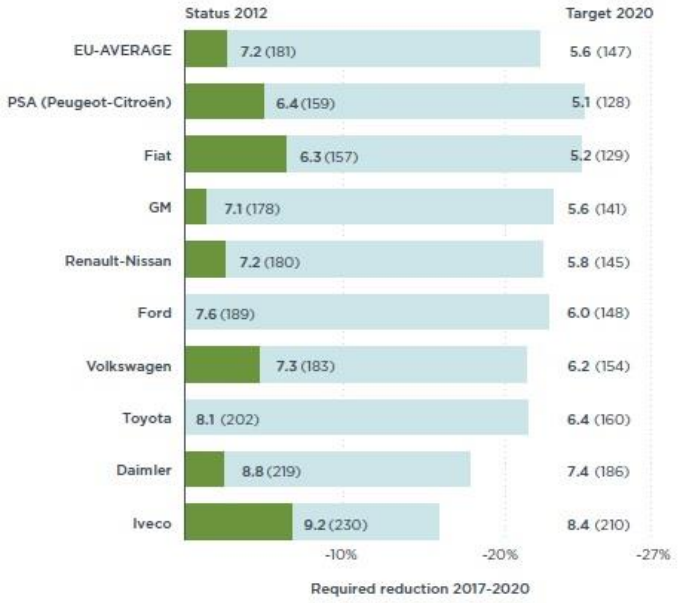
Στο ίδιο άρθρο [17], παρατέθηκαν στοιχεία που αφορούσαν την μέση εκπομπή CO_2 των ελαφρών φορτηγών, η οποία το 2012 ανερχόταν στα 180 gCO_2/km (Πίνακας 3.8). Επομένως, ο στόχος των 178 gCO_2/km προσεγγίστηκε πολύ νωρίτερα από την ημερομηνία καθολικής εφαρμογής. Ωστόσο, η ρύθμιση για τα ελαφρά φορτηγά υπέθετε ένα μέσο όρο βάρους των οχημάτων στα 1706 kg μέχρι το 2017· ο μέσος πραγματικός όρος το 2012 ήταν στα 1843 kg. Λαμβάνοντας υπόψιν τον ρυθμιστικό παράγοντα του βάρους από τον κανονισμό, ο πραγματικός στόχος του 2017 αναδιαμορφώνεται στα 187 gCO_2/km από τα 178 gCO_2/km. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι κατασκευαστές ελαφρών φορτηγών, είχαν ήδη καλύψει ο καθένας ξεχωριστά τους δικούς του στόχους εκπομπής CO_2 του 2017 από το 2012.

	Market share	Mass [kg]	CO_2 [g/km]		
			2012	2017	2020
Iveco	1%	2487	230	248	210
Daimler	9%	2245	219	225	186
Toyota	2%	1974	202	200	160
Ford	12%	1842	189	188	148
Volkswagen	15%	1904	183	193	154
Average		1834	180	187	147
Renault-Nissan	19%	1816	180	185	145
GM	6%	1767	178	181	141
PSA (Peugeot-Citroën)	21%	1638	159	169	128
Fiat	10%	1647	157	170	129

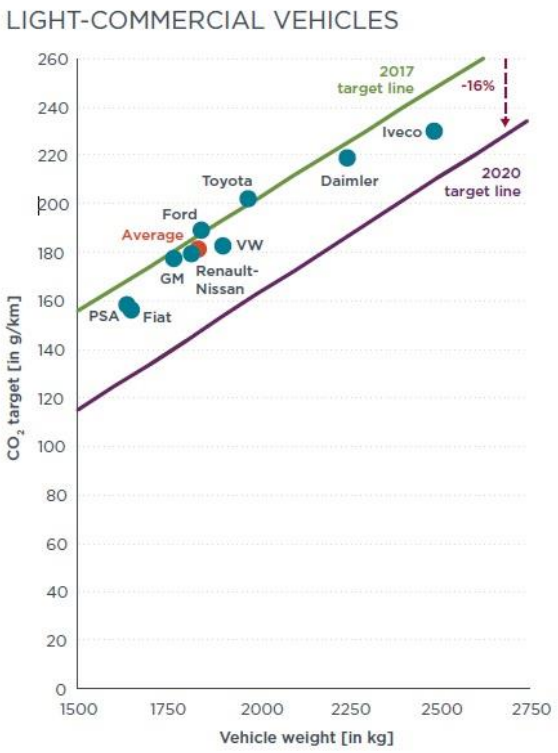
Πίνακας 3.8: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 ελαφρών φορτηγών για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17]

Για το 2020, ο στόχος του μέσου όρου εκπομπής CO_2 των ελαφρών φορτηγών έχει ορισθεί στα 147 gCO_2/km, κάτι που αντιστοιχεί σε κατανάλωση καυσίμου περίπου ίση με 5.6 L/100 km (Σχήμα 3.7). Για το 2020, το βάρος των οχημάτων που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των στόχων των στόλων της κάθε αυτοκινητοβιομηχανίας θα ρυθμιστεί ώστε να αντικατοπτρίζει το αληθινό βάρος του στόλου των οχημάτων. Ο μέσος όρος εκπομπής θα είναι τα 147 gCO_2/km, ανεξάρτητα από κάθε μελλοντική μεταβολή του βάρους των οχημάτων. Η απαιτούμενη μείωση

στο διάστημα 2017-2020 είναι 16%. Οι περισσότεροι κατασκευαστές ελαφρών φορτηγών κάλυπταν ήδη από το 2012 τους στόχους του 2017 (Σχήμα 3.8) και είχαν ήδη ξεκινήσει την προσπάθεια επίτευξης των στόχων του 2020.



Σχήμα 3.7: Μέση κατανάλωση (σε L/100km) και εκπομπές CO_2 (σε g/km) ελαφρών φορτηγών των κυριότερων κατασκευαστών της ευρωπαϊκής αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020. Οι πράσινες μπάρες αντιπροσωπεύουν το ποσοστό της συμμόρφωσης με τα όρια του 2015, ήδη από το 2012 [17]



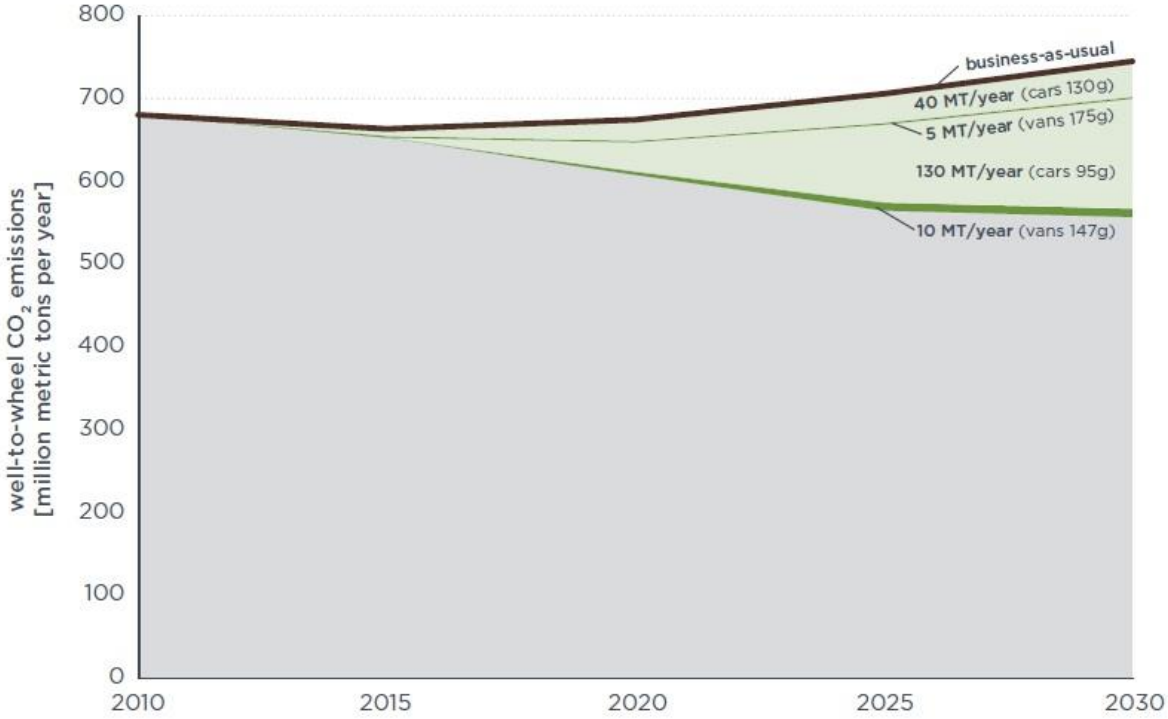
Σχήμα 3.8: Μέσος όρος εκπομπών CO_2 ελαφρών φορτηγών για το 2012 από τους κυριότερους κατασκευαστές στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των στόχων του 2015 και 2020 [17]

3.5. Αναμενόμενα αποτελέσματα από την επιβολή των κανονισμών

Σε μια εκτίμηση των επιπτώσεων των αρχικών προτάσεων (δηλαδή πριν τις αλλαγές που προέκυψαν από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει τις αναμενόμενες επιδράσεις των προτεινόμενων κανονισμών για τα επιβατικά οχήματα και τα ελαφρά φορτηγά. Έτσι κατέληξε στα εξής:

- Εξοικονόμηση από καύσιμα επιβατικών αυτοκινήτων περίπου 340€ από το πρώτο έτος, με συνολική εκτιμώμενη εξοικονόμηση 2904-3836€ καθ' όλη την διάρκεια ζωής του οχήματος, σε σύγκριση με τους στόχους του 2015. Για τα ελαφρά φορτηγά, τα αντίστοιχα ποσά ανέρχονται στα 400€ για τον πρώτο χρόνο και στα 3363-4565€ για όλη την διάρκεια ζωής του οχήματος.
- Εξοικονόμηση 30 δισεκατομμυρίων € ανά έτος από καύσιμα, συνολικά για όλους τους καταναλωτές.
- Αύξηση του ευρωπαϊκού ΑΕΠ κατά 12 δισεκατομμύρια € κάθε χρόνο και ετήσιες δαπάνες ύψους 9 δισεκατομμυρίων € για την απασχόληση.
- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 25%, εξοικονόμηση 160 εκατομμυρίων τόνων πετρελαίου για την περίοδο 2020-2030, που μεταφράζεται σε 70 δισεκατομμύρια € (με τις τιμές πετρελαίου που ίσχυαν το 2014).
- Αποφυγή εκπομπών CO_2 κατά 420 εκατομμύρια τόνους στην περίοδο μέχρι το 2030.
- Αρνητικό κόστος μείωσης του CO_2· αυτό σημαίνει ότι η εξοικονόμηση καυσίμου είναι μεγαλύτερη από το κόστος που θα επιφέρει η συμμόρφωση με τους κανονισμούς εκπομπής CO_2. Τα καθαρά κέρδη υπολογίστηκαν στην περιοχή των 80-295 € για κάθε εκπεμπόμενο τόνο CO_2 που αποφεύγεται.

Υπολογισμοί που διενεργήθηκαν από τον ICCT [17], έδειξαν ότι για τον στόλο των οχημάτων οι εκτιμώμενες ετήσιες εκπομπές CO_2 θα είναι 185 MT (μεγατόνοι) λιγότεροι το 2030 σε σχέση με το σενάριο μη ύπαρξης των υποχρεωτικών κανονισμών εκπομπής (business as usual) (Σχήμα 3.9). Από αυτούς τους 185 MT, 130 MT οφείλονται στην εισαγωγή των κανονισμών των 95 gCO_2/km από το 2020 και 10 MT οφείλονται στον κανονισμό των 147 gCO_2/km για τα ελαφρά φορτηγά. Οι υπολειπόμενοι 45 MT αποφυγής εκπομπών CO_2 προέρχονται από τους κανονισμούς για τα επιβατικά οχήματα και τα ελαφρά φορτηγά του 2015-2017.



Σχήμα 3.9: Εκπομπές CO_2 του στόλου των light-duty οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμίσεων που εισήχθησαν σχετικά με τις εκπομπές CO_2 [17]

3.6. Πολιτικές αποφάσεις

Η ερώτηση που ανακύπτει παρακολουθώντας την πορεία γύρω από το θέμα του περιορισμού των εκπομπών με υποχρεωτικούς κανονισμούς από την πλευρά των ευρωπαϊκών θεσμών και τον τρόπο ανταπόκρισης από πλευράς κατασκευαστών, είναι το αν η πολιτική της μείωσης των εκπομπών CO_2 ήταν επιτυχημένη ή όχι. Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα, είναι ότι με την εφαρμογή των κανονισμών σημειώθηκε πρόοδος στην μείωση των εκπομπών CO_2, όμως η πρόοδος αυτή δεν ήταν όσο μεγάλη θα περίμενε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή βάσει της αρχικής στρατηγικής που είχε χαράξει στον τομέα των μεταφορών. Η εξέταση ανάμεσα στον σκοπό της αρχικής στρατηγικής και στον τρόπο με τον οποίο τελικά εφαρμόστηκαν οι κανονισμοί μπορεί να δείξει στους ευρωπαϊκούς ρυθμιστικούς θεσμούς και στα ευρωπαϊκά κράτη μέλη τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να συνεργαστούν προκειμένου να αντιμετωπίσουν την πρόκληση της επίτευξης των κλιματικών στόχων που έχουν τεθεί για το 2050 [19].

Η προέλευση των κανονισμών για την μείωση των εκπομπών CO_2 έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενες παραγράφους. Οι κατασκευαστές οχημάτων συμφώνησαν εθελοντικά να μειώσουν τις εκπομπές των στόλων τους στα 140 gCO_2/km μέχρι το 2008, ξεκινώντας από μια μέση βάση της τάξης των 186 gCO_2/km το 1995. Αυτό σήμαινε ότι θα έπρεπε να ακολουθηθεί ένας ρυθμός πτώσης των εκπομπών 2,1% σε ετήσιο επίπεδο προκειμένου να καλυφθούν τα όρια εκπομπής

μέχρι το 2008. Ωστόσο ήταν ήδη εμφανές από το έτος 2005 ότι οι κατασκευαστές δεν θα κατάφερναν να συμμορφωθούν με τους στόχους εκπομπής του 2008 (Σχήμα 3.3).

Το 2007 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε την εισαγωγή υποχρεωτικών κανονισμών, οι οποίοι επισήμως υιοθετήθηκαν το 2009 μετά από πολλές πολιτικές διαβουλεύσεις. Ο στόχος των 130 gCO_2/km του 2015 αντιπροσώπευε ετήσιο ρυθμό πτώσης των εκπομπών CO_2 ίσο με 1,7%, δηλαδή μικρότερο από τον ρυθμό πτώσης των εθελοντικών μέτρων. Με την εισαγωγή των νεότερων κανονισμών το 2013 που προέβλεπαν μέσες εκπομπές 95 gCO_2/km μέχρι το 2021, παρατηρείται ότι ο ετήσιος ρυθμός πτώσης που πρέπει να επιτευχθεί για την κάλυψη των ορίων εκπομπής στο διάστημα 2015-2021 είναι πολύ μεγαλύτερος από τις προηγούμενες περιπτώσεις και αντιστοιχεί σε 5,1%.

Όμως τα ανωτέρω όρια εκπομπής CO_2, ήταν μόνο ένα μέρος από το σχέδιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και όχι το σύνολο αυτού. Το 1995 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή οραματίστηκε μια στρατηγική μείωσης των εκπομπών CO_2 των οχημάτων που βασιζόταν σε τρείς διαφορετικούς άξονες: τα όρια εκπομπής CO_2, την βελτίωση της πληροφόρησης των καταναλωτών και αναδιάρθρωση του φορολογικού συστήματος των οχημάτων.

Το 1999 οι ευρωπαϊκοί θεσμοί υιοθέτησαν έναν κανονισμό που απαιτούσε να εμφανίζονται στις εκθέσεις πώλησης των νέων αυτοκινήτων οι πληροφορίες που χρειάζονταν οι καταναλωτές προκειμένου να επιλέξουν ένα όχημα με χαμηλές εκπομπές. Όμως τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης άσκησαν πιέσεις στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή προκειμένου να τους παραχωρηθεί κάποια ελαστικότητα στον τρόπο εφαρμογής του κανονισμού. Το αποτέλεσμα αυτών των παραχωρήσεων, ήταν η δημιουργία ενός ασυνεπούς και αναποτελεσματικού συστήματος. Σε άρθρο του ICCT που δημοσιεύτηκε το 2018 [19], αναφέρεται το ακόλουθο παράδειγμα. Το γερμανικό σύστημα που πληροφορούσε το καταναλωτικό κοινό σχετικά με τις εκπομπές CO_2, είχε χαρακτηρίσει το επιβατικό μοντέλο Porsche Cayenne (τεχνικά χαρακτηριστικά: βάρος 2400 kg, ισχύς κινητήρα 193 kW και εκπομπές 179 gCO_2/km) μέλος της κατηγορία 'B', την ώρα που με στην ίδια κατηγορία 'B' ανήκε και το επιβατικό μοντέλο Smart Fortwo (τεχνικά χαρακτηριστικά: βάρος 900 kg, ισχύς κινητήρα 52 kW και εκπομπές 93 gCO_2/km). Γίνεται αντιληπτό ότι το συγκεκριμένο σύστημα πληροφόρησης δεν ήταν αποδοτικό και αυτός ήταν και ο λόγος που κατέρρευσε ο δεύτερος βασικός άξονας της προσπάθειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με την μείωση των εκπομπών CO_2.

Όσον αφορά την προσπάθεια για την μεταρρύθμιση στο φορολογικό σύστημα, η ιδέα ήταν απλή και το σκεπτικό ήταν τα οχήματα με χαμηλές εκπομπές CO_2 να πληρώνουν λιγότερους φόρους, ενώ τα οχήματα με υψηλές εκπομπές περισσότερους. Έτσι ο φορολογικός συντελεστής του κάθε οχήματος θα αντανακλούσε τα επίπεδα εκπομπής του σε CO_2 και οι καταναλωτές θα είχαν κίνητρο να αγοράσουν οχήματα χαμηλών εκπομπών. Όμως η πολιτική που αφορά το φορολογικό σύστημα στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καταστρώνεται μόνο από τα ίδια τα κράτη μέλη και αυτά εμπόδισαν τις προσπάθειες για αλλαγές και εναρμόνιση του φορολογικού συστήματος σχετικά με την αγορά, ιδιοκτησία και χρήση των οχημάτων. Ορισμένα κράτη μέλη όπως η Ολλανδία, εισήγαγαν φορολογικά σχήματα που προωθούσαν τα οχήματα χαμηλών εκπομπών CO_2. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό μέσα από ένα δεύτερο παράδειγμα που δημοσιεύτηκε στο ίδιο άρθρο του ICCT. Πιο συγκεκριμένα, ένας ιδιοκτήτης οχήματος Porsche Panamera (τεχνικά

χαρακτηριστικά: κυβισμός 3000cc και εκπομπές 173 gCO_2/km) πληρώνει 15000€ φόρο ταξινόμησης καθώς και έναν ετήσιο φόρο κτήσης ύψους ανάλογο με την περιοχή που διαμένει. Την ίδια στιγμή, ο ιδιοκτήτης ενός Smart Fortwo (τεχνικά χαρακτηριστικά: κυβισμός 1000cc και εκπομπές 93 gCO_2/km) πληρώνει φόρο ταξινόμησης 1500€, δηλαδή το ένα δέκατο του φόρου ταξινόμησης που πλήρωσε ο ιδιοκτήτης της Porsche. Στην Γερμανία όμως ο ιδιοκτήτης του ίδιου οχήματος Porsche πληρώνει 200€ ετήσιο φόρο κτήσης και ο ιδιοκτήτης του Smart 20€ φόρο κτήσης (φόρος ταξινόμησης δεν υπάρχει στην Γερμανία). Και πάλι η τιμή για τον φόρο του Smart είναι το ένα δέκατο της τιμής του φόρου για την Porsche, αλλά το σημαντικό είναι ότι και τα δύο ποσά είναι πολύ χαμηλά και δεν θα μπορούσαν να επηρεάσουν την συμπεριφορά του καταναλωτή.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προσπάθησε να εισάγει μια συντονισμένη πολιτική που θα μείωνε τον μέσο όρο εκπομπής CO_2 του νέου στόλου οχημάτων. Αυτό που κατάφερε, εν τέλει, ήταν η εισαγωγή των ορίων εκπομπής CO_2 στα οποία θα έπρεπε να υπακούσουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες. Τα ίδια τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης ήταν αυτά που μπλόκαραν με τις εκάστοτε πολιτικές τους την σωστή πληροφόρηση για τις εκπομπές των οχημάτων και την δημιουργία ενός φορολογικού συστήματος που θα προωθούσε τα οχήματα με τις χαμηλότερες εκπομπές.

3.7. Διαμόρφωση του σημερινού στόλου οχημάτων στην Ευρώπη

Το παράδειγμα της διαφορετικής φορολογικής πολιτικής ανάμεσα στην Ολλανδία και την Γερμανία, που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πάλι για να αναδειχθεί η επιρροή των φορολογικών κινήτρων και αντικινήτρων στην διαμόρφωση του στόλου των οχημάτων στις δύο αυτές χώρες και κατ' επέκταση στις λοιπές ευρωπαϊκές χώρες που εφάρμοσαν παρόμοιες πολιτικές.

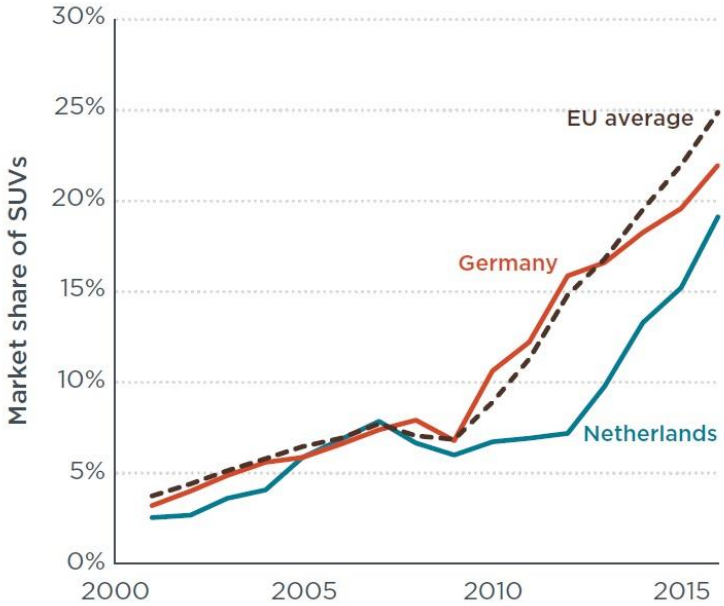
Η δομή του στόλου των οχημάτων στις δύο αυτές χώρες ήταν παρόμοια τα προηγούμενα δέκα χρόνια. Τα τελευταία χρόνια όμως τα πράγματα έχουν αλλάξει λόγω των διαφορετικών φορολογικών πολιτικών που ακολούθησαν οι δύο χώρες.

Το 2006 η Ολλανδία άρχισε να παραχωρεί μπόνους στο φόρο ταξινόμησης νέων οχημάτων με χαμηλές εκπομπές CO_2, ενώ στα οχήματα υψηλών εκπομπών προστέθηκαν στον φόρο ταξινόμησης φορολογικό πρόστιμο. Επίσης οι αγοραστές υβριδικών οχημάτων μπορούσαν να γλιτώσουν έως και 6000€ στον φόρο ταξινόμησης. Τα επόμενα χρόνια οι κυβερνήσεις της Ολλανδίας άλλαξε το φορολογικό σύστημα των οχημάτων και ρύθμισε εκ' νέου τα όρια εκπομπής που έδιναν φοροελαφρύνσεις. Το 2009 οι κάτοχοι πετρελαιοκίνητων επιβατικών με εκπομπές λιγότερες από 95 gCO_2/km και βενζινοκίνητων με εκπομπές κάτω των 110 gCO_2/km πλήρωσαν μηδενικό φόρο ταξινόμησης, ενώ από το 2017 μόνο τα οχήματα μηδενικής εκπομπής ρύπων εξαιρέθηκαν από τον φόρο ταξινόμησης.

Από την άλλη η Γερμανία, η οποία δεν επιβάλει φόρο ταξινόμησης νέων οχημάτων, το 2009 άρχισε να συνυπολογίζει μερικώς στον ετήσιο φόρο κτήσης των οχημάτων και τις εκπομπές CO_2 μαζί με τον κυβισμό του κινητήρα που αποτελεί την βάση του υπολογισμού του φόρου. Σύμφωνα με το σημερινό φορολογικό σύστημα της Γερμανίας, τα οχήματα που έχουν έγκριση τύπου με

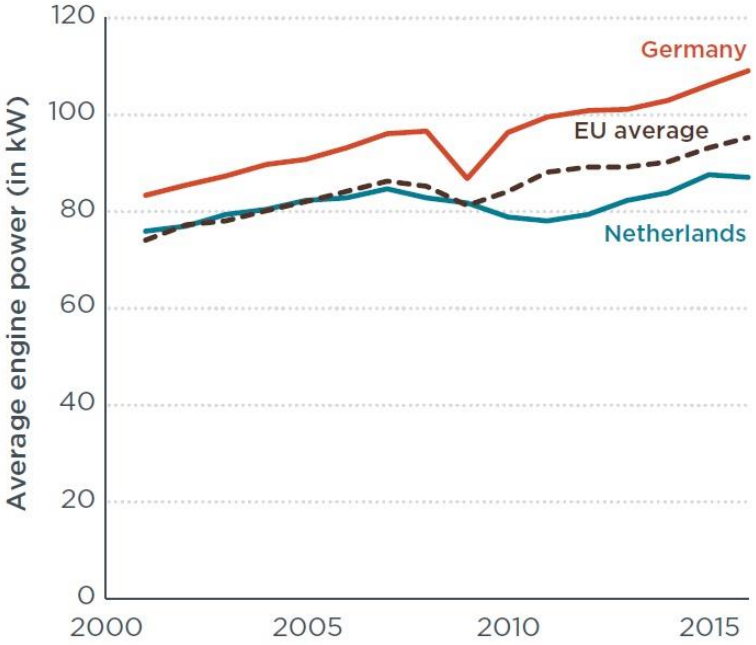
εκπομπές κάτω από 95 gCO_2/km φορολογούνται μόνο λόγω κυβισμού και εξαιρούνται του αντίστοιχου τμήματος της φορολογίας που αφορά τις εκπομπές CO_2. Πάνω από αυτό το όριο, τα βενζινοκίνητα οχήματα φορολογούνται με 2€ για κάθε εκπεμπόμενο gCO_2/km ενώ τα πετρελαιοκίνητα με 9,50€ για κάθε εκπεμπόμενο gCO_2/km. Για λόγους σύγκρισης αρκεί κανείς να δει ότι στην Ολλανδία, η αντίστοιχη παραβίαση του ορίου εκπομπής κατά 1 gCO_2/km μπορεί να επιφέρει πρόστιμο μέχρι και 475€ για g πάνω από το όριο για οχήματα υψηλού επιπέδου εκπομπών.

Η διαφορετική προσέγγιση των δύο χωρών στην φορολογική πολιτική που ασκούν, παρουσιάζει εμφανή σημάδια στην διαμόρφωση του στόλου των οχημάτων της κάθε χώρας. Το 2001 το 4% των νέων επιβατικών οχημάτων που πωλούνταν στην Ευρώπη, ήταν επιβατικά τύπου SUV (Sport Utility Vehicles). Σήμερα το ένα τέταρτο των Ευρωπαίων αγοραστών στρέφεται σε οχήματα τύπου SUV. Ο συνολικός αριθμός των SUVs που πωλούνται στην Ευρώπη είναι περίπου ίδιος με τον αριθμό των οχημάτων της μεσαίας κατηγορίας (C-segment), μόνο που τα οχήματα SUV είναι κατά μέσο όρο 14% βαρύτερα και εκπέμπουν 20% περισσότερο CO_2 από τα οχήματα της κατηγορίας C. Χωρίς εξαίρεση, οι Ολλανδοί αγοραστές ακολουθούν την τάση των αυτοκινητοβιομηχανιών που προωθεί τα SUVs και σήμερα είναι περισσότερο πρόθυμοι να αγοράσουν ένα τέτοιο όχημα από ότι θα ήταν πριν από μερικά χρόνια. Παρόλα αυτά το 2016, μόνο το 19% των επιβατικών οχημάτων στην αγορά της Ολλανδίας άνηκε στην κατηγορία των SUVs, ποσοστό πολύ μικρότερο από τον αντίστοιχο μέσο όρο που επικρατεί στην συνολική αγορά της Ευρώπης και αυτό οφείλεται στο φορολογικό σύστημα της χώρας που επιβαρύνει με οικονομικά αντικίνητρα τους αγοραστές των οχημάτων με υψηλές εκπομπές CO_2. Το μερίδιο αγοράς οχημάτων SUVs στην Ολλανδία, την Γερμανία και το αντίστοιχο μέσο ποσοστό της Ευρώπης συνολικά εμφανίζεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10: Μερίδιο αγοράς των οχημάτων SUV σαν ποσοστό επί του συνολικού αριθμού οχημάτων που πωλήθηκαν στην Γερμανία, την Ολλανδία και σε όλη την Ευρώπη [19]

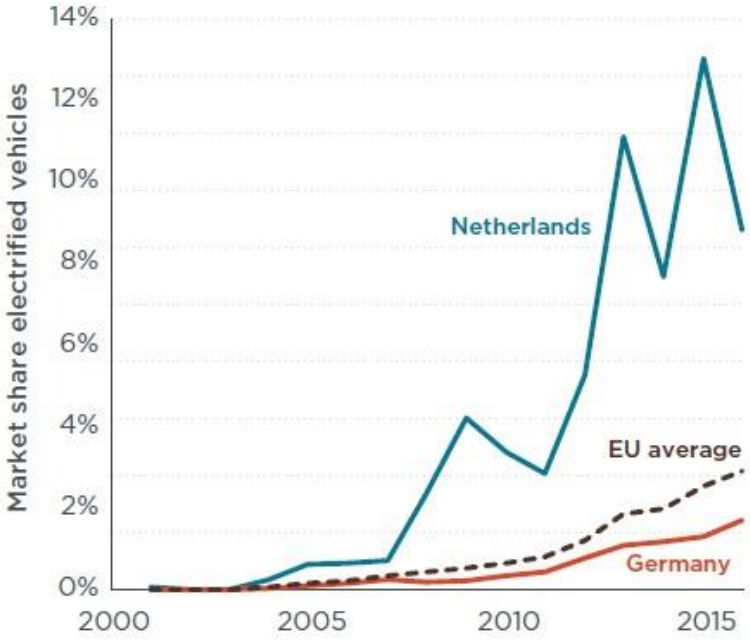
Οι εκπομπές CO_2 του στόλου των επιβατικών έχουν αυξηθεί εν μέρει τελευταία μέσα από την τάση αγοράς μεγαλύτερων, βαρύτερων και ισχυρότερων οχημάτων. Οι Ευρωπαίοι καταναλωτές, τείνουν να αγοράζουν οχήματα υψηλότερων επιδόσεων τα τελευταία χρόνια. Η μέση ισχύς του στόλου των επιβατικών οχημάτων το 2016 ήταν 96 kW, ενώ το 2001 η αντίστοιχη μέση τιμή ήταν 74 kW· σημειώθηκε δηλαδή ποσοστιαία αύξηση της μέσης ισχύος κατά 28%. Η Ολλανδία μέσω της φορολογικής πολιτικής που αποτρέπει την αγορά οχημάτων υψηλών εκπομπών CO_2 κατάφερε να αποτρέψει μερικώς αυτό το φαινόμενο, αφού η μέση ποσοστιαία αύξηση της ισχύος του στόλου των νέων της οχημάτων για την περίοδο 2001-2016 ανήλθε στο 15%. Το ίδιο ποσοστό για την Γερμανία που ακολουθεί πιο ελεύθερη φορολογική πολιτική προς τα επιβατικά υψηλότερων εκπομπών CO_2 ήταν 31%, δηλαδή διπλάσιο της Ολλανδίας. Τα παραπάνω αναπαρίστανται γραφικά στο (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11: Μέση κινητήρια ισχύς των νέων επιβατικών οχημάτων στην Γερμανία, στην Ολλανδία και στην Ευρώπη συνολικά [19]

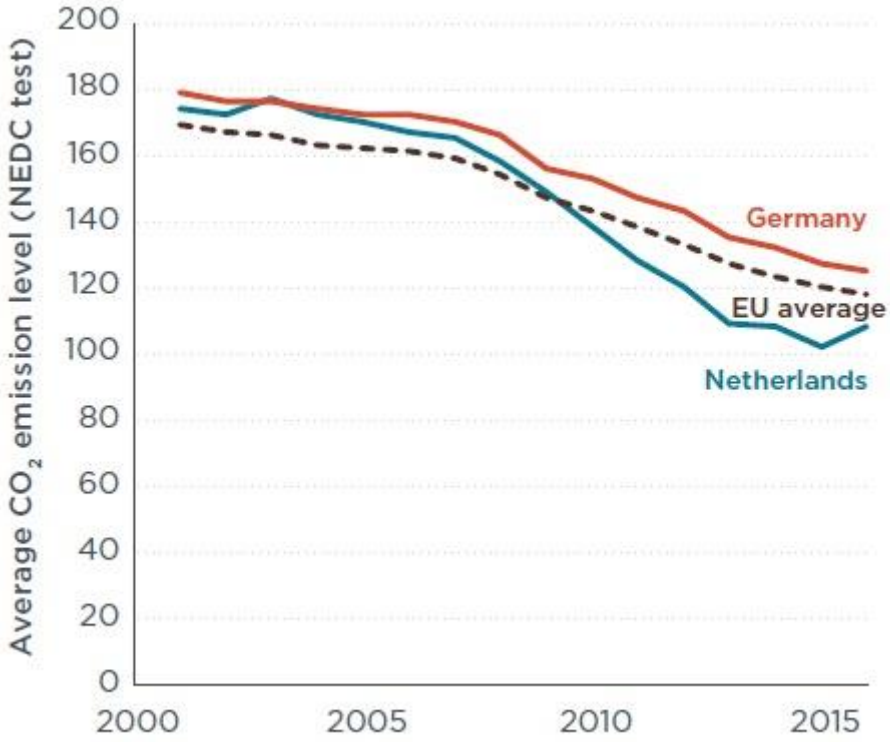
Τα φορολογικά κίνητρα και αντικίνητρα που ισχύουν στις εκάστοτε χώρες, έχουν διαμορφώσει τις αντίστοιχες αγορές αυτοκινήτου (Σχήμα 3.12). Στις αρχές του 2016 η κυβέρνηση της Γερμανίας ανακοίνωσε ότι οι αγοραστές των plug-in hybrid (PHEV) και ηλεκτρικών οχημάτων (BEV) θα λάμβαναν επιστροφές χρημάτων έως και 4000€. Από τότε οι πωλήσεις αυτής της κατηγορίας των οχημάτων αυξήθηκαν στο 1,7%, παραμένοντας και πάλι κάτω από τον μέσο όρο της ευρωπαϊκής αγοράς που εκείνη την στιγμή αντιστοιχούσε σε 2,9%. Σήμερα το ποσοστό των οχημάτων PHEV, BEV και HEV (hybrid-electric vehicles) στην αγορά της Ολλανδίας, που είχε αρχίσει να προσφέρει φορολογικά κίνητρα αρκετά χρόνια νωρίτερα, ανέρχεται στα 8,8% και είναι

το δεύτερο υψηλότερο ποσοστό της Ευρώπης πίσω από την Νορβηγία που είναι πρώτη με ποσοστό 40%.



Σχήμα 3.12: Μερίδιο αγοράς των ηλεκτροκίνητων οχημάτων (HEVs, PHEVs, BEVs), σαν ποσοστό επί του συνόλου των πωλήσεων των νέων οχημάτων στην Γερμανία, στην Ολλανδία και ολόκληρη την Ευρώπη [19]

Η σημαντικότητα της επιβολής φορολογίας στις εκπομπές CO_2, είναι εμφανής συγκρίνοντας την μεταβολή των εκπομπών στα νέα οχήματα τα τελευταία χρόνια (Σχήμα 3.13). Το 2001 το μέσο ευρωπαϊκό όχημα εξέπεμπε 167 gCO_2/km, η αντίστοιχη τιμή για την Ολλανδία ήταν 179 gCO_2/km και για την Γερμανία 172 gCO_2/km. Το 2016 το μέσο όχημα στην Γερμανία είχε εκπομπές 125 gCO_2/km (τιμή κοντά στον μέσο ευρωπαϊκό όρο), παρουσιάζοντας μια μείωση της τάξης του 30% σε σχέση με την τιμή του 2001, ενώ το μέσο όχημα στην Ολλανδία το 2016 εξέπεμπε 108 gCO_2/km παρουσιάζοντας ποσοστιαία πτώση 37% σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του 2001. Στο διάστημα 2009-2013 ο ολλανδικός στόλος επιβατικών οχημάτων, που αρχικά άνηκε σε έναν από τους χειρότερους της Ευρώπης σε θέμα εκπομπών CO_2, μετατράπηκε σε έναν από τους καλύτερους. Για να το πετύχει αυτό η Ολλανδία, μαζί με την εισαγωγή των κανονισμών για τα υποχρεωτικά όρια εκπομπής CO_2, στηρίχθηκε και στην αναδιάρθρωση του φορολογικού συστήματος του στόλου των οχημάτων της βάσει των εκπομπών τους, ενώ η Γερμανία που βασίστηκε μόνο στην επιβολή των υποχρεωτικών ορίων εκπομπών δεν κατάφερε να ακολουθήσει την ίδια πρόοδο.

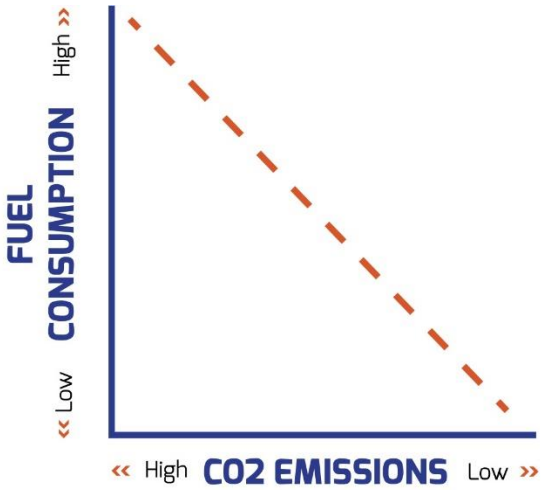


Σχήμα 3.13: Μέσες εκπομπές CO2 των νέων επιβατικών οχημάτων στην Γερμανία, στην Ολλανδία και στην Ευρώπη συνολικά (σύμφωνα με τον κύκλο οδήγησης NEDC) [19]

Η παρακολούθηση της εφαρμογής των ευρωπαϊκών κανονισμών μέσα από το παράδειγμα των χωρών της Ολλανδίας και Γερμανίας, επιβεβαιώνει την αποδοτικότητα της πολιτικής της σύνδεσης των εκπομπών CO_2 με φορολογικά κίνητρα και αντικίνητρα. Πέρα όμως από την φορολογική πολιτική προκύπτει ένα δεύτερο θέμα που επίσης αφορά όλη την Ευρώπη και συνδέεται με τα όρια εκπομπής των κανονισμών. Το 2016, οι μέσες πραγματικές εκπομπές ενός τυπικού νέου οχήματος ήταν 40% υψηλότερες από αυτές που διαφημίζονταν από τους κατασκευαστές. Το ίδιο ποσοστό για το έτος 2001 ήταν 9%. Το ποσοστό αυτό αυξήθηκε καθώς οι αυτοκινητοβιομηχανίες εκμεταλλεύτηκαν 'παραθυράκια' των κανονισμών μέτρησης των εκπομπών. Το νέο πρότυπο δοκιμών WLTP που έχει ήδη αντικαταστήσει τον κύκλο οδήγησης NEDC, με την βοήθεια του οποίου γίνονταν οι μετρήσεις έως τώρα, πρόκειται να ανακόψει την τακτική που εφάρμοζαν οι αυτοκινητοβιομηχανίες έως σήμερα. Δεν παύουν όμως να υπάρχουν και πάλι ανησυχίες σχετικά με την πιθανότητα από πλευράς των κατασκευαστών υιοθέτησης τακτικής που θα τους επιτρέψει να βρουν και να χρησιμοποιήσουν νέα 'παραθυράκια' στην νέα διαδικασία δοκιμών.

3.8. Σχέση σύνδεσης κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO_2 ενός οχήματος

Η ποσότητα CO_2 που εκπέμπει ένα όχημα συνδέεται άμεσα με το καύσιμο που καταναλώνει (Σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.14: Γραφική αναπαράσταση της σχέσης κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO_2 [20]

Σε εργασία που εκπονήθηκε στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Μαδρίτης (Universidad Politécnica de Madrid) to 2008 σχετικά με την σύνδεση κατανάλωσης καυσίμου ενός οχήματος και των αντίστοιχων εκπομπών CO_2 [21], συγκεντρώθηκαν στοιχεία από επίσημες πηγές κατασκευαστών οχημάτων σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου (L/100km) και εκπομπών CO_2 (g/km) για διάφορα μοντέλα επιβατικών αυτοκινήτων. Στην συνέχεια τα δεδομένα αυτά μεταφέρθηκαν σε διαγράμματα με τους αντίστοιχους άξονες εκπομπών/κατανάλωσης-καυσίμου, προκειμένου να απεικονιστεί μια αναμενόμενη ευθεία. Έπειτα η κλίση της ευθείας αυτής συγκρίθηκε με τους θεωρητικούς υπολογισμούς για την παραγωγή CO_2 κατά την αντίδραση που συμβαίνει στο φαινόμενο της καύσης για τα καύσιμα της βενζίνης και του πετρελαίου κίνησης. Για τις ανάγκες τις εργασίας και για λόγους απλοποίησης οι κλιματολογικές συνθήκες αγνοήθηκαν ενώ μόνο τα βασικά στελέχη των καυσίμων λήφθηκαν υπόψιν. Έτσι το οκτάνιο C_8H_{18} θεωρήθηκε το βασικό συστατικό της βενζίνης, και αντίστοιχα το δωδεκάνιο $C_{12}H_{26}$ του πετρελαίου κίνησης.

Οι στοιχειομετρικές σχέσεις και η πυκνότητα του καυσίμου, προσδιορίζουν τους παράγοντες μετατροπής για τον υπολογισμό της θεωρητικής ποσότητας CO_2 που παράγεται ανά μονάδα όγκου του καυσίμου. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού θεωρώντας την πυκνότητα της βενζίνης ίση με 0.70 kg/L.

$$C_8H_{18} + 12.5O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O \tag{3.3}$$

$$\frac{700gC_8H_{18}}{1L} \times \frac{1molC_8H_{18}}{114.0gC_8H_{18}} \times \frac{8molCO_2}{114.0gC_8H_{18}} \times \frac{44.0gCO_2}{1molCO_2} = \frac{2160gCO_2}{L} \quad (3.4)$$

Επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς για το άνω όριο πυκνότητας της βενζίνης 0.78kg/L θα είχε ως αποτέλεσμα εκπομπές 2410g CO_2/L καυσίμου. Αντίστοιχα οι υπολογισμοί για το πετρέλαιο κίνησης με όρια πυκνότητας 0.80-0.99kg/L, δίνουν εκπομπές 2480-3070 gCO_2/L καυσίμου.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO_2 από διάφορα μοντέλα κατασκευαστών οχημάτων, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα για οχήματα με κινητήρα βενζίνης (

Πίνακας 3.9) καθώς και τα αντίστοιχα δεδομένα για οχήματα με κινητήρα πετρελαίου (

Πίνακας 3.10).

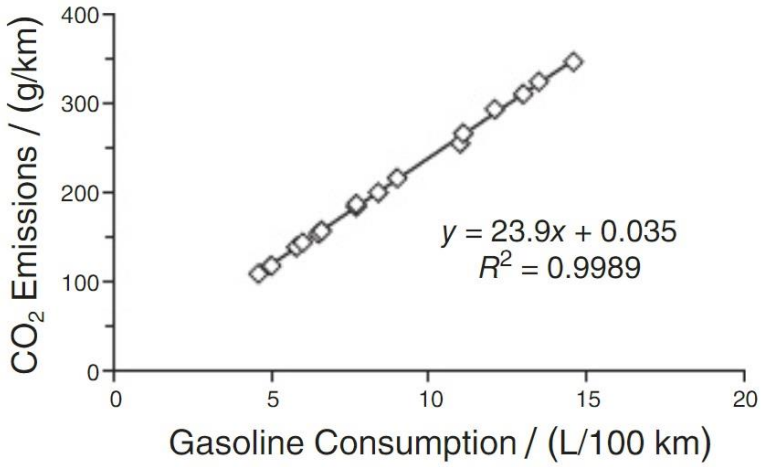
Κατανάλωση (L/100km)	Εκπομπές CO_2 (g/km)	Μοντέλο αυτοκινήτου
11.1	266	Audi Cabriolet
9.0	216	Audi Sportback
12.1	293	BMW X3
7.7	187	BMW mini Cooper
13.0	310	Chevrole tCorvette
14.6	346	Chevrolet Tahoe
8.4	200	Chrysler Sebring
11.0	255	Chrysler 300M
5.0	118	Daihatsu Sirion
6.6	157	Lancia Musa
5.8	139	Opel Agila
4.6	109	Peugeot 107
13.5	324	Quattro RS4
6.5	154	Skoda Fabia
6.0	144	Volkswagen Polo
7.7	184	Volvo S40

Πίνακας 3.9: Πίνακας κατανάλωσης καυσίμου-εκπομπών CO_2 για διάφορα οχήματα με κινητήρα βενζίνης [21]

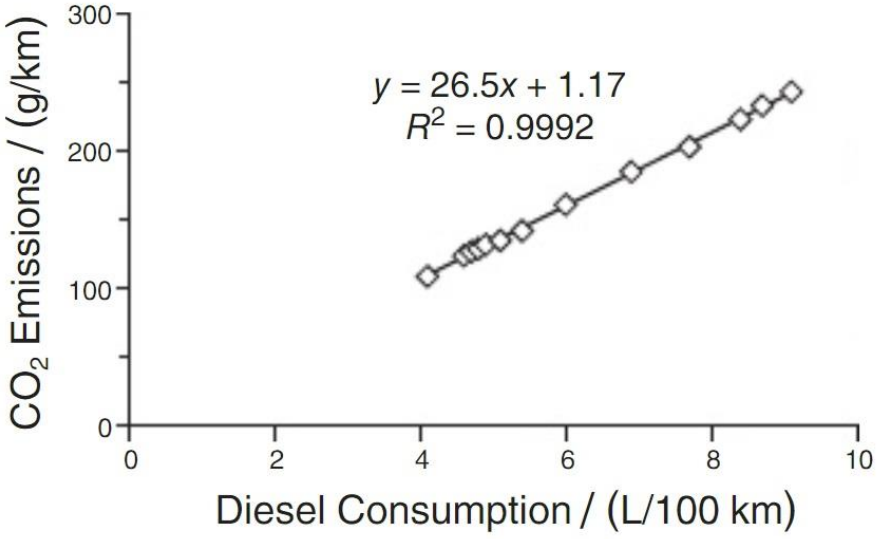
Κατανάλωση (L/100km)	Εκπομπές CO2 (g/km)	Μοντέλο αυτοκινήτου
8.4	223	Audi Cabriolet
6.0	161	Audi Sportback
9.1	243	BMW X3
4.8	129	BMW mini
8.7	233	ChevroletCaptiva
7.7	203	Chrysler Voyager
6.9	185	Chrysler PT Cruiser
5.1	135	Lancia Musa
4.9	132	Opel Agila
4.1	109	Peugeot 107
4.7	127	Skoda Fabia
4.6	124	Volkswagen Polo
5.4	142	Volvo S40

Πίνακας 3.10: Πίνακας κατανάλωσης καυσίμου-εκπομπών CO_2 για διάφορα οχήματα με κινητήρα πετρελαίου [21]

Τα παραπάνω δεδομένα σχεδιάστηκαν σε διαγράμματα (Σχήμα 3.15 και Σχήμα 3.16) εκπομπών CO_2-κατανάλωσης καυσίμου και τελικά με την βοήθεια της ανάλυσης παλινδρόμησης βρέθηκε η κλίση της ευθείας συνυπολογίζοντας και τα όρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 3.15: Εκπομπές CO_2 σε σχέση με κατανάλωση βενζίνης [21]



Σχήμα 3.16: Εκπομπές CO_2 σε σχέση με κατανάλωση πετρελαίου [21]

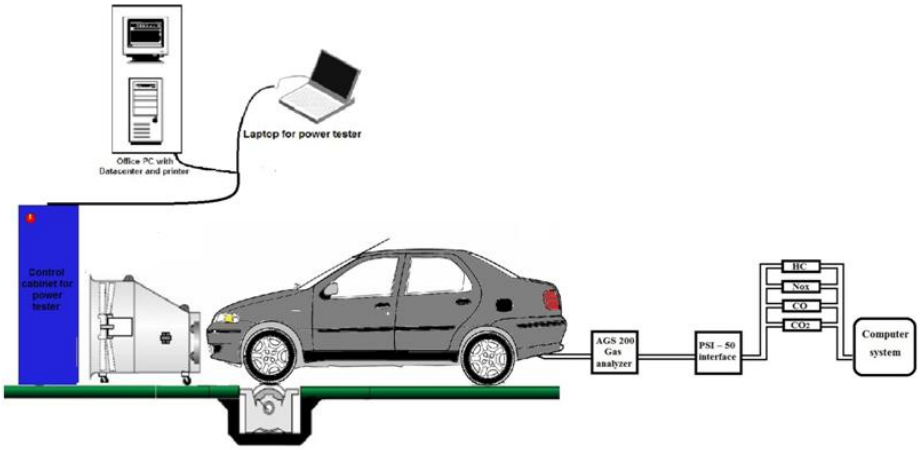
Τα διαγράμματα που προκύπτουν από τα δεδομένα των κατασκευαστών, φανερώνουν ισχυρή συσχέτιση με τις θεωρητικές τιμές που υπολογίστηκαν από αυτήν την διαδικασία και αποτελούν ένα γρήγορο εργαλείο για την άμεση σύγκριση των εκπομπών και της κατανάλωσης ανάμεσα στα οχήματα βενζίνης και τα αντίστοιχα με πετρέλαιο. Τα γραφήματα δείχνουν ότι παρά το γεγονός ότι τα πετρελαιοκίνητα οχήματα καταναλώνουν λιγότερο καύσιμο, οι εκπομπές CO_2 ανά λίτρο πετρελαίου είναι υψηλότερες. Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψιν ότι για τις ανάγκες μια σύγκρισης θα πρέπει να εξετάζονται κινητήρες βενζίνης και πετρελαίου που βρίσκονται σε αντιστοιχία, και ότι στην πραγματικότητα οι κινητήρες πετρελαίου καταναλώνουν λιγότερο καύσιμο ανά διανυθέν χιλιόμετρο, έχοντας έτσι λιγότερες εκπομπές CO_2 σε αυτήν την απόσταση.

4. Κύκλοι οδήγησης – διαδικασία μέτρησης CO_2

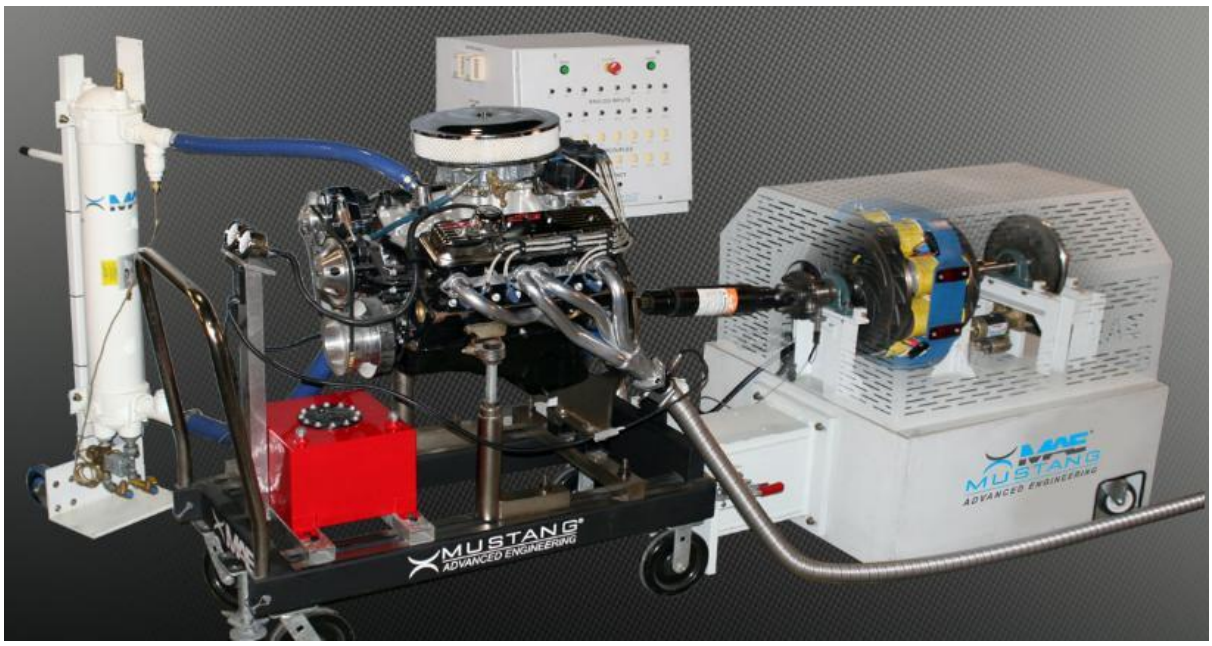
Ως αποτέλεσμα της καύσης στους θερμικούς κινητήρες των οχημάτων, παράγεται και εκλύεται στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον ένα φάσμα εκπομπών όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλύσουμε τη διαδικασία μέτρησης των εκπομπών αυτών με έμφαση στο διοξείδιο του άνθρακα.

4.1. Δυναμομετρικές εξέδρες και δυναμόμετρα πάγκου

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, για κάθε νέο επιβατικό όχημα, ελαφρύ φορτηγό και κινητήρας οχήματος βαρέος τύπου απαιτείται από την νομοθεσία, μεταξύ άλλων, δοκιμή έγκρισης εκπομπής καυσαερίων (type approval / homologation). Οι εκπεμπόμενοι ρύποι ενός οχήματος παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα και επομένως ο καλύτερος τρόπος προκειμένου να διασφαλιστεί μια δοκιμή ως προς την επανειλημμένη πιστότητά της, είναι αυτή να λαμβάνει χώρα κάτω από προκαθορισμένες εργαστηριακές συνθήκες που ορίζονται από την κείμενη νομοθεσία. Τα επιβατικά οχήματα και τα ελαφρά φορτηγά ελέγχονται ως προς τις εκπομπές ρύπων σε δυναμομετρικές εξέδρες πλαισίου (Σχήμα 4.1), ενώ οι κινητήρες των βαρέων οχημάτων δοκιμάζονται σε δυναμόμετρα πάγκου (Σχήμα 4.2). Σε ορισμένες περιπτώσεις για ανάγκες έρευνας στην κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών έχουν χρησιμοποιηθεί σε δοκιμές εκπομπών οχημάτων βαρέος τύπου δυναμομετρικές εξέδρες πλαισίου και αυτό που έχει παρατηρηθεί είναι ότι μειώνεται ο χρόνος και το κόστος προετοιμασίας που θα απαιτούσε μια αντίστοιχη δοκιμή σε δυναμόμετρο πάγκου, καθιστώντας έτσι την δοκιμή του πλήρους οχήματος και όχι μόνο του κινητήρα, πιο πρακτική [22].



Σχήμα 4.1: Δυναμομετρική εξέδρα πλαισίου [23]

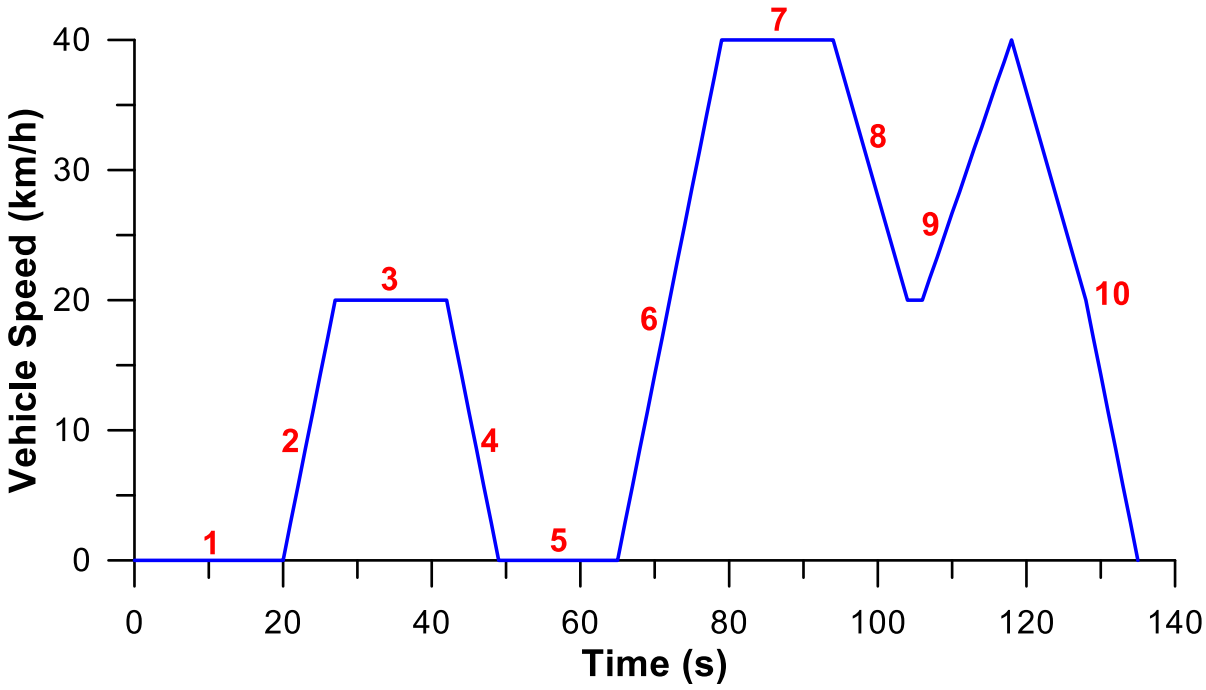


Σχήμα 4.2: Δυναμόμετρο πάγκου [24]

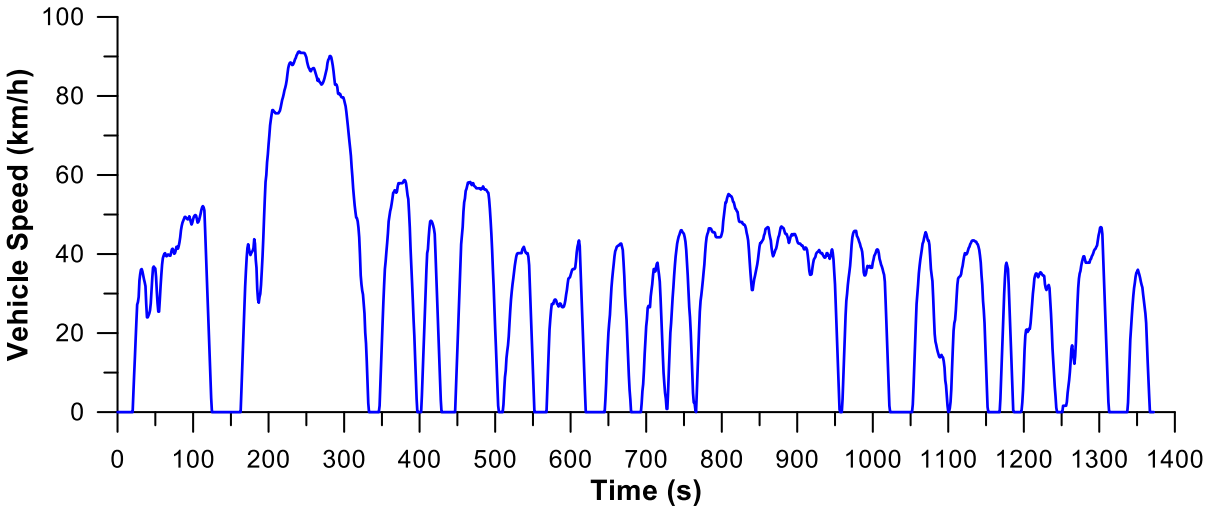
Στις δοκιμές που πραγματοποιούνται σε δυναμομετρικές εξέδρες πλαισίου (chassis dynamometer), οι τροχοί του οχήματος τοποθετούνται σε επαφή με τις κυλινδρικές διατάξεις της εξέδρας. Οι απόσταση των κυλινδρικών διατάξεων ρυθμίζεται προκειμένου να εξομοιωθούν οι επιθυμητές απώλειες στο δρόμο, λόγω τριβής και αεροδυναμικής αντίστασης, και η δοκιμή διεξάγεται με το όχημα να ακολουθεί έναν προδιαγεγραμμένο κύκλο οδήγησης που έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την αντιπροσωπευτική λειτουργία του οχήματος στον πραγματικό κόσμο [32]. Για να υπάρχει επαναληψιμότητα στη δοκιμή (και άρα έλεγχος των εκπομπών και όλης της διαδικασίας), ο κύκλος πόλης κατά την έγκριση τύπου αναπαράγεται σε αυστηρά καθορισμένες εργαστηριακές συνθήκες.

4.2. Διάκριση κύκλων οδήγησης

Τα πρώτα χρόνια μέτρησης εκπομπών στο εργαστήριο (δεκαετίες 1960 και 1970) χρησιμοποιούνταν, κατά βάση, απλοϊκοί κύκλοι αποτελούμενοι από συγκεκριμένες οδηγικές φάσεις (modes), με σταθερές επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις και μεγάλα διαστήματα οδήγησης με σταθερή ταχύτητα (ενδεικτικά, Σχήμα 4.3). Τα επόμενα χρόνια, με δεδομένο ότι το επέτρεψε και η τεχνολογία (βλέπε επόμενη παράγραφο), αναπτύχθηκαν κύκλοι βασισμένοι πλέον σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας στο δρόμο, οι οποίοι και χρησιμοποιούνται πλέον παγκοσμίως (ενδεικτικά, Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.3: Απλοϊκός (modal) κύκλος πόλης (Japanese 10-15 mode) - οι 10 φάσεις στο σχήμα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες διαδικασίες οδήγησης (επιλεγμένη ταχύτητα στο κιβώτιο, ταχύτητα οχήματος και επιτάχυνση) που αναπαράγονται κατά το «τρέξιμο» του κύκλου στο εργαστήριο [11]



Σχήμα 4.4: Κύκλος πόλης (Αμερικανικός FTP-72) βασισμένος σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας στο δρόμο [11]

4.3. Ανάπτυξη κύκλων οδήγησης

Για την δημιουργία ενός κύκλου οδήγησης γίνεται χρήση ενός οχήματος με συσκευή καταγραφής των διαφόρων παραμέτρων της κίνησης του, από την οποία θα εξαχθούν τα δεδομένα κίνησης. Δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη για την ύπαρξη ενός συγκεκριμένου τρόπου οδήγησης του οχήματος, έτσι ώστε τα δεδομένα κίνησης που θα ληφθούν από την συσκευή καταγραφής να είναι

αντιπροσωπευτικά του τρόπου κίνησης της πλειοψηφίας των οχημάτων. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί σε ερευνητικό επίπεδο και οι οποίες καθορίζουν τον τρόπο κίνησης του οχήματος συλλογής δεδομένων. Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές κίνησης του δοκιμαζόμενου οχήματος είναι οι ακόλουθες:

- Μια σημαντική τεχνική που ακολουθείται ευρέως ονομάζεται 'chase-car technique' και αναπτύχθηκε από την αμερικανική EPA (Environmental Protection Agency). Η βάση της συγκεκριμένης τεχνικής έγκειται στο γεγονός ότι το αυτοκίνητο της δοκιμής ακολουθεί την κίνηση κάποιου προπορευόμενου οχήματος που λειτουργεί σαν στόχος. Αντιγράφει δηλαδή χαρακτηριστικά της πορείας του όπως επιταχύνσεις, σταθερές ταχύτητες και επιβραδύνσεις. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προπορευόμενο όχημα 'στόχος' προκειμένου το όχημα της δοκιμής να ακολουθήσει την κίνηση αυτού, τότε η τεχνική που ακολουθείται είναι το δοκιμαζόμενο όχημα να κινείται ακολουθώντας την ροή των υπολοίπων οχημάτων χωρίς να λαμβάνει υπόψιν τα οχήματα που κινούνται με πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές ταχύτητες και αποφεύγοντας απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.
- Άλλη τεχνική κίνησης που ακολουθείται, είναι το δοκιμαζόμενο όχημα να οδηγείται από επαγγελματία οδηγό δοκιμών που γνωρίζει τους στόχους και τις ανάγκες της δοκιμής και έχει την δυνατότητα να οδηγήσει το όχημα με τρόπο που θα καταστήσει δυνατή την επίτευξη των προκαθορισμένων στόχων.
- Ένας ακόμα ρεαλιστικός τρόπος καταγραφής και συλλογής δεδομένων είναι μέσω ιδιωτικών οχημάτων που έχουν εξοπλιστεί με καταγραφική συσκευή και οδηγούνται από τους ιδιοκτήτες τους σε συνθήκες καθημερινής χρήσης.
- Σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να αποτυπωθεί και να αξιολογηθεί το οδηγικό μοτίβο διαφορετικών οδηγών τότε γίνεται χρήση ενός οχήματος με συσκευή καταγραφής κίνησης, το οποίο οδηγείται από όλη την ομάδα οδηγών προκειμένου να καταστεί εφικτή η δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ τους.

4.4. Βασικοί παράμετροι των κύκλων οδήγησης

Για την δημιουργία ενός αντιπροσωπευτικού κύκλου οδήγησης χρειάζεται ένα πλήθος χαρακτηριστικών μεγεθών τα οποία θα μετρηθούν από κατάλληλα όργανα κατά την δοκιμαστική κίνηση του εξεταζόμενου οχήματος και έπειτα θα υποστούν επεξεργασία σε επίπεδο στατιστικής ανάλυσης. Με την πάροδο του χρόνου, την μορφή και τις ανάγκες που εξυπηρετούσε ο κάθε κύκλος οδήγησης χρησιμοποιούνταν διαφορετικοί χαρακτηριστικοί παράμετροι κίνησης, προέκυπταν νέοι ενώ η σημαντικότητα ορισμένων ασθενούσε με αποτέλεσμα την απαξίωσή τους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη ενός κύκλου οδήγησης είναι τα ακόλουθα [11]:

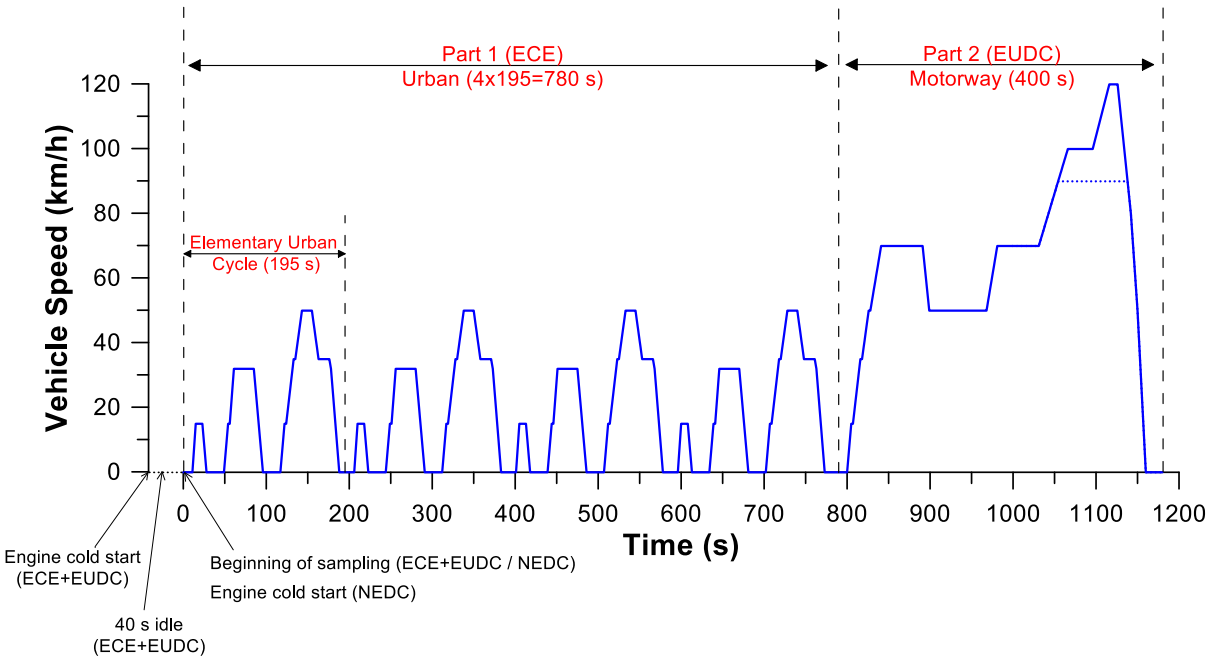
- η διάρκεια του κύκλου
- η διανυθείσα απόσταση
- η μέση ταχύτητα
- η μέση ταχύτητα χωρίς στάσεις

- η μέση επιτάχυνση
- η μέση επιβράδυνση
- 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
- η τυπική απόκλιση της επιτάχυνσης
- η θετική κινητική ενέργεια
- ο αριθμός των στάσεων ανά χιλιόμετρο
- η κατανομή της ταχύτητας
- η κατανομή της επιτάχυνσης
- η κατανομή της επιβράδυνσης
- οι διακυμάνσεις της ταχύτητας
- η σχετική θετική επιτάχυνση (RPA)
- το άθροισμα των τετραγώνων της επιτάχυνσης
- το ολοκλήρωμα του τετραγώνου της επιτάχυνσης (IS: Internal Square)

4.5. Κύκλοι οδήγησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση

4.5.1. Συνδυασμένος κύκλος ECE και EUDC

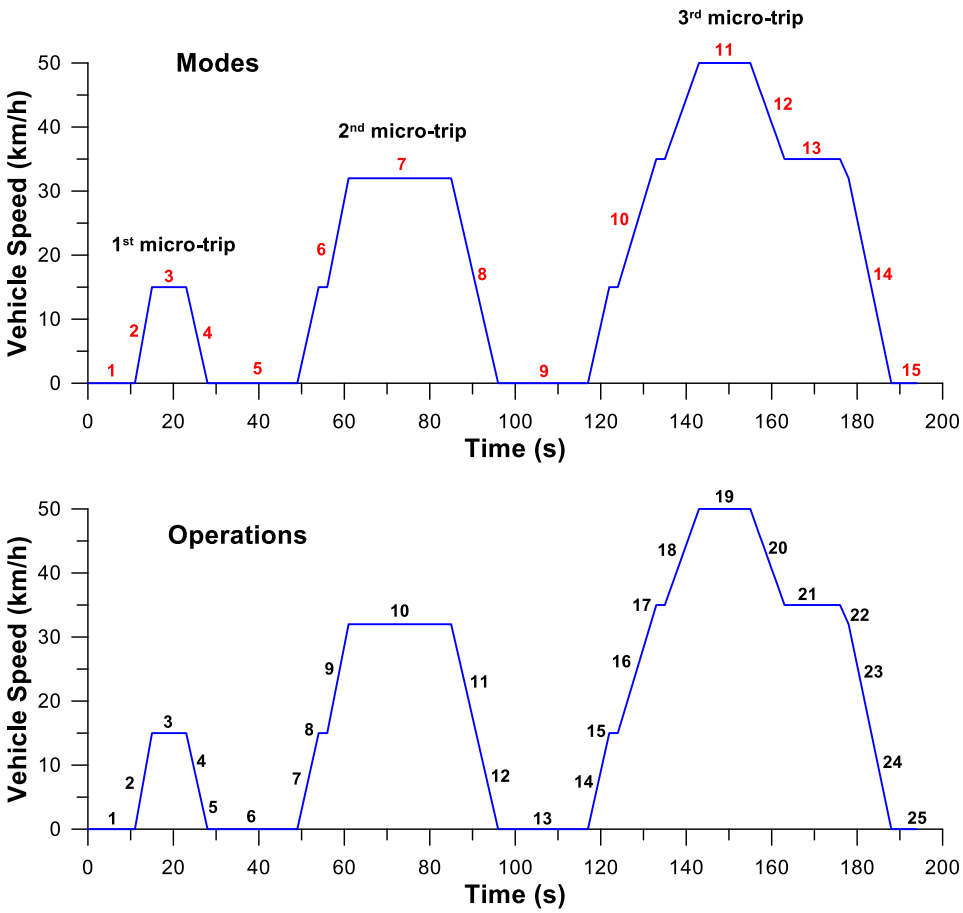
Οι εκπομπές από την εξάτμιση των ελαφρών οχημάτων και επιβατικών πιστοποιούνταν μέχρι και τον Σεπτέμβριο του 2017 (ακόμα και μετά για ορισμένες ειδικές περιπτώσεις μόνο) μέσω του κύκλου ECE+EUDC (Extra Urban Driving Cycle) (Σχήμα 4.5) σε πέδη οχημάτων σύμφωνα με την οδηγία 91/441/ΕΟΚ. Αυτός ο κύκλος περιλαμβάνει τέσσερα επαναλαμβανόμενα τμήματα του κύκλου οδήγησης ECE που ακολουθούνται από ένα τμήμα EUDC. Ο κύκλος επιτρέπει πριν την εκκίνηση της δοκιμής την παραμονή του οχήματος σε θερμοκρασία 20-30ºC, ενώ στην συνέχεια πραγματοποιείται εκκίνηση του κινητήρα με μέγιστο χρόνο παραμονής στο ρελαντί (idling) τα 40 δευτερόλεπτα. Από το 2000 εισήχθη ο τροποποιημένος κύκλος NEDC (New European Driving Cycle) (Σχήμα 4.5) με τον οποίο καταργήθηκε ο χρόνος παραμονής στο ρελαντί και η διαδικασία λήψης δεδομένων ξεκινούσε απευθείας με την εκκίνηση του κινητήρα (άρα λαμβάνονταν υπόψιν πολύ σοβαρά πλέον η ψυχρή εκκίνηση του οχήματος).



Σχήμα 4.5: Κύκλοι οδήγησης ECE+EUDC και NEDC με εμφανή τη διαφορά στο διάστημα ρελαντί των 40 sec κατά την εκκίνηση της δοκιμής [11]

Ο κύκλος ECE ή ECE-15 είχε ήδη θεσμοθετηθεί από την ΕΟΚ με την οδηγία 70/220/ΕΟΚ στις 20 Μαρτίου 1970 για τον έλεγχο των εκπομπών CO και HC από τα βενζινοκίνητα οχήματα. Με την οδηγία 83/351/ΕΟΚ το 1983 η δειγματοληψία άλλαξε με την μέθοδο «σταθερού όγκου» (CVS-Constant Volume Sampling – βλέπε Παράγραφο 4.6), ενώ από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 η ίδια διαδικασία κάλυπτε πλέον και τα πετρελαιοκίνητα οχήματα [11]. Τα καυσαέρια συλλέγονται σε «σακούλα» από τεφλόν, ενώ για την ανάγκη σύγκρισης και του προσδιορισμού του επιπέδου της μόλυνσης γίνεται συλλογή σε σακούλα και περιβάλλοντος αέρα. Οι συγκεντρώσεις του δείγματος των καυσαερίων και του περιβάλλοντος αέρα ελέγχονται από πιστοποιημένους και κατάλληλα καλιμπραρισμένους αναλυτές καυσαερίων. Οι συγκεντρώσεις του περιβάλλοντος αέρα πρέπει να αφαιρεθούν από αυτές του δείγματος των καυσαερίων. Ο πολλαπλασιασμός των συγκεντρώσεων με τον ρυθμό παροχής και η ενσωμάτωση στον συνολικό κύκλο οδήγησης, δίνει το βάρος των εκπομπών ανά διανυθέν χιλιόμετρο (g/km) για επιβατικά και ελαφρά οχήματα, και βάρος εκπομπών ανά έργο (g/KWh) για βαρέα οχήματα (Παράγραφος 4.6) [25].

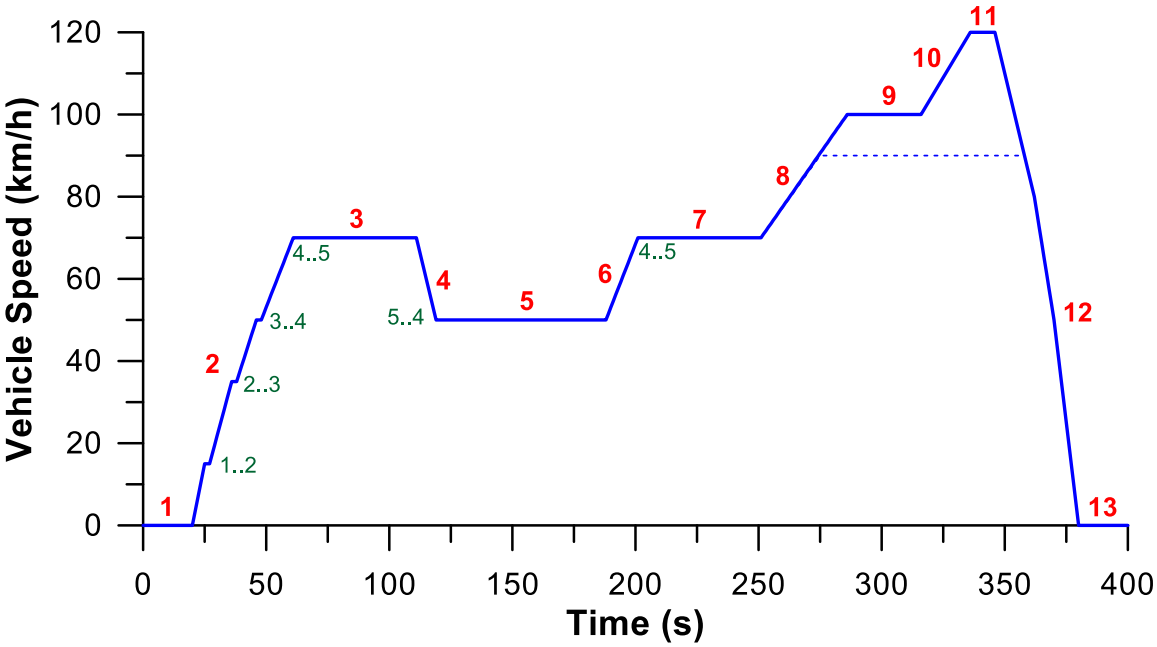
Ένας πλήρης κύκλος ECE (γνωστός και ως UDC – Urban Driving Cycle) αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα και σε αυτά περιλαμβάνονται οι φάσεις του ρελαντί (idling), της επιτάχυνσης, της αλλαγής σχέσης στο κιβώτιο, της κίνησης με σταθερή ταχύτητα και της επιβράδυνσης. Συνολικά αριθμούνται 15 φάσεις και 25 χειρισμοί του οδηγού για μία επανάληψη του κύκλου, η ολοκλήρωση της οποίας αντιστοιχεί σε 0,994 km και επιτυγχάνεται σε χρόνο 195 sec. Κατά την διάρκεια εκτέλεσης της δοκιμής, η μέση ταχύτητα (συμπεριλαμβανομένων των διαστημάτων ακινησίας) ανέρχεται στα 18,35 km/h (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6: Κύκλος ECE-15 (ECE)· στο πάνω διάγραμμα φαίνονται οι 15 φάσεις του κύκλου ενώ στο κάτω διακρίνονται οι χειρισμού του οδηγού [11]

Έπειτα από πιέσεις της Ολλανδίας, που προσκόμισε αποδείξεις ότι περισσότερο από 70% των αποστάσεων που διένυαν τα οχήματα στην Ευρώπη, στα τέλη της δεκαετίας 1980-1990, γίνονταν σε ταχύτητες άνω των 70 km/h, επιπροσθέτως του ECE εισήχθη και ο κύκλος EUDC (Extra Urban Driving Cycle). Ο κύκλος EUDC (Σχήμα 4.7) υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στις 26 Ιουνίου του 1991 με την οδηγία 91/441/ΕΟΚ [11].

Ο κύκλος EUDC στόχευε στην ανάγκη κάλυψης της οδηγικής συμπεριφοράς σε αυτοκινητόδρομους και επαρχιακά δίκτυα, αφού εμπεριέχει περιόδους υψηλών ταχυτήτων, έως και 120 km/h. Έχει προβλεφθεί και κύκλος EUDC για οχήματα χαμηλότερης ισχύος, με την διαφορά να έγκειται στην μέγιστη ταχύτητα της δοκιμής, η οποία πλέον περιορίζεται στα 90 km/h. Η δοκιμή και στις δύο περιπτώσεις διαρκεί 400 sec και πλέον δεν υπάρχουν ενδιάμεσα διαστήματα ακινησίας (idling – «ρελαντί») σε αντίθεση με την περίπτωση του κύκλου ECE, ωστόσο τα διαστήματα ακινησίας συναντώνται στην αρχή και στο τέλος της δοκιμής.



Σχήμα 4.7: Κύκλος οδήγησης EUDC (με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η αντίστοιχη κίνηση του οχήματος χαμηλής ισχύος [11]

Ακολουθεί παρουσίαση επιλεγμένων παραμέτρων των κύκλων ECE-15 (ECE), EUDC και NEDC (Πίνακας 4.1).

Χαρακτηριστικά	**Μονάδα μέτρησης**	**Κύκλοι οδήγησης**		
		ECE-15	**EUDC**	**NEDC**
Απόσταση	km	0.9941	6.9549	10.9314
Συνολικός χρόνος	s	195	400	1180
Διάστημα ακινησίας (idling)	s	57	39	267
Μέση ταχύτητα (με στάσεις)	Km/h	18.35	62.59	33.35
Μέση ταχύτητα (χωρίς στάσεις)	Km/h	25.93	69.36	43.10
Μέγιστη ταχύτητα	Km/h	50	120	120
Μέση επιτάχυνση	m/s^2	0.599	0.354	0.506
Μέγιστη επιτάχυνση	m/s^2	1.042	0.833	1.042

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικοί παράμετροι κύκλων οδήγησης ECE-15, EUDC και NEDC [11] (το πλέον χαρακτηριστικό μέγεθος μη αντιπροσωπευτικότητας του κύκλου είναι ίσως η (ιδιαίτερα χαμηλή) μέγιστη επιτάχυνση που ισοδυναμεί με 3,6 km/h/s ή αλλιώς απαιτούνται περίπου 27 s για να «πιάσει» το όχημα ταχύτητα 100 km/h)

Λόγω της απλοϊκότητας του κύκλου NEDC (οδήγηση για μεγάλο διάστημα με σταθερή ταχύτητα, πολύ «μαλακές» επιταχύνσεις) αλλά και των προβλημάτων (loopholes) στη νομοθεσία, οι πραγματικές εκπομπές ενός οχήματος (κατά την κίνηση στο δρόμο) παρουσιάζουν τεράστια ανακολουθία με τα αποτελέσματα κατά την πιστοποίηση, όπως έχουν αποδείξει δεκάδες σχετικές μελέτες τα τελευταία χρόνια [11]. Ενδεικτικά, από σχετική μελέτη που αναφέρεται στην Παραπομπή [11], η μέση τυπική κατανάλωση στο δρόμο έναντι της διαδικασίας πιστοποίησης είναι αυξημένη σήμερα σε ποσοστό 40%.

Τα νομοθετικά κενά στην Ε.Ε. που αναφέρθηκαν παραπάνω (ορισμένα υπάρχουν και στην αντίστοιχη αμερικανική και ιαπωνική νομοθεσία) συνοψίζονται στα ακόλουθα [11]:

- Το συγκεκριμένο μοτίβο αλλαγής σχέσεων του κιβωτίου κατά την αναπαραγωγή του κύκλου NEDC, διευκολύνει του κατασκευαστές οχημάτων να εφαρμόσουν τεχνικές που 'ξεγελούν' τον κύκλο (cycle beating).
- Δεν υπάρχει πρόβλεψη για τη χρήση συστήματος κλιματισμού, παρά το ότι η συντριπτική πλειοψηφία των σημερινών οχημάτων εφοδιάζεται με τέτοια συστήματα (ή παρόμοιο εξοπλισμό).
- Το ευρύ φάσμα, καθώς και οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την διάρκεια της δοκιμής (20-30°C), είναι ακόμα μια αιτία που συντελεί σε μη-αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.
- Υπάρχει ένα επιτρεπόμενο περιθώριο της τάξης του 2% ανάμεσα στο προφίλ της επιτευχθείσας ταχύτητας και της ταχύτητας στόχου του κύκλου, το οποίο μπορεί να «εκμεταλλευτεί» ο χειριστής για την επίτευξη καλύτερης οικονομίας καυσίμου.
- Όσον αφορά τις εκπομπές CO_2, οι κατασκευαστές οχημάτων, έχουν την δυνατότητα να ανακοινώσουν έως και 4% μικρότερες τιμές εκπομπών σε σχέση με τις μετρήσεις της δοκιμής.
- Αντί για την χρήση του πραγματικού βάρους του εκάστοτε οχήματος, το όχημα κατηγοριοποιείται για την δοκιμή σε μια διακριτή κλάση αδράνειας. Αυτό είχε νόημα για την περίπτωση χρήσης μηχανικών δυναμόμετρων, αλλά σήμερα δεν συμβαίνει αυτό λόγω της χρήσης ηλεκτρονικών δυναμόμετρων που πρακτικά μπορούν να προσομοιώσουν οποιοδήποτε βάρος. Ως αποτέλεσμα, οι κατασκευαστές σχεδιάζουν τα οχήματά τους ώστε να ανήκουν στην αμέσως κατώτερη κλάση.
- Υπάρχουν επίσης ορισμένες ευελιξίες αναφορικά με τον καθορισμό των αντιστάσεων του δυναμομέτρου που προκύπτουν κατά την δοκιμή coast-down (κίνηση σε απόλυτα επίπεδο δρόμο για τον υπολογισμό των συνολικών αντιστάσεων στο κινούμενο όχημα).

Επίσης, η διαδικασία της δοκιμής λαμβάνει υπόψιν μόνο την περίπτωση της 'ψυχρής εκκίνησης' του κινητήρα του οχήματος και αγνοεί το γεγονός των διαδρομών 'ζεστής εκκίνησης' που περιλαμβάνονται στα καθημερινά τυπικά προγράμματα οδήγησης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την μικρή διάρκεια του κύκλου NEDC, έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση των 'ψυχρών εκκινήσεων' [11].

Με βάση τα παραπάνω, ξεκίνησε (με μεγάλη καθυστέρηση) στην Ευρωπαϊκή Ένωση διαδικασία για την αναθεώρηση του χρησιμοποιούμενου κύκλου πιστοποίησης, ο οποίος πλέον, από τον

Σεπτέμβριο του 2017 είναι ο WLTC με την αντίστοιχη διαδικασία WLTP που αναλύεται στην επόμενη παράγραφο.

4.5.2. Διαδικασία πιστοποίησης WLTP

Το πρότυπο δοκιμών WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure), χρησιμοποιείται για την μέτρηση των εκπομπών και της κατανάλωσης καυσίμου των οχημάτων στην Ε.Ε. από τον Σεπτέμβριο του 2017. Το πρότυπο WLTP δημιουργήθηκε με συνεργασία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των ΗΠΑ, της Νότιας Κορέας, της Ιαπωνίας και της Ινδίας, υπό τις οδηγίες και κατευθύνσεις του WP.29 (World Forum for Harmonization of Vehicles Regulations) της UNECE (United Nations EconomicCommission for Europe) υπό την ομπρέλα του GRPE (Working Party on Pollution and Energy).

4.5.2.1. Ανάπτυξη κύκλων οδήγησης WLTC

Οι κύκλοι οδήγησης WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) εξελίχθηκαν με την χρήση πραγματικών δεδομένων οδήγησης, τα οποία συλλέχθηκαν από διαφορετικές χώρες. Έτσι οι κύκλοι αυτοί αντιπροσωπεύουν οδηγικά προφίλ που συναντώνται στην καθημερινότητα.

Η δοκιμή WLTP αναπτύχθηκε με γνώμονα να αποτελέσει μια παγκόσμια δοκιμαστική διαδικασία, έτσι ώστε να γίνει εργαλείο σύγκρισης για την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές από την εξάτμιση των οχημάτων ανά τον κόσμο. Παρά το γεγονός του διεθνούς χαρακτήρα, η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι διάφορες χώρες εφαρμόζουν τελικά το πρότυπο WLTP διαφοροποιώντας το μερικώς, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε κυκλοφοριακές νομοθεσίες, κανονισμούς και ανάγκες.

Η ανάπτυξη του προτύπου WLTP διακρίθηκε σε τρεις φάσεις, που αντιστοιχούν σε [11]:

- Φάση 1 (2009-2014): Εξέλιξη του κύκλου οδήγησης WLTC, με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιπροσωπεύει πραγματικές οδηγικές συνθήκες, καθώς και των δοκιμαστικών διαδικασιών για την μέτρηση των εκπομπών, της κατανάλωσης καυσίμου και της ενέργειας.
- Φάση 2 (2014-2018): Δοκιμή χαμηλής θερμοκρασίας/υψηλού υψομέτρου, έλεγχος αντοχής, καθορισμός τεχνικών απαιτήσεων για το σύστημα διαγνωστικού ελέγχου (OBD), έλεγχος απόδοσης του συστήματος κλιματισμού και των εκπομπών σε πραγματική οδήγηση.
- Φάση 3 (2018-): Όρια εκπομπών και οριακές τιμές του συστήματος OBD, καθορισμός των καυσίμων αναφοράς και σύγκριση με τις τοπικές απαιτήσεις ανά χώρα

Η διαδικασία δοκιμών WLTP περιλαμβάνει διαφορετικούς κύκλους οδήγησης (WLTC), καθένας από τους οποίους έχει διαφορετική εφαρμογή σύμφωνα με την αναλογία ισχύος-μάζας (PMR, power to mass ratio). Η παράμετρος PMR καθορίζεται ως η αναλογία $\frac{\text{ισχύς του οχήματος (kW)}}{\text{απόβαρο (kg)}}$, όπου

ως απόβαρο είναι το βάρος όπως αυτό καθορίζεται από τον κανονισμό ECE R83. Επίσης ο καθορισμός του κύκλου οδήγησης που θα επιλεχθεί γίνεται και από την μέγιστη ταχύτητα του οχήματος, η οποία ανακοινώνεται από τον κατασκευαστή σύμφωνα με τον κανονισμό ECE R68. Επιπροσθέτως επιτρέπονται τροποποιήσεις των κύκλων ώστε να λύνονται προβλήματα που προκύπτουν από οχήματα με δείκτη PMR κοντά στα όρια ή λόγω μέγιστων ταχυτήτων περιορισμένων κάτω από την μέγιστη ταχύτητα που απαιτεί κάποιος κύκλος. Οι κύκλοι WLTC διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (

Πίνακας 4.2) [26].

Κατηγορία κύκλου	PMR (W/kg)	Vmax (km/h)	Διαδοχή φάσεων ταχύτητας
Class 3-2	PMR>34	Vmax≥120	Low 3 + Medium 3-2 + High 3-2 + Extra High 3
Class 3-1		Vmax≤120	Low 3 + Medium 3-1 + High 3-1 + Extra High 3
Class 2	34≥PMR>22	-	Low 2 + Medium 2 + High 2 + Extra High 2
Class 1	PMR≤22	-	Low 1 + Medium 1 + Low 1

Πίνακας 4.2: Κύκλοι οδήγησης WLTC [26]

4.5.2.2. Κύκλοι οδήγησης WLTC

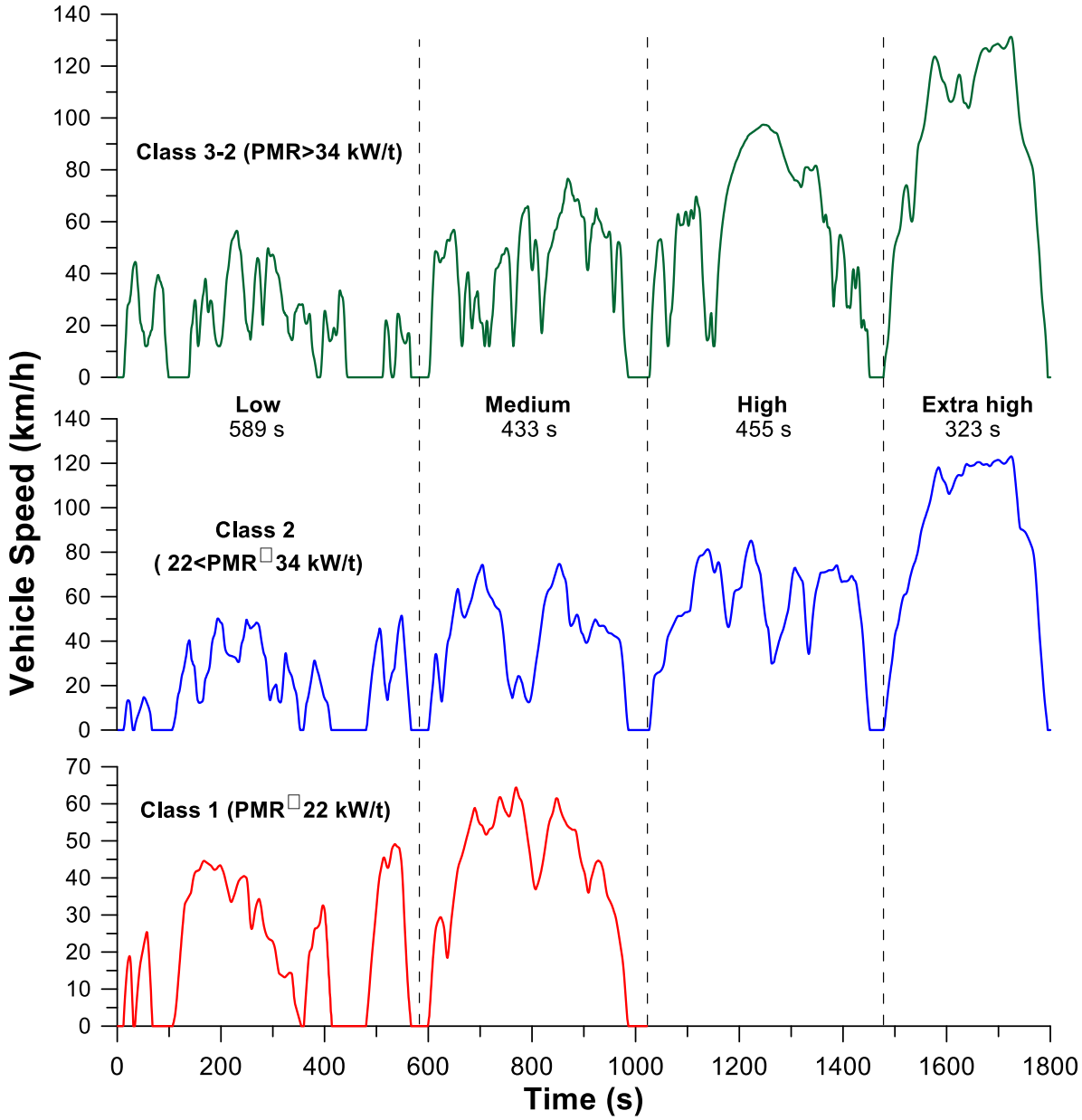
- WLTC Class 3

Ο κύκλος WLTC (τάξης/κλάσης) Class 3-2 είναι αυτός με τον υψηλότερο δείκτη PMR και είναι αντιπροσωπευτικός των οχημάτων που κινούνται στην Ευρώπη και την Ιαπωνία. Τα οχήματα που υπάγονται στη συγκεκριμένη κλάση διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με τη μέγιστη ταχύτητά τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι, η κλάση 3-1 με μέγιστη ταχύτητα μικρότερη των 120 km/h και η κλάση 3-2 με μέγιστη ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση των 120 km/h. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικότεροι παράμετροι του κύκλου WLTC κλάσης 3 (Πίνακας 4.3) [27].

Φάση	Συνο-λική διάρ-κεια	Διάρκεια ακινησίας	Διανυθείσα απόσταση	Ποσοστό ακινησίας	Μέγιστη ταχύτητα	Μέση ταχύτητα χωρίς ακινησίες	Μέση ταχύτητα με ακινησίες	Μέγιστη επιβράδυνση	Μέγιστη επιτά-χυνση
	s	**s**	**m**	**%**	**Km/h**	**Km/h**	**Km/h**	**m/s^2**	**m/s^2**
Κλάση 3-2 ($V_{max} \geq 120$ km/h)									
Low 3	589	165	3095	26,5	56,5	25,7	18,9	-1,47	1.47
Medium 3-2	433	48	4756	11,1	76,6	44,5	39,5	-1,49	1,57
High 3-2	455	31	7162	6,8	97,4	60,8	56,7	-1,49	1,58
Extra-High 3	323	7	8254	2,2	131,3	94	92	-1,21	1,03
Σύνολο	**1800**	**242**	**23266**						
Κλάση 3-1 ($V_{max} < 120$ km/h)									
Low 3	589	165	3095	26,5	56,5	25,7	18,9	-1,47	1.47
Medium 3-1	433	48	4721	11,1	76,6	44,1	39,3	-1,47	1,28
High 3-1	455	31	7124	6,8	97,4	60,5	56,4	-1,49	1,58
Extra-High 3	323	7	8254	2,2	131,3	94	92	-1,21	1,03
Σύνολο	**1800**	**242**	**23194**						

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικοί παράμετροι του WLTC Class 3 [27]

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το προφίλ ταχύτητας του κύκλου WLTC (όλες οι κλάσεις) (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.8: Προφίλ ταχυτήτων του κύκλου WLTC [11]

- WLTC Class 2

Ο κύκλος WLTC κλάσης 2 είναι αντιπροσωπευτικός των οχημάτων που κυκλοφορούν στην Ινδία και των οχημάτων χαμηλής ισχύος που κυκλοφορούν σε Ευρώπη και Ιαπωνία. Ο

Πίνακας 4.4 παρουσιάζει τις χαρακτηριστικές παραμέτρους του κύκλου αυτού. Το προφίλ ταχυτήτων του κύκλου WLTC κλάσης 2 δόθηκε στο Σχήμα 4.8.

Φάση	Διάρκεια	Διάρκεια ακινησίας	Διανυθείσα απόσταση	Ποσοστό ακινησίας	Μέγιστη ταχύτητα	Μέση ταχύτητα χωρίς ακινησίες	Μέση ταχύτητα με ακινησίες	Μέγιστη επιβράδυνση	Μέγιστη επιτάχυνση
	s	s	m	%	Km/h	Km/h	Km/h	m/s^2	m/s^2
Low 2	589	155	3101	26,3	51,4	25,7	19	-0,94	0,90
Medium 2	433	48	4737	11,1	74,7	44,3	39,4	-0,93	0,96
High 2	455	30	6792	6,6	85,2	57,5	53,7	-1,11	0,85
Extra-High 2	323	7	8019	2,2	123,1	91,4	89,4	-1,06	0,65
Σύνολο	**1800**	**240**	**22649**						

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικοί παράμετροι του κύκλου WLTC κλάσης 2 [27]

- WLTC Class 1

Ο κύκλος WLTC κλάσης 1, έχει τον μικρότερο δείκτη PMR ανάμεσα σε όλους τους κύκλους WLTC και είναι αντιπροσωπευτικός οχημάτων που κυκλοφορούν κυρίως στην Ινδία. Στην συνέχεια δίνονται οι χαρακτηριστικοί παράμετροι του κύκλου αυτού (Σχήμα 4.8).

Φάση	Διάρκεια	Διάρκεια ακινησίας	Διανυθείσα απόσταση	Ποσοστό ακινησίας	Μέγιστη ταχύτητα	Μέση ταχύτητα χωρίς ακινησίες	Μέση ταχύτητα με ακινησίες	Μέγιστη επιβράδυνση	Μέγιστη επιτάχυνση
	s	s	m	%	Km/h	Km/h	Km/h	m/s^2	m/s^2
Low 1	589	154	3330	26,1	49,1	27,6	20,4	-1,00	0,76
Medium 1	433	48	4767	11,1	64,4	44,6	39,6	-0,53	0,63
Low 1	589	154	3330	26,1	49,1	27,6	20,4	-1,00	0,76
Σύνολο	**1611**	**356**	**11428**						

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικοί παράμετροι του κύκλου WLTC κλάσης 1 [27]

4.5.2.3. Τροποποιήσεις κύκλων WLTC

Μερικά οχήματα είναι πιθανό να μην μπορούν να ακολουθήσουν τις απαιτήσεις ταχύτητας-χρόνου των κύκλων. Οι λόγοι που μπορεί να συμβαίνει αυτό είναι οι ακόλουθοι:

- Οχήματα με δείκτη PMR κοντά στα όρια των κύκλων WLTC κλάσης 2 και κλάσης 3, ή οχήματα πολύ χαμηλής ισχύος που ανήκουν στον κύκλο WLTC κλάσης 1, μπορεί να μην καταφέρνουν να επιτύχουν τις επιταχύνσεις που απαιτούνται για να διατηρήσουν την εκάστοτε ταχύτητα του κάθε κύκλου. Σε τέτοιες περιπτώσεις γίνεται εφαρμογή μιας υποβαθμισμένης κλίμακας του κύκλου προκειμένου να μειωθούν οι μέγιστοι ρυθμοί επιτάχυνσης. Ως αποτέλεσμα αυτής της πρακτικής είναι ο τροποποιημένος κύκλος να έχει μειωμένες μέγιστες ταχύτητες.

- Ορισμένα οχήματα μπορεί να έχουν μέγιστη ταχύτητα μικρότερη από την μέγιστη ταχύτητα του υποβαθμισμένου κύκλου όπως αυτός θα προκύψει μετά την τροποποίηση. Σε αυτές τις περιπτώσεις το όχημα θα πρέπει να οδηγείται με την μέγιστή του ταχύτητα σε αυτές τις περιόδους του κύκλου που η μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από αυτήν του οχήματος. Ένα παράδειγμα που μπορεί να προκύψει τέτοια περίπτωση είναι για τα οχήματα του κύκλου WLTC κλάσης 3-1 κατά την διάρκεια της Extra-High 3 φάσης.

- Μερικά οχήματα μπορεί να μην είναι ικανά να ακολουθήσουν το καθορισμένο προφίλ ταχύτητας του υποβαθμισμένου κύκλου στα πλαίσια των ανοχών που έχουν δοθεί για συγκεκριμένες περιόδους. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα οχήματα αυτά θα πρέπει να οδηγούνται με το πεντάλ του γκαζιού στην μέγιστη θέση για τις αντίστοιχες περιόδους, ενώ παραβιάσεις του επιθυμητού προφίλ ταχυτήτων του κύκλου γίνονται επιτρεπτές.

4.5.2.4. Εφαρμογή της δοκιμής WLTP για υβριδικά οχήματα

Το πρότυπο WLTP προβλέπει εφαρμογή και σε οχήματα OVC-HEVs (off-vehicle chargeable hybrid electric vehicles) και NOVC-HEVs (not off-vehicle chargeable hybrid electric vehicles). Τα παραπάνω οχήματα έχουν καταταχθεί στην κλάση 3. Οι εκπομπές καθώς και ένα άλλο σύνολο παραμέτρων λειτουργίας ελέγχονται σύμφωνα με τον κύκλο οδήγησης κλάσης 3-1 ή κλάσης 3-2 σε κατάσταση εκκένωσης της μπαταρίας (charge-depleting mode), όσο και σε κατάσταση συγκράτησης της ενέργειας (charge-sustaining mode). Στην συνέχεια συνοψίζονται οι δοκιμές στις οποίες υποβάλλονται τα υβριδικά οχήματα στα πλαίσια του προτύπου WLTP (Σχήμα 4.6).

		WLTP		WLTP City
		Charge-depleting	Charge-sustaining	Charge-depleting
		Criteria Emissions, FC,CO_2, AER, EAER, R_{CDC}, R_{CDA}, E_{AC}	Criteria Emissions, FC,CO_2	AER City, E_{AC} City
OVC-HEV	Class 3-1	Low 3 + Medium 3-1 + High 3-1 + Extra High 3	Low 3 + Medium 3-1 + High 3-1 + Extra High 3	Low 3 + Medium 3-1
	Class 3-2	Low 3 + Medium 3-2 + High 3-2 + Extra High 3	Low 3 + Medium 3-2 + High 3-2 + Extra High 3	Low 3 + Medium 3-2
NOVC-HEV	Class 3-1	-	Low 3 + Medium 3-1 + High 3-1 + Extra High 3	-
	Class 3-2	-	Low 3 + Medium 3-2 + High 3-2 + Extra High 3	-

AER - All-electric range
EAER - Equivalent all-electric range
E_{AC} - Recharged energy
FC – Fuel Consumption
NOVC-HEV - not off-vehicle Charging hybrid electric vehicle
OVC-HEV - off-vehicle Charging hybrid electric vehicle
R_{CDA} -Charge-depleting actual range
R_{CDC} -Charge-depleting Cycle range

Πίνακας 4.6: Δοκιμή WLTP για υβριδικά οχήματα [27]

4.5.3. Μετάβαση από δοκιμή NEDC σε WLTP

Από τον Σεπτέμβριο του 2017:

- Μπορούν να ταξινομούνται οχήματα που πήραν έγκριση τύπου με τον κύκλο NEDC πριν τον Σεπτέμβριο του 2017.
- Η δοκιμή WLTP θα αρχίσει να εφαρμόζεται για τις εγκρίσεις νέων οχημάτων.
- Κάποια οχήματα θα έχουν τιμές από τον παλιό κύκλο NEDC, ενώ άλλα οχήματα θα εγκρίνονται από την νέα δοκιμή WLTP.
- Κατά την διάρκεια της μετάβασης (μέχρι και το τέλος του 2018), μόνο τιμές από την δοκιμή του κύκλου NEDC θα χρησιμοποιούνται σε αντιπροσωπείες οχημάτων, προκειμένου οι καταναλωτές να μπορούν να συγκρίνουν να τα διάφορα οχήματα μεταξύ τους.
- Η φορολογία σε εθνικό επίπεδο θα συνεχίσει βάσει των τιμών στον NEDC.

Από τον Σεπτέμβριο του 2018:

- Όλα τα οχήματα θα πρέπει να ταξινομούνται σύμφωνα με την δοκιμή WLTP.
- Εξαίρεση θα γίνεται για οχήματα που κατασκευάστηκαν στα τελευταία στάδια του κύκλου της παραγωγής τους και για συγκεκριμένο αριθμό. Τα οχήματα αυτά που πήραν έγκριση με την προηγούμενη δοκιμή NEDC, θα μπορούν να πωληθούν για ακόμα έναν χρόνο.

Από την 1η Ιανουαρίου 2019:

- Όλα τα οχήματα στις αντιπροσωπείες θα πρέπει να αναγράφουν τις εκπομπές CO_2 από την δοκιμή WLTP για να αποφευχθεί σύγχυση του καταναλωτικού κοινού.
- Οι εθνικές κυβερνήσεις θα πρέπει να διαμορφώσουν τις φορολογικές κλίμακες και τα κίνητρα βάσει των τιμών της δοκιμής WLTP, συνυπολογίζοντας ότι δε θα πρέπει να υπάρχει αρνητικό αντίκτυπο στους καταναλωτές.

Κατά την διάρκεια του έτους 2020:

- Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα μετατρέψει τους σημερινούς στόχους εκπομπών CO_2 (βάσει NEDC), σε αντίστοιχους στόχους βασισμένους στην WLTP δοκιμή. Σύμφωνα με αυτούς τους στόχους θα γίνεται πλέον ο έλεγχος συμμόρφωσης του στόλου των αυτοκινητοβιομηχανιών [20].

Σημειώνεται ότι η μετάβαση από τη διαδικασία του κύκλου NEDC στη διαδικασία WLTP δεν περιλαμβάνει μόνο την αλλαγή του κύκλου (από τον NEDC στον WLTC) αλλά και μια σειρά άλλες αλλαγές στη διαδικασία πιστοποίησης, όπως ενδεικτικά [11]:

- Χαμηλότερη θερμοκρασία δοκιμής (άρα μεγαλύτερη βαρύτητα στις εκπομπές ψυχρής εκκίνησης)
- Πιο αντιπροσωπευτική κατηγοριοποίηση των οχημάτων βάσει του πραγματικού τους βάρους και όχι συγκεκριμένων κλάσεων βάρους που ίσχυαν παλαιότερα επί NEDC.

4.6. Διαδικασία μέτρησης εκπομπών καυσαερίων

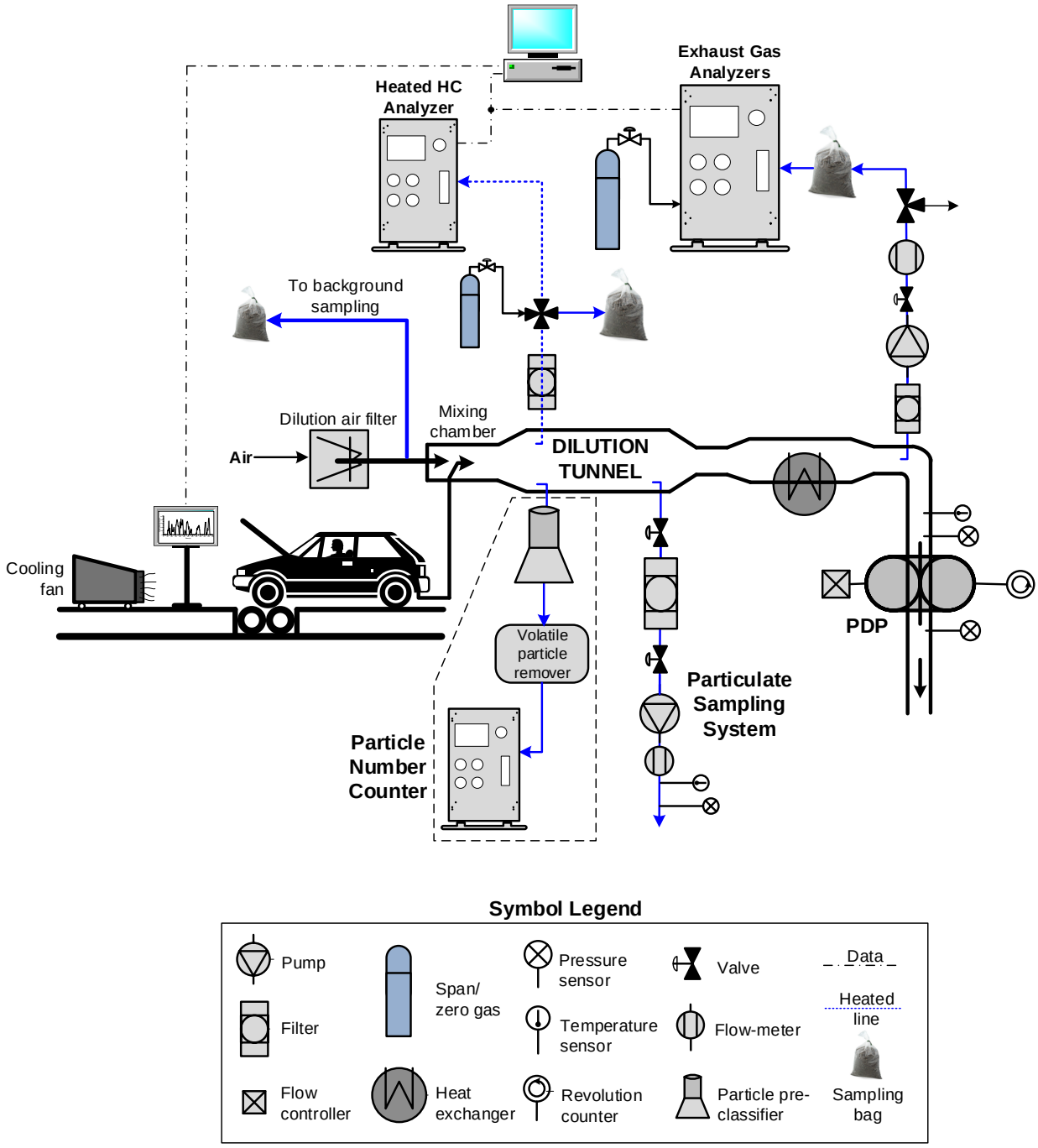
Το σύστημα δειγματοληψίας των καυσαερίων θα πρέπει να μπορεί να μετρά τις πραγματικές ποσότητες εκπομπών ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια. Γενικά για τον σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας δειγματοληψία καυσαερίων είτε να γίνει δειγματοληψίας με αραίωση των καυσαερίων. Η δειγματοληψία μπορεί να είναι συνεχής, με την συγκέντρωση του CO_2 να μετριέται απευθείας από το δείγμα των καυσαερίων ή το αραιωμένο δείγμα, είτε σε παρτίδες, όπου το συνεχές εξαγόμενο δείγμα αποθηκεύεται σε σάκο συλλογής για μετέπειτα ανάλυση [11].

Το σύστημα που χρησιμοποιείται σήμερα καθολικά για την πιστοποίηση των οχημάτων, είναι η δειγματοληψία σταθερού όγκου (CVS – Constant Volume Sampling). Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής στις αρχές του ’70 ενώ η χρήση του στην Ευρώπη ξεκίνησε το 1983. Η δειγματοληψία CVS απαιτεί το σύνολο των καυσαερίων του υπό εξέταση οχήματος να αραιώνεται συνεχώς με φιλτραρισμένο αέρα περιβάλλοντος υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Η αραίωση πραγματοποιείται για να αποφευχθεί η δημιουργία συμπυκνώματος νερού στο δειγματοληπτικό/μετρητικό σύστημα, καθώς και για να προσομοιωθούν οι πραγματικές συνθήκες ανάμιξης των καυσαερίων με τον ατμοσφαιρικό αέρα [11]. Στην μέθοδο δειγματοληψίας CVS πρέπει να ικανοποιούνται δύο προϋποθέσεις: ο συνολικός όγκος του μίγματος των καυσαερίων και του αέρα αραίωσης πρέπει να μετριέται, και επίσης θα πρέπει να συλλέγεται (μέσω λήψης δειγμάτων), ένα συνεχώς αναλογικό δείγμα του όγκου που στη συνέχεια θα αναλύεται. Η ποσότητα κάθε εκπομπής υπολογίζεται από την συγκέντρωση του δείγματος και την ολική ροή κατά την διάρκεια της περιόδου της δοκιμής. Όπως προαναφέρθηκε, τα όρια των εκπομπών είναι συνεχώς και πιο αυστηρά και οι εκπομπές καυσαερίων από τα οχήματα έχουν πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Επομένως, είναι επιτακτική και η μέτρηση του αέρα αραίωσης, προκειμένου να γίνει διόρθωση στις πραγματικές συγκεντρώσεις εκπομπής. Πρέπει να τονιστεί ότι αφού ο όγκος του αραιωμένου καυσαερίου διατηρείται σταθερός, η ροή του αέρα αραίωσης και η αναλογία αραίωσης μεταβάλλονται αντίστροφα από τη ροή των καυσαερίων του κινητήρα καθ’ όλη τη διάρκεια της δοκιμής.

Στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** παρουσιάζεται λεπτομερώς η ιάταξη ενός τυπικού συστήματος δειγματοληψίας CVS εφοδιασμένου με αντλία θετικής μετατόπισης (PDP – Positive Displacement Pump) (PDP – CVS). Η διάταξη του παραπάνω συστήματος αποτελείται από [11]:

- φίλτρο για την αραίωση του αέρα, εάν χρειάζεται με προθέρμανση. Αποτελείται από ένα προαιρετικά ενεργοποιούμενο φίλτρο ενεργού άνθρακα (στην πλευρά εισόδου) και από ένα υψηλής απόδοσης φίλτρο σωματιδίων (HEPA) (στην πλευρά εξόδου). Συνιστάται η χρήση πρόσθετου φίλτρου σωματιδίων μεγαλύτερης διαμέτρου πριν το φίλτρο HEPA και μετά το φίλτρο ενεργού άνθρακα (εάν χρησιμοποιείται τέτοιο). Ο σκοπός του φίλτρου ενεργού άνθρακα είναι η μείωση και σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των υδρογονανθράκων που περιέχονται στον περιβαλλοντικό αέρα αραίωσης. Η ποσότητα του αέρα αραίωσης πρέπει να είναι επαρκής για την ψύξη του μίγματος καυσαερίων/αέρα σε

όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, σε μια θερμοκρασία όχι μεγαλύτερη των 52°C



Σχήμα 4.9: Τυπική διάταξη δειγματοληψίας σταθερού όγκου με χρήση αντλίας θετικής μετατόπισης (PDP) για την μέτρηση των εκπομπών των οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση [11]

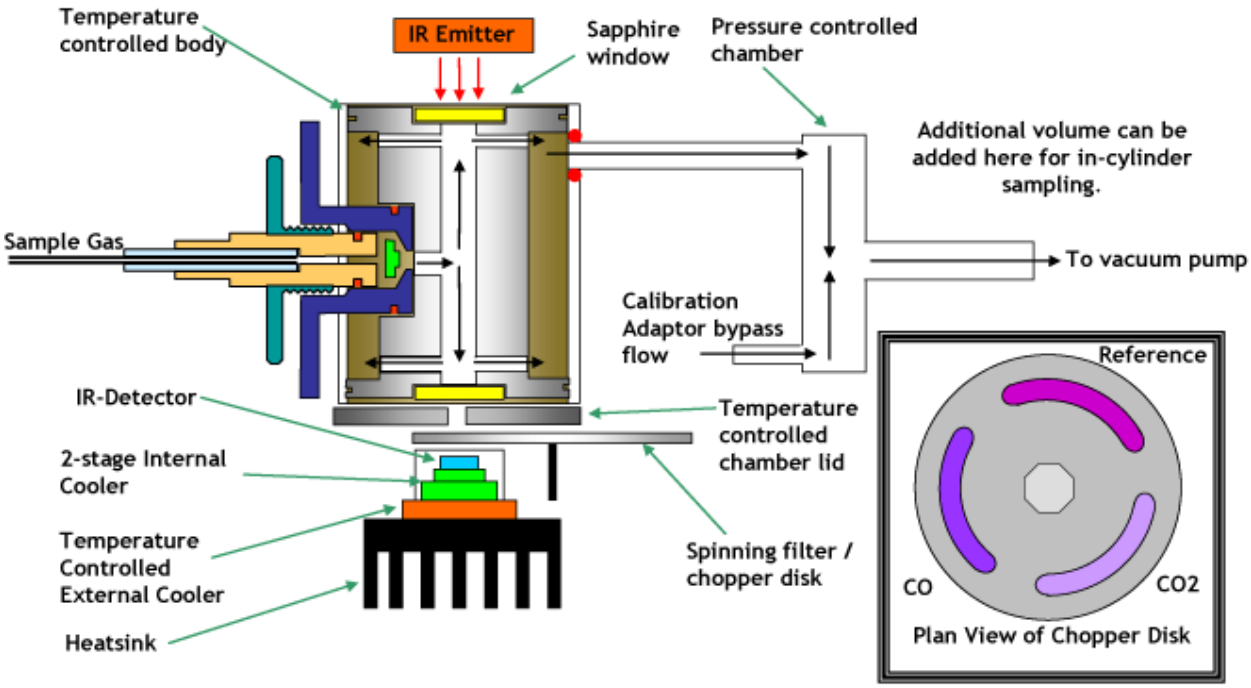
- θάλαμος ανάμιξης στον οποίο αναμιγνύονται ομοιογενώς τα καυσαέρια και ο αέρας
- σήραγγα ανάμιξης για την περίπτωση πετρελαιοκίνητων οχημάτων· συνήθως πρόκειται για έναν γυαλισμένο και θερμαινόμενο σωλήνα ανοξείδωτου χάλυβα από ηλεκτρικά

αγώγιμο υλικό. Έτσι διασφαλίζεται ότι δε θα πραγματοποιηθούν χημικές αντιδράσεις που μπορεί να μεταβάλλουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων στα καυσαέρια. Η διάμετρος του σωλήνα (περίπου 200 mm) εξαρτάται από την ροή των καυσαερίων και είναι αρκετά μικρή ώστε να δημιουργεί τυρβώδη ροή (Re > 4000). Η σήραγγα είναι γειωμένη.

- αντλία θετικής μετατόπισης για την μεταφορά σταθερού όγκου ροής των καυσαερίων και του αέρα αραίωσης (π.χ. λοβοειδής φυσητήρας)
- εναλλάκτης θερμότητας για την διατήρηση του μίγματος των καυσαερίων εντός των σχεδιασμένων τιμών λειτουργίας
- ανιχνευτές και γραμμές δειγματοληψίας
- αναλυτές καυσαερίων για τις ενδιαφερόμενες εκπομπές
- αντλίες
- φίλτρα
- ελεγκτές ροής για την διασφάλιση σταθερής ομοιόμορφης ροής
- μετρητές ροής για την ρύθμιση και παρακολούθηση των σταθερών ροών των δειγμάτων καυσαερίων κατά την διάρκεια της δοκιμής
- αισθητήρες πίεσης/θερμοκρασίας/υγρασίας
- σάκους για την συλλογή των δειγμάτων των αραιωμένων καυσαερίων (κατασκευασμένοι από φθοριωμένους πολύ-υδρογονάνθρακες, ή πολυαιθυλενικές μεμβράνες, ή πολυαμιδικές μεμβράνες
- ψηφιακός μετρητής για την καταγραφή του αριθμού των περιστροφών της αντλίας PDP

Όπως αναφέρθηκε, το σύστημα της δειγματοληψίας CVS βασίζεται στην αραίωση των καυσαερίων με περιβαλλοντικό αέρα, διατηρώντας την ροή σταθερή μέσω της αντλίας PDP. Τα δείγματα για την συνεχή μέτρηση της αέριας φάσης λαμβάνονται από ένα σημείο όπου το μίγμα καυσαερίων και αέρα αραίωσης είναι ομοιογενές. Ένα μικρό μέρος της ροής του CVS (π.χ. 0.1%) λαμβάνεται ως δείγμα σε σάκους κατασκευασμένους από τεφλόν. Τα αέρια δείγματα που προορίζονται για αυτούς τους σάκους λαμβάνονται από το κάτω μέρος ροής του εναλλάκτη. Αμέσως μετά την δοκιμή (περίπου 20-30 λεπτά), οι συγκεντρώσεις των αερίων από τα δείγματα των σάκων μετρούνται από αναλυτές καυσαερίων [11]. Ειδικά για την περίπτωση του CO_2 χρησιμοποιείται αναλυτής καυσαερίων μη σκεδαζόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (NDIR – Non-Dispersive Infrared) (Σχήμα 4.10), η λειτουργία του οποίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11 (χρησιμοποιείται και για μέτρηση CO).

Σχήμα 4.10: Αναλυτής καυσαερίων NDIR για την μέτρηση των εκπομπών CO_2 [28]



Σχήμα 4.11: Αρχή λειτουργίας του αναλυτή καυσαερίων NDIR [29]

Ο υπολογισμός της μάζας του CO_2 (M_{gCO_2}) που εξέπεμψε το όχημα κατά την διάρκεια της δοκιμής γίνεται με την λήψη του προϊόντος της ογκομετρικής συγκέντρωσης και του όγκου του CO_2, λαμβάνοντας υπόψιν την πυκνότητά του υπό συνθήκες αναφοράς (0ºC και 1 atm). Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με την βοήθεια της εξίσωσης 4.1 [11]:

$$M_{gCO_2} = V_{deg}(C_{CO_2} \times 10^{-6})\rho_{CO_2} \tag{4.1}$$

Όπου:

- V_{deg}, είναι ο όγκος του αραιωμένου καυσαερίου (L/test) (= όγκος των καυσαερίων V_{eg} συν τον όγκο του περιβαλλοντικού αέρα αραίωσης V_{da}).
- C_{CO_2}, είναι η μετρούμενη συγκέντρωση εκπομπών CO_2 στα αραιωμένα καυσαέρια (ppm) διορθωμένη από την ποσότητα του CO_2 στο αέρα αραίωσης. Εάν η συγκέντρωση C_{CO_2} μετριέται σε %, τότε ο συντελεστής 10^{-6} αντικαθίσταται από τον συντελεστή 10^{-2}.
- ρ_{CO_2} είναι η πυκνότητα του CO_2 (g/L). Για την περίπτωση των υπολογισμών και την θεώρηση συνθηκών 0ºC και 1 atm, η τιμή του ρ_{CO_2} είναι 1,964 g/L.

Η μάζα M_{gCO_2} του εκπεμπόμενου CO_2 από την εξίσωση 4.1, ανάγεται στην πραγματική απόσταση S (km) που καλύπτεται κατά την διάρκεια της δοκιμής σύμφωνα με την εξίσωση 4.2 [11]:

$$E_{gCO_2}(^{g}/_{km}) = \frac{M_{gCO_2}(^{g}/_{test})}{S} \tag{4.2}$$

Η απόσταση S λαμβάνεται πολλαπλασιάζοντας τον συνολικό αριθμό περιστροφών που εμφανίζεται στον μετρητή της δυναμομετρικής εξέδρας, με την περίμετρο του ράουλου της δυναμομετρικής εξέδρας [11].

Η αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου FC (Fuel Consumption) (L/km) όσον αφορά τα επιβατικά οχήματα, τα ελαφρά φορτηγά, και τις μοτοσυκλέτες στην Ευρωπαϊκή Ένωση, υπολογίζεται έμμεσα από τις μετρούμενες εκπομπές HC, CO και CO_2 (g/km) E_{gHC}, E_{gCO} και E_{gCO_2}, με την τελική τιμή της κατανάλωσης να εξαρτάται από τον χημικό τύπο του καυσίμου της δοκιμής και την πυκνότητα ρ_f αυτού σε θερμοκρασία 15ºC. Η κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται από την εξίσωση 4.3 [11]:

$$FC = \left(\frac{1}{10 \times CWF \times \rho_f}\right) \times \left[(CWF \cdot E_{HC}) + (0.429 \cdot E_{CO}) + \left(0.273 \cdot E_{CO_2}\right)\right] \tag{4.3}$$

όπου CWF (Carbon Weight Fraction) είναι το κλάσμα μάζας άνθρακα του καυσίμου που χρησιμοποιείται στην δοκιμή [11].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση μετράει την συμβατότητα των οχημάτων με τα όρια εκπομπών CO_2/GHG, βάσει στοιχείων μετρήσεων που καταθέτουν οι ίδιοι οι κατασκευαστές. Κάθε αυτοκινητοβιομηχανία για κάθε νέο μοντέλο οχήματος που διαθέτει στην αγορά, απαιτείται να διεξάγει δοκιμές και να αναφέρει τα επίπεδα εκπομπής CO_2 χρησιμοποιώντας την δοκιμή WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure). Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης λαμβάνουν τις μετρήσεις από τα οχήματα που ταξινομούνται στην επικράτειά τους και μεταβιβάζουν τις αναφορές τους στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα στοιχεία εκπομπών CO_2

συνοδεύονται από έναν αριθμό πλαισίου οχήματος (VIN – Vehicle Identification Number), καθώς και από τις φυσικές ιδιότητες του οχήματος. Ωστόσο αποτελεί αρμοδιότητα του κάθε κράτους μέλους ξεχωριστά, η εξασφάλιση, η συντήρηση, η συλλογή, ο έλεγχος, η επαλήθευση και η διαβίβαση των δεδομένων παρακολούθησης.

Τέλος, από τον Σεπτέμβριο του 2017 (αρχικά σε δοκιμαστικό επίπεδο) και με στόχο την επίτευξη πλήρους συνάφειας ανάμεσα σε διαδικασία πιστοποίησης και πραγματικές εκπομπές (ρύπων) στο δρόμο, έχει ξεκινήσει στην Ε.Ε. και διαδικασία μέτρησης εκπομπών σε πραγματικές συνθήκες (RDE – real driving emissions) στο δρόμο (εκτός δηλαδή από την εργαστηριακή δοκιμή). Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει, προς το παρόν, μόνο τα οξείδια του αζώτου (δηλ. τον κατεξοχήν «χειραγωγούμενο» από τους κατασκευαστές ρύπο λόγω της αντίστροφης εξάρτησής του από τη κατανάλωση καυσίμου). Υπάρχουν ήδη προτάσεις, αν και δεν έχει ληφθεί ακόμα καμία επίσημη απόφαση, να συμπεριληφθεί, κάποια στιγμή, στις δοκιμές στο δρόμο και το διοξείδιο του άνθρακα.

5. Τρόποι μείωσης CO_2

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι σημαντικότερες τεχνολογίες μέσω των οποίων μπορεί να επιτευχθεί μείωση στην κατανάλωση καυσίμου και άρα και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Θα αναφερθούν τόσο κλασικές και ήδη εφαρμοζόμενες εδώ και χρόνια τεχνολογίες (π.χ. στροβιλο-υπερπλήρωση) όσο και πιο πρόσφατες (π.χ. σύστημα start-stop) καθώς και μελλοντικές. Σημειώνεται ότι η ανάλυση θα γίνει με έμφαση στον κινητήρα και δευτερευόντως σε θέματα συνολικού οχήματος (π.χ. αεροδυναμική, υλικά).

Ένα άλλος πολύ σημαντικός μηχανισμός μείωσης των εκπομπών CO_2 είναι μέσω της χρήσης βιοκαυσίμων (ενδεικτικά βιοντήζελ και βιο-αιθανόλη). Το συγκεκριμένο θέμα (των βιοκαυσίμων) δεν θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία, με δεδομένο ότι το όφελός τους όσον αφορά εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν προκύπτει από την καύση τους αυτή καθ' εαυτή αλλά από το συνολικό κύκλο ζωής (life cycle), π.χ. ξεκινώντας από το φυτό που παράγει το καρπό μέχρι το έλαιο το οποίο τελικά μετατρέπεται σε βιοντήζελ προς καύση σε Μ.Ε.Κ. Επιπλέον, το θέμα των βιοκαυσίμων είναι σε μεγάλο βαθμό θέμα χρήστη, με δεδομένο ότι μπορεί μεν η νομοθεσία να επιβάλλει συγκεκριμένους όρους στους κατασκευαστές, όσον αφορά την περιεκτικότητα των καυσίμων σε βιοκαύσιμα κατά την ώρα της πιστοποίησης, αλλά δεν μπορεί να επιβάλλει (όπως ούτε και οι κατασκευαστές βέβαια) χρήση συγκεκριμένων καυσίμων από τους καταναλωτές (με την εξαίρεση βέβαια μίας γενικής τάσης σε όλα τα κράτη-μέλη για αύξηση του περιεχομένου της αιθανόλης στη βενζίνη και του βιοντήζελ στο πετρέλαιο, που πάντως, προς το παρόν τουλάχιστον, κυμαίνονται σε σχετικά μικρά (κάτω του 10%) ποσοστά).

5.1. Πλεονεκτήματα χρήσης πετρελαιοκίνητων έναντι βενζινοκίνητων οχημάτων

Οι κινητήρες πετρελαίου και βενζίνης παρουσιάζουν θεμελιώδεις διαφορές στον τρόπο λειτουργίας. Στους πετρελαιοκινητήρες, το καύσιμο αναφλέγεται στον θάλαμο καύσης λόγω των συνθηκών υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούν στην φάση της συμπίεσης. Δεν απαιτείται η ύπαρξη σπινθηριστή για την ανάφλεξη του μίγματος αέρα-καυσίμου στον πετρελαιοκινητήρα, ενώ το πετρέλαιο σαν καύσιμο είναι ένα βαρύτερο και λιγότερο πτητικό μίγμα υδρογονανθράκων από την βενζίνη. Τα βασικά πλεονεκτήματα (όσον αφορά το βαθμό απόδοσης) των κινητήρων Diesel έναντι των κινητήρων Otto εντοπίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Σε αντίθεση με του κινητήρες βενζίνης, οι πετρελαιοκινητήρες έχουν υψηλότερο λόγο συμπίεσης, κάτι που σύμφωνα με τις αρχές της θερμοδυναμικής οδηγεί σε υψηλότερο θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης (κύκλου).
- Οι κινητήρες Diesel λειτουργούν με περίσσεια αέρα (σε αντίθεση με τους σύγχρονους συμβατικούς βενζινοκινητήρες όπου έχουμε στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου (λ_α=1) για αποδοτική λειτουργία του τριοδικού καταλύτη)· καύση με περίσσεια αέρα οδηγεί σε καλύτερη αναλογία θετικού έργου αποτόνωσης έναντι αρνητικού έργου

συμπίεσης, με αποτέλεσμα υψηλότερο βαθμό απόδοσης, χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, άρα και χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Σημειωτέον ότι σε αυτή τη βάση (καύση με ελαφρά περίσσεια αέρα) στηρίζεται η ανάπτυξη και ευρέα, τα τελευταία χρόνια, χρήση κινητήρων Otto άμεσου ψεκασμού (GDI – gasoline direct injection).

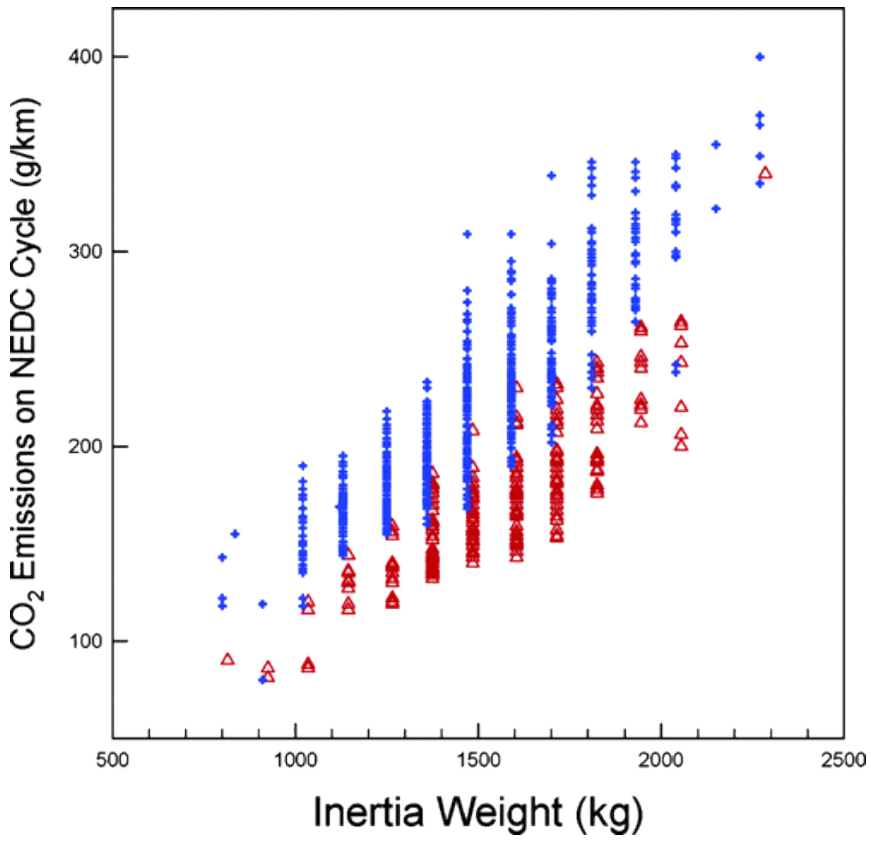
- Οι κινητήρες Diesel λειτουργούν χωρίς στραγγαλισμό του εισερχόμενου αέρα (δεν υπάρχει «πεταλούδα» στραγγαλισμού (throttle valve) άρα δεν έχουν και τις απώλειες που αυτός εισάγει.
- Τέλος, οι κινητήρες Diesel λειτουργούν αποκλειστικά πλέον ως στροβιλο-υπερπληρωμένοι, στοιχείο που όπως θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο οδηγεί σε επιπλέον εξοικονόμηση καυσίμου.

Η μετάβαση από κινητήρες βενζίνης σε κινητήρες πετρελαίου αποτέλεσε ίσως τη σημαντικότερη (από πλευράς καθαρά κινητήρα) προσέγγιση στη μείωση των εκπομπών CO_2 από τα οχήματα. Χαρακτηριστικά στην Ευρώπη, το μερίδιο αγοράς των πετρελαιοκίνητων οχημάτων αυξήθηκε από το 36% το 2001 στο 55% το 2011 σύμφωνα με στοιχεία της ACEA. Παρόλα αυτά, το πρόσφατο σκάνδαλο “Dieselgate” με «κορυφή του παγόβουνου» την εταιρεία Volkswagen, αναμένεται να (και έχει ήδη) μειώσει το μερίδιο αγοράς των νέων πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Σε κάθε περίπτωση, η σταδιακή μετάβαση των πετρελαιοκίνητων επιβατικών οχημάτων σε υψηλότερα μερίδια αγορά από τις αρχές του 2000 απαίτησε την αξιολόγηση πολλών παραγόντων όπως την αποδοχή από τους καταναλωτές, τις επιδόσεις των οχημάτων, την τιμολόγηση των καυσίμων, τις εκπομπές NO_x και κυρίως τις εκπομπές σωματιδίων (PM – καπνιάς) αλλά και του θορύβου.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό το πλεονέκτημα που μπορεί να προσφέρει η χρήση πετρελαιοκίνητων οχημάτων όσο αφορά τις εκπομπές CO_2. Για τον σκοπό θα χρησιμοποιηθεί η έρευνα που πραγματοποίησε η Ford το 2004 [30], στην οποία έγινε σύγκριση οχημάτων χρονολογίας του 2001 από στοιχεία που είχαν καταθέσει οι διάφορες αυτοκινητοβιομηχανίες στην γερμανική κυβέρνηση σχετικά με βενζινοκίνητες και πετρελαιοκίνητες εκδόσεις των μοντέλων τους. Όταν γίνεται σύγκριση ανάμεσα σε ένα πετρελαιοκίνητο όχημα και ένα αντίστοιχο βενζινοκίνητο, πρέπει να γίνεται καθορισμός μιας η περισσότερων βάσεων ισοδυναμίας, όπως οι επιδόσεις, ο κυβισμός του κινητήρα, το κόστος κατασκευής, η τιμή πώλησης ή το βάρος του οχήματος. Για τις ανάγκες της παραπάνω έρευνας ως παράγοντας σύγκρισης επιλέχθηκε το βάρος των οχημάτων. Από τους νόμους της φυσικής είναι γνωστό ότι η ενέργεια που απαιτείται για την κίνηση ενός οχήματος, σχετίζεται με το βάρος του. Έτσι για να γίνει εκτίμηση του πλεονεκτήματος των εκπομπών ενός πετρελαιοκίνητου οχήματος, η σύγκριση με βενζινοκίνητα οχήματα παρόμοιου βάρους είναι μια λογική πρακτική και τελικά αυτή εφαρμόστηκε για την σύγκριση των οχημάτων από τα δεδομένα του 2001. Θεωρήθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθεί στην έρευνα και η αναμενόμενη μείωση των εκπομπών CO_2 ανάμεσα στα μελλοντικά πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα οχήματα του 2015. Εκτιμήθηκε ότι η διαφορά των εκπομπών CO_2 ανάμεσα σε πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα οχήματα του 2001 ήταν περίπου 24-33% ενώ η αντίστοιχη εκτιμώμενη διαφορά για τα οχήματα του 2015 μειώθηκε στο 14-27% γιατί συμπεριλήφθηκαν υπόψιν οι νέες τεχνολογίες που επρόκειτο να

εφαρμοσθούν (π.χ. κινητήρες Otto άμεσου ψεκασμού όπως προαναφέρθηκε). Η ανάλυση αφορά την σύγκριση οχημάτων από τις αγορές της Ευρώπης και της Βορείου Αμερικής.

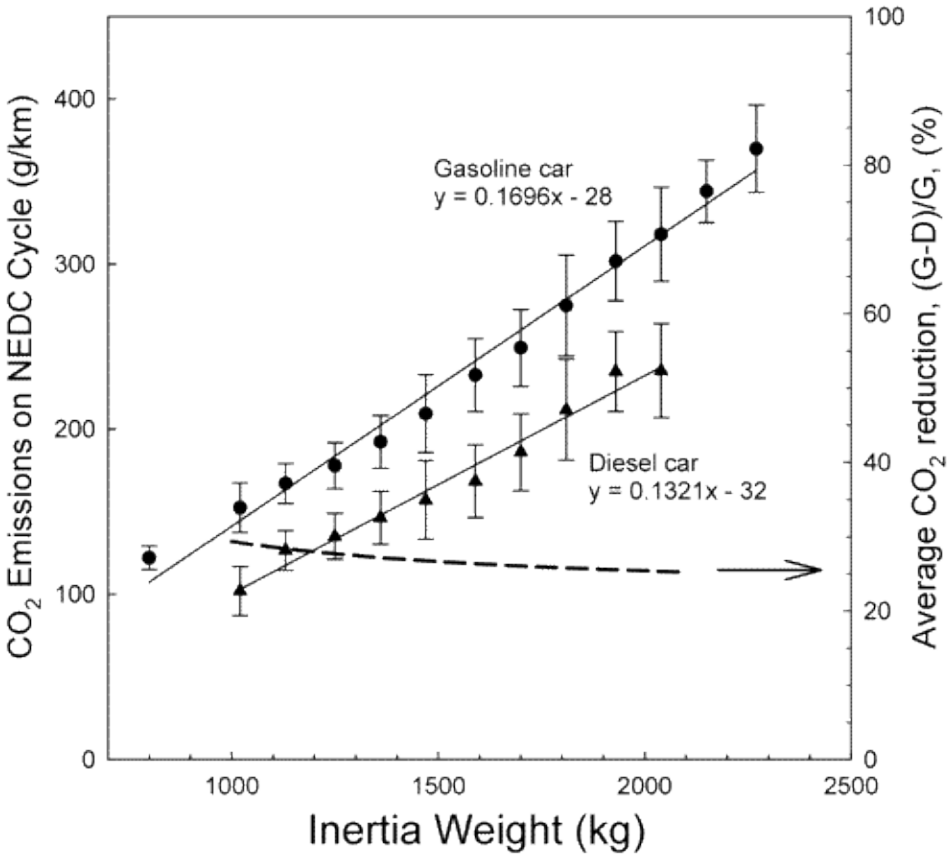
Μια σημαντική σημείωση που πρέπει να γίνει σχετικά με τα αποτελέσματα των εκπομπών που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια από τη συγκεκριμένη έρευνα, είναι το γεγονός ότι κατά την δεκαετία 1990-2000 άρχισε να γίνεται η μετάβαση στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου στους κινητήρες πετρελαίου από τον συμβατικό τότε έμμεσο ψεκασμό, στον νεοεμφανιζόμενο άμεσο. Την στιγμή που πραγματοποιήθηκε η έρευνα περίπου το 90% των πετρελαιοκίνητων οχημάτων που πωλήθηκαν στην Γερμανία έφερε τεχνολογία άμεσου ψεκασμού και έτσι στην έρευνα δεν έγινε προσπάθεια διαχωρισμού των πετρελαιοκίνητων οχημάτων λόγω του διαφορετικού συστήματος ψεκασμού. Επομένως τα αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με τις μειωμένες εκπομπές CO_2 των πετρελαιοκίνητων οχημάτων έναντι των βενζινοκίνητων, είναι εν μέρει συντηρητικά και μάλιστα τείνουν να υποτιμούν το πραγματικό πλεονέκτημα του στόλου των πετρελαιοκίνητων οχημάτων με άμεσο ψεκασμό του 2001. Ωστόσο δεδομένου ότι ο στόλος των οχημάτων με έμμεσο ψεκασμό πετρελαίου ήταν μικρότερος από 10% και συνυπολογίζοντας την τυπική βελτίωση της οικονομίας καυσίμου της τάξης των 10-15% που προσέφερε η τεχνολογία του άμεσου ψεκασμού, εκτιμήθηκε ότι η υποτίμηση που θα γινόταν θα ήταν μόνο λίγες ποσοστιαίες μονάδες και δε θα επέφερε σημαντική επίδραση στην έρευνα.



Σχήμα 5.1: Στοιχεία εκπομπής CO_2 ανά κατηγορία βάρους οχημάτων της γερμανικής αγοράς επιβατικών του 2001 (με μπλε σταυρό αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα οχήματα και με κόκκινο τρίγωνο τα πετρελαιοκίνητα) [30]

Στο Σχήμα 5.1, παρουσιάζονται οι εκπομπές CO_2 μετρημένες σύμφωνα με τον κύκλο οδήγησης NEDC για τον γερμανικό στόλο οχημάτων ως συνάρτηση του βάρους τους. Τα δεδομένα του, αφορούν την πλήρη γκάμα των οχημάτων που είναι διαθέσιμα προς πώληση στην γερμανική αγορά και όχι το μέσο όρο των οχημάτων που έχουν πωληθεί. Οπότε γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει η τάση της αύξησης των εκπομπών CO_2 όσο το βάρος των οχημάτων αυξάνεται. Από την εικόνα του διαγράμματος γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει μια διακύμανση των εκπομπών CO_2, ανάλογα με την κλάση βάρους των οχημάτων, ενώ ιδιαίτερα εμφανής είναι και η διαφορά ανάμεσα στις μέσες εκπομπές των πετρελαιοκίνητων και βενζινοκίνητων οχημάτων.

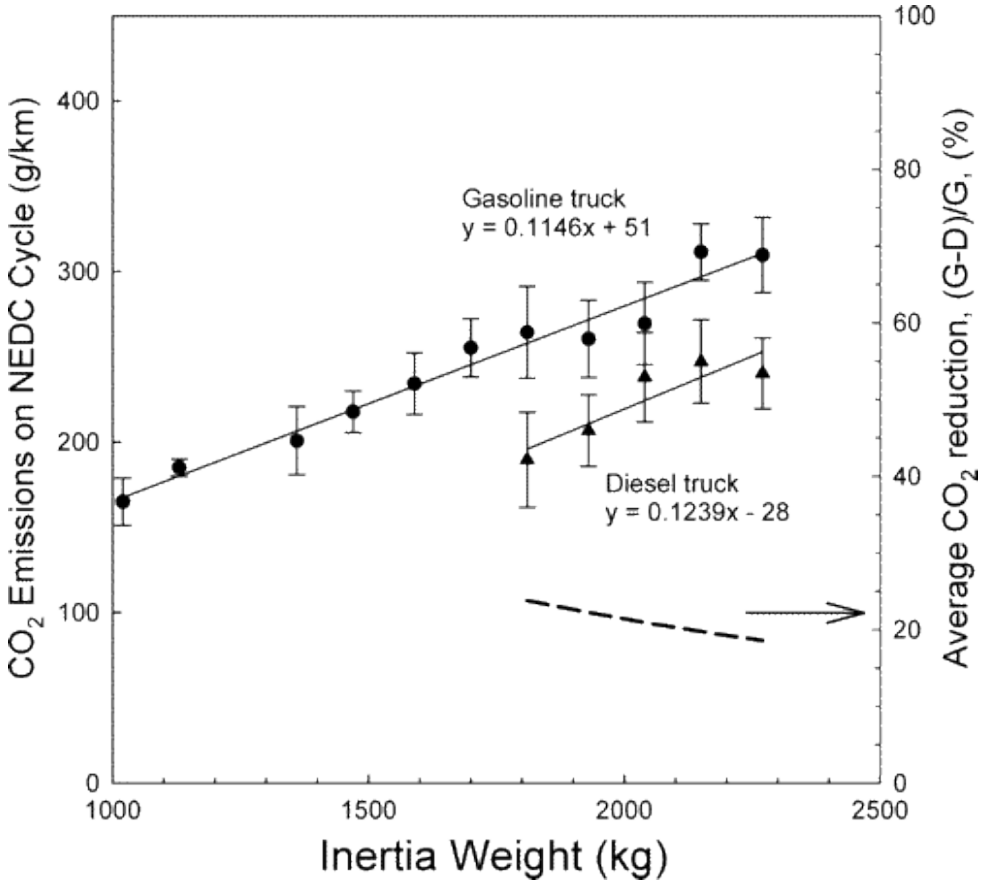
Για να γίνει η εικόνα του παραπάνω διαγράμματος πιο ξεκάθαρη, βρέθηκε η μέση τιμή εκπομπών σε κάθε κατηγορία βάρους του στόλου των οχημάτων και τα οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.2. Στις τιμές αυτές λήφθηκαν υπόψιν αποκλίσεις για κάθε μια μέση τιμή, ενώ με την βοήθεια της γραμμικής παλινδρόμησης, βρέθηκαν οι εξισώσεις που υπολογίζουν τις μέσες εκπομπές CO_2 συναρτήσει του βάρους του οχήματος για τις περιπτώσεις των πετρελαιοκίνητων και των βενζινοκίνητων οχημάτων. Από το Σχήμα 5.2 μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι οι η μείωση στις εκπομπές CO_2, ανάλογα με την κλάση βάρους κυμαίνεται από 25 έως 29% υπέρ των πετρελαιοκίνητων οχημάτων.



Σχήμα 5.2: Μέσες τιμές εκπομπών CO_2 ανά κατηγορία βάρους οχημάτων της γερμανικής αγοράς επιβατικών του 2001 (με κύκλο αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα οχήματα και με τρίγωνο τα πετρελαιοκίνητα) [30]

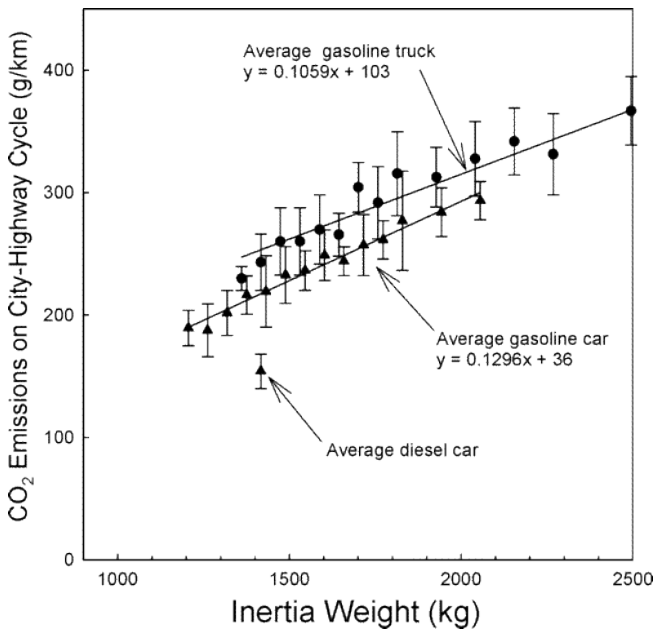
Με το ίδιο σκεπτικό, στο Σχήμα 5.3 εμφανίζονται οι αντίστοιχες μέσες τιμές εκπομπής CO_2 ανά κατηγορία βάρους για τα ελαφρά φορτηγά της γερμανικής αγοράς. Από το ίδιο διάγραμμα μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι οι η μείωση στις εκπομπές CO_2, ανάλογα με την κλάση βάρους κυμαίνεται στο 18-24% υπέρ των πετρελαιοκίνητων οχημάτων.

Όσον αφορά την αγορά της Βόρειας Αμερικής για το έτος 2001 τα δεδομένα εκπομπών από τις εγκρίσεις τύπου των πετρελαιοκίνητων οχημάτων ήταν πολύ λιγότερα από αυτά των βενζινοκίνητων. Ωστόσο, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, το πλήθος των δεδομένων ήταν αρκετό για να συμπεράνει κανείς ότι η πιθανή μείωση των εκπομπών CO_2 υπέρ των πετρελαιοκίνητων οχημάτων στην Βόρειο Αμερική, ακολουθεί την ίδια τάση αυτήν της Ευρώπης.



Σχήμα 5.3: Μέσες τιμές εκπομπής CO_2 ανά κατηγορία βάρους για τα ελαφρά φορτηγά της γερμανικής αγοράς του 2001 (με κύκλο αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα ελαφρά φορτηγά και με τρίγωνο τα πετρελαιοκίνητα), [30]

Στο Σχήμα 5.4 εμφανίζονται οι εξισώσεις που υπολογίζουν τις μέσες εκπομπές CO_2 συναρτήσει του βάρους του οχήματος για τις περιπτώσεις βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων και ελαφρών φορτηγών. Επίσης παρουσιάζεται και η μέση τιμή εκπομπών CO_2 από την κατηγορία C πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Για την διευκόλυνση του αναγνώστη, αναφέρεται ότι ένα τυπικό όχημα της κατηγορίας C των επιβατικών οχημάτων είναι το Volkswagen Golf. Οι μέσες εκπομπές CO_2 της κατηγορίας C από το Σχήμα 5.4, είναι 30% λιγότερες από τις αντίστοιχες μέσες εκπομπές των βενζινοκίνητων οχημάτων.



Σχήμα 5.4: Μέσες τιμές εκπομπής CO_2 ανά κατηγορία βάρους για την αγορά του 2001 της Βόρειας Αμερικής (με κύκλο αναπαρίστανται τα βενζινοκίνητα ελαφρά φορτηγά και με τρίγωνο τα βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα επιβατικά οχήματα), [30]

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα σχετικά με την οικονομία καυσίμου, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO_2 για την γερμανική και βορειοαμερικανική αγορά, παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 5.1). Τα αποτελέσματα αφορούν την κατηγορία C των επιβατικών οχημάτων (μέσο βάρος κλάσης 1420 kg), ενώ για την περίπτωση των ελαφρών φορτηγών επιλέχθηκε η κλάση με μέσο όρο βάρους τα 2040 kg.

		Επιβατικά μέσης κατηγορίας βάρους 1420 kg		Ελαφρά φορτηγά μέσης κατηγορίας βάρους 2040 kg	
		Κατανάλωση καυσίμου (L/100 km)	εκπομπές CO_2 (gCO_2/km)	Κατανάλωση καυσίμου (L/100 km)	εκπομπές CO_2 (gCO_2/km)
Βόρεια Αμερική	βενζίνη	9.3	220	13.5	319
	πετρέλαιο	5.8	154	-	-
	$\Delta[(D-G)/G]\%$	-38	-30	-	-
Γερμανία	βενζίνη	9	213	12.1	285
	πετρέλαιο	5.9	156	8.5	225
	$\Delta[(D-G)/G]\%$	-35	-27	-30	-21

Πίνακας 5.1: Οικονομία καυσίμου, κατανάλωση καυσίμου και μέσες εκπομπές CO_2 για τα οχήματα της βορειοαμερικανικής και γερμανικής αγοράς του 2001 [30]

5.1.1. Εκτιμώμενες εκπομπές CO_2 από τα οχήματα του 2015

Δεδομένου ότι η έρευνα της Ford [30], τα στοιχεία της οποίας ακολουθούνται στην παρούσα εργασία, έγινε το 2001, η κατανάλωση καυσίμου, η οικονομία καυσίμου καθώς και οι εκπομπές CO_2 των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων οχημάτων ήταν παράμετροι που αναμένονταν να αλλάξουν μέσα στον χρονικό ορίζοντα του 2001-2015. Βελτιώσεις στην αποδοτικότητα θα γίνονταν τόσο για την περίπτωση των βενζινοκίνητων όσο και των πετρελαιοκίνητων οχημάτων, ωστόσο λόγο του ήδη υψηλού βαθμού απόδοσης των πετρελαιοκινητήρων, ήταν αναμενόμενο, το μεγαλύτερο περιθώριο βελτίωσης να το έχουν οι βενζινοκινητήρες. Επιπροσθέτως, οι μελλοντικά αναμενόμενες αυστηρότερες προδιαγραφές εκπομπής NO_X και σωματιδίων, θα καθιστούσαν απαραίτητη της εισαγωγή τεχνολογιών στους πετρελαιοκινητήρες που εν μέρει θα μείωναν το περιθώριο αύξησης της απόδοσής τους. Έτσι η αύξηση της απόδοσης των βενζινοκινητήρων σε συνδυασμό με τις επικείμενες μειώσεις στην απόδοση για τους πετρελαιοκινητήρες, θα μείωνε το χάσμα εκπομπής CO_2 ανάμεσα σε πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα οχήματα.

Οι αλλαγές στην οικονομία καυσίμου λόγω της εισόδου των νέων τεχνολογιών εκφράστηκαν, μέσω της τότε παρούσας οικονομίας καυσίμου (δηλαδή των επιπέδων του 2001), πολλαπλασιασμένης με έναν αριθμό ρυθμιστικών παραγόντων που αντιπροσώπευαν τις επιδράσεις της εισαγωγής των νέων τεχνολογιών στην οικονομία καυσίμου. Η μαθηματική μοντελοποίηση των ανωτέρω καταλήγει στην επόμενη σχέση:

$$FE = FE_o \prod_{t=1}^{M} f_i \tag{5.1}$$

Όπου FE_o είναι η πραγματική οικονομία καυσίμου των επιπέδων του 2001, f_i είναι οι ρυθμιστικοί παράγοντες της οικονομίας καυσίμου (για $f_i>1$ σημειώνεται βελτίωση της οικονομίας καυσίμου, ενώ για $f_i<1$ μείωση), το i αντιπροσωπεύει τον δείκτη του εκάστοτε ρυθμιστικού παράγοντα και το M τον συνολικό αριθμό των διαφορετικών παραγόντων.

Στην συνέχεια δίνονται οι τεχνολογίες που επρόκειτο να έχουν ενσωματωθεί στους κινητήρες βενζίνης και πετρελαίου των οχημάτων του 2015 καθώς και οι επιπτώσεις που υπολογίστηκε ότι θα επέφεραν στην οικονομία καυσίμου (Πίνακας 5.2), ενώ ο

Πίνακας 5.3 παρουσιάζει τα εκτιμώμενα συγκεντρωτικά αποτελέσματα σχετικά με την οικονομία καυσίμου, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO_2 για την γερμανική και βορειοαμερικανική αγορά του 2015. Τα αποτελέσματα αφορούν και πάλι την κατηγορία C των επιβατικών οχημάτων (μέσο βάρος κλάσης 1420 kg), ενώ για την περίπτωση των ελαφρών φορτηγών επιλέχθηκε η κλάση με μέσο όρο βάρους τα 2040 kg.

Όχημα	Ρυθμιστικός παράγοντας	Νέες τεχνολογίες	% διαφορά στην οικονομία καυσίμου (FE)	Τιμή ρυθμιστικού παράγοντα (f_i)
πετρελαιοκίνητο	εκπομπές σωματιδίων	παγίδες φίλτρων	-3	0.97
	εκπομπές NO_x	(παγίδα NO_x) ή καταλύτης SCR με έγχυση ουρίας	(-5) ή -1	(0.95) ή 0.99
	απόδοση κινητήρα	μείωση τριβών	+3	1.03
βενζινοκίνητο	επεξεργασία καυσαερίων	τριοδικός καταλύτης	0	1.00
	απόδοση κινητήρα	άμεσος ψεκασμός – μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων	+3	1.03
	απόδοση κινητήρα	μείωση τριβών	+2	1.02
	απόδοση κινητήρα	καύση φτωχού μίγματος	+2	1.02
Β. Αμερική	κιβώτιο ταχυτήτων – επιβατικών	CVT	+4	1.04
Β. Αμερική	κιβώτιο ταχυτήτων – ελαφρών φορτηγών	6-τάχυτο AT	+4	1.04
Ευρώπη	κιβώτιο ταχυτήτων – επιβατικών	6-τάχυτο ASM	+4	1.04

Πίνακας 5.2: Επίδραση νέων τεχνολογιών στην οικονομία καυσίμου των οχημάτων [30]

		Επιβατικά μέσης κατηγορίας βάρους 1420 kg		Ελαφρά φορτηγά μέσης κατηγορίας βάρους 2040 kg	
		Κατανάλωση καυσίμου (L/100 km)	εκπομπές CO_2 (gCO_2/km)	Κατανάλωση καυσίμου (L/100 km)	εκπομπές CO_2 (gCO_2/km)
Βόρεια Αμερική	βενζίνη	8.4	197	12.1	286
	πετρέλαιο	5.7 (5.9)	150 (156)	-	-
	$\Delta[(D-G)/G]\%$	-32 (-30)	-24 (-21)	-	-
Γερμανία	βενζίνη	8.1	191	10.8	256
	πετρέλαιο	5.7 (6)	152 (158)	8.3 (8.6)	219 (228)
	$\Delta[(D-G)/G]\%$	-29 (-26)	-21 (-17)	-24 (-21)	-14 (-11)

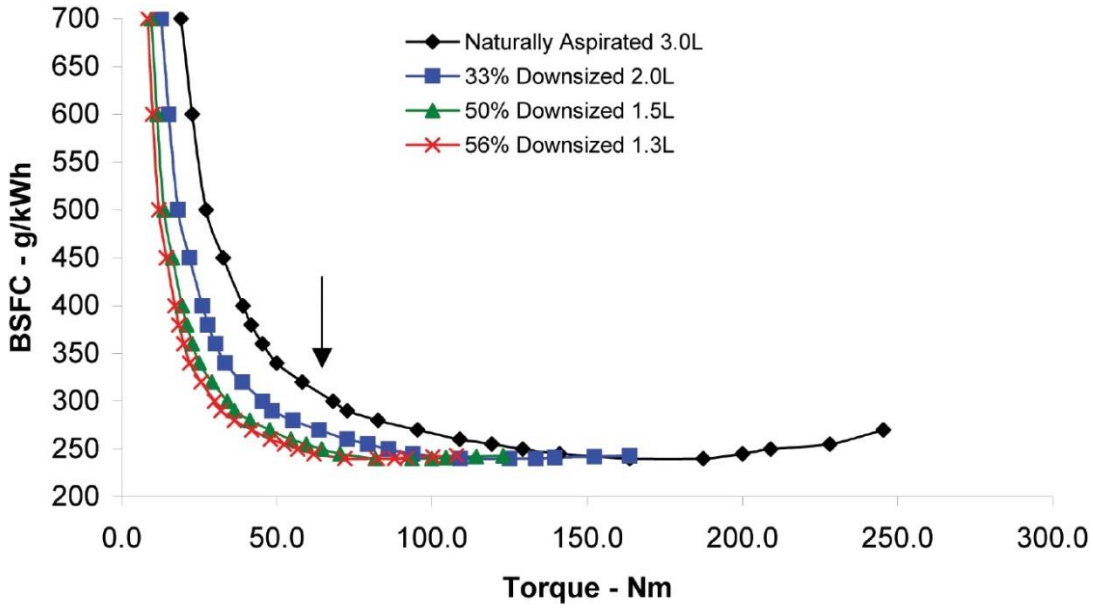
Πίνακας 5.3: Εκτίμηση οικονομίας καυσίμου, κατανάλωσης καυσίμου και μέσων εκπομπές CO_2 για τα οχήματα της βορειοαμερικανικής και γερμανικής αγοράς του 2015 [30]

5.2. Υπερπλήρωση – Downsizing

5.2.1. Πλεονεκτήματα υπερπλήρωσης κινητήρα

Η υπερπλήρωση αυξάνει τη μάζα του αναρροφώμενου αέρα άρα και την παραγόμενη ισχύ σε έναν κινητήρα, επιτρέποντας έτσι την μείωση του μεγέθους του κινητήρα (κοινώς downsizing) διατηρώντας όμως παραπλήσια ή και καλύτερα επίπεδα επιδόσεων. Παράλληλα, όμως, οι απώλειες τριβής (π.χ. έδρανα) και άντλησης (pumping) μειώνονται, συγκριτικά πάντα, σε σχέση με έναν μεγαλύτερο και επομένως βαρύτερο κινητήρα φυσικής αναπνοής βελτιώνοντας τελικά το βαθμό απόδοσης και μειώνοντας κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η μείωση του μεγέθους του κινητήρα που επιτυγχάνεται μέσω της υπερπλήρωσης διευκολύνει την λειτουργία του κινητήρα πιο κοντά στην περιοχή της ελάχιστης κατανάλωσης του χάρτη λειτουργίας του σε σχέση με την περίπτωση που θα ήταν φυσικής αναπνοής και επομένως μεγαλύτερων διαστάσεων.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την υπερπλήρωση και την μείωση του μεγέθους του κινητήρα όσον αφορά την κατανάλωση παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.5.



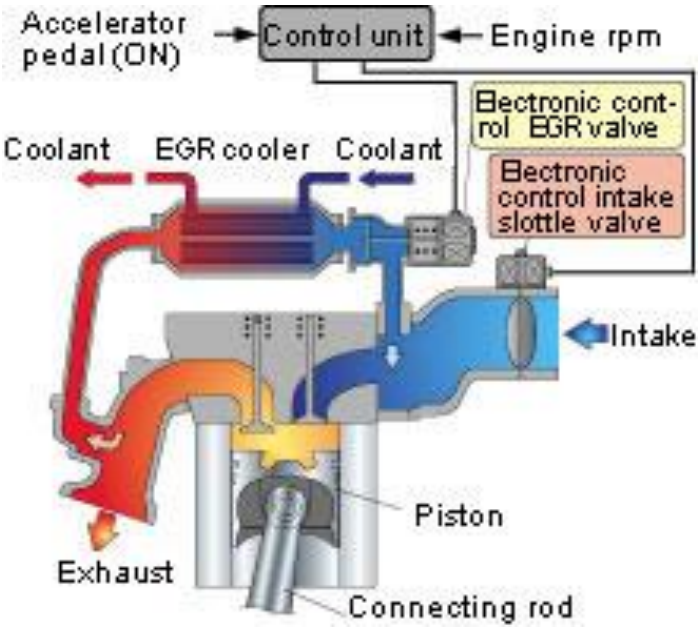
Σχήμα 5.5: Επίδραση της υπερπλήρωσης/downsizing στην ειδική κατανάλωση καυσίμου και την ροπή του κινητήρα [31]

Η περιοχή των χαμηλών και μεσαίων τιμών της ροπής ενός υπερπληρωμένου κινητήρα μικρότερου μεγέθους παρουσιάζει σημαντικές μειώσεις στην ειδική κατανάλωση καυσίμου, σε σχέση με έναν κινητήρα φυσικής αναπνοής, ενώ ταυτόχρονα ο στροβιλο-υπερπληρωμένος κινητήρας έχει την δυνατότητα να λειτουργεί πιο κοντά στην περιοχή ελάχιστης ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε μεγαλύτερο εύρος στροφών και επιβαλλόμενου φορτίου. Τα πλεονεκτήματα αυτά προκύπτουν, όπως προαναφέρθηκε, από μειώσεις στα επίπεδα των τριβών του κινητήρα, λόγω των μικρότερων εμβόλων και των λοιπών κινητών μερών, και στις μικρότερες απώλειες άντλησης κατά την διάρκεια των φάσεων πλήρωσης και κένωσης του θαλάμου καύσης, δεδομένου πάντα ότι στον πετρελαιοκινητήρα απουσιάζει το σύστημα της στραγγαλιστικής διάταξης (throttling valve) που συναντάται στους βενζινοκινητήρες.

Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία της ACEA (2017), η μέση διαφορά εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανάμεσα σε οχήματα με κινητήρες πετρελαίου και βενζίνης το 2017 ήταν μόλις 3,7 gCO_2/km (121,6 gCO_2/km τα βενζινοκίνητα έναντι 117,9 g CO_2/km των πετρελαιοκίνητων) (μειωμένη σε σχέση με το 2016). Οι κύριοι λόγοι εντοπίζονται αφενός στην ευρύτερη χρήση κινητήρων βενζίνης άμεσου ψεκασμού (GDI), όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, αλλά και στην σαφώς πιο εκτεταμένη χρήση στρόβιλο-υπερπλήρωσης πλέον και στα βενζινοκίνητα οχήματα.

5.2.2. Χρήση συστήματος ψυχόμενης ανακυκλοφορίας καυσαερίων

Με την βοήθεια των συστημάτων ψυχόμενης ανακυκλοφορίας καυσαερίων (Cooled EGR) (Σχήμα 5.6), μπορεί να γίνει αραίωση του μίγματος αέρα-καυσίμου και να επιτευχθεί μείωση της θερμοκρασίας της καύσης άρα και μειωμένες εκπομπές οξειδίων αζώτου NO_x. Στο πλήρες φορτίο, ενός βενζινοκινητήρα η πρόσθετη γόμωση πού προέρχεται από το σύστημα ψυχόμενης ανακυκλοφορίας καυσαερίων, μειώνει την ανάγκη για ενίσχυση του μίγματος αέρα-καυσίμου με πρόσθετο καύσιμο και παράλληλα μειώνεται η πιθανότητα κρουστικής καύσης. Αυτή η μικρότερη ευαισθησία στην κρουστική καύση προσφέρει επιπλέον δυνατότητα μείωσης του κυβισμού του κινητήρα, με συνεπακόλουθες μειώσεις στις απώλειες τριβής και άντλησης λόγω του μικρότερου μεγέθους. Σύμφωνα με την Αμερικανική NHTSA [32], ως κινητήρες υψηλής μέσης πραγματικής πίεσης κυλίνδρου (BMEP), λαμβάνονται υπόψιν οι κινητήρες που χρησιμοποιούν άμεσο ψεκασμό, μεταβλητό χρονισμό βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής και σύστημα διακριτής ή συνεχούς μεταβολής του ανοίγματος των βαλβίδων. Για την κατηγορία κινητήρων πολύ υψηλού BMEP, οι τελευταίες προδιαγραφές CAFE [33] προτείνουν χρήση συστήματος ψυχόμενης ανακυκλοφορίας καυσαερίων διπλού βρόγχου, που αποτελείται από βρόγχο υψηλής και χαμηλής πίεσης με διπλό εναλλάκτη για την ψύξη των καυσαερίων. Στις ίδιες προδιαγραφές εξετάζονται τέσσερα διαφορετικά επίπεδα υπερπληρωμένων κινητήρων υψηλής μέσης πραγματικής πίεσης κυλίνδρου, που ανήκουν στην φιλοσοφία του downsize. Τα επίπεδα αυτά παρουσιάζονται στην συνέχεια μαζί με τα επίπεδα BMEP, το ποσοστό του downsizing, την χρήση συστήματος EGR, την απαιτούμενη πίεση υπερπλήρωσης και το σύστημα υπερπλήρωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Πίνακας 5.4).



Σχήμα 5.6: Σύστημα ψυχόμενης ανακυκλοφορίας καυσαερίων (Cooled Exhaust Gas Recirculation) [34]

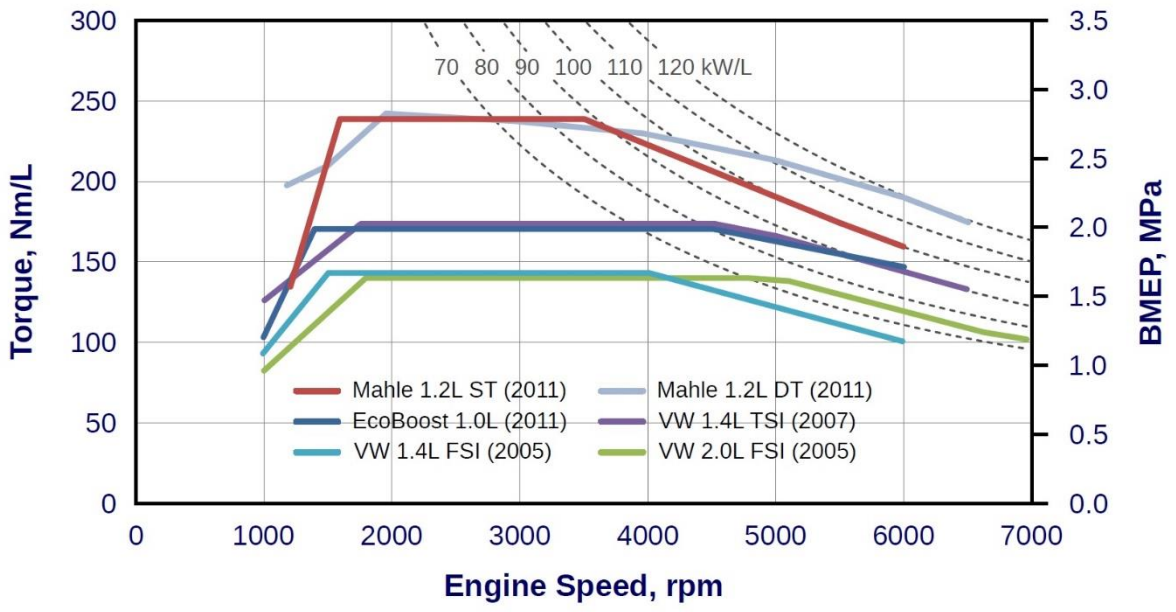
Κατηγορία υπερπλήρωσης	BMEP (bar)	Downsizing (%)	Cooled EGR	Απόλυτη πίεση υπερπλήρωσης (bar)	Σύστημα υπερπλήρωσης
Turbocharging and downsizing – Level 1	18	33	No	~1.7	Μονός υπερπληρωτής για κινητήρες διάταξης σε σειρά με βαλβίδα ανακύφισης Διπλός υπερπληρωτής για κινητήρες διάταξης V με βαλβίδα ανακύφισης
Turbocharging and downsizing – Level 2	24	50	No	2.0	Υπερπληρωτής μεταβλητής γεωμετρίας
Cooled EGR – Level 1	24	50	Yes	2.0	Υπερπληρωτής μεταβλητής γεωμετρίας
Cooled EGR – Level 2	27	56	Yes	2.3	Υπερπληρωτής 2 βαθμίδων

Πίνακας 5.4: Συστήματα υπερπλήρωσης για υπερπληρωμένους downsized κινητήρες Otto [33]

5.2.3. Εφαρμογές downsized κινητήρων

Οι περισσότεροι κατασκευαστές οχημάτων έχουν εισάγει στη αγορά, οχήματα που χρησιμοποιούν υπερπληρωμένους κινητήρες μικρότερου όγκου εμβολισμού (downsized), ως υποκατάσταση κινητήρων φυσικής αναπνοής μεγαλύτερου κυβισμού με στόχο την βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμου διατηρώντας παραπλήσια επίπεδα επιδόσεων. Για την καλύτερη αίσθηση της επίδρασης της τάσης της υπερπλήρωσης και του downsizing στους σημερινούς κινητήρες, στο

Σχήμα 5.7 παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα της καμπύλης ροπής, σε υψηλό φορτίο, υπερπληρωμένων βενζινοκινητήρων κυβισμού μικρότερου από 2.0 L.



Σχήμα 5.7: Διαγράμματα ροπής ορισμένων υπερπληρωμένων κινητήρων βενζίνης τεχνολογίας άμεσου ψεκασμού (GDI) σε υψηλό φορτίο [35]

Εξετάζοντας τα παραδείγματα των κινητήρων μονού υπερπληρωτή 1.4L FSI (200Nm/90kW) και 2.0L FSI (280Nm/147kW) της Volkswagen, διαπιστώνει κανείς ότι είχαν μέγιστη BMEP περίπου 1.8 MPa και συγκέντρωση ισχύος 75 kW/L. Επίσης από το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει μια σχέση «ανταλλαγής» ανάμεσα στη συγκέντρωση ισχύος του κινητήρα και την ελάχιστη ταχύτητα περιστροφής στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη ροπή. Οι παραπάνω τιμές επιδόσεων των κινητήρων σχηματίζουν μια βάση αναφοράς που αντανακλά την οικονομικά αποδεκτή τεχνολογία, που ήταν διαθέσιμη στους κατασκευαστές κινητήρων, για μαζική παραγωγή ενός κινητήρα βενζίνης άμεσου ψεκασμού με υπερπλήρωση στα μέσα της δεκαετίας του 2000. Για την επίτευξη μεγαλύτερης BMEP της τάξης των 2.2 MPa, το 2007 η Volkswagen διέθεσε στην αγορά έναν κινητήρα με διαθέσιμη μέγιστη τιμή ροπής σε μεγαλύτερο εύρος στροφών του κινητήρα, με συγκέντρωση ισχύος 90 kW/L. Ο κινητήρας 1.4L TSI (240Nm/125kW) της Volkswagen για να πετύχει τις παραπάνω τιμές επιδόσεων έκανε χρήση ενός συνδυασμού δύο συμπιεστών, ενός μηχανικού συμπιεστή (supercharger) και ενός στροβιλο-υπερπληρωτή καυσαερίων (turbocharger) [35]. Το 2011, η Ford ανακοίνωσε τον κινητήρα 1.0L EcoBoost (170Nm-200Nm overboost/93kW), όπου η τιμή της ειδικής ροπής και ισχύος ήταν παρόμοια με τον κινητήρα 1.4L TSI (240Nm/125kW) της Volkswagen, χρησιμοποιώντας όμως έναν μόνο στροβιλο-υπερπληρωτή με βαλβίδα παράκαμψης καυσαερίου. Ο κινητήρας της Ford παρουσίασε σημαντική μείωση στην ελάχιστη τιμή των στροφών του κινητήρα όπου ξεκινάει να γίνεται διαθέσιμη η μέγιστη ροπή του. Η διαθεσιμότητα της μέγιστης ροπής του κινητήρα σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, είναι μια κρίσιμη απαίτηση για την επίτευξη χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου [35], σχετιζόμενη άμεσα με την κίνηση του οχήματος εντός πόλης. Ο Πίνακας 5.5 παρουσιάζει στοιχεία ορισμένων 3-κύλινδρων downsized κινητήρων βενζίνης της αγοράς.

Κατασκευαστής	Κινητήρας	Ισχύς
Ford	1.0L 3-κύλινδρος, υπερπληρωμένος	123 HP
Mercedes-Benz/ Smart/Mitsubishi	1.0L 3-κύλινδρος, υπερπληρωμένος	84 HP
BMW	1.5L 3-κύλινδρος, υπερπληρωμένος	120-122 HP
Volkswagen	1.0L 3-κύλινδρος, υπερπληρωμένος	110 HP
GM/Opel	1.0L 3-κύλινδρος, υπερπληρωμένος	115 HP
Mercedes-Benz/Renault	0.9L 3-κύλινδρος, υπερπληρωμένος	90 HP
Honda	1.0L 3-κύλινδρος, υπερπληρωμένος	127 HP

Πίνακας 5.5: Παραδείγματα downsized υπερπληρωμένων 3-κύλινδρων κινητήρων διαφόρων κατασκευαστών [31]

5.2.4. Εκτιμήσεις μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου με εφαρμογή τεχνολογιών υπερπλήρωσης

Η τάση ενσωμάτωσης υπερπληρωμένων κινητήρων στα παραγόμενα οχήματα είναι σταθερά ανοδική από το 2008. Ο Πίνακας 5.6 δείχνει ότι τα ποσοστά των επιβατικών οχημάτων και ελαφρών φορτηγών με κινητήρες, που χρησιμοποιούν σύστημα υπερπλήρωσης, αυξήθηκε στο 14,8% το έτος 2013 στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών. Η τάση αυτή αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια [31] (παρόμοια ισχύουν και στην Ευρωπαϊκή αγορά).

Έτος	Ποσοστό (%)
2008	3.0
2009	3.3
2010	3.3
2011	6.8
2012	8.4
2013	14.8

Πίνακας 5.6: Ποσοστό οχημάτων με υπερπληρωμένο κινητήρα στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [31]

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις του αμερικανικού οργανισμού NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) [32], σχετικά με τις ποσοστιαίες μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου που μπορεί να επέλθουν με την χρήση τεχνολογιών υπερπλήρωσης σε σχέση με κινητήρα αναφοράς φυσικής αναπνοής, με σταθερό χρονισμό και σταθερή βύθιση βαλβίδων (Πίνακας 5.7).

Τεχνολογία κινητήρα	Ποσοστιαία μείωση στην κατανάλωση καυσίμου (%)
18 bar BMEP	12.1 – 14.9
24 bar BMEP	16.4 – 20.1
24 bar BMEP με ανακυκλοφορία καυσαερίου	19.3 – 23.0
27 bar BMEP με ανακυκλοφορία καυσαερίου	17.6 – 24.6

Πίνακας 5.7: Ποσοστιαίες μειώσεις της κατανάλωσης καυσίμου που μπορεί να επέλθουν με την χρήση διαφορετικών τεχνολογιών υπερπλήρωσης [32]

5.3. Παύση της λειτουργίας του κινητήρα κατά τα διαστήματα ακινησίας (Idle stop-start)

Κατά τα διαστήματα ακινησίας ενός οχήματος ή κατά την διάρκεια της πέδησης όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί, συνεχίζει να γίνεται κατανάλωση καυσίμου από τον κινητήρα χωρίς όμως η ενέργεια από το καύσιμο που καίγεται να αξιοποιείται για τις ανάγκες κίνησης του οχήματος. Η (μικρή σε κάθε περίπτωση) ποσότητα του καυσίμου που καίγεται κατά την διάρκεια αυτών των διαστημάτων στάσης θα μπορούσε να αποταμιευθεί αν το όχημα ήταν εφοδιασμένο με σύστημα απενεργοποίησης του κινητήρα (start-stop) κατά τις περιόδους ακινησίας του. Το σύστημα start-stop απενεργοποιεί και επανεκκινεί τον κινητήρα αυτόματα ανάλογα με τις εντολές που λαμβάνει από την μονάδα ελέγχου του (ECU). Με αποφυγή της καύσης ορισμένης ποσότητας καυσίμου επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών CO_2 του οχήματος.

Η λειτουργία ενός συστήματος start-stop εξαρτάται από την στρατηγική του σχεδιασμού του, δηλαδή αν η απενεργοποίηση του κινητήρα λαμβάνει χώρα με το σταμάτημα του οχήματος, ή αν γίνεται κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο ταχύτητας κατά την διάρκεια της επιβράδυνσής του. Ο κινητήρας εκκινεί ξανά, όταν ο οδηγός του οχήματος επιθυμήσει να επιταχύνει, ή μετά από δύο με τρία πατήματα του πεντάλ του φρένου ώστε να δουλέψει το υδραυλικό κύκλωμα της πέδησης.

Οι αυστηρότερες απαιτήσεις τον προδιαγραφών εκπομπής CO_2 έχουν αναγκάσει τους κατασκευαστές οχημάτων να ενσωματώσουν συστήματα start-stop στο μεγαλύτερο ποσοστό των στόλων τους. Αυτό ισχύει πρωτίστως για τα Ευρωπαϊκά και Ιαπωνικά οχήματα, μια και το ποσοστό άφορτης λειτουργίας (ρελαντί) κατά τη διάρκεια του Ευρωπαϊκού Κύκλου Πόλης NEDC (αλλά και του αντίστοιχου Ιαπωνικού) είναι ιδιαίτερα υψηλά (υψηλότερα από τα αντίστοιχα των Αμερικανικών Κύκλων πιστοποίησης αλλά και του Παγκόσμιου κύκλου WLTC) [11].

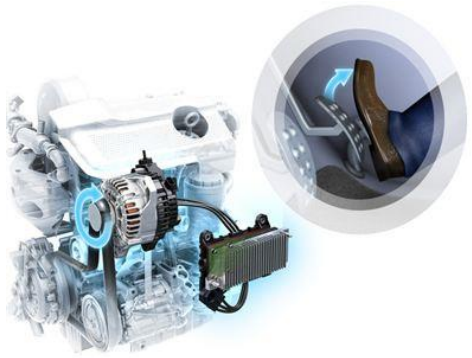
5.3.1. Τύποι εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων start-stop

Αρκετοί κατασκευαστές οχημάτων όπως η BMW, η Mazda, η Honda και η Volkswagen έχουν αναπτύξει τα δικά τους συστήματα start-stop αλλά τέσσερις είναι οι εταιρείες που κυρίως προμηθεύουν τους κατασκευαστές με τέτοια συστήματα (Bosch, Denso, Ina-Schaeffler και Valeo). Τα συστήματα start-stop που κυκλοφορούν σήμερα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες [36]:

- Συνδυασμένο σύστημα μίζας/δυναμό - Belt Driven Starter Generator
- Ενισχυμένη μίζα - Enhanced Starter
- Εκκίνηση με ψεκασμό και ανάφλεξη - Direct Starter
- Ενσωματωμένο σύστημα εκκίνησης στην στροφαλοφόρο - Integrated Starter Generator

5.3.1.1. Συνδυασμένο σύστημα μίζας/δυναμό - Belt Driven Starter Generator

Στο συνδυασμένο σύστημα μίζας/δυναμό, η μίζα και το δυναμό που διαθέτουν τα συμβατικά οχήματα πρέπει να αντικατασταθούν από ένα τροποποιημένο σύστημα που συνδέεται με την στροφαλοφόρο άτρακτο με ιμάντα. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για ανάκτηση ενέργειας κατά το φρενάρισμα. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το i-Stars της Valeo το οποίο απενεργοποιεί τον κινητήρα κάτω από τα 8 km/h και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.8.

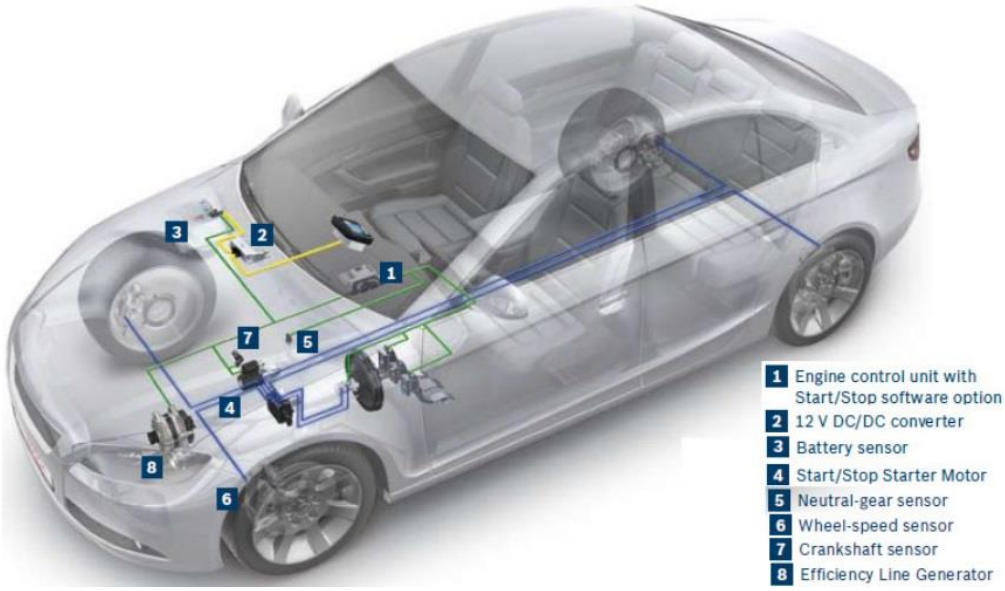


Σχήμα 5.8: Σύστημα start-stop i-StARS της Valeo [37]

5.3.1.2. *Ενισχυμένη μίζα - Enhanced Starter*

Το σύστημα ενισχυμένης μίζας χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη μίζα (Σχήμα 5.9) για τις ανάγκες των πολλαπλών εκκινήσεων. Επίσης, τροποποιήσεις σε αυτό το σύστημα δέχεται και το δυναμό (εναλλάκτης) του κινητήρα, προκειμένου να ανακτά περισσότερη ενέργεια κατά τα διαστήματα πέδησης του οχήματος. Η διάταξη ενός συστήματος τέτοιου τύπου ανεπτυγμένου από την Bosch φαίνεται στο Σχήμα 5.10. Το σύστημα αυτό στην εφαρμογή του στο επιβατικό όχημα Fiat 500 έχει την δυνατότητα να απενεργοποιεί τον κινητήρα κάτω από τα 3 km/h όταν το πεντάλ της επιτάχυνσης αφήνεται για τουλάχιστον 0,5 sec. Με το πάτημα του πεντάλ για την επιτάχυνση του οχήματος, ο κινητήρας ενεργοποιείται και πάλι.

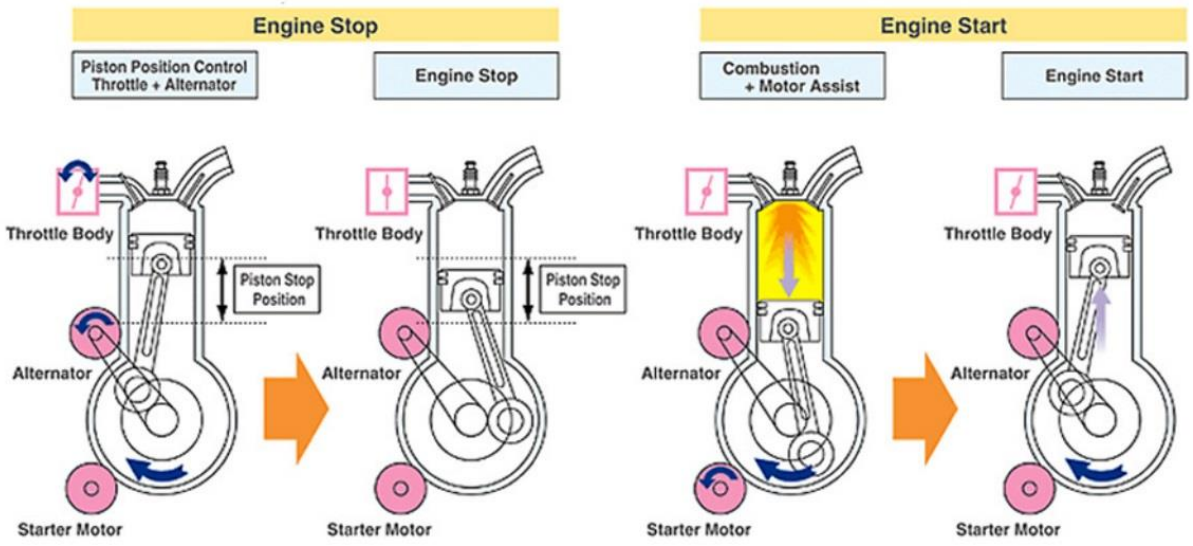
Σχήμα 5.9: Ενισχυμένες μίζες της Bosch για χρήση σε κινητήρες start-stop (Αριστερά μίζα nose-type για χρήση σε επιβατικά και δεξιά noseless-type για χρήση σε heavy duty οχήματα) [36]



Σχήμα 5.10: Σύστημα start-stop τύπου Enhanced Starter της Bosch [36]

5.3.1.3. *Εκκίνηση με ψεκασμό και ανάφλεξη - Direct Starter*

Το σύστημα start-stop εκκίνησης με ψεκασμό και ανάφλεξη μπορεί να εφαρμοσθεί σε κινητήρες τεχνολογίας άμεσου ψεκασμού καυσίμου. Η θέση της στροφαλοφόρου ατράκτου κατά την παύση λειτουργίας του κινητήρα ελέγχεται από το σύστημα ελέγχου, και ψεκάζεται καύσιμο στους κυλίνδρους που τα έμβολα έχουν σταματήσει στην βέλτιστη θέση κατά την διάρκεια της φάσης της αποτόνωσης. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το σύστημα i-Stop της Mazda. Στο σύστημα της Mazda, πραγματοποιείται ψεκασμός και έναυση στους κυλίνδρους που επιλέγει το σύστημα προκειμένου να δημιουργηθεί ώθηση που θα κινήσει τα έμβολα προς το κάτω νεκρό σημείο. Το πιο σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας του συστήματος αυτού είναι η αναγνώριση της θέσης των εμβόλων που βρίσκονται σε φάση συμπίεσης και των εμβόλων που βρίσκονται στην φάση της εκτόνωσης. Όταν τα έμβολα βρίσκονται στη «σωστή» θέση και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος από την μονάδα ελέγχου του συστήματος, επιλέγεται ο αρχικός κύλινδρος που θα γίνει ψεκασμός και έναυση, με την διαδικασία αυτή της συνεχούς επιλογής των κυλίνδρων στους οποίους θα γίνει ο ψεκασμός να συνεχίζεται μέχρι ο κινητήρας να πετύχει την ταχύτητα περιστροφής με την οποία είναι ρυθμισμένος να λειτουργεί στο ρελαντί. Η λειτουργία του συστήματος i-Stop της Mazda παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 5.11.



Σχήμα 5.11: Λειτουργία του start-stop συστήματος i-Stop της Mazda [36]

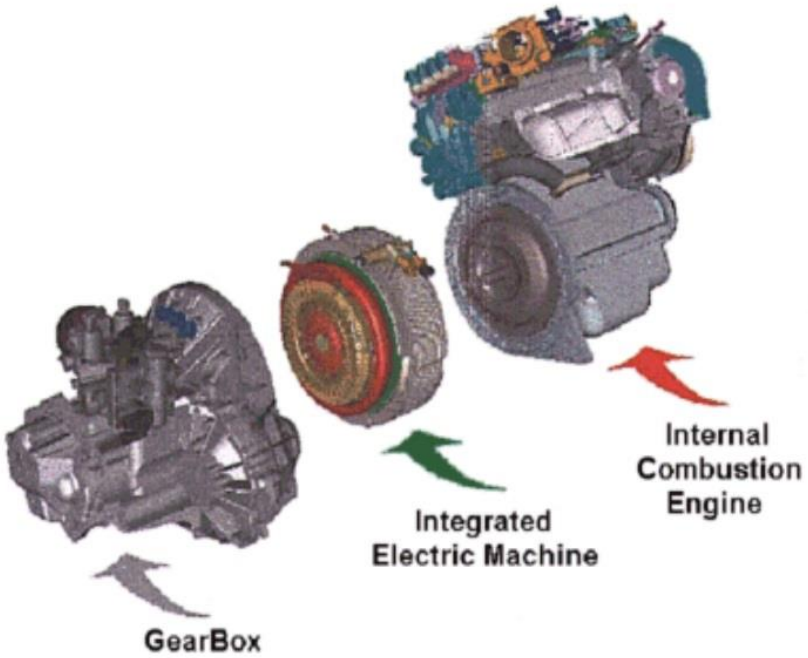
5.3.1.4. *Ενσωματωμένο σύστημα εκκίνησης στον στροφαλοφόρο - Integrated Starter Generator*

Το σύστημα start-stop τύπου ISG (Integrated Starter Generator) (Σχήμα 5.12), συνδυάζει τα συμβατικά συστήματα της μίζας και του δυναμό του αυτοκινήτου σε ένα ενιαίο σύστημα που συνδέεται απευθείας πάνω στην στροφαλοφόρο άτρακτο του κινητήρα. Το ρόλο της μίζας σε αυτό

το ενιαίο σύστημα αναλαμβάνει μια ηλεκτρική μηχανή χαμηλής ταχύτητας, συνεχούς ρεύματος ενώ το δυναμό αντικαθίσταται από μια τριφασική ηλεκτρική μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Το σύστημα ISG με την εφαρμογή του σε έναν κινητήρα, μπορεί να προσφέρει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Απενεργοποίηση λειτουργίας κινητήρα σε ακινησία - Start-stop
- Αναγεννητική πέδηση
- Ενίσχυση ισχύος
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.12: Σύστημα start-stop τύπου ISG, τοποθετημένο ανάμεσα σε κινητήρα και κιβώτιο ταχυτήτων [36]

5.3.2. Μείωση εκπομπών CO_2 από την χρήση συστήματος start-stop

Στην Παραπομπή [38], μια λίστα οχημάτων (Πίνακας 5.8) δοκιμάστηκαν στους κύκλους οδήγησης NEDC και WLTP, προκειμένου να φανεί η επίδραση του συστήματος start-stop στις εκπομπές CO_2. Η επίδραση του συστήματος start-stop στα οχήματα της λίστας, παρουσίασε μείωση των εκπομπών CO_2 κατά 2,5-4,8% στον κύκλο NEDC και 1,2-2,6% στον κύκλο WLTP. Η μεγαλύτερη επίδραση του συστήματος start-stop στον κύκλο NEDC ήταν αναμενόμενη λόγω των μεγαλύτερων διαστημάτων ακινησίας του οχήματος στον κύκλο NEDC έναντι του WLTP. Συγκεκριμένα, το εξεταζόμενο όχημα στέκεται ακίνητο για το 22,6% του συνολικού χρόνου της δοκιμής στον κύκλο NEDC, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για την δοκιμή WLTP είναι 13,4%. Η απενεργοποίηση του συστήματος start-stop μπορεί να μειώσει μέχρι και 20%, ανάλογα με την

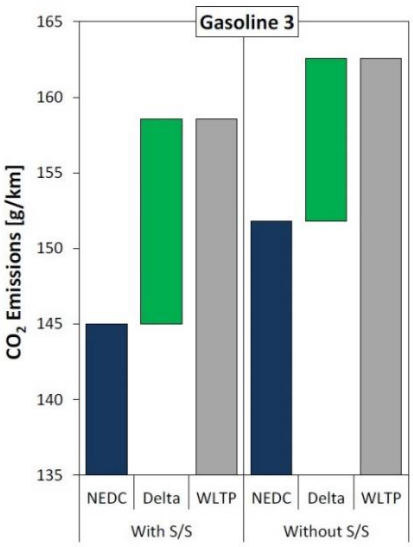
κατανάλωση καυσίμου του εκάστοτε κινητήρα, την διαφορά των εκπομπών CO_2 που προκύπτει ανάμεσα στους δύο κύκλους οδήγησης σε σχέση με την περίπτωση που το σύστημα start-stop είναι ενεργό.

Όχημα	Κιβώτιο ταχυτήτων	Υπερπλήρωση	Βάρος οχήματος (kg)	Κυβισμός κινητήρα (cm^3)	Μέγιστη ισχύς (kW)
Πετρέλαιο 1	Μηχανικό 5-τάχυτο	Ναι	1393	1248	70
Πετρέλαιο 2	Μηχανικό 6-τάχυτο	Ναι	1465	1995	120
Πετρέλαιο 3	Μηχανικό 6-τάχυτο	Ναι	1293	1560	82
Πετρέλαιο 4	Μηχανικό 6-τάχυτο	Ναι	1601	1598	90
Βενζίνη 1	Μηχανικό 5-τάχυτο	Ναι	1102	1197	66
Βενζίνη 2	Μηχανικό 6-τάχυτο	Ναι	1290	1368	125
Βενζίνη 3	Μηχανικό 6-τάχυτο	Ναι	1450	1798	125
Βενζίνη 4	Μηχανικό 5-τάχυτο	Όχι	930	875	77
Βενζίνη 5	Μηχανικό 5-τάχυτο	Όχι	1025	1368	57

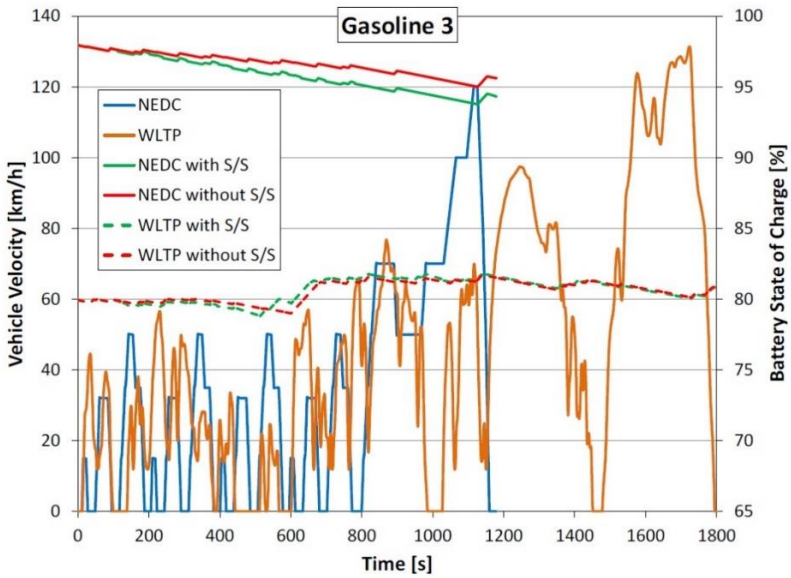
Πίνακας 5.8: Λίστα οχημάτων που εξετάστηκαν στην δοκιμή επίδρασης του συστήματος start-stop στις εκπομπές CO_2 [38]

Στο Σχήμα 5.13 που ακολουθεί παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των εκπομπών CO_2 του 3^{ου} βενζινοκίνητου οχήματος του παραπάνω πίνακα. Η λειτουργία της μίζας του οχήματος σε κάθε ξεκίνημα του κινητήρα μετά από στάση έχει ως αποτέλεσμα την αποφόρτιση της μπαταρίας του οχήματος σε ένα μικρό ποσοστό, κάτι που φαίνεται στο Σχήμα 5.14. Ανάλογα με την στρατηγική βάσει της οποίας έχει γίνει η ρύθμιση της μονάδας ελέγχου του οχήματος, η πτώση του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας μπορεί να ενεργοποιήσει το δυναμό του οχήματος, με συνέπεια την αύξηση του φορτίου του κινητήρα και κατ' επέκταση αύξηση της κατανάλωσης του καυσίμου. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αντισταθμίσει σε ορισμένο βαθμό το όφελος που

προκύπτει από το σύστημα start-stop, ειδικά όταν τα διαστήματα ακινησίας του οχήματος είναι πολύ μικρά.



Σχήμα 5.13: Επίδραση του συστήματος start-stop στης εκπομπές CO_2 βενζινοκίνητου οχήματος που υποβλήθηκε σε δοκιμές NEDC και WLTP [38]



Σχήμα 5.14: Επίδραση του συστήματος start-stop στο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας οχήματος που υποβλήθηκε σε δοκιμές NEDC και WLTP [38]

Επαναλαμβάνεται, τέλος, ότι η βαρύτητα/χρησιμότητα των συστημάτων start-stop στα επιβατικά οχήματα είναι πλέον μικρότερη από ότι προ του Σεπτεμβρίου του 2017, με δεδομένο (βλ. Κεφάλαιο 4) ότι οι κύκλοι WLTC έχουν σαφώς μικρότερο (σχεδόν το μισό) ποσοστό άφορτης λειτουργίας έναντι του NEDC.

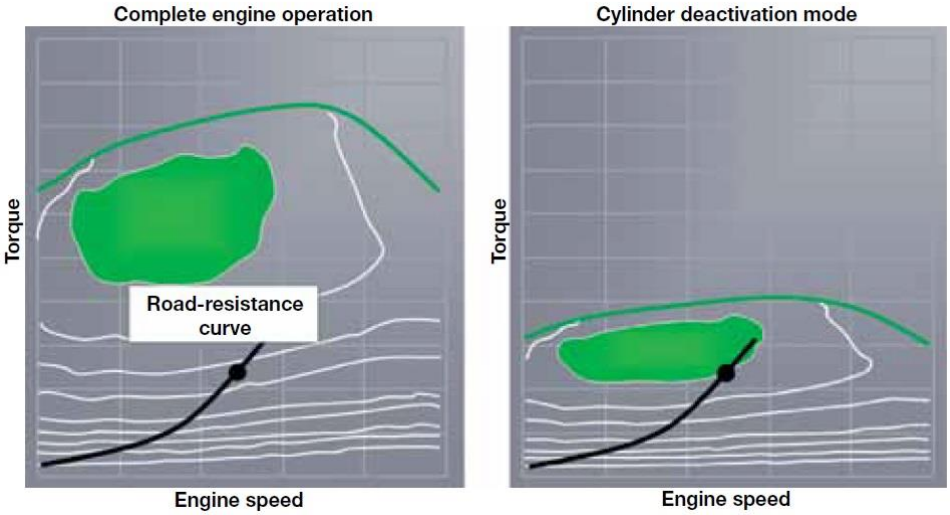
5.4. Απενεργοποίηση κυλίνδρων

5.4.1. Πλεονεκτήματα χρήσης συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα σε μερικό φορτίο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύστημα απενεργοποίησης ορισμένων κυλίνδρων του κινητήρα για τη μείωση των απωλειών λόγω τριβών και άντλησης κατά την κίνηση των εμβόλων. Οι απώλειες άντλησης μειώνονται λόγω του υψηλότερου φορτίου που αναλαμβάνουν οι εναπομείναντες σε λειτουργία κύλινδροι, αφού έτσι σε κινητήρες Otto η ρυθμιστική δικλείδα («πεταλούδα») που στραγγαλίζει την είσοδο του αέρα στον κινητήρα είναι πλέον σε πιο ανοιχτή θέση. Οι απώλειες λόγω τριβής μειώνονται λόγω του χαμηλού φορτίου στους κυλίνδρους που είναι απενεργοποιημένοι, στους οποίους η μέση πίεση έχει περίπου μηδενική τιμή.

5.4.2. Εμπορικές εφαρμογές συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων

Η απενεργοποίηση κυλίνδρων άρχισε να εφαρμόζεται σε 6-κύλινδρους και 8-κύλινδρους κινητήρες (διάταξης V), όπου λόγω κυβισμού παρουσίαζαν χαμηλή απόδοση στα χαμηλά φορτία (Σχήμα 5.15). Προσφάτως όμως, η Volkswagen εισήγαγε στην αγορά ένα σύστημα απενεργοποίησης κυλίνδρων για 4-κύλινδρο κινητήρα διάταξης σειράς 1.4L ονομάζοντας το σύστημά της Active Cylinder Technology. Ο Πίνακας 5.9 παρουσιάζει εφαρμογές απενεργοποίησης κυλίνδρων διαφόρων κατασκευαστών [31].



Σχήμα 5.15: Χάρτης λειτουργίας κινητήρα και καμπύλη αντίστασης δρόμου, (όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, η περιοχή οικονομικής λειτουργίας του κινητήρα προσεγγίζεται στην περίπτωση που το σύστημα απενεργοποίησης των κυλίνδρων είναι ενεργοποιημένο) [39]

Κατασκευαστής	Τύπος Κινητήρα	Τεχνολογία	Κατάσταση
GM	6.0L V8	Pushrod actuation, Switchable rocker arm pivot point	Τέλος παραγωγής 1980
	3.9L V6	Switchable roller tappet	Τέλος παραγωγής 2008
	5.3L V8	Switchable roller tappet	Μαζική παραγωγή
	4.3L V6	Switchable roller tappet	Μαζική παραγωγή
	6.0L V8	Switchable roller tappet	Μαζική παραγωγή
Daimler	5.0L V8	Switchable rocker arm	Τέλος παραγωγής 2005
	5.8L V12	Switchable rocker arm	Τέλος παραγωγής 2002
Chrysler	5.7L V8	Switchable roller tappet	Μαζική παραγωγή
	6.4L V8	Switchable roller tappet	Μαζική παραγωγή
Honda	3.5L V6	Switchable rocker arm	Μαζική παραγωγή
AMG	5.5L V8	Switchable pivot element	Μαζική παραγωγή
Volkswagen Group	1.4L I4	Cam shifting system	Μαζική παραγωγή
	4.0L V8	Cam shifting system	Μαζική παραγωγή
	6 3/4L V8	Switchable roller tappet	Μαζική παραγωγή
	6 3/4L V8	Switchable roller tappet	Μαζική παραγωγή
	6.5L V12	Only the fuel injection supply isCut	Μαζική παραγωγή

Πίνακας 5.9: Εφαρμογές συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων από ορισμένους κατασκευαστές κινητήρων [39]

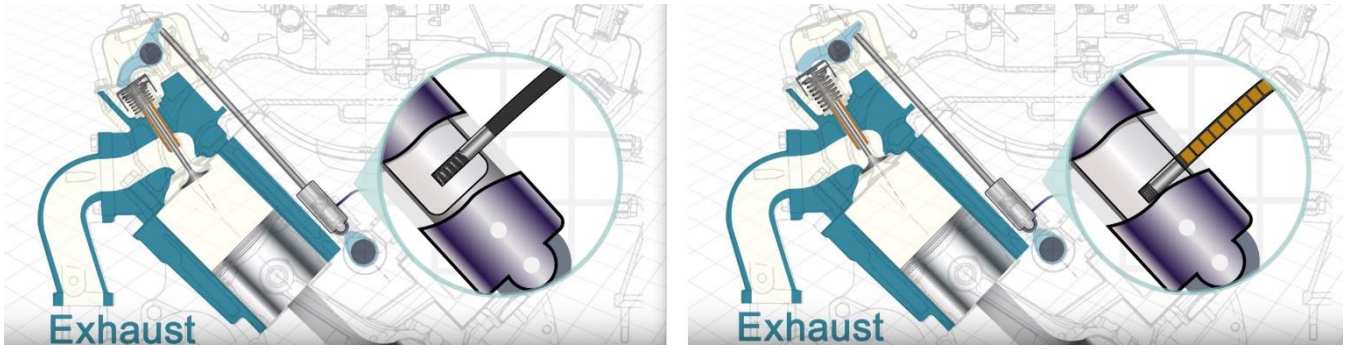
5.4.3. Διάκριση συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων

Για την απενεργοποίηση ενός κυλίνδρου, οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής πρέπει να μείνουν κλειστές. Με τις βαλβίδες κλειστές στον θάλαμο καύσης δημιουργείται ένα «ελατήριο αέρα».

Μέσα στον θάλαμο καύσης παραμένουν τα καυσαέρια από τον τελευταίο κύκλο που ο κύλινδρος ήταν ενεργός, τα οποία συμπιέζονται όταν το έμβολο ανεβαίνει προς τα πάνω και εκτονώνονται με την καθοδική του κίνηση. Αυτή η συμπίεση και εκτόνωση των καυσαερίων έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των τριβών στους απενεργοποιημένους κυλίνδρους. Κατά την απενεργοποίηση των κυλίνδρων, το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα κόβει την παροχή καυσίμου στους απενεργοποιημένους κυλίνδρους. Επίσης, ο χρονισμός των βαλβίδων (και του σπινθηρισμού σε κινητήρες Otto) μεταβάλλονται προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η μετάβαση από την πλήρη λειτουργία του κινητήρα στην απενεργοποίηση των καθορισμένων κυλίνδρων, θα είναι ανεπαίσθητη.

5.4.3.1. Απενεργοποίηση κυλίνδρων σε κινητήρες τεχνολογίας με βαλβίδες επικεφαλής (overhead valve)

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες απενεργοποίησης κυλίνδρων. Η πρώτη κατηγορία εφαρμόζεται στους κινητήρες που χρησιμοποιούν ωστήριες ράβδους, όπου με την βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων το λάδι που παρέχεται στα ωστήρια διαρρέει μέσα από αυτά. Ως αποτέλεσμα, η ωστήρια ράβδος δεν μετατοπίζεται και έτσι οι αντίστοιχες βαλβίδες των κυλίνδρων που πρόκειται να απενεργοποιηθούν, παραμένουν κλειστές (Σχήμα 5.16) [31].

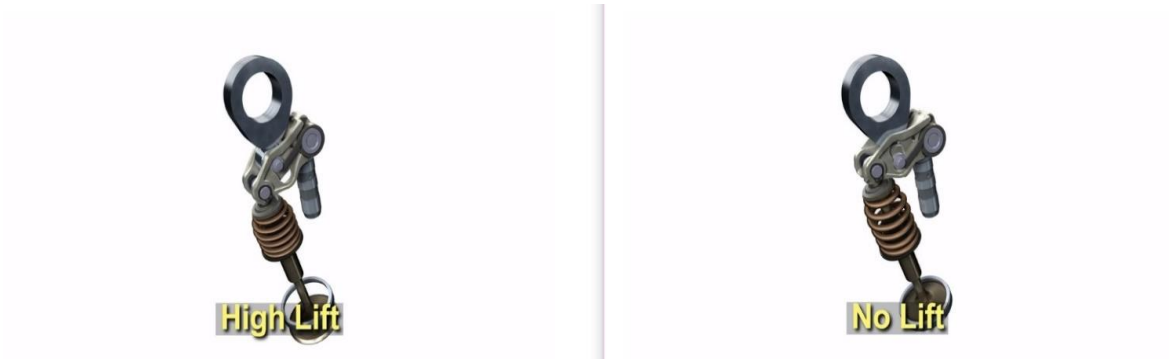


Σχήμα 5.16: Διατήρηση βαλβίδων σε κλειστή θέση κατά την απενεργοποίηση κυλίνδρων σε κινητήρα με ωστήριες ράβδους (στην αριστερή εικόνα η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα δεν επιτρέπει την διαρροή λαδιού από το ωστήριο και η βαλβίδα ανοίγει, στην δεξιά εικόνα το λάδι διαρρέει από το ωστήριο και η ωστήρια ράβδος δεν μετατοπίζεται με αποτέλεσμα η βαλβίδα να παραμένει κλειστή) [40]

5.4.3.2. Απενεργοποίηση κυλίνδρων σε κινητήρες με εκκεντροφόρους επικεφαλής (SOCH και DOCH)

Η δεύτερη κατηγορία απενεργοποίησης κυλίνδρων συναντάται στους κινητήρες με επικεφαλής εκκεντροφόρους. Σε αυτή την προσέγγιση, η βύθιση των βαλβίδων επιτυγχάνεται από ένα

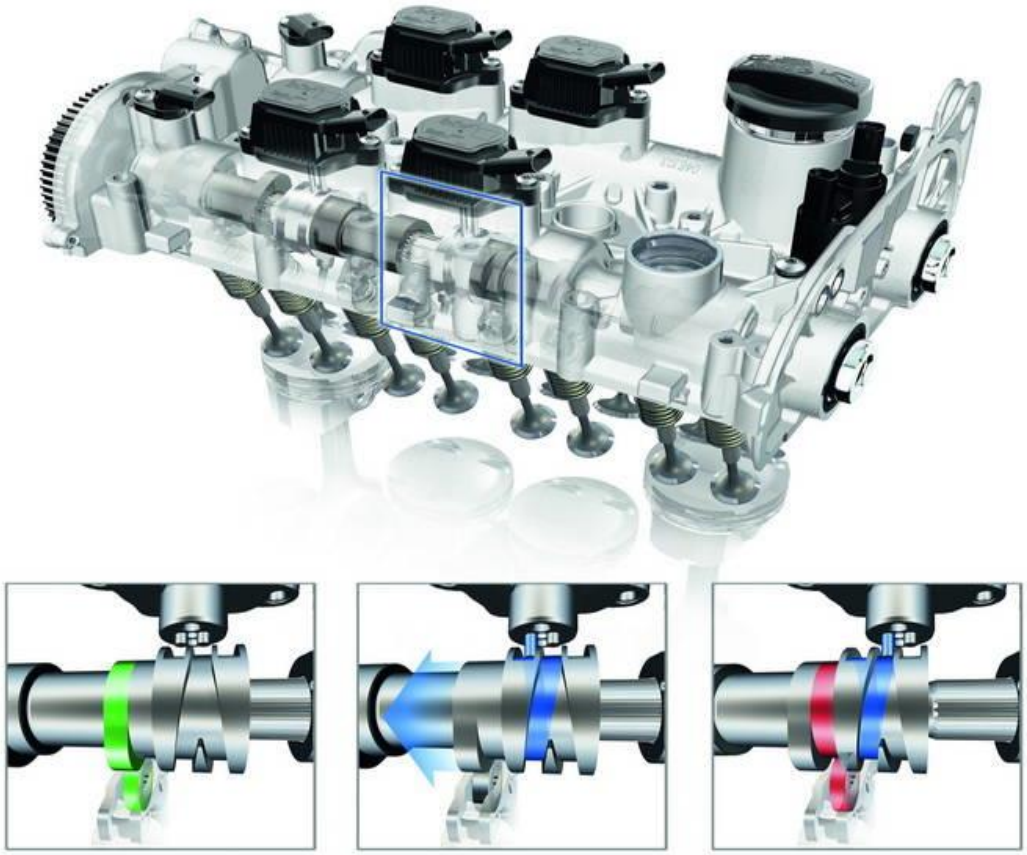
ζύγωθρο που αποτελείται από δύο συνδεδεμένα τμήματα. Στην περίπτωση που χρειάζεται να γίνει απενεργοποίηση του κυλίνδρου, τα δύο τμήματα του ζυγώθρου αποσυνδέονται, λόγω εντολής που δίνει μια βαλβίδα που ελέγχει την ροή λαδιού στον πείρο που συγκρατεί τα δύο τμήματα ενωμένα, με αποτέλεσμα το ένα μέρος του ζυγώθρου να ακολουθεί την κίνηση του εκκεντροφόρου, ενώ το δεύτερο, που χρησιμοποιείται ως ενεργοποιητής της βαλβίδας, όντας αποκομμένο από το υπόλοιπο τμήμα του ζυγώθρου, μένει ακίνητο (Σχήμα 5.17). Με αυτόν τον τρόπο η βαλβίδα παραμένει κλειστή.



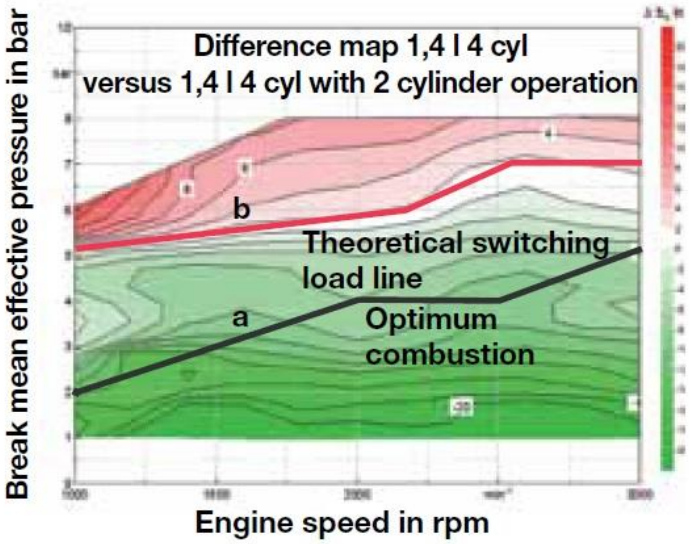
Σχήμα 5.17: Σύστημα διατήρησης της βαλβίδας σε κλειστή θέση κατά την απενεργοποίηση κυλίνδρων σε κινητήρα με επικεφαλής εκκεντροφόρους [41]

5.4.3.3. Σύστημα απενεργοποίησης κυλίνδρων Active Cylinder Technology της Volkswagen

Ένα διαφοροποιημένο σύστημα απενεργοποίησης κυλίνδρων, που εφαρμόζεται σε κινητήρες με επικεφαλής εκκεντροφόρους, είναι το σύστημα Active Cylinder Technology της Volkswagen, το οποίο χρησιμοποιεί εκκεντροφόρο που φέρει διπλούς λοβούς. Ο πρώτος λοβός είναι αυτός που κατά την κανονική λειτουργία του κινητήρα βυθίζει την βαλβίδα στο προκαθορισμένο άνοιγμά της, ενώ ο δεύτερο λοβός δεν έχει έκκεντρο προφίλ με αποτέλεσμα να μην βυθίζει καθόλου την βαλβίδα. Το σύστημα του διπλού λοβού μετατοπίζεται πάνω στην διεύθυνση του εκκεντροφόρου άξονα με την βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών ενεργοποιητών, και έτσι κάθε φορά επιλέγεται ο λοβός στον οποίο θα υπακούει η βαλβίδα (Σχήμα 5.18). Κατά την απενεργοποίηση των κυλίνδρων παράλληλα με τον χειρισμό των βαλβίδων κόβεται και η παροχή καυσίμου στους αντίστοιχους κυλίνδρους. Η Volkswagen μέσω αυτού του συστήματος αναφέρει μείωση στην κατανάλωση καυσίμου έως και 8,5% στον κύκλο NEDC (Σχήμα 5.19) [31].



Σχήμα 5.18: Σύστημα απενεργοποίησης κυλίνδρων της Volkswagen (Active Cylinder Technology) [42]



Σχήμα 5.19: Μείωση κατανάλωσης καυσίμου ως αποτέλεσμα της απενεργοποίησης κυλίνδρων στον κινητήρα 1.4L της Volkswagen [39]

5.4.4. Εκτιμώμενη μείωση κατανάλωσης καυσίμου από την χρήση συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων

Οι εκτιμώμενες μειώσεις που προκύπτουν από την χρήση συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων σύμφωνα με τον αμερικανικό οργανισμό NHTSA (Πίνακας 5.10). Ο οργανισμός εκτίμησε ότι η απενεργοποίηση κυλίνδρων σε κινητήρες με ωστήριες ράβδους (OHV engine – Overhead Valve engine), μπορεί να επιφέρει μείωση της κατανάλωσης σε ποσοστό 5,5% δεδομένου ότι οι κινητήρες αυτοί δεν χρησιμοποιούν συστήματα μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων τόσο στις βαλβίδες εισαγωγής όσο και στις βαλβίδες εξαγωγής καθώς και σύστημα μεταβλητής βύθισης των βαλβίδων. Ωστόσο για την εκτίμηση της εξοικονόμησης καυσίμου στους κινητήρες SOHC (Single Overhead Camshaft) και DOHC (Dual Overhead Camshaft) εκτιμήθηκε ότι εφαρμογή του συστήματος απενεργοποίησης των κυλίνδρων θα γίνει με ήδη ενσωματωμένα τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού και μεταβλητής βύθισης των βαλβίδων, καταλήγοντας σε ένα ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου κάτω του 1%.

Τεχνολογία κινητήρα	Μείωση κατανάλωσης καυσίμου (%)
Dual Overhead Camshaft [a]	0,7
Single Overhead Camshaft [a]	0,7
Overhead Valve [b]	5,5
[a] V6 – applied after Dual Camshaft Phasing and Variable Valve Lift [b] V8 – applied before Variable Valve Timing and Variable Valve Lift	

Πίνακας 5.10: Εκτιμώμενη μείωση κατανάλωσης καυσίμου από χρήση συστημάτων απενεργοποίησης κυλίνδρων σε κινητήρες V6 και V8 [31]

5.5. Μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων (VVT)

5.5.1. Πλεονεκτήματα χρήσης συστημάτων μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων

Στους κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι διαδικασίες ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων του θαλάμου καύσης, καθώς και η χρονική στιγμή που αυτές συμβαίνουν, έχουν πολύ μεγάλη σημασία στην απόδοση και τις εκπομπές του κινητήρα. Στους συμβατικούς κινητήρες, που είχαν σταθερό χρονισμό βαλβίδων, με τον εκκεντροφόρο άξονα να είναι σταθερά συγχρονισμένος με την στροφαλοφόρο άτρακτο, γινόταν πάντα κατά τον σχεδιασμό τους ένας συμβιβασμός ανάμεσα στην απόδοση, τις επιδόσεις και την μέγιστη ισχύ του κινητήρα. Με την χρήση των συστημάτων μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων (Variable VALVE Timing – VVT), είναι δυνατόν να γίνει έλεγχος του χρονισμού και του βυθίσματος των βαλβίδων σε κάθε σημείο λειτουργίας του

κινητήρα, με αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση της απόδοσής του σε όλο το φάσμα των στροφών του. Για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ρύθμισης των βαλβίδων, έχουν επινοηθεί πολλοί διαφορετικοί μηχανισμοί και κάποιοι από αυτούς βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στους κινητήρες των σημερινών οχημάτων.

Μια λύση για την αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων είναι και η ανεξάρτητη ενεργοποίηση των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, άσχετα με την θέση των εμβόλων του κινητήρα, χωρίς την χρήση εκκεντροφόρου άξονα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των κινητήρων σπινθηρισμού αποτελούν οι απώλειες ισχύος που προκύπτουν κατά την φάση της εισαγωγής, όπου ο θάλαμος καύσης πληρώνεται με ατμοσφαιρικό αέρα, καθώς και κατά την φάση της εξαγωγής, όπου πραγματοποιείται κένωση τον καυσαερίων. Αυτές οι απώλειες (άντλησης) οφείλονται στην θέση της βαλβίδας στραγγαλισμού (throttle valve) και είναι υψηλές όταν η βαλβίδα τείνει να είναι κλειστή και λιγότερες όταν η βαλβίδα είναι στην πλήρως ανοιχτή θέση της. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι αυτές οι απώλειες είναι αντιστρόφως ανάλογες με το φορτίο στο οποίο λειτουργεί ο κινητήρας. Στην περίπτωση που δεν υπήρχε βαλβίδα στραγγαλισμού, η διαχείριση του μίγματος αέρα-καυσίμου θα μπορούσε να γίνει μέσα από την διαφοροποίηση της περιόδου ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής και εδώ φαίνεται η μεγάλη προοπτική που υπάρχει για την μείωση των απωλειών άντλησης ατμοσφαιρικού αέρα και καυσαερίων μέσα από συστήματα VVT. Επίσης, τα συστήματα VVT μπορούν να βοηθήσουν και στον έλεγχο του εναπομείναντος κλάσματος καυσαερίου του προηγούμενου κύκλου (residual gas) μέσα στον θάλαμο καύσης. Η μάζα των καυσαερίων που κάθε φορά παραμένει στον θάλαμο καύσης, ελέγχεται από την επικάλυψη των βαλβίδων και σε αντίθεση με τους κινητήρες που φέρουν σύστημα VVT, στους συμβατικούς κινητήρες δεν γίνεται ρύθμιση του χρόνου της επικάλυψης, καθώς αυτή είναι σταθερή σε όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα. Οι βαλβίδες εισαγωγής είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος της λειτουργίας του κινητήρα καθώς από αυτές κυρίως εξαρτάται ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης (πλήρωσης) του κινητήρα. Από τις βαλβίδες εξαγωγής ελέγχεται το ποσοστό των καυσαερίων που παραμένει στον θάλαμο καύσης μετά την ολοκλήρωση ενός κύκλου του κινητήρα και με τον έλεγχο αυτού του ποσοστού μπορεί να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών NO_x.

Για την αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη λειτουργία του κινητήρα οι κινήσεις των βαλβίδων θα πρέπει να μπορούν να διαφοροποιούνται ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής και το φορτίο του κινητήρα.

5.5.2. Φάσεις βαλβίδων στους συμβατικούς κινητήρες σπινθηρισμού

- Άνοιγμα βαλβίδας εισαγωγή (IVO – Intake Valve Opening)

Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει και το μίγμα αέρα καυσίμου αναρροφάται στον κύλινδρο καθώς το έμβολο εισέρχεται ξεκινώντας από το άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ / TDC – Top Dead Center). Συνεχίζει να μένει ανοιχτεί μέχρι που το έμβολο φτάνει στο κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ / ΚΝΣ – Bottom Dead Center). Γενικά, το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής συμβαίνει περίπου 10° πριν το ΑΝΣ κατά της φάση της εξαγωγής. Από την στιγμή που πραγματοποιείται το άνοιγμα της

βαλβίδας εισαγωγής και μέχρι να κλείσει η βαλβίδα εξαγωγής, συμβαίνει η επικάλυψη (overlapping).

- Κλείσιμο βαλβίδας εξαγωγής (EVC – Exhaust ValveClosing)

Η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει όταν τα περισσότερα από τα καυσαέρια που βρίσκονται στον θάλαμο καύσης διαρρεύσουν στην πολλαπλή εξαγωγή. Τότε επέρχεται και το τέλος της φάσης της εξαγωγής και την ίδια στιγμή σταματάει και η επικάλυψη των βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής. Το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής συνήθως συμβαίνει 10° μετά το ΑΝΣ κατά την φάση της εισαγωγής.

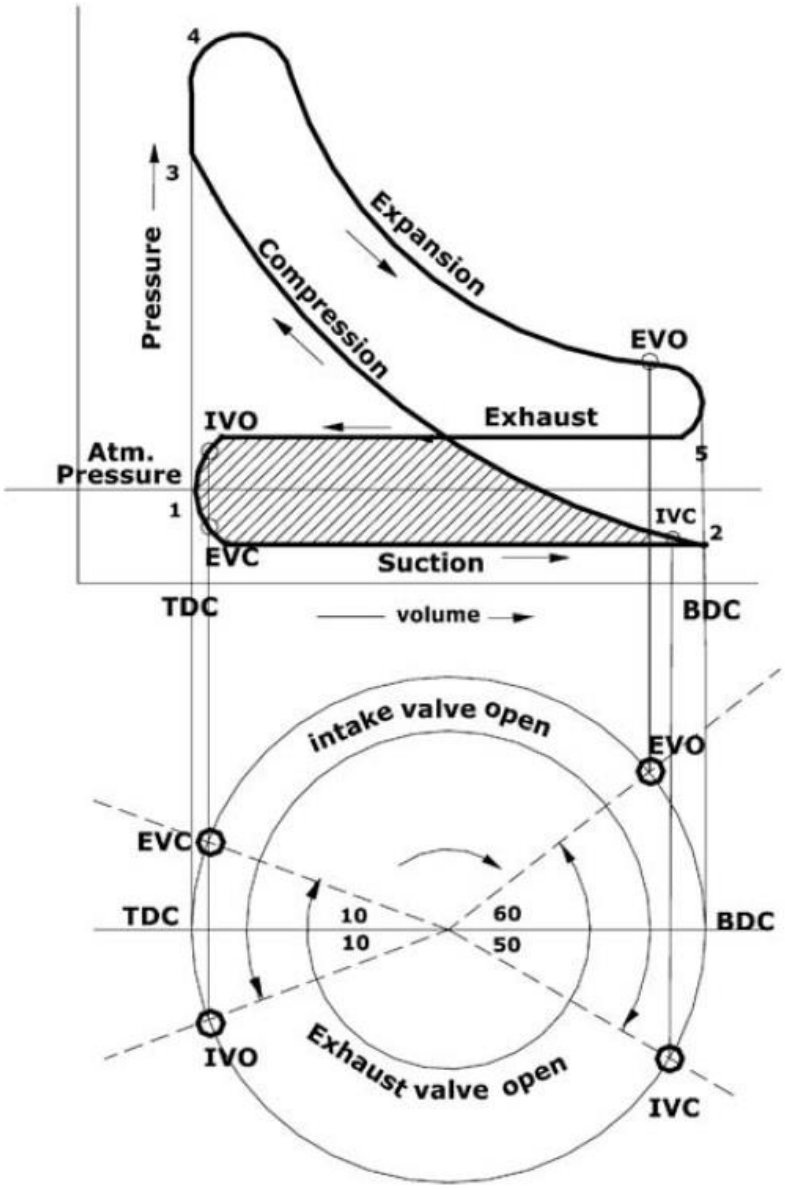
- Κλείσιμο βαλβίδας εισαγωγής (IVC – Intake Valve Closing)

Με το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής σταματάει η φάση της εισαγωγής και ξεκινάει η συμπίεση. Η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει περίπου 50° μετά το ΚΝΣ κατά την φάση της συμπίεσης.

- Άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής (EVO – Exhaust Valve Opening)

Με το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής τελειώνει η εκτόνωση και αρχίζει η φάση εξαγωγής των καυσαερίων. Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει περίπου 60° μετά το ΚΝΣ.

Στην περιγραφή των παραπάνω φάσεων, οι γωνίες στις οποίες αντιστοιχεί το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής αντιστοιχούν σε θεωρητικές τιμές ενός συμβατικού κινητήρα σπινθηρισμού. Στο Σχήμα 5.20 *αναπαρίστανται* γραφικά οι χρόνοι των βαλβίδων μαζί με το αντίστοιχο διάγραμμα P-V (πίεσης-όγκου).



Σχήμα 5.20: Χρονισμός βαλβίδων σε αντιπαραβολή με το αντίστοιχο διάγραμμα P-V για συμβατικό 4-X κινητήρα σπινθηρισμού [43]

5.5.3. Στρατηγικές χειρισμού βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής

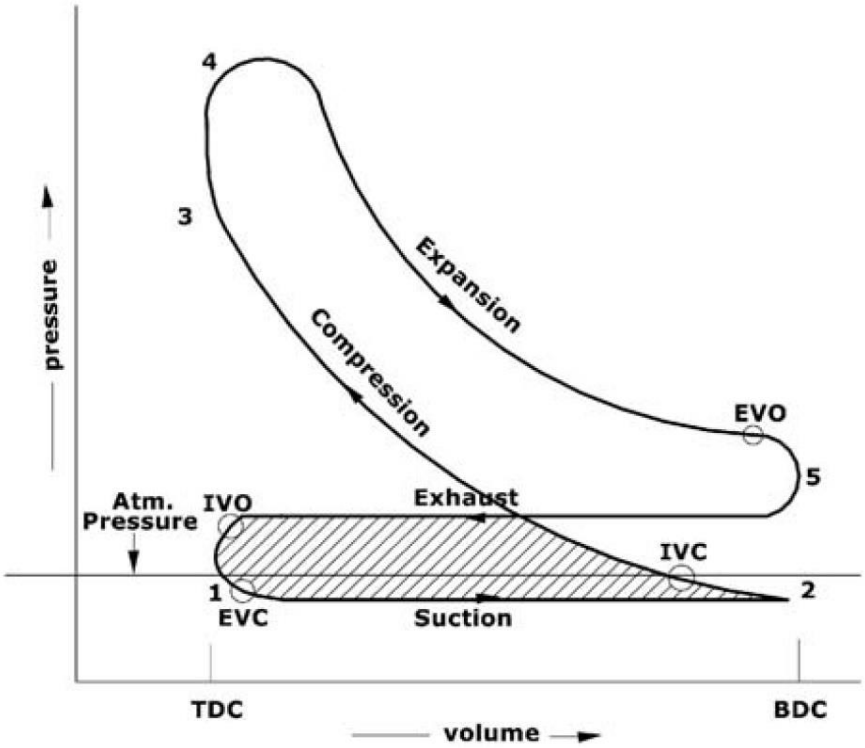
Το κύριο χαρακτηριστικό ενός κινητήρα που χρησιμοποιεί συμβατικό εκκεντροφόρο άξονα για τον χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, είναι το γεγονός ότι η βαλβίδα εισαγωγής κάθε κυλίνδρου πάντα πραγματοποιεί την ίδια μετατόπιση σε μια συγκεκριμένη γωνία της στροφαλοφόρου ατράκτου ανεξάρτητη από το σημείο λειτουργίας του κινητήρα. Η μεταβλητή ενεργοποίηση των βαλβίδων (VVA – Variable Valve Actuation), μπορεί να μεταβάλει τους χειρισμούς των βαλβίδων ανάλογα με τις εκάστοτε στροφές του κινητήρα και του φορτίου του. Οι διάφορες στρατηγικές που ακολουθούνται στον χειρισμό των βαλβίδων, είναι οι ακόλουθες:

- Καθυστερημένο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής (LIVC – Late Intake Valve Closing)
- Πρόωρο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής (EIVC – Early Intake Valve Closing)
- Καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής (LIVO – Late Intake Valve Opening)
- Πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής (EIVO – Early Intake Valve Closing)
- Πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής (EEVO – Early Exhaust Valve Opening)
- Καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής (LEVO – Late Exhaust Valve Opening)
- Πρόωρο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής (EEVC – Early Exhaust ValveClosing)
- Καθυστερημένο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής (LEVC – Late Exhaust Valve Closing)

Εφικτοί είναι ακόμα και συνδυασμοί των παραπάνω στρατηγικών.

5.5.3.1. Καθυστερημένο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής (LIVC – Late Intake Valve Closing)

Στην περίπτωση της στρατηγικής LIVC, το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής καθυστερεί προς το τέλος της φάσης συμπίεσης. Σε έναν συμβατικό κινητήρα, κατά την διάρκεια της εισαγωγής, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει και ο θάλαμος καύσης πληρώνεται με μίγμα αέρα-καυσίμου. Κατά την διάρκεια της φάσης συμπίεσης, η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει και το μίγμα συμπιέζεται. Όμως με την επιλογή της στρατηγικής LIVC, η βαλβίδα εισαγωγής μένει ανοιχτή για περισσότερο χρόνο κατά την διάρκεια της συμπίεσης και έτσι μερική ποσότητα μίγματος επιστρέφει στην πολλαπλή εισαγωγής. Η πίεση του εγκλωβισμένου μίγματος στην πολλαπλή εισαγωγής, είναι λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Κατά την διάρκεια της επόμενης φάσης εισαγωγής, το παγιδευμένο μίγμα του προηγούμενου κύκλου επανεισάγεται σε πίεση ανώτερη από αυτή του μίγματος στους συμβατικούς κινητήρες. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση άντλησης του μίγματος αποκλίνει λιγότερο από την ατμοσφαιρική γραμμή του διαγράμματος P-V. Έτσι ο αρνητικός βρόγχος του διαγράμματος P-V μειώνεται, κάτι που σημαίνει μειωμένες απώλειες λόγω άντλησης του μίγματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.21. Δηλαδή, το κενό που δημιουργείται σε έναν κινητήρα, που λειτουργεί με στρατηγική LIVC, δεν είναι πολύ μεγάλο κατά απόλυτη τιμή, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερο έργο για να ολοκληρωθεί ο κύκλος της εισαγωγής.



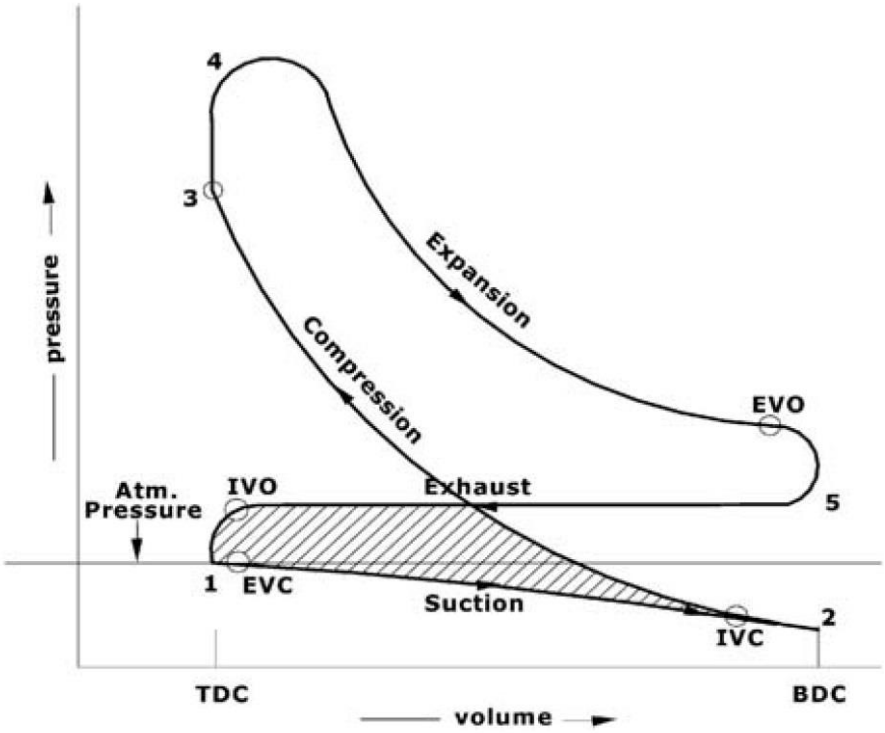
Σχήμα 5.21: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LIVC [43]

5.5.3.2. Πρόωρο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής (EIVC – Early Intake Valve Closing)

Με την υιοθέτηση της τακτικής του EIVC, η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει όταν η επιθυμητή ποσότητα μίγματος αέρα-καυσίμου έχει εισέρθει στον θάλαμο καύσης. Με αυτόν τον τρόπο, όταν απαιτούνται συνθήκες χαμηλού φορτίου και ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, χρησιμοποιείται μόνο το επιθυμητό και περιορισμένο κλάσμα της συνολικής διάρκειας της φάσης εισαγωγής για την πλήρωση του θαλάμου καύσης με μίγμα αέρα-καυσίμου. Επομένως το αποτέλεσμα της τακτικής του EIVC είναι μια μερική φάση εισαγωγής, μειώνοντας έτσι την ποσότητα του μίγματος που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης. Το έργο, που απαιτείται για την εισαγωγή αυτής της περιορισμένης ποσότητας μίγματος αέρα-καυσίμου στον κύλινδρο του κινητήρα, είναι μικρότερο (μικρότερες απώλειες άντλησης – pumping losses) σε σύγκριση με έναν κινητήρα που λειτουργεί με συμβατικό χρονισμό.

Κάποιες απώλειες άντλησης που μπορεί να προκύψουν από ένα σύστημα EIVC λόγω της χαμηλής μετατόπισης των βαλβίδων (low valve lift), μπορούν να αποφευχθούν με την χρήση συστήματος μεταβλητού χρονισμού που θα μπορεί να επιτύχει γρηγορότερη ανύψωση της βαλβίδας.

Το ιδανικό διάγραμμα P-V για έναν κινητήρα που κάνει λειτουργεί με στρατηγική EIVC παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.22. Η περιοχή κάτω από την γραμμή της ατμοσφαιρικής πίεσης, είναι ένα τμήμα του αρνητικού έργου άντλησης, το οποίο εμφανίζεται πολύ μειωμένο συγκριτικά με έναν κινητήρα που λειτουργεί με συμβατικό χρονισμό.



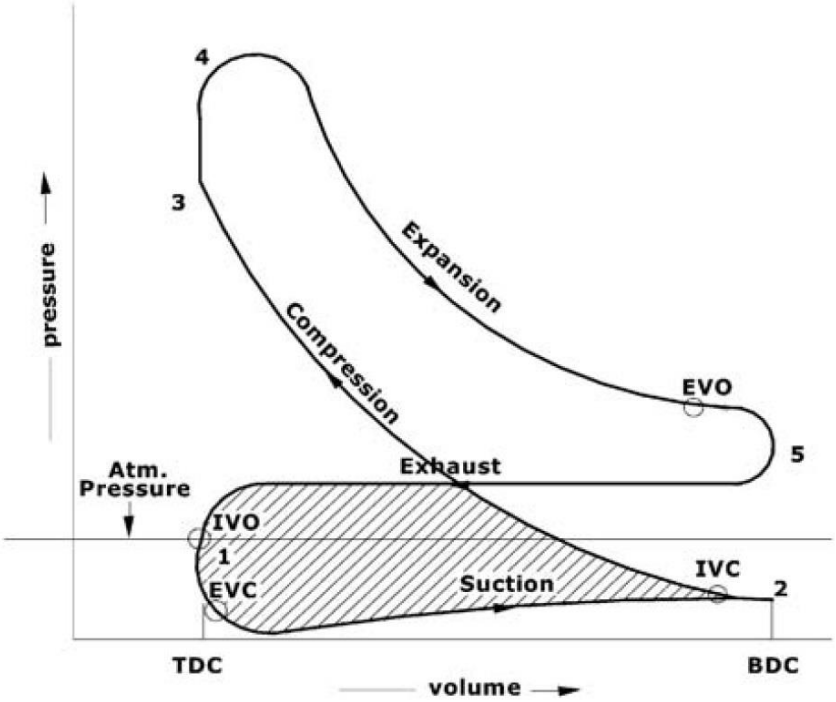
Σχήμα 5.22: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EIVC [43]

Συγκρίνοντας την στρατηγική LIVC με αυτήν του EIVC, στην περίπτωση της LIVC η πίεση στην πολλαπλή εισαγωγή είναι μεγαλύτερη λόγω του μίγματος αέρα-καυσίμου που επιστρέφει από τον κύλινδρο πίσω στην πολλαπλή εισαγωγή λόγω του καθυστερημένου κλεισίματος των βαλβίδων. Στην περίπτωση της στρατηγικής EIVC, η πίεση στον αυλούς της εισαγωγής είναι και πάλι υψηλή, αλλά αυτή τη φορά οφείλεται στον περιορισμό του κλεισίματος των βαλβίδων (η πίεση αυξάνεται επειδή η βαλβίδα κλείνει ενώ το μίγμα έχει ακόμα κινητική αδράνεια λόγω της ροής του). Η υψηλότερη πίεση στην πολλαπλή εισαγωγή προκαλεί την εισαγωγή περισσότερων σταγονιδίων καυσίμου στον θάλαμο καύσης. Περισσότερα σταγονίδια, που είναι υγροποιημένα, έχουν ως αποτέλεσμα χειρότερη ποιότητα καύσης. Οι κινητήρες EIVC μπορούν να ξεπεράσουν αυτό το μειονέκτημα λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας που έχει το μίγμα αέρα-καυσίμου κατά την φάση της εισαγωγής. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του μίγματος, δημιουργούνται στροβιλισμοί (τυρβώδης ροή) που ενισχύουν την διατήρηση της αεριοποίησης του μίγματος. Όσον αφορά τους κινητήρες LIVC, αυτοί δεν χρησιμοποιούν τις βαλβίδες εισαγωγής για να επιταχύνουν την ροή του μίγματος αέρα-καυσίμου και έτσι η ταχύτητα του μίγματος που εισέρχεται στον κύλινδρο δεν αλλάζει. Οι απώλειες ροής για τους κινητήρες που λειτουργούν με στρατηγική LIVC είναι περισσότερες από την περίπτωση λειτουργίας με EIVC, λόγω της επιστρέφουσας ροής του μίγματος στην περίπτωση του LIVC.

5.5.3.3. *Καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής (LIVO – Late Intake Valve Opening)*

Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής αντιπροσωπεύει την εκκίνηση της φάσης εισαγωγής ενώ την ίδια στιγμή αρχίζει και η επικάλυψη των βαλβίδων (valve overlap). Το σύνηθες, για τους συμβατικούς κινητήρες, είναι το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής να συμβαίνει 10° πριν το ΑΝΣ. Το καθυστερημένο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής πέρα από τις 10° που προαναφέρθηκαν προκαλεί συνθήκες που αποτρέπουν την ροή από την εισαγωγή προς τον κύλινδρο, δεδομένου ότι δεν υπάρχει διαφορά πίεσης ανάμεσα σε κύλινδρο και αυλό εισαγωγής. Μεγαλύτερη καθυστέρηση στο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής προκαλεί στιγμιαία μικρότερη πίεση στον κύλινδρο συγκριτικά με την ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί στον αυλό της εισαγωγής. Οι απώλειες άντλησης (pumping losses) θα αυξηθούν λόγω της μειωμένης πίεσης στον κύλινδρο κατά το πρώτο διάστημα της εισαγωγής.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.23, η γραμμή αναρρόφησης (suction line) του διαγράμματος P-V, είναι περισσότερο αρνητική σε σύγκριση με έναν συμβατικό κύκλο. Ακόμα και αν οι απώλειες άντλησης αυξάνονται, δεν υπάρχει αρνητική επίδραση στην ογκομετρική απόδοση. Αυτό συμβαίνει επειδή όλο το μίγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στον θάλαμο καύσης με υψηλή ταχύτητα κατά την διάρκεια του υπολειπόμενου μέρους της φάσης εισαγωγής, μετά το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής. Η υψηλή ταχύτητα είναι υπεύθυνη για τον σχηματισμό τυρβώδους ροής του μίγματος αέρα-καυσίμου, που βοηθά στην καλή ποιότητα καύσης και συνάμα αποτελεί τεχνική μείωσης των εκπομπών των άκαυστων υδρογονανθράκων (unburned HCs).

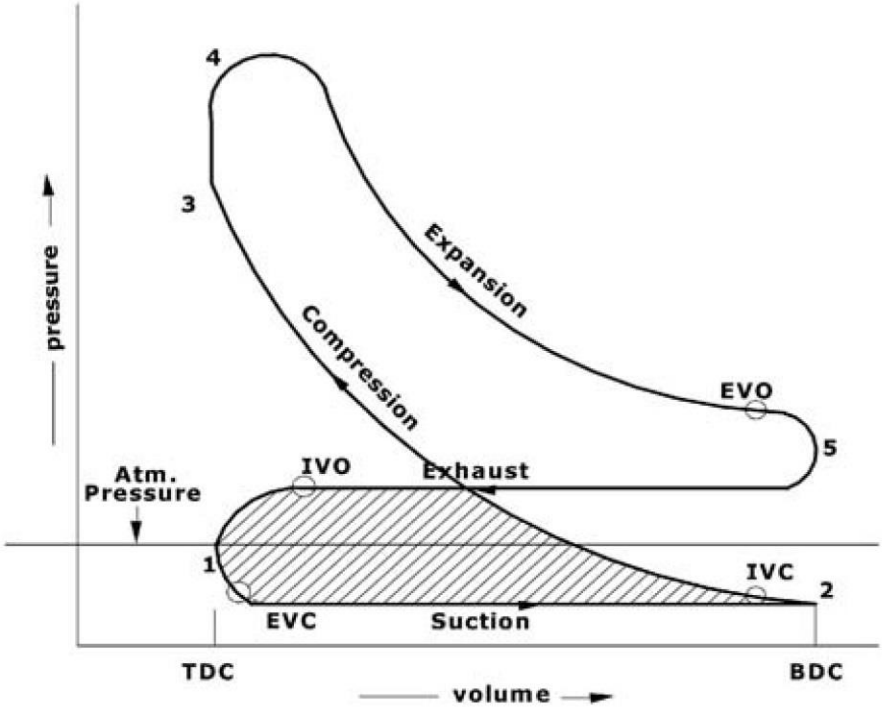


Σχήμα 5.23: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LIVO [43]

5.5.3.4. *Πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής (EIVO – Early Intake Valve Closing)*

Στους συμβατικούς κινητήρες, το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής συμβαίνει 10° πριν το ΑΝΣ. Το πρόωρο άνοιγμα αρκετά πριν το τέλος της φάσης εξαγωγής, σημαίνει την αύξηση της διάρκειας της επικάλυψης των βαλβίδων. Κάποια ποσότητα από τα καυσαέρια επιστρέφει πίσω στον αυλό εισαγωγής λόγω της διαφοράς πίεσης που επικρατεί ανάμεσα στον κύλινδρο και τον αυλό εισαγωγής [44]. Αυτή η επιστροφή των καυσαερίων χρησιμοποιείται και σαν 'εσωτερικό' EGR (επανακυκλοφορία καυσαερίων), που βοηθάει στην μείωση εκπομπής NO_x. Επιπροσθέτως, η τακτική χρονισμού EIVO, επιτρέπει την είσοδο των καυσαερίων στην πολλαπλή εισαγωγής, όπου επικρατεί μικρότερη πίεση, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και έτσι τα καυσαέρια επιστρέφουν αργότερα στον κύλινδρο σε χαμηλότερη θερμοκρασία, κάτι που οδηγεί σε μείωση των παραγόμενων NO_x.

Κατά την διάρκεια του πρόωρου ανοίγματος της βαλβίδας εισαγωγής, η μεγάλη αντίστροφη ροή που δημιουργείται, οδηγεί προσωρινά ορισμένα από τα καυσαέρια στον αυλό εισαγωγής και στην συνέχεια τα επιστρέφει στον κύλινδρο μαζί με το νέο μίγμα αέρα-καυσίμου. Η αιτία που προκαλεί την είσοδο των καυσαερίων στο σύστημα της εισαγωγής, είναι η διαφορά πίεσης που επικρατεί ανάμεσα σε αυτήν και στον κύλινδρο. Αφού ορισμένα από τα καυσαέρια οδηγούνται στο σύστημα εισαγωγής, αυτό σημαίνει ότι λιγότερα καυσαέρια εξάγονται από τον κύλινδρο κατά την φάση της εξαγωγής. Έτσι οι απώλειες άντλησης κατά την κίνηση του εμβόλου στην φάση της εξαγωγής είναι μικρότερες και ο αρνητικός βρόγχος του διαγράμματος P-V μειώνεται, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.24.



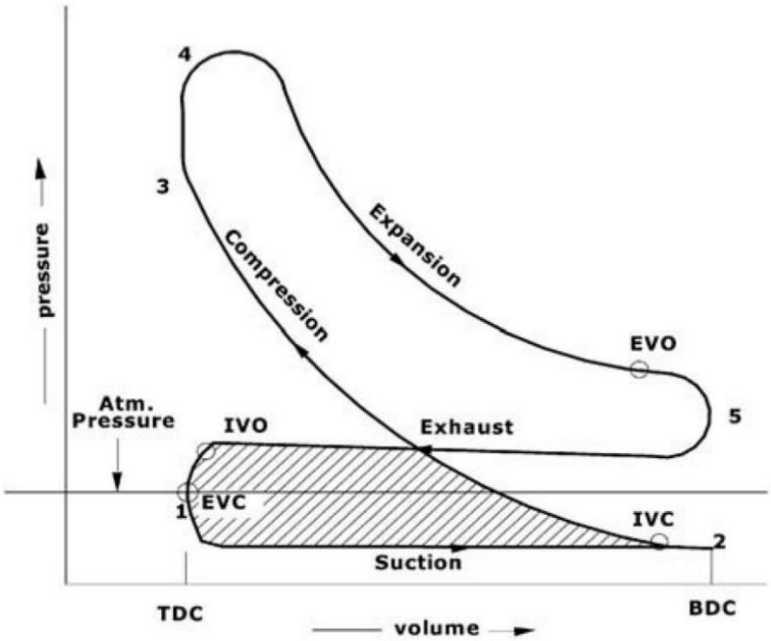
Σχήμα 5.24: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EIVO [43]

5.5.3.5. *Πρόωρο και καθυστερημένο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής (EEVC – Early Exhaust Valve Closing/LEVC – Late Exhaust Valve Closing)*

Το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής συμβαίνει περίπου 10° μετά το ΑΝΣ. Με το κλείσιμο της βαλβίδας αυτής τελειώνει η φάση της εξαγωγής καθώς και η επικάλυψη των βαλβίδων.

Όταν το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής πραγματοποιείται μετά το ΑΝΣ, επιτρέπεται η επιστροφή καυσαερίων από τον αυλό εξαγωγής πίσω στον θάλαμο καύσης. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί, η επαναρροή των καυσαερίων από τον αυλό εξαγωγής στον θάλαμο καύσης είναι ενισχυμένη λόγω της μεγάλης διαφοράς πίεσης που επικρατεί ανάμεσα σε κύλινδρο και αυλό εξαγωγής. Αντίθετα, στην περίπτωση του μερικού φορτίου και στο πλήρες άνοιγμα της «πεταλούδας» στραγγαλισμού, η παραπάνω διαφορά πίεσης είναι πολύ μικρότερη. Επίσης, λόγω της επικάλυψης των βαλβίδων, ποσότητα καυσαερίων μπορεί να εισέλθει στο σύστημα της εισαγωγής κατά την φάση της εξαγωγής. Έτσι στην φάση της εισαγωγής, αυτά τα καυσαέρια θα εισέρθουν και πάλι στον κύλινδρο και θα προστεθούν στα εγκλωβισμένα «παραπροϊόντα» του θαλάμου καύσης. Επίσης, η το ρεύμα επαναρροής από τον αυλό εξαγωγής που κανονικά θα ακολουθούσε τον δρόμο των υπολοίπων καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα, επιστρέφει καυσαέρια στον κύλινδρο και αυξάνει περισσότερο το κλάσμα καυσαερίων που παραμένουν στον επόμενο κύκλο του κινητήρα.

Η τακτική χρονισμού EEVC (Σχήμα 5.25) μπορεί να αποτρέψει μερικώς ή ολικώς την επικάλυψη των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Στην περίπτωση που δεν συμβαίνει επικάλυψη βαλβίδων, δεν υπάρχει επιστρεφόμενη ροή καυσαερίων από το σύστημα εξαγωγής στον θάλαμο καύσης, ενώ στην περίπτωση που επιτρέπεται η επικάλυψη η ποσότητα των επιστρεφόμενων καυσαερίων μπορεί να ρυθμιστεί από την διάρκεια της επικάλυψης.



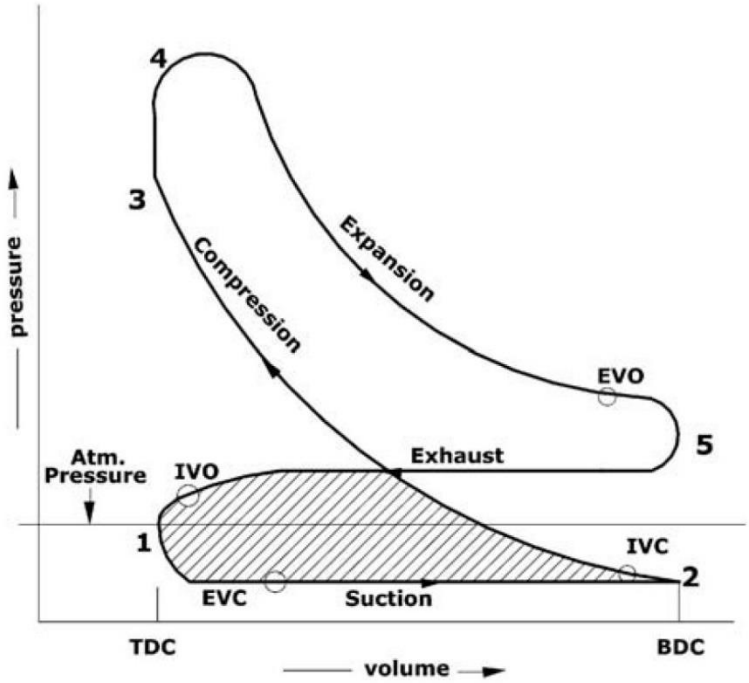
Σχήμα 5.25: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EEVC [43]

Στην περίπτωση της στρατηγικής του καθυστερημένου κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής (LEVC), ο χρόνος της επικάλυψης των βαλβίδων αυξάνεται. Κατά την διάρκεια της φάσης εισαγωγής ορισμένα από τα καυσαέρια επιστρέφουν από τον αυλό εξαγωγής στον αυλό εισαγωγής [45] και έτσι μειώνεται η ποσότητα του φρέσκου μίγματος αέρα-καυσίμου με το οποίο πληρώνεται ο θάλαμος καύσης, δηλαδή μειώνεται ο βαθμός πλήρωσης. Ωστόσο μειώνονται και οι απώλειες άντλησης κατά την φάση της εισαγωγής λόγω της υψηλής πίεσης που επικρατεί στον αυλό εισαγωγής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.26.

Στην περίπτωση της τακτικής χρονισμού LEVC, υπάρχει περισσότερη επιστροφή καυσαερίων λόγω της αυξημένης επικάλυψης των βαλβίδων. Παράλληλα συμβαίνει και μια μικρότερη επιστρεφόμενη ροή από τις βαλβίδες εισαγωγής προς την πολλαπλή εισαγωγής.

Σε λειτουργία του κινητήρα σε υψηλές στροφές, η μεγαλύτερη επικάλυψη των βαλβίδων είναι επιθυμητή, αφού μέσω αυτής επιτυγχάνεται καλύτερος καθαρισμός του κυλίνδρου από τα προϊόντα της καύσης και έτσι επιτυγχάνεται υψηλότερη απόδοση. Όμως μεγαλύτερη διάρκεια επικάλυψης των βαλβίδων είναι επιζήμια για την ποιότητα της λειτουργίας του κινητήρα στο ρελαντί λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας καυσαερίων που επιστρέφουν στην πολλαπλή εισαγωγή. Η επιστροφή των καυσαερίων μπορεί να αποφευχθεί μειώνοντας την διάρκεια επικάλυψης, με αποτέλεσμα την αύξηση της ροπής στις χαμηλές στροφές του κινητήρα αλλά και την μείωση του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης σε υψηλότερες στροφές του κινητήρα.

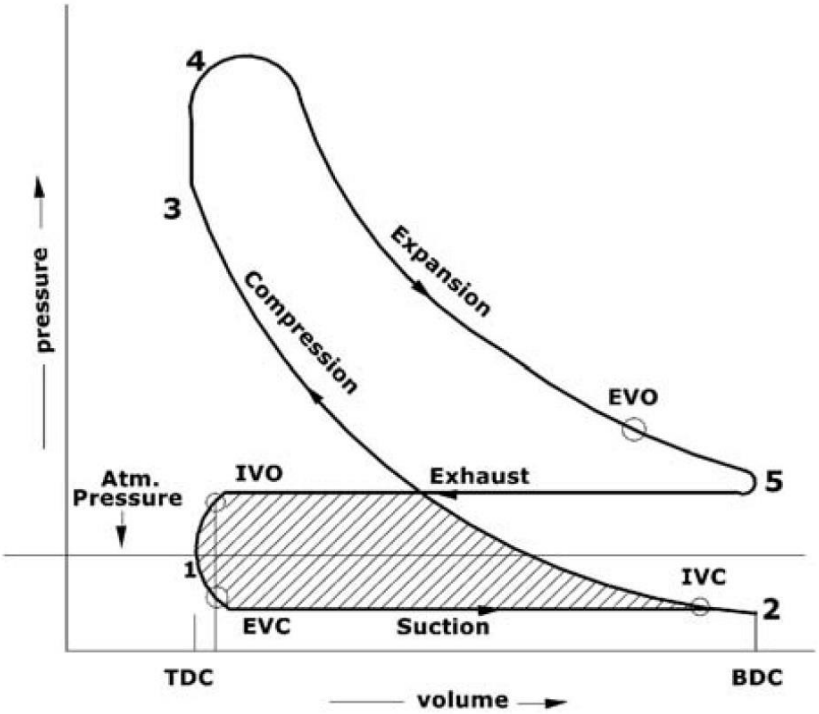
Στην στρατηγική LEVC, μια ποσότητα μίγματος άκαυστου καυσίμου και καυσαερίων επιστρέφει στον κύλινδρο από τον αυλό εξαγωγής κατά την επικάλυψη των βαλβίδων. Το ανακτημένο αυτό μίγμα για άλλη μια φορά θα καεί κατά την φάση της καύσης μαζί με φρέσκο μίγμα αέρα-καυσίμου, με αποτέλεσμα την μείωση του άκαυστου καυσίμου. Όμως σύμφωνα με τον Siewert [44], η τακτική LEVC είναι λιγότερο αποδοτική σε σύγκριση με την τακτική EEVC όσον αφορά τον περιορισμό της εκπομπής άκαυστων υδρογονανθράκων (unburned HCs).



Σχήμα 5.26: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LEVC [43]

5.5.3.6. *Πρόωρο και καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής (EEVO – Early Exhaust Valve Opening)*

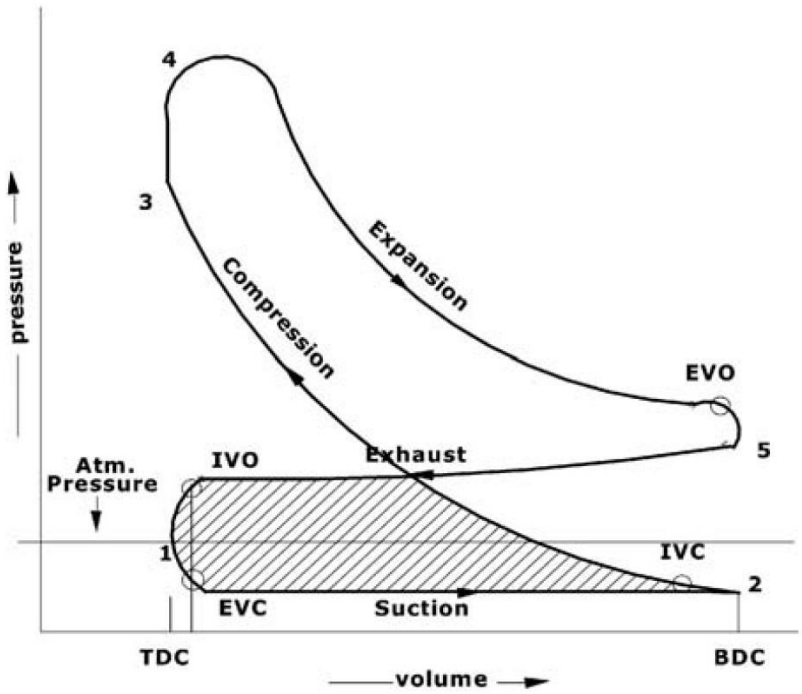
Το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής ξεκινάει αρκετά πριν από το τέλος της φάσης της εκτόνωσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερος καθαρισμός του θαλάμου καύσης από τα καυσαέρια, αλλά ταυτόχρονα προκαλείται και μείωση του έργου που λαμβάνεται από την φάση της εκτόνωσης (Σχήμα 5.27) και έτσι μειώνεται η αποδιδόμενη ισχύς του κινητήρα.



Σχήμα 5.27: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής EEVO [43]

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι το ενδεχόμενο πολύ πρόωρου ανοίγματος μπορεί να είναι επιβλαβές για την απόδοση του κινητήρα. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι με το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας θα επιτευχθεί μείωση του απαιτούμενου έργου άντλησης για την κένωση των καυσαερίων από τον κύλινδρο κατά την φάση της εξαγωγής, μόλις το έμβολο περάσει το ΚΝΣ. Αυτό συμβαίνει γιατί πλέον η μάζα των καυσαερίων κατά την φάση της εξαγωγής είναι μικρότερη, και έτσι η δύναμη που απαιτείται από το έμβολο για να διώξει τα καυσαέρια από τον θάλαμο καύσης είναι αναλόγως μικρότερη. Σύμφωνα με τον Asmus [45], όταν εφαρμόζεται η τακτική EEVO, οι απώλειες άντλησης ελαχιστοποιούνται όταν η πίεση του κυλίνδρου στην φάση εξαγωγής δεν αυξάνεται αισθητά πάνω από την πίεση που επικρατεί στην πολλαπλή εξαγωγής.

Το καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής (LEVO), μειώνει την αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα, επειδή απαιτείται μεγάλο έργο για την απομάκρυνση των καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης κατά την φάση της εξαγωγής (Σχήμα 5.28).



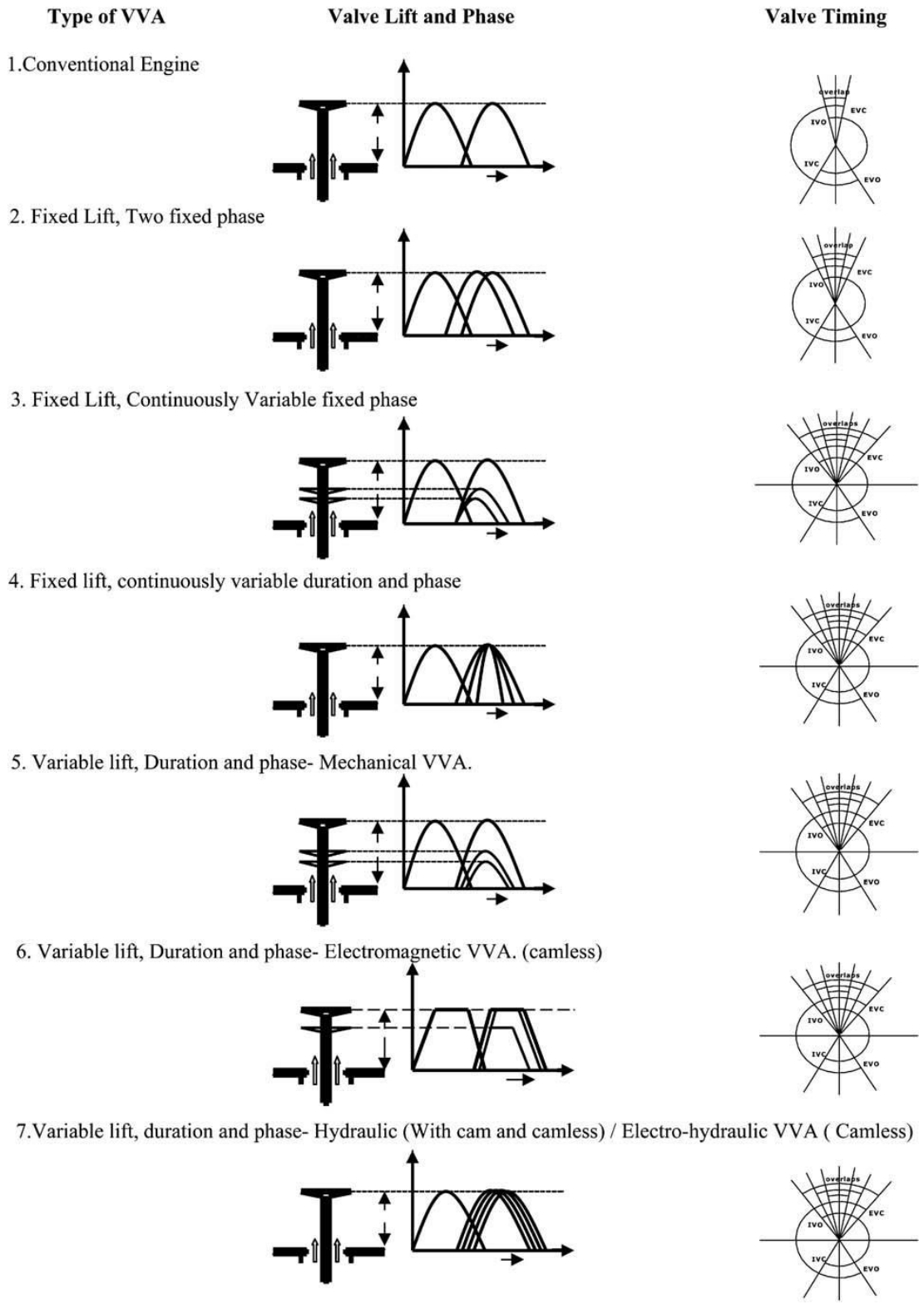
Σχήμα 5.28: Διάγραμμα P-V για την περίπτωση στρατηγικής LEVO [43]

Περισσότερη καθυστέρηση στο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής, σημαίνει αύξηση της ποσότητας των καυσαερίων που θα πρέπει να εξαχθούν από τον θάλαμο καύσης κατά την εξαγωγή. Έτσι όμως αυξάνεται και η πιθανότητα της οδήγησης καυσαερίων στην πολλαπλή εισαγωγή κατά την επικάλυψη των βαλβίδων και στην συνέχεια της επανεισόδου τους στον θάλαμο καύσης κατά την φάση της εισαγωγής. Μέσω αυτής της ροής των καυσαερίων επιτυγχάνεται η τεχνική της «εσωτερικής ανακυκλοφορίας των καυσαερίων» (internal EGR-Exhaust Gas Recirculation), μέσω της οποίας επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών NO_x.

5.5.4. Μηχανισμοί ενεργοποίησης των βαλβίδων

Ο μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση συστήματος μεταβλητής ενεργοποίησης των βαλβίδων (VVA – Variable Valve Actuation). Ο όρος VVA αναφέρεται σε κάθε μέθοδο χειρισμού των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Κατά περιόδους έχουν προταθεί πολλοί μηχανισμοί VVA, καθένας από αυτούς φέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα

και μειονεκτήματα. Τα χαρακτηριστικά των μηχανισμών VVA σε ότι αφορά την βύθιση (lift), τον συγχρονισμό του εκκεντροφόρου με την στροφαλοφόρο άτρακτο (phase), και την διάρκεια του συμβάντος σε σχέση με των χρονισμό των βαλβίδων και την επικάλυψή τους, συνοψίζονται στο Σχήμα 5.29.



Σχήμα 5.29: Μηχανισμοί μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων

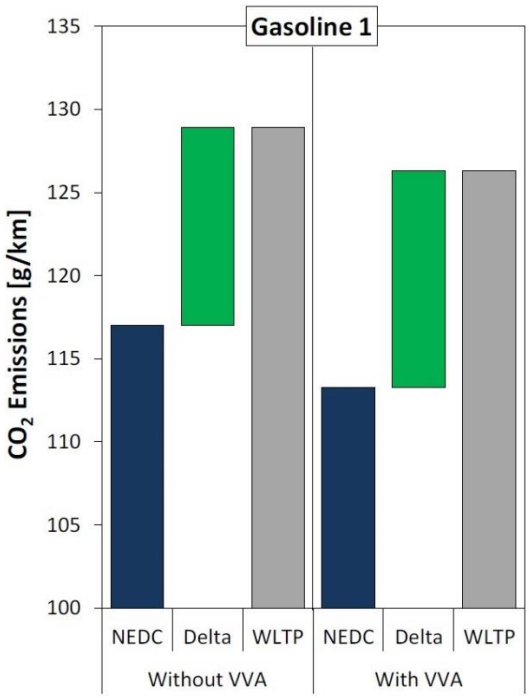
Με τις δοκιμές που πραγματοποίησε ο Hong [43], σε τετράχρονο μονοκύλινδρο κινητήρα με ηλεκτρομαγνητική ενεργοποίηση των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής και αναλύοντας τα δεδομένα που έλαβε με την βοήθεια του λογισμικού GT-Power, κατέληξε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Οι στρατηγικές χρονισμού βαλβίδων EIVC, EEVC, EIVO και LEVC μπορούν να μειώσουν τις απώλειες λόγω άντλησης (pumping losses), δηλαδή τον αρνητικό βρόγχο του διαγράμματος P-V, ενώ οι απώλειες αυτές αυξάνονται με την υιοθέτηση των στρατηγικών LIVO, EEVC, EEVO, LEVO. Έτσι γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι στρατηγικές που σχετίζονται με την φάση της εισαγωγής (intake-valve strategies), τείνουν να μειώνουν τις απώλειες άντλησης. Από την άλλη πλευρά, οι στρατηγικές που σχετίζονται με την φάση της εξαγωγής, δεν μειώνουν τις απώλειες άντλησης αλλά χρησιμεύουν στην μείωση των εκπομπών NO_x μέσα από την τεχνική της εσωτερικής επανακυκλοφορίας των καυσαερίων στον θάλαμο καύσης.

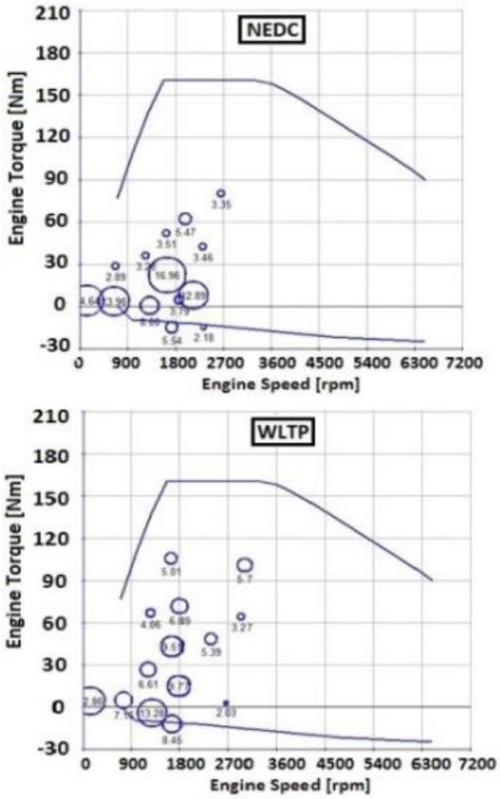
5.5.5. Μείωση εκπομπών CO_2 από την χρήση συστήματος μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων

Στην Παραπομπή [38], η οποία αναφέρθηκε και στην παράγραφο 5.3.2, μελετήθηκαν οι επιπτώσεις συστήματος μεταβλητής ενεργοποίησης των βαλβίδων στις μέσες εκπομπές CO_2 διαφόρων οχημάτων (Πίνακας 5.8). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση του συστήματος μεταβλητής ενεργοποίησης των βαλβίδων ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση του κύκλου οδήγησης NEDC από ότι στην δοκιμή WLTP. Οι μειώσεις που προέκυψαν στις εκπομπές CO_2 ήταν 2.5-5.0% και 1.4-2.1% για την περίπτωση του κύκλου NEDC και WLTP αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 5.30 που ακολουθεί παρουσιάζονται ενδεικτικά οι εκπομπών CO_2 για το πρώτο βενζινοκίνητο όχημα της λίστας (Πίνακας 5.8), πριν και μετά την χρήση του συστήματος μεταβλητής ενεργοποίησης των βαλβίδων. Επειδή το σύστημα αυτό επιδρά στην κατανάλωση του καυσίμου κυρίως στην κατώτερη περιοχή λειτουργίας του κινητήρα, το Σχήμα 5.31 δικαιολογεί την ισχυρότερη επίδραση του συστήματος στον κύκλο NEDC σε σχέση με τον WLTP. Στο κύκλο NEDC ο κινητήρας λειτουργεί σε χαμηλότερο εύρος στροφών και φορτίων, ενώ στην δοκιμή WLTP η ταχύτητα περιστροφής και η ροπή του κινητήρα είναι μεγαλύτερες.



Σχήμα 5.30: Επίδραση του συστήματος μεταβλητής ενεργοποίησης των βαλβίδων στις εκπομπές CO_2 [38]



Σχήμα 5.31: Περιοχή λειτουργίας κινητήρα στον κύκλο οδήγησης NEDC και WLTP [38]

5.6. Μεταβλητός λόγος συμπίεσης κυλίνδρου

5.6.1. Πλεονεκτήματα χρήσης συστήματος μεταβλητού λόγου συμπίεσης κυλίνδρου

Ο μεταβλητός λόγος συμπίεσης μπορεί να προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα, όπως μείωση της μέγιστης πίεσης για την καύση σε πετρελαιοκινητήρες και αντιστάθμιση της χαμένης αποδοτικότητας λόγω του φαινομένου της αυτανάφλεξης στους βενζινοκινητήρες. Ο μεταβλητός λόγος συμπίεσης είναι ένα αντικείμενο που μελετάται εδώ και αρκετές δεκαετίες, ωστόσο το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότητα των διαφόρων μηχανισμών μεταβλητού λόγου συμπίεσης, καθιστούσε μέχρι σήμερα απαγορευτική την ευρεία εφαρμογή του εν λόγω συστήματος. Όμως σήμερα κυκλοφορούν πιο απλοποιημένοι μηχανισμοί, που χρησιμοποιούν διωστήρες μεταβλητού μήκους για την σύνδεση του εμβόλου και της στροφαλοφόρου ατράκτου, κάνοντας έτσι την ιδέα του μεταβλητού λόγου συμπίεσης να μοιάζει περισσότερο βιώσιμη σε κλίμακα μαζικής παραγωγής.

Οι μηχανισμοί που εξυπηρετούν τον μεταβλητό λόγο συμπίεσης διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στα συστήματα δύο σταδίων (two-step), όπου ο λόγος συμπίεσης του κινητήρα μεταβάλλεται ανάμεσα σε δύο διαφορετικές τιμές (χαμηλός και υψηλός λόγος συμπίεσης) και στα συνεχώς μεταβαλλόμενα συστήματα, όπου οποιαδήποτε τιμή λόγου συμπίεσης μπορεί να επιλεχθεί ανάμεσα σε μια χαμηλή και μια υψηλή τιμή [46].

5.6.2. Διάκριση συστημάτων μεταβλητού λόγου συμπίεσης

Τα συστήματα δύο σταδίων περιλαμβάνουν τους μηχανισμούς μεταβλητού μήκους διωστήρα:

- Σύστημα της AVL
- Σύστημα της FEV

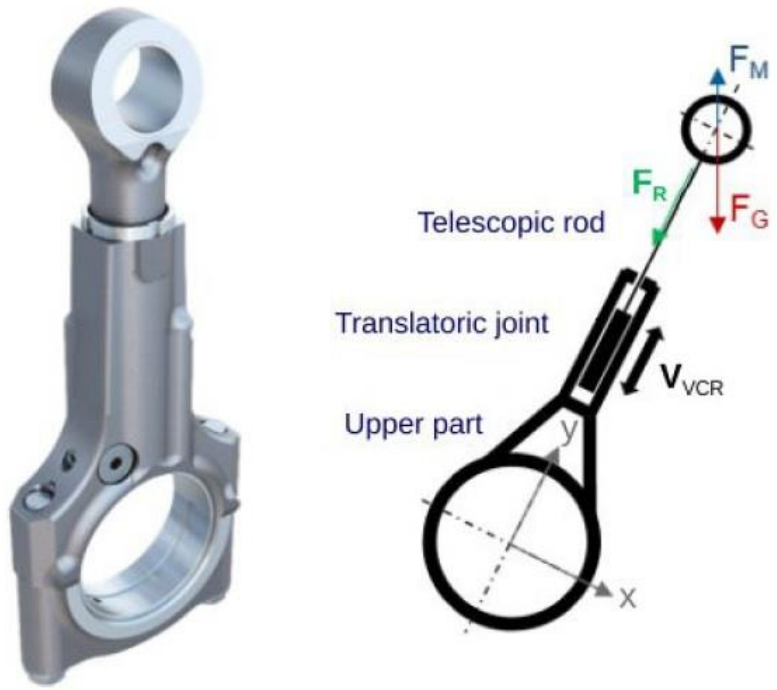
Τα συστήματα συνεχούς μεταβολής του λόγου συμπίεσης μπορούν εφαρμοστούν μέσα από ένα σύνολο διαφορετικών μηχανισμών, όπως:

- Μηχανισμός πολλαπλών συνδέσμων ανάμεσα στο έμβολο και την στροφαλοφόρο άτρακτο (Nissan, MCE-5)
- Κινητή κυλινδροκεφαλή κινητήρα (SAAB) [47]
- Στροφαλοφόρος με έκκεντρο άξονα (Caterpillar) [48]
- Κινητή κορώνα εμβόλου [49]

5.6.2.1. Συστήματα μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων

5.6.2.1.1. Σύστημα της AVL

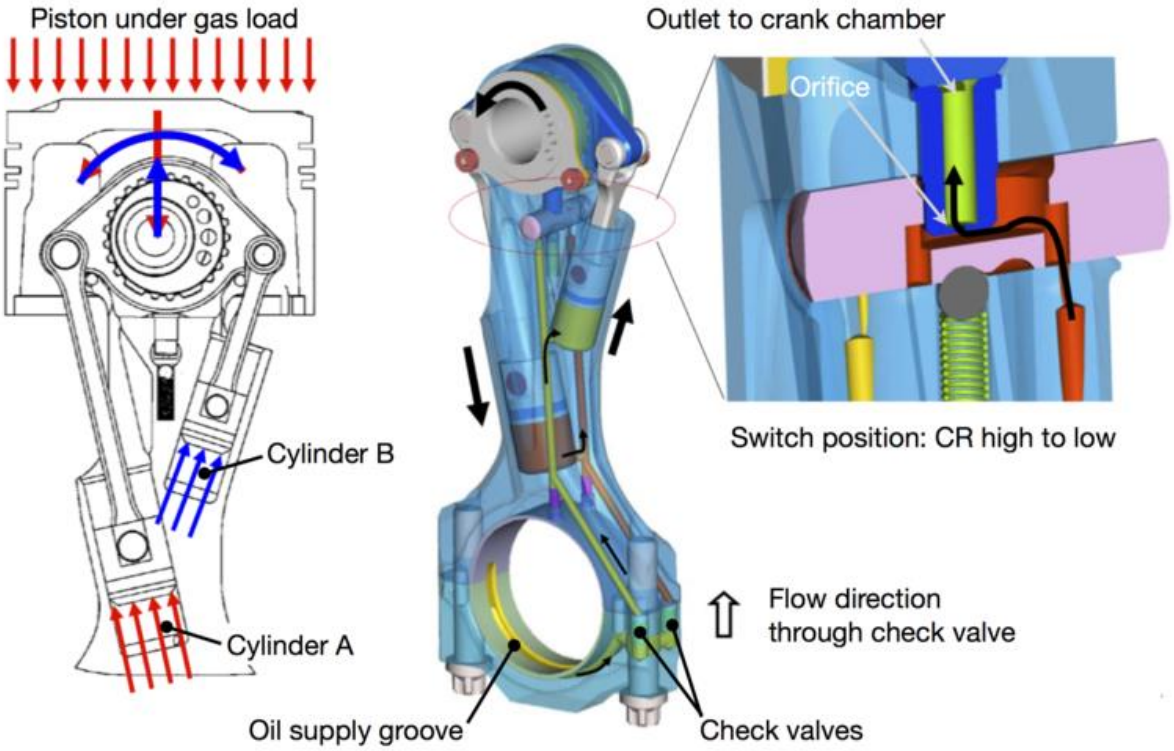
Το σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων της AVL, χρησιμοποιεί έναν τηλεσκοπικό διωστήρα (Σχήμα 5.32). Η ενεργοποίηση του συστήματος γίνεται μέσω εφαρμοζόμενων δυνάμεων στον τηλεσκοπικό διωστήρα. Η αδρανειακή δύναμη F_M (F_{MASS}) και η δύναμη των αερίων F_G (F_{GAS}, χρησιμοποιείται για την αύξηση ή μείωση του μήκους του διωστήρα. Τα μήκος του διωστήρα μειώνεται όταν η κατεύθυνση της συνισταμένης δύναμης F_R έχει φορά προς τον διωστήρα (F_G>F_M) και αυξάνεται όταν έχει αντίθετη φορά (F_G<F_M). Τα όρια που επιτρέπουν την αυξομείωση του διωστήρα καθορίζουν το μέγιστο και το ελάχιστο μήκος του. Το κλείδωμα μιας συγκεκριμένης θέσης του μεταβαλλόμενου συνδέσμου του διωστήρα επιτυγχάνεται με την μεταφορά λαδιού στους όγκους πάνω και κάτω από τον κινητό σύνδεσμο. Ένα σύστημα ελέγχου φροντίζει για την ανάλογη ρύθμιση κάθε φορά που μια αλλαγή στο μήκος του διωστήρα είναι επιθυμητή [50].



Σχήμα 5.32: Διωστήρας μεταβλητού μεγέθους τηλεσκοπικού τύπου της AVL [46]

5.6.2.1.2. Σύστημα της FEV

Το σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης της FEV χρησιμοποιεί ένα διωστήρα που στο άνω άκρο του (σημείο σύνδεσης με έμβολο) έχει ένα έκκεντρο (Σχήμα 5.33). Μέσα στον διωστήρα βρίσκονται ενσωματωμένα δύο έμβολα τα οποία περιστρέφουν το έκκεντρο και έτσι αυξάνουν ή μειώνουν το μήκος του διωστήρα. Το λάδι που ενεργοποιεί τα εσωτερικά έμβολα παρέχεται σε αυτά από το κάτω τμήμα του διωστήρα και συγκεκριμένα από την οπή σύνδεσης της στροφαλοφόρου ατράκτου. Η παροχή του λαδιού ανάμεσα στα δύο έμβολα ρυθμίζεται από μια βαλβίδα ελέγχου.



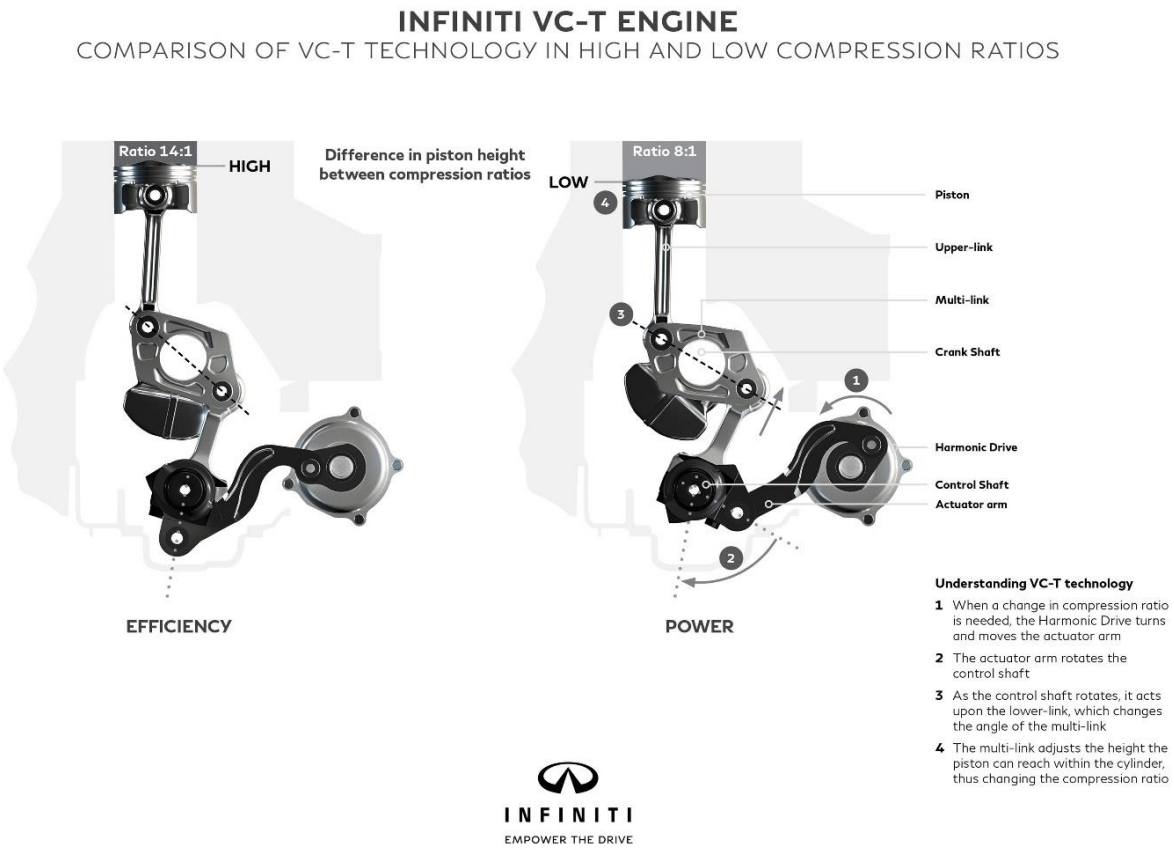
Σχήμα 5.33: Διωστήρας κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης της εταιρείας FEV [51]

5.6.2.2. Συστήματα συνεχούς μεταβαλλόμενου λόγου συμπίεσης

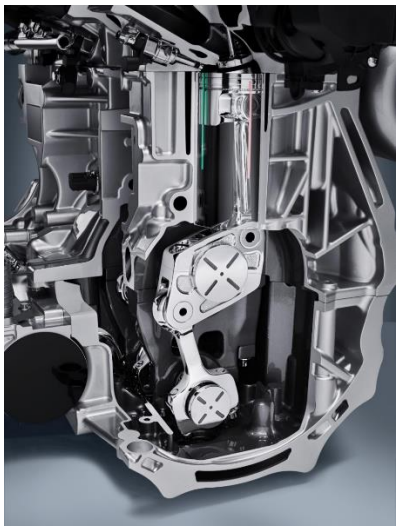
5.6.2.2.1. Σύστημα της Nissan

Το σύστημα συνεχούς μεταβαλλόμενου λόγου συμπίεσης της Nissan (Σχήμα 5.34), βασίζεται σε έναν μηχανισμό πολλαπλών συνδέσμων που τοποθετείται ανάμεσα στην στροφαλοφόρο άτρακτο και τον πείρο του εμβόλου [52]. Ένας ενεργοποιητής που περιστρέφει τον έκκεντρα τοποθετημένη στροφαλοφόρο άτρακτο (Σχήμα 5.35), μετακινεί το ύψος του σημείου σύνδεσης του διωστήρα με

το έμβολο, επιτρέποντας την μετατόπιση του εμβόλου προς τα πάνω ή προς τα κάτω, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η απόσταση που διαγράφει το έμβολο σε κάθε κύκλο [53].



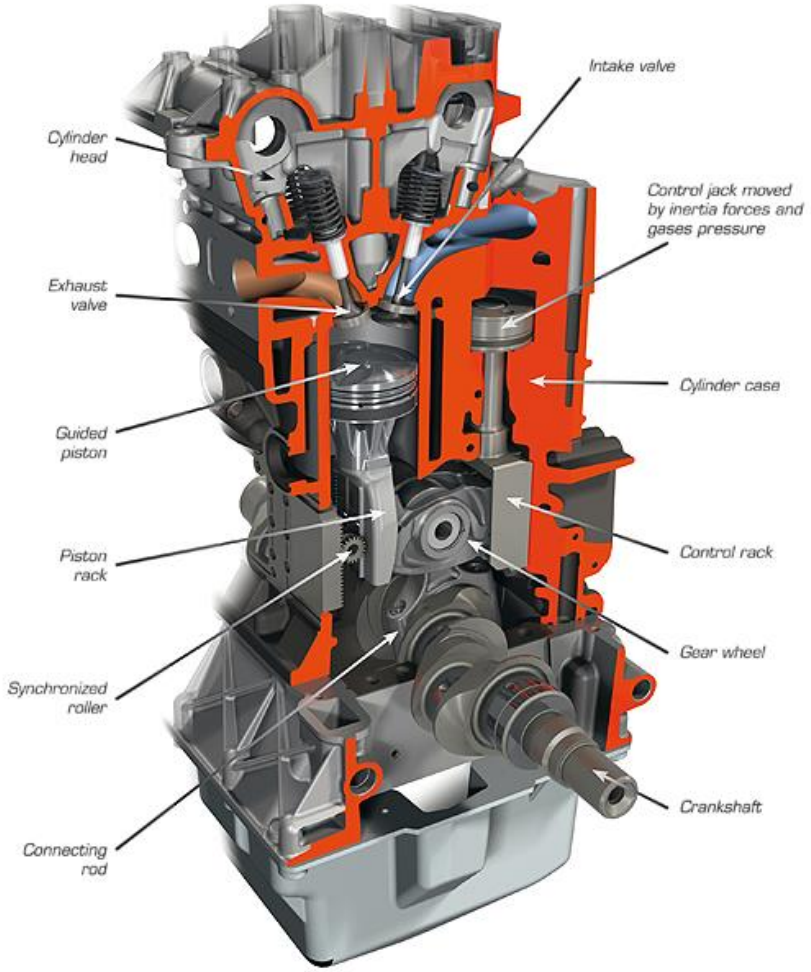
Σχήμα 5.34: Μηχανισμός μεταβλητού λόγου συμπίεσης της Nissan [52]



Σχήμα 5.35: Τομή κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης της Nissan [52]

5.6.2.2.2. Σύστημα της MCE-5

Η MCE-5 έχει αναπτύξει έναν κινητήρα με παρόμοια φιλοσοφία με αυτήν που χρησιμοποιεί η Nissan. Ένας μηχανισμός με πολλαπλούς συνδέσμους έχει τοποθετηθεί ανάμεσα στην στροφαλοφόρο άτρακτο και το έμβολο με σκοπό η θέση του εμβόλου να μπορεί να ρυθμίζεται μέσα σε ένα καθορισμένο εύρος ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, χωρίς να μεταβάλλεται το μήκος που αυτό διαγράφει κατά την διάρκεια ενός κύκλου (Σχήμα 5.36).



Σχήμα 5.36: Τομή κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης της MCE-5 [54]

5.6.3. Εφαρμογή σε κινητήρες πετρελαίου

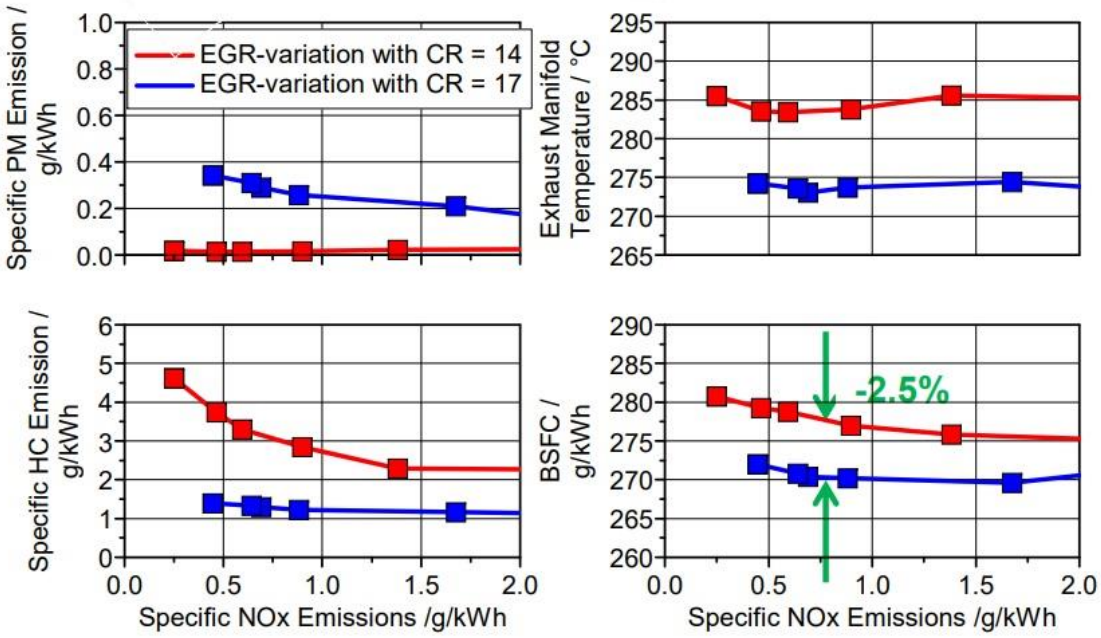
Στους κινητήρες πετρελαίου υπάρχει μεγάλο περιθώριο αξιοποίησης των συστημάτων μεταβλητού λόγου συμπίεσης. Έτσι μέσα από την χρήση τέτοιων συστημάτων είναι εφικτή η διατήρηση ενός τυπικού λόγου συμπίεσης πετρελαιοκινητήρα (15:1) στο μερικό φορτίο, ενώ

παράλληλα θα μπορεί να γίνεται μείωση του λόγου συμπίεσης στο υψηλό φορτίο για τον περιορισμό των αιχμών της πίεσης κοντά στο άνω νεκρό σημείο του εμβόλου (peak firing pressure). Επίσης στο μερικό φορτίο θα μπορούσε να γίνει αύξηση του λόγου συμπίεσης για την επίτευξη καλύτερης αποδοτικότητας και μείωσή του στο υψηλό φορτίο για το περιορισμό των αιχμών πίεσης στο άνω νεκρό σημείο του εμβόλου [46].

5.6.4. Στρατηγικές χειρισμού του λόγου συμπίεσης στο μερικό και υψηλό φορτίο

5.6.4.1. Διατήρηση τυπικού λόγου συμπίεσης στο μερικό φορτίο

Σε αυτήν την προσέγγιση, οι αιχμές της πίεσης κοντά στο ΑΝΣ περιορίζονται, χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η συμπεριφορά του κινητήρα στο μερικό φορτίο. Σε έναν πετρελαιοκινητήρα, ο λόγος συμπίεσης του μερικού φορτίου, μπορεί να διατηρηθεί στην περιοχή των 15-16,5. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί καλή σταθερότητα της καύσης ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται και μείωση των εκπομπών CO και HC σε συνθήκες χαμηλού φορτίου. Επίσης είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι η προσέγγιση αυτή δεν επιβάλει τον σχεδιασμό νέου θαλάμου καύσης και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχουσες κεφαλές εμβόλων.

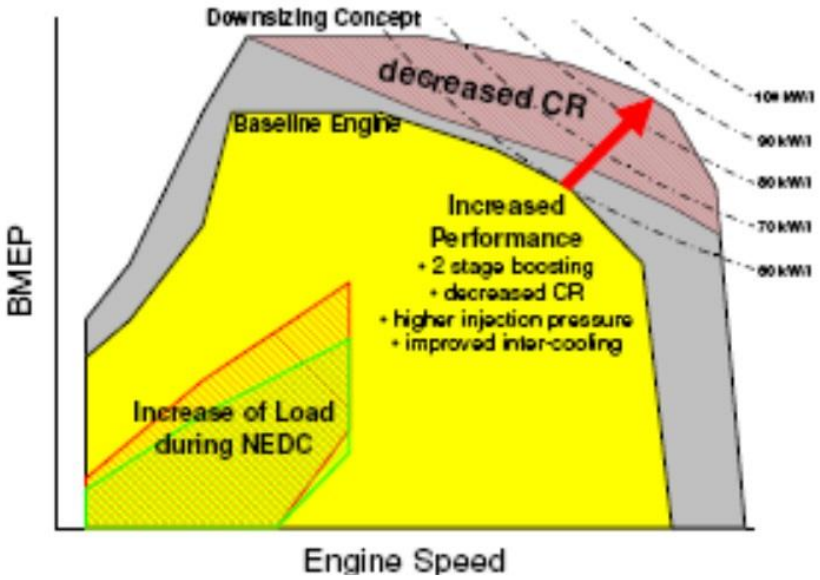


Σχήμα 5.37: Πλεονεκτήματα του υψηλού λόγου συμπίεσης στο χαμηλό φορτίο (οι δοκιμές έγιναν σε κινητήρα 1.6L HECS στις 1500rpm/3bar bmep) [55]

Στην περίπτωση του σταθερού λόγου συμπίεσης, η αύξηση της ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (EGR) στο υψηλό φορτίο κρατώντας παράλληλα την αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα σταθερή, ή

αυξάνοντας την αποδιδόμενη ισχύ και ροπή του κινητήρα για εφαρμογή downsizing, θα οδηγούσε σε αύξηση των μέγιστων τιμών της πίεσης του κυλίνδρου. Προκειμένου να γίνει περιορισμός ανάμεσα στα όρια αντοχής των υλικών του κινητήρα, γίνονται συμβιβασμοί όπως η καθυστέρηση του χρόνου και της ποσότητας έγχυσης του καυσίμου που απαιτείται. Διαφορετικά, μια χαμηλότερη τιμή του λόγου συμπίεσης θα έπρεπε να επιλεχθεί για να μπορεί ο κινητήρας να ανταπεξέλθει στην λειτουργία υψηλού φορτίου και να έχει κάποια πλεονεκτήματα στο μερικό φορτίο, όπως μείωση των εκπομπών CO. Σε μια τέτοια περίπτωση όμως θα έπρεπε να γίνουν παραχωρήσεις σχετικά με την αποδοτικότητα του κινητήρα στο χαμηλό φορτίο (Σχήμα 5.37) [55].

Με την χρήση συστήματος μεταβλητού λόγου συμπίεσης, η μέγιστη πίεση του κυλίνδρου μπορεί να περιοριστεί με την μείωση του λόγου συμπίεσης στο υψηλό φορτίο. Αυτή η τακτική οδηγεί σε μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και σε καλύτερες επιδόσεις του κινητήρα. Στο Σχήμα 5.38 αναπαρίσταται ένα παράδειγμα στρατηγικής των λόγων συμπίεσης από έναν downsized κινητήρα πετρελαίου με σύστημα μεταβολής του λόγου συμπίεσης δύο σταδίων [56].

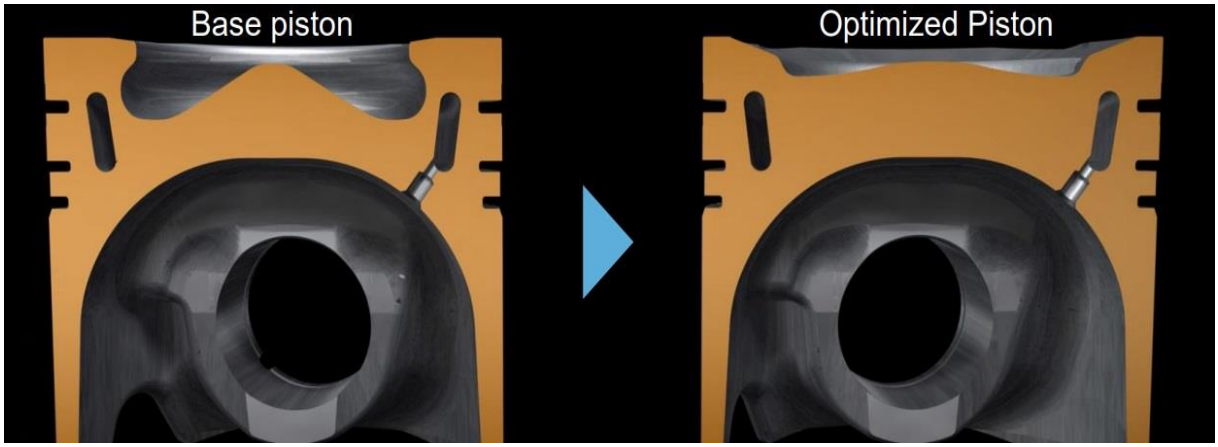


Σχήμα 5.38: Στρατηγική μεταβολής λόγου συμπίεσης για έναν κινητήρα πετρελαίου ελαφρού τύπου με σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων [56]

5.6.4.2. Αύξηση του λόγου συμπίεσης στο μερικό φορτίο

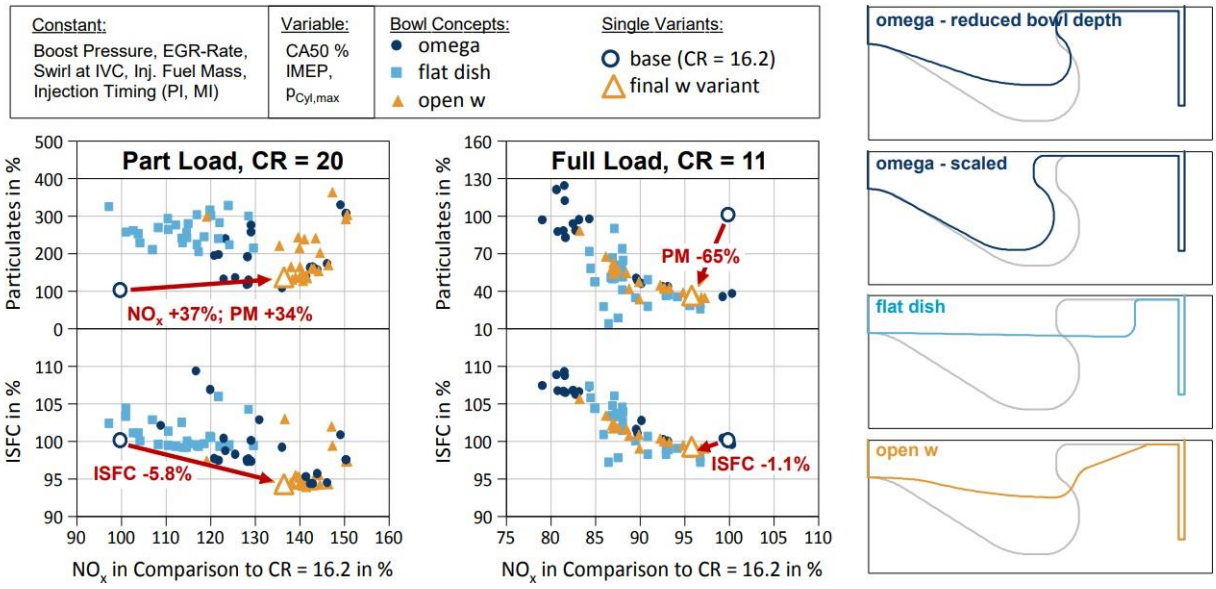
Με αυτήν την δεύτερη προσέγγιση, μπορεί να επιτευχθεί αύξηση της αποδοτικότητας του κινητήρα στο μερικό φορτίο. Οι σημερινοί θάλαμοι καύσης όμως, είναι σχεδιασμένοι για υψηλότερους λόγους συμπίεσης (20:1) και μπορεί να προκληθούν προβλήματα με την στόχευση της έγχυσης καυσίμου όταν ο λόγος συμπίεσης μειώνεται στο υψηλό φορτίο, λόγω της μεταβολής του διακένου ανάμεσα στο έμβολο και την κυλινδροκεφαλή. Επομένως η προσέγγιση αυτή απαιτεί

έναν διαφορετικό σχεδιασμό του θαλάμου καύσης [57]. Ένας κατάλληλος σχεδιασμός του θαλάμου καύσης για την εφαρμογή αυτή είναι η υιοθέτηση του σχήματος του ανοιχτού W-bowl (Σχήμα 5.39).

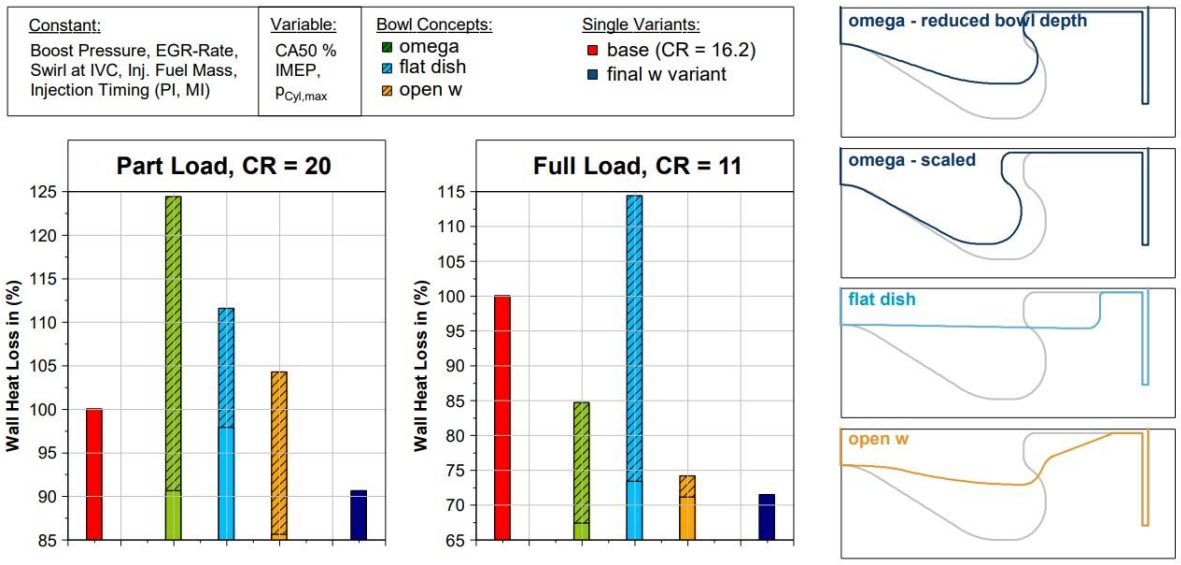


Σχήμα 5.39: Τροποποίηση σχήματος θαλάμου καύσης για χρήση σε κινητήρα diesel με μεταβλητό λόγο συμπίεσης [57]

Στο Σχήμα 5.40 εμφανίζονται οι επιδράσεις των διαφορετικών σχημάτων θαλάμου καύσης στις σχέσεις NO_x/particulates και NO_x/ISFC (ενδεικνύμενη ειδική κατανάλωση καυσίμου - Indicated Specific Fuel Consumption), για τις περιπτώσεις του μερικού και του υψηλού φορτίου. Στο μερικό φορτίο χρησιμοποιείται λόγος συμπίεσης με τιμή ίση με 20:1, ενώ στο υψηλό φορτίο 11:1. Ένας θάλαμος καύσης γεωμετρίας omega θα μπορούσε να δώσει πολύ καλά αποτελέσματα στο μερικό φορτίο ακόμα και με λόγο συμπίεσης 20:1, αλλά οι εκπομπές σωματιδίων και η κατανάλωση καυσίμου θα ανέβαιναν σημαντικά στο υψηλό φορτίο με λόγο συμπίεσης 11:1. Αντιστρόφως, ένας θάλαμος καύσης γεωμετρίας flat-dish-bowl, θα έδινε εξαιρετικά αποτελέσματα στο υψηλό φορτίο, αλλά οι εκπομπές των σωματιδίων στο μερικό φορτίο θα αυξάνονταν δραστικά μαζί με μια μικρή βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου. Η γεωμετρία τύπου W-bowl προσφέρει πλεονεκτήματα στην κατανάλωση καυσίμου, τόσο στο μερικό όσο και στο υψηλό φορτίο, ενώ παράλληλα μειώνει και τις εκπομπές σωματιδίων. Στις δοκιμές που έκανε ο Schramm [57], ο υψηλότερος λόγος συμπίεσης στο μερικό φορτίο αύξανε τις εκπομπές NO_x για σταθερό λόγο ανακυκλοφορίας των καυσαερίων. Στο Σχήμα 5.41 φαίνονται οι επιδράσεις της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης στις απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων.



Σχήμα 5.40: Επιδράσεις της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης στις εκπομπές και στην κατανάλωση καυσίμου κινητήρα με μεταβλητό λόγο συμπίεσης (Μερικό φορτίο: 1200rpm και IMEP: 8.5 bar, Υψηλό φορτίο: 4000rpm) [57]

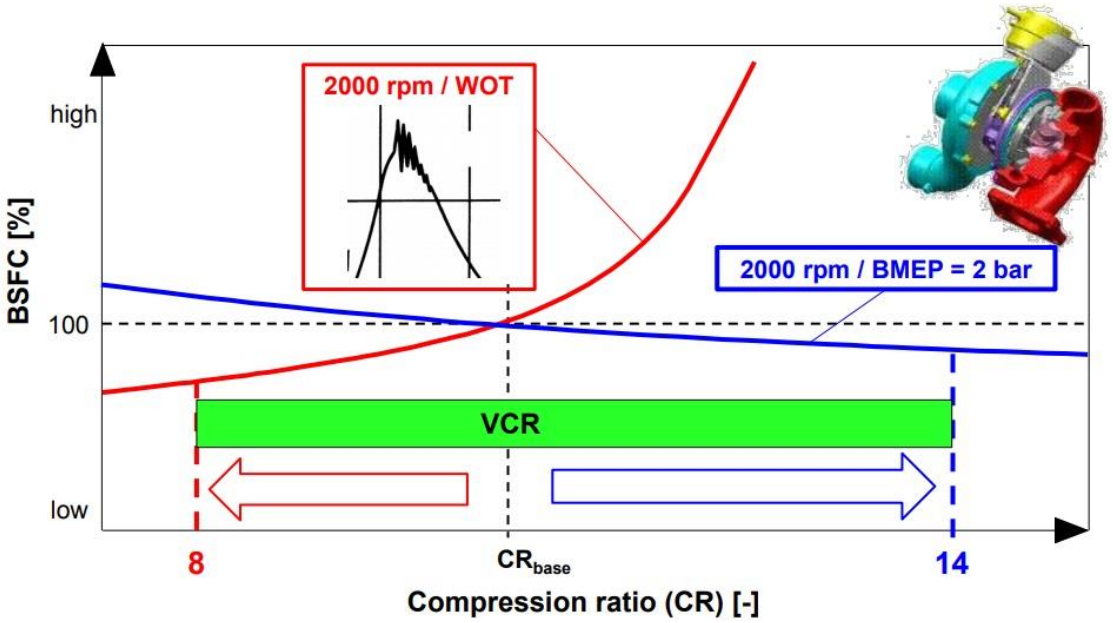


Σχήμα 5.41: Επίδραση της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης στις απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων σε πετρελαιοκινητήρα με σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης [57]

5.6.5. Πλεονεκτήματα σε κινητήρες βενζίνης

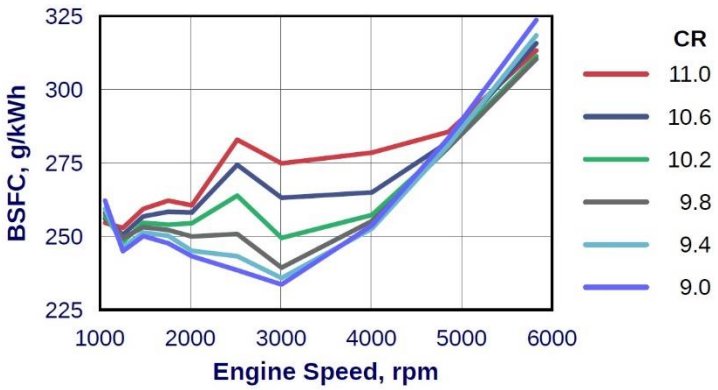
Στους βενζινοκινητήρες, στο χαμηλό φορτίο ένας υψηλός λόγος συμπίεσης προσφέρει πλεονεκτήματα, κάτι που περιορίζεται στην περίπτωση του υψηλού φορτίου λόγω του φαινομένου

του ‘χτυπήματος’/κρουστικής καύσης (knock) που μπορεί να εμφανιστεί. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου κρουστικής καύσης, μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του κινητήρα με σχετικά μικρό λόγο συμπίεσης μαζί με τον κατάλληλο χρονισμό του σπινθηρισμού. Ένας υψηλός λόγος συμπίεσης θα απαιτούσε καθυστέρηση του σπινθηρισμού και μετατόπιση του φαινομένου της καύσης αργότερα στην φάση της εκτόνωσης [58]. Τα πλεονεκτήματα του συστήματος μεταβλητού λόγου συμπίεσης σε έναν βενζινοκινητήρα, φαίνονται στο Σχήμα 5.42.



Σχήμα 5.42: Επίδραση του λόγου συμπίεσης ενός κινητήρα σπινθηρισμού στην ειδική κατανάλωση καυσίμου (BSFC), σε μερικό και υψηλό φορτίο [58]

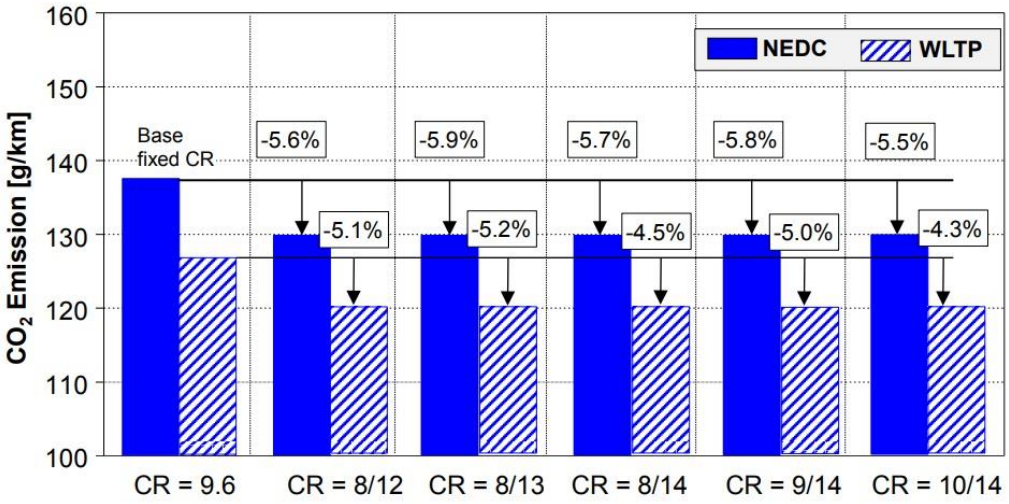
Στο Σχήμα 5.43 παρουσιάζονται λεπτομερώς οι επιδράσεις του λόγου συμπίεσης στην ειδική κατανάλωση καυσίμου, για υψηλό φορτίο ενός βενζινοκινητήρα. Στην περίπτωση των δοκιμών του Schernus [59], η κατανάλωση καυσίμου στο υψηλό φορτίο βελτιώθηκε μέχρι και κατά 15% για μείωση του λόγου συμπίεσης στο εύρος του 11-9:1.



Σχήμα 5.43: Επίδραση του λόγου συμπίεσης στην ειδική κατανάλωση καυσίμου για υψηλό φορτίο [59]

5.6.6. Μείωση εκπομπών CO_2 από σύστημα μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων

Στο Σχήμα 5.44 παρουσιάζονται τα περιθώρια μείωσης των εκπομπών CO_2 με την χρήση συστημάτων μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων, όπως παρουσιάστηκαν από τον Tomazic [58] για τους κύκλους οδήγησης NEDC και WLTP.

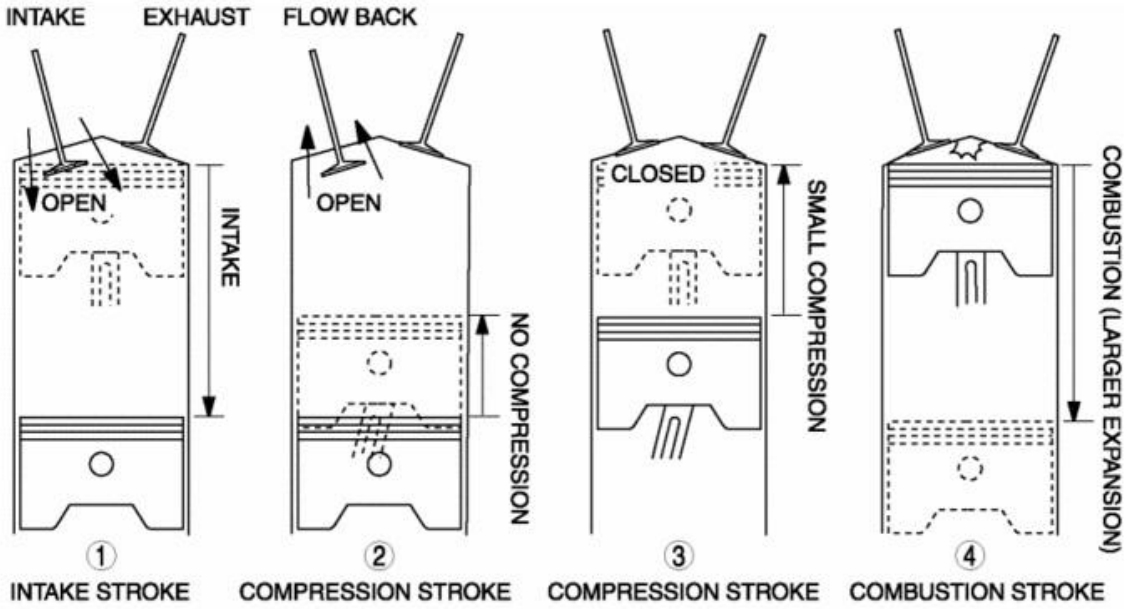


Σχήμα 5.44: Μείωση εκπομπών CO_2 από την χρήση συστημάτων μεταβλητού λόγου συμπίεσης δύο σταδίων [58]

5.7. Κύκλος Miller

5.7.1. Πλεονεκτήματα κύκλου Miller

Οι θερμοδυναμικοί κύκλοι στους οποίους ο αποτελεσματικός λόγος συμπίεσης (effective compression ratio) είναι μικρότερος από τον αποτελεσματικό λόγο εκτόνωσης (effective expansion ratio), αναφέρονται ως over-expanded κύκλοι. Ο κύκλος Miller (Σχήμα 5.45) αποτελεί έναν τέτοιο κύκλο με εφαρμοσμένη τακτική πρόωρου ή καθυστερημένου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής. Η επιβολή αυτών των τακτικών χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας στο τέλος της φάσης της συμπίεσης. Ο κύκλος Miller αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο των εκπομπών NO_x στο υψηλό φορτίο του κινητήρα. Οι κινητήρες βενζίνης που λειτουργούν σε κύκλο Miller έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα όπως οι μειωμένες απώλειες άντλησης (pumping losses) στο μερικό φορτίο, καλύτερη αποδοτικότητα και περιορισμό του φαινομένου της κρουστικής καύσης [60].



Σχήμα 5.45: Κύκλος Miller [61]

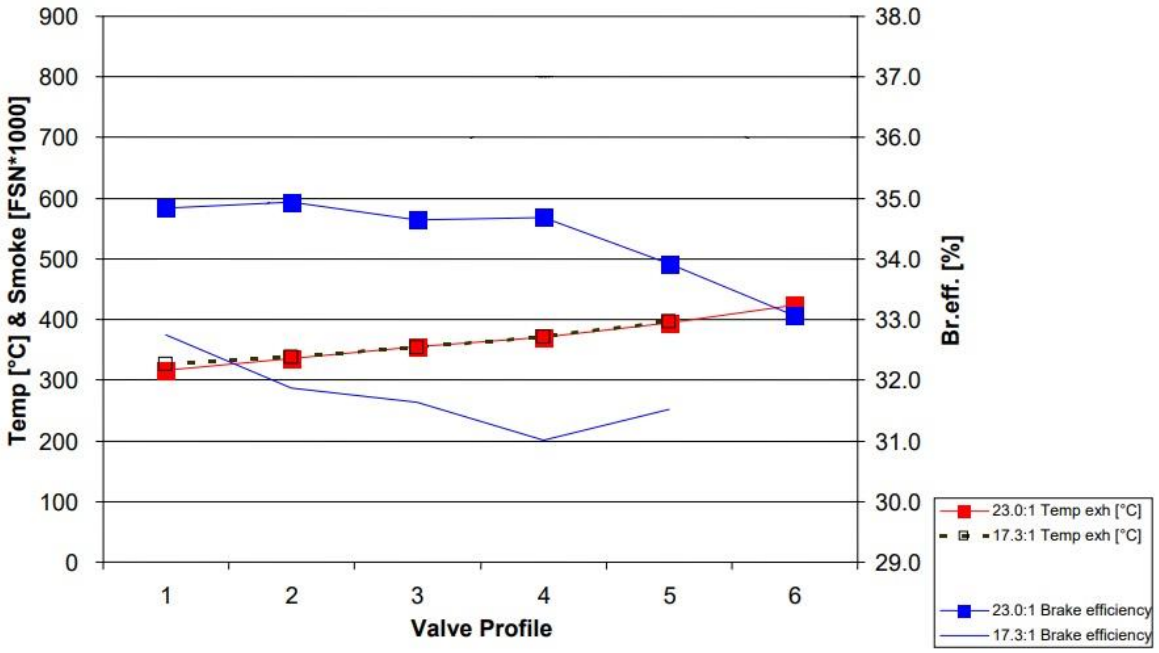
Ως over-expanded (θερμοδυναμικοί) κύκλοι συνήθως αναφέρονται οι κύκλοι Miller και Atkinson. Ο Ralph Miller, εφευρέτης του ομώνυμου κύκλου, θέλησε να εκμεταλλευτεί τον χρόνο κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής για να περιορίσει την θερμοκρασία όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Σε δύο από τις πατέντες που κατέθεσε [62], [63] περιέγραφε μηχανισμούς μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων που επέτρεπαν την ευελιξία του κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στον κύλινδρο στο τέλος της φάσης της εισαγωγής. Στην πατέντα του 1954 [62] περιγραφόταν ότι η θερμοκρασία στο τέλος της φάσης συμπίεσης θα έπρεπε να μειώνεται καθώς αυξάνεται το φορτίο, ώστε ο κινητήρας να μπορεί να κάψει περισσότερο καύσιμο στο πλήρες φορτίο, με όριο πάντα την αντοχή των υλικών που χρησιμοποιούνταν, και στόχευε συγκεκριμένα σε εφαρμογές υπερπληρωμένων κινητήρων. Η πατέντα του 1956 [63], στόχευε ειδικά στου κινητήρες σπινθηρισμού με την πρόθεση της αποφυγής της προανάφλεξης του μίγματος αέρα-καυσίμου, και την ανοχή πλουσιότερου μίγματος αέρα καυσίμου σε υψηλό φορτίο, διατηρώντας έναν υψηλό λόγο συμπίεσης.

Αν και ο Miller αναφερόταν και στο πρόωρο και στο καθυστερημένο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, φαίνεται να προτιμούσε την τακτική του πρόωρου κλεισίματος, στην οποία ο όγκος του κυλίνδρου συνεχίζει να αυξάνεται μετά το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής λόγω της συνέχισης της κίνησης του εμβόλου προς το ΚΝΣ, με αποτέλεσμα την περαιτέρω ψύξη του μίγματος αέρα-καυσίμου (internal-cooling). Οι σύγχρονες εφαρμογές κινητήρων που λειτουργούν σε κύκλο Miller, χρησιμοποιούν τόσο στρατηγική πρόωρου όσο και καθυστερημένου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής. Περιστασιακά, οι κινητήρες με καθυστερημένο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, αναφέρονται ως κινητήρες κύκλου Atkinson. Ορισμένοι περιορίζουν τον χαρακτηρισμό αυτό μόνο για τους κινητήρες φυσικής αναπνοής που χρησιμοποιούν την

στρατηγική του καθυστερημένου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής. Ωστόσο ο Atkinson στις πατέντες που κατέθεσε δεν αναφερόταν στην στρατηγική κλεισίματος των βαλβίδων, αλλά σε έναν κινητήρα που ο κύκλος του ολοκληρώνεται σε μια περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου, με έναν μηχανισμό της στροφαλοφόρου ατράκτου που επιτρέπει μεγαλύτερη λόγο εκτόνωσης από αυτόν της συμπίεσης [60].

5.7.2. Εφαρμογές κύκλου Miller σε πετρελαιοκινητήρες

Ένα πλεονέκτημα που μπορεί να επιτευχθεί από την στρατηγική του χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής του Miller, είναι η μείωση της ογκομετρικής απόδοσης που συμβαίνει. Η μικρότερη ογκομετρική απόδοση μειώνει τον λόγο αέρα-καυσίμου και έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία των καυσαερίων μέχρι και κατά 100ºC (Σχήμα 5.46) [64]. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία των καυσαερίων τόσο μεγαλύτερο είναι το πλεονέκτημα για τις συνθήκες χαμηλού φορτίου ενός πετρελαιοκινητήρα, καθώς ο καταλύτης SCR (Selective Catalyst Reduction) παραμένει ενεργός κάτω από ήπιες οδηγικές συνθήκες, χωρίς να χρειάζεται επιπλέον παροχή καυσίμου στο DOC (Diesel Oxidation Catalyst) για την αύξηση της θερμοκρασίας.



Σχήμα 5.46: Επίδραση του πρόωρου κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής στην θερμοκρασία των καυσαερίων και στην θερμική απόδοση για λόγους συμπίεσης 23:1 και 17.3:1 (χαμηλό φορτίο, 1250rpm, ισχύς 50kw, χωρίς EGR) [64]

Εάν χρησιμοποιηθεί ένας εκκεντροφόρος προσανατολισμένος στο καθυστερημένο κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής σε συνδυασμό με έναν υψηλότερο λόγο συμπίεσης, μπορεί να επιτευχθεί μια

σημαντική αύξηση του θερμικού βαθμού απόδοσης (BTE – brake thermal efficiency). Αυτή την προσέγγιση, δηλαδή χρήση σταθερού και όχι μεταβλητού χρονισμού, χρησιμοποιήθηκε από την SCANIA για τον κινητήρα DC13-149 Euro 6, καθώς και από την Cummins για τον κινητήρα ISX15 Efficiency Series. Ο σταθερός χρονισμός για καθυστερημένο κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής, θα μείωνε ταυτόχρονα της ογκομετρική απόδοση στο υψηλό φορτίο. Για την αποφυγή της χρήσης συστήματος υπερπλήρωσης δύο σταδίων για την διατήρηση της πυκνότητας ισχύος, η SCANIA χρησιμοποίησε αυτήν την τακτική στον κινητήρα της. Η ισχύς και η ροπή του κινητήρα Miller 13L της SCANIA είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από τον δυνατότερο συμβατικό 9L κινητήρα της (Πίνακας 5.11). Επίσης ο κινητήρας Miller λειτουργεί με λόγο συμπίεσης 21:1, ενώ οι συμβατικοί κινητήρες 19:1. Σε τυπικές συνθήκες οδήγησης αναφέρθηκε μια μείωση της κατανάλωσης καυσίμου της τάξης του 4% [60].

	DC09 130	DC09 126	DC09 127	DC13 149
Displacement, L	9.3			12.7
Cylinders	5			6
Bore × Stroke, mm	130 × 140			130 × 160
Compression Ratio	19.0			21.0
Max. power	206 kW (280 hp) @ 1900 rpm	235 kW (320 hp) @ 1900 rpm	265 kW (360 hp) @ 1900 rpm	272 kW (370 hp) @ 1900 rpm
Max. torque	1400 Nm @ 1000-1350 rpm	1600 Nm @ 1050-1350 rpm	1700 Nm @ 1000-1350 rpm	1900 Nm @ 1000-1300 rpm
Camshaft	Standard			Miller

Πίνακας 5.11: Σύγκριση του 13L Miller κινητήρα της SCANIA με την γκάμα των συμβατικών 9L κινητήρων της [60]

5.7.3. Εφαρμογές κύκλου Miller σε βενζινοκινητήρες

Πέρα από το πλεονέκτημα του μεγαλύτερου λόγου εκτόνωσης, ο κύκλος Miller στους βενζινοκινητήρες προσφέρει τα ακόλουθα προτερήματα [60]:

- Μειωμένες απώλειες άντλησης στο μερικό φορτίο

Η τακτική του καθυστερημένου και του πρόωρου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής μειώνει την αποτελεσματική πλήρωση του κυλίνδρου και επιτρέπει τη δημιουργία μεγαλύτερης πίεσης στην πολλαπλή εισαγωγή που είναι αποτελεσματική σε συνθήκες μερικού φορτίου (Σχήμα 5.47).

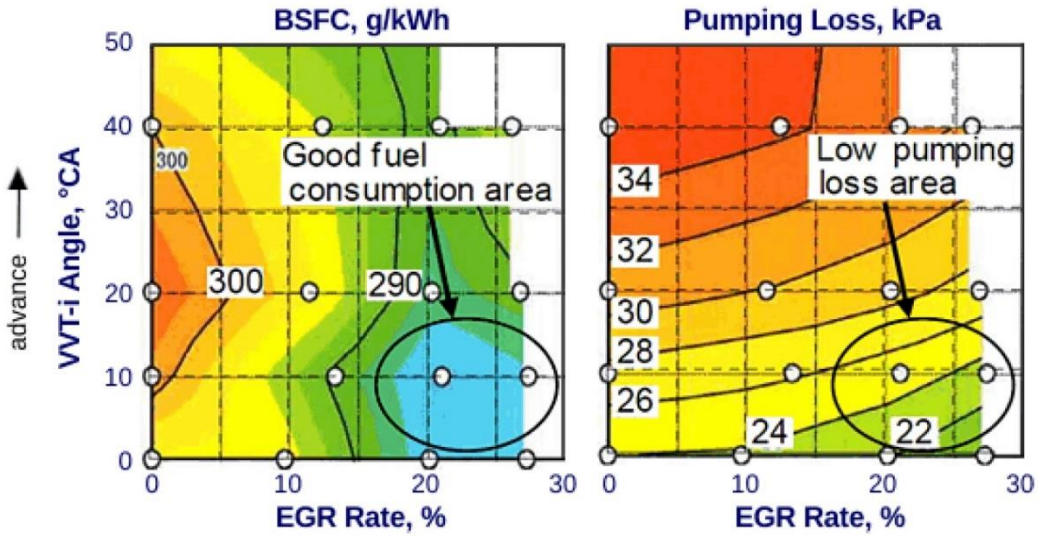
- Περιορισμός της κρουστικής καύσης σε υψηλό φορτίο

Ένας υψηλός λόγος συμπίεσης σε συνδυασμό με συμβατικό χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής, απαιτεί μέτρα όπως καθυστέρηση του χρόνου του σπινθηρισμού για την αποφυγή της κρουστικής καύσης σε υψηλό φορτίο. Η κρουστική καύση μπορεί να επιφέρει επιβλαβείς συνέπειες στην λειτουργία του κινητήρα σε αυτές τις συνθήκες λειτουργίας σε υψηλό φορτίο. Ο συνδυασμός ενός υψηλού λόγου συμπίεσης μαζί με μεταβλητό χρονισμό των βαλβίδων εισαγωγής σε υψηλό φορτίο, θα έριχνε σημαντικά την θερμοκρασία του κυλίνδρου και θα επέτρεπε η ρύθμιση του χρονισμού του σπινθηρισμού να γίνει με στόχο την μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας, ενώ παράλληλα θα

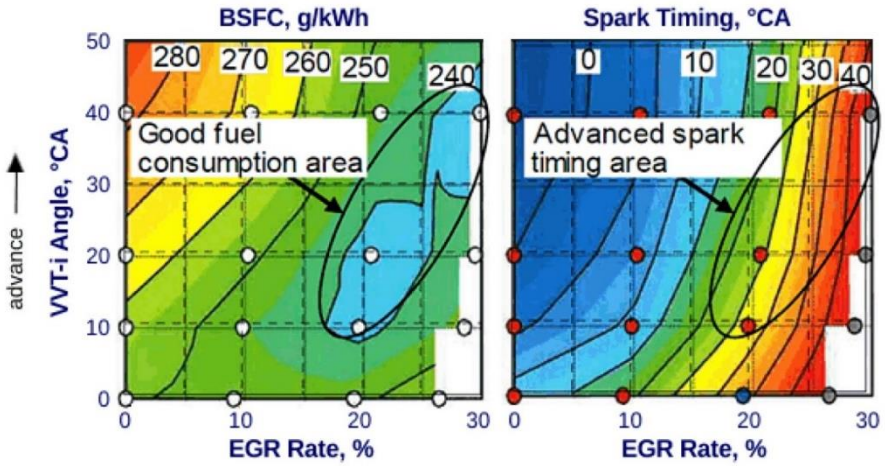
ήταν δυνατό να γίνει εκμετάλλευση του πλεονεκτήματος του υψηλού λόγου συμπίεσης (Σχήμα 5.48).

- Έλεγχος της μέγιστης πίεσης του κυλίνδρου

Η μέγιστη πίεση του κυλίνδρου μπορεί να περιοριστεί με την μεταβολή του χρονισμού του κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής.



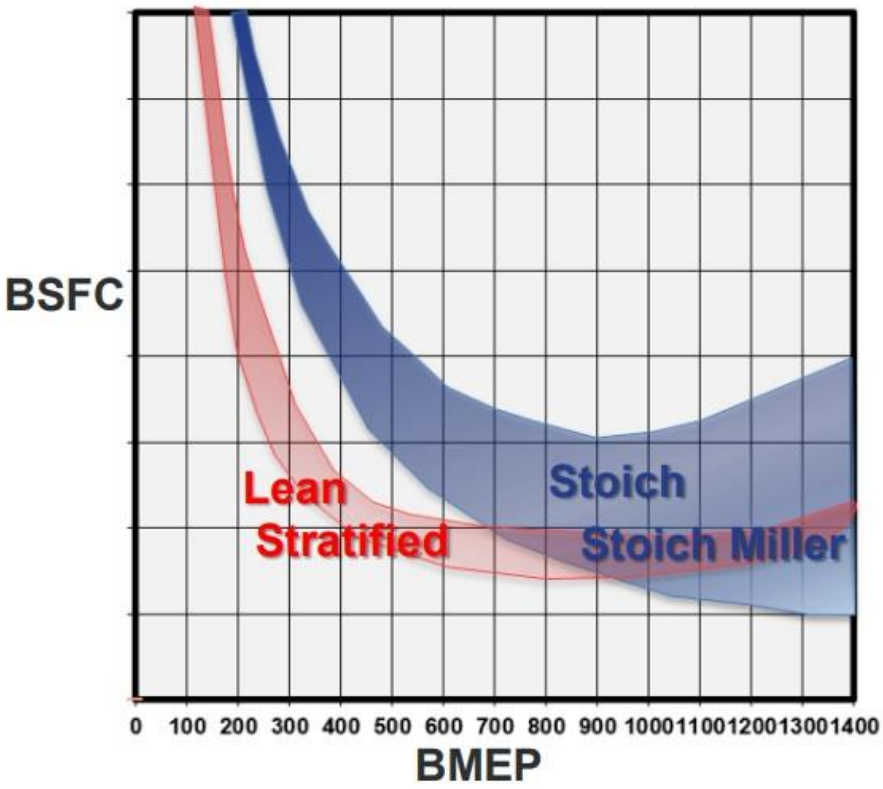
Σχήμα 5.47: Επίδραση του χρόνου κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και του λόγου ανακυκλοφορίας καυσαερίων στην ειδική κατανάλωση καυσίμου και στις απώλειες άντλησης σε χαμηλό φορτίο (κινητήρας Toyota 2ZR-FXE στις 1200rpm και 80nm) [65]



Σχήμα 5.48: Επίδραση του χρόνου κλεισίματος των βαλβίδων εισαγωγής και του λόγου ανακυκλοφορίας καυσαερίων στην ειδική κατανάλωση καυσίμου και στον χρόνο του σπινθηρισμού σε υψηλό φορτίο (κινητήρας Toyota 2ZR-FXE στις 1200rpm και 80nm, [65]

Η στρωματοποιημένη (stratified) καύση πτωχού μίγματος μπορεί να προσφέρει μεγάλο περιθώριο βελτίωσης της αποδοτικότητας στα χαμηλά φορτία στους κινητήρες σπινθηρισμού συγκριτικά με

την συμβατική στοιχειομετρική ή στοιχειομετρική καύση σε κύκλο Miller (Σχήμα 5.49). Η GM από το 2015 αναπτύσσει έναν κινητήρα που συνδυάζει την καύση φτωχού στρωματοποιημένου μίγματος και στοιχειομετρική λειτουργία του κινητήρα σε κύκλο Miller [66].



Σχήμα 5.49: Σύγκριση των πλεονεκτημάτων στην ειδική κατανάλωση καυσίμου ανάμεσα στις περιπτώσεις της φτωχής στρωματοποιημένης καύσης, της στοιχειομετρικής καύσης και της στοιχειομετρικής καύσης σε κύκλο Miller, σε συνάρτηση με το φορτίο του κινητήρα [66]

Η προσέγγιση της GM, θα χρησιμοποιεί πτωχό στρωματοποιημένο μίγμα για την καύση σε φορτία κάτω των 6 bar μέσης πραγματικής πίεσης, ενώ σε υψηλότερα φορτία ο κινητήρας θα δουλεύει σε στοιχειομετρική λειτουργία Miller. Πέρα από τον υψηλότερο λόγο εκτόνωσης, με την λειτουργία Miller στα υψηλότερα φορτία αποφεύγεται η ανάγκη για ενίσχυση του μίγματος ή για καθυστέρηση του σπινθηρισμού για την αντιμετώπιση της κρουστικής καύσης. Το 2017 και ενώ η ανάπτυξη του κινητήρα βρισκόταν σε εξέλιξη μελετήθηκε η υιοθέτηση πρόωρου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής στο μέσο φορτίο και καθυστερημένο κλείσιμο για το υψηλό φορτίο. Για την επίτευξη ικανοποιητικής πυκνότητας ισχύος προτάθηκε η χρήση μηχανικού υπερσυμπιεστή δύο ταχυτήτων υποβοηθούμενου από ηλεκτρικό κινητήρα. Οι υπολογισμοί της εταιρείας κάνουν λόγω για μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 35% συγκριτικά με ένα αντίστοιχο συμβατικό όχημα του 2010 [66].

5.8. Ηλεκτρικά οχήματα

Η ηλεκτρικοποίηση (electrification) του κινητήριου συστήματος των οχημάτων, είναι μια σημαντική μέθοδος για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και κατ' επέκταση των εκπομπών CO_2 των οχημάτων. Σύμφωνα με πολλές απόψεις, είναι πιθανόν η μοναδική λύση για την επίτευξη των ιδιαίτερα φιλόδοξων φημολογούμενων στόχων για 65-75 gCO_2/km που πιθανότατα θα μπουν σε ισχύ προς το τέλος της επόμενης δεκαετίας στην Ε.Ε. Η ηλεκτρικοποίηση επιτυγχάνεται μέσα από ένα σύνολο μορφών, με την πιο απλή από αυτές να αποτελεί το ήδη αναφερθέν παραπάνω σύστημα start-stop μέχρι πιο σύνθετες υβριδικές εφαρμογές που συμπληρώνουν τον συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ηλεκτροκινητήρα, αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες και οχήματα με σύστημα κυψελών καυσίμου.

5.8.1. Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και παραχθεί αρκετοί τύποι ηλεκτρικών οχημάτων. Καθένας από αυτούς παρουσίασε διαφορετική εμπορική πορεία. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τυπικές μορφές ηλεκτρικών οχημάτων [31].

5.8.1.1. Υβριδικά οχήματα (HEV – hybrid-electric vehicles)

5.8.1.1.1. Σύστημα παύσης κινητήρα - start-stop (SS)

Η λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης διακόπτεται όταν το όχημα ακινητοποιείται, ενώ μπαίνει άμεσα σε λειτουργία όταν ο οδηγός θελήσει να επιταχύνει.

5.8.1.1.2. Ήπια υβριδικά - mild hybrid (MHEV)

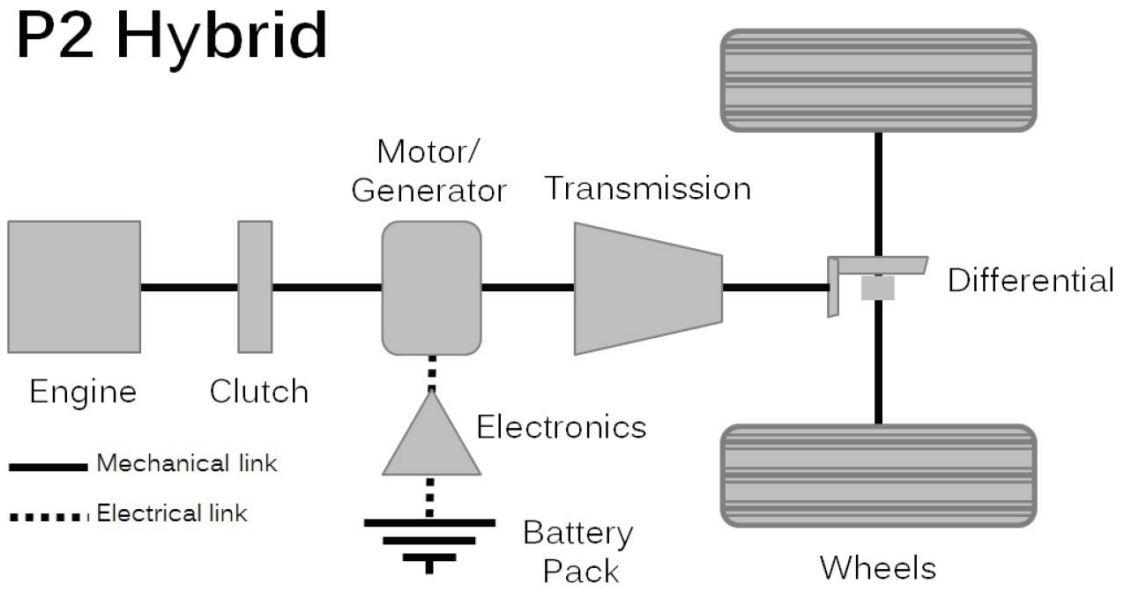
Ένα μικρός ηλεκτρικός κινητήρας και μια μπαταρία συνδυάζονται με έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το ηλεκτρικό σύστημα υποστηρίζει το έργο του κινητήρα εσωτερικής καύσης κατά τα διαστήματα επιταχύνσεων και ανακτά ενέργεια μέσω της αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking).

5.8.1.1.3. Ισχυρά υβριδικά - Strong hybrid (P2 και Power Split)

Ένας μεγαλύτερος ηλεκτρικός κινητήρας και μια μπαταρία συνδυάζονται με έναν downsized κινητήρα εσωτερικής καύσης, αυξάνοντας τα επίπεδα ανάκτησης ενέργειας από αναγεννητική

πέδηση και επεκτείνοντας τα χρονικά διαστήματα που η κίνηση επιτυγχάνεται αποκλειστικά μέσω του ηλεκτροκινητήρα.

Στην περίπτωση των P2 Strong Hybrid, ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι συνδεδεμένος μέσω συμπλέκτη με την στροφαλοφόρο άτρακτο του κινητήρα εσωτερικής καύσης και στην συνέχεια συνδέεται με ένα συμβατικό κιβώτιο ταχυτήτων (Σχήμα 5.50). Λόγω της ύπαρξης του συμπλέκτη, οι τριβές του κινητήρα δεν μειώνουν την αναγεννητική πέδηση κατά την φάση επιβράδυνσης του οχήματος. Επίσης με την βοήθεια του κιβωτίου ταχυτήτων, ο ηλεκτρικός κινητήρας/γεννήτρια μπορεί να περιστρέφεται σε μεγαλύτερη ταχύτητα με αποτέλεσμα να ανακτά περισσότερη ενέργεια. Ένα παράδειγμα οχήματος της κατηγορίας P2 είναι το Hyundai Sonata 2014, το οποίο εμφανίζεται διαφορά στην εξοικονόμηση καυσίμου της τάξης του 28,9%. Η συμβατική έκδοση του μοντέλου κινείται από έναν κινητήρα 2.4L ισχύος 177 HP με λόγο συμπίεσης 11.3:1. Η υβριδική έκδοση του μοντέλου κινείται από έναν κινητήρα 2.4L κύκλου Atkinson, ισχύος 159 HP με λόγο συμπίεσης 13:1. Ο κινητήρας της υβριδικής έκδοσης έχει χαμηλότερη ισχύ αλλά μεγαλύτερη απόδοση και συνδυάζεται με έναν ηλεκτρικό κινητήρα μόνιμων μαγνητών ισχύος 47 HP. Έτσι, η συνολική ισχύς της υβριδικής έκδοσης είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της συμβατικής.

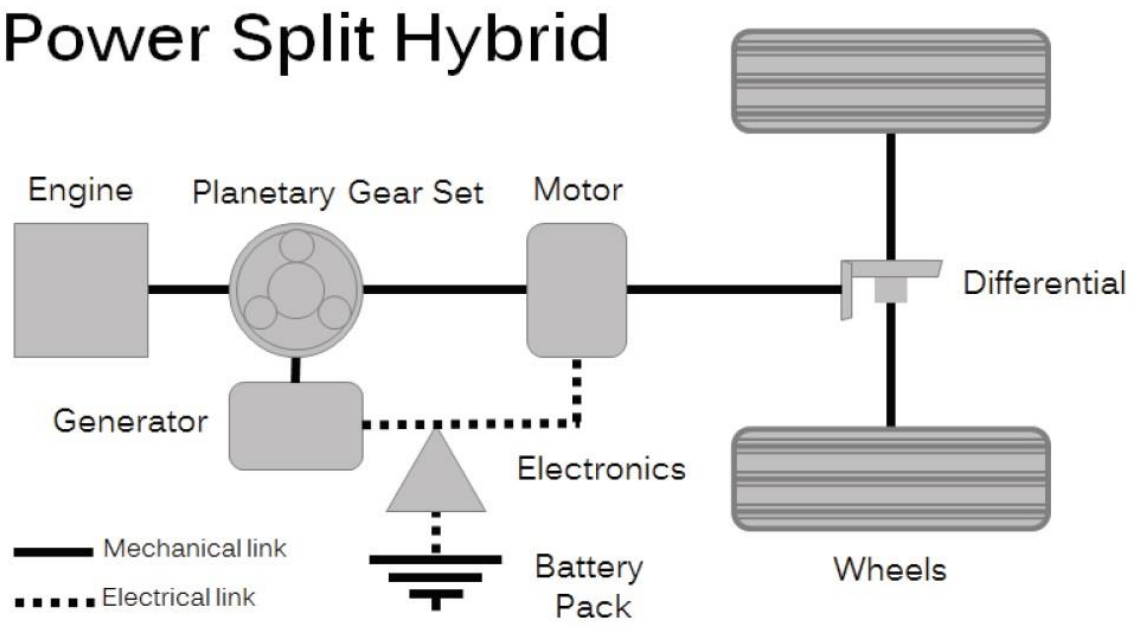


Σχήμα 5.50: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της κατηγορίας P2 [31]

Τα οχήματα τύπου Power Split Strong Hybrid, βασίζονται σε ένα πλανητικό σύστημα γραναζιών που δέχεται τρεις «εισόδους»: τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, τον ηλεκτροκινητήρα και την γεννήτρια. Η γεννήτρια χρησιμοποιείται για την φόρτιση της μπαταρίας, ενώ ο ηλεκτροκινητήρας συνδέεται με τους τροχούς του οχήματος έτσι ώστε να παρέχει περισσότερη ροπή κατά τις φάσεις επιτάχυνσης του οχήματος και για να ανακτά ενέργεια προκειμένου να φορτίζει την μπαταρία. Η δομή του συστήματος των Power Split Strong Hybrid (Σχήμα 5.51), παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Μέρος της ισχύος καταλήγει στους τροχούς με τον πιο αποδοτικό τρόπο, δηλαδή με την βοήθεια γραναζιών.
- Όταν η ισχύς του κινητήρα δεν χρειάζεται για την κίνηση του οχήματος, μέρος της μεταφέρεται στην γεννήτρια, η οποία με την σειρά της θα φορτίσει την μπαταρία του οχήματος.
- Ο ηλεκτροκινητήρας, η γεννήτρια και η μπαταρία μπορούν να διαστασιολογηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να χειρίζονται μόνο ένα μέρος της μέγιστης ισχύος του κινητήρα, ελαχιστοποιώντας έτσι το κόστος.

Δύο παραδείγματα οχημάτων που χρησιμοποιούν την αρχιτεκτονική του συστήματος Power Split Strong Hybrid, είναι το Toyota Camry LE hybrid και το Ford Fusion Hybrid SE. Στην περίπτωση του οχήματος της Toyota, το υβριδικό Camry πέτυχε βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου της τάξης του 33,5%. Στην περίπτωση της Ford, η υβριδική έκδοση του Fusion σημείωσε βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου κατά 47,7% σε σχέση με τη συμβατική έκδιση.



Σχήμα 5.51: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της κατηγορίας Power Split Hybrid [31]

5.8.1.2. Ηλεκτρικά οχήματα πρίζας - Plug-in Electric Vehicles (PEV)

Τα Plug-in Hybrids οχήματα αποτελούν το ενδιάμεσο στάδιο για την μετάβαση από τα υβριδικά (HEVs) στα οχήματα με μπαταρία (BEVs). Τα PHEVs διαφέρουν από τα HEVs, λόγω του ότι μπορούν να λάβουν ενέργεια φορτίζοντας τις μπαταρίες τους από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας κάποιο μέρος της κίνησής τους να πραγματοποιείται χωρίς την χρήση καυσίμου. Όπως τα HEVs έτσι και τα PHEVs διαθέτουν και αυτά κινητήρα εσωτερικής καύσης

αλλά συνήθως είναι εφοδιασμένα με μπαταρίες μεγαλύτερης χωρητικότητας και σύστημα ηλεκτρικής κίνησης που επιτρέπει την οδήγηση του οχήματος με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης απενεργοποιημένο. Τα PHEVs πλεονεκτούν έναντι των HEVs στα ακόλουθα:

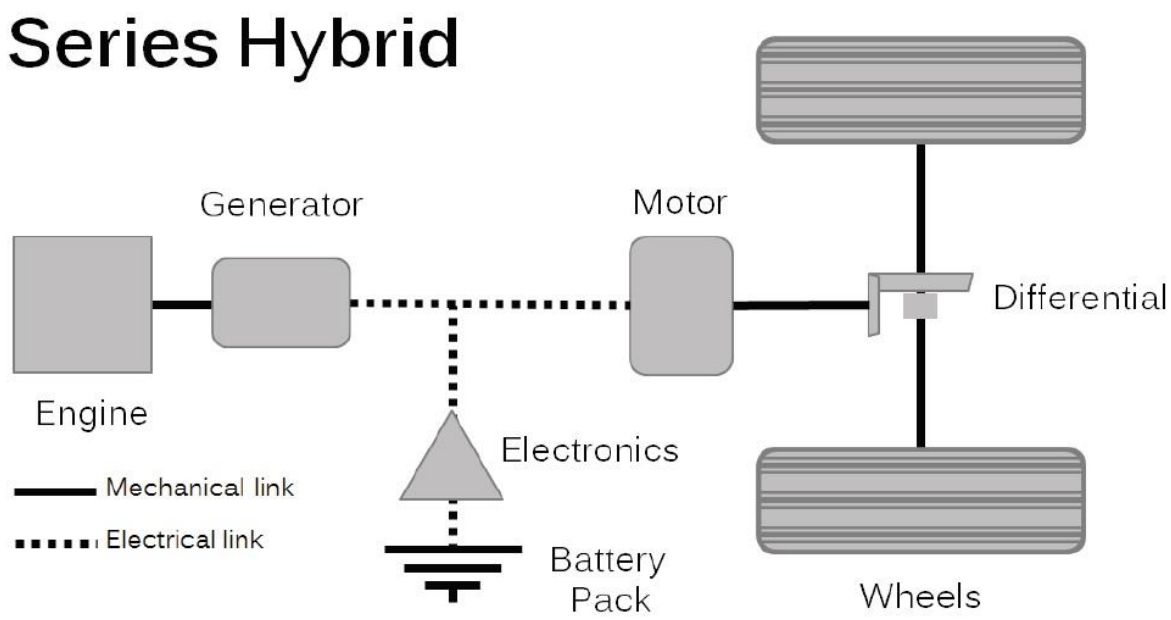
- Μειωμένη κατανάλωση καυσίμου, λόγω της δυνατότητας φόρτισης από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Σημαντικά μειωμένο κόστος ανά απόσταση που διανύεται για ηλεκτρική λειτουργία συγκριτικά με την λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- Μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανάλογα με την αναλογία καθαρά ηλεκτρικής λειτουργίας και οδήγησης με λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης, και ανάλογα με την περιοχή φόρτισης των μπαταριών του οχήματος (οι εκπομπές από την ηλεκτροπαραγωγή διαφέρουν ανάλογα με το μέρος και την ώρα). Για παράδειγμα, έχει υπολογιστεί ότι το όχημα PHEV Chevrolet Volt όταν λειτουργεί και φορτίζεται στην ευρύτερη περιοχή του Μίσιγκαν των ΗΠΑ εκπέμπει 290 gCO_2/mile, στην περιοχή της Καλιφόρνια 180 gCO_2/mile, ενώ ο μέσος όρος σε όλη την επικράτεια των Ηνωμένων Πολιτειών είναι 210 gCO_2/mile [67].
- Μειωμένες εκπομπές (NO_x,CO και HC).
- Ικανοποιητική εμβέλεια για καθημερινές μετακινήσεις στον αστικό κύκλο χωρίς να γίνεται χρήση υγρών καυσίμων.

5.8.1.2.1. Series PHEV

Όσον αφορά τα σειριακά οχήματα PHEV (Σχήμα 5.52), ο κινητήρας εσωτερικής καύσης συνδέεται με μια γεννήτρια που φορτίζει την μπαταρία. Η μπαταρία τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα, ενώ κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης του οχήματος ο ηλεκτροκινητήρας φορτίζει την μπαταρία μέσω της αναγεννητικής πέδησης. Τα πλεονεκτήματα του των σειριακών PHEVs είναι τα ακόλουθα:

- Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα και πλήρες φορτίο κατά την διάρκεια φόρτισης της μπαταρίας. Έτσι μπορεί να λειτουργεί με την μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα (αφού δεν «βλέπει» άμεσα τις μεταβαλλόμενες συνθήκες κυκλοφορίας στο δρόμο) και να είναι εφοδιασμένος με απλούστερα συστήματα ελέγχου των εκπομπών.
- Ο ηλεκτροκινητήρας είναι σχεδιασμένος για να προσφέρει μέγιστη ισχύ και επιδόσεις στο όχημα.
- Ο ηλεκτροκινητήρας των PHEVs, μπορεί να λειτουργεί και σαν γεννήτρια στις φάσεις των επιβραδύνσεων για την φόρτιση της μπαταρίας μέσω της αναγεννητικής πέδησης.

Ένα παράδειγμα οχήματος PHEV είναι το Chevrolet Volt, το οποίο είναι εφοδιασμένο με μια μπαταρία 16 kWh και έναν μικρό κινητήρα εσωτερικής καύσης ισχύος 63 kW. Ο ηλεκτροκινητήρας του οχήματος αποδίδει 111 kW ισχύος ενώ οι γεννήτρια έχει επιλεγεί στα 54 kW ώστε να ταιριάζει με την αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το Chevrolet Volt πετυχαίνει εξοικονόμηση καυσίμου 27,5% σε σχέση με το αντίστοιχο συμβατικό.



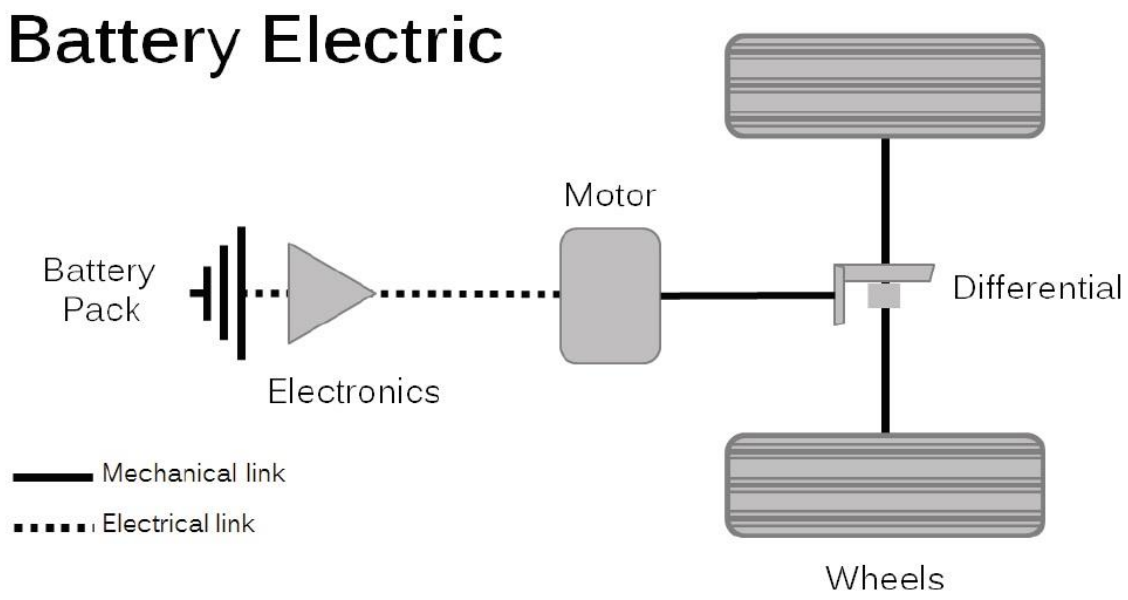
Σχήμα 5.52: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της Series κατηγορίας PHEV [31]

5.8.1.2.2. Power Split PHEV

Στην περίπτωση των PS PHEV, η δομή του ηλεκτρικού συστήματος είναι παρόμοια με αυτή των PS Strong Hybrid, μόνο που η μπαταρία έχει μεγαλύτερο μέγεθος για αυξημένη εμβέλεια. Επίσης ένα όχημα τύπου PS PHEV μπορεί να κινηθεί αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή με απενεργοποιημένο τον κινητήρα εσωτερικής καύσης.

5.8.1.3. Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας - Battery Electric Vehicle (BEV)

Σε αντίθεση με τα υβριδικά οχήματα, η κίνηση των BEVs (Σχήμα 5.53) στηρίζεται εξ' ολοκλήρου στην ενέργεια που αποθηκεύεται στην μπαταρία που διαθέτουν. Επομένως η εμβέλεια τους περιορίζεται από την χωρητικότητα της μπαταρίας τους. Τα περισσότερα BEVs σήμερα χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου.



Σχήμα 5.53: Σχηματική αναπαράσταση της δομής των οχημάτων της κατηγορίας BEV [31]

5.8.1.4. Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου - Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)

Η ενέργεια για την κίνηση του οχήματος εξασφαλίζεται από κυψέλες καυσίμου. Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το υδρογόνο, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με την οποία φορτίζεται η μπαταρία για την τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα που κινεί το όχημα.

5.8.2. Εξοικονόμηση καυσίμου από την χρήση διαφόρων τεχνολογιών ηλεκτρικών οχημάτων

Ο Πίνακας 5.12 παρουσιάζει τις ποσοστιαίες διαφορές που προκύπτουν στην κατανάλωση καυσίμου και την οικονομία καυσίμου ανάμεσα σε ηλεκτρικά οχήματα και τα αντίστοιχα συμβατικά μοντέλα. Επίσης ο Πίνακας 5.13 παρουσιάζει συγκεντρωτικά αποτελέσματα της εκτιμώμενης μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου των διάφορων τεχνολογιών των ηλεκτρικών οχημάτων που συζητήθηκαν παραπάνω.

Agencies' FC reduction projection for midsize vehicle	Example Models	Engine Size (L) and Type	Transmission	Certification City FE (mpg)	Certification Hwy FE (mpg)	Certification Combined FE (mpg)	Certification Combined FC (g/100 mi)	Fuel Consumption Change (%)	Fuel Economy Improvement (% mpg)
MHEV 6.6%	2013 Malibu regular[a]	2.5	S6	28.34	48.18	34.79	2.87	Baseline	Baseline
	2013 Malibu eAssist[a]	2.4	S6	31.98	51.88	38.65	2.59	−10.0	11.1
	2014 LaCrosse regular	3.6 V6	S6	22.46	39.25	27.81	3.60	Baseline	Baseline
	2014 LaCrosse eAssist	2.4 I4	S6	31.50	51.20	38.10	2.62	−27.0	37.0
P2 33.6%	2014 Sonata regular	2.4 I4	AM6	30.42	48.79	36.63	2.73	Baseline	Baseline
	2014 Sonata hybrid	2.4 I4	AM6	48.00	56.60	51.52	1.94	−28.9	40.7
	2014 Sonata hyb ltd	2.4 I4	AM6	47.70	56.40	51.26	1.95	−28.5	40.0
	2014 Jetta regular	2.0	S6	28.10	41.50	32.88	3.04	Baseline	Baseline
	2014 Jetta hybrid	1.4 T	AM 7	57.50	65.30	60.77	1.65	−45.9	84.8
PS 33%	2014 Camry	2.5 I4	S6	32.00	50.00	38.19	2.62	Baseline	Baseline
	2014 Camry hyb LE	2.5 I4	Var	58.50	56.10	57.40	1.74	−33.5	50.3
	2014 Camry hyb XLE/SE	2.5 I4	Var	55.07	54.56	54.84	1.82	−30.4	43.6
	2014 Fusion	2.0 I4 T	S6	28.50	46.60	34.54	2.90	Baseline	Baseline
		1.5 I4 T	S6	29.63	50.38	36.37	2.75	Alternative baseline	Alternative baseline
		2.5 I4	S6	28.30	47.38	34.56	2.89	Alternative baseline	Alternative baseline
	2014 Fusion hybrid	2.0 I4	Var	65.07	67.34	66.07	1.51	−47.7	91.3

[a] The 2013 Malibu was used because the 2014 model added stop-start to the conventional vehicle.

Πίνακας 5.12: Ποσοστιαίες διαφορές κατανάλωσης και οικονομίας καυσίμου ανάμεσα σε ηλεκτρικά και τα αντίστοιχα συμβατικά οχήματα [31]

Electrification Technology	NRC Most Likely Fuel Consumption Reduction[a] (%)	NHTSA Estimated Fuel Consumption Reduction[a] (%)
SS	2.1[b]	2.1[b]
MHEV	6.5[b]	6.5[b]
P2	28.9 - 33.6	33.6
PS	33 - 33.5	33
PHEV40	N/A	65.1
EV75	N/A	87.2

[a] Relative to baseline unless otherwise noted.
[b] Relative to previous technology.

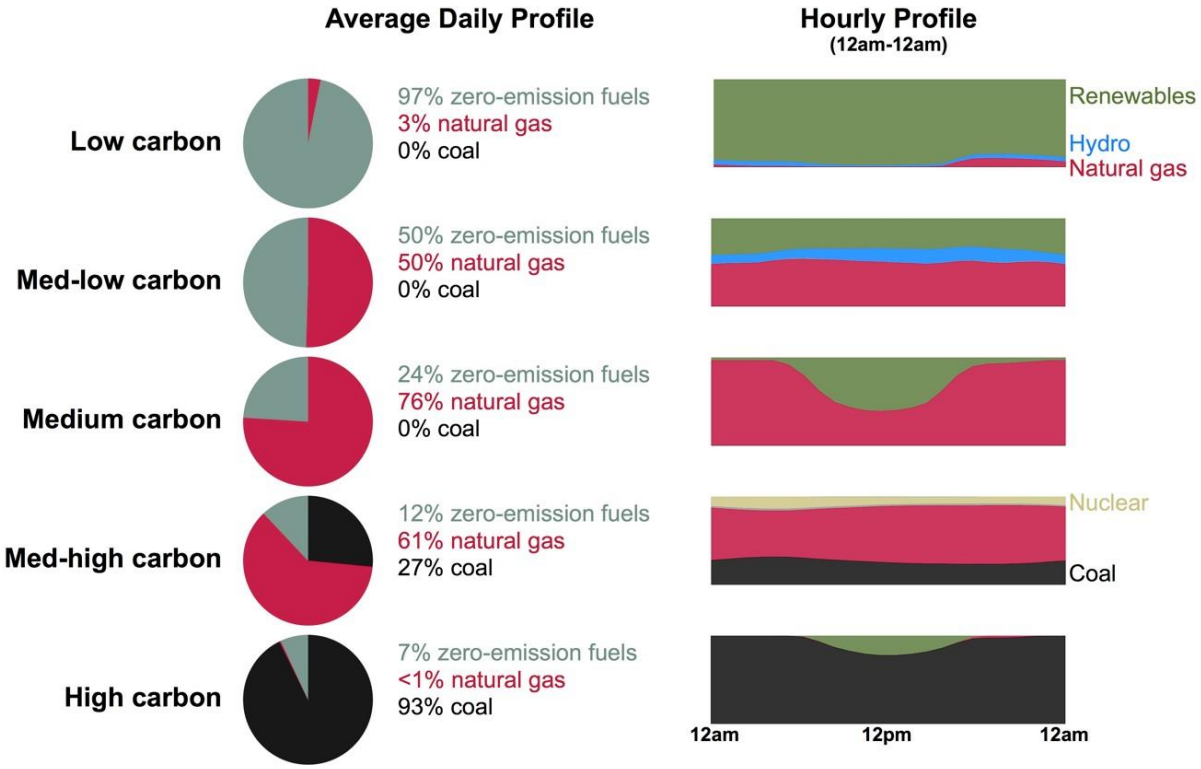
Πίνακας 5.13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της εκτιμώμενης μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου ανά κατηγορία ηλεκτρικού οχήματος [31]

5.8.3. Επιδράσεις στα επίπεδα εκπομπών CO_2 των ηλεκτρικών οχημάτων

Στην έκθεση του McLaren [68], εξετάστηκαν οι επιδράσεις των εκπομπών CO_2, ανάλογα με την ώρα της ημέρας και το σενάριο φόρτισης για πέντε διαφορετικά δίκτυα ηλεκτρισμού και διάφορα οχήματα. Διερευνήθηκαν οχήματα PHEV και BEV που χρησιμοποιούν εξοπλισμό αργής ή ταχείας φόρτισης σε διάφορα χρονικά διαστήματα της ημέρας.

5.8.3.1. Τύποι ηλεκτροπαραγωγής

Τα ηλεκτρικά δίκτυα με τα οποία φορτίστηκαν τα οχήματα διαφέρουν μεταξύ λόγω της διαφορετικής πυκνότητας άνθρακα της μίξης των καυσίμων που χρησιμοποιούν. Μοντελοποιήθηκαν πέντε διαφορετικά ηλεκτρικά δίκτυα κάθε ένα από τα οποία αντιπροσώπευε μια διαφορετική περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών και χαρακτηριζόταν από ένα διαφορετικό προφίλ ωριαίας παραγωγής για μια ολόκληρη εβδομάδα (Σχήμα 5.54).



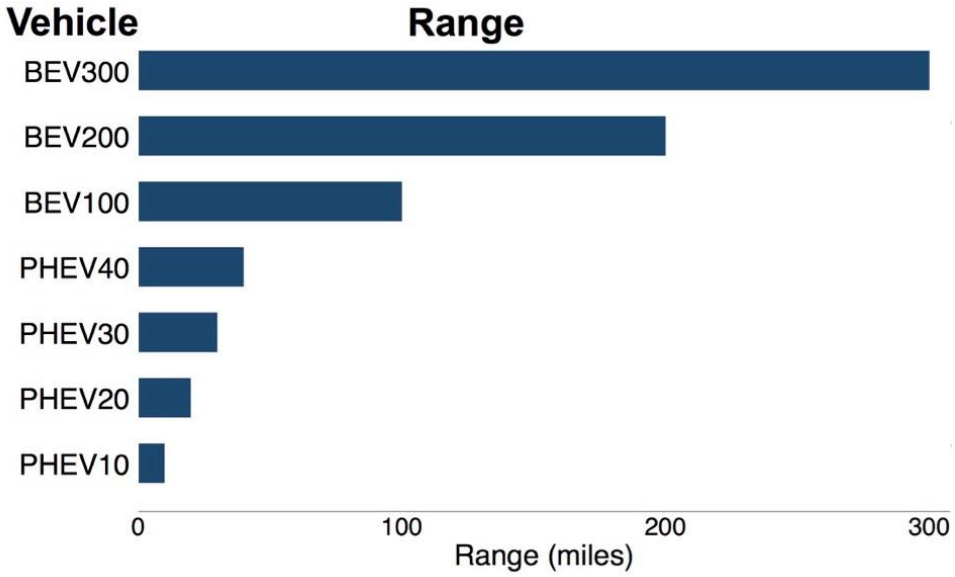
Σχήμα 5.54: Διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας άνθρακα για κάθε μίξη καυσίμων που χρησιμοποιούν πέντε διαφορετικά ηλεκτρικά δίκτυα

5.8.3.2. Εμβέλεια οχημάτων και σενάρια φόρτισης

Επίσης η έκθεση του McLaren [68] δεν περιορίστηκε μόνο στην συσχέτιση των εκπομπών λόγω των διαφορετικών ηλεκτρικών δικτύων, αλλά έλαβε υπόψιν και τις εκπομπές των μη-ηλεκτρικών χιλιομέτρων από τα ηλεκτρικά οχήματα. Τα μη-ηλεκτρικά χιλιόμετρα περιλαμβάνουν τα χιλιόμετρα κατά τα οποία τα οχήματα PHEV οδηγούνται σε λειτουργία με ενεργοποιημένο τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, καθώς και τα χιλιόμετρα για τα οποία οι κάτοχοι των BEV οχημάτων αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν ένα συμβατικό όχημα για την εξυπηρέτηση των αναγκών τους στην περίπτωση που η διαδρομή που θέλουν να διανύσουν δεν μπορεί να καλυφθεί από το επίπεδο φόρτισης του οχήματός τους. Οι τύποι οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς

και η μέγιστη χιλιομετρική τους εμβέλεια για ηλεκτρική λειτουργία ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση, εμφανίζονται στο (Σχήμα 5.55).

Προσομοιώθηκαν τέσσερα σενάρια φόρτισης, αντιπροσωπεύοντας ένα σύνολο διαφορετικών περιπτώσεων. Τρία σενάρια αφορούσαν σε φόρτιση στο σπίτι ενώ το τέταρτο αφορούσε σε φόρτιση στο σπίτι και στον χώρο εργασίας του κατόχου του οχήματος. Στα σενάρια που αφορούσαν την φόρτιση στο σπίτι, οι οδηγοί είχαν την δυνατότητα να φορτίσουν το όχημά του οποιαδήποτε στιγμή ήθελαν (ευκαιριακή φόρτιση), χρησιμοποιώντας φορτιστή αργής ή ταχείας φόρτισης (Level 1 και Level 2 charging), είτε περιορίζονταν στο να φορτίσουν το όχημά τους στο διάστημα 00:00-13:00 με Level 2 φορτιστή. Αυτός ο περιορισμός της χρονικής διάρκειας αντιπροσωπεύει τα κίνητρα που δέχονται οι χρήστες του δικτύου ηλεκτρικής διανομής για χρήση σε χρονικές ζώνες εκτός αιχμής. Ο Πίνακας 5.14 παρουσιάζει τα τέσσερα διαφορετικά σενάρια φόρτισης.



Σχήμα 5.55: Τύποι οχημάτων και μέγιστη ηλεκτρική εμβέλεια, [68]

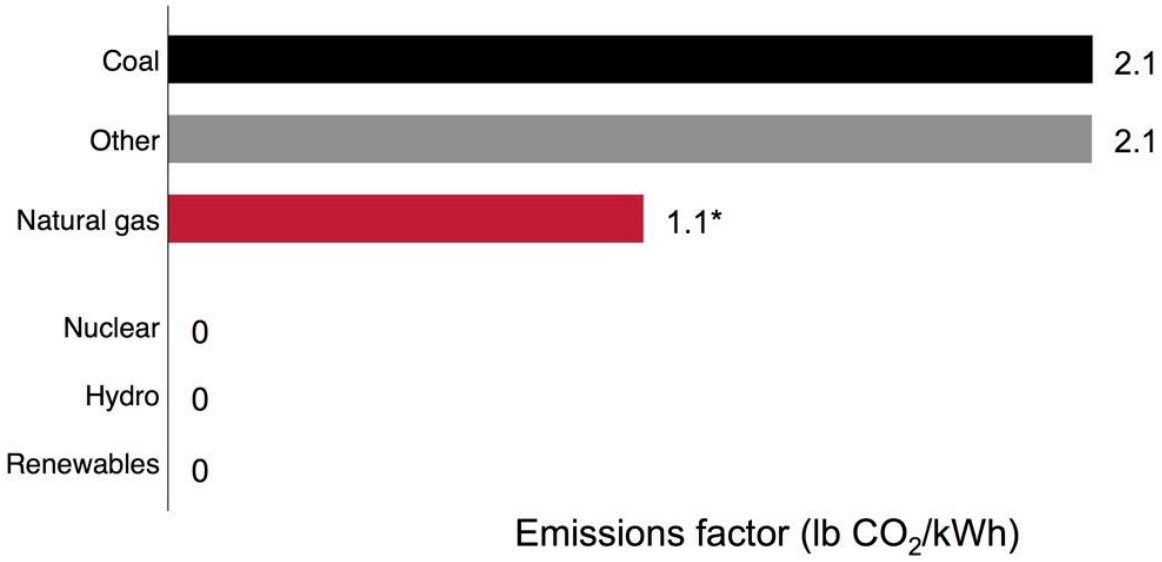
Σενάριο φόρτισης	Χώρος φόρτισης	Χρονικό παράθυρο φόρτισης	Τεχνολογία/ταχύτητα φόρτισης
Home L1	Μόνο στο σπίτι	Οποτεδήποτε	Level 1
Home L2	Μόνο στο σπίτι	Οποτεδήποτε	Level 2
Time Restricted	Μόνο στο σπίτι	00:00-13:00	Level 2
Workplace	Σπίτι και εργασία	Οποτεδήποτε	Level 2

Πίνακας 5.14: Σενάρια φόρτισης, [68]

5.8.3.3. Υπολογισμός εκπομπών ανά σενάριο φόρτισης

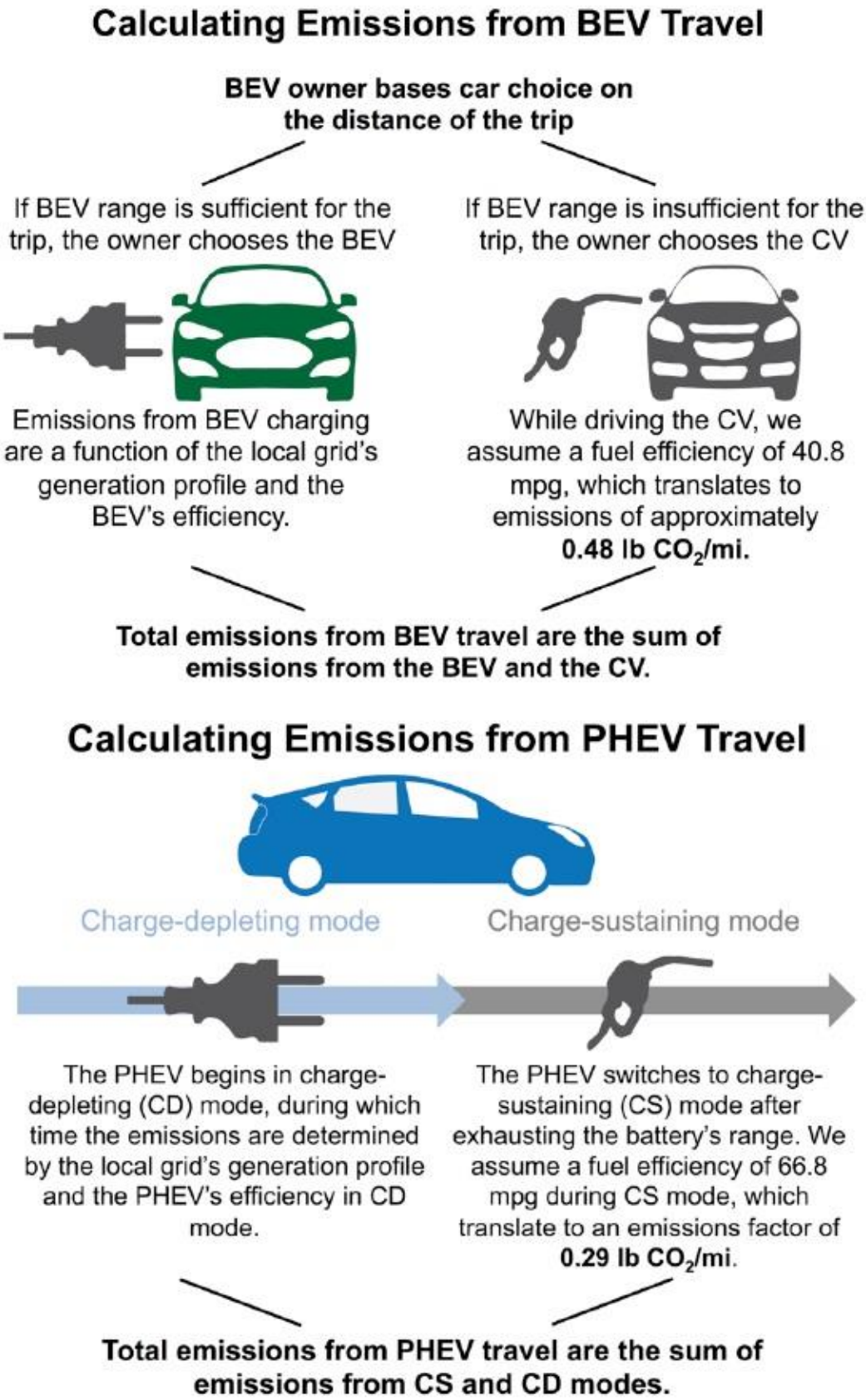
Τα επίπεδα εκπομπής CO_2 που συνδέονται με κάθε σενάριο φόρτισης βασίζονται στην πυκνότητα άνθρακα του εκάστοτε ηλεκτρικού δικτύου, που χρησιμοποιείται για την φόρτιση του οχήματος, σε συγκεκριμένη ώρα κάθε ημέρα, στις εκπομπές που σχετίζονται με την καύση της βενζίνης, τον λόγο της 'ηλεκτρικής απόστασης' που διανύεται προς την απόσταση που καλύπτεται με την χρήση βενζίνης καθώς και την αποδοτικότητα των οχημάτων.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών από την ηλεκτρική απόσταση που διανύεται, σε κάθε διαφορετική πηγή καυσίμου που χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή ανατίθεται ένας παράγοντας εκπομπής (lbs CO_2/kWh) (Σχήμα 5.56).



Σχήμα 5.56: Παράγοντες εκπομπής C02 ανά πηγή καυσίμου, [68]

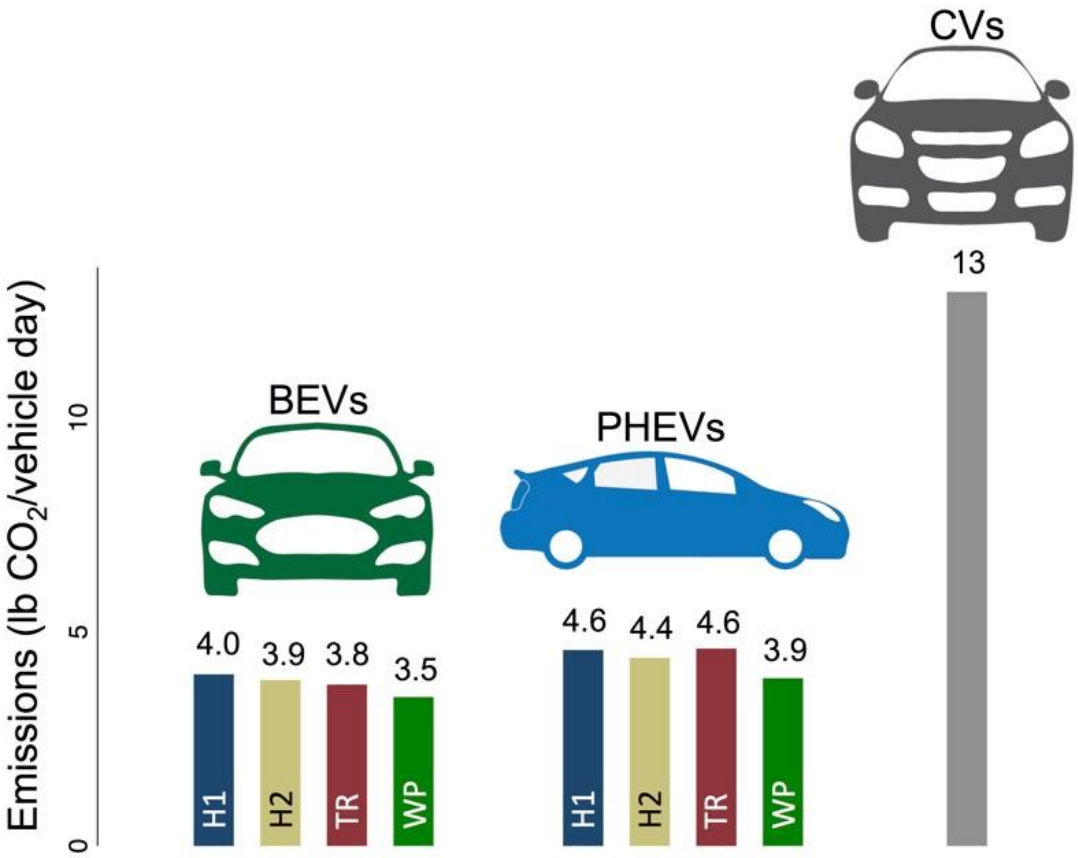
Οι εκπομπές των μη-ηλεκτρικών αποστάσεων που διανύονται, σχετίζονται με την αποδοτικότητα του οχήματος, που διαφέρει ανάμεσα στα BEVs και PHEVs. Στην περίπτωση των PHEVs, οι εκπομπές που σχετίζονται με τη μη-ηλεκτρική απόσταση που διανύεται θεωρήθηκαν στα 82gCO_2/km. Επίσης οι εκπομπές που σχετίζονται με τις αποστάσεις που διανύονται από συμβατικά οχήματα θεωρήθηκαν στα 135 gCO_2/km. Στην *Εικόνα 1* επεξηγούνται οι μεθοδολογίες που χρησιμοποίησε ο McLaren [68], για τον υπολογισμό των εκπομπών στις περιπτώσεις χρήσης των BEVs και PHEVs.



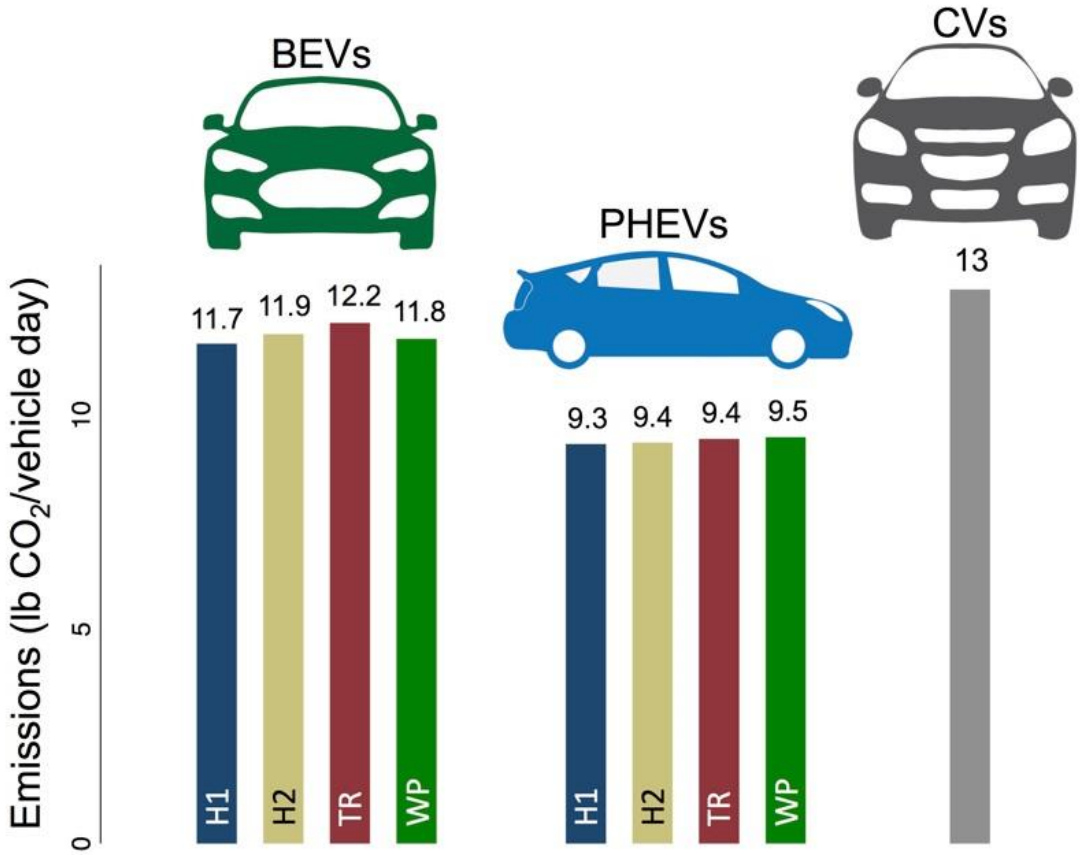
Εικόνα 1: Μεθοδολογίες για τον υπολογισμό των εκπομπών CO_2 των BEVs και PHEVs

5.8.3.4. Σύγκριση εκπομπών CO_2 ανάμεσα σε BEVs, PHEVs και συμβατικά οχήματα

Παράλληλα με την σύγκριση των εκπομπών για τα οχήματα BEV και PHEV, θα παρατεθούν και τα αποτελέσματα για τα συμβατικά οχήματα, που αφορούν την περίπτωση που ο οδηγός επιλέγει να διανύσει τις διαδρομές του εξολοκλήρου με ένα συμβατικό βενζινοκίνητο όχημα. Στην περίπτωση που το ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιείται για την φόρτιση είναι χαμηλής περιεκτικότητας άνθρακα, οι εκπομπές για τα BEVs και τα PHEVs ξεχωριστά, υπολογίστηκαν στο ένα τρίτο της αντίστοιχης τιμής των συμβατικών βενζινοκίνητων οχημάτων. Τα αποτελέσματα, που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.57, συμπεριλαμβάνουν για την περίπτωση των BEVs και τις διαδρομές που οι κάτοχοί τους επέλεξαν να μετακινηθούν με συμβατικά οχήματα. Στην περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου υψηλής περιεκτικότητας άνθρακα, από το Σχήμα 5.58 φαίνεται ότι τα BEVs και τα PHEVs παρουσιάζουν ελαφρώς μειωμένες εκπομπές συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα.



Σχήμα 5.57: Σύγκριση εκπομπών CO_2 ανάμεσα σε BEVs, PHEVs και συμβατικά οχήματα για την περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου χαμηλής περιεκτικότητας άνθρακα, [68]



Σχήμα 5.58: Σύγκριση εκπομπών CO_2 ανάμεσα σε BEVs, PHEVs και συμβατικά οχήματα για την περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου υψηλής περιεκτικότητας άνθρακα, [68]

5.9. Αεροδυναμική βελτίωση

5.9.1. Βασικές αρχές

Η ενέργεια που απαιτείται για να ξεπεραστεί η αντίσταση του αέρα δεν εξαρτάται από το βάρος του οχήματος παρά μόνο από το μέγεθος του οχήματος που αντιπροσωπεύεται από την μετωπική επιφάνειά του. Για χαμηλές ταχύτητες οδήγησης, περίπου το ένα τέταρτο της ενέργειας που αποδίδεται από τον κινητήρα χρησιμοποιείται για να υπερνικήσει την αντίσταση, ενώ για υψηλότερες ταχύτητες περίπου η μίση αποδιδόμενη ενέργεια του κινητήρα εξυπηρετεί τον σκοπό αυτό. Στην επόμενη σχέση δίνεται η δύναμη που απαιτείται για την υπερίσχυση έναντι της αντίστασης του αέρα:

$$F = {}^{1}/_{2} \times C_d \times A \times V^2 \tag{5.2}$$

Όπου F είναι η απαιτούμενη δύναμη, C_d ο συντελεστής οπισθέλκουσας, A η μετωπική επιφάνεια του οχήματος και V η ταχύτητα του οχήματος.

Ο συντελεστής οπισθέλκουσας C_d των διάφορων οχημάτων διαφέρει σημαντικά από όχημα σε όχημα. Το μέσο εύρος τιμής του συντελεστή οπισθέλκουσας για τα περισσότερα οχήματα κυμαίνεται στην περιοχή των 0,25-0,38, ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις που συναντώνται πιο ακραίες τιμές, όπως 0,195 για το όχημα EV1 της GM και 0,57 για το Hummer 2 [31]. Η αεροδυναμική αντίσταση ενός οχήματος μπορεί να μειωθεί με την χρήση παθητικών και ενεργητικών σχεδιαστικών αλλαγών. Ο συντελεστής οπισθέλκουσας των οχημάτων μπορεί να μειωθεί με την υιοθέτηση πιο αεροδυναμικών σχημάτων καθώς και από παράγοντες όπως οι εξωτερικοί καθρέφτες, αεροτομές, είσοδοι αέρα στην μετωπική επιφάνεια, αεροδυναμικά καλύμματα τροχών, κάλυμμα δαπέδου του οχήματος.

Σε οχήματα με συντελεστή οπισθέλκουσας μεγαλύτερο από 0,30, είναι εφικτό να γίνει περιορισμός του συντελεστή αυτού κατά 10% με μικρό κόστος και μάλιστα χωρίς να επηρεαστεί ο εσωτερικός χώρος του οχήματος. Για την επίτευξη ενός συντελεστή οπισθέλκουσας με τιμή μικρότερη του 0,25, απαιτούνται σημαντικές αλλαγές που μπορεί να περιλαμβάνουν την εξάλειψη των εξωτερικών πλαϊνών καθρεπτών, την πλήρη κάλυψη του πατώματος του οχήματος καθώς και άλλες δαπανηρές μετατροπές [69].

5.9.2. Μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου

Χωρίς τη υιοθέτηση μετατροπών στον κινητήρα, μια μείωση κατά 10% στην αεροδυναμική αντίσταση ενός οχήματος μεταφράζεται σε 0,25% μείωση της κατανάλωσης για κίνηση σε αστικό κύκλο και 2,15% μείωση για κίνηση σε υπεραστικό κύκλο. Υπό κανονικές συνθήκες οδήγησης, η μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης κατά 10% συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 2%, ενώ στην περίπτωση που μπορεί να επιτευχθεί ηπιότερη επιτάχυνση του οχήματος με τον κινητήρα να λειτουργεί με την ίδια αποδοτικότητα, η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να μειωθεί και κατά 3%. Στην έκθεση του National Research Council [70] αναφέρεται ότι για τον χρονικό ορίζοντα μέχρι το έτος 2030 η μέση μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης του μελλοντικού στόλου οχημάτων, στο πιο πιθανό σενάριο θα είναι 21%, κάτι που μεταφράζεται σε 4% μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, ενώ στο πιο αισιόδοξο σενάριο η μείωση μπορεί να φτάσει μέχρι και το 28%.

Στο έγγραφο τεχνικής υποστήριξης που εξέδωσαν από κοινού οι αμερικανικοί οργανισμοί NHTSA και EPA [71] για το διάστημα 2017-2025 θεωρήθηκε ένα περιθώριο μείωσης της αεροδυναμικής αντίστασης στο εύρος του 10-20%. Για τον τελικό κανονισμό που εξέδωσαν οι δύο οργανισμοί, θεώρησαν δύο επίπεδα βελτιώσεων. Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει την εισαγωγή βελτιώσεων στο αμάξωμα, όπως φράγματα αέρα, ποδιές τροχών, ενεργές μάσκες εισαγωγής στην μετωπική επιφάνεια, και μεγαλύτερα καλύμματα στο πάτωμα του οχήματος. Ο τελικός κανονισμός της EPA για το 2012-2016 [72] εκτίμησε ότι ήταν εφικτή μια μείωση 10-20% της αεροδυναμικής για τον συνολικό στόλο των οχημάτων, κάτι που μεταφράζεται σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO_2 κατά περίπου 2,5% τόσο για τα επιβατικά όσο και για

τα ελαφρά φορτηγά. Αρκετοί κατασκευαστές οχημάτων έχουν ήδη κατασκευάσει και διαθέσει προς εμπορική χρήση οχήματα με τιμή αεροδυναμικού συντελεστή ανάμεσα στο 0,2-0,3, ωστόσο πρόκειται για οχήματα με αυξημένο κόστος αγοράς, είτε οχήματα επιδόσεων.

Οι μειώσεις που έχουν επιτευχθεί στον αεροδυναμικό συντελεστή των οχημάτων βρίσκονται στο εύρος του 5-10% και αυτό το ποσοστό αναμένεται ανέβει περισσότερο στο προσεχές μέλλον. Αρκετοί κατασκευαστές έχουν εκφράσει την ανησυχία ότι η ραγδαία μείωση του αεροδυναμικού συντελεστή μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στην αποδοχή των οχημάτων από το καταναλωτικό κοινό. Επιπροσθέτως, αρκετοί είναι οι κατασκευαστές που ήδη έχουν πετύχει συντελεστές οπισθέλκουσας με τιμή 0,20-0,24. Στο διάστημα 2020-2025 εκτιμάται ότι θα επιτευχθεί μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης κατά 10-20% [31].

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μέσες εκτιμήσεις μείωσης του συντελεστή οπισθέλκουσας από διάφορες τεχνικές εκθέσεις, μαζί με τις αντίστοιχες μειώσεις στην κατανάλωση και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξή τους (Πίνακας 5.15).

Τεχνική έκθεση	Ημερομηνία δημοσίευσης	Μείωση συντελεστή οπισθέλκουσας C_d	Μείωση κατανάλωσης καυσίμου	Σχόλια
NRC Phase 1	2011	5-10%	1-2%	Καλύμματα τροχών,
NRC 2050 Transitions Report	2011	21-28%	4-6%	Παθητικά και ενεργητικά βοηθήματα
EPA/NHTSA TSD	2012	10-20%	2-3%	Παθητικά και ενεργητικά βοηθήματα
NRC Phase 2	2015	10-20%	2-3%	Παθητικά και ενεργητικά βοηθήματα

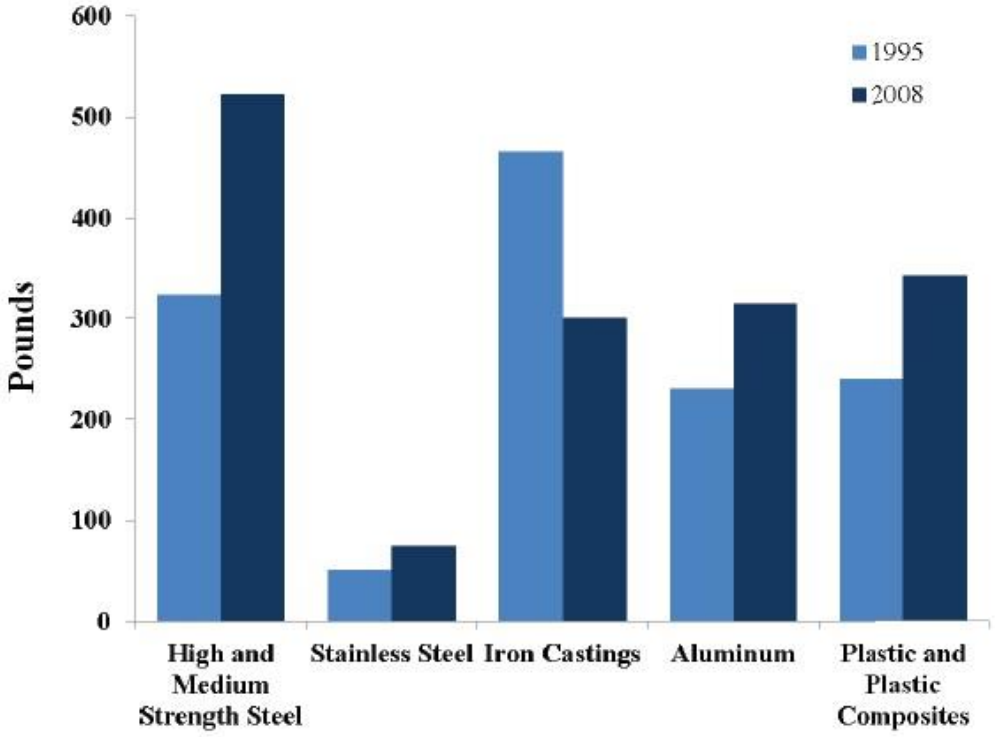
Πίνακας 5.15: Εκτιμώμενες μειώσεις του συντελεστή οπισθέλκουσας και αντίστοιχες μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου [31]

5.10. Μείωση βάρους

5.10.1. Υποκατάσταση υλικών στην αυτοκινητοβιομηχανία

Παρακολουθώντας τα υλικά που χρησιμοποιούνται από τις αυτοκινητοβιομηχανίες, μπορεί κανείς να πει ότι η τάση στην χρήση συγκεκριμένων υλικών έχει παγιωθεί εδώ και 20 χρόνια.

Παρατηρείται όμως και μια παράλληλη σταδιακή εισαγωγή νέων υλικών με στόχο την αντικατάσταση των υπαρχόντων προς όφελος του μείωσης του βάρους των οχημάτων. Στο Σχήμα 5.59 διακρίνεται η σταδιακή μείωση της χρήσης χυτού σιδήρου και αύξηση της χρήσης χάλυβα υψηλής αντοχής, πλαστικών, σύνθετων υλικών και αλουμινίου.



Σχήμα 5.59: Σταδιακή μείωση της χρήσης χυτού σιδήρου και αύξηση της χρήσης χάλυβα υψηλής αντοχής, πλαστικών, σύνθετων υλικών και αλουμινίου

Σε κάποια υποσυστήματα οχημάτων έχει ήδη ξεκινήσει η τάση αντικατάστασης των χρησιμοποιούμενων υλικών, όπως συμβαίνει με τους τροχούς και τον κινητήρα του οχήματος, όπου σήμερα χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο το αλουμίνιο για την κατασκευή τους. Η αλλαγή στην σύνθεση του οχήματος οφείλεται κυρίως στην επίδραση των ελαφρών υλικών που έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται. Σε ορισμένες περιπτώσεις το όφελος ενισχύεται, λόγω της δυναμικής που μπορεί να έχουν τα νέα ελαφρύτερα υλικά κατά την εφαρμογή τους σε ένα όχημα, μέσα από την επικείμενη αύξηση της ασφάλειας στην περίπτωση ενός ατυχήματος. Πολλοί είναι αυτοί που περιμένουν ότι η τάση χρήσης των νέων αυτών υλικών όχι μόνο θα συνεχιστεί, αλλά θα αυξηθεί λόγω των αυστηρών κανονισμών σχετικά με την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων. Η μείωση του βάρους θα πραγματοποιηθεί κατά κύριο λόγο μέσα από την χρήση προηγμένου χάλυβα υψηλής αντοχής για τα σασί των οχημάτων και αλουμινίου για τα λοιπά μέρη του αμαξώματος ή ακόμα και για κατασκευή του σασί. Σε πιο προηγμένα στάδια ανάπτυξης, μερικές δομές των οχημάτων, όπως το σώμα του οχήματος, θα μπορούσαν να κατασκευαστούν

από προηγμένα σύνθετα υλικά, όπως τα ανθρακονήματα, που είναι ικανά να προσφέρουν σημαντική μείωση του βάρους και ταυτόχρονα αυξημένη αντοχή. Ωστόσο δεν προβλέπεται η χρήση προηγμένων σύνθετων υλικών σε υψηλά επίπεδα παραγωγής για την επόμενη δεκαετία [31].

5.10.2. Βασικά υλικά αυτοκινητοβιομηχανίας

- Χάλυβας

Ο χάλυβας υψηλής αντοχής πλεονεκτεί στο ότι μπορεί να γίνει λεπτότερος και να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών, έχοντας όμως την αντοχή που θα είχε κάποιο παχύτερο αλλά μαλακότερο κράμα χάλυβα. Χάλυβες υψηλής αντοχής θεωρούνται παραδοσιακά οι χάλυβες που παρουσιάζουν αντοχή σε εφελκυσμό μεγαλύτερη από 270 MPa. Στην αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα κραμάτων χάλυβα υψηλής αντοχής με τιμές αντοχής ανάμεσα στο φάσμα των 480-980 Mpa. Τέτοια κράματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κύριων δομικών μερών του οχήματος, όπως οι πλαϊνές κολώνες (side pillars), το πλαίσιο στήριξης του κινητήρα και οι δοκοί ασφαλείας στο εσωτερικό των θυρών. Ακόμα πιο ανθεκτικά κράματα χάλυβα υψηλής αντοχής με (1000-1500 MPa) χρησιμοποιούνται σε κρίσιμες περιοχές του αμαξώματος για την ενίσχυση της ασφάλειας στην περίπτωση σύγκρουσης [31].

- Πλαστικά, ελαστικά και σύνθετα υλικά

Τα πλαστικά και τα σύνθετα υλικά προσφέρουν σε μακροπρόθεσμη βάση δυναμική για μείωση του βάρους και σήμερα υπάρχουν αρκετές προκλήσεις σχετικά με την διεύρυνση της χρήσης τους σε περισσότερες εφαρμογές. Η χρήση των πλαστικών, των ελαστικών και των σύνθετων υλικών στην αυτοκινητοβιομηχανία αυξάνεται μέσα από την τεχνολογική πρόοδο του κλάδου της χημείας και των κατασκευαστικών τεχνικών. Πολλά εξαρτήματα στο εσωτερικό και εξωτερικό του οχήματος κατασκευάζονται από σύνθετα υλικά προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη ποιότητα χρώματος, υφής, αντοχής στην υπεριώδη ακτινοβολία και διαχείρισης των θερμικών συστολών και διαστολών. Παρά το γεγονός της χρήσης σύνθετων υλικών σε πολλά σημεία των οχημάτων, ακόμα η χρήση τους δεν έχει επεκταθεί σε δομικά μέρη του αμαξώματος που είναι σημαντικά για την περίπτωση ενός ατυχήματος.

- Κολλώδη και στεγανωτικά υλικά

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες προμηθεύονται κολλητικά προϊόντα καθώς και προϊόντα στεγανοποίησης και επικαλύψεων από την χημική βιομηχανία. Ενώ και οι τρεις κατηγορίες προϊόντων είναι σημαντικές, τα προϊόντα κόλλησης αποτελούν την μεγαλύτερη πρόκληση για τους κατασκευαστές αφού προτιμώνται ως μέθοδος σύνδεσης, λόγω της δυνατότητας δημιουργίας πολύ ισχυρού δεσμού συγκράτησης και λόγω της αυξημένης ακαμψίας που προσδίδει στα σώματα που κολλάν μεταξύ τους. Αυτές οι κόλλες μπορεί να είναι εξελιγμένα προϊόντα ενός ή δύο μερών, με ή χωρίς χρήση μηχανικής συγκράτησης από κοχλία ή ηλεκτροπόντα (spot weld). Η χρήση των προϊόντων κόλλησης παρέχει την δυνατότητα μείωσης βάρους, καθώς αυτά μπορούν να ενώσουν

ανόμοια υλικά, να προσφέρουν μόνωση αν χρειάζεται και τείνουν να προσφέρουν καλύτερη ποιότητα συγκράτησης από άλλους σημειακούς δεσμούς.

- Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι ήδη ένα κυρίαρχο υλικό στην κατασκευή διαφόρων μερών του κινητήρα, του εναλλάκτη θερμότητας, των τροχών του οχήματος και αρκετών μερών του αμαξώματος. Για παράδειγμα αξίζει να αναφερθεί ότι για το σύνολο των νέων οχημάτων του 2012, το 34% αυτών, έφερε καπό κινητήρα κατασκευασμένο από αλουμίνιο, ενώ για το 2015 υπήρχε η πρόβλεψη ότι το αντίστοιχο ποσοστό θα έφτανε στο 48% [73]. Το μέσο αυτοκίνητο στην Ευρώπη και στην Αμερική περιέχει 8% αλουμίνιο στο συνολικό του βάρος. Το ποσοστό αυτό εκτιμάται ότι μέχρι το 2025 θα έχει φτάσει στο 16%, λόγω της τάσης υποκατάστασης του χάλυβα με το αλουμίνιο.

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην κατασκευή μερών με αλουμίνιο, είναι οι συνδέσεις του υλικού. Οι παραδοσιακές μέθοδοι σύνδεσης με αλουμίνιο περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό χρήσης, ηλεκτροσυγκόλλησης, προϊόντων κόλλας και ήλων (‘πριτσίνια’), που περιορίζουν την διαμόρφωση των συνδέσεων και την ανακύκλωση των υλικών στο τέλος του κύκλου της ζωής τους, αυξάνοντας το κόστος της διαδικασίας. Επιπροσθέτως, το αλουμίνιο παρουσιάζει ευαισθησία στην γαλβανική διάβρωση στην περίπτωση που ενώνεται με διαφορετικά μέταλλα. Η μόνωση του αλουμινίου με την βοήθεια υλικών όπως προϊόντων κόλλας ή επικαλύψεων της επιφάνειάς του, είναι μια τυπική τακτική για την αποφυγή της γαλβανικής διάβρωσης.

Το αλουμίνιο συνήθως χρησιμοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία με την μορφή φύλλων αλουμινίου, προϊόντων διέλασης και χυτών προϊόντων. Η χρήση αλουμινίου στα οχήματα προβλέπεται να αυξηθεί (156 kg το 2012 με την πρόβλεψη για το 2025 να είναι 249 kg για το μέσο όχημα). Μπάρες αλουμινίου που προέρχονται από την κατεργασία της διέλασης και έχουν δεχτεί συγκολλήσεις, είναι ιδανικές για χρήση σαν εσωτερικές μπάρες προφυλακτήρα (‘τραβέρσες’) γιατί μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά μια ενδεχόμενη σύγκρουση του οχήματος. Ωστόσο η μεγαλύτερη αύξηση της χρήσης του αλουμινίου αναμένεται να παρουσιαστεί στην χρήση του, ως υλικό κατασκευής των διαφόρων πάνελ του αμαξώματος των οχημάτων [31].

- Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο έχει την ικανότητα να προσφέρει μέχρι και 40-65% μείωση του βάρους όταν χρησιμοποιείται έναντι του χάλυβα. Το μαγνήσιο χρησιμοποιείται με την μορφή φύλλων, αλλά ακόμη καλύτερη, από άποψη βελτιστοποίησης της δυνατότητας μείωσης του βάρους, είναι η χρήση του ως λεπτότοιχο χύτευμα. Όπως και για το αλουμίνιο έτσι και για το μαγνήσιο υπάρχει η ανησυχία σχετικά με την γαλβανική διάβρωσή του, όταν έρθει σε επαφή με άλλα μέταλλα.

- Όχημα πολλαπλών υλικών

Το όχημα υψηλής κλίμακας παραγωγής που θα χρησιμοποιεί πολλαπλά υλικά για την κατασκευή του, αναγνωρίζεται ως η μακροπρόθεσμη βέλτιστη προσέγγιση για την μείωση βάρους και οι περισσότεροι κατασκευαστές οχημάτων οδηγούνται προς αυτήν την κατεύθυνση. Το όχημα πολλαπλών υλικών αντιμετωπίζεται ως εκείνο το όχημα που χρησιμοποιεί τα πιο κατάλληλα υλικά

σε κάθε θέση, ώστε να προσφέρει βέλτιστες επιδόσεις και ελαχιστοποίηση του συνολικού βάρους με ένα ικανοποιητικό κόστος.

5.10.3. Εκτίμηση του περιθωρίου μείωσης βάρους

Ο λόγος πίσω από την προσπάθεια για μείωση βάρους των οχημάτων, είναι η επίτευξη καλύτερων επιδόσεων και βελτίωση της οικονομίας καυσίμου. Τα ελαφρύτερα οχήματα προσφέρουν καλύτερα οδηγικά χαρακτηριστικά και βελτιωμένη επίδοση επιβράδυνσης. Παρακάτω αναλύονται οι πιθανές επιδράσεις που μπορεί να προκύψουν στην ασφάλεια, την οικονομία καυσίμου και το κόστος του οχήματος, από την υιοθέτηση τεχνικών μείωσης βάρους αποκλειστικά μέσω της υποκατάστασης των υλικών και του έξυπνου σχεδιασμού, που μπορεί να οδηγήσει τελικά στην μείωση βάρους χωρίς όμως να επηρεάζεται δομική αντοχή του οχήματος [31]. Το πλεονέκτημα της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου που προκύπτει από την μείωση βάρους παρουσιάζει συνέπεια ανάμεσα στα διάφορα οχήματα στα οποία εφαρμόζεται αυτή η τεχνική. Η βιομηχανία αυτοκινήτου έχει εκτιμήσει ότι 10% μείωση του βάρους ενός οχήματος θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου σε ποσοστό 6-7% για τα επιβατικά οχήματα και 4-5% για τα ελαφρά φορτηγά. Μια ανασκόπηση διαφόρων μελετών για την εξοικονόμηση βάρους και τον συσχετισμό αυτής με την μείωση κατανάλωσης, έδειξε αποτελέσματα για μείωση κατανάλωσης σε ποσοστό 1,9-8,2% (με μέσο όρο όλων των στοιχείων το 4,9%) για κάθε 10% μείωσης του βάρους [74].

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι εκτιμήσεις του NRC [31] σχετικά με το ποσοστό μείωσης της κατανάλωσης που θα προκύψει ανά ποσοστό μείωσης του βάρους για μεσαία και μεγάλα οχήματα (1588-2040 kg), καθώς και για ελαφρά φορτηγά (2500 kg).

Μεσαία και μεγάλα επιβατικά οχήματα (1588-2040 kg)	
Μείωση βάρους (%)	Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου
2,5	0,80
5	1,60
10	6,10
15	9,15
20	12,.21
25	15,26

Πίνακας 5.16: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης καυσίμου ανά ποσοστό περιορισμού του συνολικού βάρους του οχήματος για μεσαία και μεγάλα επιβατικά οχήματα [31]

Ελαφρά φορτηγά (2500kg)	
Μείωση βάρους (%)	Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου
2.5	0,85
5	1,69
10	4,49
15	6,73
20	8,98
25	11,22

Πίνακας 5.17: Ποσοστό μείωσης κατανάλωσης καυσίμου ανά ποσοστό περιορισμού του συνολικού βάρους του οχήματος για ελαφρά φορτηγά [31]

6. Σύνοψη και Συμπεράσματα

A. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) με την 5η Έκθεση Αξιολόγησης για την κλιματική αλλαγή, παρουσίασε στοιχεία τα οποία ήταν κατηγορηματικά σχετικά με την υπαιτιότητα του ανθρώπου στην εξέλιξη του φαινομένου.

Από το 1880 μέχρι το 2012, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0.85ºC. Στο διάστημα 1901-2010, η μέση στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά 19 cm λόγω της τήξης των παγετώνων. Δεδομένων των σημερινών συγκεντρώσεων και των εξελίξει εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, είναι πιθανό ότι με το τέλος αυτού του αιώνα η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αναμένεται 1-2ºC πάνω από τα επίπεδα του 1990 (1.5-2.5ºC πάνω από τα επίπεδα της προβιομηχανικής εποχής). Οι ωκεανοί θα ζεσταθούν και το λιώσιμο των πάγων θα συνεχίσει να υφίσταται. Η μέση αύξηση της στάθμης της θάλασσας εκτιμάται στα 24-30 cm μέχρι το 2065 και 40-6 3cm μέχρι το 2100, πάντα σε σύγκριση με τα επίπεδα αναφοράς της περιόδου 1986-2005. Οι περισσότερες πτυχές του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, θα συνεχίσουν για αρκετούς αιώνες, ακόμα και αν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σταματήσουν. Υπάρχουν ανησυχητικές ενδείξεις ότι μπορεί να έχουν ήδη ξεπεραστεί ορισμένα κρίσιμα σημεία που οδηγούν σε οριστικές και μη αναστρέψιμές αλλαγές σε μεγάλα οικοσυστήματα και στο κλιματικό σύστημα του πλανήτη.

B. Πρόθεση μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από μεταφορές στην Ευρώπη

Το 1990 ο τομέας των μεταφορών συνεισέφερε το 15% των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ το ποσοστό αυτό αυξήθηκε το 2015 σε 25.8%. Το 73% του ποσοστού αυτού σχετίζεται με τις οδικές μεταφορές. Κυρίαρχο μερίδιο των εκπομπών από οδικές μεταφορές καταλαμβάνουν οι εκπομπές που σχετίζονται με τα επιβατικά οχήματα και τα ελαφρά φορτηγά (44.5%). Ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές συνολικά, κατά 20% κάτω από τα επίπεδα του 2008 με χρονικό ορίζοντα επίτευξης το 2030.

C. Κάλυψη των στόχων εκπομπής του 2015 και 2017 από επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά αντίστοιχα

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες ανταποκρίθηκαν δυναμικά στην εφαρμογή των υποχρεωτικών ορίων εκπομπής CO_2. Το όριο των 130 gCO_2/km των επιβατικών οχημάτων που εισήχθη με την οδηγία 443/2009/ΕΚ και είχε ημερομηνία επίτευξης το 2015, οδήγησε σε δραστική μείωση του μέσου όρου εκπομπής. Ενδιαφέρον είναι ότι ο μέσος όρος εκπομπής των επιβατικών το 2006 ήταν 160 gCO_2/km ενώ το 2012, δηλαδή τρία έτη πριν τον χρονικό ορίζοντα επίτευξης του στόχου, ο μέσος όρος εκπομπών ήδη ήταν 132 gCO_2/km. Σημειώθηκε δηλαδή μείωση της τάξης του 17%.

Το 2012 η μέσες εκπομπές CO_2 από τα ελαφρά φορτηγά ήταν 180 gCO_2/km, ενώ η οδηγία 393/2012/ΕΕ καθόριζε ως όριο εκπομπών τα 175 gCO_2/km με έτος επίτευξης το 2017. Ωστόσο ο στόχος των 175 gCO_2/km βασιζόταν σε έναν μέσο όρο βάρους των οχημάτων των 1706 kg. Όμως ο μέσος όρος βάρους των ελαφρών φορτηγών το 2012 ήταν 1843 kg και έτσι βάσει του ρυθμιστικού παράγοντα βάρους της οδηγίας, ο πραγματικός στόχος αναδιαμορφώνεται στα 187 gCO_2/km. Υπό αυτό το δεδομένο, όλοι οι κατασκευαστές ελαφρών φορτηγών είχαν ήδη καλύψει τους στόχους εκπομπής CO_2 του 2017 ήδη από το 2012. Οι νέες προδιαγραφές όμως από το 2021 (95 gCO_2/km για τα επιβατικά οχήματα) οδηγούν σε νέες προκλήσεις για την αυτοκινητοβιομηχανία.

D. Αστοχία εφαρμογής του συνολικού σχεδίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για περιορισμό των εκπομπών CO_2 των ελαφρών οχημάτων

Τα όρια εκπομπών που εισήγαγε η Ευρωπαϊκή Ένωση, αποτελούσαν μέρος ενός συντονισμένου πολιτικού σχεδίου που στόχευε στην μείωση του μέσου όρου εκπομπής των νέων οχημάτων. Το σχέδιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στηριζόταν σε 3 διαφορετικούς άξονες: τα όρια εκπομπής CO_2, την βελτίωση της πληροφόρησης των καταναλωτών σχετικά με τις εκπομπές καθώς και αναδιάρθρωση του φορολογικού συστήματος των οχημάτων. Το σχέδιο για ορθή πληροφόρηση των καταναλωτών ώστε να είναι σε θέση να επιλέξουν ένα όχημα χαμηλών εκπομπών CO_2 δεν απέδωσε, καθώς τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης άσκησαν πιέσεις και κατάφεραν να αλλάξουν τον τρόπο εφαρμογής του από παραχωρήσεις που κέρδισαν. Το αποτέλεσμα ήταν ένα ασυνεπές και αναποτελεσματικό σύστημα που δεν βοηθούσε το καταναλωτικό κοινό. Όσον αφορά την φορολογική πολιτική, αυτή καταστρώνεται σε εθνικό επίπεδο από το κάθε κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης ξεχωριστά και τα περισσότερα από αυτά εμπόδισαν τις προσπάθειες για δημιουργία ενός φορολογικού συστήματος που θα ευνοούσε την αγορά και χρήση ενός οχήματος χαμηλών εκπομπών. Εν τέλει η Ευρωπαϊκή Ένωση κατάφερε να εισάγει μόνο τα υποχρεωτικά όρια εκπομπής CO_2 στα οποία θα πρέπει να υπακούν οι κατασκευαστές οχημάτων.

E. Αντικατάσταση δοκιμής NEDC (New European Driving Cycle) από δοκιμή WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure)

Ο κύκλος οδήγησης που χρησιμοποιούταν μέχρι πρότινος για τη μέτρηση των εκπομπών CO_2 (και ρύπων) των ελαφρών οχημάτων ήταν ο NEDC (New European Driving Cycle). Η αδυναμία του συγκεκριμένου κύκλου να ανταποκριθεί σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, λόγω των πολλών τμημάτων σταθερών ταχυτήτων και (χαμηλών) επιταχύνσεων που διέθετε, οδηγούσε σε υποεκτιμημένες μετρήσεις των εκπομπών CO_2 των οχημάτων. Επιπροσθέτως, αποδείχθηκε ότι στην Ευρώπη το χάσμα, ανάμεσα στην κατανάλωση καυσίμου που αντιλαμβάνονταν οι χρήστες των οχημάτων συγκριτικά με τα μεγέθη που ανακοινώνονταν από τις δοκιμές έγκρισης τύπου, ήταν μεγαλύτερο από το αντίστοιχο σε άλλες περιοχές. Το απλό μοτίβο χειρισμών που περιλαμβάνει ο κύκλος

NEDC σε συνδυασμό με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αλλαγής σχέσεων στο κιβώτιο, καθιστά εύκολο από πλευράς κατασκευαστών την υιοθέτηση τεχνικών που «ξεγελούν» την μετρητική διαδικασία. Ένα ακόμα πρόβλημα εντοπίζεται στην υπερβολική έμφαση που δίνεται στις εκπομπές ψυχρής εκκίνησης του οχήματος, αφού η δοκιμή ξεκινάει με κρύα εκκίνηση του κινητήρα και ο κύκλος έχει σχετικά μικρή χρονική διάρκεια

Υπό αυτές τις συνθήκες η Ευρωπαϊκή Ένωση τον Σεπτέμβριο του 2017 προχώρησε στην αντικατάστασή του με την δοκιμή ελαφρών οχημάτων WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure). Οι κύκλοι οδήγησης WLTC της δοκιμής WLTP, έχουν αναπτυχθεί με την βοήθεια δεδομένων πραγματικής οδήγησης και για αυτό το λόγο τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προκύπτουν από τη χρήση τους, παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία από τα αντίστοιχα του κύκλου NEDC.

F. Η μετάβαση από κινητήρες βενζίνης σε κινητήρες πετρελαίου αποτέλεσε μια από τις κυριότερες προσεγγίσεις στην μείωση εκπομπών CO_2 από τα οχήματα

Ο υψηλότερος λόγος συμπίεσης των πετρελαιοκινητήρων και η λειτουργία τους με περίσσεια αέρα, τους καθιστά περισσότερο αποδοτικούς σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. Ακόμη οι πετρελαιοκινητήρες, σε αντίθεση με τους βενζινοκινητήρες, δε λειτουργούν με στραγγαλισμό του εισερχόμενου αέρα. Η στραγγαλιστική διάταξη των βενζινοκινητήρων προκαλεί απώλειες άντλησης (κυρίως στα χαμηλά φορτία). Επίσης οι πετρελαιοκινητήρες που διατίθενται πλέον στην αγορά προσφέρονται αποκλειστικά ως στροβιλο-υπερπληρωμένοι και έτσι πετυχαίνουν ακόμη καλύτερη οικονομία καυσίμου. Τα στοιχεία έρευνας από δεδομένα στόλου οχημάτων της γερμανικής και βορειοαμερικανικής αγοράς του 2001 έδειξαν ότι η ποσοστιαία διαφορά των μέσων εκπομπών gCO_2/km των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων οχημάτων, βρισκόταν στο εύρος 24-33% με τα πετρελαιοκίνητα οχήματα να παρουσιάζουν τις λιγότερες εκπομπές. Το μερίδιο αγοράς πετρελαιοκίνητων οχημάτων στην Ευρώπη αυξήθηκε από 36% για το έτος 2001 σε ποσοστό 55% για το έτος 2011. Στη λογική λειτουργίας του κινητήρα Diesel βασίζεται και η εξέλιξη και ευρεία πλέον χρήση κινητήρων βενζίνης άμεσου ψεκασμού.

G. Σημαντική μείωση των εκπομπών CO_2 με την χρήση υπερπληρωμένων downsized κινητήρων χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου

Μέσω της υπερπλήρωσης επιτυγχάνεται αύξηση της μάζας του αναρροφώμενου αέρα άρα και του καυσίμου που μπορεί να καεί αποδοτικά, και τελικά και της παραγόμενης ισχύος, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα μείωσης του μεγέθους του κινητήρα (downsizing) διατηρώντας ίδια ή καλύτερα επίπεδα επιδόσεων. Με τη μείωση του μεγέθους μειώνονται οι απώλειες τριβής και άντλησης σε σχέση με ένα μεγαλύτερου μεγέθους κινητήρα φυσικής αναπνοής, βελτιώνεται ο βαθμός απόδοσης επιτυγχάνεται μικρότερη κατανάλωση και επομένως λιγότερες εκπομπές CO_2. Ανάλογα με την τεχνολογία υπερπλήρωσης που θα χρησιμοποιηθεί, μπορεί να επιτευχθεί μείωση του μεγέθους του κινητήρα από 33-56% ενώ τα περιθώρια μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου είναι 12-

24% ανάλογα με την εφαρμογή. Η ανοδική πορεία της χρήσης υπερπλήρωσης επιβεβαιώνεται από στοιχεία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, όπου το ποσοστό υπερπληρωμένων οχημάτων για το έτος 2008 ήταν μόλις 3% ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το έτος 2013 ανήλθε στο 14.8%. Στην Ευρώπη αυξάνεται επίσης συνέχεια το ποσοστό των υπερπληρωμένων κινητήρων Otto.

H. Τα συστήματα παύσης λειτουργίας του κινητήρα σε διαστήματα ακινησίας του οχήματος (start-stop) εμφανίζονται να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στον κύκλο οδήγησης NEDC σε σχέση με την δοκιμή WLTP.

   Δοκιμές σε οχήματα πετρελαίου και βενζίνης που χρησιμοποιούσαν σύστημα παύσης-επανεκκίνησης του κινητήρα (start-stop) και δοκιμάστηκαν στον κύκλο NEDC έδειξαν μείωση των εκπομπών CO_2 2.5-4.8% σε σχέση με την μη-χρήση του συστήματος. Το αντίστοιχο ποσοστό μείωσης των εκπομπών CO_2 στην περίπτωση της δοκιμής WLTP ήταν 1.2-2.6%. Η μεγαλύτερη επίδραση του συστήματος start-stop στον κύκλο NEDC οφείλεται στα μεγαλύτερα διαστήματα ακινησίας του οχήματος κατά την διάρκεια της δοκιμής.

I. Η επίδραση του συστήματος μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων (VVT – Variable Valve Timing) στις εκπομπές CO_2 των οχημάτων είναι μεγαλύτερη στον κύκλο NEDC συγκριτικά με την δοκιμή WLTP.

   Δοκιμές διαφόρων οχημάτων έδειξαν ότι η επίδραση του συστήματος μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων είχε ως αποτέλεσμα μείωση των εκπομπών CO_2 κατά 2.5-5.0% στην περίπτωση του κύκλου NEDC, ενώ η αντίστοιχη μείωση στην περίπτωση της δοκιμής WLTP ήταν 1.4-2.1%. Η ισχυρότερη επίδραση του συστήματος στον κύκλο NEDC, εξηγείται μέσα από το χαμηλότερο εύρος στροφών και φορτίου του κινητήρα κατά την διάρκεια της δοκιμής σε σύγκριση πάντα με την δοκιμή WLTP.

J. Η χρήση των υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων παρέχει τα μεγαλύτερα περιθώρια ελαχιστοποίησης των εκπομπών CO_2 σε σχέση με κάθε άλλη τεχνική μείωσης.

   Όσο ισχυρότερη είναι η ‘ηλεκτρικοποίηση’ ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση των εκπομπών CO_2 που μπορεί να επιτευχθεί. Σύμφωνα με στοιχεία που αναφέρθηκαν, η εκτιμώμενη μείωση των εκπομπών CO_2 για τα ήπια υβριδικά (MHEV) υπολογίστηκε σε 6.5%, για τα ισχυρά υβριδικά (Power Split Hybrid) σε 33%, για τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα πρίζας (PHEV) σε 65% ενώ για τα ηλεκτρικά μπαταρίας (BEV) σε 87%. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί ότι το περιθώριο μείωσης των εκπομπών CO_2 των οχημάτων PHEV και BEV που φορτίζονται από το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής, επηρεάζεται ισχυρά από την περιεκτικότητα σε άνθρακα του μίγματος των καυσίμων που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δίκτυο για την ηλεκτροπαραγωγή.

7. Βιβλιογραφία

[1] NASA, «Global Energy Budget,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://pmm.nasa.gov/education/lesson-plans/global-energy-budget. [Πρόσβαση 4 Σεπτέμβριος 2018].

[2] H. Ritchie και M. Roser, «CO_2 and other Greenhouse Gas Emissions,» Απρίλιος 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions. [Πρόσβαση 2 Σεπτέμβριος 2018].

[3] IPCC, «Climate Change 2007: Synthesis Report,» 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms3.html. [Πρόσβαση 27 Αύγουστος 2018].

[4] United Nations, «Climate Change,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/. [Πρόσβαση 15 Σεπτέμβριος 2018].

[5] UNFCCC, «About the Secretariat,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://unfccc.int/about-us/about-the-secretariat. [Πρόσβαση 3 Σεπτέμβριος 2018].

[6] UNFCCC, «Kyoto Protocol - Targets for the first commitment period,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol. [Πρόσβαση 5 Σεπτέμβριος 2018].

[7] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, «Ευέλικτοι μηχανισμοί του πρωτοκόλλου του κυότο,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=304. [Πρόσβαση 6 Σεπτέμβριος 2018].

[8] UNFCCC, «The Paris Agreement,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement. [Πρόσβαση 4 Σεπτέμβριος 2018].

[9] Eurostat, «Greenhouse gas emission statistics - emission inventories,» Ιούνιος 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/1180.pdf. [Πρόσβαση 25 Αύγουστος 2018].

[10] European Environment Agency, «Greenhouse gas emissions from transport,» 20 Ιούνιος 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10. [Πρόσβαση 20 Αύγουστος 2018].

[11] E. G. Giakoumis, Driving and Engine Cycles, Cham, Switzerland: Springer, 2017.

[12] Commission of the European Communities, «The Clean Air for Europe (CAFE) Programme: Towards a Thematic Strategy for Air Quality,» σε *COM(2001)245 final*, Brussels, 2001.

[13] Commission of the European Communities, «Thematic Strategy on air pollution,» σε *COM(2005) 446 final*, Brussels, 2005.

[14] TransportPolicy.net, «EU: LIGHT-DUTY: EMISSIONS,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-emissions/. [Πρόσβαση 2 Μάρτιος 2018].

[15] European Environment Agency, «Contributions to EU emissions from main source sectors,» 26 Σεπτέμβριος 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/contributions-to-eu-emissions-from/contributions-to-eu-emissions-from. [Πρόσβαση 10 Ιούλιος 2018].

[16] TransportPolicy.net, «EU: LIGHT-DUTY: GHG EMISSIONS,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-ghg-emissions/. [Πρόσβαση 10 Ιούνιος 2018].

[17] ICCT, «EU CO2 standards for passenger cars and light-commercial vehicles,» 17 Ιανουάριος 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.theicct.org/publications/eu-co2-standards-passenger-cars-and-light-commercial-vehicles. [Πρόσβαση 26 Αύγουστος 2018].

[18] S. Tsiakmakis, G. Fontaras, C. Cubito, J. Pavlovic, K. Anagnostopoulos και B. Ciuffo, «From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO2 emissions of light-duty vehicles,» Joint Research Center, Luxembourg, 2017.

[19] ICCT, «The role of standards in reducing CO2 emissions of passenger cars in the EU,» 12 Φεβρουάριος 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.theicct.org/publications/role-standards-reducing-co2-emissions-passenger-cars-eu. [Πρόσβαση 25 Αύγουστος 2018].

[20] wltpfacts.eu, «WHAT IS THE LINK BETWEEN THE CO2 EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION OF MY CAR?,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://wltpfacts.eu/link-between-co2-emissions-fuel-consumption/. [Πρόσβαση 14 Ιούλιος 2018].

[21] G. Pinto και M. Oliver-Hoyo, «Using the Relationship between Vehicle Fuel Consumption and CO2 Emissions To Illustrate Chemical Principles,» *Journal of chemical education*, Φεβρουάριος 2008.

[22] T. Barlow, S. Latham, I. McCrae και P. Boulter, «A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions,» TRL, 2009.

[23] M. Watany, «Variability in Vehicle' Exhaust Emissions and Fuel Consumption in Urban Driving Pattern,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://pubs.sciepub.com/ajvd/3/1/5/figure/2. [Πρόσβαση 3 Ιούνιος 2018].

[24] Mustang Dynamometer, «ED Series Dynamometers,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://mustangdyne.com/products-and-services/Engine-Dynamometers. [Πρόσβαση 2 Ιούνιος 2018].

[25] M. P. Andresen, Decreasing Fuel Consumption and Exhaust Gas Emissions in Transportation, Hamburg: Springer, 2013.

[26] TransportPolicy.net, «INTERNATIONAL: LIGHT-DUTY: WORLDWIDE HARMONIZED LIGHT VEHICLES TEST PROCEDURE (WLTP),» TransportPolicy, 11 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.transportpolicy.net/standard/international-light-duty-worldwide-harmonized-light-vehicles-test-procedure-wltp/. [Πρόσβαση 3 Ιούνιος 2018].

[27] DieselNet, «Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC),» Αύγουστος 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php. [Πρόσβαση 4 Σεπτέμβριος 2018].

[28] Fuji Electric Global, «NDIR Gas Analyzer ZPAJ (substitute for ZRJ),» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.fujielectric.com/products/instruments/products/anlz_gas/ZPAJ.html. [Πρόσβαση 22 Σεπτέμβριος 2018].

[29] Cambustion, «Operating Principle,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.cambustion.com/products/ndir500/operating-principle. [Πρόσβαση 22 Σεπτέμβριος 2018].

[30] J. Sullivan, R. Baker, B. Boyer, R. Hammerle, T. Kenney, L. Muniz και T. Wallington, «CO2 Emission Benefit of Diesel (versus Gasoline) Powered Vehicles,» 13 Μάιος 2004. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://pubs.acs.org/doi/pdfplus/10.1021/es034928d. [Πρόσβαση 30 Αύγουστος 2018].

[31] National Research Council, «Cost, effectiveness, and deployment of fuel economy technologies for light-duty vehicles,» THE NATIONAL ACADEMIES PRESS, Washington, D.C., 2015.

[32] NHTSA, «Corporate Average Fuel Economy for MY 2011 Passenger Cars and Light Trucks,» Μάρτιος 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/cafe_final_rule_my2011_fria.pdf. [Πρόσβαση 15 Σεπτέμβριος 2018].

[33] United States Environmental Protection Agency, «Final Rule for Model Year 2017 and Later Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions and Corporate Average Fuel

Economy Standards,» 15 Οκτώβριος 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-model-year-2017-and-later-light-duty-vehicle. [Πρόσβαση 12 Σεπτέμβριος 2018].

[34] Isuzu Motors, «ELF-KRA next generation environmental truck providing long service life and confidence: The ELF-KR is a fusion of key technologies,» 2002. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.isuzu.co.jp/world/amusement/tms/2002/elf-kr.html. [Πρόσβαση 15 Σεπτέμβριος 2018].

[35] H. Jääskeläinen, «Boosting Systems,» Φεβρουάριος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.dieselnet.com/tech/air_turbo_boost.php. [Πρόσβαση 11 Σεπτέμβριος 2018].

[36] M. Kremer, «In-market Application of Start-Stop Systems in European Market,» December 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.theicct.org/sites/default/files/FEV_LDV%20EU%20Technology%20Cost%20Analysis_StartStop%20Overview.pdf. [Πρόσβαση 18 Σεπτέμβριος 2018].

[37] SKF, «SKF signs a long term contract with Valeo for supply to the new i-StARS,» 1 Ιούλιος 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://news.cision.com/skf/r/skf-signs-a-long-term-contract-with-valeo-for-supply-to-the-new-i-stars,c501264. [Πρόσβαση 20 Σεπτέμβριος 2018].

[38] A. Dimaratos, D. Tsokolis, G. Fontaras, S. Tsiakmakis, B. Ciuffo και Z. Samaras, «Comparative Evaluation of the Effect of Various Technologies on Light-duty Vehicle CO2 Emissions over NEDC and WLTP,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516302630. [Πρόσβαση 19 Σεπτέμβριος 2018].

[39] A. Ihleman και N. Nitz, «Cylinder Deactivation - A technology with a future or a niche application?,» Νοέμβριος 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/symposia_1/downloads_11/Schaeffler_Kolloquium_2014_11_en.pdf. [Πρόσβαση 21 Σεπτέμβριος 2018].

[40] AutoMate, «Cylinder Deactivation OHV Type,» 29 Οκτώβριος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=lStS9QWFEaQ. [Πρόσβαση 29 Σεπτέμβριος 2018].

[41] EATON, «Cylinder Deactivation,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.eaton.com/mobile/ProductsandSolutions/Vehicle/valves-lifters-actuation/cylinder-deactivation/index.htm. [Πρόσβαση 21 Σεπτέμβριος 2018].

[42] D. Clavero, «La tecnología de desactivación de cilindros de Volkswagen es premiada en los Engine of the year Awards,» 8 Ιούνιος 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.diariomotor.com/tecmovia/2013/06/08/la-tecnologia-de-desactivacion-de-

cilindros-de-volkswagen-es-premiada-en-los-engine-of-the-year-awards/. [Πρόσβαση 21 Σεπτέμβριος 2018].

[43] H. Hong, G. Parvate-Patil και B. Gordon, «Review and analysis of variable valve timing strategies - eight ways to approach,» *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering,* pp. 1179-1200, 1 October 2004.

[44] R. Siwert, «How Individual Valve Timing Events Affect Exhaust Emissions,» *SAE 1971 Transactions-V80-A,* 1 Φεβρουάριος 1971.

[45] T. W. Asmus, «Valve Events and Engine Operation,» *SAE 1982 Transactions-V91-A,* 1 Φεβρουάριος 1982.

[46] H. Jääskeläinen, «Variable Compression Ratio,» 3 Μάρτιος 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.dieselnet.com/tech/engine_variable_cr.php. [Πρόσβαση 2 Σεπτέμβριος 2018].

[47] P. Nilsson και L. Bergsten, «Internal combustion engine with variable compression, provided with reinforcements of the crankcase section». US Ευρεσιτεχνία 5,443,043, 22 August 1995.

[48] K. Lawrence, W. Moser, S. Roozenboom και K. Knox, «Eccentric crank variable compression ratio mechanism». US Ευρεσιτεχνία US 7,370,613 B2, 13 Μάιος 2008.

[49] J. Brevick, «Variable compression ratio piston». US Ευρεσιτεχνία 5,755,192, 26 Μάιος 1998.

[50] G. Fraidl, P. Kapus, H. Melde, S. Lösch, W. Schöffmann, H. Sorger, M. Weißbäck και J. Wolkerstorfer, «Variable Compression Ratio - in a Technology Competition ?,» σε *37th International Vienna Motor Symposium,* Vienna, 2016.

[51] Green Car Congress, «FEV's two-stage VCR system; 5-7% increase in fuel economy using variable length conrods,» 22 Απρίλιος 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.greencarcongress.com/2013/04/fev-20130422.html. [Πρόσβαση 2 Σεπτέμβριος 2018].

[52] J. Kendall, «Nissan unveils 2018 production variable-compression-ratio ICE,» SAE International, 3 October 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.sae.org/news/2016/10/nissan-unveils-2018-production-variable-compression-ratio-ice. [Πρόσβαση 3 September 2018].

[53] R. Hiyoshi, «VARIABLE COMPRESSION RATIO ENGINE». US Ευρεσιτεχνία US 2013/0327302 A1, 12 Δεκέμβριος 2013.

[54] MCE-5, «MCE-5 VCRi: Pushing back the fuel consumption reduction limits,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.vcr-

i.com/english/pop_up/le_vcr_c_quoi/What_is_VCR.html. [Πρόσβαση 2 Σεπτέμβριος 2018].

[55] H. Nanjundaswamy, R. Van Sickle, D. Richtermeier, M. Meli, J. Deussen, T. Szailer, T. Wellmann, G. Kolwich, M. Franke και D. Tomazic, «Role of light-duty diesel in meeting 2025 CAFE requirements,» 3 Νοέμβριος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://crcao.org/workshops/2016AFEE/Final%20Presentations/Session%204/4-2_Nanjundaswamy,%20Harsha.pdf. [Πρόσβαση 11 Σεπτέμβριος 2018].

[56] K. Wittek, C. Tiemann και S. Pischinger, «Two-Stage Variable Compression Ratio with Eccentric Piston Pin and Exploitation of Crank Train Forces,» 20 Απρίλιος 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2009-01-1457/. [Πρόσβαση 5 Σεπτέμβριος 2018].

[57] C. Schramm, C. Gruenig, M. Brauer και M. Diezemann, «Piston Bowl Optimization for a Diesel Engine with Variable Compression Ratio,» Μάρτιος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://sgc2016.star-global-conference.com/sites/default/files/public_pdf_presentation/SGC2016_IAV_ChristianSchramm.pdf. [Πρόσβαση 2 Σεπτέμβριος 2018].

[58] D. Tomazic, H. Kleeberg, S. Bowyer, J. Dohmen, K. Wittek και B. Haake, «Two-Stage Variable Compression Ratio (VCR) System to Increase Efficiency in Gasoline Powertrains,» σε *DEER Conference 2012*, Dearborn, 2012.

[59] C. Schernus, J. Ewald, F. Di Matteo και B. Morcinkowski, «Methods to Reduce End Gas Temperatures for Lower Knocking Sensitivity - A Simulation Study Stop Start for Future Boosted Gasoline Engines,» Οκτώβριος 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/280839685_Methods_to_Reduce_End_Gas_Temperatures_for_Lower_Knocking_Sensitivity_-_A_Simulation_Study_Stop_Start_for_Future_Boosted_Gasoline_Engines. [Πρόσβαση 3 Σεπτέμβρης 2018].

[60] H. Jääskeläinen, «Miller Cycle Engines,» Μάρτιος 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.dieselnet.com/tech/engine_variable_cr.php. [Πρόσβαση 1 Σεπτέμβριος 2018].

[61] MAZDA Motor Corporation, «Mazda CX-5 Service & Repair Manual: Miller Cycle Engine,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.mcx5.org/miller_cycle_engine-1219.html. [Πρόσβαση 12 Σεπτέμβριος 2018].

[62] R. Miller, «High-pressure supercharging system». US Ευρεσιτεχνία US2670595A, 2 Μάρτιος 1954.

[63] R. Miller, «High expansion, spark ignited, gas burning, internal combustion engines». US Ευρεσιτεχνία US2773490A, 11 Δεκέμβριος 1956.

[64] H. Dembinski και C. Lewis, «Miller-cycle on a heavy duty diesel engine - Master of Science Thesis MMK 2009:1 MFM124 KTH Industrial Engineering and Management Machine Design SE-100 44 STOCKHOLM,» Ιανουάριος 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:542254/FULLTEXT01. [Πρόσβαση 3 Σεπτέμβριος 2018].

[65] N. Kawamoto, K. Naiki, T. Kawai, T. Shikida και M. Tomatsuri, «Development of New 1.8-Liter Engine for Hybrid Vehicles,» 20 Απρίλιος 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2009-01-1061/. [Πρόσβαση 1 Σεπτέμβριος 2018].

[66] D. Sczomak, «Lean Miller Cycle System Development for Light-Duty Vehicles,» 9 Ιούνιος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/ace093_sczomak_2016_o_web.pdf. [Πρόσβαση Σεπτέμβριος 3 2018].

[67] fueleconomy.gov, «Greenhouse Gas Emissions for Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?zipCode=48009&year=2015&vehicleId=35246&action=bt3. [Πρόσβαση 22 Σεπτέμβριος 2018].

[68] J. McLaren, Miller J, E. O'Shaughnessy, E. Wood και E. Shapiro, «Emissions Associated with Electric Vehicle Charging: Impact of Electricity Generation Mix, Charging Infrastructure Availability, and Vehicle Type,» National Renewable Energy Laboratory of the U.S. Department of Energy, Denver, 2016.

[69] National Research Council, «Assessment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles,» The National Academies Press, Washington, DC, 2011.

[70] National Research Council, «Transitions to Alternative Vehicles and Fuels,» The National Academies Press, Washington, DC, 2013.

[71] EPA, NHTSA, «Joint Technical Support Document: Final Rulemaking for 2017-2025 Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards,» Αύγουστος 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/joint_final_tsd.pdf. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2012].

[72] EPA, «Final Rule for Model Year 2012 - 2016 Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards,» Απρίλιος 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2010-05-07/pdf/2010-8159.pdf. [Πρόσβαση 22 Σεπτέμβριος 2018].

[73] Ducker Worldwide, «Aluminum in 2012 North American Light Vehicles: Executive Summary,» 7 Σεπτέμβριος 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available:

http://www.drivealuminum.org/wp-content/uploads/2017/05/2012_Aluminum-in-2012-North-American-Light-Vehicles.pdf. [Πρόσβαση 25 Σεπτέμβριος 2018].

[74] L. Cheah, *Cars on a Diet: The Material and Energy Impacts of Passenger Vehicle Weight Reduction in the U.S.*, Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2010.