



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Αξιολόγηση της συμβολής της ηλεκτροκίνησης στην ποιότητα του
ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην Ελλάδα.**

Συγγραφέας

Κωνσταντέλος Γεώργιος

46147321

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Σπυρόπουλος Γεώργιος

Μουστρής Κωνσταντίνος

Αθήνα, Μάρτιος 2022



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

Diploma Thesis

**Evaluation of the contribution of electromobility to the quality of the
atmospheric environment in Greece**

Student name and surname:

Konstantelos Georgios

Registration Number: 46147321

Supervisor:

Spyropoulos Georgios

Moustris Konstantinos

Athens, March 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αξιολόγηση της συμβολής της ηλεκτροκίνησης στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην Ελλάδα.

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/A	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΟΥΣΤΡΗΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ ΝΤΟΥΡΟΥ	ΕΔΠ Α' ΒΑΘΜΙΔΑΣ	
3	ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κωνσταντέλος Γεώργιος του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 46147321 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σημερινή εποχή η ατμοσφαιρική ρύπανση αναγνωρίζεται ως ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, με αποτέλεσμα η Ευρωπαϊκή Ένωση και όλες οι αναπτυγμένες χώρες να έχουν θεσμοθετήσει σχετική υποχρεωτική νομοθεσία που να εξασφαλίζει ένα αποδεκτό επίπεδο ποιότητας περιβάλλοντος. Η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ανάλογη με την ραγδαία αύξηση της τεχνολογίας, επομένως με το πέρασμα των χρόνων τίθεται σε ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό η επέμβαση και προσπάθεια μείωσης όλων των επιβλαβών αέριων ρύπων. Ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να συνεισφέρει στην ελάττωση των ρύπων είναι η ένταξη της ηλεκτροκίνησης στην καθημερινή μας ζωή.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να αξιολογηθεί αν τελικά η ένταξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα καταφέρει να μειώσει τους συνολικούς ρύπους ή αν απλά θα μετατοπίσει την ρύπανση από τις πόλεις, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα COPERT το οποίο παρείχε αναλυτικά δεδομένα από το 1990 έως το 2018. Τα δεδομένα αφορούν τον στόλο οχημάτων, τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα, αλλά και τις εκπομπές CO₂, CO, NO_x, PM₁₀ και SO₂ που θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία. Για την πρόβλεψη του στόλου οχημάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης Brown. Επιπλέον γίνεται εκτίμηση της συνολικής ρύπανσης των παραπάνω ρύπων για κάθε έτος από το 2019 έως το 2030.

Η ηλεκτροκίνηση, όπως είναι γνωστό, δεν εκπέμπει ρύπους στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι απαραίτητη για την κίνηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, παράγεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στους οποίους απελευθερώνονται τεράστια ποσά ρύπων. Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει υπολογισμός των εκπομπών από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, ώστε να εκτιμηθεί αν το συνολικό αντίκτυπο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα έχει θετικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ατμοσφαιρική ρύπανση, ηλεκτροκίνηση, COPERT, διπλή εκθετική εξομάλυνση Brown, πρόβλεψη εκπομπών

ABSTRACT

At present, air pollution is recognized as a very serious problem at a national and international level, with the result that the European Union and all developed countries have enacted relevant mandatory legislation that ensures an acceptable level of environmental quality. The increase in air pollution is proportional to the rapid increase in technology and, thus, over the years the intervention and effort to reduce all harmful gaseous pollutants is becoming more and more imperative. An important factor that can contribute to the reduction of pollutants is the integration of electromobility in our daily lives.

The purpose of this dissertation is to assess whether the integration of electric cars will eventually reduce total emissions or whether it will simply shift pollution from cities to power stations. The COPERT program was used for the implementation of the work, which provided detailed data from 1990 to 2018. The data concern the vehicle fleet, the average kilometers traveled, and also the CO₂, CO, NO_x, PM₁₀ and SO₂ emissions that will be analyzed in the present work. The Brown's double exponential smoothing method was used to predict the vehicle fleet. In addition, the total pollution of the above pollutants is estimated for each year from 2019 to 2030.

Electromobility, as it is known, does not emit pollutants into the atmosphere. However, electricity, which is necessary for the movement of electric cars, is generated in power plants where huge amounts of pollutants are released. In this thesis, emissions from the electricity sector will be calculated to assess whether the overall impact of electric cars will have a positive environmental impact.

KEY WORDS: Air pollution, electromobility, COPERT, Brown's double exponential smoothing, emission estimation

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές μου ευχαριστίες στους καθηγητές μου κ. Σπυρόπουλο και κ. Μουστρή για την ευκαιρία που μου έδωσαν να ασχοληθώ με ένα επίκαιρο θέμα που μου κέντρισε από την αρχή το ενδιαφέρον. Η καθοδήγηση, η βοήθεια, οι συμβουλές και οι γνώσεις που έλαβα σε όλη την διάρκεια της εργασίας είναι ανεκτίμητες.

Τέλος, οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου, Νίκο και Ελένη, για τις θυσίες και την στήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Σας χρωστάω αυτό που είμαι και αυτό που ευελπιστώ να γίνω.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1. Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	13
1.1 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	14
1.2 Κατηγορίες ρύπων.....	15
1.3 Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία.....	16
1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση στον τομέα των μεταφορών.....	17
1.5 Ατμοσφαιρική ρύπανση από επιβατικά οχήματα.....	19
2. Ηλεκτροκίνηση.....	21
2.1 Ιστορική αναδρομή των ηλεκτρικών οχημάτων.....	21
2.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	23
2.3 Σταθμοί φόρτισης.....	24
2.4 Ποσοστά πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	27
2.4.1 Στην Ευρώπη.....	28
2.4.2 Στην Ελλάδα.....	31
3. Μοντέλα υπολογισμού ρύπων και μέθοδοι προβλέψεων.....	34
3.1 Μοντέλα υπολογισμού εκπεμπόμενων ρύπων.....	34
3.1.1 EMFAC.....	35
3.1.2 MOBILE.....	35
3.1.3 MOVES.....	36
3.1.4 ARTEMIS.....	36
3.1.5 COPERT.....	37
3.2 Αναφορές σε COPERT.....	38
3.3 Μέθοδοι προβλέψεων και ανάλυση χρονοσειρών.....	40
3.3.1 Αιτιοκρατικά ή επεξηγηματικά μοντέλα.....	40
3.3.2 Μοντέλα χρονοσειρών.....	41
3.4 Μέθοδοι εξομάλυνσης.....	42
3.4.1 Απλός κινητός μέσος.....	43
3.4.2 Απλή εκθετική εξομάλυνση.....	43
3.4.3 Διπλός κινητός μέσος.....	44
3.4.4 Διπλή εκθετική εξομάλυνση (Brown).....	45
3.4.5 Εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση (Holt).....	46

3.4.6	Εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση και στην εποχικότητα (Winters) ..	46
4.	Ποιοτικά χαρακτηριστικά στόλου οχημάτων.....	49
4.1	Δεδομένα στόλου οχημάτων	49
4.2	Συνολικός αριθμός οχημάτων 1990-2018	52
4.3	Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων 1990-2018	53
4.4	Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 1990-2018.....	55
4.5	Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά μέγεθος 1990-2018.....	58
4.6	Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά πρότυπο μέτρησης εκπομπών ρύπων 1990-2018....	60
4.7	Συνολικά χιλιόμετρα οχημάτων 1990-2018.....	62
4.8	Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων 1990-2018	63
4.9	Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 1990-2018.....	65
4.10	Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων ανά πρότυπο Euro 1990-2018.....	66
5.	Πρόβλεψη στόλου οχημάτων και μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων	69
5.1	Ομαδοποίηση επιβατικού στόλου οχημάτων	69
5.2	Πρόβλεψη επιβατικού στόλου οχημάτων 2019-2030	74
5.2.1	Ενδεικτικός υπολογισμός εκθετικής εξομάλυνσης.....	76
5.2.2	Παραδοχές εκθετικής εξομάλυνσης.....	78
5.3	Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 2019-2030.....	79
5.4	Υπολογισμός μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων 1990-2018	81
5.5	Πρόβλεψη μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων 2019-2030	85
5.6	Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων 2019-2030	89
5.7	Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 2019-2030.....	90
5.8	Μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων 2019-2030	92
6.	Υπολογισμός ρύπανσης επιβατικών οχημάτων 2019-2030	94
6.1	Συντελεστής εκπομπών (g/km)	94
6.2	Υπολογισμός εκπομπών CO ₂	96
6.3	Υπολογισμός εκπομπών CO.....	99
6.4	Υπολογισμός εκπομπών NO _x	101
6.5	Υπολογισμός εκπομπών PM ₁₀	103
6.6	Υπολογισμός εκπομπών SO ₂	105
7.	Υπολογισμός ρύπανσης BEV και PHEV από την ηλεκτροπαραγωγή	108
7.1	Ενεργειακό μίγμα 2017-2021	110
7.2	Πρόβλεψη ενεργειακού μίγματος 2022-2030	112
7.3	Μέση κατανάλωση BEV και PHEV	115

7.4	Ηλεκτρική κατανάλωση BEV και PHEV 2017-2030	117
7.5	Συντελεστής εκπομπών ρύπων ηλεκτροπαραγωγής	120
7.6	Συνολική ρύπανση BEV και PHEV από την ηλεκτροπαραγωγή 2017-2030	121
7.6.1	Υπολογισμός εκπομπών CO ₂	122
7.6.2	Υπολογισμός εκπομπών CO	124
7.6.3	Υπολογισμός εκπομπών NO _x	126
7.6.4	Υπολογισμός εκπομπών PM ₁₀	128
7.6.5	Υπολογισμός εκπομπών SO ₂	130
8.	Σύγκριση ρύπων συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	133
8.1	Συνολική ρύπανση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	133
8.2	Σενάριο σύγκρισης ρύπων.....	136
8.2.1	Σύγκριση εκπομπών CO ₂	137
8.2.2	Σύγκριση εκπομπών CO	139
8.2.3	Σύγκριση εκπομπών NO _x	140
8.2.4	Σύγκριση εκπομπών PM ₁₀	142
8.2.5	Σύγκριση εκπομπών SO ₂	143
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	146
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	148
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	152

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξελίσσεται ραγδαία στην εποχή μας με ρυθμό που ίσως δεν προλαβαίνουμε να το παρακολουθήσουμε, παρά τα υπερσύγχρονα μέσα που διαθέτουμε. Από την άλλη, ραγδαία εξελίσσεται η τεχνολογία και η τεχνογνωσία που στόχο έχουν να συμβάλουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος, μόνο που δυστυχώς βρίσκονται πίσω των περιστάσεων (Γεντεκάκης, 2010).

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Παρουσιάζονται οι πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης και γίνεται κατηγοριοποίηση των ρύπων. Επιπλέον τονίζεται η συμβολή που έχει ο τομέας μεταφορών στην συνολική ρύπανση και ιδίως τα επιβατικά αυτοκίνητα, καθώς αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό της διάρθρωσης του στόλου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και στην συνέχεια γίνεται η κατηγοριοποίηση τους. Κατόπιν αναλύονται οι σταθμοί φόρτισης οι οποίοι αποτελούν σημαντικό κομμάτι στο ρυθμό διεξόδου της ηλεκτροκίνησης. Τέλος παρουσιάζονται στοιχεία της αγοράς των τελευταίων πέντε ετών, για τον αριθμό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και για το ποσοστό τους επί τις συνολικές πωλήσεις.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται ανάλυση των εργαλείων μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζονται τα πιο διαδεδομένα μοντέλα υπολογισμού εκπεμπόμενων ρύπων για τις οδικές μεταφορές. Εν συνεχεία ακολουθεί εξήγηση των μεθόδων προβλέψεων και των αναλύσεων χρονοσειρών, με σκοπό να γίνει επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για πρόβλεψη του στόλου οχημάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του στόλου οχημάτων από το 1990 έως το 2018, έπειτα από επεξεργασία των δεδομένων της EMISIA. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται ανάλυση του στόλου οχημάτων και των συνολικών χιλιομέτρων με βάση την κατηγοριοποίησή τους σε καύσιμο, μέγεθος και πρότυπο Euro.

Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται πρόβλεψη του στόλου επιβατικών οχημάτων για κάθε κατηγορία, με τη μέθοδο της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης Brown. Επιπλέον γίνεται πρόβλεψη των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων βάσει την παρατήρηση των παρελθοντικών τιμών της χρονοσειράς.

Στο έκτο κεφάλαιο υπολογίζεται ο συντελεστής εκπομπών (g/km) για κάθε υποκατηγορία. Έπειτα γίνεται εκτίμηση των συνολικών εκπομπών του CO₂, CO, NO_x, PM₁₀ και SO₂ για το χρονικό διάστημα της πρόβλεψης. Επιπλέον, παρουσιάζεται σε μορφή γραφήματος η εξέλιξη των συνολικών εκπομπών κάθε ρύπου από το 1990 μέχρι το 2030.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται το ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής από το 2017 έως το 2030, βάσει των ενημερωτικών δελτίων για την ενέργεια που δημοσιοποιεί ο ΑΔΜΗΕ, αλλά και από τις

προβλέψεις του ΕΣΕΚ. Στην συνέχεια γίνεται υπολογισμός της μέσης κατανάλωσης (kWh/km) των BEV και PHEV, έτσι ώστε να βρεθεί η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κίνηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τέλος, γίνεται εκτίμηση των εκπομπών που ελευθερώνονται από την ηλεκτροπαραγωγή για την λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται συγκέντρωση όλων των υπολογισμών με σκοπό την άμεση σύγκριση των εκπομπών που εκλύονται από τα ηλεκτρικά και τα συμβατικά αυτοκίνητα. Για την υλοποίηση της διαδικασίας υιοθετήθηκε ένα σενάριο σύγκρισης ηλεκτρικών και συμβατικών αυτοκινήτων με πρόβλεψη μέχρι το 2030. Στο σενάριο πραγματοποιείται σύγκριση των ρύπων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που διεισδύουν κάθε χρόνο στο στόλο επιβατικών οχημάτων, με τους υποτιθέμενους ρύπους που θα απελευθέρωνε ο αντίστοιχος αριθμός συμβατικών αυτοκινήτων, στην περίπτωση που δεν είχε πραγματοποιηθεί καμία ένταξη της ηλεκτροκίνησης.

Ο αρχικός σχεδιασμός της διπλωματικής έθετε την δημιουργία δύο σεναρίων για την άμεση σύγκριση των ρύπων από τα συμβατικά και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το πρώτο σενάριο αντιστοιχούσε στο υφιστάμενο ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής, ενώ το δεύτερο σενάριο θα αναφερόταν σε αντίστοιχες προβλέψεις του 2030. Ωστόσο, κατά την διάρκεια της εργασίας, ο αρχικός σχεδιασμός διαφοροποιήθηκε και πραγματοποιήθηκε πιο αναλυτική σύγκριση λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές του ενεργειακού μίγματος για κάθε έτος.

1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει οριστεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Κατά μία έννοια είναι η μόλυνση του εσωτερικού ή εξωτερικού περιβάλλοντος από οποιονδήποτε χημικό, φυσικό ή βιολογικό παράγοντα που τροποποιεί τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Οι οικιακές συσκευές καύσης, τα μηχανοκίνητα οχήματα, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οι δασικές πυρκαγιές είναι κοινές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ρύποι που προκαλούν μεγάλη ανησυχία για τη δημόσια υγεία αποτελούν τα σωματίδια, το μονοξείδιο του άνθρακα, το όζον, το διοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του θείου. Η ατμοσφαιρική ρύπανση εξωτερικών και εσωτερικών χώρων προκαλεί αναπνευστικές και άλλες ασθένειες και αποτελεί σημαντική πηγή νοσηρότητας και θνησιμότητας (ΠΟΥ, 2021).

Από τη βιομηχανική επανάσταση από τον 19ο αιώνα, η ατμοσφαιρική ρύπανση θεωρείται σημαντική απειλή για την ανθρώπινη υγεία (Liu *et al.*, 2021). Καθώς η κοινωνία μας εξελίσσεται και υπάρχουν περισσότερες πηγές ρύπανσης στο περιβάλλον, ο αντίκτυπος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται όλο και πιο εμφανής. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές που προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα υποδομών, όπως δημόσια μέσα μεταφοράς, εργοστάσια και άλλες αστικές εγκαταστάσεις. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) εκτιμά ότι σε όλο τον κόσμο περίπου 7 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν από τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κάθε χρόνο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πράγματι υπεύθυνη για την πρόκληση καρδιακών παθήσεων, εγκεφαλικών επεισοδίων, καρκίνου του πνεύμονα, αναπνευστικών λοιμώξεων και χρόνιων αναπνευστικών παθήσεων (Kortocsi *et al.*, 2022). Επιπλέον, εκτιμήσεις δείχνουν ότι το 90% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε περιοχές με ποιότητα αέρα που δεν πληρούν τις οδηγίες του ΠΟΥ. Επιπλέον, αρκετές μελέτες υποδηλώνουν ότι τα κοινωνικά και οικονομικά μειονεκτούντα άτομα μπορεί να εκτίθενται σε δυσανάλογα υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων που σχετίζονται με την κυκλοφορία, ενώ λαμβάνουν λιγότερα οφέλη από βελτιώσεις στις αστικές συγκοινωνίες (Gurram, Stuart and Pinjari, 2019).

Από την άλλη ένας ατμοσφαιρικός ρύπος δεν χρειάζεται να είναι απαραίτητα ανθυγιεινός, με την έννοια ότι προκαλεί άμεσα αποτελέσματα στους ζωντανούς οργανισμούς. Η δημιουργία ενός στρώματος στην ατμόσφαιρα που συγκρατεί ορισμένα, απαραίτητα για τη ζωή στη Γη, μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι επίσης μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το στρώμα αυτό μπορεί επίσης να αποτρέψει την αντανάκλαση θερμότητας από τη Γη στο διάστημα, με αποτέλεσμα την ενίσχυση του ήδη υπάρχοντος φαινομένου του θερμοκηπίου πράγμα που θα συμβάλλει στην αλλαγή του κλίματος και της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επίσης το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αφορούν ουσίες που καταφέρνουν να φθάσουν στο στρατοσφαιρικό στρώμα του όζοντος που προστατεύει τον πλανήτη μας από την επικίνδυνη για τη ζωή υπεριώδη (UV) ακτινοβολία και να το καταστρέψουν (Γεντεκάκης, 2010).

1.1 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Με τον όρο πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης ορίζονται οι διάφορες τοποθεσίες, δραστηριότητες ή παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα (Ρεμουντάκη, 2010). Οι πηγές εκπομπής διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές.

Οι φυσικές πηγές, οι οποίες δεν ελέγχονται άμεσα, ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Στην πρώτη κατηγορία διακρίνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω των εκπομπών σκόνης κατά την αιολική διάβρωση των εδαφών. Οι πηγές αυτές δημιουργούν πρόβλημα και γίνονται σημαντικές σε μεγάλες εκτάσεις όπου παρουσιάζεται φτωχή ή καθόλου βλάστηση. Η ατμόσφαιρα της Μεσογείου και κατά συνέπεια η χώρα μας επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταφορά σκόνης από την έρημο της Σαχάρας όπως επίσης και από ερημικές περιοχές της βόρειας Αφρικής.
- Στην δεύτερη κατηγορία παρατηρούνται οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Οι εκρήξεις αυτές εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα αρκετά μεγάλες ποσότητες από θειικά αερολύματα και μεγάλες ποσότητες τέφρας. Οι ζημιογόνες αυτές εκπομπές γίνονται στην τροπόσφαιρα, αλλά και σε πολύ μεγαλύτερα ύψη από την επιφάνεια της γης έχοντας ως αποτέλεσμα, τα ηφαιστειακά αερολύματα να έχουν πολύ μεγάλους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα και παράλληλα να διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Τα αερολύματα που προκύπτουν προκαλούν ψύξη του αέρα επιδρώντας στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας, μια διεργασία αντίθετη από αυτή των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό προκαλείται διότι τα αιωρούμενα σωματίδια σκεδάζουν και απορροφούν το ηλιακό φως με αποτέλεσμα να επηρεάζουν τον τρόπο γένεσης των νεφών.
- Στην τρίτη κατηγορία παρατηρούνται οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων ρύπων. Βασική ρυπογόνο πηγή είναι το μονοξείδιο του άνθρακα που εκλύεται από τις δασικές πυρκαγιές. Οι δασικές πυρκαγιές ευνοούνται από τις μεγάλες περιόδους ξηρασίας, ζέστης και παρατεταμένης ανομβρίας και επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με τεράστιες ποσότητες σωματιδίων και αέριων ρύπων (Ρεμουντάκη, 2010).

Στις αστικές περιοχές, το μεγαλύτερο μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε κινητές, όπως τα αυτοκίνητα, τα φορτηγά, τα αεροπλάνα, οι κινητήρες θαλάσσης και σε σημειακές πηγές, όπως τα εργοστάσια, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (C. Rénard-Morand, 2004).

Κύριες πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν οι εξής:

- Η οδική κυκλοφορία, κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα των βιομηχανοποιημένων χωρών, λόγω της καύσης των ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα να παράγονται μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογονάνθρακες.

- Οι ανθρώπινες δραστηριότητες συνεισφέρουν σημαντικά στην αύξηση των πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στο πετρέλαιο, στις χημικές βιομηχανίες και στη μεταφορά, στην αύξηση των οξειδίων του αζώτου, λόγω καύσης αλλά και στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία προκύπτουν κυρίως από τη καύση των κινητών και των σταθερών πηγών.
- Η βιομηχανία παράγει συγκεκριμένους ρύπους όπως τα απόβλητα, τα παράγωγα του φθορίου ή το αλουμίνιο.
- Η επεξεργασία των ορυκτών καυσίμων παράγει μέταλλα, όπως το κάδμιο, ο ψευδάργυρος και ο μόλυβδος, ενώ ο υδράργυρος παράγεται από την καύση των οικιακών απορριμμάτων.
- Στη γεωργία, λόγω της χρήσης των αζωτούχων λιπασμάτων, παράγονται νιτρικά οξείδια, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, και αμμωνία η οποία συμμετέχει στη διαδικασία οξείδωσης (Νέζου, 2018).

1.2 Κατηγορίες ρύπων

Η καύση ορυκτών καυσίμων με σκοπό τις μεταφορές και την παραγωγή ενέργειας είναι ο κύριος λόγος της σύνθεσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι ατμοσφαιρικοί αυτοί ρύποι ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την εκπομπή, τις ιδιότητες αντίδρασης, την ανθεκτικότητα στο περιβάλλον, την ικανότητα μεταφοράς και τις επιπτώσεις στην υγεία των έμβιων όντων κατηγοριοποιούνται και ομαδοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες (Kampa and Castanas, 2008):

1. Αέριοι ρύποι (π.χ. SO₂, NO_x, CO, O₃, VOC's)
2. Έμμονοι οργανικοί ρύποι (π.χ. διοξίνες, παρασιτοκτόνα)
3. Βαρέα μέταλλα (π.χ. μόλυβδος, υδράργυρος).
4. Αιωρούμενα σωματίδια

Στην πρώτη κατηγορία συναντάμε τους αέριους ρύπους οι οποίοι συμβάλλουν σε τεράστιο βαθμό στις διακυμάνσεις της σύνθεσης της ατμόσφαιρας και οφείλονται κυρίως στην καύση ορυκτών καυσίμων. Τα οξείδια του αζώτου εκπέμπονται ως NO το οποίο αντιδρά γρήγορα με το όζον σχηματίζοντας NO₂. Επιπλέον, το όζον στα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα σχηματίζεται από μια σειρά αντιδράσεων που περιλαμβάνουν NO₂ και πτητικές οργανικές ενώσεις, μια διαδικασία που ξεκινά από το φως του ήλιου. Το CO, από την άλλη πλευρά, είναι προϊόν ατελούς καύσης και τα συναντάμε συνήθως στις οδικές μεταφορές. Το ανθρωπογενές SO₂ προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων και την τήξη μεταλλευμάτων πλούσια σε θείο ενώ φυσική πηγή είναι τα ηφαίστεια και οι ωκεανοί. Επιπρόσθετα μια μεγάλη κατηγορία ενώσεων που τροφοδοτούν τις

διεργασίες καύσης για τη παραγωγή ενέργειας και των οδικών μεταφορών είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC's) οι οποίες περιλαμβάνουν χημικά είδη οργανικής φύσης όπως είναι το βενζόλιο.

Στην δεύτερη κατηγορία συναντάμε τους Έμμοιους οργανικούς ρύπους οι οποίοι σχηματίζουν μια τοξική ομάδα χημικών ουσιών. Περιλαμβάνουν διοξίνες και φυτοφάρμακα ενώ κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι παραμένουν για μεγάλες χρονικές περιόδους στο περιβάλλον δημιουργώντας προβλήματα αυξητικά μέσω τις τροφικές αλυσίδας. Οι διοξίνες προκύπτουν και σχηματίζονται τόσο κατά τη διάρκεια της ατελούς καύσης όσο και κατά την καύση υλικών που περιέχουν χλώριο. Οι διοξίνες που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα εν τέλει εναποτίθενται στο έδαφος και στο νερό χωρίς όμως να μολύνουν τα υπόγεια κοιτάσματα νερού διότι είναι αδιάλυτες στο νερό. Στα φυτά παρατηρούνται διοξίνες εξαιτίας του αέρα και της σκόνης ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό είναι από την χρήση φυτοφαρμάκων (Kampa and Castanas, 2008).

Στην τρίτη κατηγορία ρύπων κατατάσσονται τα βαρέα μέταλλα όπως είναι ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το κάδμιο, το ασήμι, το νικέλιο, το βανάδιο, το χρώμιο και το μαγγάνιο, τα οποία δεν καταστρέφονται ούτε υποβαθμίζονται αφού, είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της γης. Τα μέταλλα αυτά εισέρχονται στο περιβάλλον μέσω της καύσης, της εκροής των λυμάτων και των εγκαταστάσεων παραγωγής.

Στην τέταρτη κατηγορία κατατάσσονται τα αιωρούμενα σωματίδια, όρος που χρησιμοποιείται για έναν τύπο ατμοσφαιρικών ρύπων, ο οποίος αποτελείται από ποικίλα μείγματα σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα και παράγονται από φυσικές και ανθρωπογενής δραστηριότητες. Βασικές πηγές σωματιδιακής ρύπανσης είναι τα εργοστάσια, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, οι αποτεφρωτήρες απορριμμάτων, τα μηχανοκίνητα οχήματα, η κατασκευαστική δραστηριότητα, οι πυρκαγιές και η φυσική σκόνη από τον άνεμο. Τα συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλουν, αφού απορροφούν και μεταφέρουν πληθώρα αέριων ρύπων, κύρια συστατικά των οποίων είναι μέταλλα, οργανικές ενώσεις, βιολογικό υλικό, ιόντα και αντιδραστικά αέρια (Kampa and Castanas, 2008).

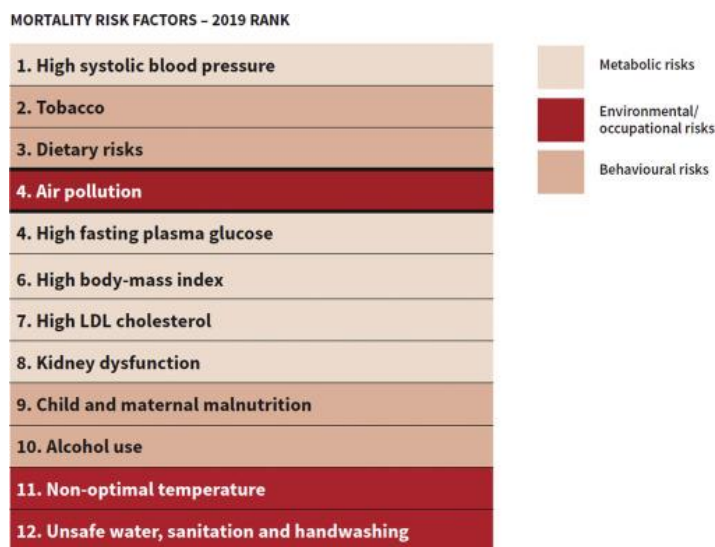
1.3 Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία

Τις τελευταίες δεκαετίες, πολυάριθμες επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με δυσμενείς επιπτώσεις για την υγεία του ανθρώπου, συμπεριλαμβανομένης της θνησιμότητας (Raaschou-Nielsen *et al.*, 2022). Η ατμοσφαιρική ρύπανση συσχετίστηκε έντονα με μια ποικιλία ασθενειών, όπως καρκίνος, καρδιαγγειακές παθήσεις, αναπνευστικές και ψυχικές ασθένειες (Ji *et al.*, 2022).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρώπων, είναι καθημερινά εκτεθειμένο σε διάφορα είδη ρύπων. Οι επιπτώσεις στην υγεία εξαρτώνται από τον τύπο του ρύπου, τη συγκέντρωσή του, τη διάρκεια

έκθεσης, αλλά και από τη συνύπαρξη του με άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Οι άνθρωποι που ζουν στις πόλεις εκτίθενται σε μεγαλύτερο βαθμό, ως συνέπεια της αυξημένης εκβιομηχάνισης και των απαιτήσεων για ενέργεια και μηχανοκίνητα οχήματα (Kampa and Castanas, 2008).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση συμβάλλει σημαντικά στην παγκόσμια επιβάρυνση των ασθενειών και πιο συγκεκριμένα, το 12% των συνολικών θανάτων του 2019 εκτιμάται πως οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Ενώ οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αναπνευστικές ασθένειες είναι ευρέως αναγνωρισμένες, το 50% των εκτιμώμενων 7 εκατομμυρίων θανάτων που αποδίδονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση το έτος 2019, οφείλονται σε καρδιαγγειακά νοσήματα. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση ήταν ο τέταρτος υψηλότερος παράγοντας κινδύνου για θνησιμότητα, με περισσότερους αποδιδόμενους θανάτους από την υψηλή LDL χοληστερόλη, τον υψηλό δείκτη μάζας σώματος, τη σωματική αδράνεια και τη χρήση αλκοόλ (Εικόνα 1.1). Τέλος, σε παγκόσμιο επίπεδο, η ατμοσφαιρική ρύπανση εκτιμάται πως συμβάλλει σε μια μέση απώλεια προσδόκιμου ζωής 20 μηνών, σχεδόν τόσο υψηλή όσο και η απώλεια λόγω χρήσης τσιγάρου (22 μήνες) (Brauer *et al.*, 2021).



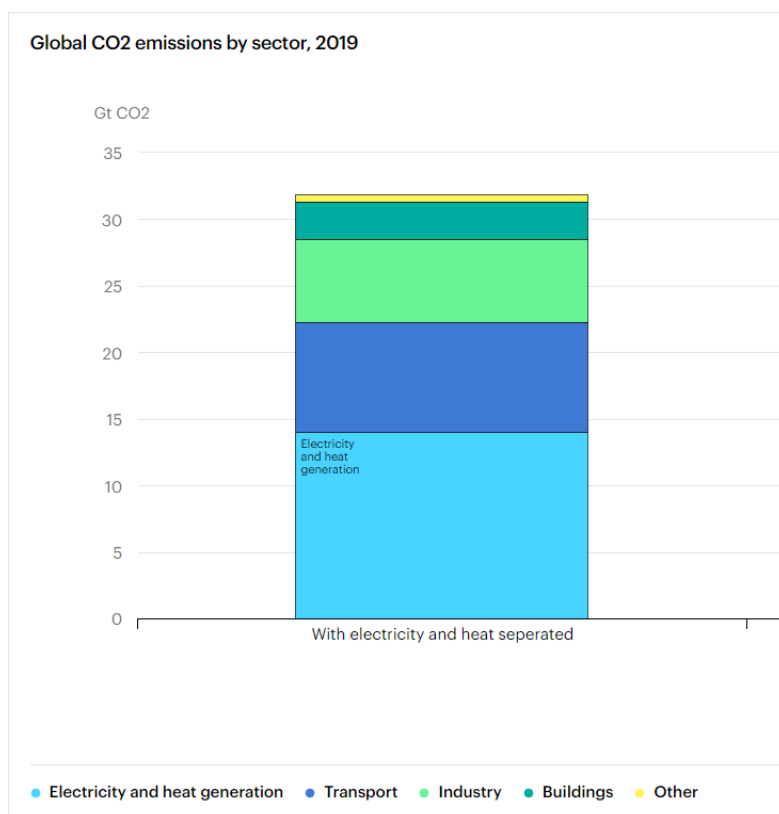
Εικόνα 1.1 Κατάταξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε σχέση με άλλους κύριους παράγοντες κινδύνου για την παγκόσμια θνησιμότητα.

(Πηγή: Brauer *et al.*, 2021)

1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση στον τομέα των μεταφορών

Η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας συνοδεύεται με από μια εκτεταμένη άνευ προηγουμένου οικολογική καταστροφή στον πλανήτη μας. Η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας δέχεται σήμερα μια επιβάρυνση από ρυπογόνους παράγοντες σε τρομακτικό και συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Ένα

σημαντικό μέρος των εκπομπών οφείλεται στον τομέα των μεταφορών που περιλαμβάνει τις μετακινήσεις ανθρώπων και εμπορευμάτων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την International Energy Agency (IEA), οι εκπομπές CO₂ των μεταφορών αναπαριστούν το 25,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ για το έτος 2019. Η ηλεκτροπαραγωγή με 43,9% είναι ο κλάδος με τις μεγαλύτερες εκπομπές CO₂, ενώ ακολουθεί η βιομηχανία και ο κτηριακός τομέας που αντιπροσωπεύουν το 19,7% και 8,8% των παγκόσμιων εκπομπών αντίστοιχα (IEA, 2021).



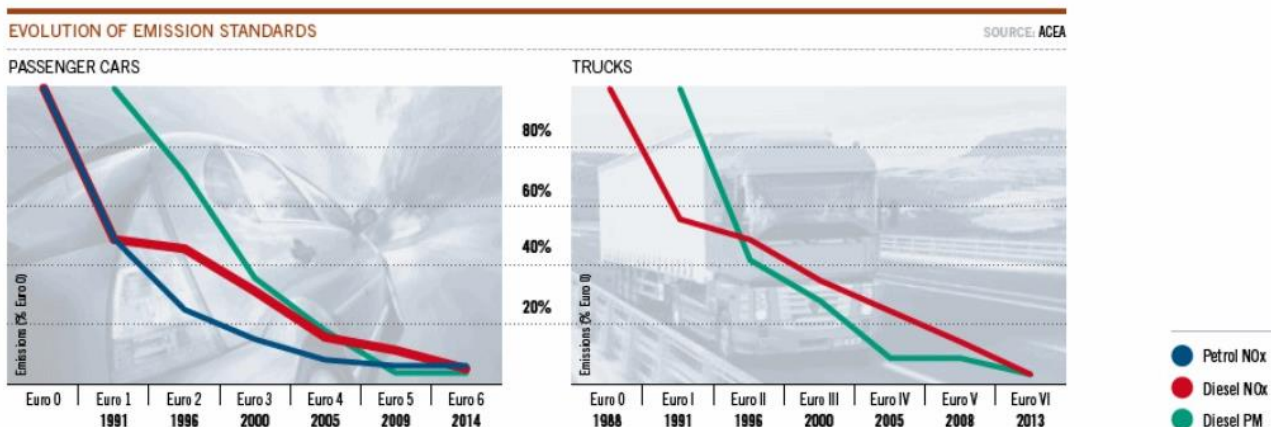
Εικόνα 1.2 Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ ανά τομέα για το 2019.
(Πηγή: IEA, 2021)

Οι μεταφορές στην Ευρώπη συνεισφέρουν περίπου τις μισές εκπομπές NO_x ενώ συμβάλλουν σημαντικά και στις συνολικές εκπομπές των υπόλοιπων ρύπων, με τις οδικές μεταφορές να είναι οι περισσότερο ζημιογόνες. Σύμφωνα με την European Environment Agency (EEA) για την Ευρώπη το έτος 2019, ο τομέας των οδικών μεταφορών συνέβαλε περισσότερο από όλους τους τομείς στις εκπομπές NO_x, με ποσοστό 39%, ενώ παράλληλα ευθύνεται σημαντικά τόσο για τις εκπομπές PM_{2.5} και NMVOC με ποσοστό 10% και 8% αντίστοιχα. Στην Ελλάδα το ποσοστό εκπομπών NO_x και PM_{2.5} από τις οδικές μεταφορές είναι χαμηλότερο από αυτό της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τιμές 30% και 8% αντίστοιχα. Αντιθέτως οι εκπομπές NMVOC αποτελούν το 28% των συνολικών εκπομπών, τιμή η οποία είναι τριπλάσια από την αντίστοιχη τιμή της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EEA, 2021).

Η αυξημένη ευαισθητοποίηση σχετικά με την εκτεταμένη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και ο παγκοσμίως αναγνωρισμένος αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής προκάλεσε το παγκόσμιο ενδιαφέρον για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στον 21ο αιώνα. Είναι επίσης σημαντικό να τονιστεί ότι το 77% των εκπομπών CO₂ σε αυτόν τον τομέα οφείλονται στη χρήση οδικών οχημάτων. Προκειμένου να επιτευχθεί ένα καθαρότερο και πιο βιώσιμο μέλλον στις μεταφορές, η ανάπτυξη οχημάτων που μπορούν να κινούνται με εναλλακτικά καύσιμα έγινε επιτακτική. Ως αποτέλεσμα παγκόσμιων προσπαθειών, κυβερνητικών κινήτρων και πρόσφατων τεχνολογικών εξελίξεων, τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων, ιδιαίτερα τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία, θεωρούνται πλέον ως ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεταφορών (Kinay, Gzara and Alumur, 2021).

1.5 Ατμοσφαιρική ρύπανση από επιβατικά οχήματα

Η ποιότητα και η καθαρότητα του αέρα είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία και την ευημερία του πληθυσμού, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Οι οδικές μεταφορές έχουν σημειώσει τεράστια πρόοδο τα τελευταία χρόνια και συνεχίζουν να σημειώνουν σημαντικές προόδους. Η εφαρμογή προηγμένης τεχνολογίας κινητήρων, προηγμένων συστημάτων μετεπεξεργασίας καυσαερίων και καθαρότερου καυσίμου βενζίνης και ντίζελ βοήθησε στη μείωση των εκπομπών ρύπων από αυτοκίνητα, φορτηγά, φορτηγά και λεωφορεία, οδηγώντας σε τεράστιες βελτιώσεις στη συνολική ποιότητα του αέρα στις αστικές περιοχές. Οι εκπομπές των καυσαερίων από τις οδικές μεταφορές είναι πολύ λιγότερες από αυτές που ήταν πριν από δύο δεκαετίες. Οι βελτιώσεις στην απόδοση του κινητήρα και τα συστήματα μετεπεξεργασίας καυσαερίων έχουν επιφέρει τεράστιες μειώσεις στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO), στους υδρογονάνθρακες (HC) και στα οξείδια του αζώτου (NO_x), και στα αιωρούμενα στερεά (PM) από αυτοκίνητα, φορτηγά και βαρέα επαγγελματικά οχήματα (ACEA, 2013).



Εικόνα 1.3 Εξέλιξη των προτύπων μέτρησης εκπομπών ρύπων.
(Πηγή: IEA, 2021)

Στην Ευρώπη, οι οδικές μεταφορές ευθύνονται για το 92% των εκπομπών CO₂ στον τομέα των μεταφορών, ενώ οι εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα αντιπροσωπεύουν το ήμισυ των εκπομπών των οδικών μεταφορών. Τα επιβατικά αυτοκίνητα συμβάλλουν σημαντικά και στους υπόλοιπους ατμοσφαιρικούς ρύπους και ιδιαίτερα στα NO_x και NMVOC με 48% και 40% αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταφορές αυτοκινήτων και ιδιαίτερα τα επιβατικά αυτοκίνητα, αποτελούν βασικό τομέα για την πρόταση στρατηγικών περιορισμού της ανοδικής τάσης των εκπομπών CO₂ στην Ευρώπη (González et al., 2019; EEA, 2021).

Σύμφωνα με τα παραπάνω στατιστικά, είναι εμφανής η συμβολή των επιβατικών αυτοκινήτων στην συνολική ρύπανση της ατμόσφαιρας και ιδίως στις πόλεις, όπου συγκεντρώνονται πολλά αυτοκίνητα σε περιορισμένο χώρο. Ως εκ τούτου, η παρούσα διπλωματική θα επικεντρωθεί στη διείσδυση της ηλεκτροκίνησης στα επιβατικά οχήματα.

2. Ηλεκτροκίνηση

Στη σύγχρονη εποχή, η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι πλέον μια συμφέρουσα λύση από τεχνολογικής και οικονομικής άποψης, συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα. Οι βιομηχανίες αυτοκινήτων προσφέρουν στον καταναλωτή έναν μεγάλο αριθμό ηλεκτροκίνητων μοντέλων, τα οποία χρόνο με το χρόνο έχουν ως στόχο την αντικατάσταση των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η ηλεκτροκίνηση έχει ενταχθεί σε μεγάλο βαθμό στις αστικές μεταφορές, ενώ η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έχει καθιερωθεί στις εσωτερικές μεταφορές, στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και σε κλειστούς χώρους όπου αποφεύγονται οι αέριοι ρύποι και η όχληση (Kubański, 2020).

2.1 Ιστορική αναδρομή των ηλεκτρικών οχημάτων

Η πρώτη εμφάνιση ηλεκτρικού οχήματος χρονολογείται το 1830 όταν ο Robert Anderson δημιούργησε ένα ακατέργαστο ηλεκτρικό βαγόνι. Περίπου την ίδια περίοδο, τα πρώτα πειραματικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα κινούνταν επίσης πάνω σε ράγες. Λόγω της δυσκίνητης διαδικασίας φόρτισης των μπαταριών, όλα τα ηλεκτρικά οχήματα εκείνης της εποχής κινούνταν με μπαταρίες μιας χρήσης και τις αποφορτισμένες μπαταρίες τις αντικαθιστούσαν με νέες. Σπουδαίες εφευρέσεις στα μέσα του 19ου αιώνα όπως η ηλεκτρομαγνητική διέγερση, ο ρότορας συμπαγούς σιδήρου, ο οπλισμός δακτυλίου και το δυναμό ώθησαν στην δημιουργία επαναφορτιζόμενων μπαταριών (Kubański, 2020).

Το 1884 στην Μεγάλη Βρετανία, ο Thomas Parker (1843–1915) σχεδίασε και κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής, το οποίο τροφοδοτούνταν από τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που κατασκεύαζε η δική του εταιρεία Elwell-Parker Ltd, η οποία είχε δημιουργηθεί δύο χρόνια νωρίτερα (Guarnieri, 2012). Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στις ΗΠΑ εμφανίστηκαν λίγο αργότερα από ό,τι στην Ευρώπη. Το πρώτο επιτυχημένο τετράτροχο ηλεκτρικό όχημα των ΗΠΑ, ικανό να μεταφέρει 6 επιβάτες με τελική ταχύτητα τα 22 km/h, κατασκευάστηκε από τον William Morrison το 1890, χρησιμοποιώντας μπαταρία μολύβδου που ο ίδιος είχε κατασκευάσει. Η πρώτη εταιρεία ταξί που χρησιμοποιεί ηλεκτρικά αυτοκίνητα ιδρύθηκε το 1897 στη Νέα Υόρκη. Συνολικά, πάνω από 2.000 ηλεκτρικά ταξί, λεωφορεία και φορτηγά που κατασκευάστηκαν από μία μόνο εταιρεία, την Electric Vehicle Company, κυκλοφορούσαν στη Νέα Υόρκη στις αρχές του 20ού αιώνα (Kubański, 2020).

Από το 1990 έως το 1910, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σημείωσαν την μεγαλύτερή τους επιτυχία. Στην Αμερική τα ατμοκίνητα αυτοκίνητα είχαν καταλάβει το 40% της αγοράς αυτοκινήτων, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα το 38% και τα βενζινοκίνητα το 22%. Αυτές οι τρεις τεχνολογίες είχαν διαφορετικά

πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η ατμομηχανή ήταν καλά εδραιωμένη, γρήγορη, αξιόπιστη και ισχυρή, αλλά απαιτούσε μεγάλους χρόνους εκκίνησης (25–45 λεπτά), μικρή εμβέλεια λόγω της ανάγκης για αναπλήρωση νερού ενώ απαιτούσε εξειδικευμένους χειριστές. Τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα ήταν αναξιόπιστα, δύσσομα, θορυβώδη, είχαν δύσκολες αλλαγές ταχυτήτων και δονούσαν έντονα. Αντίθετα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν αξιόπιστα, αθόρυβα, άοσμα, εύκολα στην οδήγηση και η εκκίνηση τους ήταν γρήγορη. Από την άλλη όμως ήταν ακριβά, αργά σε ταχύτητα (24–32 km/h) ενώ ήταν επίσης και χαμηλής αυτονομίας (30–60 km) (Guarnieri, 2012).

Η εισαγωγή των ηλεκτρικών εκκινητήρων το 1912 έδωσε ένα μεγάλο πλεονέκτημα στα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης έναντι των ηλεκτρικών, εμποδίζοντας με αυτό τον τρόπο την ανάπτυξή τους. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές καυσίμων, εδραίωσαν τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης και τα κατέστησαν ελαφρύτερα, ταχύτερα και ευκολότερα στη χρήση (Kubański, 2020).

Η βελτίωση του υπεραστικού οδικού δικτύου στις ΗΠΑ την δεκαετία του 1920 αύξησε την ανάγκη για οχήματα μεγάλης αυτονομίας. Επιπλέον η ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου κατέστησε ιδιαίτερα χαμηλό το κόστος των καυσίμων, με αποτέλεσμα η αγορά να μεταστραφεί στα βενζινοκίνητα οχήματα. Η μεταστροφή αυτή εμφανίστηκε και στην Ευρώπη, με απόληξη την σταδιακή απόσυρση των ηλεκτρικών οχημάτων. Μάλιστα, η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έπαψε εντελώς μέχρι το 1960 όπου άρχισε και πάλι να αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον, καθώς το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αυτοκίνητα στα αστικά κέντρα είχε αρχίσει να γίνεται ορατό, ενώ παράλληλα έπρεπε να αναζητηθούν εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις (Θανόπουλος, 2016).

Στη δεκαετία του 1990, η Καλιφόρνια εισήγαγε κανονισμούς που απαιτούσαν από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να φέρουν στην αγορά τουλάχιστον το 2% των οχημάτων μηδενικών εκπομπών. Λόγω αυτών των κανονισμών υπήρξε μια σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογική ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ώσπου να φτάσουμε στην τρίτη χρονολογική περίοδο της εξέλιξης των ηλεκτρικών οχημάτων που επεκτείνεται μέχρι και σήμερα και κατά τη διάρκεια της οποίας το ενδιαφέρον για τη χρήση τους έχει αλλάξει ριζικά εξ' αιτίας της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της τιμής και εξάντλησης του πετρελαίου. Σήμερα, το ηλεκτρικό όχημα, μετά από πολύ καιρό είναι για άλλη μια φορά στο προσκήνιο, πλέον σαν βιώσιμο μέσον διατήρησης της ποιότητας του αστικού μας περιβάλλοντος (Θανόπουλος, 2016).

Το 2008, η Tesla αποκάλυψε το κορυφαίο μοντέλο Roadster, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να καλύψει πάνω από 320 χιλιόμετρα χωρίς φόρτιση. Ένα χρόνο αργότερα, η Nissan ξεκίνησε την παραγωγή του Leaf – του πιο δημοφιλούς μοντέλου ηλεκτρικού αυτοκινήτου αυτή τη στιγμή στον κόσμο. Διακρίνεται για την ελκυστική τιμή και την ικανοποιητική χωρητικότητα της μπαταρίας. Κατά τα έτη 2009 – 2011, η παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων πενταπλασιαζόταν κάθε χρόνο και μια ελαφρά επιβράδυνση τα επόμενα χρόνια ήταν μια προσωρινή επίδραση της αύξησης της παραγωγής πετρελαίου, χάρη στις νέες τεχνολογίες. Επί του παρόντος, οι εταιρείες αυτοκινήτων

παρουσιάζουν μια μεγάλη γκάμα μοντέλων ηλεκτροκίνησης, τα οποία χαρακτηρίζονται από ολοένα και καλύτερες επιδόσεις (Kubański, 2020).

2.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Σύμφωνα με τον Νόμο 4710/2020, «Πρώθηση της ηλεκτροκίνησης και άλλες διατάξεις», «*ως ηλεκτρικό όχημα ορίζεται κάθε μηχανοκίνητο όχημα εξοπλισμένο με σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το οποίο περιέχει μία τουλάχιστον μη περιφερειακή, εξωτερική, βοηθητική, ηλεκτρική μηχανή ως μετατροπέα ενέργειας με ηλεκτρικό επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο μπορεί να επαναφορτίζεται εξωτερικά*».

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο), τοποθετεί τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Battery Electric Vehicle, BEV)

Τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα αντλούν την ενέργειά τους αποκλειστικά από συσσωρευτές μέσω χημικής ενέργειας, χωρίς την υποστήριξη του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Οι μπαταρίες των BEV επαναφορτίζονται με τη σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και μέσω του συστήματος αναγεννητικής πέδησης (Regenerative Braking). Η ενέργεια που παράγεται από την μπαταρία δίνει τη δυνατότητα στην ηλεκτρική μηχανή να κινήσει τους τροχούς του αυτοκινήτου μέσω της μετατροπής της ενέργειας σε ροπή, με αποδοτικότητα περίπου 90%. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών είναι ότι το κόστος, τόσο της συντήρησης όσο και της συνεχόμενης χρήσης, είναι πολύ μικρότερο από το κόστος χρήσης των αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης. Παρόλα αυτά το κύριο εμπόδιο στην χρήση των παραπάνω είναι οι μπαταρίες, οι οποίες έχουν υψηλό κόστος ενώ παράλληλα προσφέρουν μικρότερη εμβέλεια κίνησης εν συγκρίσει με τα συμβατικά οχήματα των οποίων το κόστος των μπαταριών, ευθύνεται για την μεγάλη διαφορά στην τιμή μεταξύ ενός BEV και ενός αυτοκινήτου με μηχανή εσωτερικής καύσης. Λόγω της αυξημένης προόδου στα διάφορα δομικά στοιχεία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, αναμένεται στα επόμενα χρόνια τόσο η εμβέλεια όσο και το κόστος να είναι στο επίπεδο των συμβατικών αυτοκινήτων (Ε. Μπαξεβάνης, 2019).

- Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Αυτοκίνητα (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)

Υβριδικά αυτοκίνητα ορίζονται τα οχήματα που κινούνται με συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και θερμικού κινητήρα και εκτός από τον εφοδιασμό τους με συμβατικό καύσιμο, έχουν τη δυνατότητα να φορτίζουν τους συσσωρευτές τους με ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από το δίκτυο (Νέγκας, 2011). Κύριο πλεονέκτημα της χρήσης των υβριδικών αυτοκινήτων είναι η ικανότητα τους να είναι αμιγώς ηλεκτρικά σε μικρές αποστάσεις, όπως η αστική κίνηση, ενώ προσφέρουν και τη δυνατότητα

μεγαλύτερων αποστάσεων λόγω της μηχανής εσωτερικής καύσης. Οι εκπομπές αέριων ρύπων είναι αρκετά μικρότερες από τα συμβατικά αυτοκίνητα με χρήση μηχανής (Ε. Μπαξεβάνης, 2019).

- Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα με μονάδα Επέκτασης Αυτονομίας (Battery Electric Vehicles with Range Extender, BEV/RE)

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μονάδα επέκτασης αυτονομίας, όπως και τα υβριδικά οχήματα, διαθέτουν μηχανή εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με ηλεκτρικό κινητήρα, με τη διαφορά ότι η κίνηση του οχήματος βασίζεται αποκλειστικά στον ηλεκτρικό κινητήρα. Η μοναδική χρήση του κινητήρα εσωτερικής καύσης, πραγματοποιείται για την φόρτιση της κύριας μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος, μέσω της χρήσης της γεννήτριας, με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγαλύτερης αυτονομίας έως ότου το αυτοκίνητο συνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (Γκερεδάκης, 2021).

Οι τρεις παραπάνω κατηγορίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων έχουν τη δυνατότητα ηλεκτρικής διασύνδεσής τους με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ή με κάποια εξωτερική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής) με σκοπό την ολική ή μερική επαναφόρτιση των συσσωρευτών τους με ηλεκτρική ενέργεια, για την κίνησή τους. Η διαδικασία αυτή, η οποία αντιστοιχεί με τον ανεφοδιασμό καυσίμων για ένα συμβατικό αυτοκίνητο, χαρακτηρίζεται από ιδιαιτερότητες των οποίων η αντιμετώπιση αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αποκλειστική χρήση ηλεκτροκίνησης των αυτοκινήτων και την απολαβή των σημαντικών πλεονεκτημάτων από την εφαρμογή της (Νέγκας, 2011).

2.3 Σταθμοί φόρτισης

Ως σταθμός φόρτισης ορίζεται η μηχανή που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια για την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Οι σταθμοί φόρτισης είναι συμβατοί με καθιερωμένα πρότυπα από τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC). Τα πρότυπα αυτά, αφορούν το χρόνο λειτουργίας των οχημάτων, τη διαθέσιμη αυτονομία τους, την τεχνολογία των συσσωρευτών τους και τον χρόνο φόρτισής τους (Νικολάου, 2021).

Προς το παρόν, η κατανομή των σταθμών φόρτισης είναι μικρή και ανοργάνωτη, κάτι που θα έχει σοβαρό αντίκτυπο στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων μακροπρόθεσμα. Ως εκ τούτου, ο μέγιστος εξορθολογισμός του αριθμού και της κατανομής θέσης των σταθμών φόρτισης, με βάση τοπικούς παράγοντες, έχει μεγάλη καθοδηγητική σημασία για τη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων (Zhou, Zhu and Luo, 2022).

Συνοπτικά, ο αριθμός και η χωρική κατανομή των σταθμών φόρτισης, εξακολουθεί να αποτελεί σημαντική πρόκληση για την ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ειδικά όταν η εστίαση γίνεται στις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων. Οι μετακινήσεις μικρότερης απόστασης μπορούν

εύκολα να βασίζονται μόνο στις υπάρχουσες επιλογές αργής φόρτισης (χρέωση σπιτιού, χρέωση εργασίας, χρέωση εμπορικού κέντρου κ.λπ.). Ωστόσο, η επιτυχία και η ευκολία των ταξιδιών μεγάλων αποστάσεων θα εξαρτηθεί πλήρως από τη διαθεσιμότητα των σταθμών ταχείας φόρτισης. Ως εκ τούτου, η στρατηγική τοποθέτηση αυτών των σταθμών είναι μία από τις βασικές πτυχές που θα επιτρέψουν άνετες μετακινήσεις μεγάλων αποστάσεων και θα παρέχουν το απαραίτητο κίνητρο στους πολίτες για την αγορά ηλεκτρικού οχήματος (Kinay, Gzara and Alumur, 2021).

Τα σημεία φόρτισης χωρίζονται σε ιδιωτικά και δημόσια σύμφωνα με τον τίτλο ιδιοκτησίας του παρόχου και την δυνατότητα πρόσβασης που προσφέρουν. Οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορούν να ενημερώνονται για τα διαθέσιμα σημεία ανεφοδιασμού πλησίον τους μέσω εφαρμογών στο smartphone τους, τα σημεία γενικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε (Γκιτσάλης, 2021):

- **Ιδιωτικά Σημεία Φόρτισης με Ιδιωτική Πρόσβαση:** βρίσκονται σε ιδιωτικούς χώρους όπως η οικεία, και η πρόσβαση είναι δυνατή μόνο στον ιδιοκτήτη. Εδώ η τάση φόρτισης είναι χαμηλότερη καθώς το χρονικό διάστημα που είναι διατεθειμένος ο οδηγός να προσφέρει είναι μεγαλύτερο αλλά και γιατί η εξάπλωση εγκαταστάσεων μεγαλύτερης τάσης σε κάθε ιδιοκτησία δεν μπορεί να υποστηριχθεί από το δίκτυο ηλεκτρισμού.
- **Ιδιωτικά Σημεία Φόρτισης με Δημόσια Πρόσβαση:** βρίσκονται σε χώρους parking εμπορικών καταστημάτων, χώρων εργασίας. Πρόκειται για υποδομές που έχουν αναπτυχθεί ευρύτατα σε ευρωπαϊκές χώρες και κάνουν την εμφάνιση τους στην Ελλάδα, προσφέρουν την δυνατότητα φόρτισης η/ο σε επισκέπτες-καταναλωτές και εργαζόμενους. Σε εργασιακούς χώρους όπως για παράδειγμα σε γραφεία επιχειρήσεων υπάρχουν φορτιστές συμβατικού τύπου, ώστε να πραγματοποιείται η φόρτιση του οχήματος κατά την διάρκεια του ωραρίου εργασίας.
- **Δημόσια Σημεία Φόρτισης με Δημόσια Πρόσβαση:** είναι τα σημεία φόρτισης που βρίσκονται σε θέσεις στάθμευσης στο δημόσιο χώρο πως σε δρόμους, υπαίθρια parking, πλατείες κτλ. Τα σημεία αυτά μπορούν εν δυνάμει να εξυπηρετήσουν πολλούς χρήστες ειδικά σε κεντρικές πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Η φόρτιση στα σημεία αυτά, σε αντίθεση με τις πρώτες δύο κατηγορίες, χρειάζεται να είναι πιο σύντομη για αυτό χρησιμοποιούνται ταχυφορτιστές.

Η τρέχουσα τεχνολογία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρει τρεις μεθόδους φόρτισης: Φόρτιση επιπέδου 1, φόρτιση επιπέδου 2 (μέθοδοι βραδείας φόρτισης) και φόρτιση συνεχούς ρεύματος (μέθοδος ταχείας φόρτισης). Η φόρτιση επιπέδου 1 χρησιμοποιεί συνήθως μια τυπική πρίζα 110 VAC και 15 A, η οποία είναι η χαμηλότερη τάση που μπορεί κανείς να βρει σε ένα οικιστικό ή δημόσιο κτίριο. Με τη φόρτιση επιπέδου 1 χρειάζονται περίπου 12-18 ώρες για να φορτιστεί πλήρως ένα όχημα, ανάλογα με το μέγεθος της μπαταρίας και την πραγματική προσλαμβάνουσα ισχύ. Το επίπεδο 2 χρησιμοποιεί πρίζα 220 VAC με ρεύμα 15-30 A και συνεπώς απαιτεί λιγότερο χρόνο φόρτισης. Η γρήγορη φόρτιση DC χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης (200–600 VDC) και δεν απαιτεί περισσότερο από 30 λεπτά για να φορτίσει πλήρως ένα όχημα. Ωστόσο, δεδομένου ότι μια τέτοια μέθοδος ταχείας φόρτισης απαιτεί ειδικό εξοπλισμό φόρτισης και η απαίτηση ισχύος

υπερβαίνει τις δυνατότητες των περισσότερων οικιακών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, η ταχεία φόρτιση DC δεν αναμένεται να εφαρμοστεί σύντομα για οικιακή χρήση (Κατσιρούμπας, 2021).

Σύμφωνα με νέα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA), υπάρχει σοβαρή έλλειψη σημείων φόρτισης ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος των οδικών δικτύων στα περισσότερα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ως σημείο σύγκρισης στη δημοσίευσή τους, έθεσαν τον αριθμό των ηλεκτρικών φορτιστών που είναι διαθέσιμοι ανά εκατό χιλιόμετρα. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι πέντε καλύτερες και πέντε χειρότερες χώρες με την αναλογία σταθμούς φόρτισης ανά εκατό χιλιόμετρα για το έτος 2020.

ELECTRIC CAR CHARGING POINTS PER 100KM OF ROAD, BY COUNTRY

Top 5: MOST chargers per 100 kilometre

1	Netherlands	47.5
2	Luxembourg	34.5
3	Germany	19.4
4	Portugal	14.9
5	Austria	6.1

Top 5: LEAST chargers per 100 kilometre

1	Lithuania	0.2
2	Greece	0.2
3	Poland	0.4
4	Latvia	0.5
5	Romania	0.5

10 EU countries do not even have 1 charger per 100km of road

All these countries have an electric car share of < 3% (except for Hungary)

Σχήμα 2.1 Αριθμός ηλεκτρικών φορτιστών ανά εκατό χιλιόμετρα σε χώρες της Ευρώπης το 2020.
(Πηγή: ACEA, 2021)

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.1, η Ελλάδα έχει το δεύτερο χειρότερο σύστημα υποδομών στην Ευρώπη, πίσω μόνο από την Λιθουανία. Αυτό αποτυπώνει τις δυσκολίες που παρουσιάζει η ένταξη της ηλεκτροκίνησης στην χώρα μας, καθώς όσο το σύστημα υποδομών φόρτισης παραμένει χαμηλό, δεν θα αυξηθεί το κίνητρο των πολιτών για αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Επιπλέον τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δέκα χώρες δεν έχουν ούτε έναν φορτιστή για κάθε εκατό χιλιόμετρα δρόμων. Όλες αυτές οι χώρες έχουν επίσης μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων μικρότερο από 3%, εκτός από την Ουγγαρία. Μόλις τέσσερα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαθέτουν περισσότερους από δέκα φορτιστές για κάθε εκατό χιλιόμετρα δρόμων, ενώ δεκαοχτώ χώρες έχουν λιγότερα από πέντε σημεία φόρτισης ανά εκατό χιλιόμετρα δρόμου (ACEA, 2021b).

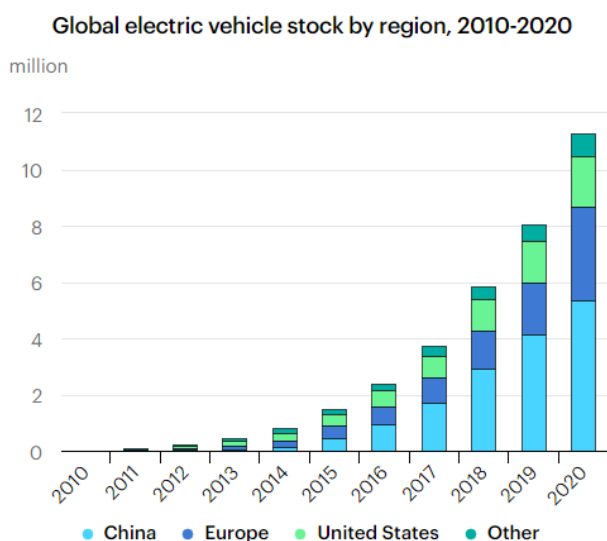
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέση ως στόχο το 2030 οι εκπομπές CO₂ από τα νέα αυτοκίνητα, να είναι 37,5% χαμηλότερες από τα επίπεδα του 2021. Οι ευρωπαϊκές αυτοκινητοβιομηχανίες για να επιτύχουν αυτόν τον απαιτητικό στόχο, θα πρέπει τα επόμενα χρόνια να εντάξουν στην αγορά

εκατομμύρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Επομένως, για να μπορέσουν οι καταναλωτές να μεταβούν από τα συμβατικά αυτοκίνητα σε ηλεκτρικά, θα πρέπει να υπάρχουν αρκετοί σταθμοί φόρτισης και ανεφοδιασμού κατά μήκος των δρόμων. Γι' αυτό τον λόγο, θα πρέπει να σημειωθεί τεράστια πρόοδος στην ανάπτυξη υποδομών σε ολόκληρη την Ευρώπη σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

Σε χώρες της Δυτικής Ευρώπης έχει γίνει σημαντική πρόοδος και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ενθαρρυντικά. Για παράδειγμα, η Ολλανδία αποτελεί την χώρα με τους περισσότερους φορτιστές, έχοντας 47,5 ανά εκατό χιλιόμετρα. Ακολουθεί το Λουξεμβούργο και η Γερμανία με 34,5 και 19,4 φορτιστές ανά εκατό χιλιόμετρα δρόμου αντίστοιχα. Από εκεί και πέρα οι υπόλοιπες χώρες βρίσκονται πίσω από την αναμενόμενη εξέλιξη των υποδομών τους και θα πρέπει στα αμέσως επόμενα χρόνια να πραγματοποιηθούν σημαντικές αναβαθμίσεις.

2.4 Ποσοστά πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Τα τελευταία χρόνια η διεθνής στροφή προς την ηλεκτροκίνηση είναι ορατή, όπως αποδεικνύουν οι αριθμοί που αναφέρονται στη χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων παγκοσμίως, αλλά και οι σχετικές πολιτικές και οι στόχοι των κρατών (Λαγός, 2019). Σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency, IEA), οι παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων έφτασαν τα 2,1 εκατομμύρια το 2019, σημειώνοντας ετήσια αύξηση 6%. Το 2019, η παγκόσμια ιδιοκτησία ηλεκτρικών οχημάτων έφτασε τα 8 εκατομμύρια. Ταυτόχρονα, η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Νορβηγία και άλλες ευρωπαϊκές χώρες, η Ιαπωνία και η Καλιφόρνια έχουν δώσει μεγάλη σημασία στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας (Zu and Sun, 2022).



Σχήμα 2.2 Παγκόσμια αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανά περιοχή, 2010-2020.

(Πηγή: IEA, 2021)

2.4.1 Στην Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA), εκπροσωπεί τους 15 μεγαλύτερους κατασκευαστές αυτοκινήτων, φορτηγών, βαν και λεωφορείων της Ευρώπης. Η ACEA εργάζεται προς μια νέα εποχή κινητικότητας, όπου όλοι οι Ευρωπαίοι μπορούν να έχουν πρόσβαση σε προσιτές λύσεις μεταφορών. Στόχος της είναι να οδηγήσει τον μετασχηματισμό της κινητικότητας της Ευρώπης, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι η αυτοκινητοβιομηχανία θα παραμείνει ένας ισχυρός παγκόσμιος και ανταγωνιστικός παίκτης.

Η ACEA παρέχει τακτικά και ενημερωμένα στατιστικά, προκειμένου να παρακολουθείται η έκταση των δραστηριοτήτων της αυτοκινητοβιομηχανίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και όλες οι σχετικές εξελίξεις. Πιο συγκεκριμένα, η ACEA προσφέρει μηνιαία δελτία τύπου με τις νέες εγγραφές οχημάτων στην Ευρωπαϊκή αγορά, ενώ κάθε τρεις μήνες αναρτώνται στατιστικά δελτία με τους τύπους των καυσίμων. Από τα τελευταία, έγινε συλλογή κάθε τριμήνου από το 2017 μέχρι και το 2021 και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1. Εν συνεχεία ακολουθεί το Σχήμα 2.3 στο οποίο παρουσιάζονται οι ετήσιες πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2017 έως το 2021.

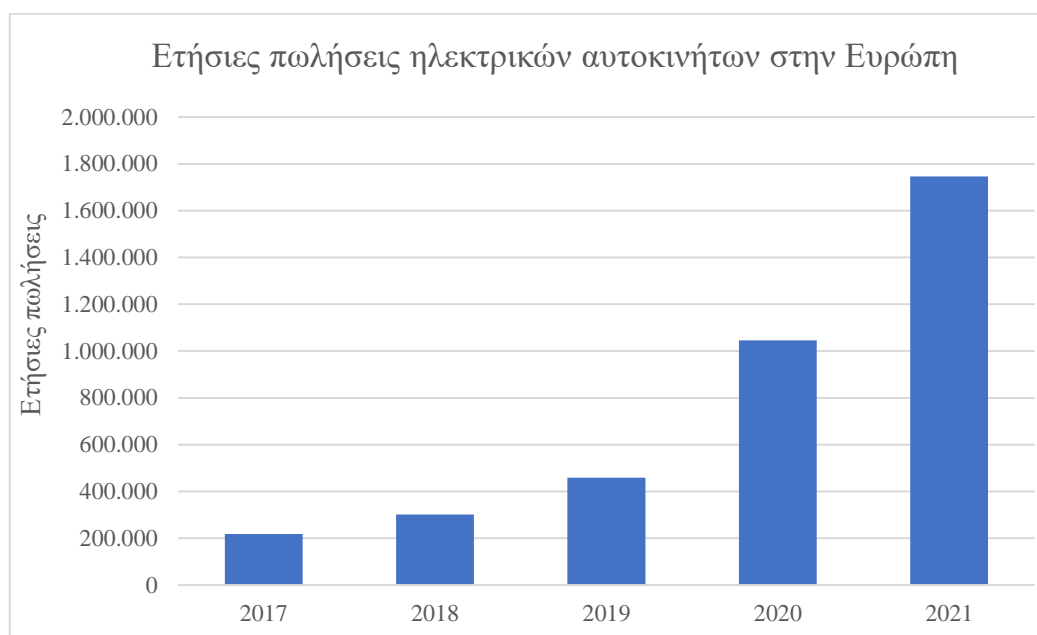
Πίνακας 2.1 Ετήσιες πωλήσεις ανά καύσιμο στην Ευρώπη από 2017-2021

Καύσιμο	2017	2018	2019	2020	2021
BEV	97.920	150.003	285.347	538.772	878.432
PHEV	120.416	151.844	174.103	507.059	867.092
Υβριδικά	426.769	578.620	896.785	1.182.792	1.901.239
Εναλλακτικά	206.263	229.402	255.959	208.372	269.937
Βενζίνη	7.563.739	8.532.104	8.964.034	4.713.778	3.885.432
Πετρέλαιο	6.617.051	5.406.574	4.650.558	2.778.817	1.901.191
Συνολικές πωλήσεις	15.032.158	15.048.547	15.226.786	9.929.590	9.703.323

(Πηγή: ACEA, 2019-2022)

Το πρώτο πράγμα που παρατηρείται από τον Πίνακα 2.1, είναι η μεγάλη πτώση των συνολικών πωλήσεων τα έτη 2020 και 2021. Αυτό το άνευ προηγουμένου χαμηλό δημιουργήθηκε λόγω της κατάστασης που επικρατεί παγκοσμίως με την πανδημία του COVID-19, πλήττοντας σε μεγάλο βαθμό την γενικότερη οικονομία αλλά και ειδικότερα την οικονομία στον τομέα της αυτοκίνησης. Παρόλη την μεγάλη επίπτωση του κορονοϊού, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων παρουσίασαν σημαντική άνοδο και προσπέρασαν τις αναμενόμενες προσδοκίες. Το 2020 οι ετήσιες πωλήσεις διπλασιάστηκαν, ξεπερνώντας τα ένα εκατομμύριο οχήματα, ενώ παρόμοια κατάσταση παρουσιάστηκε και το 2021, όπου οι πωλήσεις ξεπέρασαν τα 1,7 εκατομμύρια. Επιπλέον θα ήταν χρήσιμο να τονισθεί πως οι πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων επταπλασιάστηκαν σε μόλις μια

πενταετία, κάνοντας με αυτό τον τρόπο εμφανέστατη την διείσδυση της ηλεκτροκίνησης που βιώνει η παγκόσμια και ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία (ACEA, 2019).



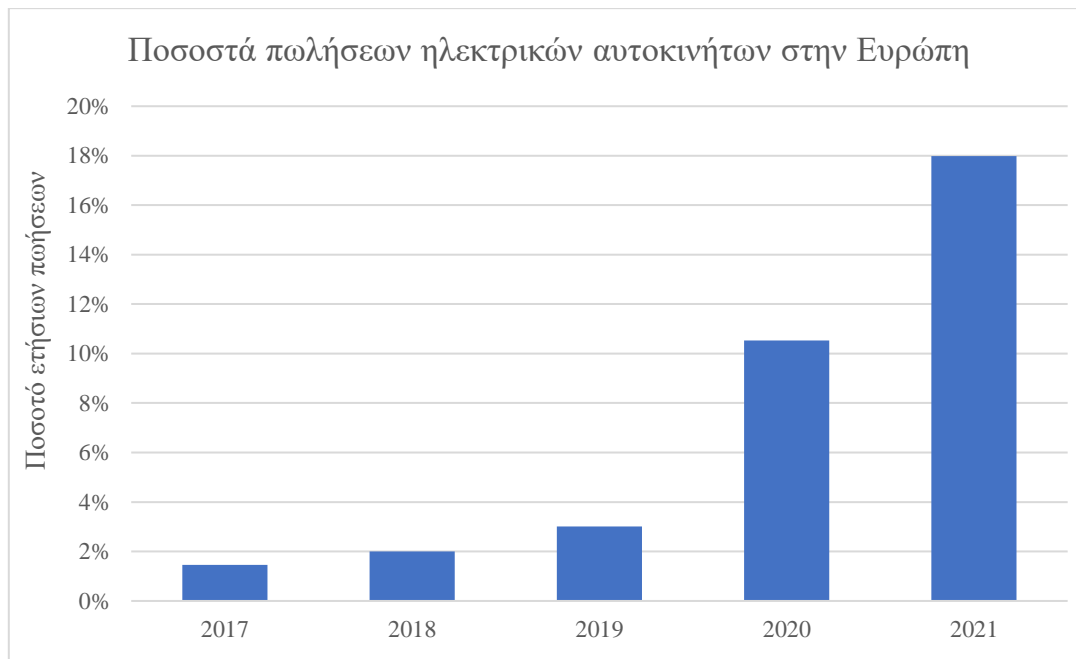
Σχήμα 2.3 Ετήσιες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη από το 2017 έως το 2021. (Πηγή: ACEA, 2019-2022)

Σημαντική άνοδος παρουσιάστηκε και στα υβριδικά αυτοκίνητα, τα οποία θεωρούνται το ενδιάμεσο στάδιο για την μεταστροφή από την συμβατική στην ηλεκτρική κίνηση. Βέβαια η υπεροχή που κατείχαν έναντι των ηλεκτρικών, φαίνεται να εξαλείφεται τα τελευταία χρόνια, πράγμα το οποίο δείχνει πως η ηλεκτροκίνηση οδεύει προς την σωστή κατεύθυνση. Στον Πίνακα 2.2 αποτυπώνονται τα ποσοστά των ετήσιων πωλήσεων στην Ευρώπη από το 2017 έως το 2021, ενώ στο Σχήμα 2.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ποσοστά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 2.2 Ετήσια ποσοστά πωλήσεων στην Ευρώπη από 2017-2021

Καύσιμο	2017	2018	2019	2020	2021
BEV	0,7%	1,0%	1,9%	5,4%	9,1%
PHEV	0,8%	1,0%	1,1%	5,1%	8,9%
Υβριδικά	2,8%	3,8%	5,9%	11,9%	19,6%
Εναλλακτικά	1,4%	1,5%	1,7%	2,1%	2,8%
Βενζίνη	50,3%	56,7%	58,9%	47,5%	40,0%
Πετρέλαιο	44,0%	35,9%	30,5%	28,0%	19,6%

(Πηγή: ACEA, 2019-2022)



Σχήμα 2.4 Ποσοστά πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη από το 2017 έως το 2021.
(Πηγή: ACEA, 2019-2022)

Τα συμβατικά οχήματα συγκροτούσαν ανέκαθεν το μονοπώλιο στην διεθνή αυτοκινητιστική αγορά, με ποσοστά που προσέγγιζαν το 100%. Η αποκορύφωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα τελευταία χρόνια σε συνδυασμό με την τεχνολογική πρόοδο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, οδήγησε την ανθρωπότητα στην επιτακτική λύση της ηλεκτροκίνησης, με σκοπό ένα πιο καθαρό και πράσινο περιβαλλοντικό μέλλον. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, τα συμβατικά αυτοκίνητα άρχισαν χρόνο με το χρόνο να μειώνονται και τη θέση τους να παίρνουν αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν άλλες πηγές ενέργειας για την κίνηση τους. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2, το 2017 τα συμβατικά οχήματα αποτελούσαν το 94,3% των συνολικών πωλήσεων, ενώ το 2021 το ποσοστό αυτό έφτασε στο 59,6%. Δηλαδή το ποσοστό πωλήσεων των συμβατικών αυτοκινήτων μειώθηκε κατά 34,7%, σε διάστημα μόλις 5 ετών.

Το ποσοστό των συμβατικών αυτοκινήτων καλύφθηκε από τα υβριδικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το μερίδιο των υβριδικών αυτοκινήτων στο διάστημα 2017 έως 2021, αυξήθηκε από το 2,8% στο 19,6% αντίστοιχα. Παράλληλα το ποσοστό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων το 2021 έφτασε στο 18% από μόλις 1,5% που ήταν το 2017. Όπως φανερώνει και το Σχήμα 2.4, το 2020 και το 2021 υπήρχε αύξηση των ετήσιων πωλήσεων κατά 8%, πράγμα το οποίο δείχνει την ακόμα μεγαλύτερη διεύδυση που αναμένεται να παρουσιαστεί τα επόμενα χρόνια.

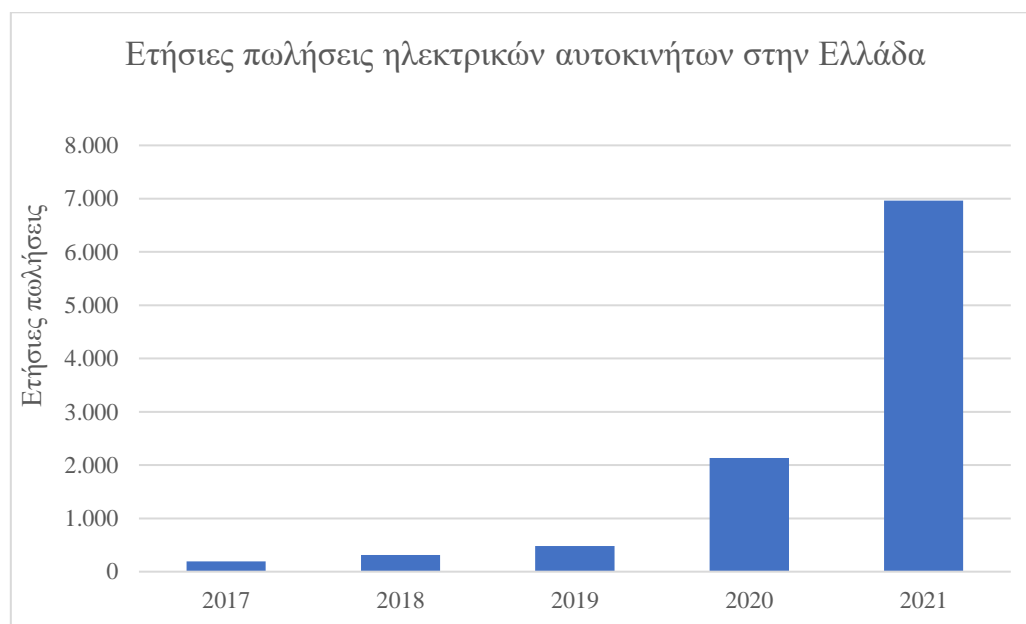
2.4.2 Στην Ελλάδα

Η ACEA εκτός από τις λεπτομέρειες των πωλήσεων για όλη την Ευρώπη, παρέχει στατιστικά και για κάθε κράτος-μέλος της. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι ετήσιες πωλήσεις ανά καύσιμο στην Ελλάδα από το 2017 μέχρι το 2021. Εν συνεχεία ακολουθεί το Σχήμα 2.5 στο οποίο παρουσιάζονται οι ετήσιες πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 2.3 Ετήσιες πωλήσεις ανά καύσιμο στην Ελλάδα από 2017-2021

Καύσιμο	2017	2018	2019	2020	2021
BEV	50	87	190	679	2.176
PHEV	141	228	289	1.456	4.785
Υβριδικά	2.356	3.635	6.602	11.751	23.382
Εναλλακτικά	359	1030	2.333	1.780	3.394
Βενζίνη	46.068	61.320	74.339	43.060	49.625
Πετρέλαιο	39.014	36.885	30.356	22.251	17.549

(Πηγή: ACEA, 2019-2022)



Σχήμα 2.5 Ετήσιες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα από το 2017 έως το 2021.

(Πηγή: ACEA, 2019-2022)

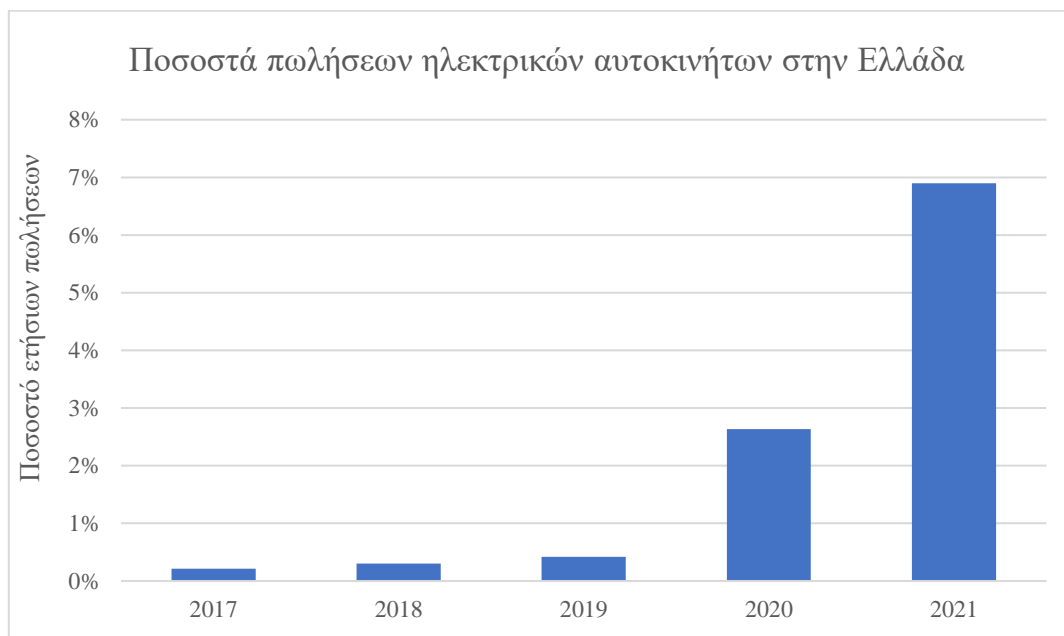
Τα πράγματα στην Ελλάδα εμφανίζονται διαφορετικά σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη. Το υψηλό κόστος που διατηρούν ακόμα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, σε συνδυασμό με τη χαμηλή ανάπτυξη υποδομών φόρτισης, καθιστούν αποτρεπτική την αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από τον μέσο χρήστη. Παρόλα αυτά, η μεγάλη αύξηση των πωλήσεων που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια,

αποτελεί ελπιδοφόρο έναυσμα. Πιο συγκεκριμένα, το 2017 οι ετήσιες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων ήταν μόλις 191, ενώ μέχρι το 2019 συνέχισαν να αυξάνονται αλλά με πολύ μικρό ρυθμό, φτάνοντας τις 479. Το μεγάλο βήμα στην Ελλάδα άρχισε το 2020 όπου πουλήθηκαν 2.135 ηλεκτρικά αυτοκίνητα και συνεχίστηκε εντυπωσιακά το 2021, όπου οι πωλήσεις έφτασαν τις 6.961. Να σημειωθεί ότι η εκτόξευση των πωλήσεων πραγματοποιήθηκε εν μέσω πανδημίας, και ενδεχομένως οι πωλήσεις να ήταν αυξημένες κατά πολύ εάν ο κορονοϊός δεν είχε επηρεάσει τον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Στον Πίνακα 2.4 αποτυπώνονται τα ποσοστά των ετήσιων πωλήσεων στην Ελλάδα από το 2017 έως το 2021, ενώ στο Σχήμα 2.6 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ποσοστά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 2.4 Ετήσια ποσοστά πωλήσεων στην Ελλάδα από 2017-2021.

Καύσιμο	2017	2018	2019	2020	2021
BEV	0,1%	0,1%	0,2%	0,8%	2,2%
PHEV	0,2%	0,2%	0,3%	1,8%	4,7%
Υβριδικά	2,7%	3,5%	5,8%	14,5%	23,2%
Εναλλακτικά	0,4%	1,0%	2,0%	2,2%	3,4%
Βενζίνη	52,4%	59,4%	65,1%	53,2%	49,2%
Πετρέλαιο	44,3%	35,7%	26,6%	27,5%	17,4%

(Πηγή: ACEA, 2019-2022)



Σχήμα 2.6 Ποσοστά πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα από το 2017 έως το 2021.

(Πηγή: ACEA, 2019-2022)

Τα υβριδικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα φαίνεται να έχουν εδραιωθεί περισσότερο από τα ηλεκτρικά, καθώς λόγω ελλιπών υποδομών, οι αγοραστές παρουσιάζονται διστακτικοί στο να μεταβούν απευθείας από την συμβατική στην ηλεκτρική κίνηση. Το 2017 το μερίδιο πωλήσεων υβριδικών αυτοκινήτων αποτελούσε μόλις το 2,7% επί της ετήσιας αγοράς, ενώ σε μόλις μια πενταετία το αντίστοιχο ποσοστό εκτοξεύθηκε στο 23,2%.

Η διεύθυνση της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα δεν ακολουθεί τους ρυθμούς της Ευρώπης, κυρίως λόγω της απουσίας υποδομών φόρτισης. Μέχρι το 2019 το ποσοστό πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων ήταν απογοητευτικό με ποσοστά κάτω από 0,5%. Τα πράγματα φαίνεται να έχουν αλλάξει τα τελευταία 2 χρόνια, καθώς το 2020 το ποσοστό αυξήθηκε σε 2,6% ενώ το 2021 εκτοξεύτηκε στο 6,9%. Μάλιστα τα ποσοστά έχουν ξεπεράσει και τις προβλέψεις που είχαν γίνει από το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) το 2019. Πιο συγκεκριμένα, το πιο αισιόδοξο σενάριο του ΕΣΕΚ, προέβλεπε για το 2020 το ποσοστό των ηλεκτρικών να καταλαμβάνει το 1% επί της ετήσιας αγοράς, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το 2021 θα έφτανε στο 2,8%. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι και τα δύο προαναφερθέντα ποσοστά καταρρίφθηκαν και μάλιστα εν μέσω πανδημίας. Επομένως ο στόχος που έχει θεσπιστεί, ώστε μέχρι το 2030 ένα στα τρία αυτοκίνητα που θα πωλείται να είναι ηλεκτρικό, φαντάζει πιο ρεαλιστικός και αισιόδοξος από ποτέ.

Τέλος, τα συμβατικά αυτοκίνητα το 2017 αποτελούσαν το 96,7% των συνολικών πωλήσεων, ενώ το 2021 το ποσοστό αυτό έπεσε στο 66,6%. Πιο συγκεκριμένα, τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα ήταν αυτά που βίωσαν την μεγαλύτερη πτώση της τάξεως των 26,9%. Οι πωλήσεις των βενζινοκινήτων μειώθηκαν μόλις κατά 2,3% φανερώνοντας με αυτό τον τρόπο την εξάρτηση που έχει η Ελλάδα στο βενζινοκίνητο στόλο.

3. Μοντέλα υπολογισμού ρύπων και μέθοδοι προβλέψεων

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί παρουσίαση των πιο διαδεδομένων μοντέλων υπολογισμού ρύπων από τις οδικές μεταφορές. Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι βασικότερες μέθοδοι προβλέψεων, με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης ώστε να πραγματοποιηθεί πρόβλεψη του στόλου επιβατικών αυτοκινήτων.

3.1 Μοντέλα υπολογισμού εκπεμπόμενων ρύπων

Στην σύγχρονη εποχή υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη να εκτιμηθεί με ακρίβεια η συμβολή στις εκπομπές του τομέα των οδικών μεταφορών, έτσι ώστε τα μέτρα μείωσης της ρύπανσης (π.χ. πρότυπα εκπομπών, διαχείριση κυκλοφορίας) να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν κατάλληλα. Σήμερα, υπάρχουν πολλά εργαλεία για την εκτίμηση των εκπομπών που σχετίζονται με την κυκλοφορία, η ακρίβεια των οποίων εξαρτάται από τους ενσωματωμένους παράγοντες εκπομπών. Τέτοια εργαλεία είναι απαραίτητα σε οποιαδήποτε ευρωπαϊκή ή παγκόσμια πολιτική που ασχολείται με θέματα προβλέψεων εκπομπών, ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή κλιματικής αλλαγής. Η ακρίβεια τέτοιων εργαλείων εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως συντελεστές εκπομπών συγκεκριμένων ρύπων και κατηγοριών οχημάτων, δεδομένα στόλου και δεδομένα ταχύτητας (Παπαζαφείρης, 2012).

Οι κύριοι ρύποι των οχημάτων είναι τα καυσαέρια, και οι υδρογονάνθρακες που παράγονται από την εξάτμιση του καυσίμου. Όταν ένας κινητήρας ξεκινά κάτω από την κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του, καταναλώνει καύσιμο με μη αποδοτικό τρόπο, με αποτέλεσμα το ποσό της παραγόμενης ρύπανσης να είναι υψηλότερο από ό, τι όταν η εκκίνηση γίνεται με ζεστό κινητήρα. Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν στην πρώτη βασική σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπεμπόμενων ρύπων (Παπαζαφείρης, 2012):

$$E = E_{HOT} + E_{START}$$

όπου:

E είναι οι συνολικές εκπομπές

E_{HOT} είναι οι εκπομπές που παράγονται όταν ο κινητήρας είναι ζεστός

E_{START} είναι οι εκπομπές που παράγονται όταν ο κινητήρας είναι κρύος

Για τις θερμές εκπομπές, η δραστηριότητα που σχετίζεται με τον συντελεστή εκπομπών εκφράζεται κυρίως ως συνάρτηση της μέσης ταχύτητας του οχήματος. Συντελεστές τροποποίησης επιτρέπουν διορθωτικές ενέργειες που πρέπει να γίνουν για ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως η κλίση του δρόμου ή το φορτίο που μεταφέρεται από ένα όχημα. Η δραστηριότητα αποτελεί τα συνολικά χιλιόμετρα του οχήματος.

Οι εκπομπές κατά την εκκίνηση, επειδή εμφανίζονται μόνο στην αρχή μιας διαδρομής, εκφράζονται ως η ποσότητα εκπομπών που παράγεται ανά διαδρομή, και όχι ανά των συνολικών χιλιομέτρων που διανύθηκαν. Ο συντελεστής εκπομπών υπολογίζεται ως συνάρτηση της μέσης ταχύτητας των οχημάτων, της θερμοκρασίας του κινητήρα, του μήκους της διαδρομής και του μήκους του κρύου μέρους της διαδρομής (εκκίνηση με κρύο κινητήρα) (Παπαζαφείρης, 2012).

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται μερικά από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα υπολογισμού εκπεμπόμενων ρύπων.

3.1.1 EMFAC

Το μοντέλο EMISSION FACTORS (EMFAC) αναπτύχθηκε από το Air Resources Board της Καλιφόρνιας και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ποσοστιαίων εκπομπών από οδικά μηχανοκίνητα οχήματα, από ελαφρά επιβατικά οχήματα, αλλά και από βαρέα φορτηγά που λειτουργούν σε τοπικούς δρόμους και αυτοκινητόδρομους στην Καλιφόρνια. Ωστόσο, μελέτες με πειράματα σήραγγας υπόδειξαν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ πραγματικών τιμών εκπομπών ρύπων με τις αντίστοιχες τιμές του μοντέλου EMFAC, οι οποίες όμως βελτιώθηκαν με την έκδοση του μοντέλου EMFAC2001 (Κουσουλίδου, 2011). Με σκοπό να ενσωματωθούν τα νέα αναλυτικά στοιχεία οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μια σπονδυλωτή προσέγγιση μοντελοποίησης των εκπομπών για το EMFAC2011, που ξεχωρίζει από τις παλαιότερες εκδόσεις EMFAC. Η πρώτη ενότητα, που ονομάστηκε EMFAC-LDV, εκτιμά τις εκπομπές των επιβατών οχημάτων. Μια δεύτερη ενότητα, που ονομάζεται EMFAC-HD, εκτιμά τις εκπομπές των ρύπων από τα πετρελαιοκίνητα φορτηγά και τα λεωφορεία. Μια τρίτη ενότητα ενσωματώνει τα αποτελέσματα της EMFAC-LDV και της EMFAC-HD και προσφέρει στους χρήστες τη δυνατότητα να προβούν σε αξιολόγηση των σεναρίων για την ποιότητα του αέρα και τον σχεδιασμό των μεταφορών (Παπαζαφείρης, 2012).

3.1.2 MOBILE

Τα μοντέλα της σειράς MOBILE ήταν τα πιστοποιημένα μοντέλα του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA), τα οποία αποτύπωναν την ρύπανση των οδικών μεταφορών. Από το 2004 το MOBILE έχει αντικατασταθεί από το MOVES ως επίσημο μοντέλο της EPA (Environmental Protection Agency -Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος) για την εκτίμηση των εκπομπών από τα αυτοκίνητα, τα φορτηγά και τις μοτοσικλέτες.

Το MOBILE υπολόγιζε τους μέσους συντελεστές εκπομπών για υδρογονάνθρακες (HC), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οξείδια του αζώτου (NO_x), από επιβατικά αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες, ελαφρά και βαρέα φορτηγά. Το μοντέλο εξέταζε τις επιπτώσεις των εκπομπών σε διάφορους παράγοντες όπως, σε αλλαγές στον αριθμό και τη δραστηριότητα των οχημάτων, αλλαγές στα πρότυπα εκπομπών οχημάτων και διακυμάνσεις στις τοπικές συνθήκες όπως η ποιότητα του καυσίμου, η υγρασία και η θερμοκρασία. Το MOBILE υπολόγιζε τις εκπομπές τόσο των καυσαερίων όσο και των εκπομπών των αναθυμιάσεων. Η έξοδος από το μοντέλο είχε τη μορφή συντελεστών εκπομπών που εκφράζονταν σε γραμμάρια ρύπου ανά όχημα ανά ώρα (g/hr) ή ανά διανυόμενο μίλι οχήματος (g/mi) (EPA, 2021a).

3.1.3 MOVES

Το MOVES (MOTOR Vehicle Emission Simulator) είναι ένας προσομοιωτής εκπομπών μηχανοκίνητων οχημάτων του Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA), ο οποίος αντικατέστησε το MOBILE το 2004. Είναι ένα μοντέλο τελευταίας τεχνολογίας που εκτιμά τις εκπομπές για οδικές και μη οδικές πηγές, ενώ επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε αναλύσεις μεγάλης κλίμακας, από ανάλυση λεπτής κλίμακας έως εκτίμηση εθνικού αποθέματος. Το μοντέλο βασίζεται στην ανάλυση εκατομμυρίων αποτελεσμάτων από δοκιμές εκπομπών και σε σημαντικές προόδους στην κατανόηση των εκπομπών των οχημάτων. Το MOVES λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως η ταχύτητα του οχήματος, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα αποτελέσματα των προγραμμάτων συντήρησης επιθεώρησης, οι τύποι δρόμων, οι κατηγορίες οδοστρωμάτων και το βάρος του οχήματος, συμπεριλαμβανομένου του φορτίου (EPA, 2021).

3.1.4 ARTEMIS

Το μοντέλο Artemis (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) ήταν ένα ερευνητικό έργο όπου αρχικά στόχευε στην ανάπτυξη ενός εναρμονισμένου πλαισίου μοντελοποίησης για τον υπολογισμό των εκπομπών από τις οδικές, σιδηροδρομικές, θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές. Η βασική προσέγγιση που εξετάστηκε ήταν να ξεκινήσει από ένα κοινό σύνολο δεδομένων μέτρησης εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων όλων των εργαστηριακών μετρήσεων των εκπομπών οχημάτων και κινητήρων στην Ευρώπη. Για τα επιβατικά αυτοκίνητα, σχεδιάστηκαν οι νέοι πραγματικοί κύκλοι ARTEMIS, οι οποίοι μέχρι και σήμερα έχουν μεγάλη επιτυχία στην Ευρώπη ως τυπικοί κύκλοι οδήγησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των εκπομπών και της κατανάλωσης σε πιο ρεαλιστικές πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

Το μοντέλο ARTEMIS έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στην περίπτωση της Σουηδίας, για τον υπολογισμό του εθνικού αποθέματος. Ωστόσο, το γεγονός ότι το μοντέλο χρειάζεται ειδική ρύθμιση για κάθε χώρα, δημιούργησε αρνητική κριτική σχετικά με την πολυπλοκότητα της εφαρμογής του

και την λογική ορισμένων υπολογισμών του συντελεστή εκπομπών, ιδίως για τα φορτηγά ψυχρής εκκίνησης και τα ελαφρά φορτηγά. Επίσης, ο πολύς χρόνος που χρειάστηκε για την ανάπτυξη του σημαίνει ότι ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του έχουν ήδη ξεπεραστεί και έχουν αντικατασταθεί από άλλα μοντέλα (Κουσουλίδου, 2011).

3.1.5 COPERT

Το COPERT είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για τον υπολογισμό των ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές. Η ανάπτυξη του COPERT συντονίζεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Ευρωπαϊκού Θεματικού Κέντρου για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση και την Άμβλυση των Κλιματικών Μεταβολών. Το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής διαχειρίζεται την επιστημονική ανάπτυξη του μοντέλου. Το COPERT έχει αναπτυχθεί για την απογραφή των εκπομπών των οδικών μεταφορών στις χώρες μέλη του ΕΟΠ. Ωστόσο, εφαρμόζεται σε πολλές σχετικές επιστημονικές και εφαρμοσμένες ερευνητικές μελέτες (Παπαζαφείρης, 2012).

Ο υπολογισμός των αερίων ρύπων στον τομέα των μεταφορών βασίζεται σε πέντε βασικούς τύπους παραμέτρων:

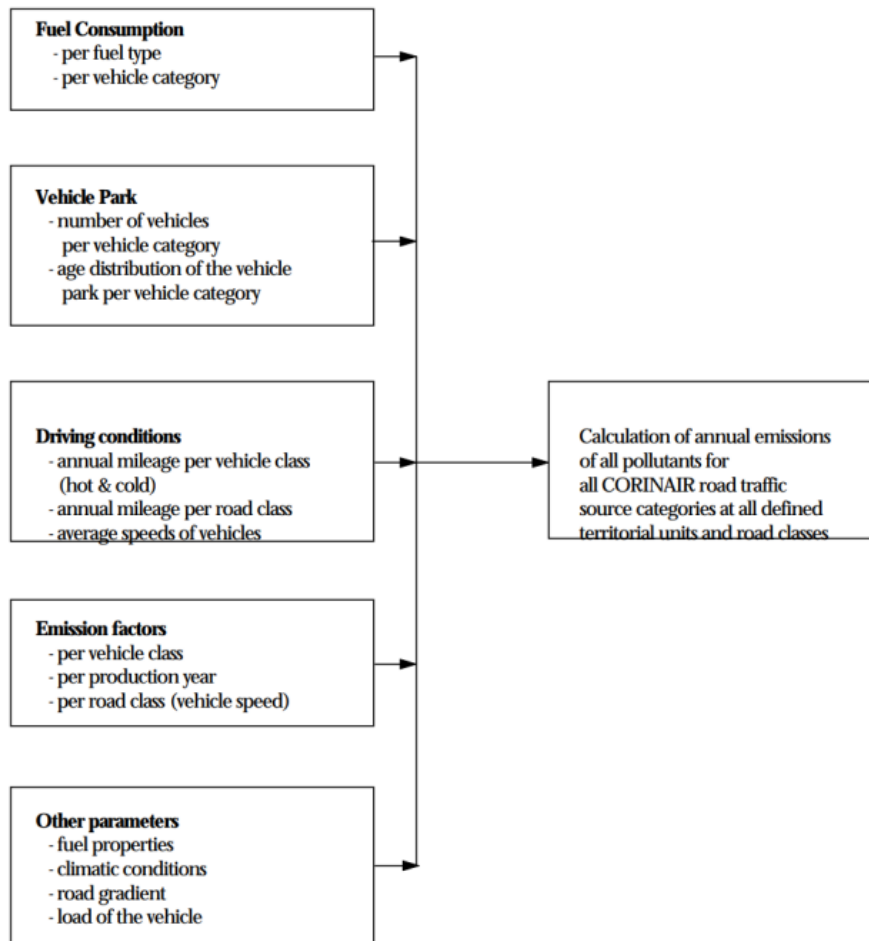
- 1 Τα χαρακτηριστικά του στόλου οχημάτων
- 2 Την κατανάλωση καυσίμου
- 3 Τις συνθήκες και τους δρόμους οδήγησης
- 4 Τους συντελεστές εκπομπής
- 5 Άλλοι παράγοντες

Έτσι, λοιπόν, το EMIS καθώς και άλλα μοντέλα και προγράμματα που ανήκουν στην κατηγορία των δυναμικών μοντέλων, για τον υπολογισμό των αερίων εκπομπών, χρησιμοποιούν δεδομένα εισόδου όπως (Μανιώτης, 2021):

- Ο στόλος κυκλοφορόντων οχημάτων κατηγοριοποιημένος ανά είδος οχήματος (επιβατικά, ελαφρά επαγγελματικά/φορτηγά οχήματα, βαρέα φορτηγά οχήματα, λεωφορεία, δίτροχα/μοτοσυκλέτες)
- Ο στόλος κυκλοφορόντων οχημάτων κατηγοριοποιημένος ανά καύσιμο κίνησης (βενζίνη, πετρέλαιο κίνησης, υγραέριο, φυσικό αέριο κ.α.)
- Ο στόλος κυκλοφορόντων οχημάτων κατηγοριοποιημένος ανά χωρητικότητα κινητήρα (1,4 έως 2 lt κ.α.)
- Κατηγορία δρόμου (αστικός, επαρχιακός, ταχείας κυκλοφορίας)
- Μέση ταχύτητα οδήγησης (km/hr)

- Δεδομένα κλιματολογικών συνθηκών (μέση, ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία ανά μηνά, μέσο μηνιαίο ποσοστό υγρασίας κ.α.)
- Ετήσια κατανάλωση καυσίμου (MJ/year)

Στο σχήμα 3.1 απεικονίζονται τα δεδομένα εισόδου του λογισμικού COPERT για τον υπολογισμό των ετήσιων εκπομπών.



Σχήμα 3.1 Δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό των ετήσιων εκπομπών του λογισμικού COPERT.
(Πηγή: ΜΑΝΙΩΤΗΣ, 2021)

3.2 Αναφορές σε COPERT

Οι Burón et al., 2004 υπολόγισαν τις εκπομπές των οδικών μεταφορών στην Ισπανία, από το 1988 έως το 1999, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα COPERT III. Το πόρισμα της μελέτης τους ήταν πως ανανέωση οχημάτων, η αυστηρότερη ρύθμιση της σύνθεσης των καυσίμων και των εκπομπών των

οχημάτων μείωσαν σημαντικά τις τοπικές εκπομπές θείου και μολύβδου, ενώ κυρίως λόγω της αύξησης της κινητικότητας, σημειώθηκε συνεχής αύξηση των παγκόσμιων εκπομπών.

Οι Grassi et al., 2021, αφού έκαναν αναλυτική κατανομή του στόλου οχημάτων, χρησιμοποίησαν το λογισμικό COPERT για να εκτιμήσουν τις συνολικές εκπομπές της πόλης Μπαΐα Μπλάνκα της Αργεντινής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μοτοσυκλέτες ήταν η κύρια πηγή εκπομπών CO, NMVOC, CO₂ και CH₄, ενώ τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα ήταν αυτά που εξέπεμπαν τη μεγαλύτερη ποσότητα NO_x. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές ρύπων το 2018 ήταν μειωμένες κατά 12% σε σχέση με το 2013, παρά την αύξηση του στόλου οχημάτων, πράγμα το οποίο οφείλεται στην ενσωμάτωση νέων προτύπων μέτρησης εκπομπών ρύπων.

Οι Fameli & Assimakopoulos, 2015 χρησιμοποίησαν το πρόγραμμα COPERT για να υπολογίσουν τις ετήσιες συνολικές εκπομπές των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα και την Αττική, για την περίοδο 2006-2010. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι περίπου το 40% των εθνικών τιμών CO₂, CO, VOC και NMVOC και το 30% NO_x και σωματιδίων εκπέμπονται στην Αττική. Επίσης τα επιβατικά αυτοκίνητα οφείλονται για το μεγαλύτερο μέρος εκπομπών CO με 56,5% και CO₂ με 66,1%, ενώ τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα συνδέθηκαν με εκπομπές NO_x, PM_{2,5} και PM₁₀ με 51,27%, 43,97% και 38,13% αντίστοιχα.

Οι Migliore et al., 2020 προσπάθησαν να αποδείξουν τα περιβαλλοντικά οφέλη που μπορεί να προσφέρει το carsharing, με το Παλέρμο να επιλέγεται ως περιοχή εξέτασης της μελέτης. Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία του COPERT. Η έρευνα έδειξε ότι υπάρχει σημαντική μείωση των εκπομπών με τη χρήση του carsharing, ειδικότερα στο CO₂ με 25% και στα PM₁₀ με 38%.

Οι Ara Aksoy et al., 2021 συσχέτισαν τις εκπομπές των ρύπων με την θνησιμότητα και νοσηρότητα στην ανθρώπινη υγεία. Για τον υπολογισμό των ρύπων στην Τουρκία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό COPERT. Σύμφωνα με το πιο προοδευτικό σενάριο, από τα πέντε σενάρια που υιοθετήθηκαν, αποδεικνύεται ότι θα μπορούσαν να έχουν αποφευχθεί περίπου 20.000 πρόωροι θάνατοι.

Οι Bogacki & Bzdziuch, 2019 προσπάθησαν να παρουσιάσουν το αντίκτυπο που θα μπορούσε να έχει η αντικατάσταση των λεωφορείων της Κρακοβίας, από λεωφορεία με καινούρια πρότυπα εκπομπών ρύπων. Για την εκτίμηση των ρύπων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό COPERT. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα δείχνουν θετικές τάσεις στη μείωση των εκπομπών από τον εκσυγχρονισμό των δημόσιων λεωφορείων.

Γενικά, η μεθοδολογία COPERT χρησιμοποιείται στα 22 από τα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU-27), για τις επίσημες εθνικές απογραφές εκπομπών από την οδική κυκλοφορία. Το μοντέλο COPERT είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο στην Ευρώπη αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από πανεπιστήμια και από μελετητές, με σκοπό την διεξαγωγή ερευνών. Για τους παραπάνω λόγους, το μοντέλο COPERT προτιμήθηκε έναντι των άλλων μοντέλων, για την διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής.

3.3 Μέθοδοι προβλέψεων και ανάλυση χρονοσειρών

Η πρόβλεψη είναι μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις σε μία επιχείρηση και εν γένει για οποιονδήποτε επιστήμονα που καλείται να εξάγει συμπεράσματα για το μέλλον με σκοπό τη σωστή και έγκαιρη λήψη αποφάσεων (Λοϊζου, 2020). Όλοι οι άνθρωποι, από διαφορετική σκοπιά και για διαφορετικούς λόγους ο καθένας, αναζητούν κάποια εκτίμηση που θα τους βοηθήσει να λάβουν μια απόφαση με το μικρότερο δυνατόν ρίσκο (Κυριακίδης, 2017). Οι τρόποι πρόβλεψης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες μοντέλων:

- Ποιοτικά μοντέλα πρόβλεψης (qualitative models)
- Ποσοτικά μοντέλα πρόβλεψης (quantitative models)

Οι ποιοτικές μέθοδοι προβλέψεων χρησιμοποιούνται, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από το παρελθόν. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται εμπειρία, γνώση και κριτική ικανότητα από έμπειρα στελέχη του αντίστοιχου χώρου, γι' αυτό τον λόγο θεωρούνται υποκειμενικές. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει την μέθοδο Delphi, την έρευνα αγοράς, την συναινετική μέθοδο, και την ιστορική αναλογία.

Οι ποσοτικές μέθοδοι προβλέψεων βασίζονται στην ανάλυση ιστορικών δεδομένων. Ο στόχος τους είναι η μελέτη στοιχείων του παρελθόντος για την βαρύτερη κατανόηση της δομής των δεδομένων, η οποία θα οδηγήσει στα απαραίτητα μέσα για την πρόβλεψη μελλοντικών ενδεχομένων (Τσίκο, 2021). Οι ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο κατηγορίες:

- Αιτιοκρατικά ή επεξηγηματικά μοντέλα
- Μοντέλα χρονοσειρών

3.3.1 Αιτιοκρατικά ή επεξηγηματικά μοντέλα

Οι αιτιώδεις μέθοδοι πρόβλεψης στοχεύουν στον προσδιορισμό παραγόντων, οι οποίοι σχετίζονται με την μεταβλητή, της οποίας οι τιμές πρόκειται να προβλεφθούν. Δηλαδή, τα αιτιώδη μοντέλα χρησιμοποιούν άλλες μεταβλητές που σχετίζονται με την υπό εξέταση μεταβλητή και με βάση αναμενόμενες μελλοντικές τιμές τους προβλέπουν τη μέση τιμή της υπό εξέταση μεταβλητής. Επομένως, στα αιτιώδη μοντέλα αναζητούμε σχέσεις οι οποίες προσεγγίζουν το μηχανισμό παραγωγής των δεδομένων. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μοντέλα ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης με μεταβλητές υστέρησης, οικονομετρικά μοντέλα, μοντέλα ανάλυσης δεικτών διάχυσης και άλλων οικονομετρικών βαραομέτρων (Τσίκο, 2021).

3.3.2 Μοντέλα χρονοσειρών

Το μοντέλο χρονοσειρών αποτελεί το πιο διαδεδομένο είδος ποσοτικού μοντέλου πρόβλεψης. Βασίζεται στην υπόθεση, ότι η μεταβολή της τιμής του μεγέθους ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο, που επαναλαμβάνεται στο χρόνο και παραμένει σταθερό. Έτσι ο βασικός στόχος των μοντέλων είναι υπόθεση ότι το μοτίβο της χρονολογικής εμφάνισης των τιμών της μεταβλητής που παρατηρήθηκε στο παρελθόν, θα συνεχίσει να υφίσταται και στο μέλλον, ανεξάρτητα από τις μεταβολές του περιβάλλοντος. Σε αντίθεση με τα μοντέλα των χρονοσειρών, τα αιτιοκρατικά μοντέλα έχουν το πλεονέκτημα ότι μας επιτρέπουν να ενσωματώσουμε σε αυτά μεταβολές του περιβάλλοντος, όπως μεταβολές στην πολιτική της διοίκησης μιας εταιρίας. Τα μειονεκτήματα τα οποία παρουσιάζουν είναι ότι τα μοντέλα αυτά είναι περισσότερο δύσκολο να αναπτυχθούν, απαιτούν πολύ περισσότερα ιστορικά δεδομένα και η ικανότητα πρόβλεψής τους απαιτεί γνώση, ή την δυνατότητα ακριβής πρόβλεψης, των μελλοντικών τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών της μεταβλητής σύμφωνα με την ανάλυση χρονοσειρών μπορεί να προέλθει από τις παρακάτω κατηγορίες μεθόδων προβλέψεων:

- Μέθοδοι Εξομάλυνσης

Οι μέθοδοι εξομάλυνσης είναι τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζονται οι μελλοντικές τιμές μιας μεταβλητής με βάση τον τρόπο εφαρμογής τους. Οι τεχνικές αυτές προέρχεται από την εξομάλυνση της διαχρονικής εξέλιξης των τιμών της μεταβλητής, ώστε να αναγνωριστεί καλύτερα ο τρόπος συμπεριφοράς της. Ορισμένες από τις μεθόδους εξομάλυνσης μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις μικρού αριθμού παρατηρήσεων της μεταβλητής (Μαργιά, 2009).

- Διάσπαση χρονοσειρών

Οι χαρακτηριστικές κινήσεις μίας χρονοσειράς μπορούν να διακριθούν σε τέσσερα κύρια είδη, τα οποία συχνά ονομάζονται συνιστώσες της χρονοσειράς. Οι κινήσεις αυτές είναι οι μακροπρόθεσμες ή κύριες κινήσεις, οι κυκλικές κινήσεις ή μεταβολές, οι εποχικές κινήσεις ή μεταβολές και οι ακανόνιστες ή τυχαίες κινήσεις. Η διάσπαση χρονοσειρών στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι τιμές μιας χρονοσειράς σχηματίζονται από τις παραπάνω συνιστώσες που τη συνθέτουν. Για τη δημιουργία των προβλέψεων με τη μέθοδο αυτή, η χρονοσειρά διασπάται στις ανωτέρω τέσσερις συνιστώσες και προσδιορίζεται η επιρροή που έχει καθένα από αυτά στη διαμόρφωση των τιμών της μεταβλητής.

- Ανάλυση ARIMA

Τα ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητών μέσων όρων ARIMA είναι στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα τα οποία μας βοηθάνε να αναλύσουμε και να προβλέψουμε την εξέλιξη των μεγεθών. Σε αντίθεση με τα ντετερμινιστικά μοντέλα, η χρήση των οποίων απαιτεί γνώση των παραγόντων από τις οποίες εξαρτάται το μέγεθος και όπου ο πλήρης εντοπισμός, μέτρηση και πρόβλεψή τους είναι πρακτικά αδύνατος, η εφαρμογή των μοντέλων ARIMA βασίζεται στον

υπολογισμό της πιθανότητας για την οποία η τιμή του μεγέθους βρίσκεται εντός κάποιου διαστήματος.

Για να γίνει πρόβλεψη του στόλου οχημάτων πρέπει να συμπεριληφθούν πολλοί παράγοντες, όπως η οικονομική κατάσταση των αγοραστών, οι νομοθεσίες της πολιτείας, η τάση μόδας των πολιτών, ο πληθυσμός κλπ. Στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι, μερικές από αυτές είναι η πολλαπλή παλινδρόμηση, τα οικονομετρικά μοντέλα, η δυναμική συστήματος, τα νευρωνικά δίκτυα και γενικά διάφορα εξειδικευμένα μοντέλα προσομοίωσης.

Αρχικά έγινε προσπάθεια πρόβλεψης με τη μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης με χρήση ψευδομεταβλητών. Η προσπάθεια κρίθηκε ανεπιτυχής λόγω της περιπλοκότητας της στατιστικής επιστήμης που ξέφευγε από τα όρια της προπτυχιακής διατριβής. Γι' αυτό τον λόγο αποφασίστηκε να γίνει πρόβλεψη βάσει των δεδομένων της χρονοσειράς. Μειονέκτημα αυτής της απόφασης είναι ότι η πρόβλεψη βασίζεται ξεκάθαρα στα δεδομένα του παρελθόντος και δεν προσμετρούνται διαταραχές που μπορεί να επηρεάσουν την μελλοντική έκβαση. Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι ανάλυσης των χρονοσειρών είναι οι μέθοδοι εξομάλυνσης, οι οποίοι θα αναλυθούν στην επόμενη ενότητα.

3.4 Μέθοδοι εξομάλυνσης

Με τις μεθόδους εξομάλυνσης προσδιορίζουμε τις μελλοντικές τιμές μιας μεταβλητής στηριζόμενοι αποκλειστικά στις διαθέσιμες παρατηρήσεις της και ανεξάρτητα από τη σχέση που μπορεί να έχει η μεταβλητή αυτή με άλλη ή άλλες μεταβλητές. Κύριο χαρακτηριστικό της εφαρμογής αυτών των μεθόδων είναι ότι τα δεδομένα των οποίων προέρχονται αποκλειστικά από χρονοσειρές, δηλαδή από παρατηρήσεις που έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκεια ίσων διαδοχικών χρονικών περιόδων, ενώ ο αριθμός των διαθέσιμων παρατηρήσεων της μεταβλητής δεν αποτελεί κατά κανόνα ανασταλτικό παράγοντα για την εφαρμογή τους. Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και για δείγματα παρατηρήσεων μικρού μεγέθους (Μαργιά, 2009). Οι μέθοδοι εξομάλυνσης που θα αναλυθούν στις επόμενες υποενότητες είναι:

- Η μέθοδος του απλού κινητού μέσου
- Η μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης
- Η μέθοδος του διπλού κινητού μέσου
- Η μέθοδος Brown
- Η μέθοδος Holt
- Η μέθοδος Winters

3.4.1 Απλός κινητός μέσος

Η μέθοδος του απλού κινητού μέσου m -περιόδων είναι μία πολύ απλή μέθοδος προβλέψεων που χρησιμοποιεί ως πρόβλεψη την τιμή του αριθμητικού μέσου όρου των m πλέον πρόσφατων παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Αυτό συμβαίνει διότι οι πλέον πρόσφατες παρατηρήσεις της χρονοσειράς θεωρούνται περισσότερο αντιπροσωπευτικές για τη δημιουργία προβλέψεων από ότι οι πιο απομακρυσμένες στο παρελθόν. Ο μέσος όρος αυτός ονομάζεται κινητός, επειδή η τιμή του δεν είναι σταθερή, αλλά αναπροσαρμόζεται κάθε φορά που μια νέα παρατήρηση της χρονοσειράς γίνεται διαθέσιμη. Οι προβλέψεις μιας χρονοσειράς Y_t , για $t=1,2,\dots,n$, δημιουργούνται με τη μέθοδο του απλού κινητού μέσου ως εξής:

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m Y_{t-j+1} = \frac{1}{m} \cdot (Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-m+1}) = \hat{Y}_t + \frac{Y_t}{m} - \frac{Y_{t-m}}{m} \quad (3.1)$$

όπου \hat{Y}_{t+1} είναι η πρόβλεψη για την περίοδο $(t+1)$ και m ο αριθμός των περιόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τιμής του μέσου όρου. Επίσης για $m=1$ η πρόβλεψη της επόμενης περιόδου είναι ίση με την πραγματική τιμή της προηγούμενης περιόδου.

3.4.2 Απλή εκθετική εξομάλυνση

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου του απλού κινητού μέσου m -περιόδων είναι ότι για τον υπολογισμό των προβλέψεων δίνει ίση βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση, ανεξάρτητα από το πόσο κοντά ή μακριά βρίσκεται σε σχέση με την προβλεπόμενη περίοδο. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να εξαλειφθεί με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης σύμφωνα με την οποία οι προβλέψεις δημιουργούνται με βάση κάποιο σταθμικό μέσο όρο, έτσι ώστε να δίνεται διαφορετική βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση. Πιο συγκεκριμένα, η εκθετική μέθοδος δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο πρόσφατες περιόδους, υποθέτοντας ότι οι συντελεστές βαρύτητας ακολουθούν μια εκθετική κατανομή. Συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των προηγούμενων μεθόδων είναι η ευκολία των υπολογισμών και το γεγονός ότι απαιτεί λιγότερα ιστορικά δεδομένα. Οι προβλέψεις μιας χρονοσειράς με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης πραγματοποιούνται ως εξής:

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) \hat{Y}_t \quad (3.2)$$

όπου η παράμετρος α ονομάζεται σταθερά εξομάλυνσης και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1, επίσης για αρχική συνθήκη ισχύει $\hat{Y}_2 = Y_1$.

Η τιμή της παραμέτρου α μπορεί να καθοριστεί από τον ερευνητή, ιδιαίτερα όταν αυτός έχει προηγούμενη εμπειρία για τη συγκεκριμένη χρονοσειρά. Ωστόσο, είναι πιο αντικειμενικό η “βέλτιστη” τιμή του α να προσδιορίζεται από τα δεδομένα της χρονοσειράς. Ειδικότερα, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης στις παρατηρήσεις της χρονοσειράς για

τιμές του α από το μηδέν μέχρι τη μονάδα επιλέγουμε εκείνη την τιμή του α που ελαχιστοποιεί την τιμή του αθροίσματος ελαχίστων τετραγώνων (SSE).

3.4.3 Διπλός κινητός μέσος

Η μέθοδος του διπλού κινητού μέσου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των τιμών μιας χρονοσειράς, οι παρατηρήσεις της οποίας παρουσιάζουν ανοδική ή πτωτική πορεία που εκφράζεται από κάποια γραμμική τάση. Για τη διαμόρφωση των προβλέψεων με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται ένας δεύτερος κινητός μέσος από τον απλό κινητό μέσο, ενώ στη συνέχεια λαμβάνεται υπόψη και η γραμμική τάση των παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Για το λόγο αυτό η μέθοδος ονομάζεται πολύ συχνά και μέθοδος του γραμμικού κινητού μέσου.

Η εφαρμογή της μεθόδου του διπλού κινητού μέσου βασίζεται στην ακόλουθη διαδικασία:

1. Υπολογίζεται ο απλός κινητός μέσος m -περιόδων, M_t , ως:

$$M_{t+1} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m Y_{t-j+1} \quad (3.3)$$

2. Υπολογίζεται ο διπλός κινητός μέσος m -περιόδων, M'_t , ως:

$$M'_{t+1} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m M_{t-j+1} \quad (3.4)$$

3. Υπολογίζεται η διαφορά α_t ως:

$$\alpha_t = 2M_t - M'_t \quad (3.5)$$

4. Υπολογίζεται ο παράγοντας προσαρμογής για την τάση, b_t , ως:

$$b_t = \frac{2}{m-1} (M_t - M'_t) \quad (3.6)$$

5. Υπολογίζεται η πρόβλεψη \hat{Y}_{t+h} για την h μελλοντική περίοδο ως:

$$\hat{Y}_{t+h} = \alpha_t + hb_t \quad (3.7)$$

όπου h είναι ένας ακέραιος θετικός αριθμός.

Η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες μεθόδους προβλέψεων που παρουσιάσαμε, μπορεί για $h > 1$ να χρησιμοποιηθεί για τη διενέργεια προβλέψεων για περισσότερες από μία μελλοντικές περιόδους, ενώ για $h=1$ δίνει την πρόβλεψη για την επόμενη περίοδο. Βέβαια, η χρήση της προϋποθέτει την ύπαρξη μεγαλύτερου αριθμού παρατηρήσεων, ιδιαίτερα μάλιστα όταν η τιμή του m είναι σχετικά μεγάλη.

3.4.4 Διπλή εκθετική εξομάλυνση (Brown)

Η μέθοδος της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης, η οποία ονομάζεται και μέθοδος Brown, είναι μια άλλη μέθοδος προβλέψεων που χρησιμοποιείται σε χρονοσειρές, οι παρατηρήσεις των οποίων παρουσιάζουν τάση. Η βασική φιλοσοφία της μεθόδου αυτής είναι παραπλήσια με εκείνη της μεθόδου του διπλού κινητού μέσου, δηλαδή η εξομάλυνση των παρατηρήσεων της χρονοσειράς γίνεται δύο φορές, ενώ στη διαμόρφωση των προβλέψεων λαμβάνεται υπόψη και η τάση. Η εφαρμογή της μεθόδου της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης στηρίζεται στην ακόλουθη διαδικασία:

1. Εξομαλύνονται οι αρχικές παρατηρήσεις της χρονοσειράς με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης ως ακολούθως:

$$A_t = aY_t + (1 - a)A_{t-1} \quad (3.8)$$

όπου a είναι η σταθερά εξομάλυνσης, για $0 \leq a \leq 1$, A_t οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς που προκύπτουν από την πρώτη εξομάλυνση, για $t = 2, 3, \dots, n$, ενώ για $t = 1$ ορίζεται ως αρχική συνθήκη $A_1 = Y_1$.

2. Εξομαλύνονται οι εξομαλυνθείσες τιμές A_t της χρονοσειράς με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης ως ακολούθως:

$$A'_t = aA_t + (1 - a)A'_{t-1} \quad (3.9)$$

όπου A'_t είναι οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς που προκύπτουν από τη δεύτερη εξομάλυνση, για $t = 2, 3, \dots, n$ ενώ για $t = 1$, ισχύει $A'_1 = A_1$.

3. Υπολογίζεται η διαφορά α_t ως:

$$\alpha_t = 2A_t - A'_t \quad (3.10)$$

4. Υπολογίζεται ο παράγοντας προσαρμογής για την τάση, b_t , ως:

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (A_t - A'_t) \quad (3.11)$$

5. Υπολογίζεται η πρόβλεψη \hat{Y}_{t+h} για την h μελλοντική περίοδο ως:

$$\hat{Y}_{t+h} = \alpha_t + hb_t \quad (3.12)$$

όπου h είναι ένας ακέραιος θετικός αριθμός.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για τη διαμόρφωση προβλέψεων για περισσότερες από μία μελλοντικές περιόδους σε αντίθεση με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης, η οποία παρέχει προβλέψεις μόνο για την επόμενη χρονική περίοδο. Επίσης, αν η τιμή της σταθεράς εξομάλυνσης a δεν είναι γνωστή, κάτι που συμβαίνει όταν εφαρμόζουμε τη μέθοδο για πρώτη φορά στα δεδομένα μιας χρονοσειράς, επιλέγουμε κατά τα γνωστά εκείνη την τιμή του a που ελαχιστοποιεί την τιμή του αθροίσματος ελαχίστων τετραγώνων. Σημειώνουμε ότι ο αριθμός των παρατηρήσεων που

απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι αρκετά μικρότερος από τον αντίστοιχο αριθμό της μεθόδου του διπλού κινητού μέσου.

3.4.5 Εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση (Holt)

Η εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση, γνωστή και ως μέθοδος Holt, χρησιμοποιείται κι αυτή όταν υπάρχει τάση στις παρατηρήσεις της χρονοσειράς. Η μέθοδος Holt έχει δύο παραμέτρους εξομάλυνσης, την παράμετρο α για την εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς και την παράμετρο β για την εξομάλυνση της τάσης, σε αντίθεση με τη μέθοδο της διπλής εξομάλυνσης του Brown που έχει μόνο μια. Η εφαρμογή της μεθόδου Holt βασίζεται στην ακόλουθη διαδικασία:

1. Η εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$A_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.13)$$

όπου α είναι η σταθερά για την εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς, για $0 \leq \alpha \leq 1$, A_t οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς, για $t = 2, 3, \dots, n$, ενώ για $t=1$ ορίζεται ως αρχική συνθήκη $A_1=Y_1$.

2. Η εξομάλυνση της τάσης γίνεται ως εξής:

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3.14)$$

όπου β , για $0 \leq \beta \leq 1$, είναι η σταθερά για την εξομάλυνση της τάσης, T_t οι εξομαλυνθείσες τιμές της τάσης, για $t=2, 3, \dots, n$ ενώ για $t=1$ ορίζεται ως αρχική συνθήκη $T_1=0$.

3. Υπολογίζεται η πρόβλεψη \hat{Y}_{t+h} για την h μελλοντική περίοδο ως:

$$\hat{Y}_{t+h} = A_t + hT_t \quad (3.15)$$

όπου h είναι ένας ακέραιος θετικός αριθμός.

Οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων α και β για μια συγκεκριμένη χρονοσειρά προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση της τιμής του κριτηρίου SSE, εφαρμόζοντας τη μέθοδο για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των τιμών α και β .

3.4.6 Εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση και εποχικότητα (Winters)

Σε πολλές χρονοσειρές, οι παρατηρήσεις των οποίων αναφέρονται σε χρονικές περιόδους μικρότερες του έτους, όπως για παράδειγμα μήνες, τρίμηνα κ.α., είναι δυνατόν να παρατηρούνται εποχικές διακυμάνσεις, οι οποίες επαναλαμβάνονται κάθε έτος με την ίδια ή περίπου ίδια μορφή. Η εποχικότητα στις παρατηρήσεις των χρονοσειρών είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται συχνά κατά

τη διερεύνηση των οικονομικών φαινομένων και για να εξεταστεί θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μέθοδοι εξομάλυνσης, οι οποίες να τη λαμβάνουν άμεσα υπόψη. Οι μέθοδοι αυτές συντελούν συνήθως στο να μειώνουν το σφάλμα της πρόβλεψης, παρέχοντας έτσι καλύτερες προβλέψεις. Μια τέτοια μέθοδος είναι εκείνη της εκθετικής εξομάλυνσης με προσαρμογή στην τάση και στην εποχικότητα, γνωστή ως μέθοδος Winters, που αποτελεί επέκταση της μεθόδου Holt. Η μέθοδος Winters έχει τρεις παραμέτρους, τις α , β , και γ , οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς, της τάσης και της εποχικότητας αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιεί μια επιπλέον σχέση από τη μέθοδο Holt για την εξομάλυνση της εποχικότητας. Η εφαρμογή της μεθόδου Winters στηρίζεται στην ακόλουθη διαδικασία:

1. Η εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$A_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-L}} + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.16)$$

όπου α είναι η σταθερά για την εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς, για $0 \leq \alpha \leq 1$, A_t οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς, ενώ S_t είναι ο εποχικός συντελεστής της περιόδου t και L η περιοδικότητα της εποχικότητας, δηλαδή $L=12$ για μηνιαία δεδομένα, $L=4$ για τριμηνιαία δεδομένα κ.ο.κ.

2. Η εξομάλυνση της τάσης γίνεται όπως και στη μέθοδο Holt, δηλαδή ως εξής:

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3.17)$$

όπου β , για $0 \leq \beta \leq 1$, είναι η σταθερά για την εξομάλυνση της τάσης ενώ T_t οι εξομαλυνθείσες τιμές της τάσης.

3. Η εξομάλυνση της εποχικότητας γίνεται ως ακολούθως:

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{A_t} + (1 - \gamma) S_{t-L} \quad (3.18)$$

όπου γ , για $0 \leq \gamma \leq 1$, είναι η σταθερά για την εξομάλυνση της εποχικότητας.

4. Υπολογίζεται η πρόβλεψη \hat{Y}_{t+h} για την h μελλοντική περίοδο ως:

$$\hat{Y}_{t+h} = (A_t + hT_t) S_{t+h-L} \quad (3.19)$$

όπου h είναι ένας ακέραιος θετικός αριθμός.

Όπως στις προηγούμενες μεθόδους, έτσι και στη μέθοδο Winters, οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων α , β και γ προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση του κριτηρίου SSE, εφαρμόζοντας τη μέθοδο αυτή για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων στα δεδομένα της χρονοσειράς.

Τα δεδομένα της χρονοσειράς παρουσιάζουν τάση, επομένως η μέθοδος του απλού κινητού μέσου και της απλής εκθετικής εξομάλυνσης κρίνονται ως μη ικανοποιητικές, εφόσον η μεθοδολογία τους δεν προσμετρά την τάση. Επίσης απορρίπτεται και η μέθοδος Winters, επειδή χρησιμοποιεί δεδομένα που παρουσιάζουν εποχικότητα, πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει με τα δεδομένα της EMISIA. Από τις τρεις μεθόδους που προσμετρούν την τάση (διπλός κινητός μέσος, Brown, Holt), η μέθοδος του διπλού κινητού μέσου υστερεί καθώς απαιτείται μεγάλος αριθμός παρατηρήσεων, ενώ οι μέθοδοι Brown και Holt παρουσιάζουν πολλά κοινά στην χρήση τους αλλά και στα αποτελέσματά τους. Έπειτα από βιβλιογραφική αναζήτηση, βρέθηκε ένα άρθρο στο οποίο οι Peng et al., 2015 χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης για την πρόβλεψη της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Επομένως, η πιο κατάλληλη μέθοδος για πρόβλεψη των οχημάτων, θεωρείται η διπλή εκθετική εξομάλυνση Brown.

4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά στόλου οχημάτων

4.1 Δεδομένα στόλου οχημάτων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας είναι από την εταιρία Emisia (<https://www.emisia.com/shop/>), τεχνοβλαστός εταιρία του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, η οποία έχει αναπτύξει την μεθοδολογία COPERT. Το εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, αγόρασε τα δεδομένα και τα διέθεσε σε καθηγητές και σπουδαστές με σκοπό την επεξεργασία τους για μελλοντικές μελέτες και διπλωματικές.

Τα δεδομένα αναφέρονται στον αριθμό αυτοκινήτων, στα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα και στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων για κάθε κατηγορία αυτοκινήτων η οποία χωρίζεται σύμφωνα με τη διάρθρωση του στόλου, το καύσιμο κίνησης, το μέγεθος του οχήματος και τα πρότυπα μέτρησης εκπομπών ρύπων (πρότυπα Euro). Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι υποκατηγορίες που συναντήθηκαν από τα δεδομένα της EMISIA. Πιο συγκεκριμένα, στον Πίνακα 4.1 αποτυπώνεται η διάρθρωση του στόλου οχημάτων, στον Πίνακα 4.2 τα καύσιμα κίνησης, στο Πίνακα 4.3 το μέγεθος οχημάτων και στον Πίνακα 4.4 τα πρότυπα μέτρησης εκπομπών ρύπων.

Πίνακας 4.1 Διάρθρωση στόλου σύμφωνα με EMISIA.

Διάρθρωση στόλου
Επιβατικά Αυτοκίνητα (Passenger Cars)
Ελαφρά Επαγγελματικά Οχήματα (Light Commercial Vehicles)
Βαρέα Φορτηγά (Heavy Duty Trucks)
Λεωφορεία (Buses)
Μοτοσυκλέτες, Μοτοποδήλατα, Τρίκυκλα (L-Category)

Πίνακας 4.2 Καύσιμα κίνησης οχημάτων σύμφωνα με EMISIA.

Καύσιμο
Βενζίνη (Petrol)
Πετρέλαιο (Diesel)
Υγραέριο Διπλού Καυσίμου (LPG Bifuel)
Φυσικό Αέριο Διπλού Καυσίμου (CNG Bifuel)
Βιοντίζελ (Biodiesel)

Βιοαιθανόλη (Bioethanol)
Υδρογόνο (Hydrogen)
Υβριδικά Πετρελαίου (Diesel Hybrid)
Υβριδικά Βενζίνης (Petrol Hybrid)
Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Battery Electric Vehicle)
Επαναφορτιζόμενα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)

Πίνακας 4.3 Μέγεθος οχημάτων σύμφωνα με EMISIA.

Κατηγορία	Μέγεθος
Επιβατικά Αυτοκίνητα	Mini
	Small
	Medium
Ελαφρά Επαγγελματικά Οχήματα	Large-SUV-Executive
	N1-I
	N1-II
	N1-III
Ρυμουκλούμενα Βαρέα Φορτηγά	14 - 20 t
	20 - 28 t
	28 - 34 t
	34 - 40 t
	40 - 50 t
	50 - 60 t
Ενιαία Βαρέα Φορτηγά	≤ 7,5 t
	7,5 - 12 t
	12 - 14 t
	14 - 20 t
	20 - 26 t
	26 - 28 t
Αστικά Λεωφορεία	28 - 32 t
	> 32 t
	≤ 15 t
Υπεραστικά Λεωφορεία	15 - 18 t
	> 18 t
	≤ 18 t
Μοτοποδήλατα	> 18 t
	Δίχρονα < 50 cm ³
Μοτοσυκλέτες	Τετράχρονα < 50 cm ³
	Δίχρονα > 50 cm ³
	Τετράχρονα < 250 cm ³
	Τετράχρονα 250 - 750 cm ³
	Τετράχρονα > 750 cm ³

Πίνακας 4.4 Πρότυπα μέτρησης εκπομπών ρύπων σύμφωνα με EMISIA

Πρότυπα Euro
Conventional
PRE ECE
ECE 15/00-01
ECE 15/02
ECE 15/03
ECE 15/04
EURO 1
EURO 2
EURO 3
EURO 4
EURO 5
EURO 6

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εργασία ασχολείται μόνο με τα επιβατικά αυτοκίνητα, καθώς αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του στόλου και είναι υπεύθυνα για τους περισσότερους ρύπους από τον τομέα των μεταφορών. Για την υλοποίηση της εργασίας έγινε ομαδοποίηση των πολλών παραπάνω υποκατηγοριών της EMISIA έτσι ώστε να γίνει απλοποίηση των υπολογισμών αλλά και για να μπορεί να εφαρμοστεί με νόημα η διπλή εκθετική εξομάλυνση Brown. Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η ομαδοποίηση που πραγματοποιήθηκε στα καύσιμα, ενώ στον Πίνακα 4.6 εμφανίζεται η ομαδοποίηση των προτύπων Euro.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.5, η βενζίνη και το πετρέλαιο συνεχίζουν να αποτελούν μεμονωμένη κατηγορία καθώς, όπως θα δούμε και στην συνέχεια, ο στόλος τους αποτελείται από μεγάλο αριθμό οχημάτων. Στην κατηγορία διπλού καυσίμου εντάσσονται το υγραέριο και το φυσικό αέριο, καθώς και τα δύο αποτελούνται από διπλό καύσιμο. Το βιοντίζελ, η βιοαιθανόλη, το υδρογόνο, τα υβριδικά πετρελαίου και τα υβριδικά βενζίνης ομαδοποιούνται σε μία κατηγορία η οποία ονομάζεται εναλλακτικά καύσιμα, με το μεγαλύτερο ποσοστό της συγκεκριμένης κατηγορίας να απαρτίζεται από υβριδικά οχήματα βενζίνης. Τελευταία ομαδοποιημένη κατηγορία είναι τα ηλεκτρικά τα οποία απαρτίζονται από αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα και από επαναφορτιζόμενα.

Όσον αφορά τα πρότυπα μέτρησης εκπομπών ρύπων, έχουν ομαδοποιηθεί και έχουν ονομαστεί ως Pre-Euro, όλες οι υποκατηγορίες προτύπων πριν από την θέσπιση των Euro 1. Οι υποκατηγορίες προτύπων Euro 1 έως και Euro 6 παραμένουν αυτοτελείς και δεν έχει πραγματοποιηθεί ομαδοποίηση.

Πίνακας 4.5 Ομαδοποίηση των υποκατηγοριών καυσίμου της EMISIA.

Ομαδοποίηση	Υποκατηγορίες EMISIA
Βενζίνη (Petrol)	Βενζίνη (Petrol)
Πετρέλαιο (Diesel)	Πετρέλαιο (Diesel)
Διπλού Καυσίμου (Dual Fuel)	Υγραέριο Διπλού Καυσίμου (LPG Bifuel)
	Φυσικό Αέριο Διπλού Καυσίμου (CNG Bifuel)
Εναλλακτικά Καύσιμα (Alternative Fuel)	Βιοντίζελ (Biodiesel)
	Βιοαιθανόλη (Bioethanol)
	Υδρογόνο (Hydrogen)
	Υβριδικά Πετρελαίου (Diesel Hybrid)
	Υβριδικά Βενζίνης (Petrol Hybrid)
Ηλεκτρικά (Electricity)	Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Battery Electric Vehicle)
	Επαναφορτιζόμενα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)

Πίνακας 4.6 Ομαδοποίηση των υποκατηγοριών προτύπων μέτρησης εκπομπών ρύπων της EMISIA.

Ομαδοποίηση	Υποκατηγορίες EMISIA
Pre-Euro	Conventional
	PRE ECE
	ECE 15/00-01
	ECE 15/02
	ECE 15/03
	ECE 15/04
EURO 1	EURO 1
EURO 2	EURO 2
EURO 3	EURO 3
EURO 4	EURO 4
EURO 5	EURO 5
EURO 6	EURO 6

4.2 Συνολικός αριθμός οχημάτων 1990-2018

Σύμφωνα με τα δεδομένα, από το 1990 έως το 2018 παρατηρείται μεγάλη αύξηση στον συνολικό αριθμό οχημάτων στην Ελλάδα. Από τα 2,8 εκατομμύρια οχήματα το 1990, ο συνολικός στόλος το 2018 ανέρχεται στα 8,1 εκατομμύρια οχήματα, μία αύξηση της τάξεως του 190%. Από το 1990 μέχρι και το 2010 παρουσιάζεται μια συνεχόμενη ετήσια αύξηση των οχημάτων, με αποκορύφωμα το 2005-2006 όπου ο στόλος αυξήθηκε κατά 373.841 οχήματα. Με την εμφάνιση της οικονομικής

κρίσης το 2010, η αγορά καινούριων οχημάτων πάγωσε και ο πληθυσμός του στόλου σταθεροποιήθηκε στα περίπου 8 εκατομμύρια οχήματα μέχρι και το 2015. Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζεται αναλυτικά ο ακριβής αριθμός οχημάτων στην Ελλάδα από το 1990-2018.

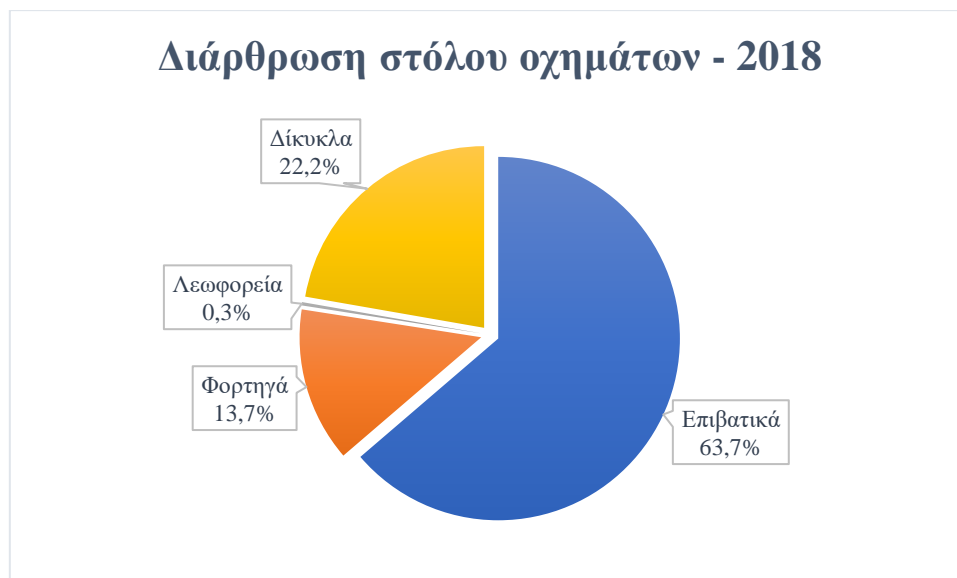
Πίνακας 4.7 Αριθμός οχημάτων στην Ελλάδα από το 1990-2018.

ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
1990	2.791.141	2005	6.623.560
1991	2.883.297	2006	6.997.401
1992	2.996.413	2007	7.360.409
1993	3.219.294	2008	7.686.004
1994	3.407.597	2009	7.882.052
1995	3.614.475	2010	8.048.284
1996	3.792.423	2011	8.028.168
1997	4.038.400	2012	8.015.980
1998	4.309.177	2013	7.991.592
1999	4.674.458	2014	8.012.532
2000	5.038.792	2015	8.050.229
2001	5.369.782	2016	8.097.162
2002	5.665.743	2017	8.164.528
2003	5.945.629	2018	8.105.384
2004	6.281.689		

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

4.3 Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων 1990-2018

Τα επιβατικά αυτοκίνητα είναι η κυρίαρχη κατηγορία του στόλου οχημάτων, αντιπροσωπεύοντας διαχρονικά το 60-65% σε Εθνικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, για το έτος 2018, τα επιβατικά αυτοκίνητα αποτελούν το 63,7% των συνολικών οχημάτων, με τις μοτοσυκλέτες να ακολουθούν με ποσοστό 22,2%. Στην τρίτη θέση βρίσκονται τα φορτηγά, συμπεριλαμβανομένων και των ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων, με συμμετοχή 13,7%. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν τα λεωφορεία με ποσοστό μόλις 0,3% επί του συνολικού στόλου οχημάτων. Από τα παραπάνω στοιχεία είναι εμφανής η συμβολή των επιβατικών αυτοκινήτων στις συνολικές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και οποιαδήποτε μεταβολή στον αριθμό αυτοκινήτων, στα διανυόμενα χιλιόμετρα, στο καύσιμο ή την τεχνολογία θα μπορούσε να μειώσει αισθητά τους ρύπους. Στο Γράφημα 4.1 απεικονίζονται τα ποσοστά διάρθρωσης του στόλου οχημάτων στην Ελλάδα για το έτος 2018.



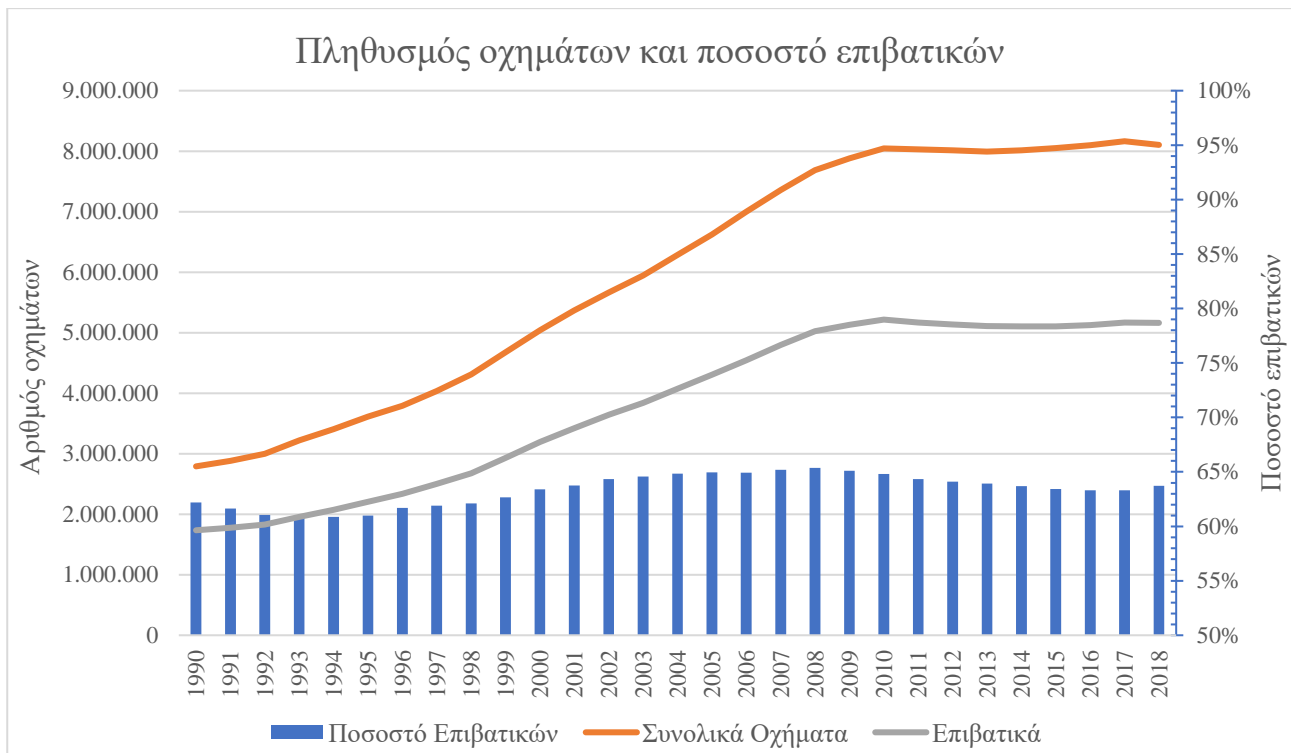
Γράφημα 4.1 Ποσοστά διάρθρωσης στόλου οχημάτων στην Ελλάδα για το 2018.
(Πηγή: EMISSIA, 2021)

Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζεται αναλυτικά ο ετήσιος ακριβής αριθμός οχημάτων στην Ελλάδα από το 1990 μέχρι και το 2018, ενώ στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 4.2 στο οποίο απεικονίζεται ο πληθυσμός των επιβατικών αυτοκινήτων, ο πληθυσμός των συνολικών οχημάτων και το ποσοστό των επιβατικών έναντι των συνολικών για κάθε έτος από το 1990 έως και το 2018.

Πίνακας 4.8 Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα από το 1990-2018.

ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ	ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ
1990	1.735.523	2005	4.303.129
1991	1.777.484	2006	4.543.016
1992	1.829.100	2007	4.798.530
1993	1.958.544	2008	5.023.944
1994	2.074.081	2009	5.131.960
1995	2.204.761	2010	5.216.873
1996	2.339.421	2011	5.165.419
1997	2.500.099	2012	5.138.745
1998	2.675.676	2013	5.109.435
1999	2.928.881	2014	5.102.203
2000	3.195.065	2015	5.104.908
2001	3.423.704	2016	5.126.024
2002	3.646.069	2017	5.169.026
2003	3.839.549	2018	5.164.183
2004	4.073.511		

(Πηγή: EMISSIA, 2021)



Γράφημα 4.2: Πληθυσμός επιβατικών, πληθυσμός συνολικών οχημάτων και ποσοστό επιβατικών έναντι συνολικών από το 1990-2018.

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

Σε γενικές γραμμές, η τάση του αριθμού των επιβατικών αυτοκινήτων συμφωνεί με την τάση των συνολικών οχημάτων. Το 1990 απαριθμήθηκαν 1,73 εκατομμύρια επιβατικά τα οποία μέχρι το 2018 τριπλασιάστηκαν και έφτασαν τα 5,16 εκατομμύρια. Από το 1990 μέχρι και το 2010 παρουσιάζεται μια συνεχόμενη ετήσια αύξηση, ενώ από το 1999 έως 2008 ο στόλος επιβατικών αυξανόταν με πάνω από 200.000 οχήματα ετησίως. Από το 2011 έως το 2014 ο στόλος των επιβατικών, επηρεασμένος από την οικονομική κρίση, άρχισε να μειώνεται. Το γεγονός της μείωσης οφείλεται στο ότι οι πωλήσεις ελαχιστοποιήθηκαν και έγιναν μικρότερες από τις αποσύρσεις παλαιότερων αυτοκινήτων. Από το 2015 και έπειτα, τα επιβατικά άρχισαν να αυξάνονται εκ νέου.

4.4 Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 1990-2018

Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται τα ποσοστά που καταλαμβάνει το κάθε καύσιμο από το σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων από το 1990 έως και το 2018. Όπως παρατηρείται, από το 1990 έως το 2010, τα βενζινοκίνητα οχήματα αποτελούν σχεδόν ολόκληρο τον στόλο επιβατικών με ποσοστά που υπερβαίνουν ακόμα και το 95%. Από το 2010 και μετά, το ποσοστό αυτό άρχισε να υποχωρεί ενώ τα πετρελαιοκίνητα οχήματα και τα οχήματα διπλού καυσίμου ξεκίνησαν να κερδίζουν έδαφος. Αυτή η

αλλαγή παρουσιάστηκε καθώς λόγω της οικονομικής κρίσης ο μέσος οδηγός αναζήτησε πιο οικονομικές λύσεις για τις μετακινήσεις του.

Στο Γράφημα 4.3 αποτυπώνονται τα ποσοστά καυσίμου επιβατικών οχημάτων για το έτος 2018. Σύμφωνα με το γράφημα, τα βενζινοκίνητα οχήματα αποτέλεσαν το 86,4% του στόλου επιβατικών με τα πετρελαιοκίνητα να ακολουθούν με 7,2% και τα οχήματα διπλού καυσίμου να βρίσκονται κοντά με ποσοστό 6,1%. Από την άλλη πλευρά, παρά την αύξηση των ταξινομήσεων τα τελευταία χρόνια, τα αυτοκίνητα με εναλλακτική κίνηση αποτέλεσαν μόλις το 0,31% του συνολικού στόλου επιβατικών στην Ελλάδα. Τα ποσοστά των ηλεκτρικών ήταν απογοητευτικά με μόλις το 1 στα 10.000 οχήματα να είναι ηλεκτρικό. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται αυξητική τάση στην διείσδυση των υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η οποία στα επόμενα χρόνια εκτιμάται ότι θα είναι εντονότερη.

Πίνακας 4.9 Ποσοστά καυσίμου των επιβατικών αυτοκινήτων τα έτη 1990-2018.

Έτος	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Διπλού Καυσίμου	Εναλλακτικά Καύσιμα	Ηλεκτρικά
1990	96,0%	1,1%	2,9%		
1991	95,3%	1,2%	3,5%		
1992	94,9%	1,3%	3,8%		
1993	94,8%	1,4%	3,8%		
1994	95,4%	1,4%	3,2%		
1995	95,7%	1,3%	3,0%		
1996	96,2%	1,2%	2,6%		
1997	97,0%	1,2%	1,9%		
1998	97,2%	1,1%	1,7%		
1999	97,6%	1,3%	1,1%		
2000	97,7%	1,5%	0,8%	0,00%	
2001	97,5%	1,8%	0,8%	0,00%	
2002	97,3%	2,0%	0,7%	0,01%	
2003	97,3%	2,2%	0,5%	0,01%	
2004	97,1%	2,4%	0,5%	0,01%	
2005	96,9%	2,7%	0,4%	0,02%	
2006	96,7%	2,9%	0,4%	0,02%	
2007	96,4%	3,1%	0,4%	0,03%	
2008	96,2%	3,3%	0,4%	0,04%	
2009	96,0%	3,6%	0,4%	0,06%	
2010	95,3%	3,8%	0,9%	0,07%	
2011	92,0%	4,0%	3,9%	0,09%	
2012	92,1%	4,2%	3,6%	0,10%	0,00%
2013	91,4%	4,5%	4,0%	0,11%	0,00%

2014	90,9%	4,7%	4,3%	0,11%	0,00%
2015	89,8%	4,9%	5,2%	0,13%	0,00%
2016	88,5%	5,8%	5,6%	0,15%	0,01%
2017	87,5%	6,5%	5,8%	0,19%	0,01%
2018	86,4%	7,2%	6,1%	0,26%	0,01%

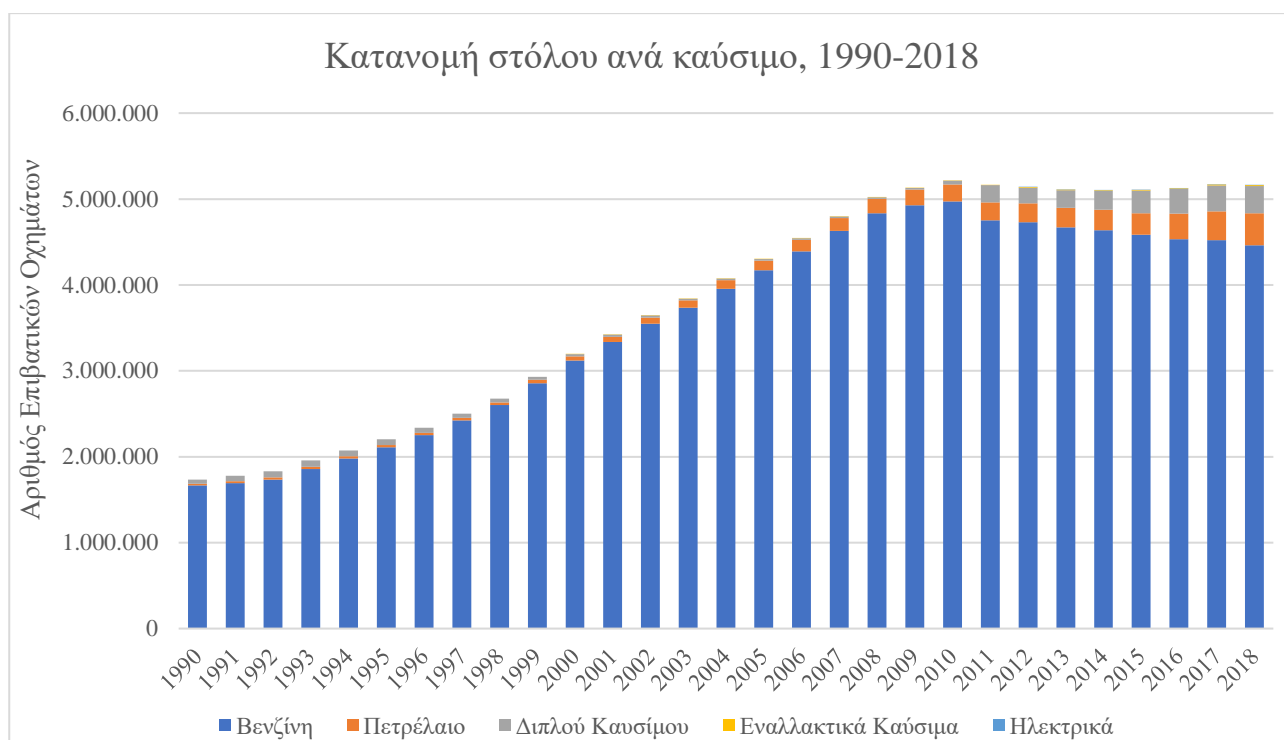
(Πηγή: EMISSIA, 2021)



Γράφημα 4.3 Ποσοστά καυσίμου επιβατικών οχημάτων για το έτος 2018.

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

Στο Γράφημα 4.4 που ακολουθεί απεικονίζεται η κατανομή των επιβατικών οχημάτων βάσει του καυσίμου κίνησης για το χρονικό διάστημα 1990 έως 2018. Από το γράφημα γίνεται εύκολα αντιληπτή η συντριπτική πλειοψηφία που κατέχουν τα βενζινοκίνητα οχήματα έναντι των άλλων κατηγοριών. Κρίσιμη χρονολογία αποτελεί το 2011 όπου παρατηρείται απότομη αύξηση των οχημάτων διπλού καυσίμου. Λόγω της οικονομικής κρίσης αλλά και της ακρίβειας της βενζίνης, μεγάλο μερίδιο των οδηγών πραγματοποίησε μετατροπή του οχήματός του σε υγραέριο, έτσι ώστε να μειώσει το συνολικό κόστος μετακίνησής του. Τέλος μπορεί να γίνει εμφανής και η σταθερά αυξανόμενη τάση που δέχεται ο στόλος των πετρελαιοκίνητων οχημάτων, με τα τελευταία χρόνια να είναι ακόμα πιο έντονη.



Γράφημα 4.4 Κατανομή στόλου επιβατικών βάσει του καυσίμου κίνησης από το 1990-2018.
(Πηγή: EMISSIA, 2021)

4.5 Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά μέγεθος 1990-2018

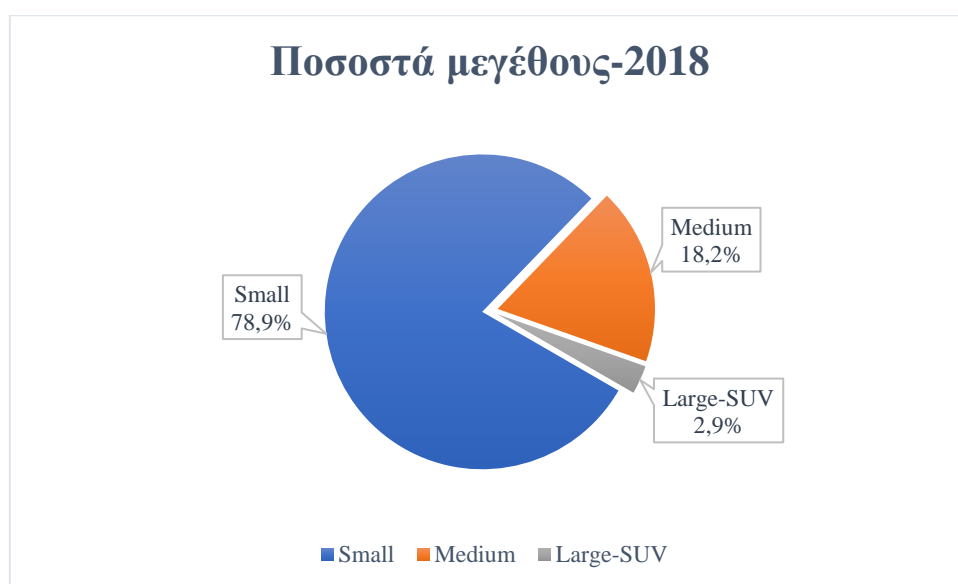
Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις εκπομπές καυσαερίων είναι το μέγεθος των οχημάτων, καθώς κατά γενικό κανόνα τα μεγαλύτερα οχήματα εκπέμπουν περισσότερους ρύπους. Στον Πίνακα 4.10 αποτυπώνονται τα ποσοστά μεγέθους των επιβατικών αυτοκινήτων από το 1990 έως και 2018. Τα μικρά οχήματα επικρατούν στους δρόμους με περίπου 8 στα 10 οχήματα να είναι μικρού μεγέθους. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.5 για το έτος 2018, τα μικρά οχήματα αποτελούν το 78,9% των συνολικών επιβατικών. Ακολουθούν τα μεσαία οχήματα με ποσοστό 18,2, ενώ τα μεγάλα οχήματα αντιπροσωπεύουν μόλις το 2,9%.

Πίνακας 4.10 Ποσοστά μεγέθους των επιβατικών αυτοκινήτων τα έτη 1990-2018.

Έτος	Μικρά Οχήματα	Μεσαία Οχήματα	Μεγάλα Οχήματα
1990	82,8%	15,4%	1,8%
1991	82,7%	15,4%	1,9%
1992	82,7%	15,5%	1,9%
1993	82,6%	15,5%	1,9%
1994	82,6%	15,5%	1,9%

1995	82,7%	15,5%	1,9%
1996	82,7%	15,4%	1,9%
1997	82,8%	15,4%	1,8%
1998	82,8%	15,3%	1,8%
1999	82,7%	15,5%	1,9%
2000	82,5%	15,6%	1,9%
2001	82,3%	15,7%	2,0%
2002	82,1%	15,9%	2,0%
2003	82,0%	16,0%	2,0%
2004	81,8%	16,1%	2,1%
2005	81,6%	16,3%	2,1%
2006	81,4%	16,4%	2,2%
2007	81,3%	16,5%	2,2%
2008	81,1%	16,7%	2,2%
2009	80,9%	16,8%	2,3%
2010	80,7%	16,9%	2,3%
2011	80,7%	16,9%	2,3%
2012	81,3%	16,5%	2,2%
2013	81,0%	16,7%	2,4%
2014	80,5%	17,0%	2,5%
2015	80,5%	16,9%	2,6%
2016	80,0%	17,3%	2,7%
2017	79,5%	17,7%	2,8%
2018	78,9%	18,2%	2,9%

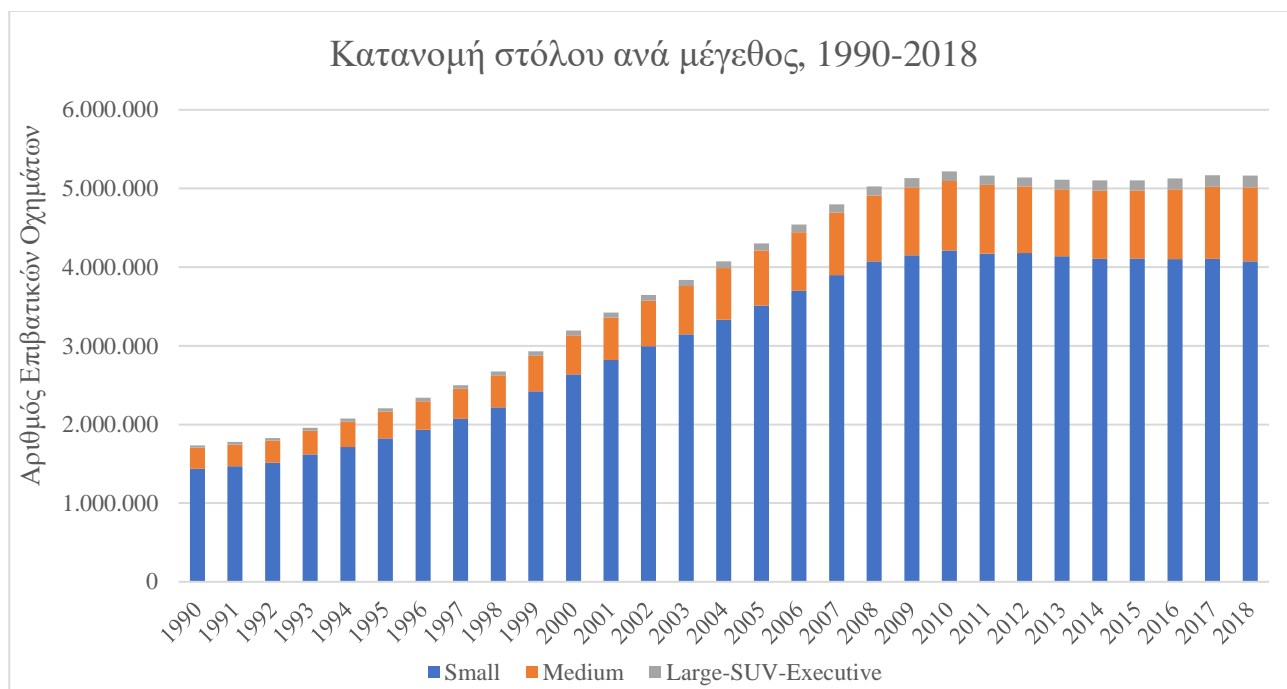
(Πηγή: EMISSIA, 2021)



Γράφημα 4.5 Ποσοστά μεγέθους επιβατικών οχημάτων για το έτος 2018.

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

Στο Γράφημα 4.6 που ακολουθεί απεικονίζεται η κατανομή των επιβατικών οχημάτων βάσει του μεγέθους τους από το 1990 έως και το 2018. Από το γράφημα φαίνεται ξεκάθαρα η μεγάλη πλειοψηφία που κατέχουν τα μικρά οχήματα, η οποία παρόλα αυτά μειώνεται ελάχιστα με το πέρασμα των χρόνων. Τα μεσαία και μεγάλα οχήματα άρχισαν να κερδίζουν έδαφος από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα και μάλιστα από το 2015 και μετά η αυξητική τους πορεία γίνεται εντονότερη. Ιδιαίτερα, τα ποσοστά των μεγάλων οχημάτων εκτιμάται ότι θα αυξηθούν εντονότερα στα επόμενα χρόνια καθώς σύμφωνα με την ACEA, το 2015 τα μεγάλα οχήματα αποτελούσαν το 22% των καινούριων πωλήσεων στην Ευρώπη, ενώ το 2020 το ποσοστό αυτό έφτασε το 40% (ACEA, 2021c).



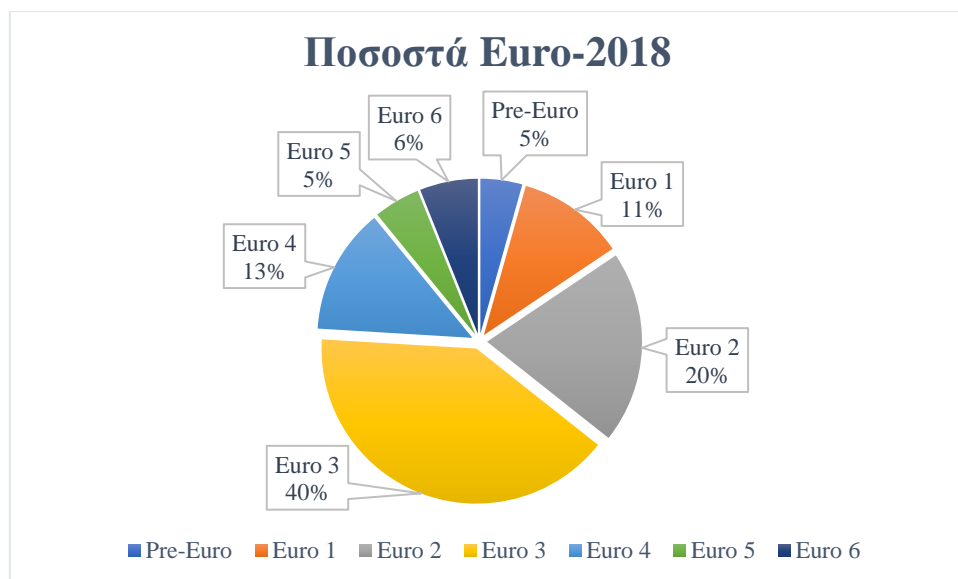
Γράφημα 4.6 Κατανομή στόλου επιβατικών βάσει του μεγέθους από το 1990-2018.
(Πηγή: EMISSIA, 2021)

4.6 Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά πρότυπο μέτρησης εκπομπών ρύπων 1990-2018

Τα οχήματα που πωλούνται στην Ευρώπη υπόκεινται σε αυστηρούς περιορισμούς όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων που απελευθερώνουν. Η πρόοδος της τεχνολογίας συνέβαλε στην σταδιακή αυστηροποίηση των πρότυπων εκπομπών και κατ' επέκταση στη μείωση των συνολικών ρύπων. Επομένως όσο λιγότερα είναι τα οχήματα παλαιότερων Euro, τόσο λιγότερο ρυπογόνος είναι ο στόλος οχημάτων.

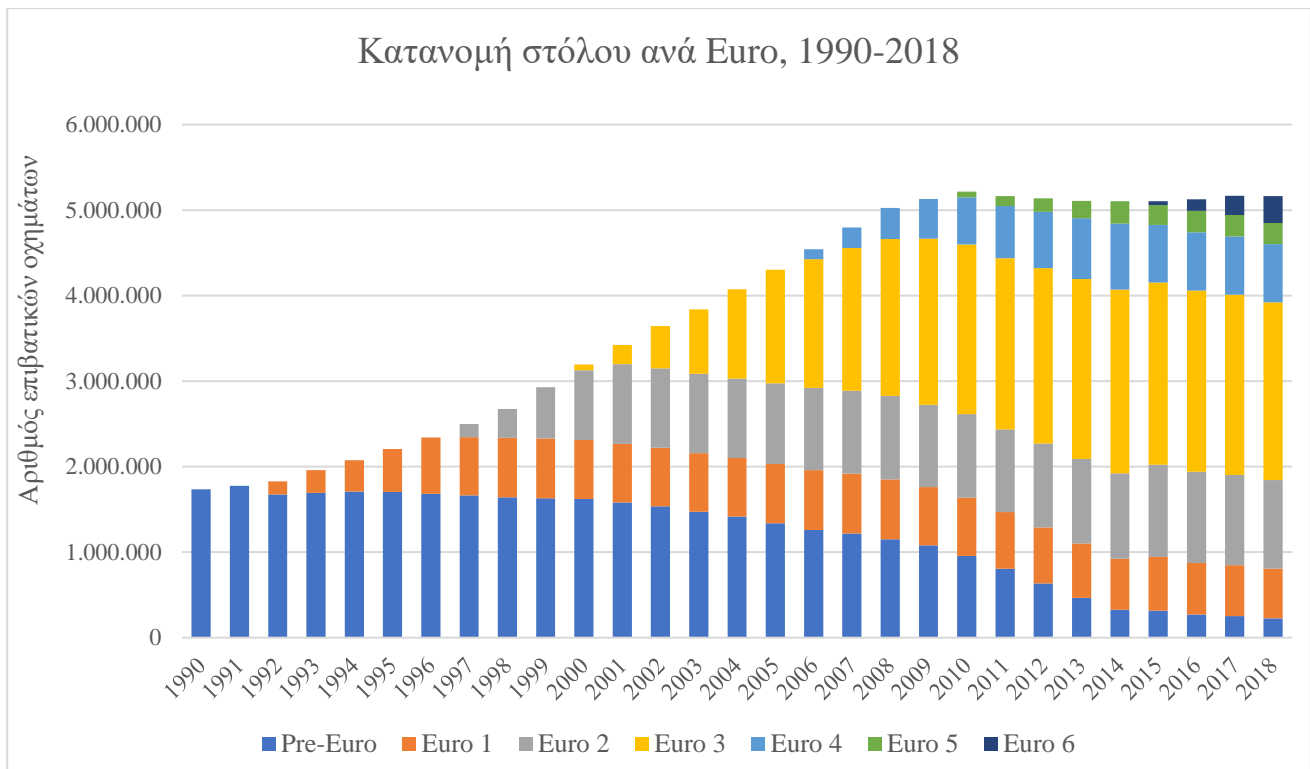
Στο Γράφημα 4.7 αποτυπώνονται τα ποσοστά πρότυπων Euro των επιβατικών οχημάτων για το έτος 2018. Όπως παρατηρείται, η Ελλάδα απαρτίζεται κατά την πλειοψηφία της από παλαιότερα πρότυπα Euro. Τα οχήματα Euro 3, τα οποία απευθύνονται σε οχήματα ηλικίας περίπου 20 ετών, κυριαρχούν με ποσοστό 40%, ενώ τα ακόμα παλαιότερα οχήματα Euro 2 ακολουθούν με ποσοστό 20%. Επιπλέον, προκαλεί εντύπωση το γεγονός ότι 5 στα 100 αυτοκίνητα χρονολογείται πριν την θέσπιση των προτύπων Euro το 1992, άρα απευθύνονται σε οχήματα άνω των 30 ετών.

Σύμφωνα με άρθρο της ACEA, το οποίο δημοσιεύθηκε το 2019, ο μέσος όρος ηλικίας των επιβατικών οχημάτων στην Ευρώπη είναι τα 11,5 χρόνια, ενώ η αντίστοιχη τιμή για την Ελλάδα είναι τα 16 χρόνια. Για την ακρίβεια, ο στόλος επιβατικών της Ελλάδας είναι ο τέταρτος πιο γηραιός στόλος της Ευρώπης βρισκόμενος μετά από την Λιθουανία, την Εσθονία και την Ρουμανία. Επομένως συμπεραίνεται ότι ο στόλος της Ελλάδας είναι από τους πλέον πιο ρυπογόνους στόλους της Ευρώπης, καθώς η συντριπτική πλειοψηφία οχημάτων δεν συμμορφώνεται με τα νεότερα και πιο αυστηροποιημένα πρότυπα μέτρησης εκπομπών ρύπων. Τα παραπάνω επαληθεύονται και από τα δεδομένα της EMISIA, καθώς όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα, το 76% των οχημάτων είναι έως και Euro 3, ενώ το ποσοστό των οχημάτων που είναι έως και Euro 4 φτάνει το 89% (ACEA, 2021a).



Γράφημα 4.7 Ποσοστά πρότυπων Euro επιβατικών οχημάτων για το έτος 2018.
(Πηγή: EMISIA, 2021)

Στο Γράφημα 4.8 παρουσιάζεται η κατανομή των επιβατικών οχημάτων βάσει των προτύπων μέτρησης εκπομπών ρύπων (Euro) από το 1990 έως και το 2018. Μπορούν να διακριθούν οι χρονολογίες όπου εντάσσονται τα καινούρια πρότυπα Euro, αλλά και τα μερίδια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία.



Γράφημα 4.8 Κατανομή στόλου επιβατικών βάσει των προτύπων Euro από το 1990-2018. (Πηγή: EMISIA, 2021)

4.7 Συνολικά χιλιόμετρα οχημάτων 1990-2018

Τα δεδομένα της EMISIA αφορούν τον αριθμό αυτοκινήτων και τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα για κάθε μια από τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Το γινόμενο των αυτοκινήτων και των μέσων χιλιομέτρων αποδίδει τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύει η κάθε κατηγορία, το οποίο είναι σημαντικό για να κατανοηθεί ποιες από τις κατηγορίες δραστηριοποιούνται περισσότερο.

Από το 1990 έως το 2009 τα συνολικά χιλιόμετρα αυξάνονται κάθε χρόνο, εμφανίζοντας τη μέγιστη τιμή τους το 2009 με 80 δισεκατομμύρια χιλιόμετρα. Η αύξηση αυτή είναι απολύτως φυσιολογική αφού, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 4.2, στο ίδιο χρονικό διάστημα υπάρχει αύξηση και των συνολικών οχημάτων. Οι οικονομική κρίση επηρέασε αισθητά τα χιλιόμετρα που διένυαν οι οδηγοί με αποτέλεσμα τα αμέσως επόμενα χρόνια τα ετήσια χιλιόμετρα να φτάσουν και να σταθεροποιηθούν στα περίπου 60 δισεκατομμύρια, μια μείωση της τάξεως του 25%. Στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζεται αναλυτικά ο συνολικός αριθμός χιλιομέτρων στην Ελλάδα από το 1990-2018.

Πίνακας 4.11 Συνολικά χιλιόμετρα οχημάτων στην Ελλάδα από το 1990-2018.

ΕΤΟΣ	Χιλιόμετρα (x10 ⁹)	ΕΤΟΣ	Χιλιόμετρα (x10 ⁹)
1990	37,4	2005	72,2
1991	39,7	2006	73,7
1992	41,3	2007	77,4
1993	43,0	2008	76,1
1994	44,2	2009	80,1
1995	46,2	2010	74,8
1996	49,3	2011	70,5
1997	51,2	2012	59,6
1998	54,3	2013	58,8
1999	56,3	2014	58,0
2000	58,0	2015	61,3
2001	60,4	2016	61,4
2002	63,7	2017	60,2
2003	67,6	2018	59,8
2004	69,1		

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

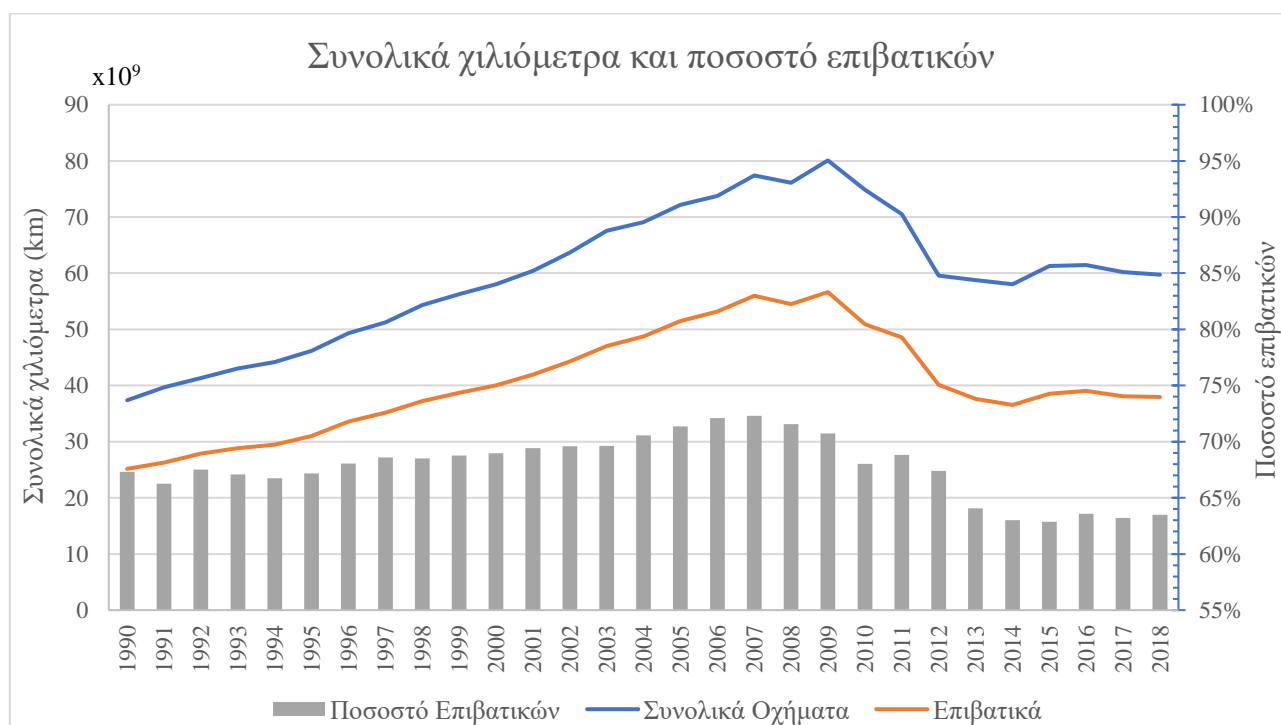
4.8 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων 1990-2018

Τα επιβατικά αυτοκίνητα αποτελούν το μεγαλύτερο μερίδιο του στόλου αυτοκινήτων της Ελλάδας, επομένως είναι αναμενόμενο πως θα καταλαμβάνουν και το μεγαλύτερο ποσοστό διανυόμενων χιλιομέτρων. Πιο συγκεκριμένα, το 2018 τα επιβατικά ήταν υπεύθυνα για το 63,5% των συνολικών χιλιομέτρων, με τα φορτηγά να ακολουθούν με ποσοστό 23,2%. Στην τρίτη θέση βρίσκονται τα δίκυκλα με 12,4%, ενώ τα λεωφορεία συμμετέχουν με ποσοστό μόλις 0,8%. Σε σύγκριση με την διάρθρωση του στόλου οχημάτων, παρατηρείται ότι τα φορτηγά παρότι είναι λιγότερα σε αριθμό από τα δίκυκλα, πραγματοποιούν πολλά περισσότερα χιλιόμετρα. Αυτό συμβαίνει διότι τα περισσότερα δίκυκλα πραγματοποιούν λίγα χιλιόμετρα καθώς είναι κατασκευασμένα για την εξυπηρέτηση αναγκών σε επίπεδο πόλεως. Τέλος, το ποσοστό χιλιομέτρων των επιβατικών και των λεωφορείων θα μπορούσε να θεωρηθεί ταυτόσημο με το ποσοστό διάρθρωσης του στόλου. Στο Γράφημα 4.9 που ακολουθεί, απεικονίζονται τα ποσοστά των συνολικών χιλιομέτρων βάσει της διάρθρωσης του στόλου οχημάτων στην Ελλάδα για το έτος 2018.



Γράφημα 4.9 Ποσοστά συνολικών χιλιομέτρων βάσει της διάρθρωσης στόλου οχημάτων στην Ελλάδα για το 2018.
(Πηγή: EMISSIA, 2021)

Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 4.10 στο οποίο απεικονίζονται τα διανυόμενα χιλιόμετρα των επιβατικών αυτοκινήτων και των συνολικών οχημάτων, αλλά και το ποσοστό των επιβατικών έναντι των συνολικών για κάθε έτος από το 1990 έως και το 2018.

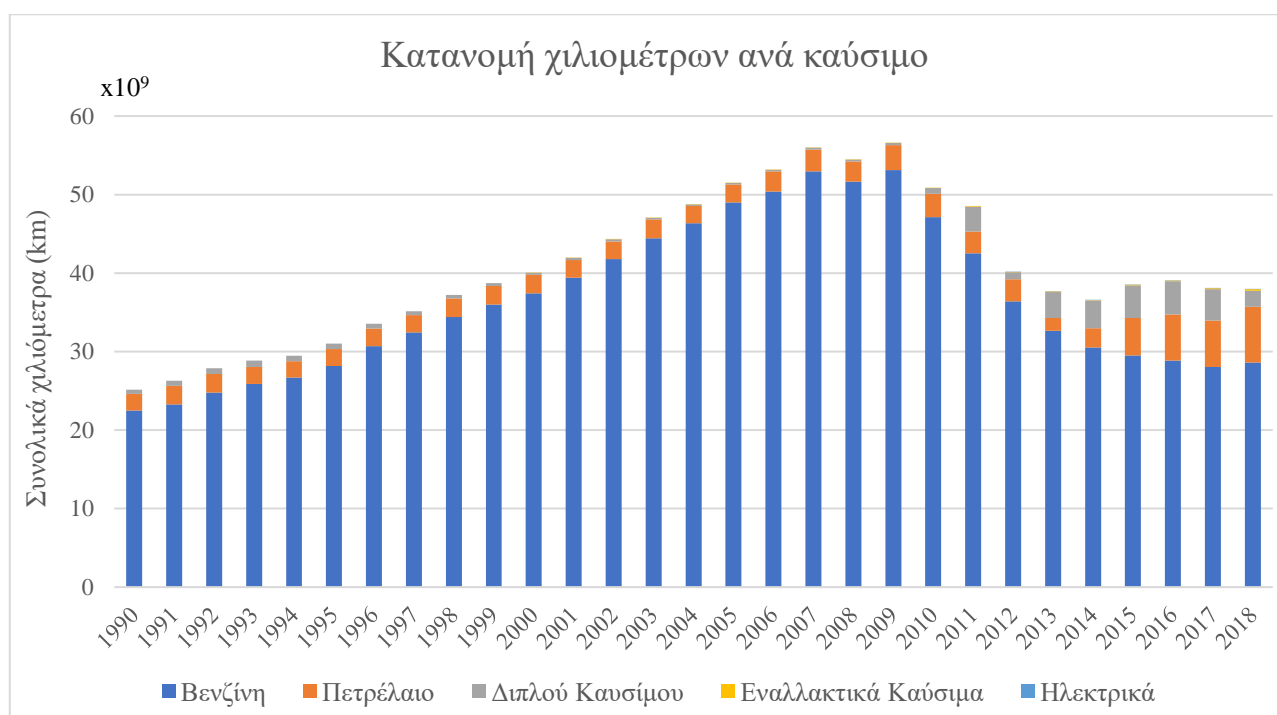


Γράφημα 4.10 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών, συνολικά χιλιόμετρα οχημάτων και ποσοστό επιβατικών έναντι συνολικών οχημάτων από το 1990-2018.

Σε γενικές γραμμές, η τάση των χιλιομέτρων των επιβατικών αυτοκινήτων συμφωνεί με την τάση των συνολικών χιλιομέτρων. Από το 1990 έως το 2009 τα ποσοστά των διανυόμενων χιλιομέτρων των επιβατικών αυτοκινήτων είχαν αυξητική τάση, φτάνοντας μέχρι και το 72%. Η οικονομική κρίση ανάγκασε όλο και περισσότερο κόσμο να χρησιμοποιήσει τα μέσα μαζικής μεταφοράς για λόγους οικονομίας, επομένως από το 2010 και έπειτα παρατηρείται μια σημαντική μείωση αυτού του ποσοστού.

4.9 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 1990-2018

Στον Γράφημα 4.11 παρουσιάζεται η κατανομή των χιλιομέτρων που καταλαμβάνει το κάθε καύσιμο από το σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων από το 1990 έως και το 2018. Όπως παρατηρείται, από το 1990 μέχρι το 2010, τα βενζινοκίνητα οχήματα ήταν υπεύθυνα για σχεδόν ολόκληρη την κινητική δραστηριότητα με ποσοστά που υπερβαίνουν το 90%. Από το 2010 και μετά, το ποσοστό αυτό άρχισε να υποχωρεί ενώ τα χιλιόμετρα από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα και τα οχήματα διπλού καυσίμου άρχισαν να αυξάνονται.



Γράφημα 4.11 Κατανομή χιλιομέτρων επιβατικών βάσει του καυσίμου κίνησης από το 1990-2018.

Σύμφωνα με το παρακάτω Γράφημα 4.12 για το έτος 2018 τα βενζινοκίνητα οχήματα ήταν υπεύθυνα για το 75,4% των συνολικών χιλιομέτρων με τα πετρελαιοκίνητα να ακολουθούν με 18,7%. Από την

άλλη πλευρά, μικρό μερίδιο συμμετοχής είχαν τα αυτοκίνητα με εναλλακτική κίνηση και τα ηλεκτρικά, τα οποία αποτέλεσαν μόλις το 0,5% και 0,02% αντίστοιχα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα, παρότι για το 2018 αποτελούν μόλις το 7,2% του συνολικού στόλου αυτοκινήτων, διανύουν για το ίδιο έτος το 18,7% των συνολικών χιλιομέτρων, κερδίζοντας έδαφος από τα βενζινοκίνητα τα οποία, αν και αποτελούν το 86,4% των επιβατικών, διανύουν το 75,4% των συνολικών χιλιομέτρων. Τέλος, δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη αλλαγή στα αντίστοιχα ποσοστά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των αυτοκινήτων διπλού καυσίμου ή εναλλακτικών καυσίμων.



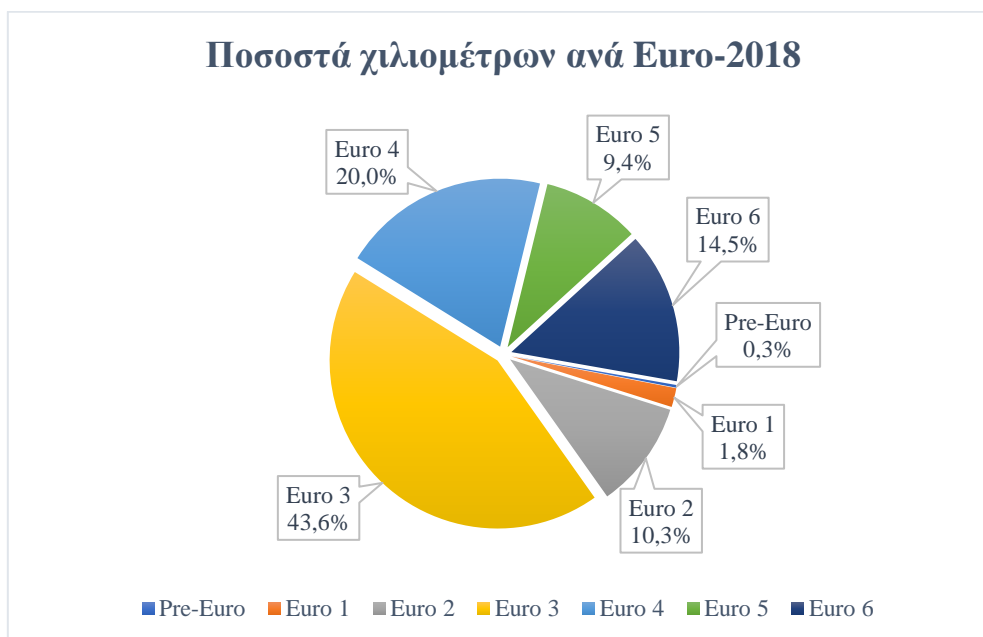
Γράφημα 4.12 Ποσοστά συνολικών χιλιομέτρων επιβατικών βάσει του καυσίμου στην Ελλάδα για το 2018.

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

4.10 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων ανά πρότυπο Euro 1990-2018

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στην ενότητα 4.6, η Ελλάδα απαρτίζεται κατά μεγάλο ποσοστό από οχήματα μεγάλης ηλικίας και κατ' επέκταση από παλαιότερα πρότυπα Euro, τα οποία είναι περισσότερο ρυπογόνα. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να μπορεί να αποτυπωθεί κατά πόσο δραστηριοποιείται η κάθε κατηγορία Euro. Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 4.13, τα αυτοκίνητα Euro 3 κυριαρχούν και δραστηριοποιούνται περισσότερο με ποσοστό 43,6%, ενώ τα Euro 4 ακολουθούν με 20%. Στην τρίτη θέση βρίσκονται τα πιο καινούρια Euro 6 με ποσοστό 14,5%. Τα

Euro 2 και Euro 5 συμμετέχουν με ποσοστό περίπου 10%, ενώ πολύ ενώ αμελητέα κινητικότητα προσφέρουν τα Euro 1 και τα Pre-Euro με ποσοστά 1,8% και 0,3% αντίστοιχα.



Γράφημα 4.13 Ποσοστά συνολικών χιλιομέτρων επιβατικών βάσει των προτύπων Euro στην Ελλάδα για το 2018.
(Πηγή: EMISSIA, 2021)

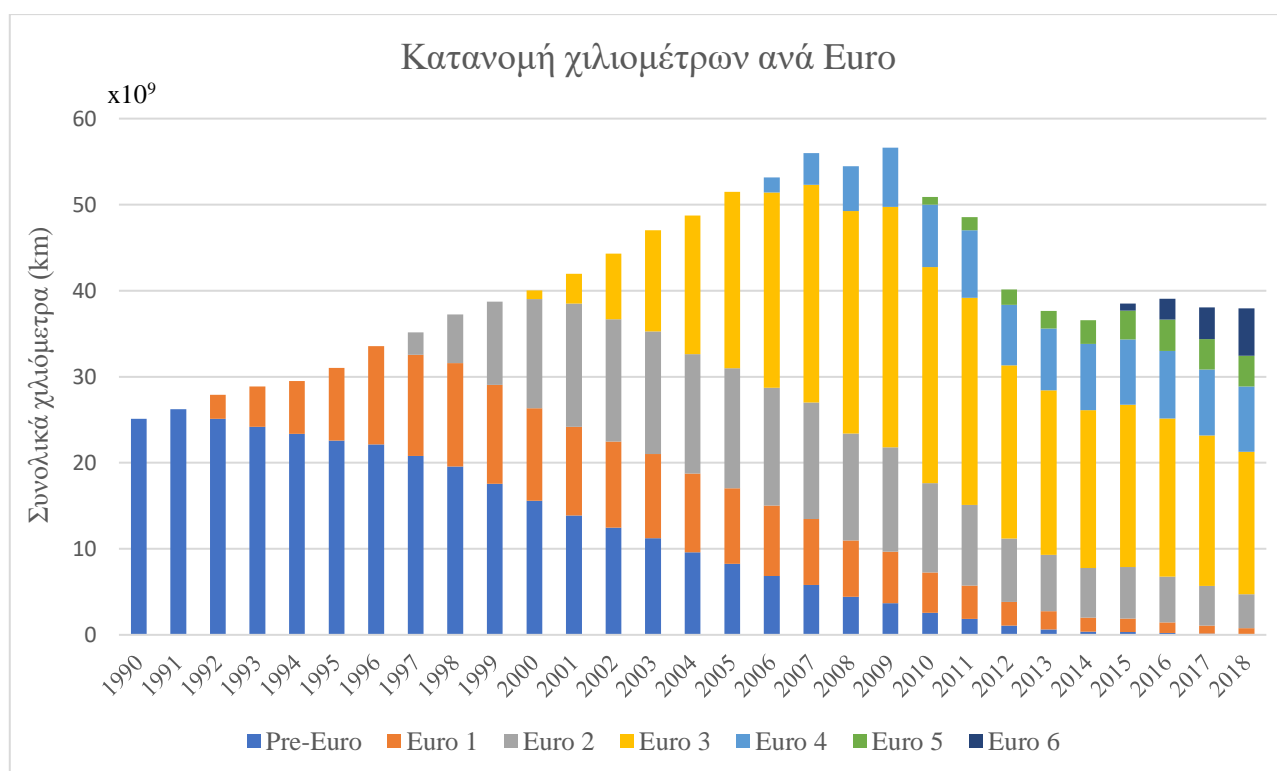
Στο Πίνακα 4.12 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά του στόλου αυτοκινήτων και τα ποσοστά των συνολικών χιλιομέτρων που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία Euro για το έτος 2018. Αξίζει να επισημανθεί πως τα Pre-Euro και τα Euro 1, μολονότι καλύπτουν το περίπου 15% του στόλου επιβατικών αυτοκινήτων, συμμετέχουν μόνο στο 2% των συνολικών χιλιομέτρων, κάτι το οποίο είναι θετικό καθώς απευθύνονται στα πιο ρυπογόνα οχήματα του στόλου. Από την άλλη πλευρά τα Euro 5 και Euro 6, παρότι για το 2018 αποτελούν μόλις το 10,9% του συνολικού στόλου αυτοκινήτων, διανύουν για το ίδιο έτος το 23,9% των συνολικών χιλιομέτρων, κάτι το οποίο είναι εξίσου θετικό καθώς είναι τα λιγότερο ρυπογόνα αυτοκίνητα. Παρόλα αυτά, το μεγαλύτερο ποσοστό του στόλου αλλά και των χιλιομέτρων αναφέρεται στα οχήματα Euro 3, με ποσοστό που ξεπερνάει το 40%. Τα Euro 3 είναι οχήματα περίπου 20 ετών, επομένως θεωρούνται αρκετά ρυπογόνα και θα πρέπει να αντικατασταθούν με οχήματα νεότερων προτύπων Euro, έτσι ώστε να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων.

Πίνακας 4.12 Ποσοστά αυτοκινήτων και ποσοστά χιλιομέτρων ανά Euro για το έτος 2018.

Πρότυπα Euro	Ποσοστά αυτοκινήτων (%)	Ποσοστά χιλιομέτρων (%)
Pre-Euro	4,4	0,3
Euro 1	11,2	1,8
Euro 2	20,1	10,3
Euro 3	40,3	43,6
Euro 4	13,1	20,0
Euro 5	4,8	9,4
Euro 6	6,1	14,5

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

Στο Γράφημα 4.14 παρουσιάζεται η κατανομή των χιλιομέτρων των επιβατικών οχημάτων βάσει των προτύπων μέτρησης εκπομπών ρύπων (Euro) από το 1990 έως και το 2018. Μπορούν να διακριθούν οι χρονολογίες όπου εντάσσονται τα καινούρια πρότυπα Euro, αλλά και τα μερίδια που καταλαμβάνει η κάθε κατηγορία.



Γράφημα 4.14 Κατανομή χιλιομέτρων επιβατικών βάσει των προτύπων Euro από το 1990-2018.

(Πηγή: EMISSIA, 2021)

5. Πρόβλεψη στόλου οχημάτων και μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων

Ένας από τους σκοπούς της εργασίας είναι να γίνει εκτίμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέχρι το 2030. Για την εκτίμηση αυτή είναι αναγκαίος ο αριθμός οχημάτων και τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα για κάθε έτος. Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί η πρόβλεψη του στόλου οχημάτων με την μέθοδο της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης Brown, η οποία αναλύθηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Επιπλέον θα γίνει πρόβλεψη για τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της χρονοσειράς, καθώς δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία για τον τρόπο υπολογισμού τους.

5.1 Ομαδοποίηση επιβατικού στόλου οχημάτων

Σύμφωνα με τα αρχικά δεδομένα της EMISIA, όπως παρουσιάζονται στην ενότητα 4.1, τα επιβατικά αυτοκίνητα χωρίζονται σε 184 διαφορετικές υποκατηγορίες ανάλογα με το καύσιμο, το μέγεθος και τα πρότυπα Euro. Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, δεν θα ήταν πρακτικό αλλά ούτε και ορθό να εφαρμοστεί η διπλή εκθετική εξομάλυνση σε όλες αυτές τις υποκατηγορίες. Επομένως εφαρμόστηκε ομαδοποίηση και από τις 184 υποκατηγορίες, προέκυψαν 28 οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.1 Υποκατηγορίες επιβατικών αυτοκινήτων βάσει το καύσιμο και τα πρότυπα Euro.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro
Βενζίνη	Pre-Euro
Βενζίνη	Euro 1
Βενζίνη	Euro 2
Βενζίνη	Euro 3
Βενζίνη	Euro 4
Βενζίνη	Euro 5
Βενζίνη	Euro 6
Πετρέλαιο	Pre-Euro
Πετρέλαιο	Euro 1
Πετρέλαιο	Euro 2
Πετρέλαιο	Euro 3
Πετρέλαιο	Euro 4
Πετρέλαιο	Euro 5
Πετρέλαιο	Euro 6

Διπλού Καυσίμου	Pre-Euro
Διπλού Καυσίμου	Euro 1
Διπλού Καυσίμου	Euro 2
Διπλού Καυσίμου	Euro 3
Διπλού Καυσίμου	Euro 4
Διπλού Καυσίμου	Euro 5
Διπλού Καυσίμου	Euro 6
Εναλλακτικά Καύσιμα	Euro 4
Εναλλακτικά Καύσιμα	Euro 5
Εναλλακτικά Καύσιμα	Euro 6
PHEV	Euro 5
PHEV	Euro 6
BEV	Euro 5
BEV	Euro 6

Στους Πίνακες 5.2α και 5.2β παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της ομαδοποίησης για το έτος 1990. Πιο αναλυτικά, στον Πίνακα 5.2α εμφανίζονται οι αρχικές υποκατηγορίες πριν την ομαδοποίηση, ενώ στο Πίνακα 5.2β παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης. Όλα τα πρότυπα πριν τη θέσπιση των Euro ομαδοποιούνται δημιουργώντας την νέα κατηγορία Pre-Euro, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος των οχημάτων. Επομένως το άθροισμα των τιμών του Πίνακα 5.2α ισοδυναμεί με 1.663.682, το οποίο είναι το αποτέλεσμα της καινούριας ομαδοποιημένης υποκατηγορίας. Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιήθηκε για όλες τις περιπτώσεις, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.5 και τον Πίνακα 4.6, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο τις νέες 28 ομαδοποιημένες υποκατηγορίες.

Πίνακας 5.2α Αρχικές υποκατηγορίες πριν την ομαδοποίηση.

Καύσιμο	Μέγεθος	Πρότυπα Euro	Αριθμός οχημάτων το 1990
Βενζίνη	Small	PRE ECE	139.065
Βενζίνη	Small	ECE 15/00-01	252.309
Βενζίνη	Small	ECE 15/02	174.725
Βενζίνη	Small	ECE 15/03	283.334
Βενζίνη	Small	ECE 15/04	544.631
Βενζίνη	Medium	PRE ECE	26.332
Βενζίνη	Medium	ECE 15/00-01	47.774
Βενζίνη	Medium	ECE 15/02	33.084
Βενζίνη	Medium	ECE 15/03	53.649
Βενζίνη	Medium	ECE 15/04	83.610
Βενζίνη	Large-SUV-Executive	PRE ECE	2.941
Βενζίνη	Large-SUV-Executive	ECE 15/00-01	5.335

Βενζίνη	Large-SUV-Executive	ECE 15/02	3.695
Βενζίνη	Large-SUV-Executive	ECE 15/03	5.991
Βενζίνη	Large-SUV-Executive	ECE 15/04	7.209

Πίνακας 5.2β Αποτέλεσμα μετά την ομαδοποίηση.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	Αριθμός οχημάτων το 1990
Βενζίνη	Pre-Euro	1.663.682

Εφαρμόζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν οι Πίνακες 4.11.2α και 4.11.2β, στους οποίους παρουσιάζονται ο ακριβής αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων από το 1990 έως και το 2018, σύμφωνα με την ομαδοποίηση των υποκατηγοριών της EMISIA. Οι πίνακες έχουν δημιουργηθεί στο Excel της Microsoft και έχουν μεταφερθεί σε μορφή φωτογραφίας.

Πίνακας 5.3α Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων κάθε κατηγορίας βάσει της ομαδοποίησης από το 1990-2004.

Καύσιμο	Euro Standard	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Βενζίνη	Pre-Euro	1.663.682	1.691.793	1.581.300	1.590.733	1.620.295	1.619.212	1.610.833	1.607.209	1.588.191	1.582.121	1.572.592	1.526.358	1.473.682	1.404.605	1.344.782
Βενζίνη	Euro 1	2.062	2.344	154.089	265.817	359.119	489.886	639.583	662.620	679.970	683.317	675.388	669.725	669.389	670.303	670.417
Βενζίνη	Euro 2								154.602	333.519	591.794	807.171	915.012	915.507	916.984	917.549
Βενζίνη	Euro 3											65.884	225.643	489.995	742.568	1.022.853
Βενζίνη	Euro 4															
Βενζίνη	Euro 5															
Βενζίνη	Euro 6															
Πετρέλαιο	Pre-Euro	19.779	21.680	23.711	26.994	28.001	27.197	24.474	22.240	20.101	27.024	33.511	40.661	50.167	58.570	64.402
Πετρέλαιο	Euro 1						1.800	4.532	6.760	7.890	9.162	10.790	11.602	11.670	11.689	11.713
Πετρέλαιο	Euro 2								1	1.006	2.129	4.670	7.231	7.286	7.316	7.325
Πετρέλαιο	Euro 3												666	3.130	7.131	15.572
Πετρέλαιο	Euro 4															
Πετρέλαιο	Euro 5															
Πετρέλαιο	Euro 6															
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	50.000	61.667	70.000	74.850	61.357	57.834	48.750	35.327	31.529	21.746	14.877	14.313	12.154	8.814	7.382
Διπλού καυσίμου	Euro 1				150	5.310	8.833	11.250	11.246	10.437	7.234	4.917	4.816	4.197	3.165	2.745
Διπλού καυσίμου	Euro 2								93	3.034	4.354	5.206	7.261	6.334	4.778	4.146
Διπλού καυσίμου	Euro 3												276	2.315	3.244	4.061
Διπλού καυσίμου	Euro 4															
Διπλού καυσίμου	Euro 5															
Διπλού καυσίμου	Euro 6															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4											60	140	244	382	566
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6															
PHEV	Euro 5															
PHEV	Euro 6															
BEV	Euro 5															
BEV	Euro 6															
Συνολικά Επιβατικά		1.735.523	1.777.484	1.829.100	1.958.544	2.074.081	2.204.761	2.339.421	2.500.099	2.675.676	2.928.881	3.195.065	3.423.704	3.646.069	3.839.549	4.073.511

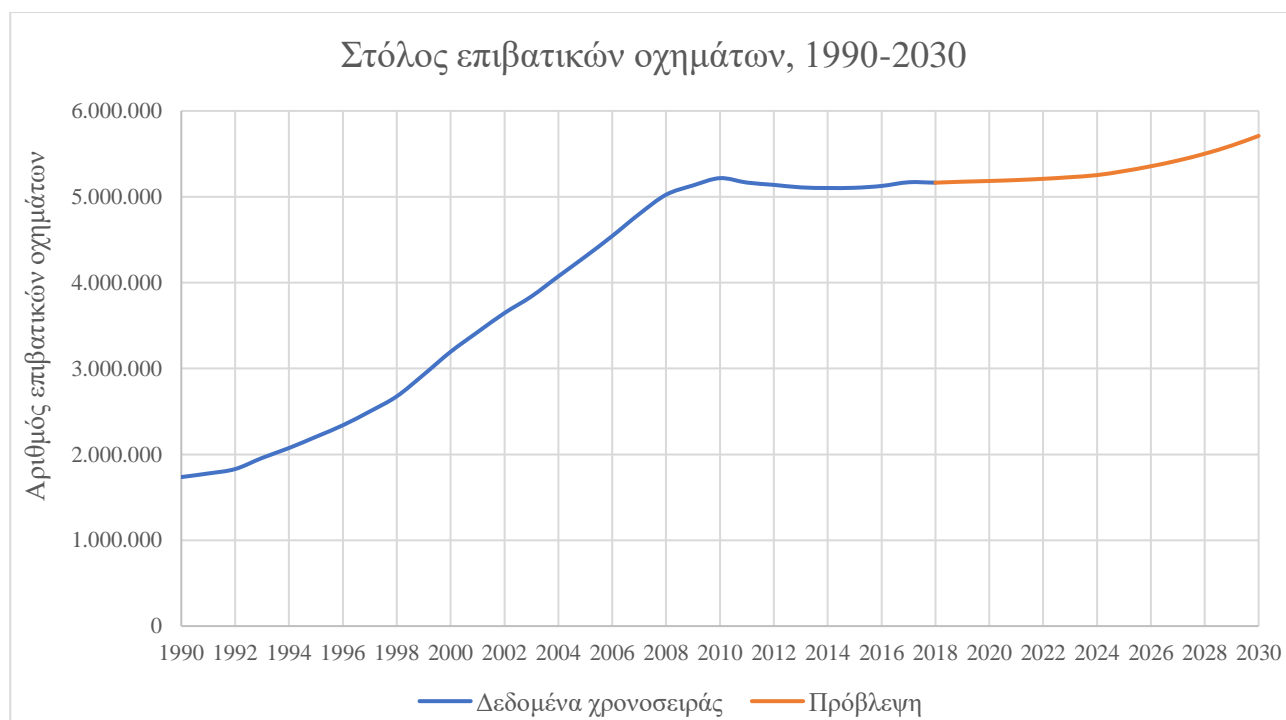
Πίνακας 5.3β Αριθμός επιβατικών αυτοκινήτων κάθε κατηγορίας βάσει της ομαδοποίησης από το 2005-2018.

Καύσιμο	Euro Standard	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Βενζίνη	Pre-Euro	1.264.478	1.184.219	1.140.775	1.073.960	998.755	871.870	698.651	552.375	411.987	290.505	276.632	238.045	221.180	195.415
Βενζίνη	Euro 1	674.946	678.992	678.689	677.440	658.996	656.792	620.063	614.339	593.112	557.493	584.153	555.692	546.873	532.374
Βενζίνη	Euro 2	930.133	946.998	950.183	955.347	940.741	945.452	908.687	924.256	932.712	941.550	1.006.948	990.499	977.174	955.862
Βενζίνη	Euro 3	1.300.178	1.470.455	1.627.079	1.779.675	1.881.658	1.909.501	1.864.371	1.917.965	1.958.285	2.004.290	1.966.547	1.946.895	1.931.500	1.900.113
Βενζίνη	Euro 4		112.066	231.292	348.163	446.573	523.146	555.644	592.463	623.634	662.569	578.977	584.820	582.445	574.980
Βενζίνη	Euro 5						64.127	106.530	130.049	151.622	181.173	155.198	166.749	166.610	164.966
Βενζίνη	Euro 6											15.557	51.396	96.250	139.362
Πετρέλαιο	Pre-Euro	67.715	68.767	71.465	73.153	76.454	74.570	71.000	54.353	31.994	19.221	18.056	15.634	14.313	12.821
Πετρέλαιο	Euro 1	14.545	17.279	18.572	19.179	20.710	21.418	22.173	22.386	19.770	14.819	16.616	15.630	15.105	14.508
Πετρέλαιο	Euro 2	9.586	12.415	14.583	16.576	18.209	20.198	21.584	21.922	20.717	18.168	19.434	19.143	18.608	18.131
Πετρέλαιο	Euro 3	22.407	29.897	38.002	47.070	52.209	58.656	59.848	61.744	61.642	54.637	53.130	52.566	51.294	49.798
Πετρέλαιο	Euro 4		2.463	6.330	11.249	14.760	19.512	24.578	36.746	53.362	68.572	51.230	52.974	52.286	51.454
Πετρέλαιο	Euro 5						2.717	7.540	20.041	39.938	63.137	63.730	65.424	65.054	64.635
Πετρέλαιο	Euro 6											27.944	75.940	119.326	160.474
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	6.563	5.844	5.852	5.283	4.797	9.289	35.242	26.019	21.817	16.814	19.284	18.238	18.119	17.335
Διπλού καυσίμου	Euro 1	2.609	2.486	2.564	2.431	2.301	5.020	22.079	20.376	22.300	22.936	29.466	30.718	32.018	33.274
Διπλού καυσίμου	Euro 2	3.961	3.824	3.976	3.807	3.638	7.983	35.505	33.278	37.478	40.690	52.812	56.681	59.378	62.085
Διπλού καυσίμου	Euro 3	5.201	5.971	6.768	7.043	7.284	16.969	76.667	72.721	82.915	91.150	109.210	117.955	124.299	130.807
Διπλού καυσίμου	Euro 4		208	840	1.436	1.980	5.604	27.183	27.240	32.681	37.584	40.766	44.503	47.062	49.828
Διπλού καυσίμου	Euro 5						140	3.327	5.372	8.088	11.106	12.418	15.279	16.190	17.226
Διπλού καυσίμου	Euro 6											191	3.110	3.418	4.471
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	809	1.132	1.561	2.133	2.894	2.836	2.766	2.687	2.608	2.528	2.446	2.366	2.237	2.148
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5						1.072	1.982	2.412	2.767	3.189	3.156	3.110	3.084	3.154
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6											853	2.394	4.748	8.201
PHEV	Euro 5								1	2	27	26	26	25	9
PHEV	Euro 6											44	124	280	525
BEV	Euro 5								1	3	45	46	54	48	12
BEV	Euro 6											38	60	100	214
Συνολικά Επιβατικά		4.303.129	4.543.016	4.798.530	5.023.944	5.131.960	5.216.873	5.165.419	5.138.745	5.109.435	5.102.203	5.104.908	5.126.024	5.169.026	5.164.183

5.2 Πρόβλεψη επιβατικού στόλου οχημάτων 2019-2030

Μετά το πέρας της ομαδοποίησης, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή της διπλής εκθετικής εξομάλυνσης Brown σε καθεμία από τις 28 υποκατηγορίες με τα αποτελέσματα να παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4 της επόμενης σελίδας. Στην συνέχεια θα ακολουθήσουν διάφορες παραδοχές που πάρθηκαν αλλά επίσης θα δοθεί και αναλυτική επεξήγηση της μεθοδολογίας υπολογισμού. Να τονισθεί πως στα ηλεκτρικά οχήματα BEV και PHEV δεν πραγματοποιήθηκε διπλή εκθετική εξομάλυνση αλλά χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των προβλέψεων από το ΕΣΕΚ.

Σύμφωνα λοιπόν με την πρόβλεψη, το 2030 αναμένεται να υπάρχουν 5.708.955 επιβατικά οχήματα, δηλαδή 544.772 περισσότερα από το 2018, μια αύξηση που ισοδυναμεί με 10,5%. Η αύξηση αυτή θεωρείται απολύτως φυσιολογική και συνάδει με την πραγματικότητα, καθώς και ο ΕΣΕΚ προβλέπει αύξηση του επιβατικού στόλου και μάλιστα μεγαλύτερη, φτάνοντας το 2030 στα περίπου 6 εκατομμύρια οχήματα. Στο γράφημα 5.1 παρουσιάζεται ο στόλος οχημάτων από το 1990 έως και το 2030 σύμφωνα με την παραπάνω πρόβλεψη.



Γράφημα 5.1 Στόλος επιβατικών οχημάτων στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2030.

Πίνακας 5.4 Πρόβλεψη επιβατικών αυτοκινήτων με τη μέθοδο διπλής εκθετικής εξομάλυνσης από το 2019-2030.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Pre-Euro	170.709	145.978	121.248	96.517	71.787	47.057	37.289	29.549	23.416	18.555	14.704	11.652
Βενζίνη	Euro 1	518.889	505.337	491.784	478.232	464.679	451.127	437.574	424.022	410.470	396.917	383.365	369.812
Βενζίνη	Euro 2	934.709	913.555	892.401	871.247	850.093	828.939	807.785	786.631	765.478	744.324	723.170	702.016
Βενζίνη	Euro 3	1.869.045	1.837.975	1.806.905	1.775.835	1.744.765	1.713.695	1.682.625	1.651.555	1.620.485	1.589.415	1.558.345	1.527.275
Βενζίνη	Euro 4	568.708	562.363	556.019	549.674	543.330	536.985	530.640	524.296	517.951	511.607	505.262	498.917
Βενζίνη	Euro 5	166.039	166.562	167.085	167.608	168.131	168.654	169.177	169.700	170.223	170.746	171.269	171.792
Βενζίνη	Euro 6	182.506	225.650	268.794	311.938	355.082	398.226	441.370	484.514	527.658	570.802	613.947	657.091
Πετρέλαιο	Pre-Euro	11.332	9.843	8.354	6.865	5.376	3.887	3.193	2.623	2.155	1.770	1.454	1.195
Πετρέλαιο	Euro 1	13.902	13.302	12.701	12.101	11.501	10.900	10.300	9.699	9.099	8.498	7.898	7.298
Πετρέλαιο	Euro 2	17.655	17.178	16.702	16.226	15.749	15.273	14.797	14.320	13.844	13.368	12.891	12.415
Πετρέλαιο	Euro 3	48.363	46.924	45.485	44.046	42.607	41.168	39.729	38.291	36.852	35.413	33.974	32.535
Πετρέλαιο	Euro 4	50.750	50.006	49.262	48.518	47.773	47.029	46.285	45.541	44.796	44.052	43.308	42.564
Πετρέλαιο	Euro 5	64.217	63.800	63.382	62.965	62.547	62.130	61.712	61.295	60.877	60.460	60.042	59.625
Πετρέλαιο	Euro 6	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854	201.854
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	16.812	16.258	15.703	15.148	14.594	14.039	13.484	12.929	12.375	11.820	11.265	10.711
Διπλού καυσίμου	Euro 1	35.480	37.387	39.295	41.202	43.110	45.017	46.924	48.832	50.739	52.647	54.554	56.462
Διπλού καυσίμου	Euro 2	67.600	72.123	76.646	81.169	85.692	90.215	94.738	99.261	103.784	108.307	112.830	117.353
Διπλού καυσίμου	Euro 3	141.727	151.035	160.343	169.650	178.958	188.266	197.573	206.881	216.189	225.497	234.804	244.112
Διπλού καυσίμου	Euro 4	53.345	56.605	59.864	63.124	66.383	69.643	72.902	76.161	79.421	82.680	85.940	89.199
Διπλού καυσίμου	Euro 5	18.460	19.662	20.865	22.067	23.269	24.472	25.674	26.876	28.079	29.281	30.484	31.686
Διπλού καυσίμου	Euro 6	5.393	6.342	7.291	8.239	9.188	10.137	11.086	12.034	12.983	13.932	14.881	15.829
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	2.055	1.961	1.868	1.774	1.681	1.587	1.494	1.401	1.307	1.214	1.120	1.027
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	3.186	3.221	3.257	3.292	3.328	3.363	3.399	3.434	3.470	3.505	3.541	3.576
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	11.631	48.166	84.700	121.234	157.768	194.303	230.837	267.371	303.905	340.439	376.974	413.508
PHEV	Euro 5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
PHEV	Euro 6	801	7.289	14.894	24.096	34.734	47.076	60.970	75.988	91.950	108.676	125.773	142.098
BEV	Euro 5	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
BEV	Euro 6	398	3.451	7.917	14.581	24.015	37.385	55.803	80.307	112.714	155.722	212.960	287.332
Συνολικά Επιβατικά		5.175.588	5.183.849	5.194.639	5.209.224	5.228.016	5.252.448	5.299.238	5.355.389	5.422.095	5.501.523	5.596.630	5.708.955

5.2.1 Ενδεικτικός υπολογισμός εκθετικής εξομάλυνσης

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζεται ο ενδεικτικός υπολογισμός για την κατηγορία βενζίνη και Pre-Euro, έτσι όπως πραγματοποιήθηκε στο Excel, ενώ εν συνεχεία ακολουθεί επεξήγηση της κάθε στήλης.

Πίνακα 5.5 Ενδεικτικός υπολογισμός για την κατηγορία βενζίνη και Pre-Euro.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
A/A	Έτος	Επιβατικά	A_t	A'_t	a_t	b_t	Πρόβλεψη	Error ²
1	1990	1.663.682	1.663.682	1.663.682	1.663.682	18.772		
2	1991	1.691.793	1.686.668	1.682.477	1.690.859	18.794	1.682.454	87.213.092
3	1992	1.581.300	1.600.512	1.615.457	1.585.567	-67.020	1.709.653	16.474.516.202
4	1993	1.590.733	1.592.516	1.596.699	1.588.333	-18.758	1.518.547	5.210.793.784
5	1994	1.620.295	1.615.230	1.611.851	1.618.608	15.152	1.569.575	2.572.460.715
6	1995	1.619.212	1.618.486	1.617.276	1.619.695	5.425	1.633.760	211.667.651
7	1996	1.610.833	1.612.228	1.613.149	1.611.308	-4.127	1.625.120	204.126.179
8	1997	1.607.209	1.608.124	1.609.040	1.607.208	-4.108	1.607.181	810
9	1998	1.588.191	1.591.825	1.594.964	1.588.687	-14.076	1.603.100	222.278.963
10	1999	1.582.121	1.583.891	1.585.910	1.581.871	-9.055	1.574.611	56.408.626
11	2000	1.572.592	1.574.652	1.576.705	1.572.599	-9.205	1.572.817	50.598
12	2001	1.526.358	1.535.164	1.542.738	1.527.590	-33.967	1.563.394	1.371.668.396
13	2002	1.473.682	1.484.892	1.495.439	1.474.345	-47.299	1.493.623	397.653.165
14	2003	1.404.605	1.419.244	1.433.137	1.405.351	-62.302	1.427.046	503.591.657
15	2004	1.344.782	1.358.359	1.371.993	1.344.724	-61.144	1.343.049	3.001.766
16	2005	1.264.478	1.281.595	1.298.078	1.265.113	-73.915	1.283.580	364.904.440
17	2006	1.184.219	1.201.974	1.219.497	1.184.451	-78.581	1.191.197	48.693.613
18	2007	1.140.775	1.151.934	1.164.253	1.139.615	-55.244	1.105.870	1.218.345.324
19	2008	1.073.960	1.088.178	1.102.049	1.074.307	-62.204	1.084.371	108.370.426
20	2009	998.755	1.015.060	1.030.921	999.199	-71.128	1.012.102	178.157.106
21	2010	871.870	897.978	922.218	873.738	-108.702	928.070	3.158.492.560
22	2011	698.651	734.995	769.132	700.858	-153.086	765.036	4.406.908.104
23	2012	552.375	585.673	619.124	552.222	-150.009	547.773	21.178.871
24	2013	411.987	443.656	475.650	411.662	-143.474	402.213	95.538.550
25	2014	290.505	318.430	347.096	289.764	-128.553	268.188	498.050.351
26	2015	276.632	284.253	295.711	272.794	-51.385	161.210	13.322.107.613
27	2016	238.045	246.470	255.448	237.492	-40.263	221.409	276.729.666
28	2017	221.180	225.792	231.199	220.384	-24.249	197.228	573.695.909
29	2018	195.415	200.954	206.469	195.439	-24.730	196.135	517.794
30	2019						170.709	
31	2020						145.978	
32	2021						121.248	
33	2022						96.517	
34	2023						71.787	
35	2024						47.057	
36	2025						22.326	
37	2026						-2.404	
38	2027						-27.135	
39	2028						-51.865	
40	2029						-76.596	
41	2030						-101.326	

α	0,818
SSE	51.587.121.933

- Στήλη A: Ο αύξων αριθμός των γραμμών
- Στήλη B: Τα έτη κατά αύξουσα σειρά
- Στήλη C: Τοποθετούνται οι τιμές στις οποίες πρόκειται να γίνει η πρόβλεψη και συμβολίζονται με Y_t . Στην συγκεκριμένη πρόβλεψη τοποθετούνται τα γνωστά δεδομένα των αριθμών επιβατικών οχημάτων έτσι όπως προέκυψαν από την ομαδοποίηση της χρονοσειράς.
- Στήλη D: Εξομαλύνονται οι αρχικές παρατηρήσεις της χρονοσειράς με την μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης ως εξής:

$$A_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) A_{t-1}$$

όπου α είναι η σταθερά εξομάλυνσης για $0 \leq \alpha \leq 1$, A_t οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς που προκύπτουν από την πρώτη εξομάλυνση, για $t=2, 3, \dots, n$, ενώ για $t=1$ ορίζεται ως αρχική συνθήκη $A_1=Y_1$.

- Στήλη E: Εξομαλύνονται οι εξομαλυνθείσες τιμές A_t της χρονοσειράς με τη μέθοδο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης ως:

$$A'_t = \alpha A_t + (1 - \alpha) A'_{t-1}$$

όπου A'_t είναι οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς που προκύπτουν απλό την δεύτερη εξομάλυνση, για $t=2, 3, \dots, n$, ενώ για $t=1$ ορίζεται ως αρχική συνθήκη $A'_1=A_1$

- Στήλη F: Υπολογίζεται η διαφορά a_t ως:

$$a_t = 2A_t - A'_t$$

ενώ για $t=1$ ορίζεται ως αρχική συνθήκη $a_1 = Y_1$

- Στήλη G: Υπολογίζεται ο παράγοντας προσαρμογής για την τάση b_t ως:

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (A_t - A'_t)$$

ενώ για $t=1$ ορίζεται ως αρχική συνθήκη $b_1 = \frac{(Y_2-Y_1)+(Y_4-Y_3)}{2}$

- Στήλη H: Υπολογίζεται η πρόβλεψη στα ήδη γνωστά δεδομένα ως:

$$\hat{Y}_t = a_{t-1} + b_{t-1}$$

για $t = 2, 3, \dots, n$

- Στήλη H: Υπολογίζεται η πρόβλεψη μετά τη χρονοσειρά ως:

$$\hat{Y}_t = a_{t-1} + hb_{t-1}$$

όπου h , η μελλοντική περίοδος,

για πρόβλεψη 1 έτους ισχύει $h=1$, για πρόβλεψη 2 ετών ισχύει $h=2$ κ.ο.κ.

- Στήλη I: Υπολογίζεται το τετράγωνο του σφάλματος ($Error^2$) ως η διαφορά μεταξύ πραγματικής τιμής και τιμής πρόβλεψης:

$$Error^2 = (Y_t - \hat{Y}_t)^2$$

- Υπολογίζεται το άθροισμα ελαχίστων τετραγώνων SSE ως:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Error^2)$$

- Τέλος με τη βοήθεια του Solver στο Excel, προκύπτει η τιμή της σταθεράς εξομάλυνσης α , με την προϋπόθεση να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα ελαχίστων τετραγώνων SSE και με περιορισμούς ότι $\alpha \leq 1$ και $\alpha \geq 0$

5.2.2 Παραδοχές εκθετικής εξομάλυνσης

Γενικά, η εκθετική εξομάλυνση λειτουργεί με μοναδικό γνώμονα τα δεδομένα της χρονοσειράς, χωρίς να λαμβάνει υπόψη της σημαντικές παραμέτρους όπως την μόδα της εποχής, τις αλλαγές στην νομοθεσία, την κατάσταση της οικονομίας των πολιτών κ.α. Επομένως μετά την υλοποίηση της εκθετικής εξομάλυνσης σε κάθε κατηγορία, έγινε εμπειρική αξιολόγηση για να επαληθευτεί η λογική των αποτελεσμάτων. Έτσι έχουμε τις εξής τροποποιήσεις:

- Στα Pre-Euro της βενζίνης και του πετρελαίου, η εκθετική εξομάλυνση είχε την τάση να μηδενίζει τον αριθμό οχημάτων των δύο κατηγοριών. Εφόσον δεν υπάρχει σχετική νομοθεσία που να θέλει την ολοκληρωτική απόσυρση των παλαιών αυτοκινήτων, θεωρείται απίθανο να έχουν μηδενιστεί όλα τα αυτοκίνητα και ειδικότερα στα χωριά όπου υπάρχουν πολλά τέτοια οχήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τις τοπικές ανάγκες. Επομένως, από το 2025 έως και το 2030 ακολουθήθηκε σταδιακή απόσυρση των αυτοκινήτων σύμφωνα με τον μέσο όρο μείωσης των ετήσιων χρόνων από το 2018 μέχρι το 2024.
- Στα Euro 6 πετρελαίου, η εκθετική εξομάλυνση δημιούργησε ετήσια αύξηση κατά 41.380 αυτοκίνητα. Λόγω της πολιτικής κατά των αυτοκινήτων πετρελαίου, εκτιμάται ότι δεν θα υπάρξει άνοδος των πωλήσεων στη συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων και οι αγοραστές θα κινηθούν προς τα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα. Επομένως μετά το 2020 θεωρήθηκε πάγωμα του στόλου πετρελαιοκίνητων οχημάτων τεχνολογίας Euro 6, με την υπόθεση ότι η αγορά καινούριων οχημάτων ταυτίζεται με την απόσυρση οχημάτων της ίδιας κατηγορίας. Τη θέση τους αντικατέστησαν τα υβριδικά οχήματα με ποσοστό 80% και τα ηλεκτρικά με ποσοστό 20%.
- Στο ΕΣΕΚ υπάρχει πρόβλεψη για το πως θα πραγματοποιηθεί η διείσδυση της ηλεκτροκίνησης μέχρι το 2030, στην οποία εκτιμάται ότι τα ηλεκτρικά οχήματα θα φτάσουν σε ποσοστό 30% επί της ετήσιας αγοράς. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν στοιχεία για το τι ποσοστό από αυτά θα είναι BEV και τι ποσοστό θα είναι PHEV. Έτσι υλοποιήθηκε ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο, από

το 2021 κι έπειτα, τα BEV θα κερδίζουν ετησίως 5% εις βάρος των PHEV. Αυτό συμβαίνει διότι με το πέρασμα των χρόνων θα καθιερωθεί η αμιγώς ηλεκτρική κίνηση και αναμένεται τόσο οι εγκαταστάσεις και οι υποδομές φόρτισης, όσο και τα κίνητρα από την πολιτεία να ωθήσουν στην αγορά αυτοκινήτων BEV. Στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά καινούριων πωλήσεων που καταλαμβάνουν τα BEV και PHEV από το 2019 μέχρι και το 2030. Να σημειωθεί ότι θεωρείται πάγωμα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων κατηγορίας Euro 5, καθώς όλα τα καινούρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα εντάσσονται στην κατηγορία προτύπων Euro 6.

Πίνακας 5.6 Ποσοστά καινούριων πωλήσεων BEV και PHEV από το 2019 έως και το 2030.

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PHEV	60%	68%	63%	58%	53%	48%	43%	38%	33%	28%	23%	18%
BEV	40%	32%	37%	42%	47%	52%	57%	62%	67%	72%	77%	82%

5.3 Στόλος επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 2019-2030

Στον Πίνακα 5.7 παρουσιάζεται ο αριθμός επιβατικών οχημάτων κάθε καυσίμου από το 2018 έως και το 2030, ενώ στον Πίνακα 5.8 εμφανίζονται τα αντίστοιχα ποσοστά που κατέχει ο στόλος για το ίδιο χρονικό διάστημα. Όπως παρατηρείται, η συμβατική κίνηση υποχωρεί και την θέση της καλύπτουν η υβριδική και ηλεκτρική κίνηση.

Τα βενζινοκίνητα οχήματα συνεχίζουν να αποτελούν την κυρίαρχη κατηγορία, παρόλο που το ποσοστό τους πέφτει από το 86,4% το 2018, σε 69% το 2030, μείωση που αντιστοιχεί σε 524.517 βενζινοκίνητα οχήματα.

Τα πετρελαιοκίνητα οχήματα εδραιώθηκαν τη δεκαετία του 2010 και εμφάνισαν τη μέγιστη τιμή τους το 2019. Παρόλα αυτά η πολιτική των τελευταίων χρόνων τα καθιέρωσε ως μη αποδεκτά στις προτιμήσεις των αγοραστών, έτσι το ποσοστό τους το 2030 είναι μειωμένο, αλλά μόλις κατά 1% σε σχέση με αυτό του 2018.

Τα αυτοκίνητα διπλού καυσίμου είναι από τις “κερδισμένες” κατηγορίες το 2030, αυξάνοντας τον αριθμό οχημάτων τους κατά 250.327. Το ποσοστό τους ανέβηκε από το 6,1% στο 9,9% κάνοντας τα οχήματα διπλού καυσίμου να αποτελούν το δεύτερο μεγαλύτερο στόλο οχημάτων, ξεπερνώντας αυτόν των πετρελαιοκίνητων.

Η διεύθυνση της ηλεκτροκίνησης αποτυπώνεται πλήρως στα αποτελέσματα της πρόβλεψης. Τα υβριδικά οχήματα, που συνθέτουν σχεδόν ολόκληρο τον όγκο των εναλλακτικών καυσίμων, αποτελούν την πρώτη επαφή προς την ηλεκτροκίνηση. Αυτό συμβαίνει διότι οι υποδομές στην

Ελλάδα δεν αποτελούν άμεσα κίνητρο για την αμιγώς ηλεκτρική κίνηση, επομένως τα πρώτα χρόνια τα υβριδικά αυτοκίνητα υπερτερούν των ηλεκτρικών. Με το πέρασμα των χρόνων όμως και την ανάπτυξη των υποδομών, η ψαλίδα ανάμεσα στις δύο κατηγορίες κλείνει και μάλιστα το 2030 τα ηλεκτρικά αναμένεται να είναι περισσότερα σε αριθμό από τα υβριδικά. Πιο συγκεκριμένα, το 2030 προβλέπεται να κυκλοφορούν 418.111 αυτοκίνητα με εναλλακτικά καύσιμα και 429.452 ηλεκτρική πρόωση. Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι το 2018 τα οχήματα με εναλλακτικά καύσιμα αντιπροσώπευαν μόλις το 0,3% του επιβατικού στόλου, ενώ το 2030 το ποσοστό αυτό αναμένεται να φτάσει το 7,3%. Ομοίως, στα ηλεκτρικά οχήματα αντιστοιχούσε μόλις το 0,01% του επιβατικού στόλου για το 2018, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό προβλέπεται να φτάσει στο 7,5% το 2030. Η ετήσια διακύμανση του στόλου επιβατικών από το 2018 έως το 2030, ανάλογα με το καύσιμο κίνησης, παρουσιάζεται στο Γράφημα 5.2 που ακολουθεί μετά τους πίνακες.

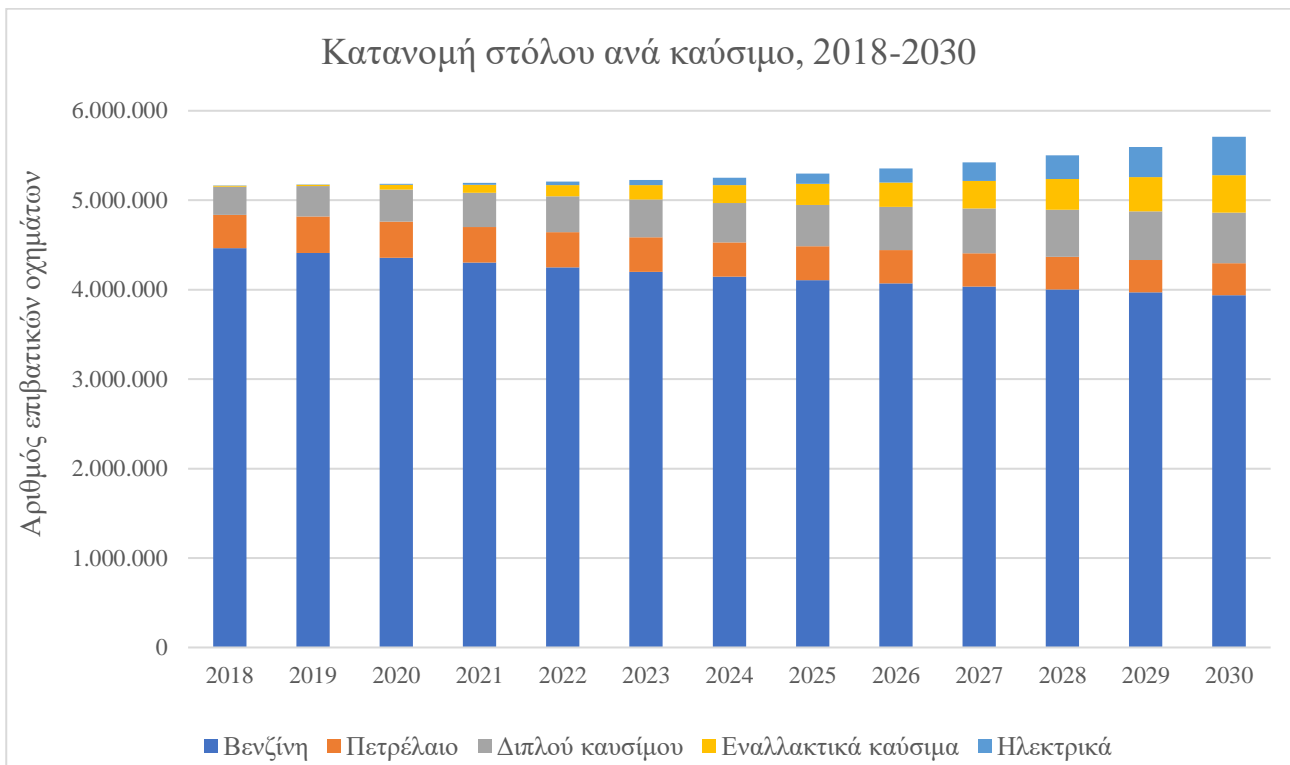
Πίνακας 5.7 Αριθμός επιβατικών οχημάτων βάση καυσίμου τα έτη 2018-2030

Έτος	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Διπλού Καυσίμου	Εναλλακτικά Καύσιμα	Ηλεκτρικά
2018	4.463.072	371.821	315.025	13.503	761
2019	4.410.605	408.073	338.818	16.872	1.221
2020	4.357.420	402.907	359.412	53.348	10.762
2021	4.304.236	397.740	380.006	89.824	22.833
2022	4.251.052	392.574	400.600	126.301	38.698
2023	4.197.868	387.408	421.194	162.777	58.770
2024	4.144.683	382.241	441.788	199.253	84.482
2025	4.106.462	377.870	462.382	235.729	116.794
2026	4.070.268	373.623	482.976	272.206	156.316
2027	4.035.681	369.477	503.570	308.682	204.685
2028	4.002.367	365.415	524.164	345.158	264.419
2029	3.970.061	361.422	544.758	381.635	338.754
2030	3.938.555	357.485	565.352	418.111	429.452

Πίνακας 5.8 Ποσοστά καυσίμου των επιβατικών αυτοκινήτων τα έτη 2018-2030.

Έτος	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Διπλού Καυσίμου	Εναλλακτικά Καύσιμα	Ηλεκτρικά
2018	86,4%	7,2%	6,1%	0,3%	0,01%
2019	85,2%	7,9%	6,5%	0,3%	0,02%
2020	84,1%	7,8%	6,9%	1,0%	0,2%
2021	82,9%	7,7%	7,3%	1,7%	0,4%
2022	81,6%	7,5%	7,7%	2,4%	0,7%
2023	80,3%	7,4%	8,1%	3,1%	1,1%

2024	78,9%	7,3%	8,4%	3,8%	1,6%
2025	77,5%	7,1%	8,7%	4,4%	2,2%
2026	76,0%	7,0%	9,0%	5,1%	2,9%
2027	74,4%	6,8%	9,3%	5,7%	3,8%
2028	72,8%	6,6%	9,5%	6,3%	4,8%
2029	70,9%	6,5%	9,7%	6,8%	6,1%
2030	69,0%	6,3%	9,9%	7,3%	7,5%



Γράφημα 5.2 Κατανομή στόλου επιβατικών βάσει του καυσίμου κίνησης από το 2018-2030.

5.4 Υπολογισμός μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων 1990-2018

Η ομαδοποίηση των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αθροίζοντας τις υποκατηγορίες όπως έγινε προηγουμένως στον αριθμό οχημάτων και στα συνολικά χιλιόμετρα. Επιπλέον, δεν μπορεί να γίνει ούτε υπολογισμός των μέσων όρων, καθώς με αυτό τον τρόπο δεν θα κεντροβαριστούν τα χιλιόμετρα αφού ο αριθμός των οχημάτων είναι διαφορετικός σε κάθε κατηγορία. Γι' αυτόν το λόγο υπολογίζονται εκ νέου τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα για τα έτη 1990-2018, όντας το πηλίκο των ομαδοποιημένων συνολικών χιλιομέτρων προς τα ομαδοποιημένα

συνολικά οχήματα. Στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται αναλυτικά το διάγραμμα ροής με την διαδικασία υπολογισμού των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων.



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας υπολογισμού των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων.

Εφαρμόζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν οι Πίνακες 5.9α και 5.9β, στους οποίους παρουσιάζονται τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα από το 1990 έως και το 2018, σύμφωνα με την ομαδοποίηση των υποκατηγοριών της EMISIA.

Πίνακας 5.9α Μέσα διανύσιμα χιλιόμετρα κάθε κατηγορίας βάσει της ομαδοποίησης από το 1990-2004.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Βενζίνη	Pre-Euro	13.487	13.726	13.923	13.343	12.728	12.349	12.313	11.714	11.153	10.049	8.955	8.188	7.592	7.145	6.461
Βενζίνη	Euro 1	23.005	23.595	17.950	17.572	16.876	16.673	17.009	16.660	16.433	15.607	14.810	14.405	14.023	13.691	12.955
Βενζίνη	Euro 2								16.710	16.566	15.912	15.277	15.125	15.051	15.105	14.763
Βενζίνη	Euro 3											15.286	15.161	15.148	15.299	15.095
Βενζίνη	Euro 4															
Βενζίνη	Euro 5															
Βενζίνη	Euro 6															
Πετρέλαιο	Pre-Euro	108.265	108.352	99.568	80.057	74.582	73.219	73.922	72.449	76.761	54.236	40.637	30.810	23.835	19.641	13.590
Πετρέλαιο	Euro 1						85.490	87.311	87.083	89.063	80.172	63.360	51.429	47.371	46.685	36.473
Πετρέλαιο	Euro 2								91.931	89.600	80.774	64.157	52.418	48.680	48.493	38.398
Πετρέλαιο	Euro 3												52.635	49.052	49.114	39.212
Πετρέλαιο	Euro 4															
Πετρέλαιο	Euro 5															
Πετρέλαιο	Euro 6															
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	10.648	10.648	10.648	10.643	10.378	10.176	9.940	9.663	9.336	8.914	8.378	7.775	7.205	6.677	6.122
Διπλού καυσίμου	Euro 1				13.621	13.835	13.799	13.778	13.780	13.741	13.854	13.810	13.625	13.325	12.911	12.479
Διπλού καυσίμου	Euro 2								13.459	13.910	14.144	14.267	14.223	14.160	14.024	13.916
Διπλού καυσίμου	Euro 3											16.791	16.356	14.597	14.463	14.461
Διπλού καυσίμου	Euro 4															
Διπλού καυσίμου	Euro 5															
Διπλού καυσίμου	Euro 6															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4											15.282	15.137	15.128	15.285	15.087
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6															
PHEV	Euro 5															
PHEV	Euro 6															
BEV	Euro 5															
BEV	Euro 6															

Πίνακας 5.9β Μέσα διανύμενα χιλιόμετρα κάθε κατηγορίας βάσει της ομαδοποίησης από το 2005-2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Βενζίνη	Pre-Euro	5.914	5.222	4.587	3.753	3.240	2.515	2.097	1.595	1.289	1.067	849	668	502	404
Βενζίνη	Euro 1	12.314	11.281	10.532	9.054	8.356	6.533	5.417	4.025	3.132	2.494	2.156	1.751	1.368	1.104
Βενζίνη	Euro 2	14.591	14.003	13.777	12.563	12.344	10.374	9.288	7.480	6.311	5.436	5.077	4.582	4.047	3.724
Βενζίνη	Euro 3	15.096	14.713	14.774	13.832	14.014	12.245	11.435	9.700	8.673	7.999	8.019	7.873	7.634	7.793
Βενζίνη	Euro 4		14.776	14.897	14.028	14.318	12.663	12.000	10.376	9.507	9.033	9.383	9.572	9.672	10.340
Βενζίνη	Euro 5						12.690	12.052	10.486	9.735	9.387	9.884	10.262	10.562	11.536
Βενζίνη	Euro 6											10.101	10.564	11.151	12.446
Πετρέλαιο	Pre-Euro	10.841	9.092	7.480	5.285	5.667	4.253	3.421	2.936	1.383	1.594	2.339	1.813	1.176	916
Πετρέλαιο	Euro 1	31.597	28.585	25.864	19.749	21.045	16.610	13.232	10.549	4.548	5.456	8.811	7.436	5.321	4.515
Πετρέλαιο	Euro 2	33.812	31.128	28.727	22.459	24.655	20.163	16.673	13.849	6.245	7.607	12.953	11.459	8.701	7.876
Πετρέλαιο	Euro 3	34.871	32.522	30.550	24.432	27.590	23.256	19.992	17.376	8.274	10.718	19.453	18.595	15.397	15.346
Πετρέλαιο	Euro 4		32.791	30.886	24.798	28.177	23.976	20.892	18.516	8.967	12.041	22.912	22.962	20.014	21.182
Πετρέλαιο	Euro 5						24.160	21.057	18.686	9.013	12.138	23.223	23.468	20.627	22.042
Πετρέλαιο	Euro 6											23.010	23.399	20.796	22.455
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	5.566	5.023	4.425	3.864	4.658	4.444	3.688	960	2.711	2.200	1.672	1.172	770	271
Διπλού καυσίμου	Euro 1	11.848	11.168	10.531	9.752	12.653	12.388	10.474	2.730	7.792	6.504	5.633	4.342	3.158	1.211
Διπλού καυσίμου	Euro 2	13.619	13.297	13.069	12.690	17.371	18.057	16.314	4.571	14.093	12.722	11.839	10.052	8.156	3.520
Διπλού καυσίμου	Euro 3	14.329	14.151	14.176	14.112	19.940	21.549	20.364	6.015	19.691	19.030	19.082	17.661	15.776	7.579
Διπλού καυσίμου	Euro 4	16.822	16.668	15.440	15.298	21.724	23.679	22.628	6.781	22.648	22.495	23.436	22.487	20.979	10.578
Διπλού καυσίμου	Euro 5						21.993	22.746	6.894	23.081	23.264	24.517	24.042	22.944	11.910
Διπλού καυσίμου	Euro 6											13.738	23.870	22.803	12.403
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	15.058	14.661	14.758	13.871	14.169	12.443	11.730	10.074	9.150	8.580	8.873	8.944	8.948	9.450
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5						12.853	12.127	10.518	9.891	9.699	10.398	10.733	11.019	12.132
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6											12.276	12.707	13.024	14.358
PHEV	Euro 5								10.471	9.656	9.258	9.810	10.205	10.590	11.695
PHEV	Euro 6											9.840	10.258	10.687	11.897
BEV	Euro 5								10.000	9.991	9.994	9.965	9.923	9.893	11.698
BEV	Euro 6											10.000	9.982	9.971	11.899

5.5 Πρόβλεψη μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων 2019-2030

Αρχικά για την πρόβλεψη των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων δοκιμάστηκε η διπλή εκθετική εξομάλυνση, χωρίς όμως τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται στη λογική. Πιο συγκεκριμένα, η εκθετική εξομάλυνση έτεινε να μηδενίσει τα χιλιόμετρα των μικρών κατηγοριών Euro, ενώ στις κατηγορίες Euro 5 και Euro 6 τα υπερδιπλασίαζε.

Γενικά δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία για την πρόβλεψη χιλιομέτρων, επομένως δοκιμάστηκαν πολλοί τρόποι ειδικότερα με την παρατήρηση της χρονοσειράς. Παρατηρήθηκε λοιπόν, ότι όταν γινόταν εισαγωγή νέων προτύπων Euro, τα μέσα χιλιόμετρα αυξανόντουσαν για μερικά χρόνια, ενώ μετά από περίπου μια δεκαετία άρχιζαν να έχουν πτωτική πορεία. Γι' αυτόν το λόγο υπολογίστηκαν οι ετήσιες ποσοστιαίες μεταβολές όλων των κατηγοριών για όλο το εύρος της χρονοσειράς. Από τον υπολογισμό εξαιρέθηκαν οι κατηγορίες εναλλακτικών καυσίμου και τα ηλεκτρικά ώστε να μην υπάρξει πιθανή αλλοίωση των αποτελεσμάτων, καθώς το μερίδιο συμμετοχής του στόλου τους είναι μικρότερο από 0,3%. Έπειτα από πολλές δοκιμές, ειδικότερα σε διαστήματα δεκαετιών, η δεκαετία 2010-2018 θεωρήθηκε ως η βέλτιστη επιλογή. Στον Πίνακα 5.10 παρουσιάζονται οι ετήσιες ποσοστιαίες μεταβολές των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων από το 2010 μέχρι το 2018.

Πίνακας 5.10 Ετήσιες ποσοστιαίες μεταβολές μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων από το 2010-2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Μέσος Όρος
Βενζίνη	Pre-Euro	-22,4%	-16,6%	-23,9%	-19,2%	-17,2%	-20,5%	-21,3%	-24,9%	-19,4%	-20,6%
Βενζίνη	Euro 1	-21,8%	-17,1%	-25,7%	-22,2%	-20,4%	-13,5%	-18,8%	-21,9%	-19,3%	-20,1%
Βενζίνη	Euro 2	-16,0%	-10,5%	-19,5%	-15,6%	-13,9%	-6,6%	-9,7%	-11,7%	-8,0%	-12,4%
Βενζίνη	Euro 3	-12,6%	-6,6%	-15,2%	-10,6%	-7,8%	0,3%	-1,8%	-3,0%	2,1%	-6,1%
Βενζίνη	Euro 4	-11,6%	-5,2%	-13,5%	-8,4%	-5,0%	3,9%	2,0%	1,1%	6,9%	-3,3%
Βενζίνη	Euro 5		-5,0%	-13,0%	-7,2%	-3,6%	5,3%	3,8%	2,9%	9,2%	-0,9%
Βενζίνη	Euro 6							4,6%	5,6%	11,6%	7,3%
Πετρέλαιο	Pre-Euro	-24,9%	-19,6%	-14,2%	-52,9%	15,3%	46,7%	-22,5%	-35,2%	-22,1%	-23,1%
Πετρέλαιο	Euro 1	-21,1%	-20,3%	-20,3%	-56,9%	20,0%	61,5%	-15,6%	-28,4%	-15,1%	-20,1%
Πετρέλαιο	Euro 2	-18,2%	-17,3%	-16,9%	-54,9%	21,8%	70,3%	-11,5%	-24,1%	-9,5%	-16,3%
Πετρέλαιο	Euro 3	-15,7%	-14,0%	-13,1%	-52,4%	29,5%	81,5%	-4,4%	-17,2%	-0,3%	-10,8%
Πετρέλαιο	Euro 4	-14,9%	-12,9%	-11,4%	-51,6%	34,3%	90,3%	0,2%	-12,8%	5,8%	-7,7%
Πετρέλαιο	Euro 5		-12,8%	-11,3%	-51,8%	34,7%	91,3%	1,1%	-12,1%	6,9%	-5,7%
Πετρέλαιο	Euro 6							1,7%	-11,1%	8,0%	-0,5%
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	-4,6%	-17,0%	-74,0%	182,5%	-18,9%	-24,0%	-29,9%	-34,3%	-64,8%	-21,5%
Διπλού καυσίμου	Euro 1	-2,1%	-15,4%	-73,9%	185,4%	-16,5%	-13,4%	-22,9%	-27,3%	-61,6%	-16,3%
Διπλού καυσίμου	Euro 2	4,0%	-9,7%	-72,0%	208,3%	-9,7%	-6,9%	-15,1%	-18,9%	-56,8%	-9,4%
Διπλού καυσίμου	Euro 3	8,1%	-5,5%	-70,5%	227,4%	-3,4%	0,3%	-7,4%	-10,7%	-52,0%	-3,1%
Διπλού καυσίμου	Euro 4	9,0%	-4,4%	-70,0%	234,0%	-0,7%	4,2%	-4,1%	-6,7%	-49,6%	-0,4%
Διπλού καυσίμου	Euro 5		3,4%	-69,7%	234,8%	0,8%	5,4%	-1,9%	-4,6%	-48,1%	0,6%
Διπλού καυσίμου	Euro 6								-4,5%	-45,6%	-4,5%

Στον Πίνακα 5.10 είναι τονισμένα με κόκκινο χρώμα κάποιο ποσοστά τα οποία είναι ασυνήθιστα μεγάλα και δεν συμβαδίζουν με τα άλλα ποσοστά. Μετά από έρευνα για τις χρονιές και τα καύσιμα που αντιστοιχούν σε αυτά τα ποσοστά, μπόρεσε να δοθεί εξήγηση στην δημιουργία αυτών των ανωμαλιών. Πιο συγκεκριμένα, στα τέλη του 2011 το Υπουργείο Περιβάλλοντος πέρασε με τροπολογία στη Βουλή την απελευθέρωση της πετρελαιοκίνησης σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, με αποτέλεσμα να αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός πετρελαιοκίνητων οχημάτων και η δραστηριότητα τους. Οι μεταβολές, λόγω των συνεχόμενα αυξανόμενων πωλήσεων, χρειάστηκαν τρία χρόνια ώστε να ισορροπήσουν και να επανέλθουν σε φυσιολογικές τιμές. Επομένως οι χρονιές αυτές εξαιρούνται από τους υπολογισμούς εξαιτίας των έντονων διακυμάνσεων τους. Αντίστοιχα, το 2011 τα οχήματα διπλού καυσίμου σημείωσαν ραγδαία αύξηση που είχε σαν αποτέλεσμα την έντονη διακύμανση των μέσων χιλιομέτρων τους. Τέλος, το 2018 άλλαξε ο υπολογισμός των χιλιομέτρων στα οχήματα διπλού καυσίμου από την EMISIA και επειδή η μείωση εκείνη την χρονιά είναι αλματώδης, δεν συνυπολογίζεται.

Στην συνέχεια, αφού εξαιρέθηκαν οι προαναφερθείσες τιμές, έγινε υπολογισμός του μέσου όρου των ετήσιων ποσοστιαίων μεταβολών κάθε κατηγορίας. Τέλος υπολογίστηκε ο μέσος όρος των κοινών υποκατηγοριών προτύπων Euro. Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω διαδικασία, προέκυψαν οι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων από το 2019-2030, οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11 Ετήσιος ρυθμός μεταβολής των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων από το 2019-2030

Πρότυπα Euro	Ρυθμός Ετήσιας Μεταβολής
Pre-Euro	-21,7%
Euro 1	-18,8%
Euro 2	-12,7%
Euro 3	-6,7%
Euro 4	-3,8%
Euro 5	-2,0%
Euro 6	0,8%

Παρατηρείται ότι τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα των αυτοκινήτων με παλαιότερα πρότυπα μέτρησης εκπομπών ρύπων (Pre-Euro, Euro 1 και Euro 2) μειώνονται σε μεγάλο βαθμό κάθε χρόνο. Η μείωση αυτή αποτελεί θετικό γεγονός καθώς τα συγκεκριμένα οχήματα λόγω παλαιότητας είναι τα πιο ρυπογόνα. Μικρότερη αλλά σημαντική ετήσια μείωση χιλιομέτρων εμφανίζεται στα αυτοκίνητα Euro 3, Euro 4 και Euro 5, καθώς ναι μεν είναι νεότερα από τα προαναφερθείσα οχήματα αλλά δεν παύουν να αποτελούνται από οχήματα περίπου 15 χρόνων. Αντιθέτως τα μέσα διανυόμενα

χιλιόμετρα στα οχήματα Euro 6, όντας και τα νεότερα, αυξάνονται ετησίως πράγμα το οποίο δείχνει την σημαντική δραστηριότητα που κατέχουν στους δρόμους. Με πρώτη ματιά, λόγω των μεγάλων μειώσεων που παρατηρούνται στον Πίνακα 5.11, μπορεί να φαίνεται ότι τα συνολικά χιλιόμετρα θα μειωθούν, αλλά όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο αυτή η υπόθεση δεν ισχύει.

Εφαρμόζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτει ο Πίνακας 5.12, στον οποίο παρουσιάζεται η πρόβλεψη των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων από το 2019 μέχρι το 2030. Να τονισθεί πως ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων, που υπολογίστηκε προηγουμένως, παραμένει σταθερός σε όλο το χρονικό διάστημα της πρόβλεψης.

Πίνακας 5.12 Μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα κάθε κατηγορίας βάσει της πρόβλεψης από το 2019-2030.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Pre-Euro	316	248	194	152	119	93	73	57	45	35	27	21
Βενζίνη	Euro 1	896	727	590	479	389	316	256	208	169	137	111	90
Βενζίνη	Euro 2	3.252	2.840	2.480	2.165	1.891	1.651	1.442	1.259	1.100	960	839	732
Βενζίνη	Euro 3	7.272	6.786	6.333	5.910	5.515	5.147	4.803	4.482	4.183	3.903	3.642	3.399
Βενζίνη	Euro 4	9.946	9.568	9.203	8.853	8.516	8.192	7.880	7.580	7.292	7.014	6.747	6.490
Βενζίνη	Euro 5	11.307	11.081	10.861	10.644	10.432	10.224	10.021	9.821	9.625	9.434	9.246	9.061
Βενζίνη	Euro 6	12.542	12.638	12.735	12.832	12.930	13.030	13.129	13.230	13.331	13.433	13.536	13.640
Πετρέλαιο	Pre-Euro	717	562	440	344	269	211	165	129	101	79	62	49
Πετρέλαιο	Euro 1	3.665	2.975	2.415	1.960	1.591	1.291	1.048	851	690	560	455	369
Πετρέλαιο	Euro 2	6.877	6.006	5.244	4.580	3.999	3.492	3.050	2.663	2.326	2.031	1.773	1.549
Πετρέλαιο	Euro 3	14.321	13.364	12.472	11.638	10.861	10.135	9.458	8.826	8.237	7.686	7.173	6.694
Πετρέλαιο	Euro 4	20.376	19.601	18.854	18.137	17.446	16.782	16.143	15.529	14.938	14.369	13.822	13.296
Πετρέλαιο	Euro 5	21.603	21.172	20.750	20.337	19.932	19.535	19.146	18.764	18.390	18.024	17.665	17.313
Πετρέλαιο	Euro 6	22.627	22.801	22.975	23.151	23.329	23.507	23.687	23.869	24.052	24.236	24.422	24.609
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	212	166	130	102	80	62	49	38	30	23	18	14
Διπλού καυσίμου	Euro 1	983	798	648	526	427	346	281	228	185	150	122	99
Διπλού καυσίμου	Euro 2	3.074	2.684	2.344	2.047	1.787	1.561	1.363	1.190	1.039	908	793	692
Διπλού καυσίμου	Euro 3	7.073	6.600	6.159	5.748	5.364	5.005	4.671	4.359	4.068	3.796	3.542	3.306
Διπλού καυσίμου	Euro 4	10.175	9.788	9.415	9.057	8.712	8.381	8.062	7.755	7.460	7.176	6.903	6.640
Διπλού καυσίμου	Euro 5	11.672	11.440	11.212	10.989	10.770	10.555	10.345	10.139	9.937	9.739	9.545	9.355
Διπλού καυσίμου	Euro 6	12.498	12.594	12.690	12.788	12.886	12.984	13.084	13.184	13.285	13.387	13.489	13.593
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	9.091	8.745	8.412	8.091	7.783	7.487	7.202	6.928	6.664	6.411	6.167	5.932
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	11.890	11.653	11.421	11.193	10.970	10.752	10.538	10.328	10.122	9.920	9.723	9.529
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	14.468	14.579	14.691	14.803	14.917	15.031	15.146	15.262	15.379	15.497	15.616	15.735
PHEV	Euro 5	11.462	11.233	11.009	10.790	10.575	10.364	10.158	9.956	9.757	9.563	9.372	9.186
PHEV	Euro 6	11.988	12.080	12.172	12.265	12.359	12.454	12.549	12.646	12.742	12.840	12.938	13.037
BEV	Euro 5	11.465	11.237	11.013	10.793	10.578	10.368	10.161	9.959	9.760	9.566	9.375	9.188
BEV	Euro 6	11.990	12.082	12.175	12.268	12.362	12.457	12.552	12.648	12.745	12.843	12.941	13.040

5.6 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων 2019-2030

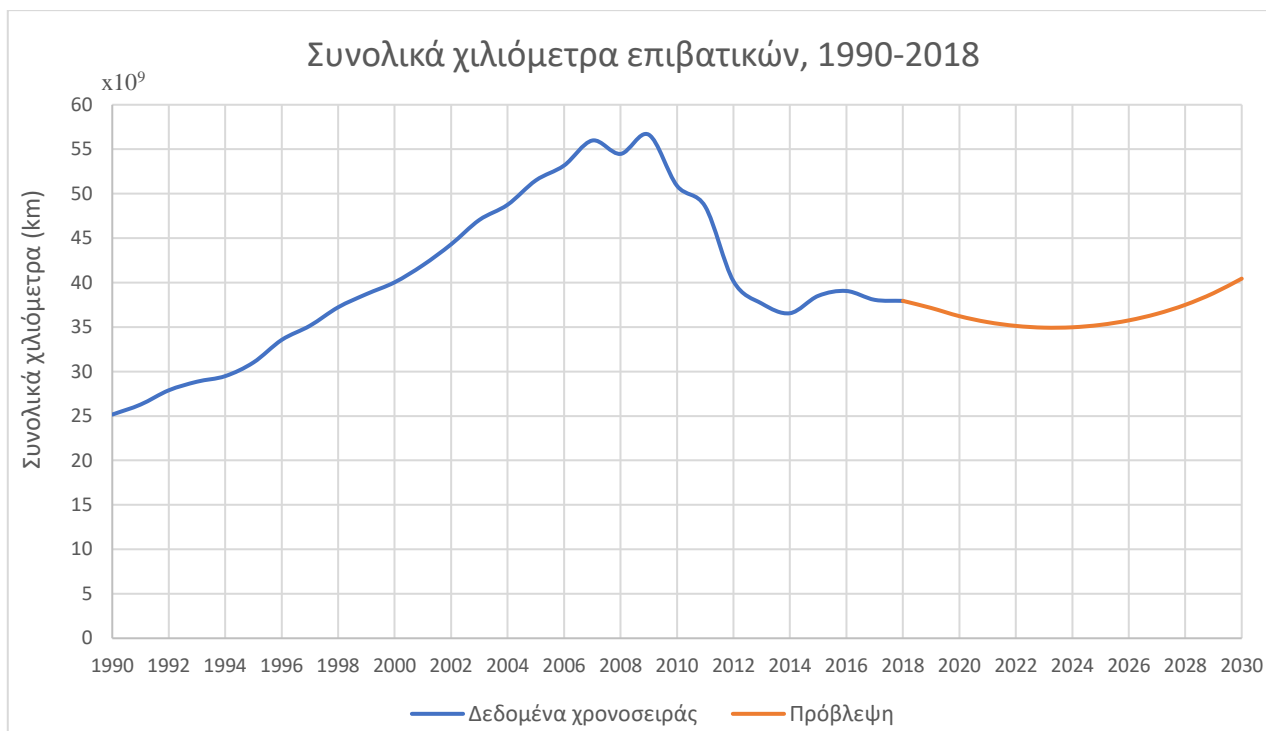
Έχοντας προβλεφθεί ο αριθμός επιβατικών οχημάτων και τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα από το 2019-2030, μπορούν πλέον να υπολογισθούν και τα συνολικά χιλιόμετρα, έτσι ώστε να γίνει σύγκριση με τα δεδομένα του 2018.

Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται τα συνολικά χιλιόμετρα των επιβατικών οχημάτων από το 2018 μέχρι το 2030, ενώ στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 5.3 στο οποίο αποτυπώνονται τα συνολικά χιλιόμετρα από το 1990 έως το 2030.

Πίνακας 5.13 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών οχημάτων από το 2018-2030.

ΕΤΟΣ	Χιλιόμετρα (x10 ⁹)
2018	37,9
2019	37,1
2020	36,2
2021	35,6
2022	35,1
2023	34,9
2024	35,0
2025	35,2
2026	35,7
2027	36,5
2028	37,5
2029	38,8
2030	40,4

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα συνολικά χιλιόμετρα μέχρι το 2008 αυξανόντουσαν συναρτήσει του αριθμού οχημάτων. Η οικονομική κρίση οδήγησε σε απότομη μείωση των χιλιομέτρων η οποία κράτησε περίπου μέχρι το 2014, ενώ από το 2014 μέχρι το 2018 φαίνεται να υπήρξε μια σταθεροποίηση με μικρή τάση μείωσης. Σύμφωνα με την πρόβλεψη η μείωση συνεχίζεται μέχρι το 2023, όπου παρατηρείται και η μικρότερη τιμή χιλιομέτρων. Η αγορά καινούριων οχημάτων, που αντιστοιχεί σε κατηγορία Euro 6, οδηγούν εκ νέου σε αύξηση των χιλιομέτρων η οποία διαρκεί μέχρι το 2030. Πιο συγκεκριμένα, το 2023 τα συνολικά χιλιόμετρα είναι μειωμένα κατά 7,9% σε σχέση με το 2018, ενώ το 2030 αναμένεται να αυξηθούν κατά 6,6% από το 2018.



Γράφημα 5.3 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030.

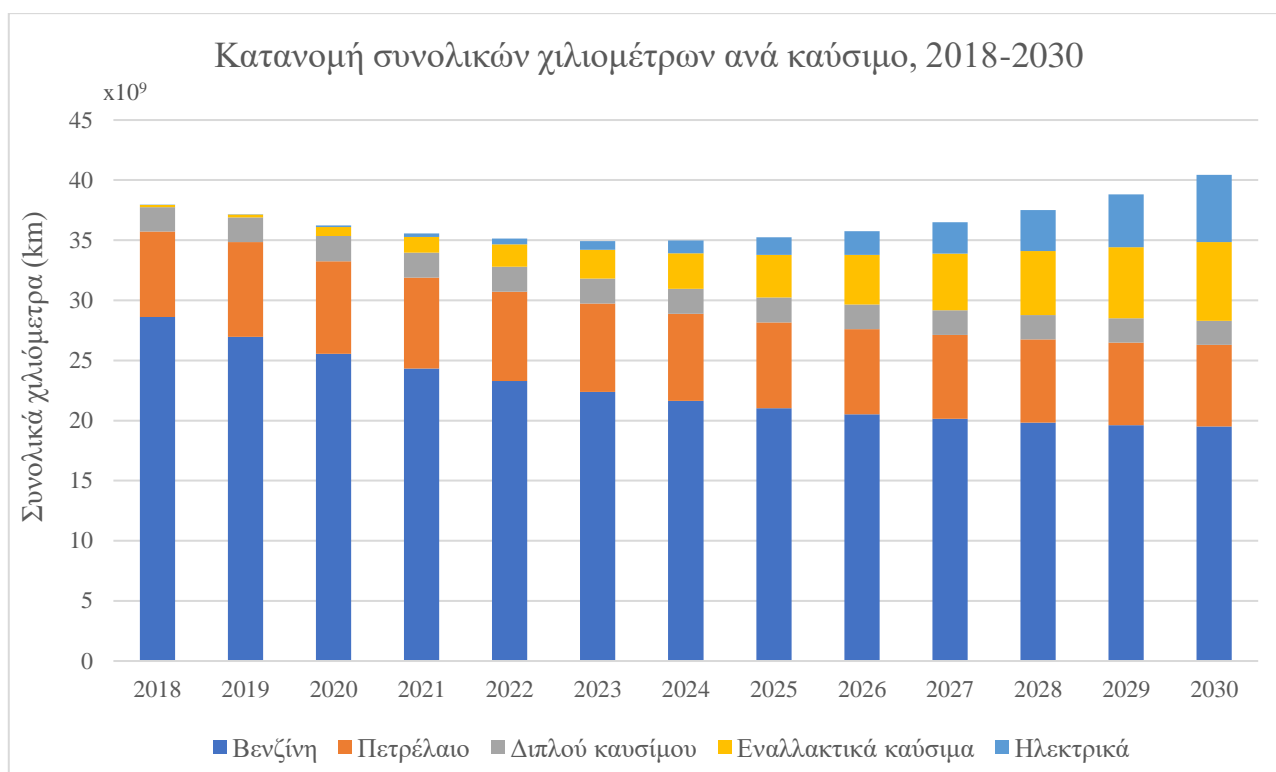
5.7 Συνολικά χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων ανά καύσιμο 2019-2030

Στον Πίνακα 5.14 παρουσιάζονται τα ποσοστά των χιλιομέτρων που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία καυσίμου από το 2018 έως το 2030. Όπως παρατηρείται, η κινητική δραστηριότητα από τα συμβατικά οχήματα υποχωρεί σημαντικά, ενώ η εναλλακτική και η ηλεκτρική κίνηση από αμελητέα ποσότητα αρχίζει και εδραιώνεται. Πιο αναλυτικά, η βενζίνη παραμένει η κυρίαρχη κατηγορία με τα περισσότερα χιλιόμετρα, όμως έχει υποστεί μεγάλη πτώση καθώς το ποσοστό της από 75,4% το 2018 αναμένεται να μειωθεί στο 48,2 % το 2030. Τα χιλιόμετρα από οχήματα πετρελαίου και διπλού καυσίμου υπόκεινται σε μικρή μείωση της τάξεως του 1,9% και 0,5% αντίστοιχα. Η μεγάλη αύξηση στα οχήματα εναλλακτικού καυσίμου και στα ηλεκτρικά οχήματα, οδήγησαν σε αναμενόμενη αύξηση των χιλιομέτρων από αυτές τις δύο κατηγορίες. Τα εναλλακτικά καύσιμα το 2018 αποτελούσαν μόλις στο 0,5% των συνολικών χιλιομέτρων, ενώ αναμένεται το 2030 να φτάσει το 16,2%. Αντίστοιχη κατάσταση παρουσιάζεται και στα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία το 2018 συμμετείχαν μόλις στο 0,02% των συνολικών χιλιομέτρων, με το ποσοστό αυτό να προβλέπεται να ανέλθει στο 13,8% το έτος 2030.

Πίνακας 5.14 Ποσοστά συνολικών χιλιομέτρων επιβατικών βάσει του καυσίμου τα έτη 2018-2030.

Έτος	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Διπλού Καυσίμου	Εναλλακτικά Καύσιμα	Ηλεκτρικά
2018	75,4%	18,7%	5,4%	0,5%	0,02%
2019	72,6%	21,2%	5,6%	0,6%	0,04%
2020	70,5%	21,3%	5,7%	2,1%	0,4%
2021	68,4%	21,3%	5,9%	3,6%	0,8%
2022	66,3%	21,2%	5,9%	5,3%	1,4%
2023	64,1%	21,0%	6,0%	6,9%	2,1%
2024	61,9%	20,7%	5,9%	8,5%	3,0%
2025	59,7%	20,3%	5,9%	10,1%	4,2%
2026	57,4%	19,7%	5,7%	11,5%	5,5%
2027	55,2%	19,1%	5,6%	12,9%	7,1%
2028	52,9%	18,5%	5,4%	14,2%	9,1%
2029	50,6%	17,7%	5,2%	15,3%	11,3%
2030	48,2%	16,8%	4,9%	16,2%	13,8%

Στον Γράφημα 5.4 παρουσιάζεται η κατανομή των χιλιομέτρων που καταλαμβάνει το κάθε καύσιμο από το σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων από το 2018 έως και το 2030. Αξίζει να τονισθεί ότι το ποσοστό των οχημάτων εναλλακτικού καυσίμου και ηλεκτρικής πρόωσης αθροιστικά για το έτος 2030 θα είναι 14,8%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό χιλιομέτρων για το ίδιο έτος αναμένεται να φτάσει το 30%. Από τα παραπάνω στοιχεία γίνεται φανερό πως η συμβολή της ηλεκτροκίνησης θα παίζει καθοριστικό ρόλο ώστε να υπάρξουν πιο “καθαρά” χιλιόμετρα και κατ’ επέκταση πιο βελτιωμένο περιβάλλον στις πόλεις.



Γράφημα 5.4 Κατανομή συνολικών χιλιομέτρων επιβατικών βάσει του καυσίμου κίνησης από το 2018-2030.

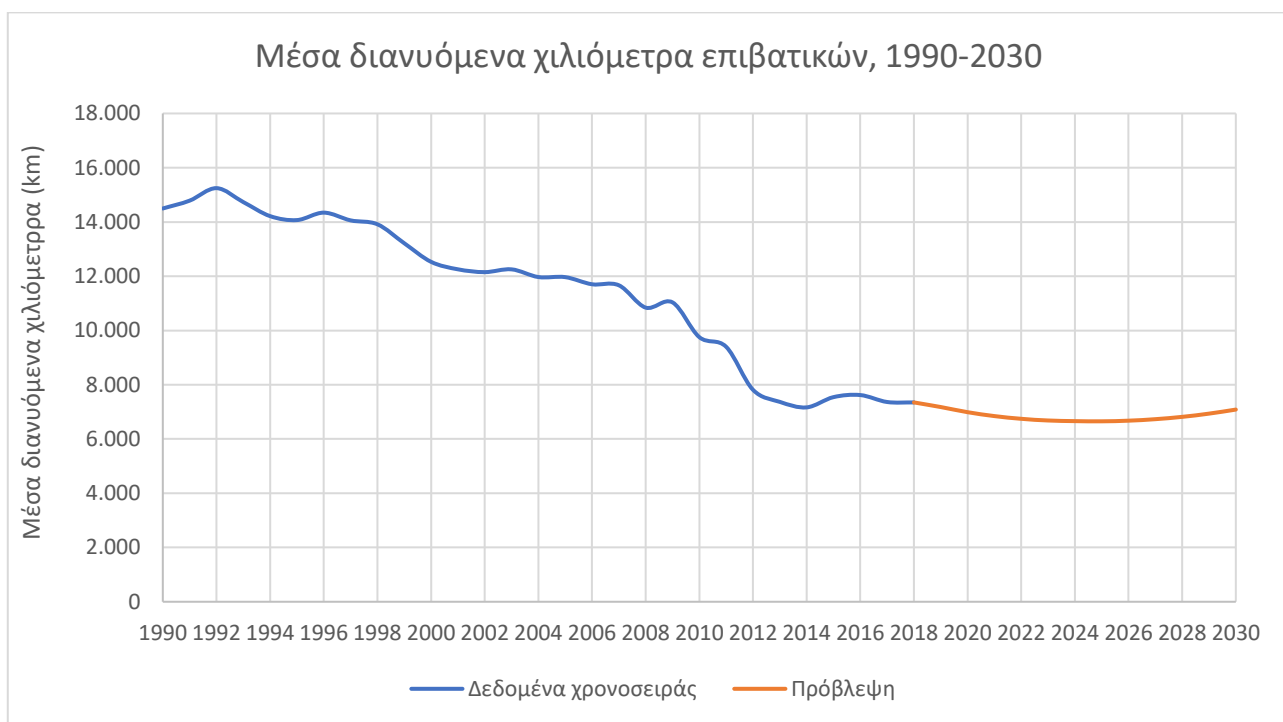
5.8 Μέσα διανύμενα χιλιόμετρα επιβατικών αυτοκινήτων 2019-2030

Στον Πίνακα 5.15 παρουσιάζονται τα μέσα διανύμενα χιλιόμετρα όλων των επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030 και για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιήθηκε το πηλίκο των συνολικών χιλιομέτρων προς τα συνολικά αυτοκίνητα. Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 5.5 το οποίο έχει δημιουργηθεί από τις τιμές του Πίνακα 5.15 με σκοπό την καλύτερη παρατήρηση των διακυμάνσεων που προκύπτουν.

Πίνακας 5.15 Μέσα διανύμενα χιλιόμετρα επιβατικών από το 1990-2030

ΕΤΟΣ	ΜΕΣΑ ΔΙΑΝΥΟΜΕΝΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ	ΕΤΟΣ	ΜΕΣΑ ΔΙΑΝΥΟΜΕΝΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ
1990	14.497	2011	9.399
1991	14.786	2012	7.814
1992	15.247	2013	7.368
1993	14.734	2014	7.165
1994	14.215	2015	7.543
1995	14.069	2016	7.619
1996	14.344	2017	7.363

1997	14.058	2018	7.348
1998	13.914	2019	7.178
1999	13.216	2020	6.988
2000	12.530	2021	6.845
2001	12.255	2022	6.744
2002	12.151	2023	6.682
2003	12.253	2024	6.659
2004	11.969	2025	6.651
2005	11.967	2026	6.675
2006	11.703	2027	6.730
2007	11.666	2028	6.816
2008	10.843	2029	6.935
2009	11.036	2030	7.085
2010	9.755		



Γράφημα 5.5 Μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030.

Από το Γράφημα 5.5 παρατηρείται μια διαχρονική τάση μείωσης η οποία γίνεται πιο έντονη το 2000 με τη λειτουργία του μετρό της Αθήνας, το οποίο εξυπηρετεί εκατομμύρια ανθρώπους, αλλά και από την οικονομική κρίση του 2008 όπου πολλοί κάτοικοι ελάττωσαν τις μετακινήσεις τους. Σύμφωνα με την πρόβλεψη η πτωτική πορεία συνεχίζεται μέχρι το 2025 όπου παρατηρείται μικρή αλλά αισθητή αύξηση. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην προώθηση των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, τα οποία κατά κύριο λόγο προτιμώνται από όσους πραγματοποιούν πολλά χιλιόμετρα.

6. Υπολογισμός ρύπανσης επιβατικών οχημάτων 2019-2030

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί υπολογισμός της ρύπανσης των επιβατικών οχημάτων από το 2019 έως το 2030, βάσει της πρόβλεψης των αυτοκινήτων και των χιλιομέτρων της κάθε κατηγορίας καυσίμου και Euro. Η συνολική ρύπανση υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (6.1) που ακολουθεί:

$$\Sigma P_{EO} = \Sigma (AO_{i,j} \times M\Delta X_{i,j} \times \Sigma E_{i,j}) \quad (6.1)$$

όπου:

ΣP_{EO} : η Συνολική Ρύπανση των Επιβατικών Οχημάτων, εκφρασμένη σε γραμμάρια (g)

$AO_{i,j}$: ο Αριθμός Οχημάτων του καυσίμου i και των προτύπων Euro j

$M\Delta X_{i,j}$: τα Μέσα Διανύμενα Χιλιόμετρα του καυσίμου i και των προτύπων Euro j

$\Sigma E_{i,j}$: ο Συντελεστής Εκπομπών (g/km) του καυσίμου i και των προτύπων Euro j

6.1 Συντελεστής εκπομπών (g/km)

Σύμφωνα με την εξίσωση (6.1), για τον υπολογισμό της συνολικής ρύπανσης από το 2019 έως το 2030, είναι απαραίτητοι οι τρεις παραπάνω παράγοντες. Ο αριθμός οχημάτων και τα μέσα διανύμενα χιλιόμετρα είναι γνωστά από την πρόβλεψη που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5. Επομένως είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του συντελεστή εκπομπών (g/km) και για της 28 ομαδοποιημένες υποκατηγορίες. Η τιμή του συντελεστή επηρεάζεται από το καύσιμο, το μέγεθος του οχήματος και την τεχνολογία Euro που διαθέτει και προφανώς είναι διαφορετική για κάθε ρυπαντή. Για τον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά έγινε ομαδοποίηση των συνολικών εκπομπών κάθε ενδιαφερόμενου ατμοσφαιρικού ρύπου, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που έγινε και η ομαδοποίηση των οχημάτων και των συνολικών χιλιομέτρων στο προηγούμενο κεφάλαιο
- Στην συνέχεια έγινε μετατροπή των μονάδων της ρύπανσης από τόνους σε γραμμάρια, καθώς η ρύπανση στα δεδομένα της EMISIA ήταν εκφρασμένη σε τόνους
- Τέλος πραγματοποιήθηκε διαίρεση των ομαδοποιημένων συνολικών εκπομπών κάθε κατηγορίας με τα ομαδοποιημένα συνολικά χιλιόμετρα της αντίστοιχης όμοιας κατηγορίας.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για το 2018, καθώς αποτελεί το πιο πρόσφατο έτος για το οποίο υπάρχουν δεδομένα. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συντελεστή εκπομπών για κάθε κατηγορία, σύμφωνα με την διαδικασία που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Πίνακας 6.1 Συντελεστής εκπομπών (g/km) για κάθε κατηγορία το 2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	CO₂	CO	NO_x	PM₁₀	SO₂
Βενζίνη	Pre-Euro	215,5	15,50	1,93	0,027	0,0010
Βενζίνη	Euro 1	199,7	3,68	0,36	0,027	0,0009
Βενζίνη	Euro 2	195,9	1,98	0,22	0,027	0,0009
Βενζίνη	Euro 3	195,7	1,67	0,09	0,026	0,0009
Βενζίνη	Euro 4	204,2	0,56	0,07	0,026	0,0010
Βενζίνη	Euro 5	206,4	0,59	0,04	0,026	0,0010
Βενζίνη	Euro 6	210,8	0,56	0,05	0,026	0,0010
Πετρέλαιο	Pre-Euro	210,1	0,77	0,70	0,246	0,0008
Πετρέλαιο	Euro 1	192,9	0,47	0,74	0,094	0,0008
Πετρέλαιο	Euro 2	212,3	0,38	0,78	0,076	0,0008
Πετρέλαιο	Euro 3	193,5	0,12	0,80	0,061	0,0008
Πετρέλαιο	Euro 4	195,3	0,12	0,61	0,059	0,0008
Πετρέλαιο	Euro 5	194,1	0,05	0,65	0,028	0,0008
Πετρέλαιο	Euro 6	186,9	0,06	0,47	0,027	0,0007
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	173,4	5,93	2,21	0,027	0,0011
Διπλού καυσίμου	Euro 1	172,7	3,22	0,43	0,027	0,0011
Διπλού καυσίμου	Euro 2	172,7	2,24	0,18	0,027	0,0011
Διπλού καυσίμου	Euro 3	172,7	1,64	0,10	0,026	0,0011
Διπλού καυσίμου	Euro 4	172,7	0,53	0,07	0,026	0,0011
Διπλού καυσίμου	Euro 5	172,8	0,53	0,05	0,026	0,0011
Διπλού καυσίμου	Euro 6	174,2	0,53	0,05	0,026	0,0010
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	124,9	0,39	0,02	0,025	0,0006
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	124,2	0,37	0,04	0,025	0,0006
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	124,5	0,35	0,03	0,025	0,0006
PHEV	Euro 5	97,7	0,72	0,04	0,021	-
PHEV	Euro 6	97,7	0,72	0,04	0,022	-
BEV	Euro 5	-	-	-	0,015	-
BEV	Euro 6	-	-	-	0,015	-

Για τον συντελεστή γίνεται η παραδοχή ότι θα παραμείνει σταθερός το χρονικό διάστημα 2019 έως 2030, με μόνη εξαίρεση να αποτελούν τα πρότυπα Euro 6 του CO₂, καθώς σύμφωνα με το ΕΣΕΚ, έχουν θεσπιστεί αυστηρότερα όρια εκπομπών στις ταξινομήσεις καινούργιων επιβατικών αυτοκινήτων. Τα όρια αυτά επιβάλλουν για το 2025, μείωση κατά 15% σε σχέση με το 2021 και για

το 2030, μείωση κατά 37,5% σε σχέση με το 2021. Επομένως για τις συγκεκριμένες κατηγορίες, από το 2019 μέχρι το 2021 ο συντελεστής θα παραμείνει ίδιος και στην συνέχεια θα μειωθεί κατά 15% και 37,5% για το 2025 και 2030 αντίστοιχα, παράλληλα οι ενδιάμεσες χρονιές υπολογίζονται με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής. Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συντελεστή εκπομπών CO₂ για τις κατηγορίες Euro 6.

Πίνακας 6.2 Συντελεστής εκπομπών CO₂ (g/km) για τις κατηγορίες Euro 6.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2018-2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Euro 6	210,8	202,9	195,0	187,1	179,2	169,7	160,2	150,7	141,2	131,8
Πετρέλαιο	Euro 6	186,9	179,9	172,9	165,9	158,9	150,5	142,0	133,6	125,2	116,8
Διπλού καυσίμου	Euro 6	174,2	167,6	161,1	154,6	148,0	140,2	131,8	123,4	115,0	108,9
Εναλλ. καυσίμου	Euro 6	124,5	119,8	115,1	110,5	105,8	100,2	94,6	89,0	83,4	77,8
PHEV	Euro 6	97,7	94,1	90,4	86,8	83,1	78,7	74,3	69,9	65,5	61,1

Σύμφωνα με την εξίσωση (6.1), μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των εκπομπών κάθε υποκατηγορίας για όλους τους εξεταζόμενους ρύπους. Το άθροισμα των εκπομπών κάθε υποκατηγορίας αποδίδει τις συνολικές εκπομπές κάθε έτους. Τα αποτελέσματα των εκπομπών κάθε υποκατηγορίας και κάθε ρύπου παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α. Οι συνολικές εκπομπές κάθε ρύπου θα παρουσιαστούν σε πίνακες στις ενότητες που ακολουθούν.

6.2 Υπολογισμός εκπομπών CO₂

Στον Πίνακα 6.3 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές CO₂ των επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030. Οι εκπομπές από το 1990 μέχρι το 2018 αναφέρονται στα δεδομένα της EMISIA, ενώ οι εκπομπές από το 2019 μέχρι το 2030 αποτελούν πρόβλεψη. Εν συνεχεία ακολουθεί ο Πίνακας 6.4, στο οποίο παρουσιάζονται οι μεταβολές των εκπομπών για το διάστημα των δεδομένων (1990-2018), το διάστημα της πρόβλεψης (2018-2030) και το συνολικό διάστημα (1990-2030). Τέλος, οι συνολικές εκπομπές CO₂ από το 1990 έως το 2030, παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 6.1).

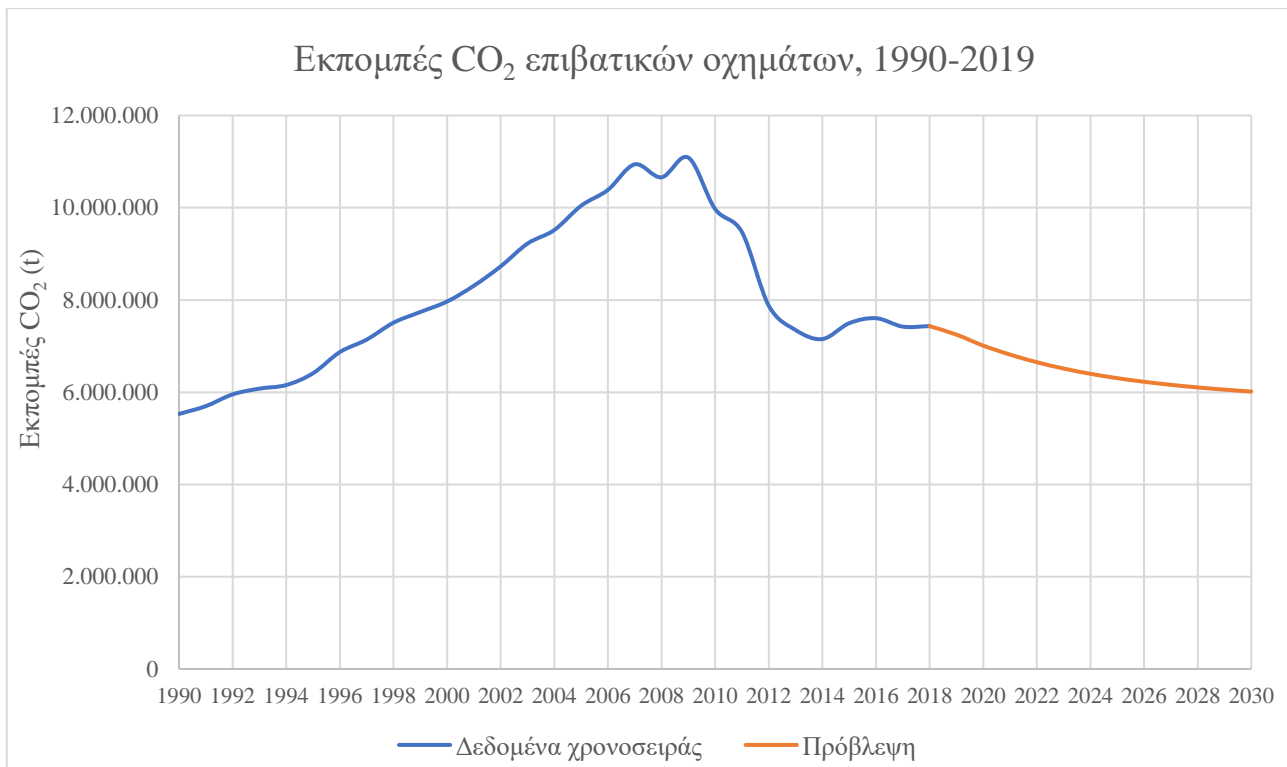
Πίνακας 6.3 Συνολικές εκπομπές CO₂ επιβατικών οχημάτων από το 1990-2030.

ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ (ΤΟΝΟΙ)	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ (ΤΟΝΟΙ)
1990	5.528.991	2011	9.472.425
1991	5.697.912	2012	7.878.093
1992	5.953.402	2013	7.348.887
1993	6.078.087	2014	7.152.732
1994	6.155.380	2015	7.496.096
1995	6.411.077	2016	7.604.865
1996	6.870.099	2017	7.422.465
1997	7.140.316	2018	7.434.115
1998	7.507.188	2019	7.260.937
1999	7.738.884	2020	7.021.596
2000	7.965.886	2021	6.825.062
2001	8.308.539	2022	6.659.335
2002	8.728.130	2023	6.520.575
2003	9.222.301	2024	6.405.433
2004	9.516.155	2025	6.310.808
2005	10.043.047	2026	6.231.334
2006	10.386.057	2027	6.164.417
2007	10.940.687	2028	6.107.776
2008	10.658.765	2029	6.059.123
2009	11.086.632	2030	6.016.324
2010	9.971.840		

Πίνακας 6.4 Μεταβολή συνολικών εκπομπών CO₂.

Ρύπος	1990-2018	1990-2030	2018-2030
CO ₂	34,5%	8,8%	-19,1%

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.4, το 2018 οι εκπομπές CO₂ είναι κατά 34,5% υψηλότερες από το 1990. Η αύξηση των εκπομπών θεωρείται αναμενόμενη, εάν αναλογιστεί πως ο αριθμός οχημάτων έχει σχεδόν τριπλασιαστεί μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα, συμπεριλαμβανομένου και του γεγονότος πως με το πέρασμα των χρόνων η ηλικία του στόλου όλο και μεγάλωνε. Η ανανέωση του στόλου με αυτοκίνητα κατηγορίας προτύπων Euro 6 και η διείσδυση της ηλεκτροκίνησης από το 2018 μέχρι το 2030, προβλέπεται να επιφέρει μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 19,1%. Παρόλα αυτά οι εκπομπές θα είναι κατά 8,8% μεγαλύτερες από τα επίπεδα του 1990.



Γράφημα 6.1 Εκπομπές CO₂ επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 6.1, παρατηρείται πως η καμπύλη των εκπομπών CO₂ παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με την καμπύλη των συνολικών χιλιομέτρων. Οι προσθήκη νέων προτύπων Euro αφορούν κυρίως την βελτίωση των υπολοίπων ρύπων, κάτι το οποίο δεν ισχύει για το CO₂. Οι εκπομπές CO₂ συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την απόσταση που διανύουν τα οχήματα, γι' αυτόν το λόγο παρατηρείται αυτή η ομοιότητα μεταξύ των δύο καμπυλών. Από το 1990 μέχρι το 2009, οι εκπομπές αυξανόντουσαν με συνεχή ρυθμό λόγω της αύξησης του αριθμού επιβατικών αυτοκινήτων. Η οικονομική κρίση που βίωσε η Ελλάδα, ανάγκασε τους οδηγούς να μειώσουν τα συνολικά χιλιόμετρα που έκαναν για λόγους οικονομίας. Αυτή η εξέλιξη οδήγησε σε θετική επίδραση προς το περιβάλλον, καθώς οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 35% σε διάστημα μόλις λίγων χρόνων.

Τα τελευταία χρόνια έχουν θεσπιστεί νομοθεσίες ώστε οι αυτοκινητοβιομηχανίες να αναγκαστούν να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ των αυτοκινήτων. Αυτό οδηγεί στην επιτακτική λύση να ενταχθούν υβριδικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, έτσι ώστε να μπορέσουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες να είναι εντός των ορίων. Σύμφωνα με την πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε, η ανανέωση του στόλου οχημάτων με αυτοκίνητα αυστηρότερων προδιαγραφών, θα οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 19,1%.

6.3 Υπολογισμός εκπομπών CO

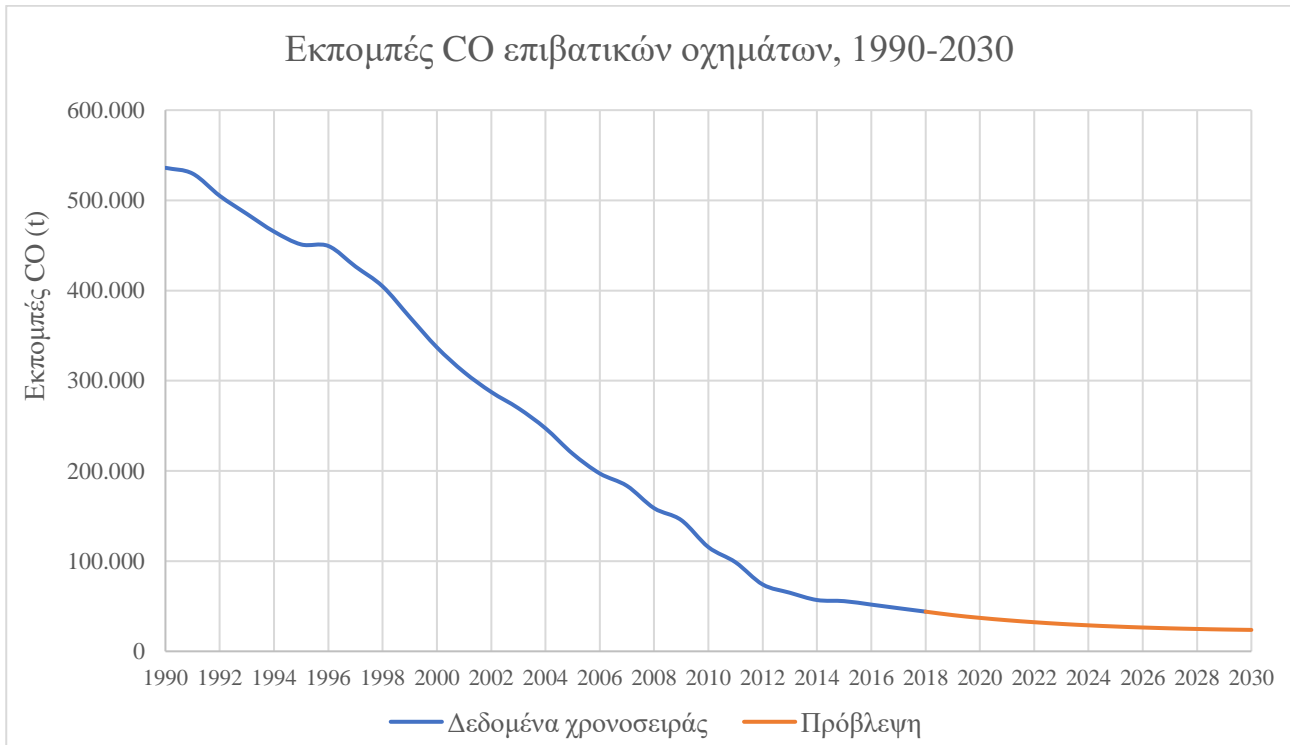
Στον Πίνακα 6.5 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές CO των επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030. Οι εκπομπές από το 1990 μέχρι το 2018 αναφέρονται στα δεδομένα της EMISIA, ενώ οι εκπομπές από το 2019 μέχρι το 2030 αποτελούν πρόβλεψη. Εν συνεχεία ακολουθεί ο Πίνακας 6.6, στο οποίο παρουσιάζονται οι μεταβολές των εκπομπών για το διάστημα των δεδομένων (1990-2018), το διάστημα της πρόβλεψης (2018-2030) και το συνολικό διάστημα (1990-2030). Τέλος, οι συνολικές εκπομπές CO από το 1990 έως το 2030, παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 6.2).

Πίνακας 6.5 Συνολικές εκπομπές CO επιβατικών οχημάτων από το 1990-2030.

ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO (ΤΟΝΟΙ)	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO (ΤΟΝΟΙ)
1990	536.078	2011	98.704
1991	529.680	2012	74.083
1992	505.011	2013	64.946
1993	484.974	2014	56.860
1994	465.361	2015	55.637
1995	451.107	2016	51.775
1996	449.408	2017	47.824
1997	426.637	2018	43.986
1998	404.585	2019	40.253
1999	370.536	2020	37.176
2000	336.982	2021	34.555
2001	309.518	2022	32.328
2002	287.540	2023	30.441
2003	269.539	2024	28.850
2004	247.209	2025	27.534
2005	219.078	2026	26.437
2006	197.170	2027	25.533
2007	183.433	2028	24.799
2008	158.689	2029	24.215
2009	145.476	2030	23.755
2010	115.496		

Πίνακας 6.6 Μεταβολή συνολικών εκπομπών CO.

Ρύπος	1990-2018	1990-2030	2018-2030
CO	-91,8%	-95,6%	-46,0%



Γράφημα 6.2 Εκπομπές CO επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 6.2, παρατηρείται πως οι εκπομπές CO των επιβατικών οχημάτων παρουσιάζουν συνεχόμενη μείωση με το πέρασμα των χρόνων χωρίς ενδιάμεσες μεταβολές. Τα αυτοκίνητα πριν από τη δεκαετία το 1990, αποτελούνταν από ιδιαίτερα ρυπογόνες τεχνολογίες. Με την πρόοδο της τεχνολογίας των καταλυτών και την θέσπιση των προτύπων Euro, άρχισαν να κατασκευάζονται αυτοκίνητα με ολοένα χαμηλότερες εκπομπές ρύπων. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η συνεχόμενη μείωση των εκπομπών CO, παρά την σημαντική αύξηση των αυτοκινήτων. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Πίνακα 6.6, το 2018 οι εκπομπές CO είναι μειωμένες κατά 91,8% σε σχέση με το 1990. Η ανανέωση του στόλου με πιο καινούρια αυτοκίνητα σε συνδυασμό με την ένταξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας, προβλέπεται να μειώσει τις εκπομπές CO κατά 46% στο διάστημα 2018-2030.

6.4 Υπολογισμός εκπομπών NO_x

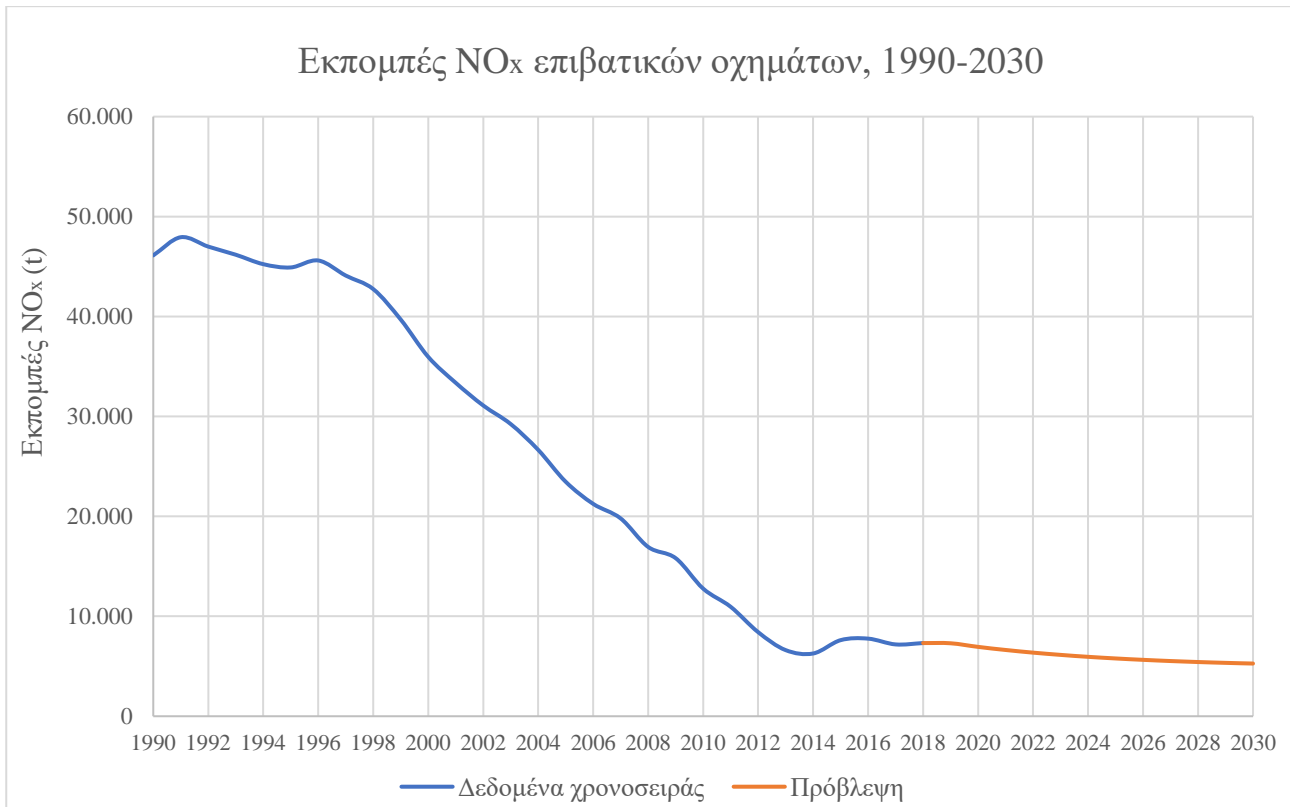
Στον Πίνακα 6.7 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές NO_x των επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030. Οι εκπομπές από το 1990 μέχρι το 2018 αναφέρονται στα δεδομένα της EMISIA, ενώ οι εκπομπές από το 2019 μέχρι το 2030 αποτελούν πρόβλεψη. Εν συνεχεία ακολουθεί ο Πίνακας 6.8, στο οποίο παρουσιάζονται οι μεταβολές των εκπομπών για το διάστημα των δεδομένων (1990-2018), το διάστημα της πρόβλεψης (2018-2030) και το συνολικό διάστημα (1990-2030). Τέλος, οι συνολικές εκπομπές NO_x από το 1990 έως το 2030, παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 6.3).

Πίνακας 6.7 Συνολικές εκπομπές NO_x επιβατικών οχημάτων από το 1990-2030.

ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO _x (ΤΟΝΟΙ)	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO _x (ΤΟΝΟΙ)
1990	46.115	2011	10.953
1991	47.932	2012	8.414
1992	46.992	2013	6.617
1993	46.181	2014	6.278
1994	45.237	2015	7.613
1995	44.908	2016	7.765
1996	45.605	2017	7.187
1997	44.096	2018	7.322
1998	42.744	2019	7.316
1999	39.694	2020	6.952
2000	35.962	2021	6.641
2001	33.366	2022	6.375
2002	31.096	2023	6.147
2003	29.239	2024	5.952
2004	26.654	2025	5.788
2005	23.464	2026	5.648
2006	21.251	2027	5.529
2007	19.792	2028	5.429
2008	16.940	2029	5.344
2009	15.816	2030	5.274
2010	12.770		

Πίνακας 6.8 Μεταβολή συνολικών εκπομπών NO_x.

Ρύπος	1990-2018	1990-2030	2018-2030
CO	-84,1%	-88,6%	-28,0%



Γράφημα 6.3 Εκπομπές NO_x επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 6.3, οι εκπομπές NO_x φαίνεται να δέχονται σημαντική μείωση με το πέρασμα των χρόνων παρά την αύξηση του αριθμού οχημάτων. Σε γενικές γραμμές ισχύουν όσα αναφέρθηκαν για το CO. Δηλαδή, η προσθήκη νέων αυστηρότερων προτύπων Euro και οι βελτιώσεις των καταλυτών, οδήγησαν στην δημιουργία ολοένα και πιο καθαρών αυτοκινήτων. Αποτέλεσμα αυτών αποτελεί το γεγονός πως οι εκπομπές NO_x του 2018 να είναι μειωμένες κατά 84,1% σε σχέση τα επίπεδα του 1990. Τέλος, η ανανέωση του στόλου με πιο καινούρια αυτοκίνητα σε συνδυασμό με την ένταξη της ηλεκτροκίνησης, προβλέπεται να μειώσει τις εκπομπές NO_x κατά 28% στο διάστημα 2018-2030.

6.5 Υπολογισμός εκπομπών PM₁₀

Στον Πίνακα 6.9 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές PM₁₀ των επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030. Οι εκπομπές από το 1990 μέχρι το 2018 αναφέρονται στα δεδομένα της EMISIA, ενώ οι εκπομπές από το 2019 μέχρι το 2030 αποτελούν πρόβλεψη. Εν συνεχεία ακολουθεί ο Πίνακας 6.10, στο οποίο παρουσιάζονται οι μεταβολές των εκπομπών για το διάστημα των δεδομένων (1990-2018), το διάστημα της πρόβλεψης (2018-2030) και το συνολικό διάστημα (1990-2030). Τέλος, οι συνολικές εκπομπές PM₁₀ από το 1990 έως το 2030, παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 6.4).

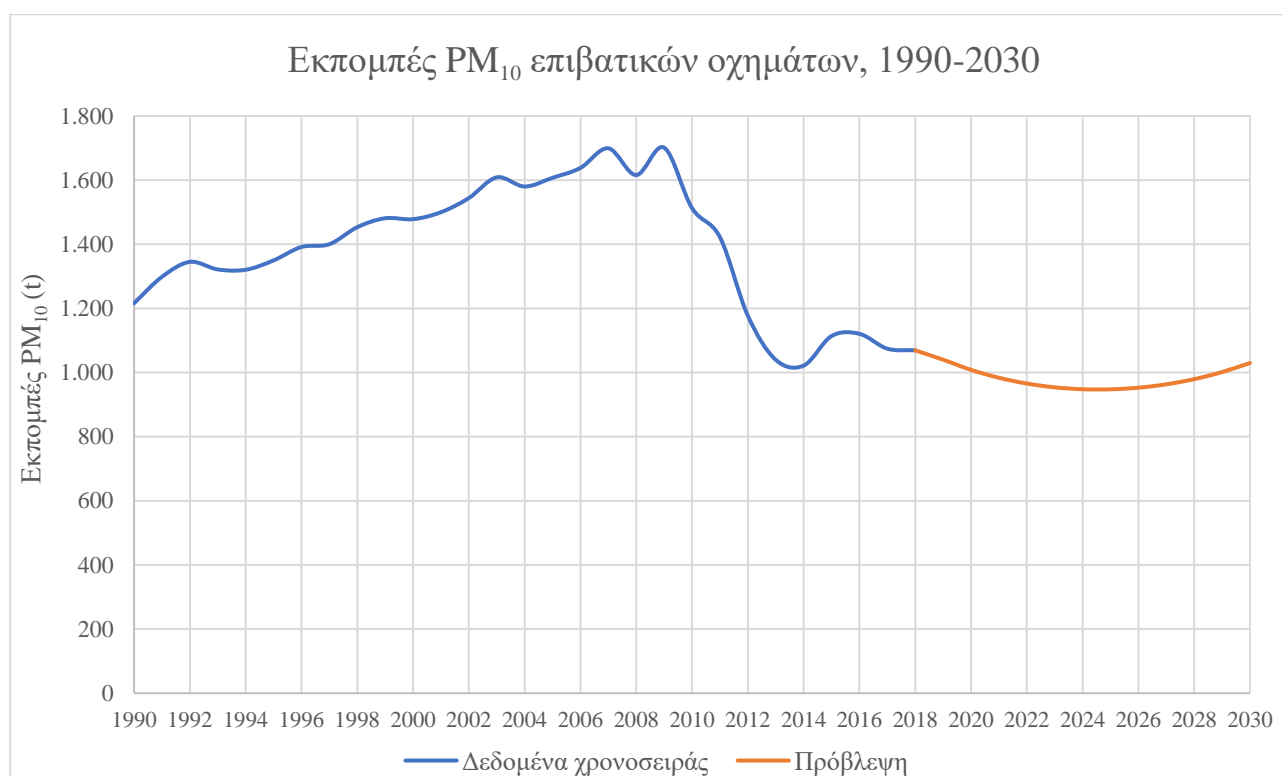
Πίνακας 6.9 Συνολικές εκπομπές PM₁₀ επιβατικών οχημάτων από το 1990-2030.

ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ PM ₁₀ (ΤΟΝΟΙ)	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ PM ₁₀ (ΤΟΝΟΙ)
1990	1.216,3	2011	1.422,1
1991	1.298,5	2012	1.177,2
1992	1.345,0	2013	1.039,8
1993	1.321,5	2014	1.021,4
1994	1.320,4	2015	1.113,7
1995	1.349,6	2016	1.120,7
1996	1.391,5	2017	1.074,3
1997	1.400,1	2018	1.069,3
1998	1.453,3	2019	1.041,8
1999	1.481,1	2020	1.009,8
2000	1.478,2	2021	985,0
2001	1.499,9	2022	966,8
2002	1.544,1	2023	954,8
2003	1.608,7	2024	948,7
2004	1.580,1	2025	948,4
2005	1.607,3	2026	953,4
2006	1.638,0	2027	963,8
2007	1.699,2	2028	979,8
2008	1.615,8	2029	1.001,8
2009	1.701,2	2030	1.030,0
2010	1.512,7		

Πίνακας 6.10 Μεταβολή συνολικών εκπομπών PM₁₀.

Ρύπος	1990-2018	1990-2030	2018-2030
PM ₁₀	-12,1%	-15,3%	-3,7%

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονισθεί πως οι οδικές μεταφορές κατά κύριο λόγο προκαλούν εκπομπές καυσαερίων που προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Παρόλα αυτά, αέριοι ρύποι σχηματίζονται τόσο από την εξάτμιση των καυσίμων όσο και από τη φθορά των τροχών, των φρένων και του οδοστρώματος και συμβάλλουν αντίστοιχα στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀). Επομένως τα PM₁₀ εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τον αριθμό αυτοκινήτων και από τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύονται. Στον Πίνακα 6.9 γίνεται αναφορά για τις συνολικές εκπομπές PM₁₀, δηλαδή το άθροισμα των εκπομπών από τα καυσαέρια και των εκπομπών από τις φθορές των ελαστικών και των φρένων.



Γράφημα 6.4 Εκπομπές PM₁₀ επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030.

Σύμφωνα με Γράφημα 6.4, παρατηρείται πως η καμπύλη των εκπομπών PM₁₀ παρουσιάζει ομοιότητα με αυτή των εκπομπών CO₂, αλλά σε μικρότερη αναλογία. Πιο συγκεκριμένα, οι βελτιώσεις των ορίων εκπομπών στα πρότυπα Euro οδηγεί σε μείωση των εκπομπών. Αντιθέτως, η φθορά των τροχών και των φρένων οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών η οποία είναι ανάλογη με την κινητική

δραστηριότητα των αυτοκινήτων. Γι' αυτό τον λόγο, από το 1990 μέχρι το 2009, υπάρχει αύξηση της ρύπανσης των PM₁₀, εξαιτίας της αύξησης των αυτοκινήτων. Η μείωση των χιλιομέτρων, που επέφερε η οικονομική κρίση, οδήγησε σε εκ νέου μείωση των εκπομπών το διάστημα 2009 έως 2015. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Πίνακα 6.10, το 2018 οι εκπομπές PM₁₀ είναι μειωμένες κατά 12,1% σε σχέση με το 1990.

Σύμφωνα με την πρόβλεψη η πτωτική πορεία συνεχίζεται μέχρι το 2025 όπου παρατηρείται μικρή αλλά αισθητή αύξηση. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στην αύξηση των χιλιομέτρων που ενδέχεται να παρουσιαστεί λόγω της διείσδυσης των ηλεκτρικών και υβριδικών αυτοκινήτων, καθώς οι συγκεκριμένες κατηγορίες αυτοκινήτων απευθύνονται σε αγοραστές που πραγματοποιούν πολλά χιλιόμετρα ετησίως. Παρά την αύξηση από το 2025 και μετά, οι συνολικές εκπομπές PM₁₀ το 2030 είναι μειωμένες κατά 3,7% σε σχέση με το 2018.

6.6 Υπολογισμός εκπομπών SO₂

Στον Πίνακα 6.11 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές SO₂ των επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030. Οι εκπομπές από το 1990 μέχρι το 2018 αναφέρονται στα δεδομένα της EMISIA, ενώ οι εκπομπές από το 2019 μέχρι το 2030 αποτελούν πρόβλεψη. Εν συνεχεία ακολουθεί ο Πίνακας 6.12, στο οποίο παρουσιάζονται οι μεταβολές των εκπομπών για το διάστημα των δεδομένων (1990-2018), το διάστημα της πρόβλεψης (2018-2030) και το συνολικό διάστημα (1990-2030). Τέλος, οι συνολικές εκπομπές SO₂ από το 1990 έως το 2030, παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 6.5).

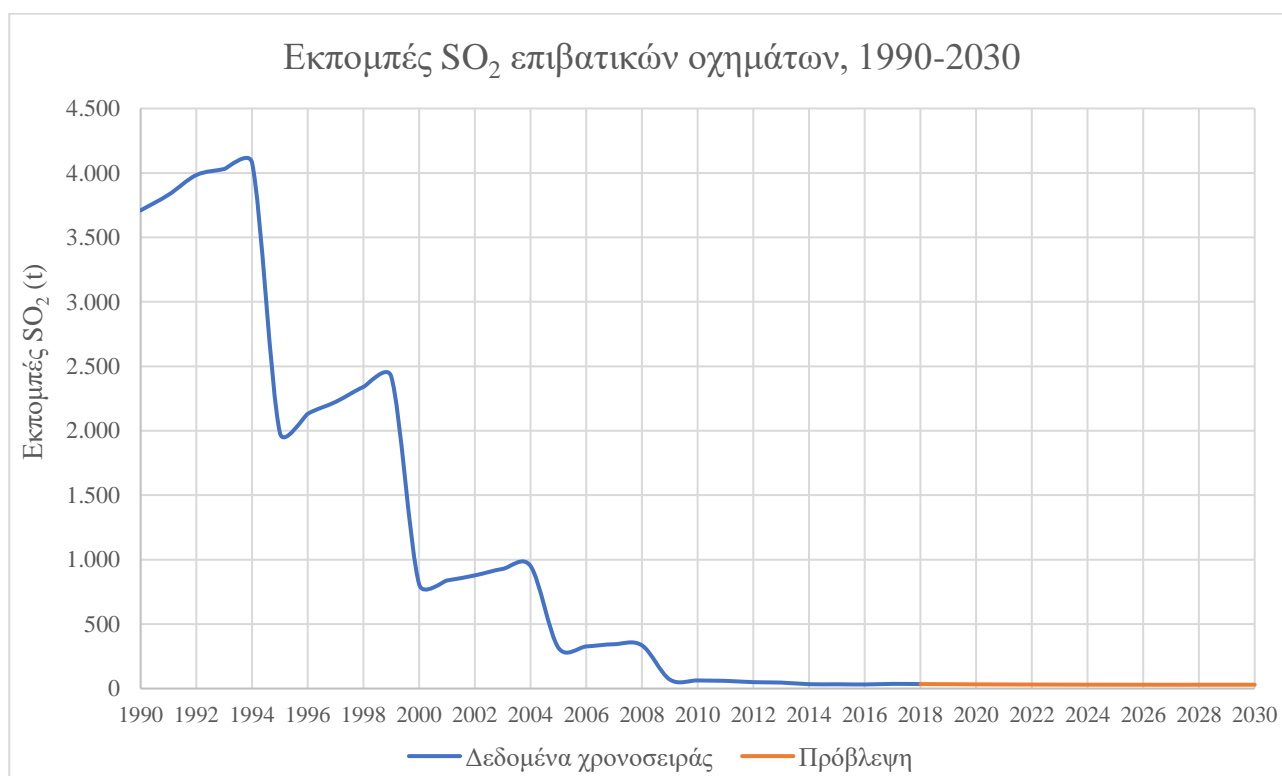
Πίνακας 6.11 Συνολικές εκπομπές SO₂ επιβατικών οχημάτων από το 1990-2030.

ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ SO ₂ (ΤΟΝΟΙ)	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ SO ₂ (ΤΟΝΟΙ)
1990	3.709,3	2011	59,6
1991	3.830,1	2012	49,4
1992	3.983,3	2013	46,3
1993	4.029,9	2014	33,8
1994	4.078,1	2015	33,2
1995	1.983,7	2016	31,7
1996	2.131,6	2017	36,1
1997	2.223,6	2018	34,6
1998	2.340,0	2019	33,7

1999	2.418,9	2020	32,6
2000	808,5	2021	31,7
2001	838,5	2022	31,0
2002	877,8	2023	30,4
2003	928,2	2024	30,0
2004	950,3	2025	29,7
2005	316,2	2026	29,6
2006	326,7	2027	29,5
2007	343,8	2028	29,5
2008	335,1	2029	29,7
2009	69,7	2030	29,9
2010	62,6		

Πίνακας 6.12 Μεταβολή συνολικών εκπομπών SO₂.

Ρύπος	1990-2018	1990-2030	2018-2030
SO ₂	-99,1%	-99,2%	-13,6%



Γράφημα 6.5 Εκπομπές SO₂ επιβατικών οχημάτων από το 1990 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 6.5, παρατηρούνται έντονα “σκαλοπάτια” σε ορισμένες χρονικές περιόδους. Σε γενικές γραμμές, μέχρι και την δεκαετία του 1990, τα καύσιμα περιείχαν μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο, με αποτέλεσμα κατά την καύση τους να απελευθερώνουν τεράστια ποσά θειικού οξέος. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, δημιουργήθηκαν νέες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες που κατάφεραν να αφαιρέσουν μεγάλα ποσοστά θείου κατά την διύλιση των καυσίμων (αποθείωση). Επομένως οι απότομες διακυμάνσεις στο Γράφημα 6.5, απευθύνονται στα νέα αυστηρότερα όρια που έθετε η Ευρωπαϊκή Ένωση, για μείωση της περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.12, το 2018 οι εκπομπές SO₂ είναι μειωμένες κατά 99,1% σε σχέση με το 1990, ενώ βάσει της πρόβλεψης, το 2030 αναμένεται περαιτέρω μείωση των εκπομπών SO₂ κατά 13,6%

7. Υπολογισμός ρύπανσης BEV και PHEV από την ηλεκτροπαραγωγή

Η ηλεκτροκίνηση, όπως είναι γνωστό, δεν εκπέμπει ρύπους στην ατμόσφαιρα ή πιο σωστά, δεν εκπέμπει **άμεσα** ρύπους στην ατμόσφαιρα. Η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι απαραίτητη για την κίνηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, παράγεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στους οποίους απελευθερώνονται τεράστια ποσά ρύπων. Επομένως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εκπέμπουν ρύπους έμμεσα και γι' αυτό πρέπει να διερευνηθεί για το ποια είναι η συμβολή των εκπεμπόμενων ρύπων από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω τίθεται ένα σημαντικό ερώτημα, αν τελικά η ένταξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα καταφέρει να μειώσει τους συνολικούς ρύπους ή αν απλά θα μετατοπίσει την ρύπανση από τις πόλεις στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντικό ρόλο για την απάντηση του ερωτήματος παίζει το ενεργειακό μίγμα της χώρας. Το ενεργειακό μείγμα ορίζεται ως το ποσοστό των επιμέρους πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελεί βασικό δείκτη για την ενεργειακή πολιτική μιας χώρας (Ahn, Chu and Lee, 2021). Πιο αναλυτικά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) δεν εκπέμπουν ρύπους σε αντίθεση με τις λιγνιτικές μονάδες και τις μονάδες φυσικού αερίου οι οποίες απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ρύπων. Επομένως το ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής της κάθε πηγής παίζει σημαντικό ρόλο για το αν τελικά τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν οχήματα μηδενικών ρύπων.

Για τον υπολογισμό της ρύπανσης από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής θα πρέπει αφενός να βρεθεί το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και αφετέρου να υπολογισθούν οι ρύποι βάσει της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Η ηλεκτρική κατανάλωση υπολογίζεται από τους τύπους (7.1) και (7.2) ακολουθούν:

$$HK = HK_{BEV} + HK_{PHEV} \quad (7.1)$$

ή

$$HK = AO_{BEV} \times MΔX_{BEV} \times MK_{BEV} + AO_{PHEV} \times MΔX_{PHEV} \times MK_{PHEV} \times e \quad (7.2)$$

όπου:

HK: η συνολική Ηλεκτρική Κατανάλωση, εκφρασμένη σε kWh

HK_{BEV}: η Ηλεκτρική Κατανάλωση των BEV, εκφρασμένη σε kWh

HK_{PHEV}: η Ηλεκτρική Κατανάλωση των PHEV, εκφρασμένη σε kWh

AO_{BEV}: ο Αριθμός Οχημάτων BEV

MΔX_{BEV}: τα Μέσα Διανυόμενα Χιλιόμετρα των BEV

MK_{BEV} : η Μέση Κατανάλωση των BEV, εκφρασμένη σε kWh/km

AO_{PHEV} : ο Αριθμός Οχημάτων PHEV

$MΔX_{PHEV}$: τα Μέσα Διανυόμενα Χιλιόμετρα των PHEV

MK_{PHEV} : η Μέση Κατανάλωση των PHEV, εκφρασμένη σε kWh/km

e: το ποσοστό των χιλιομέτρων των PHEV που γίνεται με χρήση του ηλεκτροκινητήρα, έχει θεωρηθεί $e = 60\%$

Η συνολική ρύπανση από την ηλεκτροπαραγωγή υπολογίζεται ετησίως από τον τύπο (7.3), ενώ οι εκπομπές ρύπων που προέρχονται από τα BEV και PHEV υπολογίζονται από τους τύπους (7.4) και (7.5), αντίστοιχα.

$$\Sigma P_{HA} = EP_{BEV} + EP_{PHEV} \quad (7.3)$$

$$EP_{BEV} = \Sigma(HK_{BEV} \times EM_k \times \Sigma E_k) \quad (7.4)$$

$$EP_{PHEV} = \Sigma(HK_{PHEV} \times EM_k \times \Sigma E_k) \quad (7.5)$$

όπου:

ΣP_{HA} : η Συνολική Ρύπανση των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων από την Ηλεκτροπαραγωγή, σε kg

EP_{BEV} : οι Εκπομπές Ρύπων που προέρχονται από τα BEV, εκφρασμένη σε kg

EP_{PHEV} : οι Εκπομπές Ρύπων που προέρχονται από τα PHEV, εκφρασμένη σε kg

HK_{BEV} : η Ηλεκτρική Κατανάλωση των BEV, εκφρασμένη σε MWh

HK_{PHEV} : η Ηλεκτρική Κατανάλωση των PHEV, εκφρασμένη σε MWh

EM_k : το ποσοστό Ενεργειακού Μίγματος, όπου k αφορά τις τιμές του λιγνίτη, του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ

ΣE_k : ο Συντελεστής Εκπομπών ρύπων από την ηλεκτροπαραγωγή, εκφρασμένος σε kg/MWh, όπου k αφορά τις τιμές του λιγνίτη, του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ. Για τις ΑΠΕ θεωρείται $\Sigma E_k = 0$, διότι δεν εκπέμπουν ρύπους κατά την ηλεκτροπαραγωγή

Από τις παραπάνω εξισώσεις είναι γνωστός ο αριθμός οχημάτων και τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα των BEV και PHEV από το 2019 μέχρι το 2030 (Κεφάλαιο 5). Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει υπολογισμός όλων των άλλων παραμέτρων που απαιτούνται ώστε στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της ρύπανσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από την ηλεκτροπαραγωγή.

7.1 Ενεργειακό μίγμα 2017-2021

Ο ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) εκτελεί τα καθήκοντα του διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και είναι υπεύθυνος για τον εφοδιασμό της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια. Ο ΑΔΜΗΕ δημοσιοποιεί κάθε μήνα ενημερωτικά δελτία για την ενέργεια τα οποία απευθύνονται στη ζήτηση, στην παραγωγή, στο ισοζύγιο διασυνδέσεων και σε εμπορικά προγράμματα εισαγωγών και εξαγωγών.

Στους Πίνακες 7.1α και 7.2β που ακολουθούν παρουσιάζεται η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε MWh από το 2017 μέχρι και το 2021. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα αφορούν την μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο δίκτυο της ηπειρωτικής Ελλάδας. Στις πρώτες τρεις στήλες παρουσιάζεται η παραγωγή από λιγνίτη, φυσικό αέριο και υδροηλεκτρισμό αντίστοιχα. Στην στήλη ΑΠΕ συστήματος παρουσιάζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις ανανεώσιμες πηγές, με εξαίρεση τα ιδιωτικά φωτοβολταϊκά ή υβριδικά συστήματα που συμμετέχουν σε πρόγραμμα αυτοπαραγωγής (Net Metering), τα οποία ταξινομούνται στην στήλη παραγωγή στο δίκτυο. Τέλος, το σύνολο παραγωγής προκύπτει από το άθροισμα όλων των πηγών παραγωγής ενέργειας, ενώ στο σύνολο παραγωγής στο σύστημα δεν συμμετέχει η παραγωγή στο δίκτυο.

Σημειώνεται, ότι μέρος των πετρελαϊκών μονάδων στα νησιά που θα διασυνδεθούν θα συνεχίσει να υφίσταται, κυρίως σε καθεστώς ψυχρής εφεδρείας. Ωστόσο η λειτουργία τους θα περιοριστεί δραστικά, καθώς τα φορτία των νησιών θα καλύπτονται κυρίως από το διασυνδεδεμένο σύστημα. (ΕΣΕΚ, 2019). Στους παρακάτω πίνακες η παραγωγή από πετρελαϊκές μονάδες παρουσιάζεται στην στήλη άλλα.

Πίνακας 7.1α Καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) τα έτη 2017 και 2018.

	ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ	ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	ΑΛΛΑ	ΑΠΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
2017	1.708.241	2.000.667	657.902	89	528.125	242.128	5.137.152	4.895.023
	1.573.383	1.239.832	214.342	87	512.806	326.454	3.866.905	3.540.450
	1.330.773	763.956	218.171	84	513.278	445.511	3.271.773	2.826.262
	1.129.272	764.463	146.090	55	362.578	475.658	2.878.116	2.402.457
	1.080.310	971.595	210.338	56	495.861	463.942	3.222.102	2.758.160
	1.214.604	1.417.081	283.635	33	278.607	449.895	3.643.855	3.193.960
	1.466.090	1.499.640	405.609	17	505.296	482.738	4.359.391	3.876.652
	1.345.532	1.603.135	361.996	16	685.578	482.296	4.478.553	3.996.256
	1.202.264	1.222.903	213.824	23	373.491	398.581	3.411.086	3.012.504
	1.460.304	1.110.589	196.361	66	448.011	390.793	3.606.125	3.215.332
	1.529.204	1.442.400	233.781	80	416.432	264.127	3.886.023	3.621.897
	1.346.758	1.360.626	314.697	72	714.469	307.639	4.044.260	3.736.621
2018	1.551.716	1.270.538	230.600	61	557.324	317.693	3.927.933	3.610.239
	1.313.079	1.091.598	370.929	83	531.861	293.925	3.601.477	3.307.551
	896.079	718.822	1.082.505	29	665.057	441.383	3.803.875	3.362.492
	626.393	787.853	627.431	71	435.214	492.282	2.969.244	2.476.962
	1.096.316	948.086	338.953	36	474.440	467.764	3.325.596	2.857.831
	1.365.338	1.078.787	376.737	16	417.522	445.335	3.683.736	3.238.401
	1.562.196	1.280.905	457.160	8	294.346	486.674	4.081.288	3.594.614
	1.471.095	1.237.391	434.970	3	656.332	476.130	4.275.921	3.799.791
	1.167.141	1.344.436	350.328	31	560.932	400.556	3.823.423	3.422.867
	992.006	1.462.820	247.009	17	577.019	352.202	3.631.073	3.278.871
	1.271.641	1.286.719	260.869	62	679.005	273.312	3.771.608	3.498.296
	1.594.033	1.628.118	273.957	45	528.777	287.018	4.311.948	4.024.930

(Πηγή: ΑΔΜΗΕ, 2022)

Πίνακας 7.1β Καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) τα έτη 2019 και 2020

	ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ	ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	ΥΔΡΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	ΆΛΛΑ	ΑΠΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	
2019	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1.381.780	2.061.522	406.759	40	680.000	284.071	4.814.171	4.530.101
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	884.712	1.338.440	305.444	78	661.915	356.589	3.547.179	3.190.590
	ΜΑΡΤΙΟΣ	995.416	889.997	187.720	90	686.717	491.043	3.250.985	2.759.942
	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	905.865	948.885	176.171	345	503.022	455.341	2.989.629	2.534.288
	ΜΑΙΟΣ	733.476	945.934	232.411	97	448.836	494.624	2.855.378	2.360.754
	ΙΟΥΝΙΟΣ	841.791	1.395.618	332.760	379	507.952	494.683	3.573.184	3.078.501
	ΙΟΥΛΙΟΣ	795.494	1.806.245	371.232	21	519.720	493.455	3.986.167	3.492.712
	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	819.955	1.689.170	404.831	12	802.290	524.600	4.240.858	3.716.257
	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	610.059	1.557.257	267.257	44	560.578	435.545	3.430.740	2.995.195
	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	680.233	1.471.070	195.842	58	485.793	382.445	3.215.441	2.832.996
	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	762.824	1.109.752	188.852	74	614.766	289.763	2.966.031	2.676.268
	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1.006.395	1.013.860	293.931	107	753.145	293.159	3.360.597	3.067.438
2020	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1.030.319	1.660.700	231.046	251	759.958	359.981	4.042.254	3.682.273
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	756.840	1.199.616	129.010	430	787.752	396.144	3.269.791	2.873.647
	ΜΑΡΤΙΟΣ	457.069	1.136.488	178.647	73	817.914	468.643	3.058.834	2.590.191
	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	338.206	1.059.752	211.095	188	778.404	505.044	2.892.689	2.387.644
	ΜΑΙΟΣ	210.612	1.254.784	244.728	180	584.803	575.313	2.870.420	2.295.107
	ΙΟΥΝΙΟΣ	206.898	1.412.092	348.202	93	553.806	525.103	3.046.194	2.521.091
	ΙΟΥΛΙΟΣ	293.982	2.023.956	377.379	63	788.448	569.311	4.053.139	3.483.828
	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	330.832	1.859.933	323.667	94	612.812	544.206	3.671.544	3.127.338
	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	311.626	1.634.954	271.215	1.095	985.837	484.537	3.689.263	3.204.726
	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	338.599	1.420.039	182.439	583	647.801	432.827	3.022.287	2.589.461
	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	617.565	1.417.662	205.870	1.442	974.876	367.943	3.585.359	3.217.416
	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	829.826	1.734.791	197.330	1.409	970.958	307.172	4.041.485	3.734.313
2021	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	582.289	1.632.019	742.333	1.343	1.196.555	410.058	4.564.598	4.154.540
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	517.474	860.835	864.360	1.120	894.191	461.749	3.599.730	3.137.981
	ΜΑΡΤΙΟΣ	644.070	1.341.458	275.236	1.182	858.813	556.617	3.677.376	3.120.759
	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	411.780	1.614.592	217.613	1.325	775.222	590.439	3.610.970	3.020.532
	ΜΑΙΟΣ	363.367	1.220.888	327.656	1.574	713.409	680.777	3.307.671	2.626.894
	ΙΟΥΝΙΟΣ	253.896	1.947.593	366.873	1.676	400.716	641.226	3.611.980	2.970.754
	ΙΟΥΛΙΟΣ	458.763	2.406.897	499.770	1.805	805.713	716.561	4.889.508	4.172.947
	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	622.200	2.254.440	458.919	1.687	711.662	689.390	4.738.298	4.048.908
	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	357.917	1.991.022	240.397	2.131	819.136	597.047	4.007.651	3.410.603
	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	361.527	1.897.807	253.158	2.064	1.068.134	511.803	4.094.494	3.582.691
	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	296.693	1.818.200	233.429	2.125	985.870	402.213	3.738.530	3.336.317
	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	470.818	1.887.545	814.196	2.235	1.228.588	476.927	4.880.309	4.403.382

(Πηγή: ΑΔΜΗΕ, 2022)

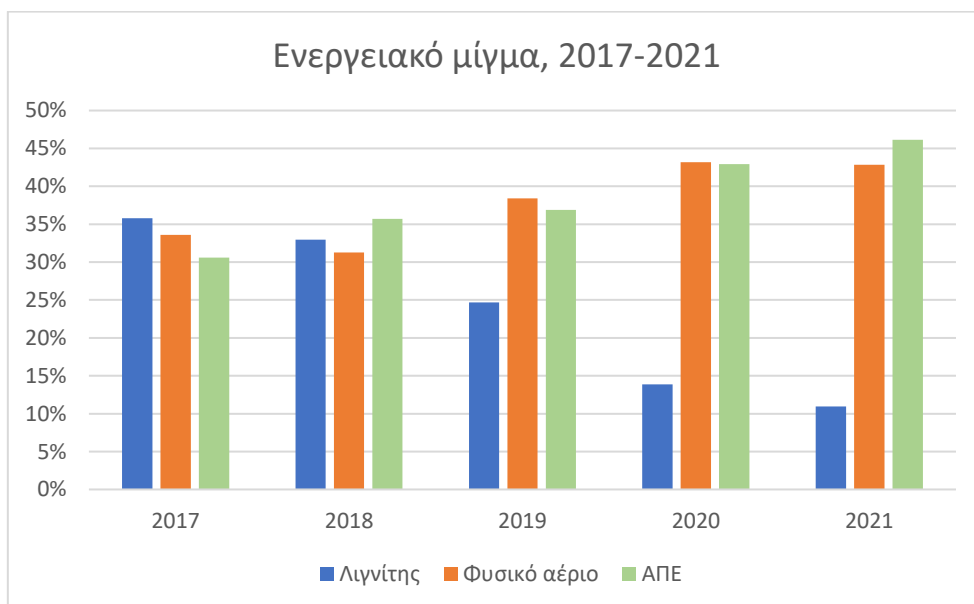
Σύμφωνα με τα παραπάνω αναλυτικά δεδομένα, μπορεί να γίνει υπολογισμός του ετήσιου ενεργειακού μίγματος για τα έτη 2017 έως 2021. Αρχικά έγινε πρόσθεση όλων των μηνών έτσι ώστε να βρεθεί η ετήσια παραγωγή της κάθε πηγής. Στην συνέχεια έγινε υπολογισμός του μίγματος λαμβάνοντας το πηλίκο της παραγωγής των επιμέρους πηγών προς την συνολική παραγωγή. Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ εντάχθηκε τόσο η υδροηλεκτροπαραγωγή, λόγω μηδενικών εκπομπών ρύπων, όσο και η παραγωγή στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα του ενεργειακού μίγματος «EM_k» για τα έτη 2017-2021 παρουσιάζονται στο Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2 Ενεργειακό μίγμα «EM_k» για τα έτη 2017-2021

	2017	2018	2019	2020	2021
Λιγνίτης	35,8%	33,0%	24,7%	13,9%	11,0%
Φυσικό αέριο	33,6%	31,3%	38,4%	43,2%	42,8%
ΑΠΕ	30,6%	35,7%	36,9%	42,9%	46,2%

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.2 γίνεται εμφανής η προσπάθεια μείωσης του μεριδίου λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, με απώτερο σκοπό την πλήρη απολογνιτοποίηση που σύμφωνα με το ΕΣΕΚ είναι προγραμματισμένη για το 2028.

Ο λιγνίτης το 2021 συμμετείχε μόλις στο 11% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής, ενώ το 2017 το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 35,8%. Σε μόλις τέσσερα χρόνια το μερίδιο του λιγνίτη μειώθηκε κατά 24,8%, με το έτος 2020 να αποτελεί σημείο αναφοράς αφού υπήρξε μείωση 10,8 μονάδων. Το ποσοστό του λιγνίτη καλύφθηκε από την αύξηση του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ, με το πρώτο να καλύπτει το 42,8% της ηλεκτροπαραγωγής για το έτος 2021, ενώ ευχάριστη και ελπιδοφόρα αποτελεί η αύξηση της παραγωγής από ΑΠΕ, καθώς από το 2017 έως το 2021 υπήρξε άνοδος κατά 15,6%. Το ενεργειακό μίγμα για τα έτη 2017 έως 2021 εμφανίζεται και σε μορφή σχήματος στο Γράφημα 7.1.



Γράφημα 7.1 Ενεργειακό μίγμα «EM_k» για τα έτη 2017-2021

7.2 Πρόβλεψη ενεργειακού μίγματος 2022-2030

Ο υπολογισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα επιβατικά οχήματα, που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αφορούσε το χρονικό διάστημα από το 2019 μέχρι το 2030. Επομένως και ο υπολογισμός της ρύπανσης από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής θα πρέπει να απευθύνεται στις ίδιες χρονολογίες. Μέχρι το 2021 το ενεργειακό μίγμα υπολογίστηκε από τα δεδομένα ηλεκτροπαραγωγής του ΑΔΜΗΕ, ενώ για τον υπολογισμό του ενεργειακού μίγματος από το 2022 έως το 2030 θα χρησιμοποιηθεί η πρόβλεψη του ΕΣΕΚ. Στον Πίνακα 7.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η πρόβλεψη ηλεκτροπαραγωγής για κάθε πηγή μέχρι το έτος 2030.

Πίνακας 7.3 Πρόβλεψη ηλεκτροπαραγωγής κάθε πηγής μέχρι το έτος 2030.

Ηλεκτροπαραγωγή	2020	2022	2025	2027	2030
Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή [GWh]	52379	52822	54283	54833	57220
Στερεά Καύσιμα- Λιγνιτικά	8114	5199	4536	4538	0
Πετρελαϊκά (συμπ. διυλιστήρια)	3597	2723	2209	1892	828
Φ. Αέριο	22963	21894	19169	16229	18304
Βιοενέργεια	425	539	772	974	1575
Υ/Η	5453	6193	6324	6324	6392
Αιολικά	7204	10034	12509	14348	17112
Φ/Β	4625	6240	8506	10018	12117
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0	0	257	258	260
Γεωθερμία	0	0	0	252	631

(Πηγή: ΕΣΕΚ, 2022)

Η εξέλιξη του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το έτος 2030 χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη διεύδυση των ΑΠΕ και την απόσυρση λιγνιτικών μονάδων μέχρι το έτος 2028, η οποία έχει προγραμματιστεί στο πλαίσιο της νέας εθνικής πολιτικής για την απολιγνιτοποίηση του ενεργειακού τομέα, καθώς επίσης και την μείωση της εγκατεστημένης ισχύος των πετρελαϊκών μονάδων, οι οποίες αναμένεται να παύσουν τη λειτουργία τους αφενός λόγω των υψηλών εκπομπών αερίων ρύπων και της παλαιότητας των μονάδων αυτών και αφετέρου λόγω των επικείμενων διασυνδέσεων των νησιών με το διασυνδεδεμένο σύστημα κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου (ΕΣΕΚ, 2019).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7.3 του ΕΣΕΚ, μπορεί να γίνει υπολογισμός του ετήσιου ενεργειακού μίγματος για τα έτη 2022 έως 2030. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μέχρι το έτος 2021 ο υπολογισμός γίνεται από τα επισημοποιημένα δεδομένα του ΑΔΜΗΕ, επομένως η πρώτη στήλη του Πίνακα 7.3, που αναφέρεται στο έτος 2020, δεν λαμβάνεται υπόψη.

Ο υπολογισμός του ενεργειακού μίγματος πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας το πηλίκο της παραγωγής των επιμέρους πηγών προς την συνολική παραγωγή για κάθε έτος. Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ συμμετέχουν οι παρακάτω πηγές ενέργειας:

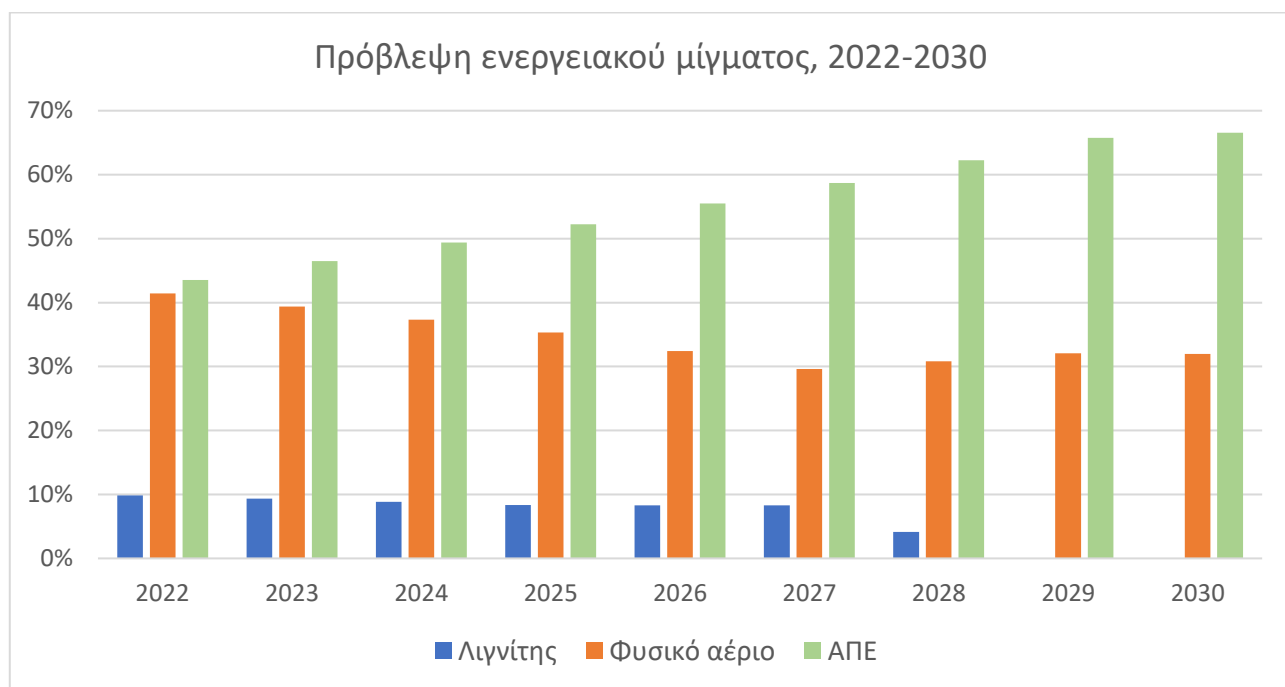
- i. Βιοενέργεια
- ii. Υδροηλεκτρικά
- iii. Αιολικά
- iv. Φωτοβολταϊκά
- v. Ηλιοθερμικοί σταθμοί
- vi. Γεωθερμία

Για τις χρονιές που δεν υπάρχουν δεδομένα, θεωρήθηκε γραμμική παρεμβολή ανάμεσα σε δύο γνωστές συνεχόμενες χρονιές. Τα αποτελέσματα του ενεργειακού μίγματος «EM_k» για τα έτη 2022-2030 παρουσιάζονται στο Πίνακα 7.4.

Πίνακας 7.4 Πρόβλεψη ενεργειακού μίγματος για τα έτη 2022-2030.

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Λιγνίτης	9,8%	9,3%	8,8%	8,4%	8,3%	8,3%	4,1%	0,0%	0,0%
Φυσικό αέριο	41,4%	39,4%	37,3%	35,3%	32,4%	29,6%	30,8%	32,1%	32,0%
ΑΠΕ	43,6%	46,5%	49,4%	52,3%	55,5%	58,7%	62,2%	65,8%	66,6%

Η διεύθυνση των ΑΠΕ στο μείγμα της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής το έτος 2030 αναμένεται να ανέλθει ως μερίδιο συμμετοχής στο 66,6%, από το 43,6% για το έτος 2022. Αυτό οφείλεται αφενός στην αναμενόμενη περαιτέρω μείωση του κόστους των τεχνολογιών ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή, ιδιαίτερα φωτοβολταϊκών και αιολικών σταθμών, αφετέρου στην απόσυρση των λιγνιτικών μονάδων, την παραγωγή των οποίων καλούνται να αντικαταστήσουν (ΕΣΕΚ, 2019). Το φυσικό αέριο προβλέπεται το 2030 να συμμετέχει στο 32% της ηλεκτροπαραγωγής από το 41,4% του έτους 2022, μια μείωση της τάξεως των περίπου 10 μονάδων. Η πρόβλεψη του ενεργειακού μίγματος για τα έτη 2022 έως 2030 εμφανίζεται και σε μορφή σχήματος στο Γράφημα 7.2.



Γράφημα 7.2 Πρόβλεψη ενεργειακού μίγματος για τα έτη 2022-2030.

(Πηγή: ΕΣΕΚ, 2022)

7.3 Μέση κατανάλωση BEV και PHEV

Για τον υπολογισμό της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας, που χρειάζονται τα ηλεκτρικά οχήματα για την κίνησή τους, είναι σημαντικό να βρεθεί η μέση κατανάλωση, δηλαδή πόση ενέργεια καταναλώνεται σε συγκεκριμένη απόσταση, με την κιλοβατώρα ανά χιλιόμετρο (kWh/km) να θεωρείται η επικρατέστερη μονάδα μέτρησης. Για τον υπολογισμό της μέσης κατανάλωσης ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Αρχικά έγινε συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων ηλεκτρικών οχημάτων BEV και PHEV γινόταν. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν 38 αυτοκίνητα BEV και 23 αυτοκίνητα PHEV τελευταίας τεχνολογίας (Enervek, 2021)
- Στην συνέχεια βάσει των κατασκευαστικών προτύπων του κάθε αυτοκινήτου βρέθηκε η χωρητικότητα της μπαταρίας και η αυτονομία σύμφωνα με την Παγκόσμια Εναρμονισμένη Διαδικασία Δοκιμής Ελαφρών Οχημάτων (WLTP)
- Μετέπειτα υπολογίστηκε η μέση κατανάλωση κάθε αυτοκινήτου βάσει του πηλίκου της χωρητικότητας μπαταρίας (kWh) προς την αυτονομία (km)
- Κατόπιν υπολογίστηκε ο μέσος όρος κατανάλωσης όλων των αυτοκινήτων BEV και PHEV αντίστοιχα

Οι Kostopoulos et al., 2020 με άρθρο τους που δημοσιεύθηκε στο ELSEVIER, μέτρησαν σε πραγματικές συνθήκες τις απώλειες που λαμβάνουν χώρα κατά τη φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος με μπαταρία. Οι απώλειες αφορούν κυρίως την μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, αλλά και τις απώλειες των καλωδίων. Το αποτέλεσμα της έρευνας έδειξε ότι οι μέσες απώλειες ενέργειας κατά την διάρκεια της φόρτισης είναι 13,53%. Επομένως, στο μέσο όρο κατανάλωσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα προσμετρηθούν οι παραπάνω απώλειες φόρτισης.

Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζεται ο υπολογισμός της μέσης κατανάλωσης των αυτοκινήτων BEV, ενώ στον Πίνακα 7.6 ο υπολογισμός της μέσης κατανάλωσης των αυτοκινήτων PHEV.

Πίνακας 7.5 Υπολογισμός μέσης κατανάλωσης αυτοκινήτων BEV.

Αυτοκίνητα BEV	Χωρητικότητα μπαταρίας (kWh)	Αυτονομία σύμφωνα με το WLTP (km)	Κατανάλωση (kWh/km)
BMW i3	42,2	359	0,118
BMW i4	81,5	590	0,138
BMW iX3	80	460	0,174
DS 3 CROSSBACK E-TENSE	50	320	0,156
Fiat 500e	42	320	0,131
Ford mustang mach e	75	450	0,167
Honda e	35,5	220	0,161
Hyundai IONIQ Electric	38,3	311	0,123
Jaguar I-PACE	90	543	0,166
Kia e-Niro	67,1	455	0,147
Kia e-Soul	67,5	452	0,149

Kia KONA Electric	67,5	484	0,139
Kia KONA Electric	42	305	0,138
Mazda MX-30	35,5	200	0,178
Mercedes B 250e	31	200	0,155
Mercedes EQC	85	417	0,204
Mercedes EQS	112	770	0,145
Mini Cooper SE	32,6	234	0,139
Nissan Leaf e+	62	385	0,161
Opel Ampera-e	62	430	0,144
Opel Corsa-e	50	340	0,147
Opel Mokka-e	50	330	0,152
Peugeot e-2008	50	310	0,161
Peugeot e-208	50	340	0,147
Porsche Taycan	79,2	407	0,195
Renault ZOE	44,1	300	0,147
Seat Mii Electric	36,8	260	0,142
Skoda Enyaq iV 60	62	413	0,150
Smart EQ fortwo cabrio	17,6	130	0,135
Smart Forfour	17,6	155	0,114
Tesla Model 3	50	354	0,141
Tesla Model S	100	632	0,158
Tesla Model X	100	505	0,198
Tesla Model Y	75	505	0,149
Volvo XC40 Recharge	75	425	0,176
VW e-Golf	35,8	300	0,119
VW ID.3	82	549	0,149
VW ID.4	82	522	0,157
Μέσος όρος κατανάλωσης BEV			0,152
Μέσος όρος κατανάλωσης BEV μαζί με τις απώλειες φόρτισης 13,53%			0,172

Πίνακας 7.5 Υπολογισμός μέσης κατανάλωσης αυτοκίνητων PHEV.

Αυτοκίνητα PHEV	Χωρητικότητα μπαταρίας (kWh)	Αυτονομία σύμφωνα με το WLTP (km)	Κατανάλωση (kWh/km)
BMW 225xe	7,7	40	0,193
BMW 330e	7,6	40	0,190
BMW 530e	12	56	0,214
BMW 745e	12	51	0,235
BMW X1 xDrive25e	10	52	0,192
BMW X3 xDrive30e	13	46	0,283
BMW X5 xDrive45e	24	87	0,276
DS 7 CROSSBACK E-TENSE	13,2	58	0,228
Ford Kuga	14,4	56	0,257
Hyundai IONIQ	8,9	63	0,141
Range Rover Evoque	15	66	0,227
Range Rover Sport P400e	12,4	40	0,310
Mercedes GLA 250 e	15,6	56	0,279
Mercedes GLC 300 e	13,5	47	0,287
Mercedes GLE 500 e	8,8	30	0,293
Mercedes S 560 e	13,5	50	0,270
Mini Countryman Cooper S E	7,6	41	0,185
Peugeot 3008	13,2	59	0,224

Toyota Prius	8,8	50	0,176
Volvo XC40 T5	10,3	45	0,229
Volvo XC60 T8	10,4	45	0,231
Volvo XC90 T8	10,4	40	0,260
Volkswagen Tiguan eHybrid	13	50	0,260
Μέσος όρος κατανάλωσης PHEV			0,237
Μέσος όρος κατανάλωσης PHEV μαζί με τις απώλειες φόρτισης 13,53%			0,268

7.4 Ηλεκτρική κατανάλωση BEV και PHEV 2017-2030

Έχοντας πλέον διαθέσιμα όλα τα δεδομένα των τύπων, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα BEV και PHEV, σύμφωνα με τις εξισώσεις (7.1) και (7.2). Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στο Excel και τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα BEV και PHEV από το 2017-2030 παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.6α και στον Πίνακα 7.6β της επόμενης σελίδας. Προηγουμένως ωστόσο, αναλύεται ένας ενδεικτικός υπολογισμός για το πως προέκυψαν οι τιμές των Πινάκων 7.6α και 7.6β.

Ενδεικτικός υπολογισμός για το έτος 2017

- Ηλεκτρική κατανάλωση για τα PHEV Euro 5:

$$HK_{PHEV} = AO_{PHEV} \times MΔX_{PHEV} \times MK_{PHEV} \times e = 25 \text{ veh} \times 10.590 \frac{\text{km}}{\text{veh}} \times 0,268 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \times 0,6$$

- Ηλεκτρική κατανάλωση για τα PHEV Euro 6:

$$HK_{PHEV} = AO_{PHEV} \times MΔX_{PHEV} \times MK_{PHEV} \times e = 280 \text{ veh} \times 10.687 \frac{\text{km}}{\text{veh}} \times 0,268 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \times 0,6$$

- Ηλεκτρική κατανάλωση για τα BEV Euro 5:

$$HK_{BEV} = AO_{BEV} \times MΔX_{BEV} \times MK_{BEV} = 48 \text{ veh} \times 9.893 \frac{\text{km}}{\text{veh}} \times 0,172 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}$$

- Ηλεκτρική κατανάλωση για τα BEV Euro 6:

$$HK_{BEV} = AO_{BEV} \times MΔX_{BEV} \times MK_{BEV} = 100 \text{ veh} \times 9.971 \frac{\text{km}}{\text{veh}} \times 0,172 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}$$

Η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση για το έτος 2017, υπολογίζεται από το άθροισμα όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων.

Σημείωση: Στον ενδεικτικό υπολογισμό παρουσιάστηκαν οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν και έγινε αντικατάσταση των δεδομένων. Δεν υπολογίστηκαν οι τελικές τιμές των ηλεκτρικών καταναλώσεων καθώς λόγω στρογγυλοποιήσεων δεν ταυτίζονται με τις αντίστοιχες του Πίνακα 7.6α.

Πίνακας 7.6α Υπολογισμός συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα BEV και PHEV από το 2017-2023.

Κατηγορία	Αυτοκίνητο	Πρότυπα Euro	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Αριθμός οχημάτων	PHEV	Euro 5	25	9	9	9	9	9	9
	PHEV	Euro 6	280	525	801	7.289	14.894	24.096	34.734
	BEV	Euro 5	48	12	12	12	12	12	12
	BEV	Euro 6	100	214	398	3.451	7.917	14.581	24.015
Μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα	PHEV	Euro 5	10.590	11.695	11.462	11.233	11.009	10.790	10.575
	PHEV	Euro 6	10.687	11.897	11.988	12.080	12.172	12.265	12.359
	BEV	Euro 5	9.893	11.698	11.465	11.237	11.013	10.793	10.578
	BEV	Euro 6	9.971	11.899	11.990	12.082	12.175	12.268	12.362
Ηλεκτρική Κατανάλωση (kWh)	PHEV	Euro 5	42.279	17.859	17.503	17.154	16.812	16.478	16.149
	PHEV	Euro 6	481.841	1.005.825	1.545.942	14.168.857	29.172.657	47.557.451	69.080.135
	BEV	Euro 5	81.962	23.831	23.357	22.891	22.435	21.988	21.550
	BEV	Euro 6	171.512	438.655	821.942	7.180.613	16.599.424	30.803.634	51.123.467
Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (kWh)			777.595	1.486.170	2.408.743	21.389.515	45.811.329	78.399.552	120.241.301
Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (MWh)			778	1.486	2.409	21.390	45.811	78.400	120.241
Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (GWh)			0,8	1,5	2,4	21,4	45,8	78,4	120,2

Πίνακας 7.6β Υπολογισμός συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα BEV και PHEV από το 2024-2030.

Κατηγορία	Αυτοκίνητο	Πρότυπα Euro	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Αριθμός οχημάτων	PHEV	Euro 5	9	9	9	9	9	9	9
	PHEV	Euro 6	47.076	60.970	75.988	91.950	108.676	125.773	142.098
	BEV	Euro 5	12	12	12	12	12	12	12
	BEV	Euro 6	37.385	55.803	80.307	112.714	155.722	212.960	287.332
Μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα	PHEV	Euro 5	10.364	10.158	9.956	9.757	9.563	9.372	9.186
	PHEV	Euro 6	12.454	12.549	12.646	12.742	12.840	12.938	13.037
	BEV	Euro 5	10.368	10.161	9.959	9.760	9.566	9.375	9.188
	BEV	Euro 6	12.457	12.552	12.648	12.745	12.843	12.941	13.040
Ηλεκτρική Κατανάλωση (kWh)	PHEV	Euro 5	15.828	15.512	15.203	14.900	14.604	14.313	14.027
	PHEV	Euro 6	94.342.838	123.123.481	154.627.161	188.540.731	224.542.875	261.859.086	298.115.479
	BEV	Euro 5	21.121	20.700	20.288	19.884	19.488	19.099	18.719
	BEV	Euro 6	80.195.877	120.621.393	174.917.159	247.384.551	344.397.876	474.594.273	645.242.813
Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (kWh)			174.575.663	243.781.086	329.579.811	435.960.066	568.974.841	736.486.772	943.391.038
Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (MWh)			174.576	243.781	329.580	435.960	568.975	736.487	943.391
Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (GWh)			174,6	243,8	329,6	436,0	569,0	736,5	943,4

Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 7.3, στο οποίο παρουσιάζεται η εξέλιξη της ηλεκτρικής κατανάλωσης που απαιτείται για την κίνηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2017 μέχρι και το 2030. Όπως παρατηρείται, η αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης είναι εκθετική και οφείλεται στην επίσης στην εκθετική αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων.



Γράφημα 7.3 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση των ηλεκτρικών οχημάτων από το 2017 μέχρι το 2030.

Ωστόσο είναι σημαντικό να διερευνηθεί κατά πόσο η διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα επηρεάσει το ετήσιο δυναμικό της ηλεκτροπαραγωγής. Πιο αναλυτικά, η καθαρή ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα το 2030, σύμφωνα με την πρόβλεψη του ΕΣΕΚ, θα είναι 57.220 GWh, ενώ η συνολική κατανάλωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο έτος υπολογίστηκε στα 943 GWh. Επομένως η ενέργεια ζήτησης των 429.452 ηλεκτρικών αυτοκινήτων αποτελεί το 1,65% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, εάν αναλογιστεί κανείς πως αυτή η ζήτηση θα καλυφθεί στο εύρος μιας δεκαετίας, τότε είναι προφανές ότι το ποσοστό αυτό μπορεί να καλυφθεί χωρίς να επηρεαστεί ιδιαίτερα το δυναμικό της εθνικής ηλεκτροπαραγωγής. Στον Πίνακα 7.7 παρουσιάζεται το ποσοστό της ενέργειας ζήτησης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προς την συνολική ηλεκτροπαραγωγή για τα έτη 2017 έως 2030.

Πίνακας 7.7 Ποσοστό της ενέργειας ζήτησης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προς την συνολική ηλεκτροπαραγωγή για τα έτη 2017 έως 2030.

Έτος	Ηλεκτρικά αυτοκίνητα	Ποσοστό ζήτησης προς την συνολική ηλεκτροπαραγωγή
2017	453	0,00%
2018	761	0,00%
2019	1.221	0,01%
2020	10.762	0,05%
2021	22.833	0,09%
2022	38.698	0,15%
2023	58.770	0,23%
2024	84.482	0,32%
2025	116.794	0,45%
2026	156.316	0,60%
2027	204.685	0,80%
2028	264.419	1,04%
2029	338.754	1,34%
2030	429.452	1,65%

7.5 Συντελεστής εκπομπών ρύπων ηλεκτροπαραγωγής

Το μοναδικό δεδομένο που απομένει για τον υπολογισμό της συνολικής ρύπανσης από την ηλεκτροπαραγωγή, είναι ο συντελεστής εκπομπών ρύπων. Ο συγκεκριμένος συντελεστής εκφράζει την ποσότητα των ρύπων που απελευθερώνεται ανά μονάδα ενέργειας, με την επικρατέστερη μονάδα μέτρησης να είναι τα κιλά ανά μεγαβατώρα (kg/MWh).

Για τον συντελεστή εκπομπών πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα στο Science Direct του εκδοτικού οίκου Elsevier. Η αναζήτηση οδήγησε σε ένα άρθρο των κυρίων Θεοδοσίου, Κορωναίου και Στύλου που δημοσιεύθηκε το 2014 με τίτλο «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ελληνικού κλάδου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας». Στην έρευνα γίνεται διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές εκπομπές άλλα και τα απόβλητα που παράγονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (Theodosiou, Koroneos and Stylos, 2014). Στα αποτελέσματα της έρευνας τους παρουσιάζουν έναν πίνακα με τις αέριες εκπομπές του κύκλου ζωής των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στον ελληνικό τομέα ηλεκτροπαραγωγής. Τα δεδομένα που χρειάστηκαν στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.8 που ακολουθεί. Οι αέριες εκπομπές είναι εκφρασμένες σε κιλά ανά μεγαβατώρα (kg/MWh).

Πίνακας 7.8 Αέριες εκπομπές λιγνίτη και φυσικού αερίου στον ελληνικό τομέα ηλεκτροπαραγωγής.

Πηγή ενέργειας	Εκπομπές CO ₂ (kg/MWh)	Εκπομπές CO (kg/MWh)	Εκπομπές NO _x (kg/MWh)	Εκπομπές PM ₁₀ (kg/MWh)	Εκπομπές SO ₂ (kg/MWh)
Λιγνίτης	2.364,78	1,35	1,1187	1,484	1,886
Φυσικό αέριο	768,13	0,00013	0,557	0,00023	0,0249

7.6 Συνολική ρύπανση BEV και PHEV από την ηλεκτροπαραγωγή 2017-2030

Έχοντας πλέον διαθέσιμα όλα τα δεδομένα των τύπων, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της συνολικής ρύπανσης που εκπέμπουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα BEV και PHEV, σύμφωνα με τις εξισώσεις (7.3), (7.4) και (7.5). Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στο Excel και τα αποτελέσματα της συνολικής ρύπανσης κάθε εξεταζόμενου ρύπου παρουσιάζονται στις υποενότητες που ακολουθούν. Στην συνέχεια θα επεξηγηθεί ένας ενδεικτικός υπολογισμός για τις συνολικές εκπομπές του CO₂ για το έτος 2017.

Ενδεικτικός υπολογισμός για το CO₂ του έτους 2017

- Εκπομπές Ρύπων για τα PHEV Euro 5:

$$\begin{aligned}
 EP_{PHEV} &= HK_{PHEV} \times EM_{\lambda\gamma\nu} \times \Sigma E_{\lambda\gamma\nu} + HK_{PHEV} \times EM_{\phi A} \times \Sigma E_{\phi A} = \\
 &= 42,28 \text{ MWh} \times 0,358 \times 2.364,78 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} + 42,28 \text{ MWh} \times 0,336 \times 768,13 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} \approx \\
 &\approx 46.706 \text{ kg} \approx 46,7 \text{ τόνοι}
 \end{aligned}$$

- Εκπομπές Ρύπων για τα PHEV Euro 6:

$$\begin{aligned}
 EP_{PHEV} &= HK_{PHEV} \times EM_{\lambda\gamma\nu} \times \Sigma E_{\lambda\gamma\nu} + HK_{PHEV} \times EM_{\phi A} \times \Sigma E_{\phi A} = \\
 &= 481,84 \text{ MWh} \times 0,358 \times 2.364,78 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} + 481,84 \text{ MWh} \times 0,336 \times 768,13 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} \approx
 \end{aligned}$$

$$\approx 532.280 \text{ kg} \approx 532,3 \text{ τόνοι}$$

- Εκπομπές Ρύπων για τα BEV Euro 5:

$$\begin{aligned} EP_{BEV} &= HK_{BEV} \times EM_{\lambda\gamma\nu} \times \Sigma E_{\lambda\gamma\nu} + HK_{BEV} \times EM_{\phi A} \times \Sigma E_{\phi A} = \\ &= 81,96 \text{ MWh} \times 0,358 \times 2.364,78 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} + 81,96 \text{ MWh} \times 0,336 \times 768,13 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} \approx \\ &\approx 90.540 \text{ kg} \approx 90,5 \text{ τόνοι} \end{aligned}$$

- Εκπομπές Ρύπων για τα BEV Euro 6:

$$\begin{aligned} EP_{BEV} &= HK_{BEV} \times EM_{\lambda\gamma\nu} \times \Sigma E_{\lambda\gamma\nu} + HK_{BEV} \times EM_{\phi A} \times \Sigma E_{\phi A} = \\ &= 171,51 \text{ MWh} \times 0,358 \times 2.364,78 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} + 171,51 \text{ MWh} \times 0,336 \times 768,13 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}} \approx \\ &\approx 189.464 \text{ kg} \approx 189,5 \text{ τόνοι} \end{aligned}$$

- Η Συνολική Ρύπανση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από την ηλεκτροπαραγωγή για το 2017, υπολογίζεται από το άθροισμα όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων:

$$\Sigma P_{HA} = 46,7 \text{ τόνοι} + 532,3 \text{ τόνοι} + 90,5 \text{ τόνοι} + 189,5 \text{ τόνοι} \approx 859 \text{ τόνοι}$$

Σημείωση: Λόγω στρογγυλοποιήσεων ενδέχεται να υπάρχουν μικρές αποκλίσεις στα αποτελέσματα του Πίνακα 7.9 με αυτά του ενδεικτικού υπολογισμού.

Σύμφωνα με την ενδεικτικό υπολογισμό που μόλις αναφέρθηκε, υπολογίστηκαν οι εκπομπές των BEV και PHEV, αλλά και οι συνολικές εκπομπές για όλους τους εξεταζόμενους ρύπους από το 2017 έως το 2030. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις υποενότητες που ακολουθούν.

7.6.1 Υπολογισμός εκπομπών CO₂

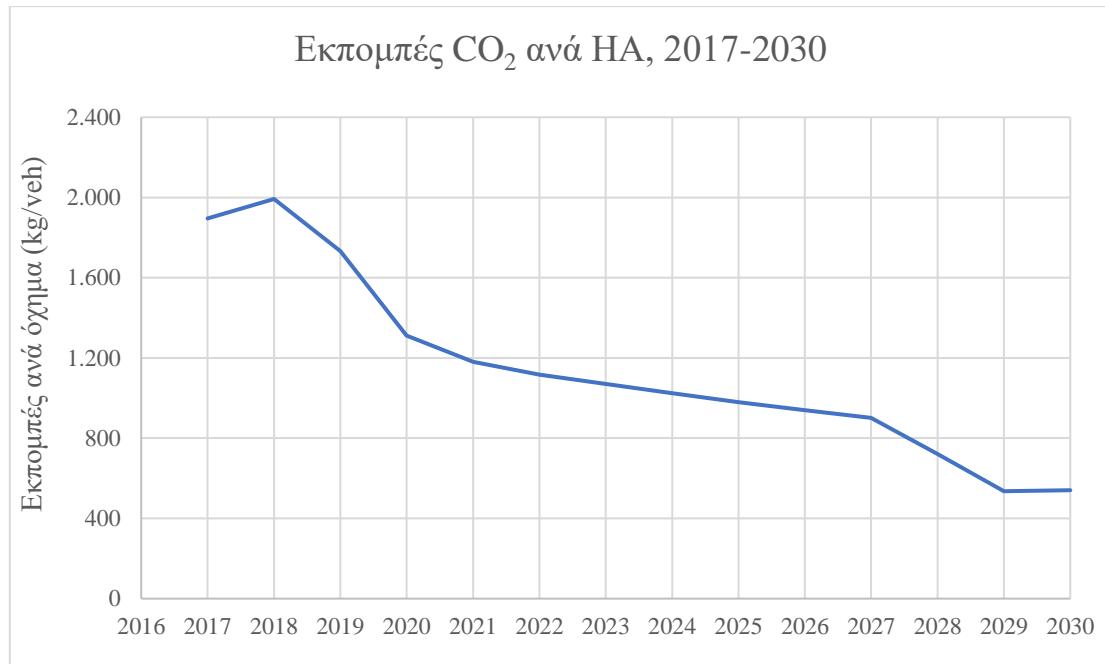
Στον Πίνακα 7.9 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO₂ των αυτοκινήτων BEV και PHEV, για κάθε κατηγορία προτύπων Euro, από το 2017 έως το 2030. Εν συνεχεία, στον Πίνακα 7.10 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές CO₂ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η αναγωγή τους σε εκπομπές ανά όχημα. Τέλος, οι εκπομπές ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 7.4).

Πίνακας 7.9 Εκπομπές CO₂ των BEV και PHEV από το 2017 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές CO ₂ από PHEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές CO ₂ από PHEV-Euro 6 (Τόνοι)	Εκπομπές CO ₂ από BEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές CO ₂ από BEV-Euro 6 (Τόνοι)
2017	46,7	532,0	90,5	189,4
2018	18,2	1.025,9	24,3	447,4
2019	15,4	1.358,2	20,5	722,1
2020	11,3	9.350,0	15,1	4.738,4
2021	9,9	17.162,6	13,2	9.765,6
2022	9,1	26.210,5	12,1	16.976,9
2023	8,4	36.143,4	11,3	26.748,3
2024	7,8	46.774,4	10,5	39.760,4
2025	7,3	57.728,3	9,7	56.555,1
2026	6,8	68.939,6	9,0	77.985,8
2027	6,3	79.763,0	8,4	104.657,2
2028	4,9	75.143,4	6,5	115.253,0
2029	3,5	64.514,9	4,7	116.927,0
2030	3,4	73.252,9	4,6	158.549,1

Πίνακας 7.10 Συνολικές εκπομπές CO₂ και εκπομπές CO₂ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο, 2017-2030.

Έτος	Συνολικές εκπομπές CO ₂ (Τόνοι)	Συνολικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα	Εκπομπές CO ₂ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Κιλά)
2017	858,6	453	1.894,9
2018	1.515,9	761	1.992,0
2019	2.116,2	1.221	1.733,1
2020	14.114,8	10.762	1.311,4
2021	26.951,3	22.833	1.180,2
2022	43.208,6	38.698	1.116,4
2023	62.911,4	58.770	1.070,3
2024	86.553,1	84.482	1.024,4
2025	114.300,4	116.794	978,5
2026	146.941,2	156.316	939,9
2027	184.434,9	204.685	900,9
2028	190.407,9	264.419	720,0
2029	181.450,1	338.754	535,6
2030	231.810,0	429.452	539,8



Γράφημα 7.4 Εκπομπές CO₂ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο από το 2017 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 7.4, παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ ανά όχημα με το πέρασμα των χρόνων. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την μείωση παίζει το ενεργειακό μίγμα, το οποίο με την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ γίνεται ολοένα και πιο καθαρό. Επίσης, η σταδιακή απολιγνιτοποίηση παρέχει μεγάλες περιβαλλοντικές ωφέλειες, καθώς η καύση του λιγνίτη αποτελεί έναν από τους πιο ρυπογόνους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

7.6.2 Υπολογισμός εκπομπών CO

Στον Πίνακα 7.11 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO των αυτοκινήτων BEV και PHEV, για κάθε κατηγορία προτύπων Euro, από το 2017 έως το 2030. Εν συνεχεία, στον Πίνακα 7.12 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές CO των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η αναγωγή τους σε εκπομπές ανά όχημα. Τέλος, οι εκπομπές ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 7.5).

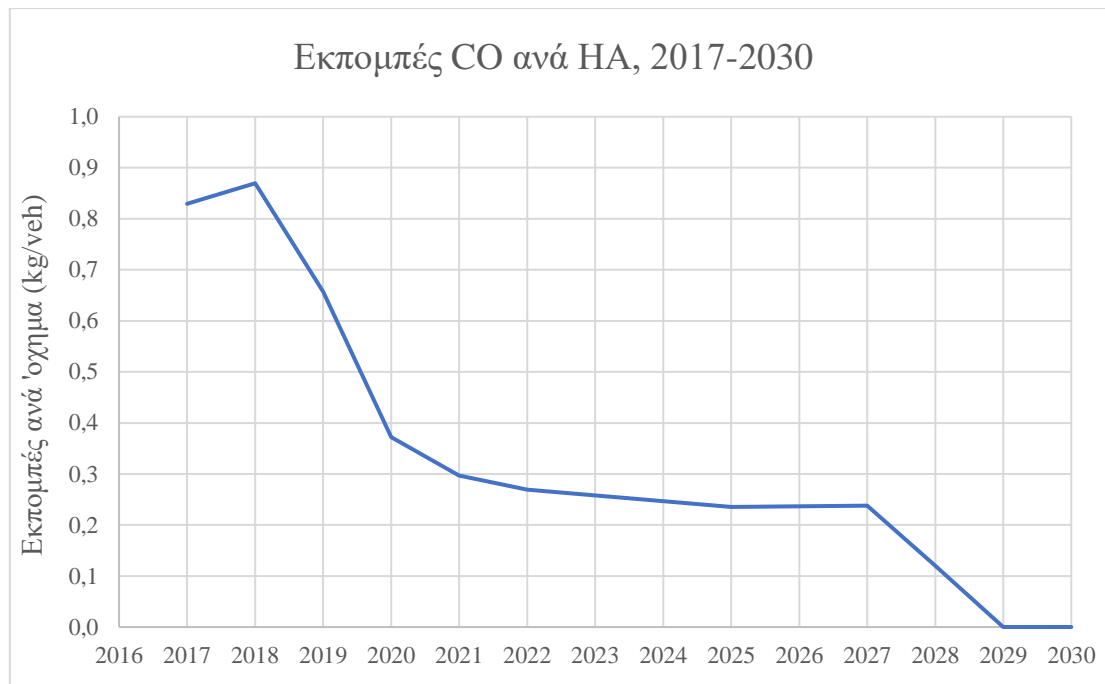
Πίνακας 7.11 Εκπομπές CO των BEV και PHEV από το 2017 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές CO από PHEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές CO από PHEV-Euro 6 (Τόνοι)	Εκπομπές CO από BEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές CO από BEV-Euro 6 (Τόνοι)
2017	0,020	0,23	0,040	0,08
2018	0,008	0,45	0,011	0,20

2019	0,006	0,51	0,008	0,27
2020	0,003	2,65	0,004	1,35
2021	0,002	4,32	0,003	2,46
2022	0,002	6,32	0,003	4,09
2023	0,002	8,71	0,003	6,45
2024	0,002	11,27	0,003	9,58
2025	0,002	13,90	0,002	13,61
2026	0,002	17,37	0,002	19,64
2027	0,002	21,07	0,002	27,65
2028	0,001	12,54	0,001	19,24
2029	0,000	0,01	0,000	0,02
2030	0,000	0,01	0,000	0,03

Πίνακας 7.12 Συνολικές εκπομπές CO και εκπομπές CO ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο, 2017-2030.

Έτος	Συνολικές εκπομπές CO (Τόνοι)	Συνολικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα	Εκπομπές CO ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Κιλά)
2017	0,38	453	0,829
2018	0,66	761	0,870
2019	0,80	1.221	0,657
2020	4,01	10.762	0,372
2021	6,78	22.833	0,297
2022	10,42	38.698	0,269
2023	15,16	58.770	0,258
2024	20,85	84.482	0,247
2025	27,51	116.794	0,236
2026	37,01	156.316	0,237
2027	48,73	204.685	0,238
2028	31,79	264.419	0,120
2029	0,03	338.754	0,000
2030	0,04	429.452	0,000



Γράφημα 7.5 Εκπομπές CO ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο από το 2017 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 7.5, παρατηρείται ότι από το 2017 έως το 2021, οι εκπομπές CO ανά όχημα μειώνονται ραγδαία. Στα επόμενα χρόνια, υπάρχει μια σταθεροποίηση με μικρή μείωση που διαρκεί μέχρι το 2027, όπου ξαφνικά οι εκπομπές ανά όχημα τείνουν να μηδενίσουν. Για όλη αυτή την κατάσταση είναι υπεύθυνος ο λιγνίτης, ο οποίος κατά την καύση του αποτελεί την κύρια εκπομπή CO. Το φυσικό αέριο εκπέμπει μόλις 0,00013 κιλά CO ανά μεγκαβατώρα, επομένως δεν αποτελεί πρόβλημα η αύξηση του μεριδίου του.

7.6.3 Υπολογισμός εκπομπών NO_x

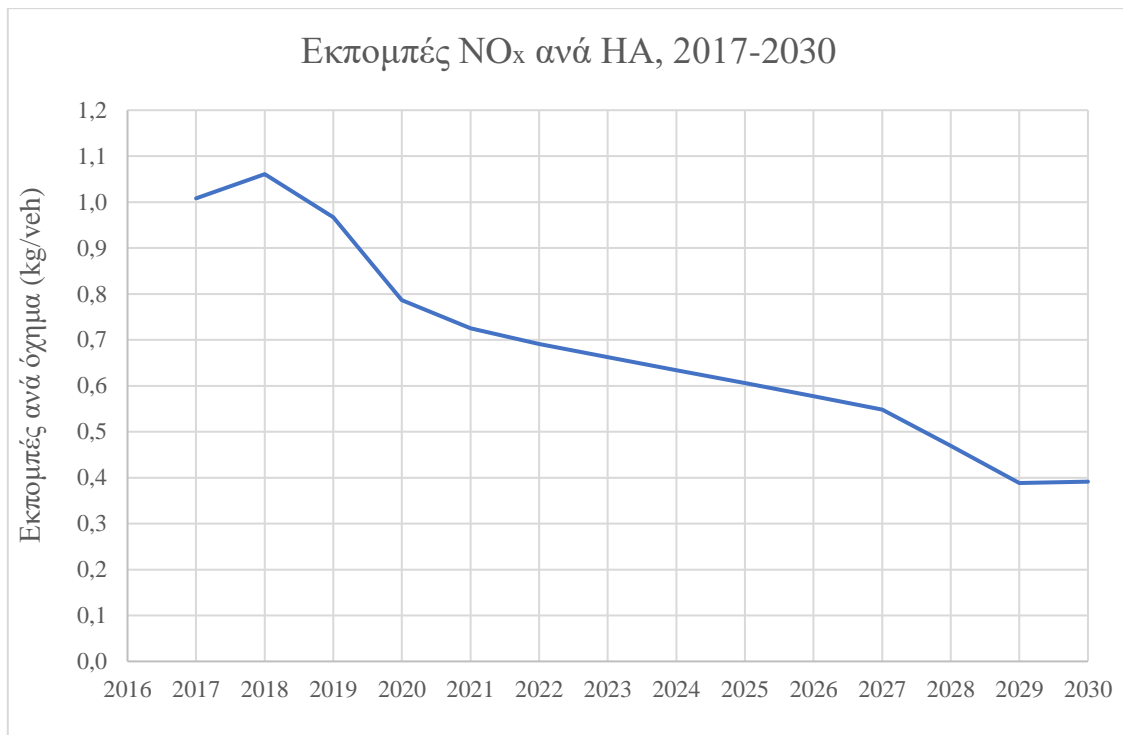
Στον Πίνακα 7.13 παρουσιάζονται οι εκπομπές NO_x των αυτοκινήτων BEV και PHEV, για κάθε κατηγορία προτύπων Euro, από το 2017 έως το 2030. Εν συνεχεία, στον Πίνακα 7.14 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές NO_x των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η αναγωγή τους σε εκπομπές ανά όχημα. Τέλος, οι εκπομπές ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 7.6).

Πίνακας 7.13 Εκπομπές NO_x των BEV και PHEV από το 2017 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές NO _x από PHEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές NO _x από PHEV-Euro 6 (Τόνοι)	Εκπομπές NO _x από BEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές NO _x από BEV-Euro 6 (Τόνοι)
2017	0,025	0,28	0,048	0,10
2018	0,010	0,55	0,013	0,24
2019	0,009	0,76	0,011	0,40
2020	0,007	5,61	0,009	2,84
2021	0,006	10,54	0,008	6,00
2022	0,006	16,22	0,007	10,50
2023	0,005	22,36	0,007	16,55
2024	0,005	28,94	0,006	24,60
2025	0,005	35,73	0,006	35,00
2026	0,004	42,33	0,006	47,88
2027	0,004	48,54	0,005	63,69
2028	0,003	48,95	0,004	75,09
2029	0,003	46,78	0,003	84,79
2030	0,002	53,12	0,003	114,97

Πίνακας 7.14 Συνολικές εκπομπές NO_x και εκπομπές NO_x ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο, 2017-2030.

Έτος	Συνολικές εκπομπές NO _x (Τόνοι)	Συνολικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα	Εκπομπές NO _x ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Κιλά)
2017	0,46	453	1,008
2018	0,81	761	1,060
2019	1,18	1.221	0,966
2020	8,47	10.762	0,786
2021	16,55	22.833	0,725
2022	26,73	38.698	0,691
2023	38,93	58.770	0,662
2024	53,56	84.482	0,634
2025	70,74	116.794	0,606
2026	90,22	156.316	0,577
2027	112,23	204.685	0,548
2028	124,05	264.419	0,469
2029	131,58	338.754	0,388
2030	168,09	429.452	0,391



Γράφημα 7.6 Εκπομπές NO_x ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο από το 2017 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 7.6, παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών NO_x ανά όχημα με το πέρασμα των χρόνων. Η σταδιακή μείωση των λιγνιτικών μονάδων αποτελεί τον κύριο λόγο αυτής της μείωσης, καθώς η αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής από το φυσικό αέριο εκπέμπει κατά πολύ λιγότερους ρύπους NO_x. Μακρινός ρόλος αλλά ρεαλιστικός είναι οι ΑΠΕ να φτάσουν να παράγουν το 100% του ηλεκτρικού ρεύματος, ώστε οι εκπομπές καυσαερίων να τείνουν στο να μηδενιστούν.

7.6.4 Υπολογισμός εκπομπών PM₁₀

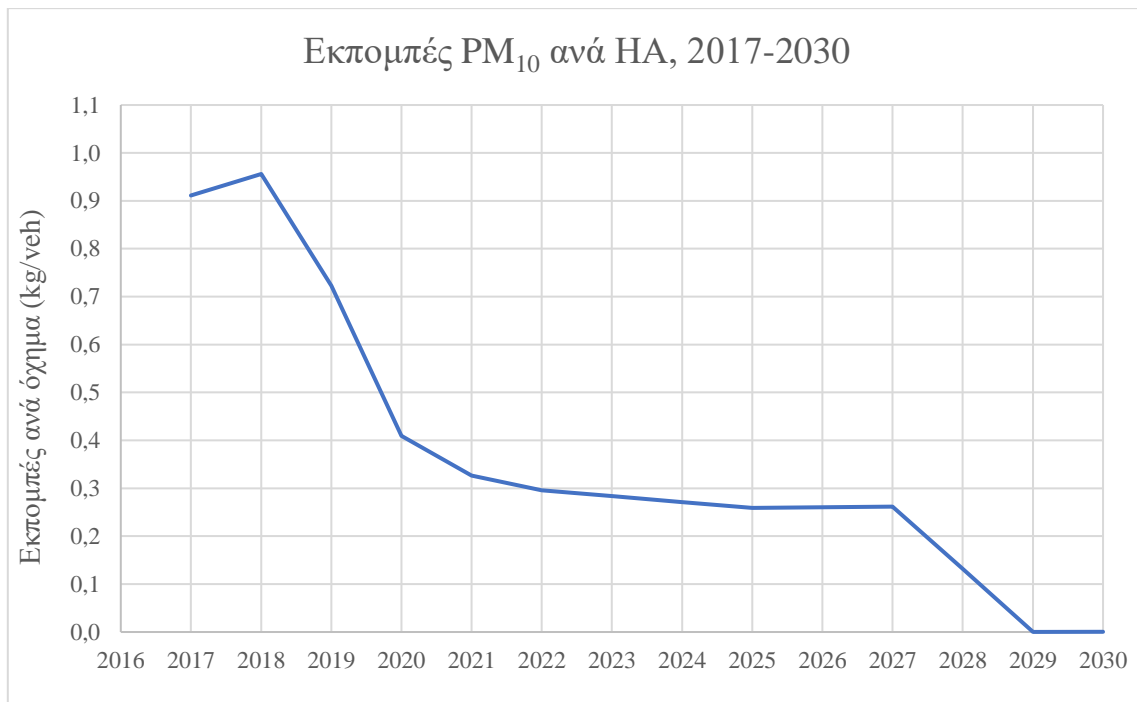
Στον Πίνακα 7.15 παρουσιάζονται οι εκπομπές PM₁₀ των αυτοκινήτων BEV και PHEV, για κάθε κατηγορία προτύπων Euro, από το 2017 έως το 2030. Εν συνεχεία, στον Πίνακα 7.16 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές PM₁₀ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η αναγωγή τους σε εκπομπές ανά όχημα. Τέλος, οι εκπομπές ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 7.7).

Πίνακας 7.15 Εκπομπές PM₁₀ των BEV και PHEV από το 2017 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές PM ₁₀ από PHEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές PM ₁₀ από PHEV-Euro 6 (Τόνοι)	Εκπομπές PM ₁₀ από BEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές PM ₁₀ από BEV-Euro 6 (Τόνοι)
2017	0,022	0,26	0,044	0,09
2018	0,009	0,49	0,012	0,21
2019	0,006	0,57	0,009	0,30
2020	0,004	2,92	0,005	1,48
2021	0,003	4,75	0,004	2,70
2022	0,002	6,95	0,003	4,50
2023	0,002	9,58	0,003	7,09
2024	0,002	12,39	0,003	10,53
2025	0,002	15,28	0,003	14,97
2026	0,002	19,09	0,003	21,60
2027	0,002	23,17	0,002	30,40
2028	0,001	13,79	0,001	21,16
2029	0,000	0,02	0,000	0,04
2030	0,000	0,02	0,000	0,05

Πίνακας 7.16 Συνολικές εκπομπές PM₁₀ και εκπομπές PM₁₀ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο, 2017-2030.

Έτος	Συνολικές εκπομπές PM ₁₀ (Τόνοι)	Συνολικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα	Εκπομπές PM ₁₀ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Κιλά)
2017	0,41	453	0,911
2018	0,73	761	0,956
2019	0,88	1.221	0,723
2020	4,41	10.762	0,409
2021	7,46	22.833	0,327
2022	11,46	38.698	0,296
2023	16,67	58.770	0,284
2024	22,92	84.482	0,271
2025	30,25	116.794	0,259
2026	40,70	156.316	0,260
2027	53,57	204.685	0,262
2028	34,96	264.419	0,132
2029	0,05	338.754	0,000
2030	0,07	429.452	0,000



Γράφημα 7.8 Εκπομπές PM₁₀ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο από το 2017 έως το 2030.

Σύμφωνα με το Γράφημα 7.6 ,οι εκπομπές PM₁₀ ανά όχημα παρουσιάζουν συνεχή μείωση μέχρι όπου να μηδενιστούν το 2029. Για την μείωση αυτή ευθύνεται ο λιγνίτης, ο οποίος κατά την καύση του απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες στάχτης. Οι στάχτες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις ενδείξεις στις μετρήσεις των PM₁₀, επομένως η σταδιακή απόσυρση του τείνει να μηδενίσει τις συνολικές εκπομπές. Από την άλλη πλευρά το φυσικό αέριο ως ρευστό, εκπέμπει αμελητέες ποσότητες PM₁₀.

7.6.5 Υπολογισμός εκπομπών SO₂

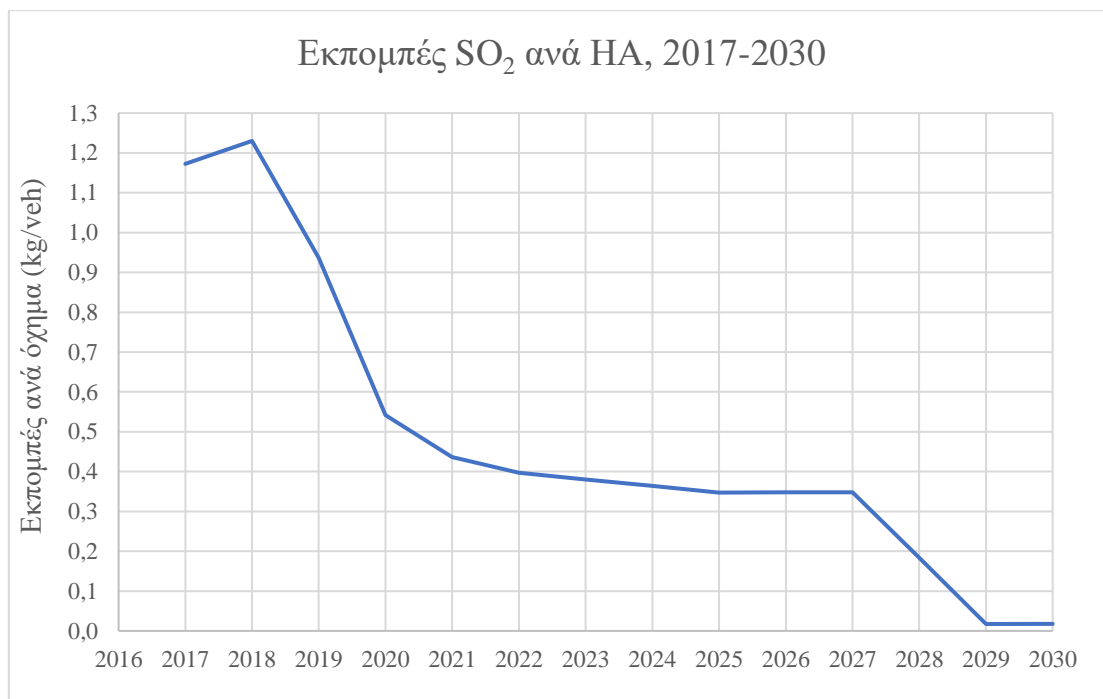
Στον Πίνακα 7.17 παρουσιάζονται οι εκπομπές SO₂ των αυτοκινήτων BEV και PHEV, για κάθε κατηγορία προτύπων Euro, από το 2017 έως το 2030. Εν συνεχεία, στον Πίνακα 7.18 αποτυπώνονται οι συνολικές εκπομπές SO₂ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η αναγωγή τους σε εκπομπές ανά όχημα. Τέλος, οι εκπομπές ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο παρουσιάζονται και σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 7.8).

Πίνακας 7.17 Εκπομπές SO₂ των BEV και PHEV από το 2017 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές SO ₂ από PHEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές SO ₂ από PHEV-Euro 6 (Τόνοι)	Εκπομπές SO ₂ από BEV-Euro 5 (Τόνοι)	Εκπομπές SO ₂ από BEV-Euro 6 (Τόνοι)
2017	0,029	0,33	0,056	0,12
2018	0,011	0,63	0,015	0,28
2019	0,008	0,73	0,011	0,39
2020	0,005	3,86	0,006	1,96
2021	0,004	6,34	0,005	3,61
2022	0,003	9,32	0,004	6,04
2023	0,003	12,84	0,004	9,50
2024	0,003	16,61	0,004	14,12
2025	0,003	20,49	0,003	20,07
2026	0,003	25,50	0,003	28,85
2027	0,002	30,82	0,003	40,44
2028	0,001	19,24	0,002	29,50
2029	0,000	2,09	0,000	3,79
2030	0,000	2,37	0,000	5,14

Πίνακας 7.18 Συνολικές εκπομπές SO₂ και εκπομπές SO₂ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο, 2017-2030.

Έτος	Συνολικές εκπομπές SO ₂ (Τόνοι)	Συνολικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα	Εκπομπές SO ₂ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Κιλά)
2017	0,53	453	1,173
2018	0,94	761	1,230
2019	1,14	1.221	0,937
2020	5,83	10.762	0,541
2021	9,96	22.833	0,436
2022	15,36	38.698	0,397
2023	22,36	58.770	0,380
2024	30,74	84.482	0,364
2025	40,56	116.794	0,347
2026	54,35	156.316	0,348
2027	71,26	204.685	0,348
2028	48,74	264.419	0,184
2029	5,88	338.754	0,017
2030	7,51	429.452	0,017



Γράφημα 7.8 Εκπομπές SO₂ ανά ηλεκτρικό αυτοκίνητο από το 2017 έως το 2030.

Παρόμοια κατάσταση εμφανίζεται και στο SO₂, καθώς όπως φανερώνει και το Γράφημα 7.8, από το 2017 έως το 2021, οι εκπομπές SO₂ ανά όχημα μειώνονται ραγδαία, λόγω της απότομης μείωσης του μεριδίου του λιγνίτη στην εγχώρια παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα επόμενα χρόνια παρατηρείται μια σταθεροποίηση με πτωτική τάση. Από το 2027 μέχρι το 2029 εμφανίζεται εκ νέου ραγδαία μείωση, για την οποία ευθύνεται η πλήρης απόσυρση του λιγνίτη. Τέλος, η αύξηση του ποσοστού του φυσικού αερίου δεν επηρεάζει την άνοδο των ρύπων, καθώς εκπέμπει μόλις 0,0249 κιλά SO₂ για κάθε παραγόμενη μεγαβατώρα.

8. Σύγκριση ρύπων συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε υπολογισμός των συνολικών ρύπων από τις οδικές μεταφορές, αφού πρώτα πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη του στόλου οχημάτων και των μέσων διανυόμενων χιλιομέτρων. Επίσης υπολογίστηκαν οι συνολικές εκπομπές για τις οποίες είναι υπεύθυνα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, δια μέσου της ηλεκτροπαραγωγής.

Ένα καθημερινό ερώτημα που αποτελεί και βασικό σκοπό της παρούσας διπλωματικής, είναι αν η ένταξη της ηλεκτροκίνησης θα καταφέρει να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση και αν θα μπορέσει να σταθεί αρωγός στην αρμονική συνύπαρξη του ανθρώπου με το περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει συγκέντρωση όλων των προηγούμενων υπολογισμών με σκοπό να απαντηθεί ποσοτικά το παραπάνω ερώτημα. Για την υλοποίηση της διαδικασίας υιοθετήθηκε ένα σενάριο σύγκρισης ηλεκτρικών και συμβατικών αυτοκινήτων με πρόβλεψη μέχρι το 2030. Στο σενάριο θα γίνει σύγκριση των ρύπων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που διεισδύουν κάθε χρόνο στο στόλο επιβατικών οχημάτων, με τους υποτιθέμενους ρύπους που θα απελευθέρωνε ο αντίστοιχος αριθμός συμβατικών αυτοκινήτων, στην περίπτωση που δεν είχε πραγματοποιηθεί καμία ένταξη της ηλεκτροκίνησης.

8.1 Συνολική ρύπανση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Για την υλοποίηση της σύγκρισης, απαραίτητος είναι ο υπολογισμός της συνολικής ρύπανσης που εκπέμπουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι συνολικές εκπομπές υπολογίζονται ως το άθροισμα των εκπομπών από την ηλεκτροπαραγωγή, προστιθέμενο με τις εκπομπές από τις μεταφορές. Πιο συγκεκριμένα, οι εκπομπές από τις μεταφορές αφορούν αποκλειστικά την κίνηση των PHEV από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο 6. Αντιθέτως, οι εκπομπές από την ηλεκτροπαραγωγή, αφορούν τις εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάστηκαν τα BEV και PHEV για να κινηθούν. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 8.1-Πίνακας 8.5) παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, για τους ρύπους CO₂, CO, NO_x, MP₁₀ και SO₂ αντίστοιχα.

Πίνακας 8.1 Συνολικές εκπομπές CO₂ ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2018 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές CO ₂ από την ηλεκτροπαραγωγή (Τόνοι)	Εκπομπές CO ₂ από τις μεταφορές (Τόνοι)	Συνολικές εκπομπές CO ₂ ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Τόνοι)
2018	1.515,9	621,8	2.137,7
2019	2.116,2	945,0	3.061,2
2020	14.114,8	8.605,3	22.720,1
2021	26.951,3	17.653,1	44.604,4
2022	43.208,6	28.271,1	71.479,6
2023	62.911,4	40.159,4	103.070,8
2024	86.553,1	53.493,1	140.046,2
2025	114.300,4	67.979,9	182.280,3
2026	146.941,2	82.923,5	229.864,7
2027	184.434,9	98.032,8	282.467,7
2028	190.407,9	113.041,8	303.449,7
2029	181.450,1	127.528,7	308.978,8
2030	231.810,0	140.531,7	372.341,7

Πίνακας 8.2 Συνολικές εκπομπές CO ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2018 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές CO από την ηλεκτροπαραγωγή (Τόνοι)	Εκπομπές CO από τις μεταφορές (Τόνοι)	Συνολικές εκπομπές CO ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Τόνοι)
2018	0,7	4,6	5,2
2019	0,8	7,0	7,8
2020	4,0	63,3	67,3
2021	6,8	130,2	136,9
2022	10,4	212,1	222,6
2023	15,2	308,1	323,3
2024	20,8	420,7	441,6
2025	27,5	549,1	576,6
2026	37,0	689,5	726,6
2027	48,7	840,8	889,5
2028	31,8	1.001,3	1.033,1
2029	0,0	1.167,7	1.167,7
2030	0,0	1.329,4	1.329,4

Πίνακας 8.3 Συνολικές εκπομπές NO_x ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2018 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές NO _x από την ηλεκτροπαραγωγή (Τόνοι)	Εκπομπές NO _x από τις μεταφορές (Τόνοι)	Συνολικές εκπομπές NO _x ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Τόνοι)
2018	0,8	0,2	1,0
2019	1,2	0,4	1,5
2020	8,5	3,3	11,8
2021	16,5	6,8	23,4
2022	26,7	11,2	37,9
2023	38,9	16,2	55,1
2024	53,6	22,1	75,7
2025	70,7	28,9	99,6
2026	90,2	36,3	126,5
2027	112,2	44,2	156,4
2028	124,0	52,7	176,7
2029	131,6	61,4	193,0
2030	168,1	69,9	238,0

Πίνακας 8.4 Συνολικές εκπομπές PM₁₀ ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2018 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές PM ₁₀ από την ηλεκτροπαραγωγή (Τόνοι)	Εκπομπές PM ₁₀ από τις μεταφορές (Τόνοι)	Συνολικές εκπομπές PM ₁₀ ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Τόνοι)
2018	0,7	0,2	0,9
2019	0,9	0,3	1,2
2020	4,4	2,5	7,0
2021	7,5	5,4	12,9
2022	11,5	9,1	20,6
2023	16,7	13,9	30,5
2024	22,9	19,8	42,8
2025	30,3	27,3	57,6
2026	40,7	36,4	77,1
2027	53,6	47,5	101,0
2028	35,0	61,0	95,9
2029	0,1	77,6	77,7
2030	0,1	97,8	97,9

Πίνακας 8.5 Συνολικές εκπομπές SO₂ ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2018 έως το 2030.

Έτος	Εκπομπές SO ₂ από την ηλεκτροπαραγωγή (Τόνοι)	Εκπομπές SO ₂ από τις μεταφορές (Τόνοι)	Συνολικές εκπομπές SO ₂ ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Τόνοι)
2018	0,9	-	0,9
2019	1,1	-	1,1
2020	5,8	-	5,8
2021	10,0	-	10,0
2022	15,4	-	15,4
2023	22,4	-	22,4
2024	30,7	-	30,7
2025	40,6	-	40,6
2026	54,4	-	54,4
2027	71,3	-	71,3
2028	48,7	-	48,7
2029	5,9	-	5,9
2030	7,5	-	7,5

8.2 Σενάριο σύγκρισης ρύπων

Στο σενάριο γίνεται σύγκριση των ρύπων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που διεισδύουν κάθε χρόνο στο στόλο επιβατικών οχημάτων, με τους υποτιθέμενους ρύπους που θα απελευθέρωνε ο αντίστοιχος αριθμός συμβατικών αυτοκινήτων, στην περίπτωση που δεν είχε πραγματοποιηθεί καμία ένταξη της ηλεκτροκίνησης. Για τα συμβατικά αυτοκίνητα θεωρείται ότι η κατανομή τους ακολουθεί τα ποσοστά του 2018 έτσι όπως υπολογίστηκαν στην ενότητα 4.4, δηλαδή η βενζίνη αποτελεί το 86,4%, το πετρέλαιο 7,2%, τα αυτοκίνητα διπλού καυσίμου 6,1% και τέλος τα εναλλακτικά καύσιμα το 0,3%. Στον Πίνακα 8.6 που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο έχουν κατανεμηθεί τα συμβατικά αυτοκίνητα, από το 2018 μέχρι και το 2030.

Πίνακας 8.6 Κατανομή συμβατικών αυτοκινήτων για την υλοποίηση του σεναρίου.

Έτος	Ηλεκτρικά αυτοκίνητα	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Διπλού καυσίμου	Εναλλακτικά καύσιμα
2018	761	657	55	46	2
2019	1.221	1.055	88	74	4
2020	10.762	9.298	775	656	32
2021	22.833	19.727	1.644	1.393	68
2022	38.698	33.435	2.786	2.361	116

2023	58.770	50.778	4.231	3.585	176
2024	84.482	72.993	6.083	5.153	253
2025	116.794	100.910	8.409	7.124	350
2026	156.316	135.057	11.255	9.535	469
2027	204.685	176.848	14.737	12.486	614
2028	264.419	228.458	19.038	16.130	793
2029	338.754	292.683	24.390	20.664	1.016
2030	429.452	371.046	30.921	26.197	1.288

Για τα συμβατικά αυτοκίνητα του Πίνακα 8.6, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των ρύπων ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιήθηκε και στο κεφάλαιο 6, δηλαδή με χρήση της εξίσωσης (6.1):

$$\Sigma P_{EO} = \Sigma (AO_{i,j} \times M\Delta X_{i,j} \times \Sigma E_{i,j})$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο αριθμός των συμβατικών αυτοκινήτων είναι από τον Πίνακα 8.6, ενώ τα μέσα διανυόμενα χιλιόμετρα και ο συντελεστής εκπομπής παραμένουν τα ίδια. Επιπλέον όλα τα αυτοκίνητα θεωρούνται καινούρια, επομένως κατατάσσονται σε κατηγορία προτύπων Euro 6. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες των επόμενων υποενοτήτων, όπου γίνεται η σύγκριση των εκπομπών από ηλεκτρικά και συμβατικά αυτοκίνητα για κάθε ενδιαφερόμενο ρύπο.

8.2.1 Σύγκριση εκπομπών CO₂

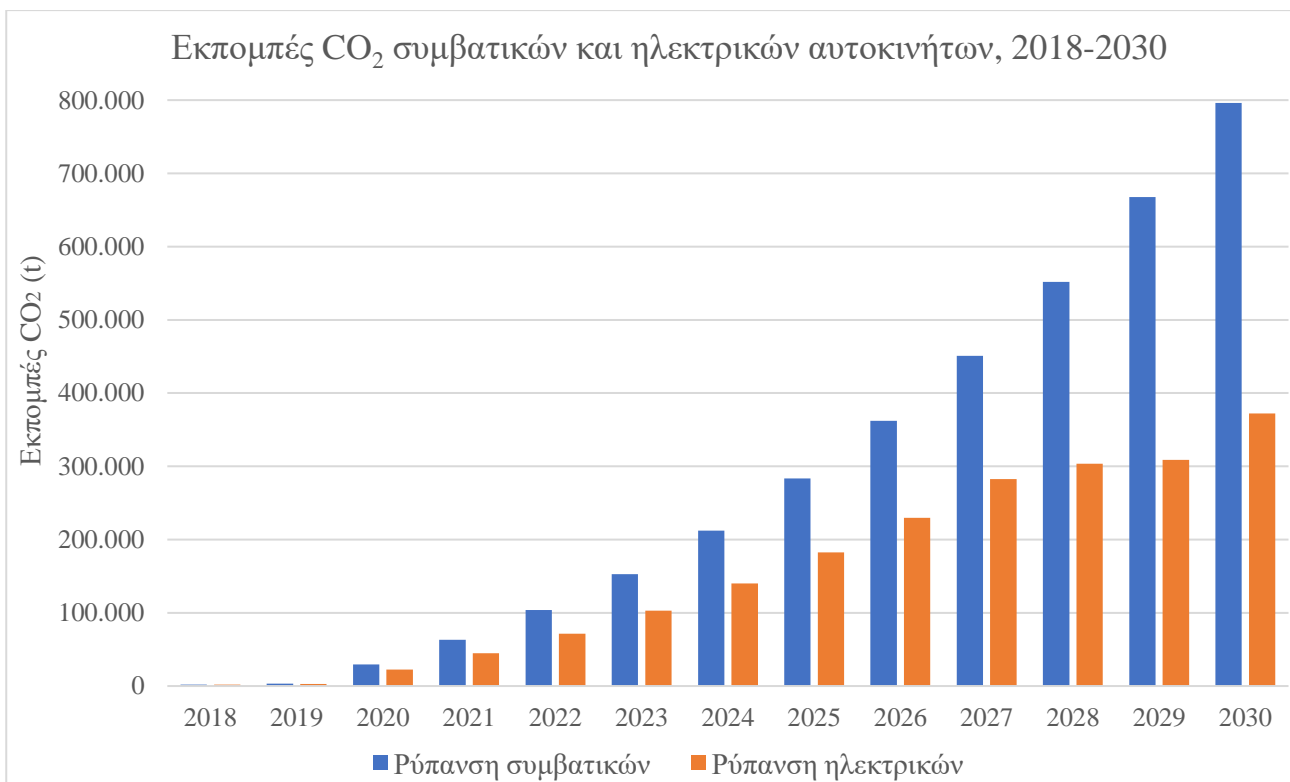
Στον Πίνακα 8.7 παρουσιάζεται το ποσοστό μεταβολής των εκπομπών CO₂ από τα συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα από το 2018 έως 2030. Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 8.1 στο οποίο αποτυπώνονται οι εκπομπές των συμβατικών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 8.7 Σύγκριση εκπομπών CO₂ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2017-2030.

Έτος	Εκπομπές CO ₂ από συμβατικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Εκπομπές CO ₂ από ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Ποσοστό μεταβολής εκπομπών CO ₂ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων
2018	2.059,0	2.137,7	3,8%
2019	3.329,3	3.061,2	-8,1%
2020	29.573,6	22.720,1	-23,2%
2021	63.225,5	44.604,4	-29,5%
2022	103.928,6	71.479,6	-31,2%
2023	152.850,2	103.070,8	-32,6%

2024	212.429,0	140.046,2	-34,1%
2025	283.422,4	182.280,3	-35,7%
2026	361.999,3	229.864,7	-36,5%
2027	450.848,3	282.467,7	-37,3%
2028	552.001,7	303.449,7	-45,0%
2029	667.571,9	308.978,8	-53,7%
2030	796.085,0	372.341,7	-53,2%

Σύμφωνα με τον Πίνακα 8.7, παρατηρείται ότι με το πέρασμα των χρόνων, το όφελος από τη διεύθυνση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων γίνεται όλο και μεγαλύτερο. Πιο συγκεκριμένα, το 2018 οι εκπομπές από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν περισσότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών, λόγω της υψηλής συμμετοχής του λιγνίτη στην ετήσια ηλεκτροπαραγωγή. Από το 2019 το μερίδιο του λιγνίτη άρχισε να υποχωρεί, με αποτέλεσμα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να απελευθερώνουν λιγότερους ρύπους. Είναι σημαντικό να τονισθεί πως εάν πραγματοποιηθούν οι προβλέψεις της διεύθυνσης της ηλεκτροκίνησης, τότε οι εκπομπές CO₂ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα είναι 53,2% χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών.



Γράφημα 8.1 Εκπομπές CO₂ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2019-2030

Σύμφωνα με το Γράφημα 8.1, παρατηρείται ότι με το πέρασμα των χρόνων, η διαφορά των εκπομπών CO₂ των συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνεται. Πιο συγκεκριμένα, η ρύπανση των συμβατικών ακολουθεί ομαλή αυξητική τάση που οφείλεται στην αύξηση του αριθμού οχημάτων. Αντιθέτως, η ρύπανση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνεται με μικρότερο βαθμό καθώς επηρεάζεται από το ενεργειακό μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής και ιδιαίτερα από την αύξηση των ΑΠΕ σε βάρος των λιγνιτικών μονάδων.

8.2.2 Σύγκριση εκπομπών CO

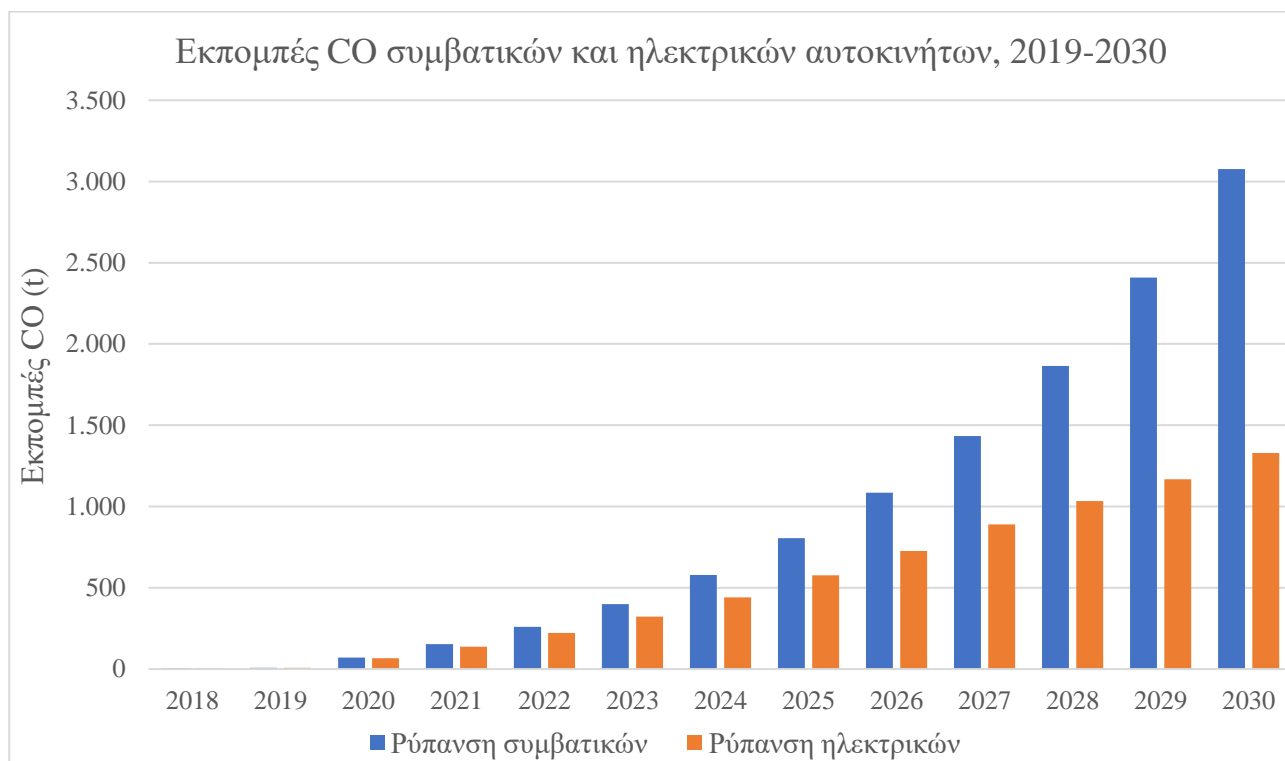
Στον Πίνακα 8.8 παρουσιάζεται το ποσοστό μεταβολής των εκπομπών CO από τα συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα από το 2018 έως 2030. Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 8.2 στο οποίο αποτυπώνονται οι εκπομπές των συμβατικών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 8.8 Σύγκριση εκπομπών CO από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2018-2030.

Έτος	Εκπομπές CO από συμβατικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Εκπομπές CO από ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Ποσοστό μεταβολής εκπομπών CO των ηλεκτρικών αυτοκινήτων
2018	5,0	5,2	5,1%
2019	8,0	7,8	-3,3%
2020	71,4	67,3	-5,8%
2021	152,7	136,9	-10,3%
2022	260,7	222,6	-14,6%
2023	399,0	323,3	-19,0%
2024	578,0	441,6	-23,6%
2025	805,2	576,6	-28,4%
2026	1.085,9	726,6	-33,1%
2027	1.432,8	889,5	-37,9%
2028	1.865,1	1.033,1	-44,6%
2029	2.407,7	1.167,7	-51,5%
2030	3.075,7	1.329,4	-56,8%

Τα οφέλη της ηλεκτροκίνησης είναι εμφανής και στην περίπτωση του CO, καθώς από τα πρώτα μόλις χρόνια παρουσιάζεται θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, το οποίο όλο και μεγαλώνει με το πέρασμα των χρόνων. Πιο συγκεκριμένα, το 2018 οι εκπομπές από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν περισσότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών, λόγω της υψηλής συμμετοχής του λιγνίτη στην ετήσια ηλεκτροπαραγωγή. Σύμφωνα με τον Πίνακα 8.8, η ολοένα και χαμηλότερη συμμετοχή του

λιγνίτη με την ταυτόχρονη αύξηση παραγωγής των ΑΠΕ, οδήγησε το 2019 σε μείωση των εκπομπών CO κατά 3,3%, ενώ το 2029 το αντίστοιχο ποσοστό προβλέπεται να ξεπεράσει το 50%, φτάνοντας το 2030 στο 56,8%.



Γράφημα 8.2 Εκπομπές CO από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2019-2030

8.2.3 Σύγκριση εκπομπών NO_x

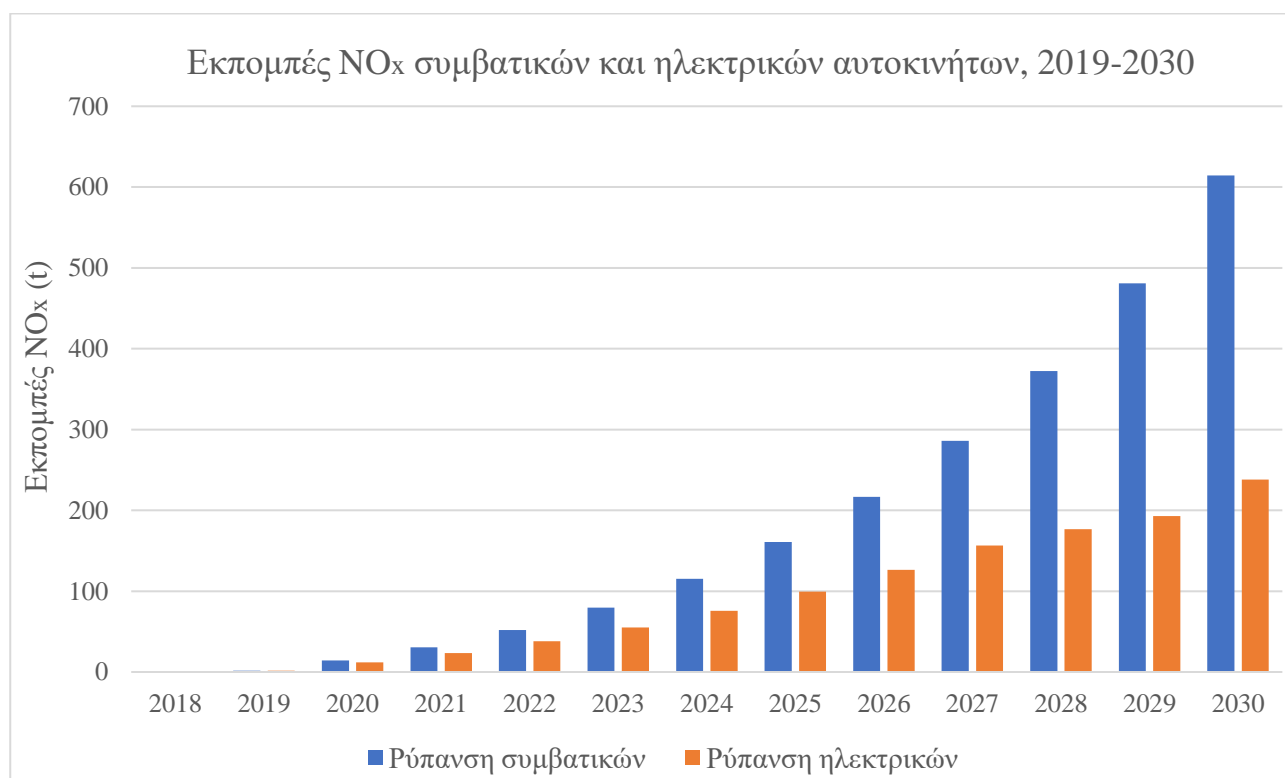
Στον Πίνακα 8.9 παρουσιάζεται το ποσοστό μεταβολής των εκπομπών NO_x από τα συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα από το 2018 έως 2030. Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 8.3 στο οποίο αποτυπώνονται οι εκπομπές των συμβατικών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 8.9 Σύγκριση εκπομπών NO_x από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2018-2030.

Έτος	Εκπομπές NO _x από συμβατικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Εκπομπές NO _x από ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Ποσοστό μεταβολής εκπομπών NO _x των ηλεκτρικών αυτοκινήτων
2018	0,99	1,05	5,4%
2019	1,61	1,55	-3,7%
2020	14,26	11,79	-17,3%

2021	30,49	23,39	-23,3%
2022	52,08	37,89	-27,2%
2023	79,69	55,13	-30,8%
2024	115,44	75,69	-34,4%
2025	160,81	99,61	-38,1%
2026	216,87	126,47	-41,7%
2027	286,16	156,45	-45,3%
2028	372,50	176,70	-52,6%
2029	480,87	192,98	-59,9%
2030	614,29	238,00	-61,3%

Ο τομέας των μεταφορών και ιδιαίτερα τα επιβατικά οχήματα, είναι υπεύθυνος για μεγάλες ποσότητες εκπομπών NO_x. Επομένως, τα περιβαλλοντικά κέρδη που θα επέλθουν με την διείσδυση οχημάτων μηδενικών εκπομπών θα είναι σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, το 2018 οι εκπομπές από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν περισσότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών, λόγω της υψηλής συμμετοχής του λιγνίτη στην ετήσια ηλεκτροπαραγωγή. Σύμφωνα με τον Πίνακα 8.9, η ολοένα και χαμηλότερη συμμετοχή του λιγνίτη με την ταυτόχρονη αύξηση παραγωγής των ΑΠΕ, οδήγησε το 2019 σε μείωση των εκπομπών NO_x κατά 3,7%, ενώ το 2030 το αντίστοιχο ποσοστό προβλέπεται να φτάσει το 61,3%.



Γράφημα 8.3 Εκπομπές NO_x από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2019-2030.

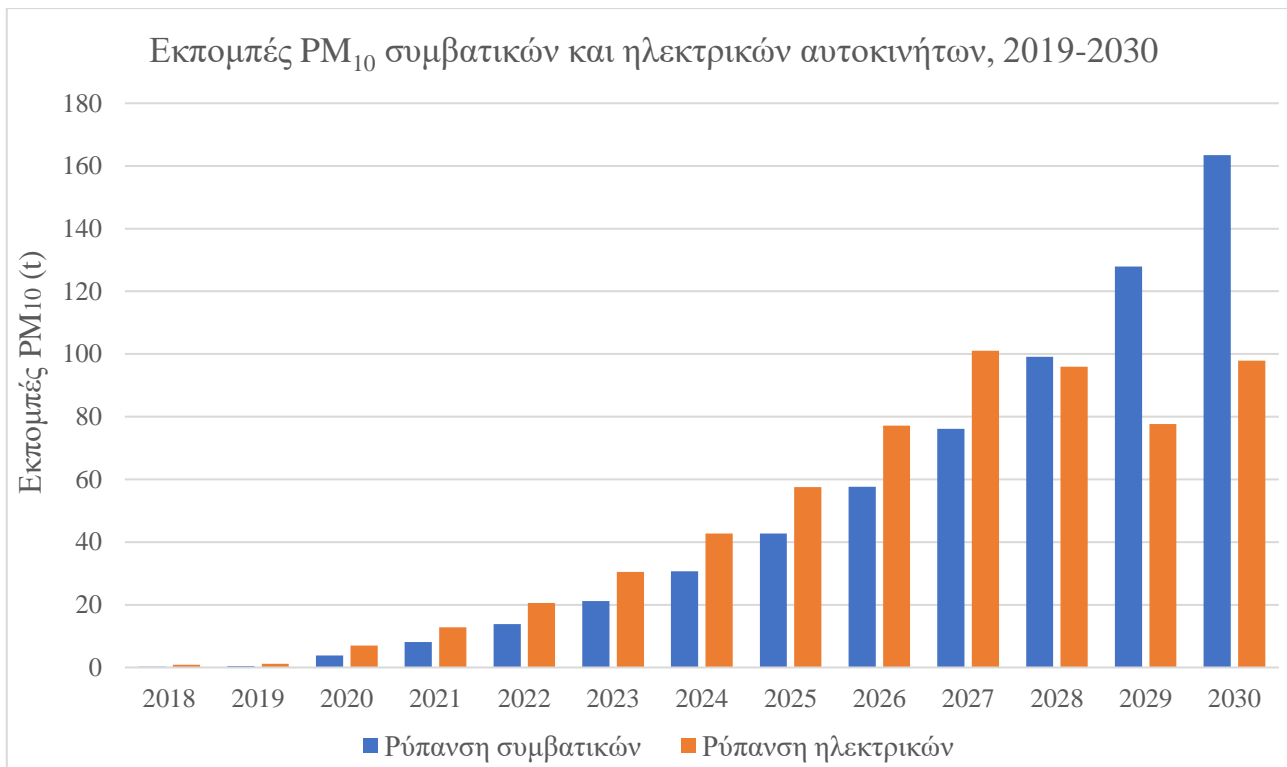
8.2.4 Σύγκριση εκπομπών PM₁₀

Στον Πίνακα 8.10 παρουσιάζεται το ποσοστό μεταβολής των εκπομπών PM₁₀ από τα συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα από το 2018 έως 2030. Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 8.4 στο οποίο αποτυπώνονται οι εκπομπές των συμβατικών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 8.10 Σύγκριση εκπομπών PM₁₀ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2018-2030.

Έτος	Εκπομπές PM ₁₀ από συμβατικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Εκπομπές PM ₁₀ από ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Ποσοστό μεταβολής εκπομπών PM ₁₀ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων
2018	0,26	0,91	243,0%
2019	0,43	1,17	173,3%
2020	3,79	6,95	83,3%
2021	8,11	12,86	58,6%
2022	13,85	20,60	48,7%
2023	21,20	30,53	44,0%
2024	30,71	42,77	39,3%
2025	42,78	57,58	34,6%
2026	57,70	77,11	33,7%
2027	76,13	101,03	32,7%
2028	99,10	95,93	-3,2%
2029	127,93	77,69	-39,3%
2030	163,42	97,85	-40,1%

Η κατάσταση στα PM₁₀ είναι διαφορετική από τους προαναφερθέντες ρύπους. Από τον Πίνακα 8.10 παρατηρείται πως οι εκπομπές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών, ωστόσο παρουσιάζεται μείωση με το πέρασμα των χρόνων. Πιο συγκεκριμένα, το 2018, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα απελευθέρωναν 243% περισσότερους ρύπους από τα συμβατικά. Αυτή η μεγάλη διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι το 2017 οι λιγνιτικές μονάδες αντιπροσώπευαν το 1/3 της ηλεκτρικής παραγωγής. Η γρήγορη απεξάρτηση από τον λιγνίτη κατάφερε να μειώσει την διαφορά των εκπομπών από τα συμβατικά αυτοκίνητα, πράγμα το οποίο προβλέπεται να συνεχιστεί μέχρι το 2028, όπου το μερίδιο του λιγνίτη έχει προγραμματιστεί να μηδενιστεί. Μετά την πλήρη απολιγνιτοποίηση η διεύθυνση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι ολοφάνερο πως θα παρουσιάσει θετικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα όσον αφορά τις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων.



Γράφημα 8.4 Εκπομπές PM₁₀ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2019-2030

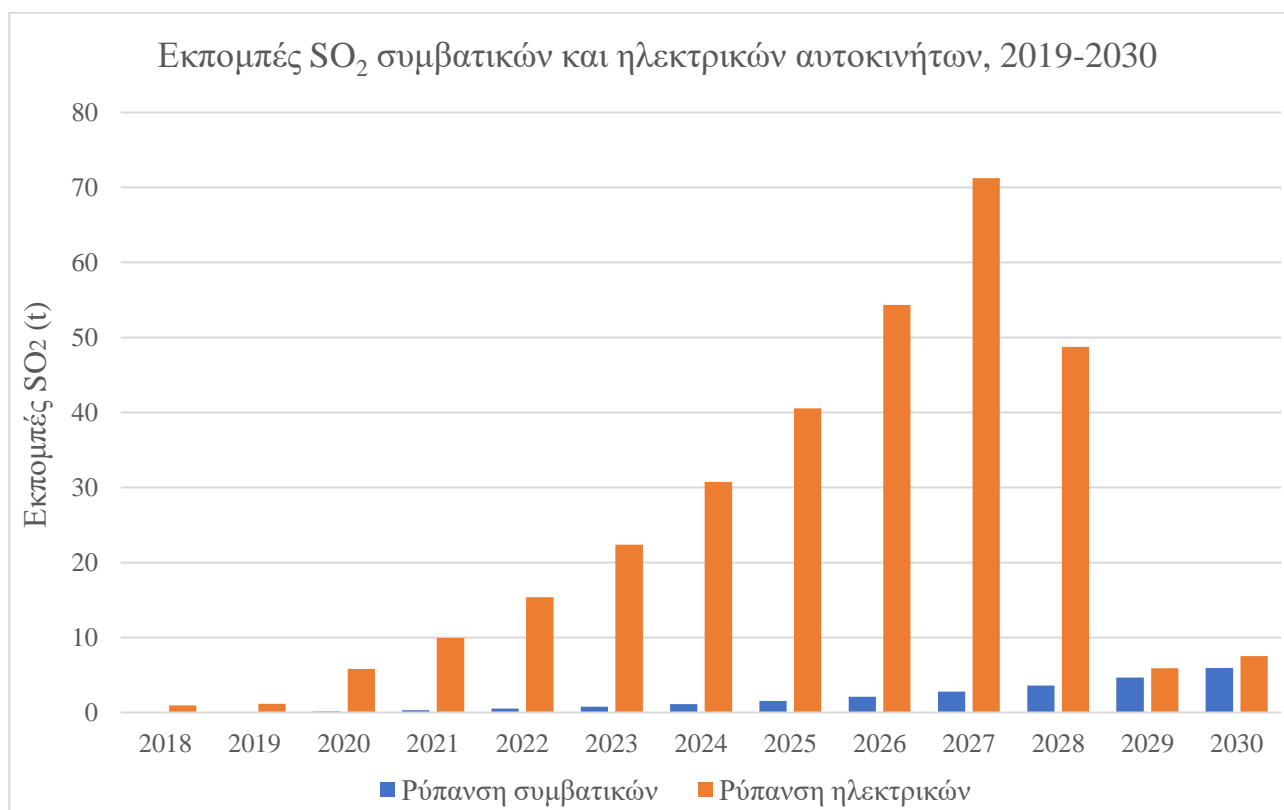
Σύμφωνα με το Γράφημα 8.4, παρατηρείται ότι μέχρι το 2027 οι εκπομπές PM₁₀ από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι περισσότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών. Αυτό οφείλεται στη συνεισφορά του λιγνίτη στην ετήσια εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή, καθώς κατά την καύση του απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες στάχτης. Έτος αναφοράς αποτελεί το 2029, στο οποίο σύμφωνα με το ΕΣΕΚ θα πραγματοποιηθεί η πλήρης απεξάρτηση από τον λιγνίτη. Ως εκ τούτου, από το 2029 κι έπειτα οι εκπομπές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις εκπομπές των συμβατικών.

8.2.5 Σύγκριση εκπομπών SO₂

Στον Πίνακα 8.11 παρουσιάζεται το ποσοστό μεταβολής των εκπομπών SO₂ από τα συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα από το 2018 έως 2030. Στην συνέχεια ακολουθεί το Γράφημα 8.5 στο οποίο αποτυπώνονται οι εκπομπές των συμβατικών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 8.11 Σύγκριση εκπομπών SO₂ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2018-2030.

Έτος	Εκπομπές SO ₂ από συμβατικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Εκπομπές SO ₂ από ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Τόνοι)	Ποσοστό μεταβολής εκπομπών SO ₂ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων
2018	0,010	0,936	9.653%
2019	0,016	1,144	7.272%
2020	0,138	5,827	4.128%
2021	0,295	9,960	3.280%
2022	0,503	15,362	2.953%
2023	0,770	22,355	2.803%
2024	1,115	30,737	2.656%
2025	1,554	40,564	2.510%
2026	2,096	54,353	2.494%
2027	2,765	71,260	2.477%
2028	3,599	48,742	1.254%
2029	4,647	5,882	26,6%
2030	5,936	7,514	26,6%



Γράφημα 8.5 Εκπομπές SO₂ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, 2019-2030.

Από το Γράφημα 8.5 παρατηρείται πως μέχρι το 2028, οι εκπομπές SO₂ από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι πολλαπλάσιες από τις εκπομπές των συμβατικών. Υπεύθυνος για αυτή την εξέλιξη είναι και πάλι ο λιγνίτης, ο οποίος κατά την καύση του απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες SO₂. Η απολιγνιτοποίηση του 2029 φαίνεται να εξισορροπεί την κατάσταση, αλλά οι εκπομπές των ηλεκτρικών συνεχίζουν να είναι ψηλότερες από αυτές των συμβατικών κατά 26,6%. Ωστόσο η συνεχής αύξηση των ΑΠΕ προβλέπεται να αντιστρέψουν την κατάσταση στο άμεσο μέλλον.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα που έχει αναγνωριστεί παγκοσμίως. Η εκβιομηχάνιση, η αστυφιλία, η αύξηση του βιοτικού επιπέδου και η συνεχόμενη αύξηση των ενεργειακών αναγκών έχουν δημιουργήσει σοβαρές επιδράσεις στην ατμοσφαιρική ποιότητα του αέρα. Η ανθρωπογενής ατμοσφαιρική ρύπανση προέρχεται κυρίως από τη βιομηχανία, τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις μεταφορές. Οι εκπομπές αέριων ρύπων βρίσκονται σε μεγάλο ποσοστό στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στον άνθρωπο. Επιπλέον η ποιότητα του αέρα στις μεγαλουπόλεις από την καύση πετρελαίου και βενζίνης έχει σημαντικές επιδράσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον και στο τοπίο των πόλεων.

Οι μεταφορές συνεισφέρουν περίπου τις μισές εκπομπές NO_x και το ένα τέταρτο των εκπομπών CO_2 , ενώ συμβάλλουν σημαντικά και στις συνολικές εκπομπές των υπόλοιπων ρύπων, με τις οδικές μεταφορές να είναι οι περισσότερο ζημιόγones. Γι' αυτόν το λόγο, ο τομέας των μεταφορών χρίζει παρέμβαση με εφαρμογή καινοτόμων και φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών, όπως η ηλεκτροκίνηση. Τα τελευταία χρόνια η διεθνής στροφή προς την ηλεκτροκίνηση είναι ορατή, καθώς το ποσοστό πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ολοένα και αυξάνεται. Στην Ελλάδα, η ηλεκτροκίνηση δεν έχει βιώσει αντίστοιχα αποτελέσματα, ωστόσο τα τελευταία 2 χρόνια η κατάσταση παρουσιάζεται περισσότερο από αισιόδοξη.

Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο COPERT, διότι είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο στην Ευρώπη αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Επιπλέον η μεθοδολογία COPERT χρησιμοποιείται στα 22 από τα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU-27), για τις επίσημες εθνικές απογραφές εκπομπών από την οδική κυκλοφορία. Για την πρόβλεψη του στόλου οχημάτων χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι εξομάλυνσης και συγκεκριμένα η μέθοδος διπλής εκθετικής εξομάλυνσης Brown.

Ο στόλος επιβατικών οχημάτων στην Ελλάδα αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από βενζινοκίνητα αυτοκίνητα με ποσοστά που κατά χρονιές ξεπερνούσαν το 90%, ενώ μόλις τα τελευταία χρόνια τα πετρελαιοκίνητα οχήματα άρχισαν να κερδίζουν έδαφος. Επιπλέον ο στόλος οχημάτων της Ελλάδας είναι από τους πιο γηραιούς με μέσο όρο ηλικίας τα 16 έτη. Αποτέλεσμα αυτού, το 76% των οχημάτων να Euro 3 ή παλαιότερο, ενώ μόλις 11% να είναι Euro 5 και Euro 6. Τέλος, τα αυτοκίνητα Euro 3 παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κινητική δραστηριότητα, πραγματοποιώντας το 43,6% των συνολικών χιλιομέτρων.

Η πρόβλεψη του στόλου οχημάτων με τη μέθοδο διπλής εκθετικής εξομάλυνσης Brown, οδήγησε σε λογικά αποτελέσματα που είναι όμοια με τις προβλέψεις του ΕΣΕΚ. Πιο συγκεκριμένα, ο συνολικός αριθμός επιβατικών οχημάτων το 2030 αναμένεται στα 5,7 εκατομμύρια από 5,15 εκατομμύρια το 2018.

Οι συνολικές εκπομπές στο διάστημα της πρόβλεψης μειώθηκαν για όλους τους εξεταζόμενους ρύπους. Πιο αναλυτικά, τη μεγαλύτερη μείωση παρουσίασε το CO με ποσοστό 46%, ενώ ακολούθησαν τα NO_x και CO_2 με πτώση 28% και 19% αντίστοιχα. Το SO_2 και τα PM_{10} παρουσίασαν μικρότερη μείωση με 13,6% και 3,7% αντίστοιχα.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εκπέμπουν ρύπους έμμεσα, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι απαραίτητη για την κίνηση τους, παράγεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Το ενεργειακό μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής παίζει καθοριστικό ρόλο στις συνολικές εκπομπές ρύπων. Σε μόλις τέσσερα χρόνια το μερίδιο του λιγνίτη μειώθηκε κατά 24,8%, καταλαμβάνοντας το 11% για το 2021. Τα επόμενα χρόνια το ποσοστό του λιγνίτη προβλέπεται να μειωθεί ακόμα περισσότερο, μέχρι το έτος 2028 όπου έχει προγραμματιστεί η πλήρης απολιγνιτοποίηση.

Η καθαρή ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα το 2030, σύμφωνα με την πρόβλεψη του ΕΣΕΚ, θα είναι 57.220 GWh, ενώ η συνολική κατανάλωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το ίδιο έτος υπολογίστηκε στα 943 GWh. Συνεπώς η ενέργεια ζήτησης των 429.452 ηλεκτρικών αυτοκινήτων αποτελεί το 1,65% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η ζήτηση θα καλυφθεί στο εύρος μιας δεκαετίας, επομένως είναι προφανές ότι το ποσοστό αυτό μπορεί να καλυφθεί χωρίς να επηρεαστεί ιδιαίτερα το δυναμικό της εθνικής ηλεκτροπαραγωγής.

Συγκρίνοντας τις εκπομπές των ηλεκτρικών και των συμβατικών αυτοκινήτων, συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι εκπομπές των CO₂, CO και NO_x από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των συμβατικών και παρουσιάζονται άμεσα, ενώ μετά την απολιγνιτοποίηση το περιβαλλοντικό κέρδος ξεπερνάει το 50%. Αντιθέτως, στο SO₂ και στα PM₁₀ πρέπει πρώτα να πραγματοποιηθεί απεξάρτηση του λιγνίτη, έτσι ώστε η ένταξη της ηλεκτροκίνησης να θεωρηθεί περιβαλλοντικά βιώσιμη.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η διείσδυση ηλεκτρικών αυτοκινήτων προϋποθέτει ένα ενεργειακό σύστημα που θα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε να βελτιστοποιηθεί το περιβαλλοντικό κέρδος. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι οι ΑΠΕ να φτάσουν όσο το δυνατόν πιο κοντά στο 100% της ηλεκτροπαραγωγής έτσι ώστε οι ατμοσφαιρικοί ρύποι να τείνουν να μηδενιστούν. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει εξ ολοκλήρου η αντικατάσταση του συμβατικού στόλου με ηλεκτρικό, πράγμα το οποίο θα αποτελέσει τεράστιο περιβαλλοντικό όφελος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ACEA (2013) *Air Quality*. Available at: <https://www.acea.auto/fact/air-quality/>.
- ACEA (2019) *NEW PASSENGER CAR REGISTRATIONS BY FUEL TYPE INTHE EUROPEAN UNION*. Available at: https://www.acea.auto/files/20190207_PRPC_fuel_Q4_2018_FINAL.pdf.
- ACEA (2020) *NEW PASSENGER CAR REGISTRATIONS BY FUEL TYPE INTHE EUROPEAN UNION*. Available at: https://www.acea.auto/files/20200206_PRPC_fuel_Q4_2019_FINAL.pdf
- ACEA (2021) *NEW PASSENGER CAR REGISTRATIONS BY FUEL TYPE INTHE EUROPEAN UNION*. Available at: https://www.acea.auto/files/20210204_PRPC_fuel_Q4_2020_FINAL.pdf
- ACEA (2022) *NEW PASSENGER CAR REGISTRATIONS BY FUEL TYPE INTHE EUROPEAN UNION*. Available at: https://www.acea.auto/files/20220202_PRPC-fuel_Q4-2021_FINAL.pdf
- ACEA (2021a) *Average age of the EU vehicle fleet, by country*. Available at: <https://www.acea.auto/figure/average-age-of-eu-vehicle-fleet-by-country/>.
- ACEA (2021b) *Electric cars: 10 EU countries do not have a single charging point per 100km of road*. Available at: <https://www.acea.auto/press-release/electric-cars-10-eu-countries-do-not-have-a-single-charging-point-per-100km-of-road/>.
- ACEA (2021c) *New passenger cars by segment in the EU*. Available at: <https://www.acea.auto/figure/new-passenger-cars-by-segment-in-eu/>.
- Ahn, K., Chu, Z. and Lee, D. (2021) ‘Effects of renewable energy use in the energy mix on social welfare’, *Energy Economics*, 96, p. 105174. doi: 10.1016/j.eneco.2021.105174.
- Ara Aksoy, S. *et al.* (2021) ‘Mortality and morbidity costs of road traffic-based air pollution in Turkey’, *Journal of Transport and Health*, 22(June). doi: 10.1016/j.jth.2021.101142.
- Bogacki, M. and Bzdziuch, P. (2019) ‘Urban bus emission trends in the Krakow metropolitan area (Poland) from 2010 to 2015’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67(November 2018), pp. 33–50. doi: 10.1016/j.trd.2018.11.003.
- Brauer, M. *et al.* (2021) ‘Taking a Stand Against Air Pollution—The Impact on Cardiovascular Disease: A Joint Opinion from the World Heart Federation, American College of Cardiology, American Heart Association, and the European Society of Cardiology’, *Journal of the American College of Cardiology*, 77(13), pp. 1684–1688. doi: 10.1016/j.jacc.2020.12.003.
- Burón, J. M. *et al.* (2004) ‘Estimation of road transportation emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program’, *Atmospheric Environment*, 38(5), pp. 715–724. doi: 10.1016/j.atmosenv.2003.10.020.
- C. Pénard-Morand, I. A.-M. (2004) ‘Air pollution: from sources of emissions to health effects’.
- EEA (2021) *National air pollutant emissions data viewer 1990 – 2019*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/necd-directive-data-viewer-5>.
- Energie (2021) *Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα | Recharge.Gr*. Available at: <https://www.recharge.gr/ev/?categories=507>.
- EPA (2021a). Available at: <https://www.epa.gov/moves/description-and-history-mobile-highway-vehicle-emission-factor-model> (Accessed: 26 November 2021).

- EPA (2021b) *Overview of EPA 's MOfor Vehicle Emission Simulator (MOVES3)*. Available at: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1011KV2.pdf> (Accessed: 30 November 2021).
- Fameli, K. M. and Assimakopoulos, V. D. (2015) 'Development of a road transport emission inventory for Greece and the Greater Athens Area: Effects of important parameters', *Science of the Total Environment*, 505(2), pp. 770–786. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.10.015.
- González, R. M. *et al.* (2019) 'Analyzing CO2 emissions from passenger cars in Europe: A dynamic panel data approach', *Energy Policy*, 129(March), pp. 1271–1281. doi: 10.1016/j.enpol.2019.03.031.
- Grassi, Y. S., Brignole, N. B. and Díaz, M. F. (2021) 'Vehicular fleet characterisation and assessment of the on-road mobile source emission inventory of a Latin American intermediate city', *Science of the Total Environment*, 792, p. 148255. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148255.
- Guarnieri, M. (2012) 'Looking Back to Electric Cars'. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6487583>.
- Gurram, S., Stuart, A. L. and Pinjari, A. R. (2019) 'Agent-based modeling to estimate exposures to urban air pollution from transportation: Exposure disparities and impacts of high-resolution data', *Computers, Environment and Urban Systems*, 75(April 2018), pp. 22–34. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.01.002.
- IEA (2021) *Emissions by sector*. Available at: <https://www.iea.org/reports/greenhouse-gas-emissions-from-energy-overview/emissions-by-sector>.
- Ji, H. *et al.* (2022) 'Research on adaption to air pollution in Chinese cities: Evidence from social media-based health sensing', *Environmental Research*, p. 112762. doi: 10.1016/j.envres.2022.112762.
- Kampa, M. and Castanas, E. (2008) 'Human health effects of air pollution', *Environmental Pollution*, 151(2), pp. 362–367. doi: 10.1016/j.envpol.2007.06.012.
- Kınay, Ö. B., Gzara, F. and Alumur, S. A. (2021) 'Full cover charging station location problem with routing', *Transportation Research Part B: Methodological*, 144, pp. 1–22. doi: 10.1016/j.trb.2020.12.001.
- Kortoçi, P. *et al.* (2022) 'Air pollution exposure monitoring using portable low-cost air quality sensors', *Smart Health*, 23(October 2021). doi: 10.1016/j.smhl.2021.100241.
- Kostopoulos, E. D., Spyropoulos, G. C. and Kaldellis, J. K. (2020) 'Real-world study for the optimal charging of electric vehicles', *Energy Reports*, 6, pp. 418–426. doi: 10.1016/j.egy.2019.12.008.
- Kubański, M. (2020) 'Prospects for the Use of Electric Vehicles in Public Transport on the Example of the City of Czechowice-Dziedzice', *Transportation Research Procedia*, 44(2019), pp. 110–114. doi: 10.1016/j.trpro.2020.02.016.
- Liu, C. *et al.* (2021) 'Optimal estimation of initial concentrations and emission sources with 4D-Var for air pollution prediction in a 2D transport model', *Science of the Total Environment*, 773, p. 145580. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145580.
- Migliore, M., D'Orso, G. and Caminiti, D. (2020) 'The environmental benefits of carsharing: The case study of Palermo.', *Transportation Research Procedia*, 48(2019), pp. 2127–2139. doi: 10.1016/j.trpro.2020.08.271.
- Peng, Z. *et al.* (2015) 'Research on industrialization of electric vehicles with its demand forecast

using exponential smoothing method’, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(2), pp. 365–382. doi: 10.3926/jiem.1287.

Raaschou-Nielsen, O. *et al.* (2022) ‘Air pollution at the residence of Danish adults, by socio-demographic characteristics, morbidity, and address level characteristics’, *Environmental Research*, 208(2). doi: 10.1016/j.envres.2022.112714.

Theodosiou, G., Koroneos, C. and Stylos, N. (2014) ‘Environmental impacts of the greek electricity generation sector’, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 5, pp. 19–27. doi: 10.1016/j.seta.2013.10.005.

Zhou, G., Zhu, Z. and Luo, S. (2022) ‘Location optimization of electric vehicle charging stations: Based on cost model and genetic algorithm’, *Energy*, 247, p. 123437. doi: 10.1016/j.energy.2022.123437.

Zu, S. and Sun, L. (2022) ‘Research on location planning of urban charging stations and battery-swapping stations for electric vehicles’, *Energy Reports*, 8, pp. 508–522. doi: 10.1016/j.egy.2022.01.206.

ΑΔΜΗΕ (2018) *Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας-Δεκέμβριος 2017*. Available at: https://www.admie.gr/sites/default/files/attached-files/type-file/2020/04/Energy_Report_201712_v1.pdf

ΑΔΜΗΕ (2019) *Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας-Δεκέμβριος 2018*. Available at: https://www.admie.gr/sites/default/files/attached-files/type-file/2020/04/Energy_Report_201812_v1.pdf

ΑΔΜΗΕ (2020) *Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας-Δεκέμβριος 2019*. Available at: https://www.admie.gr/sites/default/files/attached-files/type-file/2021/04/Energy_Report_201912_v2.pdf

ΑΔΜΗΕ (2021) *Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας-Δεκέμβριος 2020*. Available at: https://www.admie.gr/sites/default/files/attached-files/type-file/2021/05/Energy_Report_202012_v2b.pdf

ΑΔΜΗΕ (2022) *Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας-Δεκέμβριος 2021*. Available at: https://www.admie.gr/sites/default/files/attached-files/type-file/2022/02/Energy_Report_202112_v2.pdf.

Γεντεκάκης, Ι. (2010) *ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες*. 2η έκδοση. Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Γκερεδάκης, Ε. (2021) «*ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ - ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΟ ΕΛΜΕΠΑ*». Available at: <file:///C:/Users/Nτέλος/Downloads/GkeredakisEmmanouil2021.pdf>.

Γκιτσάλης, Α. (2021) *Εισάγοντας την ηλεκτροκίνηση στην ελληνική πόλη. Κατευθύνσεις για χωροθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στον Δήμο Μεταμόρφωσης.*, *Industry and Higher Education*. Available at: <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>.

Ε. Μπαξεβάνης (2019) ‘Μελετη και αναλυση ηλεκτρικου αυτοκινητου και συνδεση με το εξυπνο δικτυο’. Available at: <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/50899/19389.pdf?sequence=1>.

- Θανόπουλος, Α. (2016) *Ηλεκτρικά αυτοκίνητα και συστήματα τροφοδοσίας τους*.
- Κατσιρούμπας, Π. (2021) *ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΜΙΑ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ*. Available at: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/54143/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ_ΚΑΤΣΙΡΟΥΜΠΑΣ.pdf?sequence=1.
- Κουσουλίδου, Μ. (2011) *Experimental and theoretical investigation of European road transport emissions evolution with the use of conventional fuels and biofuels*. Available at: <http://ikee.lib.auth.gr/record/127384/files/GRI-2011-7376.pdf>.
- Κυριακίδης, Μ. (2017) *Τεχνικές ανάλυσης και πρόβλεψης τηλεπικοινωνιακών αγορών*. Available at: <file:///C:/Users/Nτέλος/Downloads/Business Forecasting 2017-18.pdf>.
- Λαγός, Δ. (2019) *Προοπτικές ηλεκτροκίνησης με μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ στην Ελλάδα*. Available at: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/48815/Διπλωματική Εργασία Λαγός Δημήτριος.pdf?sequence=1>.
- Λοϊζου, Ε. (2020) *Ανάλυση χρονοσειρών με εφαρμογώ σε βιοϊατρικά δεδομένα*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Available at: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/52798/thesis3_rev11_9-2_FINAL_rev-2.pdf?sequence=1.
- Μανιώτης, Γ. (2021) *Καταγραφή στόλου οχημάτων στην Αττική και η συμβολή τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση*. Available at: https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/1053/mec_46145345.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Μαργιά, Γ. (2009) *Ανάλυση Και Πρόβλεψη Χρονοσειρών*.
- Νέγκας, Δ. (2011) 'Τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και ο ανεφοδιασμός τους με Ηλεκτρική Ενέργεια'. Available at: <https://www.heliev.gr/wp-content/uploads/2017/11/Ανεφοδιασμός-EV.pdf>.
- Νέζου, Χ. (2018) *ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ – ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ – ΟΖΟΝ. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ*.
- Νικολάου, Ν. (2021) *Ανάλυση δεδομένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης χώρου φόρτισης*. Available at: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/54172/Διπλωματική - Νικολάου.pdf?sequence=1>.
- Παπαζαφείρης, Σ. (2012) *ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΙΣ ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ*. Available at: [file:///C:/Users/Nτέλος/Downloads/10221 \(1\).pdf](file:///C:/Users/Nτέλος/Downloads/10221 (1).pdf).
- ΠΟΥ (2021) *Ατμοσφαιρική ρύπανση*. Available at: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1.
- Ρεμουντάκη, Ε. (2010) 'Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση'. Available at: https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/WWF_Ellas_Odigos_gia_to_perivallon_Aeras.pdf.
- Τσίκο, Δ. (2021) *Μελέτη και πρόβλεψη της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά της Ευρώπης*. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Available at: https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/973/ele_44530.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ

Πίνακας Ι Εκπομπές CO₂ για κάθε κατηγορία από το 1990 έως το 2004.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Βενζίνη	Pre-Euro	4.973.891	5.075.425	4.803.826	4.604.056	4.448.634	4.296.938	4.247.064	4.018.890	3.769.979	3.377.492	2.988.817	2.653.709	2.374.782	2.126.939	1.842.105
Βενζίνη	Euro 1	13.702	15.979	525.189	882.303	1.145.660	1.545.350	2.060.575	2.101.185	2.137.660	2.040.483	1.926.989	1.864.915	1.816.034	1.775.434	1.681.515
Βενζίνη	Euro 2								488.435	1.046.485	1.784.470	2.342.915	2.634.533	2.623.332	2.637.277	2.579.214
Βενζίνη	Euro 3											192.475	654.697	1.419.552	2.172.503	2.952.401
Βενζίνη	Euro 4															
Βενζίνη	Euro 5															
Βενζίνη	Euro 6															
Πετρέλαιο	Pre-Euro	448.998	492.548	495.027	453.128	437.889	417.540	379.338	337.856	323.531	307.317	285.539	262.678	250.717	241.208	183.512
Πετρέλαιο	Euro 1						28.052	72.245	107.683	128.993	134.451	125.217	109.271	101.172	99.834	78.159
Πετρέλαιο	Euro 2								30	17.384	33.075	57.621	72.863	68.169	68.189	54.063
Πετρέλαιο	Euro 3												6.331	27.712	63.226	110.238
Πετρέλαιο	Euro 4															
Πετρέλαιο	Euro 5															
Πετρέλαιο	Euro 6															
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	92.400	113.960	129.360	138.247	110.506	102.139	84.094	59.243	51.083	33.641	21.631	19.314	15.198	10.213	7.843
Διπλού καυσίμου	Euro 1				353	12.692	21.058	26.782	26.778	24.782	17.317	11.733	11.339	9.664	7.061	5.918
Διπλού καυσίμου	Euro 2								217	7.291	10.639	12.833	17.844	15.498	11.577	9.969
Διπλού καυσίμου	Euro 3											1	781	5.837	8.106	10.147
Διπλού καυσίμου	Euro 4															
Διπλού καυσίμου	Euro 5															
Διπλού καυσίμου	Euro 6															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4											116	265	463	733	1.070
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6															
PHEV	Euro 5															
PHEV	Euro 6															
BEV	Euro 5															
BEV	Euro 6															
Συνολική Ρύπανση (Τόνοι)		5.528.991	5.697.912	5.953.402	6.078.087	6.155.380	6.411.077	6.870.099	7.140.316	7.507.188	7.738.884	7.965.886	8.308.539	8.728.130	9.222.301	9.516.155

Πίνακας II Εκπομπές CO₂ για κάθε κατηγορία από το 2005 έως το 2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Βενζίνη	Pre-Euro	1.582.371	1.305.020	1.103.644	850.008	683.628	462.523	309.801	186.391	113.597	66.863	50.695	34.342	23.966	17.018
Βενζίνη	Euro 1	1.615.458	1.492.686	1.394.672	1.198.655	1.083.151	844.265	664.788	489.666	370.557	278.308	251.689	194.475	149.777	117.397
Βενζίνη	Euro 2	2.598.771	2.555.367	2.530.585	2.327.143	2.258.772	1.910.565	1.650.184	1.352.574	1.153.165	1.004.034	1.003.223	890.746	776.723	697.355
Βενζίνη	Euro 3	3.768.103	4.173.758	4.646.253	4.769.938	5.112.042	4.550.696	4.158.421	3.635.302	3.321.286	3.145.211	3.091.999	3.006.717	2.893.525	2.897.971
Βενζίνη	Euro 4		332.179	692.137	982.989	1.286.560	1.336.970	1.347.015	1.244.551	1.204.167	1.223.722	1.108.700	1.145.028	1.153.303	1.214.196
Βενζίνη	Euro 5						163.119	257.265	274.132	299.760	350.122	315.044	353.602	364.061	392.889
Βενζίνη	Euro 6											32.242	111.937	225.324	365.678
Πετρέλαιο	Pre-Euro	153.923	131.210	112.256	81.171	90.953	66.595	50.989	33.533	9.295	6.438	8.877	5.958	3.539	2.468
Πετρέλαιο	Euro 1	84.566	91.577	89.409	70.686	81.736	66.978	55.474	44.759	17.322	15.532	28.155	22.383	15.487	12.637
Πετρέλαιο	Euro 2	62.826	75.978	83.163	74.543	90.522	82.787	73.674	62.323	27.235	29.192	53.227	46.456	34.313	30.320
Πετρέλαιο	Euro 3	141.626	177.732	213.310	212.323	266.287	254.587	224.041	202.150	97.983	113.045	199.431	188.823	152.617	147.863
Πετρέλαιο	Euro 4		14.592	35.411	50.641	75.478	85.378	93.696	124.304	88.581	156.583	226.104	236.866	203.973	212.884
Πετρέλαιο	Euro 5						11.865	28.696	67.834	66.114	145.417	281.870	297.643	260.196	276.535
Πετρέλαιο	Euro 6											116.615	325.284	460.701	673.517
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	6.339	5.094	4.494	3.542	3.878	7.157	22.538	4.330	10.257	6.413	5.590	3.706	2.418	815
Διπλού καυσίμου	Euro 1	5.341	4.798	4.666	4.096	5.031	10.739	39.930	9.605	30.001	25.759	28.659	23.028	17.459	6.958
Διπλού καυσίμου	Euro 2	9.321	8.788	8.980	8.350	10.921	24.891	100.015	26.263	91.195	89.386	107.959	98.377	83.619	37.732
Διπλού καυσίμου	Euro 3	12.876	14.599	16.577	17.174	25.098	63.140	269.576	75.524	281.906	299.499	359.824	359.695	338.594	171.178
Διπλού καυσίμου	Euro 4	1	600	2.241	3.796	7.430	22.908	106.189	31.892	127.805	145.986	164.969	172.805	170.488	91.031
Διπλού καυσίμου	Euro 5						533	13.062	6.393	32.246	44.622	52.587	63.433	64.146	35.446
Διπλού καυσίμου	Euro 6											470	12.833	13.481	9.657
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	1.527	2.080	2.889	3.711	5.143	4.419	4.063	3.390	2.989	2.716	2.718	2.651	2.507	2.535
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5						1.725	3.009	3.176	3.422	3.859	4.082	4.154	4.229	4.753
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6											1.297	3.773	7.701	14.658
PHEV	Euro 5								1	2	24	25	26	26	11
PHEV	Euro 6											42	125	293	611
BEV	Euro 5								0	0	0	0	0	0	0
BEV	Euro 6											0	0	0	0
Συνολική Ρύπανση (Τόνοι)		10.043.047	10.386.057	10.940.687	10.658.765	11.086.632	9.971.840	9.472.425	7.878.093	7.348.887	7.152.732	7.496.096	7.604.865	7.422.465	7.434.115

Πίνακας III Πρόβλεψη Εκπομπών CO₂ για κάθε κατηγορία από το 2019 έως το 2030.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Pre-Euro	11.639	7.793	5.067	3.158	1.839	944	586	363	225	140	87	54
Βενζίνη	Euro 1	92.875	73.416	57.992	45.774	36.101	28.448	22.397	17.616	13.842	10.864	8.517	6.669
Βενζίνη	Euro 2	595.489	508.242	433.545	369.619	314.933	268.172	228.205	194.061	164.907	140.025	118.802	100.709
Βενζίνη	Euro 3	2.660.146	2.441.162	2.239.564	2.054.008	1.883.248	1.726.138	1.581.614	1.448.697	1.326.480	1.214.127	1.110.866	1.015.983
Βενζίνη	Euro 4	1.155.238	1.098.866	1.045.113	993.859	944.993	898.407	853.998	811.669	771.324	732.875	696.236	661.324
Βενζίνη	Euro 5	387.567	381.042	374.624	368.310	362.099	355.989	349.980	344.068	338.253	332.533	326.906	321.372
Βενζίνη	Euro 6	479.753	594.702	710.531	822.870	931.660	1.036.839	1.138.346	1.235.215	1.327.370	1.414.732	1.497.223	1.574.763
Πετρέλαιο	Pre-Euro	1.708	1.161	772	496	304	172	111	71	46	29	19	12
Πετρέλαιο	Euro 1	9.829	7.634	5.917	4.575	3.529	2.715	2.083	1.592	1.212	919	693	520
Πετρέλαιο	Euro 2	25.782	21.907	18.599	15.779	13.374	11.326	9.582	8.098	6.836	5.764	4.854	4.082
Πετρέλαιο	Euro 3	134.007	121.333	109.755	99.183	89.533	80.730	72.704	65.389	58.728	52.665	47.149	42.136
Πετρέλαιο	Euro 4	201.978	191.441	181.413	171.871	162.793	154.156	145.942	138.129	130.700	123.636	116.921	110.537
Πετρέλαιο	Euro 5	269.275	262.195	255.290	248.556	241.989	235.585	229.340	223.251	217.313	211.523	205.878	200.373
Πετρέλαιο	Euro 6	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520	848.520
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	619	468	354	268	202	152	114	86	64	48	36	27
Διπλού καυσίμου	Euro 1	6.022	5.151	4.394	3.740	3.176	2.692	2.278	1.924	1.623	1.367	1.149	966
Διπλού καυσίμου	Euro 2	35.877	33.426	31.019	28.686	26.446	24.313	22.296	20.399	18.625	16.973	15.441	14.024
Διπλού καυσίμου	Euro 3	173.078	172.123	170.522	168.367	165.739	162.711	159.348	155.707	151.842	147.799	143.618	139.336
Διπλού καυσίμου	Euro 4	93.747	95.689	97.347	98.740	99.886	100.802	101.503	102.005	102.321	102.466	102.451	102.289
Διπλού καυσίμου	Euro 5	37.228	38.863	40.418	41.896	43.299	44.629	45.889	47.081	48.207	49.270	50.272	51.213
Διπλού καυσίμου	Euro 6	11.740	13.911	16.114	17.662	19.074	20.345	21.472	22.245	22.732	23.011	23.078	23.421
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	2.332	2.142	1.962	1.793	1.634	1.484	1.344	1.212	1.088	972	863	761
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	4.705	4.662	4.620	4.577	4.534	4.492	4.449	4.405	4.362	4.319	4.276	4.233
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	20.837	87.142	153.956	218.756	281.509	342.179	400.731	456.607	509.764	560.157	607.740	652.468
PHEV	Euro 5	11	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9
PHEV	Euro 6	934	8.595	17.643	28.261	40.150	53.484	67.971	82.914	98.024	113.033	127.520	140.523
BEV	Euro 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BEV	Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		7.260.937	7.021.596	6.825.062	6.659.335	6.520.575	6.405.433	6.310.808	6.231.334	6.164.417	6.107.776	6.059.123	6.016.324

Πίνακας IV Εκπομπές CO για κάθε κατηγορία από το 1990 έως το 2004.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Βενζίνη	Pre-Euro	530.995,2	523.659,8	487.609,0	459.796,9	435.418,6	412.885,9	400.912,9	372.926,2	344.274,4	304.623,1	266.371,3	232.999,2	205.377,7	181.395,8	154.879,9
Βενζίνη	Euro 1	158,5	184,9	11.027,4	18.653,4	24.200,3	32.611,5	43.425,6	44.014,3	44.495,6	42.466,5	39.794,4	38.350,0	37.305,6	36.474,3	34.513,3
Βενζίνη	Euro 2								5.543,0	11.848,3	20.189,7	26.441,4	29.658,2	29.527,6	29.682,0	29.026,9
Βενζίνη	Euro 3											1.769,8	6.009,4	13.040,7	19.961,4	27.128,9
Βενζίνη	Euro 4															
Βενζίνη	Euro 5															
Βενζίνη	Euro 6															
Πετρέλαιο	Pre-Euro	1.747,2	1.916,7	1.926,3	1.763,3	1.704,0	1.624,8	1.476,1	1.314,7	1.259,0	1.195,9	1.037,7	954,6	911,2	876,6	666,9
Πετρέλαιο	Euro 1						77,6	199,4	296,6	354,1	370,2	321,7	280,8	260,2	256,8	201,1
Πετρέλαιο	Euro 2								0,0	36,5	69,6	113,2	143,3	134,1	134,1	106,3
Πετρέλαιο	Euro 3												4,3	18,7	42,7	74,4
Πετρέλαιο	Euro 4															
Πετρέλαιο	Euro 5															
Πετρέλαιο	Euro 6															
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	3.177,0	3.918,3	4.447,8	4.753,4	3.799,6	3.511,9	2.891,5	2.037,0	1.756,4	1.156,7	743,7	664,1	522,6	351,2	269,7
Διπλού καυσίμου	Euro 1				6,6	238,3	395,3	502,8	502,7	465,2	325,0	220,2	212,8	181,4	132,5	111,1
Διπλού καυσίμου	Euro 2								2,8	95,3	139,1	167,8	233,3	202,6	151,3	130,3
Διπλού καυσίμου	Euro 3											0,0	7,5	55,9	77,7	97,2
Διπλού καυσίμου	Euro 4															
Διπλού καυσίμου	Euro 5															
Διπλού καυσίμου	Euro 6															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4												0,8	1,4	2,3	3,3
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6															
PHEV	Euro 5															
PHEV	Euro 6															
BEV	Euro 5															
BEV	Euro 6															
Συνολική Ρύπανση (Τόνοι)		536.078,0	529.679,7	505.010,6	484.973,7	465.360,8	451.107,0	449.408,2	426.637,4	404.584,8	370.535,8	336.981,7	309.518,2	287.539,7	269.538,6	247.209,3

Πίνακας V Εκπομπές CO για κάθε κατηγορία από το 2005 έως το 2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Βενζίνη	Pre-Euro	124.994,4	101.992,9	85.509,0	65.282,1	51.573,6	34.449,9	22.866,1	13.696,5	8.239,0	4.804,7	3.638,9	2.463,4	1.719,6	1.224,1
Βενζίνη	Euro 1	31.386,7	28.908,6	26.967,9	23.131,1	20.540,3	15.875,7	12.407,6	9.133,7	6.849,2	5.117,2	4.636,6	3.580,6	2.753,4	2.162,4
Βενζίνη	Euro 2	27.618,1	26.933,1	26.560,1	24.327,2	23.295,2	19.454,2	16.718,5	13.693,0	11.652,0	10.120,9	10.107,7	8.971,6	7.818,1	7.035,2
Βενζίνη	Euro 3	33.509,4	36.878,1	40.947,1	41.895,9	44.860,7	39.275,5	35.783,3	31.208,6	28.480,3	26.849,0	26.412,9	25.667,9	24.687,1	24.788,5
Βενζίνη	Euro 4		937,5	1.949,8	2.762,1	3.616,6	3.705,0	3.728,0	3.434,8	3.309,1	3.332,8	3.027,3	3.116,8	3.136,0	3.308,8
Βενζίνη	Euro 5						483,0	762,1	808,7	872,5	1.001,1	903,6	1.006,0	1.034,2	1.118,2
Βενζίνη	Euro 6											88,6	305,6	601,7	970,8
Πετρέλαιο	Pre-Euro	563,9	480,3	410,6	297,0	332,8	243,1	186,1	122,3	33,9	23,5	32,4	21,7	12,9	9,0
Πετρέλαιο	Euro 1	218,0	234,3	227,9	179,7	206,8	168,3	138,8	111,8	42,5	38,3	69,3	55,0	38,0	31,0
Πετρέλαιο	Euro 2	123,5	147,3	159,6	141,9	171,1	154,7	136,7	115,4	49,2	52,5	95,6	83,4	61,5	54,3
Πετρέλαιο	Euro 3	95,9	119,4	142,6	141,2	176,9	167,0	146,5	131,4	62,5	71,7	126,6	119,7	96,7	93,6
Πετρέλαιο	Euro 4		10,1	24,5	35,0	52,1	58,5	64,2	85,0	59,8	103,2	146,7	152,0	130,8	136,2
Πετρέλαιο	Euro 5						3,5	8,5	20,1	19,3	41,1	79,3	82,2	71,9	76,3
Πετρέλαιο	Euro 6											39,7	109,6	153,0	222,2
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	218,0	175,1	154,5	121,8	133,3	244,9	771,1	148,2	351,0	219,4	191,2	126,8	82,7	27,9
Διπλού καυσίμου	Euro 1	100,3	90,0	87,6	76,9	94,4	200,2	744,5	179,1	559,3	480,2	534,3	429,3	325,5	129,7
Διπλού καυσίμου	Euro 2	121,8	114,9	117,4	109,1	142,7	323,1	1.298,1	340,9	1.183,7	1.160,2	1.401,2	1.276,9	1.085,3	489,7
Διπλού καυσίμου	Euro 3	123,4	139,9	158,8	164,5	240,5	598,4	2.554,7	715,7	2.671,6	2.838,3	3.410,0	3.408,8	3.208,8	1.622,2
Διπλού καυσίμου	Euro 4	0,0	1,9	7,0	11,8	23,1	70,5	326,6	98,1	393,0	448,9	507,3	531,3	524,2	279,9
Διπλού καυσίμου	Euro 5						1,6	40,2	19,7	99,1	137,2	161,6	195,0	197,2	108,9
Διπλού καυσίμου	Euro 6											1,4	39,4	41,4	29,4
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	4,8	6,5	9,0	11,6	16,1	13,6	12,5	10,5	9,2	8,4	8,4	8,2	7,7	7,9
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5						5,3	9,3	9,8	10,4	11,5	12,0	12,2	12,5	14,1
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6											3,5	10,3	21,3	41,1
PHEV	Euro 5								0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
PHEV	Euro 6											0,3	0,9	2,2	4,5
BEV	Euro 5								0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BEV	Euro 6											0,0	0,0	0,0	0,0
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		219.078,3	197.170,0	183.433,2	158.688,9	145.476,3	115.496,1	98.703,5	74.083,0	64.946,5	56.860,0	55.636,6	51.774,9	47.824,0	43.985,8

Πίνακας VI Πρόβλεψη εκπομπών CO για κάθε κατηγορία από το 2019 έως το 2030.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Pre-Euro	837,2	560,5	364,5	227,2	132,3	67,9	42,1	26,1	16,2	10,1	6,2	3,9
Βενζίνη	Euro 1	1.710,8	1.352,3	1.068,2	843,2	665,0	524,0	412,6	324,5	255,0	200,1	156,9	122,8
Βενζίνη	Euro 2	6.007,5	5.127,3	4.373,8	3.728,9	3.177,2	2.705,4	2.302,2	1.957,8	1.663,6	1.412,6	1.198,5	1.016,0
Βενζίνη	Euro 3	22.754,2	20.881,0	19.156,6	17.569,4	16.108,8	14.764,9	13.528,7	12.391,8	11.346,4	10.385,3	9.502,1	8.690,4
Βενζίνη	Euro 4	3.148,1	2.994,5	2.848,0	2.708,3	2.575,2	2.448,2	2.327,2	2.211,8	2.101,9	1.997,1	1.897,3	1.802,1
Βενζίνη	Euro 5	1.103,0	1.084,5	1.066,2	1.048,2	1.030,5	1.013,2	996,1	979,2	962,7	946,4	930,4	914,6
Βενζίνη	Euro 6	1.281,1	1.596,1	1.915,8	2.240,4	2.569,8	2.904,1	3.243,4	3.587,7	3.937,1	4.291,6	4.651,4	5.016,4
Πετρέλαιο	Pre-Euro	6,2	4,2	2,8	1,8	1,1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0
Πετρέλαιο	Euro 1	24,1	18,7	14,5	11,2	8,7	6,7	5,1	3,9	3,0	2,3	1,7	1,3
Πετρέλαιο	Euro 2	46,1	39,2	33,3	28,2	23,9	20,3	17,1	14,5	12,2	10,3	8,7	7,3
Πετρέλαιο	Euro 3	84,8	76,8	69,5	62,8	56,7	51,1	46,0	41,4	37,2	33,3	29,8	26,7
Πετρέλαιο	Euro 4	129,2	122,5	116,1	109,9	104,1	98,6	93,4	88,4	83,6	79,1	74,8	70,7
Πετρέλαιο	Euro 5	74,3	72,4	70,5	68,6	66,8	65,0	63,3	61,6	60,0	58,4	56,8	55,3
Πετρέλαιο	Euro 6	281,7	283,8	286,0	288,2	290,4	292,6	294,9	297,1	299,4	301,7	304,0	306,3
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	21,2	16,0	12,1	9,2	6,9	5,2	3,9	2,9	2,2	1,6	1,2	0,9
Διπλού καυσίμου	Euro 1	112,3	96,0	81,9	69,7	59,2	50,2	42,5	35,9	30,3	25,5	21,4	18,0
Διπλού καυσίμου	Euro 2	465,7	433,8	402,6	372,3	343,3	315,6	289,4	264,8	241,7	220,3	200,4	182,0
Διπλού καυσίμου	Euro 3	1.640,2	1.631,2	1.616,0	1.595,6	1.570,7	1.542,0	1.510,1	1.475,6	1.439,0	1.400,7	1.361,0	1.320,5
Διπλού καυσίμου	Euro 4	288,2	294,2	299,3	303,6	307,1	309,9	312,1	313,6	314,6	315,0	315,0	314,5
Διπλού καυσίμου	Euro 5	114,4	119,4	124,2	128,7	133,1	137,1	141,0	144,7	148,1	151,4	154,5	157,4
Διπλού καυσίμου	Euro 6	35,8	42,4	49,1	55,9	62,9	69,9	77,0	84,2	91,6	99,0	106,6	114,2
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	7,2	6,6	6,1	5,6	5,1	4,6	4,2	3,8	3,4	3,0	2,7	2,4
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	13,9	13,8	13,7	13,6	13,4	13,3	13,2	13,1	12,9	12,8	12,7	12,5
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	58,7	244,9	433,9	625,8	820,7	1.018,5	1.219,3	1.423,0	1.629,9	1.839,8	2.052,8	2.269,0
PHEV	Euro 5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PHEV	Euro 6	6,9	63,2	130,1	212,1	308,0	420,7	549,0	689,5	840,7	1.001,2	1.167,6	1.329,3
BEV	Euro 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BEV	Euro 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		40.252,9	37.175,5	34.554,8	32.328,4	30.440,7	28.849,6	27.534,0	26.437,2	25.532,8	24.798,9	24.214,7	23.754,8

Πίνακας VII Εκπομπές NO_x για κάθε κατηγορία από το 1990 έως το 2004.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Βενζίνη	Pre-Euro	43.557,2	44.970,0	42.759,1	41.217,0	40.096,1	38.962,0	38.728,3	36.843,6	34.729,7	31.201,4	27.227,4	24.260,9	21.779,8	19.565,7	16.993,1
Βενζίνη	Euro 1	18,0	21,0	1.094,1	1.848,5	2.398,6	3.232,8	4.305,8	4.368,8	4.421,5	4.219,9	3.887,8	3.749,5	3.648,1	3.566,7	3.375,5
Βενζίνη	Euro 2								603,6	1.290,9	2.200,0	2.830,5	3.176,7	3.162,8	3.179,3	3.109,2
Βενζίνη	Euro 3											95,9	325,6	706,5	1.081,4	1.469,7
Βενζίνη	Euro 4															
Βενζίνη	Euro 5															
Βενζίνη	Euro 6															
Πετρέλαιο	Pre-Euro	1.361,9	1.488,6	1.490,7	1.352,6	1.302,3	1.246,9	1.142,5	1.027,4	997,1	919,2	862,5	794,0	751,8	719,4	548,5
Πετρέλαιο	Euro 1						112,7	289,8	431,1	514,6	538,0	506,1	441,7	409,2	403,9	316,2
Πετρέλαιο	Euro 2								0,1	69,5	132,6	233,4	295,3	276,4	276,5	219,2
Πετρέλαιο	Euro 3										0,0	0,0	28,2	123,5	281,8	491,2
Πετρέλαιο	Euro 4															
Πετρέλαιο	Euro 5															
Πετρέλαιο	Euro 6															
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	1.177,4	1.452,2	1.648,4	1.761,7	1.408,2	1.301,6	1.071,6	754,9	651,0	428,7	275,6	246,1	193,7	130,1	99,9
Διπλού καυσίμου	Euro 1				0,9	31,6	52,5	66,7	66,7	61,7	43,1	29,2	28,2	24,1	17,6	14,7
Διπλού καυσίμου	Euro 2								0,2	7,8	11,3	13,7	19,0	16,5	12,3	10,6
Διπλού καυσίμου	Euro 3											0,0	0,4	3,2	4,5	5,6
Διπλού καυσίμου	Euro 4															
Διπλού καυσίμου	Euro 5															
Διπλού καυσίμου	Euro 6															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4											0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6															
PHEV	Euro 5															
PHEV	Euro 6															
BEV	Euro 5															
BEV	Euro 6															
Συνολική Ρύπανση (Τόνοι)		46.114,5	47.931,7	46.992,3	46.180,7	45.236,8	44.908,3	45.604,8	44.096,4	42.743,8	39.694,4	35.962,1	33.365,9	31.095,6	29.239,4	26.653,7

Πίνακας VIII Εκπομπές NO_x για κάθε κατηγορία από το 2005 έως το 2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Βενζίνη	Pre-Euro	13.861,9	11.468,3	9.722,2	7.507,3	6.006,4	4.076,8	2.738,8	1.651,7	1.009,9	595,5	451,7	306,1	213,8	152,4
Βενζίνη	Euro 1	3.056,5	2.816,8	2.628,5	2.255,3	2.008,5	1.564,4	1.224,4	901,4	677,1	506,3	458,6	354,2	272,5	214,0
Βενζίνη	Euro 2	2.947,8	2.880,1	2.842,9	2.606,3	2.501,6	2.111,9	1.817,0	1.488,5	1.267,1	1.101,2	1.099,8	976,3	850,9	765,8
Βενζίνη	Euro 3	1.801,8	1.986,0	2.206,5	2.259,4	2.419,6	2.144,2	1.955,0	1.706,0	1.557,3	1.469,7	1.445,7	1.405,1	1.351,6	1.357,3
Βενζίνη	Euro 4		109,2	227,3	322,1	421,7	436,7	439,6	405,3	390,8	394,4	358,0	368,9	371,2	391,7
Βενζίνη	Euro 5						33,8	53,3	56,6	61,2	70,5	63,6	70,9	72,9	78,8
Βενζίνη	Euro 6											7,1	24,5	50,0	81,7
Πετρέλαιο	Pre-Euro	462,4	396,0	339,8	247,2	281,0	206,6	160,7	107,3	31,3	21,4	29,5	19,8	11,7	8,2
Πετρέλαιο	Euro 1	340,4	365,8	355,8	280,5	322,8	263,3	217,1	174,8	66,5	59,8	108,3	86,0	59,5	48,5
Πετρέλαιο	Euro 2	252,7	301,3	326,6	290,3	350,0	317,2	280,3	236,5	100,8	107,7	196,1	170,9	126,1	111,2
Πετρέλαιο	Euro 3	629,0	782,7	934,6	925,8	1.159,6	1.097,2	962,4	863,0	410,2	471,0	831,3	786,2	635,3	614,7
Πετρέλαιο	Euro 4		49,3	119,4	170,4	254,0	285,5	313,3	415,2	292,0	503,8	716,3	742,3	638,6	665,1
Πετρέλαιο	Euro 5						42,7	103,4	243,9	234,4	499,1	963,9	1.000,0	873,9	927,9
Πετρέλαιο	Euro 6											344,9	953,2	1.215,2	1.688,3
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	80,8	64,9	57,3	45,1	49,4	91,3	287,4	55,2	130,8	81,8	71,3	47,3	30,8	10,4
Διπλού καυσίμου	Euro 1	13,3	11,9	11,6	10,2	12,5	26,8	99,5	23,9	74,7	64,2	71,4	57,4	43,5	17,3
Διπλού καυσίμου	Euro 2	9,9	9,4	9,6	8,9	11,6	26,5	106,6	28,0	97,2	95,3	115,1	104,9	89,1	40,2
Διπλού καυσίμου	Euro 3	7,1	8,1	9,1	9,5	13,8	34,8	148,8	41,7	155,6	165,3	198,6	198,5	186,9	94,5
Διπλού καυσίμου	Euro 4	0,0	0,2	0,9	1,5	2,8	8,8	40,6	12,2	48,9	55,8	63,1	66,1	65,2	34,8
Διπλού καυσίμου	Euro 5						0,2	4,0	2,0	9,8	13,6	16,0	19,4	19,6	10,8
Διπλού καυσίμου	Euro 6											0,1	3,9	4,1	2,9
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5						0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6											0,5	1,5	2,4	3,7
PHEV	Euro 5								0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PHEV	Euro 6											0,0	0,0	0,1	0,2
BEV	Euro 5								0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BEV	Euro 6											0,0	0,0	0,0	0,0
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		23.464,0	21.250,6	19.792,5	16.940,5	15.816,5	12.769,8	10.953,4	8.414,2	6.617,1	6.278,0	7.612,9	7.765,0	7.186,7	7.322,5

Πίνακας ΙΧ Πρόβλεψη εκπομπών NO_x για κάθε κατηγορία από το 2019 έως το 2030.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Pre-Euro	104,2	69,8	45,4	28,3	16,5	8,4	5,2	3,3	2,0	1,3	0,8	0,5
Βενζίνη	Euro 1	169,3	133,8	105,7	83,4	65,8	51,9	40,8	32,1	25,2	19,8	15,5	12,2
Βενζίνη	Euro 2	653,9	558,1	476,1	405,9	345,8	294,5	250,6	213,1	181,1	153,8	130,5	110,6
Βενζίνη	Euro 3	1.245,9	1.143,4	1.048,9	962,0	882,1	808,5	740,8	678,5	621,3	568,7	520,3	475,9
Βενζίνη	Euro 4	372,7	354,5	337,2	320,7	304,9	289,9	275,5	261,9	248,9	236,5	224,6	213,4
Βενζίνη	Euro 5	77,8	76,5	75,2	73,9	72,7	71,4	70,2	69,0	67,9	66,7	65,6	64,5
Βενζίνη	Euro 6	107,8	134,3	161,2	188,5	216,3	244,4	272,9	301,9	331,3	361,2	391,4	422,2
Πετρέλαιο	Pre-Euro	5,7	3,9	2,6	1,7	1,0	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
Πετρέλαιο	Euro 1	37,7	29,3	22,7	17,6	13,5	10,4	8,0	6,1	4,6	3,5	2,7	2,0
Πετρέλαιο	Euro 2	94,6	80,4	68,2	57,9	49,1	41,6	35,2	29,7	25,1	21,1	17,8	15,0
Πετρέλαιο	Euro 3	557,1	504,4	456,3	412,3	372,2	335,6	302,2	271,8	244,1	218,9	196,0	175,2
Πετρέλαιο	Euro 4	631,0	598,1	566,8	537,0	508,6	481,6	456,0	431,6	408,3	386,3	365,3	345,4
Πετρέλαιο	Euro 5	903,5	879,7	856,6	834,0	812,0	790,5	769,5	749,1	729,2	709,7	690,8	672,3
Πετρέλαιο	Euro 6	2.139,9	2.156,3	2.172,8	2.189,5	2.206,2	2.223,1	2.240,2	2.257,3	2.274,6	2.292,1	2.309,6	2.327,3
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	7,9	6,0	4,5	3,4	2,6	1,9	1,5	1,1	0,8	0,6	0,5	0,3
Διπλού καυσίμου	Euro 1	15,0	12,8	10,9	9,3	7,9	6,7	5,7	4,8	4,0	3,4	2,9	2,4
Διπλού καυσίμου	Euro 2	38,2	35,6	33,1	30,6	28,2	25,9	23,8	21,7	19,9	18,1	16,5	14,9
Διπλού καυσίμου	Euro 3	95,5	95,0	94,1	92,9	91,5	89,8	87,9	85,9	83,8	81,6	79,3	76,9
Διπλού καυσίμου	Euro 4	35,8	36,6	37,2	37,7	38,2	38,5	38,8	39,0	39,1	39,2	39,2	39,1
Διπλού καυσίμου	Euro 5	11,4	11,9	12,3	12,8	13,2	13,6	14,0	14,4	14,7	15,0	15,3	15,6
Διπλού καυσίμου	Euro 6	3,6	4,2	4,9	5,6	6,2	6,9	7,6	8,4	9,1	9,8	10,6	11,3
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	5,3	22,3	39,4	56,9	74,6	92,6	110,8	129,3	148,1	167,2	186,6	206,2
PHEV	Euro 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PHEV	Euro 6	0,4	3,3	6,8	11,2	16,2	22,1	28,9	36,3	44,2	52,6	61,4	69,9
BEV	Euro 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BEV	Euro 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		7.316,1	6.951,9	6.640,7	6.374,6	6.146,8	5.952,1	5.788,1	5.648,1	5.529,1	5.428,6	5.344,5	5.274,4

Πίνακας Χ Εκπομπές PM₁₀ για κάθε κατηγορία από το 1990 έως το 2004.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Βενζίνη	Pre-Euro	608,9	630,1	597,4	576,0	559,7	542,6	538,2	510,9	480,7	431,4	382,1	339,1	303,6	272,4	235,8
Βενζίνη	Euro 1	1,3	1,5	75,1	126,8	164,5	221,6	295,2	299,6	303,2	289,4	271,4	261,8	254,7	249,0	235,7
Βενζίνη	Euro 2								70,1	149,9	255,5	334,6	375,6	373,9	375,9	367,6
Βενζίνη	Euro 3											25,9	88,1	191,2	292,7	397,7
Βενζίνη	Euro 4															
Βενζίνη	Euro 5															
Βενζίνη	Euro 6															
Πετρέλαιο	Pre-Euro	591,6	649,0	652,3	597,1	577,0	550,2	499,8	445,2	426,3	404,9	363,9	334,7	319,5	307,4	233,8
Πετρέλαιο	Euro 1						15,9	40,9	60,9	72,6	75,9	68,7	60,0	55,6	54,9	43,0
Πετρέλαιο	Euro 2								0,0	7,5	14,3	24,2	30,6	28,6	28,7	22,7
Πετρέλαιο	Euro 3												2,2	9,6	22,0	38,3
Πετρέλαιο	Euro 4															
Πετρέλαιο	Euro 5															
Πετρέλαιο	Euro 6															
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	14,4	17,8	20,2	21,6	17,3	16,0	13,1	9,3	8,0	5,3	3,4	3,0	2,4	1,6	1,2
Διπλού καυσίμου	Euro 1				0,1	2,0	3,3	4,2	4,2	3,9	2,7	1,8	1,8	1,5	1,1	0,9
Διπλού καυσίμου	Euro 2								0,0	1,1	1,7	2,0	2,8	2,4	1,8	1,6
Διπλού καυσίμου	Euro 3											0,0	0,1	0,9	1,2	1,5
Διπλού καυσίμου	Euro 4															
Διπλού καυσίμου	Euro 5															
Διπλού καυσίμου	Euro 6															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4											0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6															
PHEV	Euro 5															
PHEV	Euro 6															
BEV	Euro 5															
BEV	Euro 6															
Συνολική Ρύπανση (Τόνοι)		1.216,3	1.298,5	1.345,0	1.321,5	1.320,4	1.349,6	1.391,5	1.400,1	1.453,3	1.481,1	1.478,2	1.499,9	1.544,1	1.608,7	1.580,1

Πίνακας XI Εκπομπές PM₁₀ για κάθε κατηγορία από το 2005 έως το 2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Βενζίνη	Pre-Euro	202,9	167,8	142,0	109,4	87,8	59,5	39,7	23,9	14,4	8,4	6,4	4,3	3,0	2,1
Βενζίνη	Euro 1	225,5	207,9	194,0	166,4	149,4	116,4	91,1	67,1	50,4	37,7	34,2	26,4	20,3	15,9
Βενζίνη	Euro 2	368,3	359,9	355,2	325,7	315,1	266,2	229,0	187,6	159,7	138,9	138,7	123,2	107,3	96,6
Βενζίνη	Euro 3	505,6	557,4	619,3	634,1	679,3	602,4	549,2	479,3	437,5	413,0	406,2	394,9	379,9	381,5
Βενζίνη	Euro 4		42,7	88,8	125,8	164,7	170,7	171,8	158,4	152,7	154,2	140,0	144,2	145,1	153,2
Βενζίνη	Euro 5						21,3	33,6	35,7	38,6	44,5	40,2	44,8	46,1	49,8
Βενζίνη	Euro 6											4,1	14,3	28,2	45,7
Πετρέλαιο	Pre-Euro	182,9	155,8	133,2	96,3	107,3	78,1	59,8	39,3	10,9	7,5	10,4	7,0	4,1	2,9
Πετρέλαιο	Euro 1	43,6	46,9	45,6	35,9	41,2	33,5	27,6	22,2	8,5	7,6	13,8	10,9	7,6	6,2
Πετρέλαιο	Euro 2	24,8	29,6	32,1	28,5	34,2	30,9	27,3	23,1	9,8	10,5	19,1	16,7	12,3	10,8
Πετρέλαιο	Euro 3	48,1	59,9	71,5	70,8	88,7	83,7	73,4	65,9	31,3	35,9	63,4	60,0	48,5	46,9
Πετρέλαιο	Euro 4		4,7	11,5	16,4	24,4	27,4	30,1	39,9	28,0	48,4	68,7	71,2	61,3	63,8
Πετρέλαιο	Euro 5						1,8	4,4	10,4	10,0	21,2	41,0	42,5	37,2	39,4
Πετρέλαιο	Euro 6											17,3	47,8	66,7	96,9
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	1,1	3,5	0,7	1,6	1,0	0,9	0,6	0,4	0,1
Διπλού καυσίμου	Euro 1	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	1,7	6,3	1,5	4,7	4,0	4,5	3,6	2,7	1,1
Διπλού καυσίμου	Euro 2	1,5	1,4	1,4	1,3	1,7	3,9	15,7	4,1	14,3	14,0	17,0	15,5	13,1	5,9
Διπλού καυσίμου	Euro 3	1,9	2,2	2,5	2,6	3,7	9,4	40,2	11,3	42,1	44,7	53,7	53,7	50,5	25,5
Διπλού καυσίμου	Euro 4	0,0	0,1	0,3	0,6	1,1	3,4	15,8	4,8	19,1	21,8	24,6	25,8	25,4	13,6
Διπλού καυσίμου	Euro 5						0,1	1,9	1,0	4,8	6,7	7,8	9,5	9,6	5,3
Διπλού καυσίμου	Euro 6											0,1	1,9	2,0	1,4
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	0,3	0,4	0,6	0,7	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5						0,3	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6											0,3	0,7	1,5	2,9
PHEV	Euro 5								0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PHEV	Euro 6											0,0	0,0	0,1	0,1
BEV	Euro 5								0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BEV	Euro 6											0,0	0,0	0,0	0,0
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		1.607,3	1.638,0	1.699,2	1.615,8	1.701,2	1.512,7	1.422,1	1.177,2	1.039,8	1.021,4	1.113,7	1.120,7	1.074,3	1.069,3

Πίνακας XII Πρόβλεψη εκπομπών PM₁₀ για κάθε κατηγορία από το 2019 έως το 2030.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Pre-Euro	1,5	1,0	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Βενζίνη	Euro 1	12,6	10,0	7,9	6,2	4,9	3,9	3,0	2,4	1,9	1,5	1,2	0,9
Βενζίνη	Euro 2	82,5	70,4	60,0	51,2	43,6	37,1	31,6	26,9	22,8	19,4	16,5	13,9
Βενζίνη	Euro 3	350,2	321,3	294,8	270,4	247,9	227,2	208,2	190,7	174,6	159,8	146,2	133,7
Βενζίνη	Euro 4	145,7	138,6	131,8	125,4	119,2	113,3	107,7	102,4	97,3	92,4	87,8	83,4
Βενζίνη	Euro 5	49,2	48,3	47,5	46,7	45,9	45,2	44,4	43,6	42,9	42,2	41,5	40,8
Βενζίνη	Euro 6	60,3	75,1	90,2	105,4	120,9	136,7	152,6	168,8	185,3	201,9	218,9	236,1
Πετρέλαιο	Pre-Euro	2,0	1,4	0,9	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Πετρέλαιο	Euro 1	4,8	3,7	2,9	2,2	1,7	1,3	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3
Πετρέλαιο	Euro 2	9,2	7,8	6,7	5,6	4,8	4,0	3,4	2,9	2,4	2,1	1,7	1,5
Πετρέλαιο	Euro 3	42,5	38,5	34,8	31,5	28,4	25,6	23,1	20,7	18,6	16,7	15,0	13,4
Πετρέλαιο	Euro 4	60,6	57,4	54,4	51,5	48,8	46,2	43,8	41,4	39,2	37,1	35,1	33,1
Πετρέλαιο	Euro 5	38,4	37,4	36,4	35,5	34,5	33,6	32,7	31,8	31,0	30,2	29,4	28,6
Πετρέλαιο	Euro 6	122,8	123,7	124,7	125,6	126,6	127,6	128,5	129,5	130,5	131,5	132,5	133,5
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Διπλού καυσίμου	Euro 1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Διπλού καυσίμου	Euro 2	5,6	5,3	4,9	4,5	4,2	3,8	3,5	3,2	2,9	2,7	2,4	2,2
Διπλού καυσίμου	Euro 3	25,8	25,7	25,4	25,1	24,7	24,3	23,8	23,2	22,7	22,1	21,4	20,8
Διπλού καυσίμου	Euro 4	14,0	14,3	14,5	14,7	14,9	15,0	15,1	15,2	15,3	15,3	15,3	15,3
Διπλού καυσίμου	Euro 5	5,6	5,8	6,0	6,2	6,5	6,7	6,8	7,0	7,2	7,3	7,5	7,6
Διπλού καυσίμου	Euro 6	1,7	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4	4,8	5,2	5,5
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	4,2	17,3	30,7	44,3	58,0	72,0	86,2	100,6	115,3	130,1	145,2	160,5
PHEV	Euro 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PHEV	Euro 6	0,2	1,9	3,9	6,4	9,3	12,7	16,5	20,8	25,3	30,1	35,1	40,0
BEV	Euro 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BEV	Euro 6	0,1	0,6	1,5	2,8	4,6	7,2	10,8	15,7	22,2	30,8	42,5	57,8
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		1.041,8	1.009,8	985,0	966,8	954,8	948,7	948,4	953,4	963,8	979,8	1.001,8	1.030,0

Πίνακας XIII Εκπομπές SO₂ για κάθε κατηγορία από το 1990 έως το 2004.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Βενζίνη	Pre-Euro	3.132,21	3.196,06	3.025,02	2.899,19	2.801,28	1.352,87	1.337,16	1.265,31	1.186,94	1.063,36	282,30	250,65	224,30	200,89	173,99
Βενζίνη	Euro 1	8,63	10,07	330,69	555,53	721,32	486,47	648,65	661,42	672,89	642,29	181,97	176,11	171,49	167,66	158,79
Βενζίνη	Euro 2								153,78	329,46	561,78	221,27	248,81	247,74	249,05	243,56
Βενζίνη	Euro 3											18,18	61,84	134,08	205,19	278,84
Βενζίνη	Euro 4															
Βενζίνη	Euro 5															
Βενζίνη	Euro 6															
Πετρέλαιο	Pre-Euro	565,40	620,24	623,36	570,60	551,41	131,45	119,42	106,36	101,85	96,75	62,92	57,89	55,25	53,15	40,44
Πετρέλαιο	Euro 1						8,83	22,74	33,89	40,60	42,31	27,58	24,07	22,29	21,99	17,22
Πετρέλαιο	Euro 2								0,01	5,47	10,41	12,70	16,06	15,02	15,03	11,91
Πετρέλαιο	Euro 3												1,40	6,11	13,93	24,29
Πετρέλαιο	Euro 4															
Πετρέλαιο	Euro 5															
Πετρέλαιο	Euro 6															
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	3,05	3,76	4,27	4,56	3,65	3,37	2,77	1,95	1,69	1,11	0,71	0,64	0,50	0,34	0,26
Διπλού καυσίμου	Euro 1				0,01	0,42	0,69	0,88	0,88	0,82	0,57	0,39	0,37	0,32	0,23	0,20
Διπλού καυσίμου	Euro 2								0,01	0,24	0,35	0,42	0,59	0,51	0,38	0,33
Διπλού καυσίμου	Euro 3											0,00	0,03	0,19	0,27	0,33
Διπλού καυσίμου	Euro 4															
Διπλού καυσίμου	Euro 5															
Διπλού καυσίμου	Euro 6															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4											0,01	0,03	0,04	0,07	0,10
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5															
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6															
PHEV	Euro 5															
PHEV	Euro 6															
BEV	Euro 5															
BEV	Euro 6															
Συνολική Ρύπανση (Τόνοι)		3.709,29	3.830,12	3.983,33	4.029,88	4.078,08	1.983,68	2.131,62	2.223,62	2.339,96	2.418,94	808,46	838,46	877,84	928,18	950,26

Πίνακας XIV Εκπομπές SO₂ για κάθε κατηγορία από το 2005 έως το 2018.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Βενζίνη	Pre-Euro	49,82	41,09	34,75	26,76	4,30	2,91	1,95	1,17	0,72	0,31	0,21	0,13	0,12	0,08
Βενζίνη	Euro 1	50,85	46,99	43,90	37,73	6,82	5,32	4,19	3,08	2,33	1,28	1,06	0,75	0,73	0,55
Βενζίνη	Euro 2	81,80	80,43	79,66	73,25	14,22	12,03	10,39	8,52	7,26	4,61	4,23	3,42	3,77	3,27
Βενζίνη	Euro 3	118,62	131,39	146,26	150,15	32,18	28,65	26,18	22,89	20,91	14,45	13,04	11,55	14,03	13,59
Βενζίνη	Euro 4		10,46	21,79	30,95	8,10	8,42	8,48	7,84	7,58	5,62	4,68	4,40	5,59	5,70
Βενζίνη	Euro 5						1,03	1,62	1,73	1,89	1,61	1,33	1,36	1,77	1,84
Βενζίνη	Euro 6											0,14	0,43	1,09	1,72
Πετρέλαιο	Pre-Euro	4,85	4,04	3,40	2,47	0,56	0,40	0,31	0,20	0,05	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01
Πετρέλαιο	Euro 1	2,66	2,82	2,71	2,15	0,50	0,40	0,33	0,26	0,10	0,06	0,11	0,10	0,06	0,05
Πετρέλαιο	Euro 2	1,98	2,34	2,52	2,27	0,55	0,49	0,44	0,36	0,16	0,11	0,22	0,20	0,13	0,12
Πετρέλαιο	Euro 3	4,46	5,47	6,46	6,47	1,63	1,52	1,34	1,18	0,58	0,44	0,81	0,81	0,60	0,59
Πετρέλαιο	Euro 4		0,45	1,07	1,54	0,46	0,51	0,56	0,72	0,52	0,61	0,92	1,02	0,80	0,85
Πετρέλαιο	Euro 5						0,07	0,17	0,39	0,39	0,57	1,15	1,28	1,02	1,10
Πετρέλαιο	Euro 6											0,47	1,40	1,80	2,69
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	0,21	0,17	0,15	0,12	0,03	0,05	0,15	0,03	0,07	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01
Διπλού καυσίμου	Euro 1	0,18	0,16	0,15	0,14	0,03	0,07	0,26	0,06	0,20	0,17	0,19	0,15	0,12	0,05
Διπλού καυσίμου	Euro 2	0,31	0,29	0,30	0,28	0,07	0,16	0,66	0,17	0,60	0,59	0,71	0,65	0,55	0,25
Διπλού καυσίμου	Euro 3	0,42	0,48	0,55	0,57	0,17	0,42	1,78	0,50	1,86	1,98	2,37	2,37	2,23	1,13
Διπλού καυσίμου	Euro 4	0,00	0,02	0,07	0,13	0,05	0,15	0,70	0,21	0,84	0,96	1,09	1,14	1,12	0,60
Διπλού καυσίμου	Euro 5						0,00	0,09	0,04	0,21	0,29	0,34	0,42	0,42	0,23
Διπλού καυσίμου	Euro 6											0,00	0,08	0,09	0,05
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	0,05	0,07	0,09	0,12	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5						0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6											0,01	0,01	0,04	0,07
PHEV	Euro 5								0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PHEV	Euro 6											0,00	0,00	0,00	0,00
BEV	Euro 5								0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BEV	Euro 6											0,00	0,00	0,00	0,00
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		316,20	326,66	343,83	335,10	69,71	62,63	59,64	49,39	46,31	33,78	33,19	31,74	36,13	34,57

Πίνακας XV Πρόβλεψη εκπομπών SO₂ για κάθε κατηγορία από το 2019 έως το 2030.

Καύσιμο	Πρότυπα Euro	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Βενζίνη	Pre-Euro	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Βενζίνη	Euro 1	0,44	0,34	0,27	0,21	0,17	0,13	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
Βενζίνη	Euro 2	2,79	2,38	2,03	1,73	1,48	1,26	1,07	0,91	0,77	0,66	0,56	0,47
Βενζίνη	Euro 3	12,48	11,45	10,50	9,63	8,83	8,10	7,42	6,79	6,22	5,69	5,21	4,77
Βενζίνη	Euro 4	5,42	5,15	4,90	4,66	4,43	4,21	4,01	3,81	3,62	3,44	3,27	3,10
Βενζίνη	Euro 5	1,82	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,64	1,61	1,59	1,56	1,53	1,51
Βενζίνη	Euro 6	2,26	2,82	3,39	3,96	4,54	5,13	5,73	6,34	6,96	7,58	8,22	8,87
Πετρέλαιο	Pre-Euro	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Πετρέλαιο	Euro 1	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Πετρέλαιο	Euro 2	0,10	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Πετρέλαιο	Euro 3	0,53	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
Πετρέλαιο	Euro 4	0,81	0,76	0,72	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55	0,52	0,49	0,47	0,44
Πετρέλαιο	Euro 5	1,07	1,05	1,02	0,99	0,97	0,94	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82	0,80
Πετρέλαιο	Euro 6	3,41	3,43	3,46	3,49	3,51	3,54	3,57	3,59	3,62	3,65	3,68	3,71
Διπλού καυσίμου	Pre-Euro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Διπλού καυσίμου	Euro 1	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Διπλού καυσίμου	Euro 2	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
Διπλού καυσίμου	Euro 3	1,14	1,14	1,13	1,11	1,09	1,07	1,05	1,03	1,00	0,98	0,95	0,92
Διπλού καυσίμου	Euro 4	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Διπλού καυσίμου	Euro 5	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33
Διπλού καυσίμου	Euro 6	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Εναλλακτικού καυσίμου	Euro 6	0,10	0,40	0,71	1,03	1,35	1,68	2,01	2,34	2,68	3,03	3,38	3,73
PHEV	Euro 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PHEV	Euro 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BEV	Euro 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BEV	Euro 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Συνολική Ρύπανση (Τόννοι)		33,71	32,62	31,72	31,00	30,44	30,02	29,73	29,56	29,50	29,54	29,66	29,87