



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών (ΣΕΤ)

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός

Διπλωματική Εργασία

«Μελέτη της τάσης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας και σενάρια μείωσης μέσω εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών στις μεταφορές»

Ιωάννα Μπαρώτα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ναταλία Λιώρα

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Μελέτη της τάσης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από την
κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας και
σενάρια μείωσης μέσω εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών στις
μεταφορές»

Ιωάννα Μπαρώτα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ναταλία Λιώρα

Μεταδιδακτορική ερευνήτρια,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Λεωνίδας Βατικιώτης

ΣΕΠ ΕΑΠ, Ινστιτούτο Μικρών
Επιχειρήσεων ΓΣΕΒΕΕ

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2026

«Ευχαριστίες»

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου, κα. Ναταλία Λιώρα, για την πολύτιμη καθοδήγηση και την αμέριστη υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Συνεπιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Λεωνίδα Βατικιώτη, για τις εύστοχες επισημάνσεις του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην εταιρεία Εγνατία Οδός Α.Ε. για την συμβολή της στην παροχή των απαραίτητων δεδομένων, τα οποία αποτέλεσαν βασικό στοιχείο για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή και η υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελούν κρίσιμες περιβαλλοντικές προκλήσεις οδηγώντας σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα. Προκαλούνται κυρίως από τις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως το CO₂ και το CH₄, με τον τομέα των οδικών μεταφορών να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο λόγω της εκτεταμένης χρήσης ορυκτών καυσίμων. Οι οδικές μεταφορές αποτελούν μία από τις σημαντικότερες πηγές εκπομπών ρύπων, καθιστώντας αναγκαία τη μετάβαση σε καθαρότερες τεχνολογίες και την υιοθέτηση δεσμευτικών στόχων μείωσης εκπομπών και αυστηρότερων προτύπων οχημάτων, με άμεσες επιπτώσεις σε περιοχές υψηλής κυκλοφοριακής επιβάρυνσης, όπως οι αυτοκινητόδρομοι. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται μελέτη περίπτωσης για την Ελλάδα, με ανάλυση της τάσης των εκπομπών από την κυκλοφορία οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους, αξιοποιώντας δεδομένα από τη HELLASTRON και την Εγνατία Οδό. Για την εκτίμηση των εκπομπών χρησιμοποιείται το μοντέλο COPERT, το οποίο επιτρέπει την ποσοτική αποτύπωση των ρύπων. Τέλος, εξετάζονται σενάρια μείωσης των εκπομπών μέσω της σταδιακής υποκατάστασης των συμβατικών καυσίμων από εναλλακτικές ενεργειακές επιλογές.

Λέξεις – Κλειδιά:

Κλιματική Αλλαγή, Υπερθέρμανση του Πλανήτη, Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων, Οδικές Μεταφορές, Πρότυπα Euro, Ηλεκτρικά Οχήματα, Εναλλακτικά Καύσιμα, Αυτοκινητόδρομοι, COPERT

«Trend study in atmospheric pollutants emissions from vehicle traffic on Greek motorways and reduction scenarios through alternative energy options in transport»

«Joanna Barota»

Abstract

Climate change and global warming are critical environmental challenges, leading to an increase in global temperatures and more frequent and intense extreme weather events. They are primarily driven by anthropogenic greenhouse gas emissions, such as CO₂ and CH₄, with the road transport sector playing a key role due to the extensive use of fossil fuels. Road transport is one of the major sources of pollutant emissions, making the transition to cleaner technologies and the adoption of binding emission reduction targets and stricter vehicle standards necessary, with direct impacts on areas of high traffic density, such as motorways. In this context, a case study for Greece is presented, analyzing emission trends from vehicle traffic on motorways, using data from HELLASTRON and Egnatia Odos. The COPERT model is used for emission estimation, enabling a quantitative assessment of pollutants. Finally, emission reduction scenarios are examined through the gradual substitution of conventional fuels with alternative energy options.

Keywords:

Climate Change, Global Warming, Greenhouse Effect, Atmospheric Pollutant Emissions, Road Transport, Euro Standards, Electric Vehicles, Alternative Fuels, Motorways, COPERT

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	v
Abstract.....	vi
Πίνακας περιεχομένων.....	vii
Κατάλογος Πινάκων	ix
Κατάλογος Εικόνων.....	xi
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xii
Highlights.....	xiv
Συνεισφορά της Εργασίας.....	xv
Poster Διπλωματικής Εργασίας.....	xvi
Άρθρο Διπλωματικής Εργασίας.....	xvii
1. Εισαγωγή.....	1
2. Υπερθέρμανση του Πλανήτη και Κλιματική Αλλαγή	4
3. Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	7
4. Οδικές Μεταφορές & Ατμοσφαιρική Ρύπανση	9
5. Νομοθετικές Ρυθμίσεις & Στρατηγικές	14
5.1. Η Συμφωνία του Παρισιού (2015).....	14
5.2. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία	15
5.3. Ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα.....	15
5.4. Κανονισμοί των Ηνωμένων Εθνών.....	16
5.5. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	17
5.5.1. Κατηγορίες Οχημάτων	18
5.5.2. Ιστορική αναδρομή: Τα πρώτα βήματα ελέγχου εκπομπών (1970–1992).....	20
5.5.3. Η καθιέρωση των προτύπων Euro και η εξέλιξή τους (1992 – σήμερα)	23
Επιβατικά και Ελαφρά Επαγγελματικά Οχήματα.....	23
Βαρέα Επαγγελματικά Οχήματα.....	26
6. Κύριες Τεχνολογίες & Εξελίξεις.....	29
6.1. Ηλεκτρικά Οχήματα.....	30
6.1.1. Επιδοτήσεις και θέση στην αγορά	31
6.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	33
6.1.3. Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων	34
6.1.4. Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας	35
6.1.5. Τεχνολογίες Φόρτισης	36
6.1.6. Άλλες Σχετικές Τεχνολογίες	37
6.1.7. Περιβαλλοντική Απόδοση Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	38

6.2.	Βιωσιμότητα στις μεταφορές.....	39
6.3.	Κανονισμός Euro 7	41
6.4.	Τεχνολογίες CNG, LNG και LPG	43
7.	Μελέτη Περίπτωσης στους Αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας	48
7.1.	Αυτοκινητόδρομοι της Ελλάδας	56
7.2.	Δεδομένα Εισόδου και Μεθοδολογία	61
7.3.	Δεδομένα Εξόδου.....	76
7.3.1.	Δεδομένα Εξόδου Εγνατία Οδός	76
7.3.2.	Δεδομένα Εξόδου Αυτοκινητόδρομοι Ελλάδας (Δίκτυο HELLASTRON).....	89
8.	Σενάρια Μείωσης μέσω Εναλλακτικών Ενεργειακών Επιλογών	103
8.1.	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα.....	103
8.2.	Συντηρητικά Σενάρια Μείωσης	104
9.	Συμπεράσματα	118
10.	Περιορισμοί και Μελλοντική Έρευνα	120
10.1.	Αναπάντητα Ερωτήματα και αδυναμίες της εργασίας.....	120
10.2.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	121
10.3.	Πιθανές θεωρητικές και πρακτικές εφαρμογές των αποτελεσμάτων	122
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	123

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Παραδείγματα Αποτελεσμάτων της GRPE ανά Κανονισμό ΟΗΕ.....	17
Πίνακας 2. Κατηγορίες Οχημάτων αναλόγως χρήσης και μεγέθους.....	18
Πίνακας 3. Οδηγίες & Κανονισμοί ανά έτος εφαρμογής και κατηγορία οχήματος	22
Πίνακας 4. Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες για Πρότυπα Εκπομπών “Euro” στα Επιβατικά & Ελαφρά Επαγγελματικά Οχήματα (M1, N1)	25
Πίνακας 5. Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες για Πρότυπα Εκπομπών “Euro” στα Βαρέα οχήματα (N2, N3, M3).....	28
Πίνακας 6. Μέση Ηλικία Οχημάτων στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση	50
Πίνακας 7. Αναλογία Οχημάτων ανά 1.000 κατοίκους στην Ελλάδα και	50
Πίνακας 8. Όγκος Οχημάτων στην Εγνατία Οδός Α.Ε., αναλογία ανά κατηγορία οχήματος (σε %) και Όγκος Οχημάτων στους Αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας βάσει στοιχείων της HELLASTRON	65
Πίνακας 9. Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία (σε °C), Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία (σε °C) και Μέση Υγρασία (σε %) στην Εγνατία Οδό.....	71
Πίνακας 10. Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία (σε °C), Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία (σε °C) και Μέση Υγρασία (σε %) στην Ελλάδα.....	71
Πίνακας 11. Βασικά Στοιχεία Κυκλοφοριακής Δραστηριότητας στην Εγνατία Οδό.....	72
Πίνακας 12. Βασικά Στοιχεία Κυκλοφοριακής Δραστηριότητας στους Αυτοκινητοδρόμους της HELLASTRON	73
Πίνακας 13. Κατανομή ταχυτήτων σε αυτοκινητοδρόμους (σε km/h) ανά τύπο οχήματος, τύπο καυσίμου, μέγεθος/ βάρος και πρότυπο Euro.	75
Πίνακας 14. Ενεργειακή Κατανάλωση (σε TJ) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	78
Πίνακας 15. Εκπομπές μεθανίου CH ₄ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	79
Πίνακας 16. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	80
Πίνακας 17. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO ₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	81
Πίνακας 18. Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου N ₂ O σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	81
Πίνακας 19. Εκπομπές αμμωνίας NH ₃ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	82
Πίνακας 20. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων πλην Μεθανίου NMVOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	83
Πίνακας 21. Εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου NO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	84
Πίνακας 22. Εκπομπές διοξειδίου του αζώτου NO ₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	84
Πίνακας 23. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO _x σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	85
Πίνακας 24. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	86
Πίνακας 25. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM _{2.5} σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	87
Πίνακας 26. Εκπομπές διοξειδίου του θείου SO ₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	87

Πίνακας 27. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων VOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.	88
Πίνακας 28. Ενεργειακή Κατανάλωση (σε TJ) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	91
Πίνακας 29. Εκπομπές μεθανίου CH ₄ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	92
Πίνακας 30. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	93
Πίνακας 31. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO ₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	94
Πίνακας 32. Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου N ₂ O σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	95
Πίνακας 33. Εκπομπές αμμωνίας NH ₃ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	96
Πίνακας 34. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου NMVOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	96
Πίνακας 35. Εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου NO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	97
Πίνακας 36. Εκπομπές διοξειδίου του αζώτου NO ₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	98
Πίνακας 37. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO _x σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	99
Πίνακας 38. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	100
Πίνακας 39. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM _{2.5} σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	100
Πίνακας 40. Εκπομπές διοξειδίου του θείου SO ₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	101
Πίνακας 41. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων VOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.	102
Πίνακας 42. Κυκλοφοριακός Φόρτος στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας για το έτος αναφοράς 2024, για το Σενάριο Α και για το Σενάριο Β.	106
Πίνακας 43. Ενεργειακή Κατανάλωση (TJ) Σεναρίων Α & Β.	107
Πίνακας 44. Εκπομπές μεθανίου CH ₄ (tn) Σεναρίων Α & Β.	107
Πίνακας 45. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO (tn) Σεναρίων Α & Β.	108
Πίνακας 46. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO ₂ (tn) Σεναρίων Α & Β.	108
Πίνακας 47. Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου N ₂ O (tn) Σεναρίων Α & Β.	109
Πίνακας 48. Εκπομπές αμμωνίας NH ₃ (tn) Σεναρίων Α & Β.	109
Πίνακας 49. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων πλην μεθανίου NMVOC (tn) Σεναρίων Α & Β.	110
Πίνακας 50. Εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου NO (tn) Σεναρίων Α & Β.	110
Πίνακας 51. Εκπομπές διοξειδίου του αζώτου NO ₂ (tn) Σεναρίων Α & Β.	111
Πίνακας 52. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO _x (tn) Σεναρίων Α & Β.	111
Πίνακας 53. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM ₁₀ (tn) Σεναρίων Α & Β.	112
Πίνακας 54. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM _{2.5} (tn) Σεναρίων Α & Β.	112
Πίνακας 55. Εκπομπές διοξειδίου του θείου SO ₂ (tn) Σεναρίων Α & Β.	113
Πίνακας 56. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων VOC (tn) Σεναρίων Α & Β.	113

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Αριθμός Οχημάτων στην Ελλάδα ανά κατηγορία για τα έτη 2015-2024.....	49
Εικόνα 2. Ποσοστιαία Κατανομή Οχημάτων για το έτος 2024.	49
Εικόνα 3. Ηλικιακή Κατανομή Οχημάτων (σε %) ανά τύπο οχήματος και ανά έτος αναφοράς στην Ελλάδα.	52
Εικόνα 4. Ποσοστιαία Κατανομή Οχημάτων ανά τύπο καυσίμου στην Ελλάδα.	54
Εικόνα 5. Ρυθμός Αύξησης Εναλλακτικών Καυσίμων (BEV, PHEV, CNG) ανά έτος αναφοράς επιβατικών και ελαφριά επαγγελματικών οχημάτων.....	56
Εικόνα 6. Χάρτης Αυτοκινητοδρόμων (χαρακτηρισμός και αρίθμηση) βάση Υ.Α. ΔΟΥ/οικ./5776/2015 (ΦΕΚ 253/ΑΑΠ/21.12.2015)	60
Εικόνα 7. Ετήσιος Κυκλοφοριακός Φόρτος Εγνατίας Οδού ΑΕ ανά κατηγορία οχήματος για τα έτη 2015-2024 (Αριστερός κάθετος άξονας: Επιβατικά, Ελαφριά Επαγγελματικά, Βαρέα Επαγγελματικά & Λεωφορεία; Δεξιός κάθετος άξονας Μοτοσυκλέτες)	62
Εικόνα 8. Μηνιαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Εγνατίας Οδού ΑΕ ανά κατηγορία οχήματος για τα έτη 2015-2024	62
Εικόνα 9. Μέσος Μηνιαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Εγνατίας Οδού ΑΕ για τα έτη 2015-2024	63
Εικόνα 10. Κυκλοφοριακός Φόρτος στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON ανά κατηγορία οχήματος τα έτη 2015 με 2024. (Αριστερός κάθετος άξονας: Επιβατικά, Ελαφριά Επαγγελματικά, Βαρέα Επαγγελματικά & Λεωφορεία; Δεξιός κάθετος άξονας Μοτοσυκλέτες)	66
Εικόνα 11. Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά κατηγορία οχήματος και ανά τύπο καυσίμου στην Εγνατία Οδό για τα έτη 2015 με 2024.	67
Εικόνα 12.Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά κατηγορία οχήματος και ανά τύπο καυσίμου στους αυτοκινητοδρόμους της HELLASTRON για τα έτη 2015 με 2024.....	68
Εικόνα 13. Ηλικιακή Κατανομή Οχημάτων για τα Σενάρια Α & Β (έτος αναφοράς 2034).....	105
Εικόνα 14. Συνολικές Εκπομπές Ρύπων βάσει έτος αναφοράς 2024 και σεναρίων Α και Β.	117
Εικόνα 15. Συνολικές Εκπομπές Ρύπων βάσει έτος αναφοράς 2024 και σεναρίων Α και Β (Αριστερός κάθετος άξονας: EC [TJ], CO [t], NO [t], NOx [t]; Δεξιός κάθετος άξονας: CO2[t])	117

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

AC/DC	Μετατροπέας Εναλλασσόμενου/Συνεχούς Ρεύματος
ACEA	European Automobile Manufacturers' Association
ADAS	Προηγμένα Συστήματα Υποβοήθησης Οδηγού
AdBlue	Διάλυμα ουρίας που χρησιμοποιείται σε πετρελαιοκινητήρες με τεχνολογία SCR
AFOLU	Γεωργία, Δασοκομία και Άλλες Χρήσεις Γης
BC	Μαύρος Άνθρακας
BEV	Αμιγώς Ηλεκτρικό Όχημα με Μπαταρία
BMS	Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας
CFC	Χλωροφθοράνθρακες
CH ₄	Μεθάνιο
CNG	Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο
CO	Μονοξείδιο του Άνθρακα
CO ₂	Διοξείδιο του Άνθρακα
DOC	Καταλύτες Οξειδωσης ντίζελ
DPF	Φίλτρο Σωματιδίων ντίζελ
ECU	Μονάδα Ελέγχου Κινητήρα
EEV	Βελτιωμένο Φίλικό προς το Περιβάλλον Όχημα
EGR	Συστήματα Ανακυκλοφορίας Καυσίμου
EV	Ηλεκτρικά Οχήματα
FCEV	Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου
GDI	Άμεσος Ψεκασμός Βενζίνης
GRPE	Ομάδα Εργασίας για τη Ρύπανση και την Ενέργεια
H ₂ O	Υδρατμοί
HC	Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες
HCB	Εξαχλωροβενζόλιο
HDV	Βαρέα Επαγγελματικά Οχήματα
HELLASTRON	Ελληνικές Υποδομές και Οδοί με Διόδους
HEV	Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα
HFC	Υδροφθοράνθρακες
ICE	Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης
IM	Κινητήρες Επαγωγής
LNG	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο
LPG	Υγραέριο
N ₂ O	Υποξείδιο του Αζώτου
NDC	Εθνικά Καθορισμένη Συνεισφορά
NEDC	Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης
NEV	Οχήματα Νέας Ενέργειας
NF ₃	Τριφθοριούχο Νάτριο
NMHC	Υδρογονανθράκων Εκτός Μεθανίου
NMVOCs	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις Εκτός Μεθανίου

NO	Μονοξείδιο του Αζώτου
NO ₂	Διοξείδιο του Αζώτου
NO _x	Οξείδια του Αζώτου
O ₃	Τροποσφαιρικό Όζον
OBD	Ενσωματωμένο Σύστημα Διάγνωσης
OC	Οργανικός Άνθρακας
PAH	Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
PCB	Πολυχλωριωμένα διφαινύλια
PFC	Υπερφθοράνθρακες
PHEV	Επαναφορτιζόμενο Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα
PM	Κινητήρες Μόνιμου Μαγνήτη
PM ₁₀	Αιωρούμενα Σωματίδια με Αεροδυναμική Διάμετρο $d \geq 10 \mu\text{m}$
PM _{2.5}	Αιωρούμενα Σωματίδια με Αεροδυναμική Διάμετρο $d \geq 2.5 \mu\text{m}$
PN	Αριθμός Σωματιδίων
POP	Έμμονοι Οργανικοί Ρύποι
RCP	Αντιπροσωπευτικές Διαδρομές Συγκέντρωσης
RDE	Πραγματικές Εκπομπές Οδήγησης
SCR	Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή
SF ₆	Εξαφθοριούχο Θείο
SO ₂	Διοξείδιο του Θείου
SO _x	Οξείδια του Θείου
SRM	Κινητήρες Μεταβαλλόμενης Μαγνητικής Αντίστασης
SSP	Κοινά Κοινωνικοοικονομικά Σενάρια
UN GTRs	Παγκόσμιοι Τεχνικοί Κανονισμοί των Ηνωμένων Εθνών
UNECE	Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη
UNFCCC	Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή
V2G	Όχημα προς Δίκτυο
VOCs	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις
WHSC	Παγκοσμίως Εναρμονισμένος Κύκλος Σταθερών Συνθηκών
WHTC	Παγκοσμίως Εναρμονισμένος Κύκλος Μεταβατικών Συνθηκών
WLTC	Παγκόσμιος Εναρμονισμένος Κύκλος Δοκιμών Ελαφρών Οχημάτων
WLTP	Παγκοσμίως Εναρμονισμένη Διαδικασία Δοκιμών Ελαφρών Οχημάτων
WP.29	Παγκόσμιο Φόρουμ για την Εναρμόνιση των Κανονισμών για τα Οχήματα
WTW	από την Πηγή στον Τροχό
Α.Θ.	Αέρια του Θερμοκηπίου
Α.Θ.Ε.	Αυτοκινητόδρομος Αθήνας- Θεσσαλονίκης - Εύζωνοι
A/K	Ανισόπεδος Κόμβος
E.E.	Ευρωπαϊκή Ένωση
E.K.	Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
E.O.K.	Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
E.Σ.Ε.Κ.	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
O.H.E.	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

Highlights

1. Τα στοιχεία για την αύξηση των θερμοκρασιών τις τελευταίες δεκαετίες δείχνουν ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη, οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο αποτελεί ένα διαρκές πρόβλημα.
2. Τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και το τροποσφαιρικό όζον (O_3).
3. Η ενέργεια και η βιομηχανία, οι μεταφορές και οι κατασκευές είναι κάποιοι από τους κυριότερους συντελεστές των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
4. Μεταξύ όλων των τομέων, όμως, οι μεταφορές έχουν καταστεί ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους παράγοντες που συμβάλλουν στις εκπομπές.
5. Ο έλεγχος των εκπομπών καυσαερίων αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους πυλώνες της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς οι οδικές μεταφορές συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση της ατμόσφαιρας στις αστικές περιοχές.

Συνεισφορά της Εργασίας

Η παρούσα εργασία συμβάλλει στην ποσοτική αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων στις οδικές μεταφορές της Ελλάδας, μέσω της εφαρμογής του μοντέλου COPERT και της ανάλυσης χρονοσειρών για την περίοδο 2015–2024. Η μελέτη παρέχει συγκριτική αποτίμηση μεταξύ της Εγνατίας Οδού και του δικτύου αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON, αναδεικνύοντας τις τάσεις εξέλιξης των εκπομπών και της κατανάλωσης ενέργειας. Παράλληλα, αξιολογεί την επίδραση της ανανέωσης του στόλου και της εισαγωγής εναλλακτικών καυσίμων μέσω εναλλακτικών σεναρίων, τεκμηριώνοντας τόσο τα οφέλη όσο και τους περιορισμούς των τεχνολογικών παρεμβάσεων. Με τον τρόπο αυτό, προσφέρει χρήσιμα επιστημονικά δεδομένα για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών πολιτικών βιώσιμων μεταφορών και περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Poster Διπλωματικής Εργασίας



ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕΣΩ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: Ιωάννα Μπαρώτα¹, Ναταλία Λιώρα^{1,2}, Λεωνίδας Βατικιώτης^{1,3}

¹ Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα, ² Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη, ³ Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων ΓΣΕΒΕΕ, Αριστοτέλους 46, 10433 Αθήνα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις παγκοσμίως. Η αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων και της αυξημένης ενεργειακής κατανάλωσης, οδηγεί σε άνοδο της θερμοκρασίας, ακραία καιρικά φαινόμενα και υποβάθμιση των οικοσυστημάτων.
- Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη. Η μετάβαση προς καθαρότερες μορφές μετακίνησης αποτελεί βασική προτεραιότητα των ευρωπαϊκών και διεθνών πολιτικών για το κλίμα.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ενότητα	Περιγραφή
Μεθοδολογία	EMEP/EEA Tier 3 και μοντέλο COPERT
Υπολογισμοί	Εκπομπές καυσαερίων και εκπομπές από φθορά ελαστικών, φρένων και οδοστρώματος
Δεδομένα εισόδου	Στόλος οχημάτων, αναλογία ανά τύπο καυσίμου, κυκλοφοριακός φόρτος, ταχύτητες, κλιματικά δεδομένα (EMY)
Περίοδος ανάλυσης	2015–2024
Αρχεία COPERT	10 αρχεία εισόδου για Εγνατία Οδό και 10 για HELLASTRON
Αποτελέσματα	13 ρύποι (CO, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , NO, NO ₂ , NH ₃ , VOC, NMVOC, PM _{2.5} , PM ₁₀ , SO ₂) και ενεργειακή κατανάλωση

ΚΥΡΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ (2015–2024)

Δείκτης	Εγνατία Οδός	HELLASTRON
Ενεργειακή κατανάλωση	↑ 238–450%	↑ 108–238%
CO ₂	↑ έως 442%	Σημαντική αύξηση
CH ₄	↑ έως 465%	Αυξητική τάση
CO	↑ έως 398%	Αυξητική τάση
N ₂ O	↑ έως 790%	Μεγάλες αυξήσεις
NH ₃	↑ έως 698%	Μεγάλες αυξήσεις
NO _x , NO, NO ₂	Σημαντική αύξηση	Σημαντική αύξηση
PM ₁₀ & PM _{2.5}	↑ >400%	↑ έως 214% και 210%
Γενικό συμπέρασμα	Εντονότερη αύξηση εκπομπών και κατανάλωσης	Ηπιότερη αλλά σταθερή αύξηση

ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (2024)

Παράμετρος	Σενάριο Α	Σενάριο Β
Μείωση συμβατικών καυσίμων	20%	25%
Αντικατάσταση με	BEV, PHEV, Hybrid, CNG/LNG	BEV, PHEV, Hybrid, CNG/LNG
Στόλος	Αυξημένη συμμετοχή Euro 7	Αυξημένη συμμετοχή Euro 7
Κυκλοφοριακός φόρτος	Σταθερός	Σταθερός

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Δείκτης	Μεταβολή
Ενεργειακή κατανάλωση & CO ₂ (επιβατικά)	↓ 20–22%
Ενεργειακή κατανάλωση & CO ₂ (ελαφρά επαγγελματικά)	↓ 36–40%
NO _x , NO, NO ₂ , CO, VOC, NMVOC, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Σημαντική μείωση
Λεωφορεία	Μείωση εκπομπών έως >90%
Βαρέα οχήματα	Μικρή αύξηση N ₂ O και NH ₃ λόγω χρήσης CNG/LNG
Συμπέρασμα	Η ηλεκτροκίνηση και τα εναλλακτικά καύσιμα μειώνουν σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση και τις περισσότερες εκπομπές, συμβάλλοντας στην απανθρακοποίηση των οδικών μεταφορών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Ενότητα	Κύρια σημεία
Κύρια συμπεράσματα	- Ανάλυση με COPERT για την περίοδο 2015–2024. - Σημαντική αύξηση ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών στην Εγνατία Οδό και στο δίκτυο HELLASTRON. - Η αύξηση συνδέεται με την εντονότερη κυκλοφορία και την ανάπτυξη των αυτοκινητοδρόμων. - Βαρέα επαγγελματικά οχήματα και λεωφορεία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συμβολή στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.
Αποτελέσματα σεναρίων	- Η ανανέωση του στόλου, τα πρότυπα Euro 7 και η χρήση εναλλακτικών καυσίμων μειώνουν σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση και τις περισσότερες εκπομπές. - Οι μεγαλύτερες μειώσεις αφορούν NO_x, VOC, CO και σωματίδια. - Παρατηρούνται τοπικές αυξήσεις σε N₂O και NH₃, κυρίως λόγω τεχνολογιών φυσικού αερίου.
Περιορισμοί μελέτης	- Βασίζεται στις παραδοχές του μοντέλου COPERT. - Εξετάζει μόνο εκπομπές κυκλοφορίας σε αστικό/επαρχιακό δίκτυο. - Δεν περιλαμβάνει εκπομπές ψυχρής εκκίνησης ούτε αστικό/επαρχιακό δίκτυο. - Δεν εφαρμόζεται Life Cycle Assessment (LCA). - Δεν αξιολογούνται οικονομικές μεταβολές και αλλαγές στη ζήτηση μεταφορών.
Μελλοντική έρευνα	- Ανάπτυξη σεναρίων έως το 2050. - Εφαρμογή Life Cycle Assessment (LCA). - Χρήση δεδομένων υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης. - Αξιολόγηση πολιτικών μεταφορών και μέτρων απανθρακοποίησης.
Τελικό συμπέρασμα	Τα αποτελέσματα μπορούν να υποστηρίξουν τον σχεδιασμό τεκμηριωμένων πολιτικών για τη μείωση των εκπομπών , τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης και κλιματικής ουδετερότητας.

Άρθρο Διπλωματικής Εργασίας

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕΣΩ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Ιωάννα Μπαρώτα¹, Ναταλία Λιώρα^{1,2}, Λεωνίδας Βατικιώτης^{1,3},

¹Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,
Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

³Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων ΓΣΕΒΕΕ, Αριστοτέλους 46, 10433 Αθήνα
email: std165162@ac.eap.gr, natalia.liora@ac.eap.gr, vatikiotis.leonidas@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή και η υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελούν κρίσιμες περιβαλλοντικές προκλήσεις οδηγώντας σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα. Προκαλούνται κυρίως από τις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως το CO₂ και το CH₄, με τον τομέα των οδικών μεταφορών να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο λόγω της εκτεταμένης χρήσης ορυκτών καυσίμων. Οι οδικές μεταφορές αποτελούν μία από τις σημαντικότερες πηγές εκπομπών ρύπων, καθιστώντας αναγκαία τη μετάβαση σε καθαρότερες τεχνολογίες και την υιοθέτηση δεσμευτικών στόχων μείωσης εκπομπών και αυστηρότερων προτύπων οχημάτων, με άμεσες επιπτώσεις σε περιοχές υψηλής κυκλοφοριακής επιβάρυνσης, όπως οι αυτοκινητόδρομοι. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται μελέτη περίπτωσης για την Ελλάδα, με ανάλυση της τάσης των εκπομπών από την κυκλοφορία οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους, αξιοποιώντας δεδομένα από τη HELLASTRON και την Εγνατία Οδό. Για την εκτίμηση των εκπομπών χρησιμοποιείται το μοντέλο COPERT, το οποίο επιτρέπει την ποσοτική αποτύπωση των ρύπων. Τέλος, εξετάζονται σενάρια μείωσης των εκπομπών μέσω της σταδιακής υποκατάστασης των συμβατικών καυσίμων από εναλλακτικές ενεργειακές επιλογές.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική Αλλαγή, Υπερθέρμανση του Πλανήτη, Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων, Οδικές Μεταφορές, Πρότυπα Euro, Ηλεκτρικά Οχήματα, Εναλλακτικά Καύσιμα, Αυτοκινητόδρομοι, COPERT

ABSTRACT

Climate change and global warming are critical environmental challenges, leading to an increase in global temperatures and more frequent and intense extreme weather events. They are primarily driven by anthropogenic greenhouse gas emissions, such as CO₂ and CH₄, with the road transport sector playing a key role due to the extensive use of fossil fuels. Road transport is one of the major sources of pollutant emissions, making the transition to cleaner technologies and the adoption of binding emission reduction targets and stricter vehicle standards necessary, with direct impacts on areas of high traffic density, such as motorways. In this context, a case study for Greece is presented, analyzing emission trends from vehicle traffic on motorways, using data from HELLASTRON and Egnatia Odos. The COPERT model is used for emission estimation, enabling a quantitative assessment of pollutants. Finally, emission reduction scenarios are examined through the gradual substitution of conventional fuels with alternative energy options.

Keywords: Climate Change, Global Warming, Greenhouse Effect, Atmospheric Pollutant Emissions, Road Transport, Euro Standards, Electric Vehicles, Alternative Fuels, Motorways, COPERT

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις της σύγχρονης εποχής, με σοβαρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, την κοινωνία και την οικονομία. Παρατηρείται ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνουν τις συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η καύση ορυκτών καυσίμων, η βιομηχανία, οι μεταφορές και η γεωργία αποτελούν τις βασικότερες πηγές εκπομπών, με το διοξείδιο του άνθρακα να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο λόγω της μεγάλης διάρκειας παραμονής του στην ατμόσφαιρα.

Ο τομέας των μεταφορών συμβάλλει σημαντικά στην επιδείνωση του προβλήματος, καθώς η αυξανόμενη ζήτηση μετακινήσεων και η εξάρτηση από συμβατικά καύσιμα αυξάνουν τις εκπομπές και επιβαρύνουν την ποιότητα του αέρα. Για την αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων προωθούνται πολιτικές όπως η ηλεκτροκίνηση, τα εναλλακτικά καύσιμα, οι καθαρότερες τεχνολογίες και τα αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών, αν και η συνεχής αύξηση της κινητικότητας δυσχεραίνει την επίτευξη σημαντικών μειώσεων.

Η παρούσα εργασία εξετάζει την εξέλιξη των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από την οδική κυκλοφορία στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας κατά την περίοδο 2015 με 2024. Παράλληλα, λαμβάνει υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις αλλαγές στα καύσιμα, τις πολιτικές παρεμβάσεις και τα πρότυπα Euro. Επιπλέον, αξιολογεί δύο σενάρια μείωσης των εκπομπών μέσω της εφαρμογής εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών στις οδικές μεταφορές.

2. ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ & ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή αποτελούν μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις της σύγχρονης εποχής. Η υπερθέρμανση αναφέρεται στην αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο, ενώ η κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει όλες τις μακροχρόνιες μεταβολές του κλίματος που προκαλούνται από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Για τη μελέτη και πρόβλεψη των μελλοντικών εξελίξεων χρησιμοποιούνται σενάρια, τα οποία εξετάζουν

διαφορετικές πορείες κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη εμφανείς παγκοσμίως. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει οδηγήσει σε συχνότερα και εντονότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως καύσωνες, ξηρασίες, πλημμύρες και ισχυρές καταιγίδες. Παράλληλα, οι ωκεανοί απορροφούν μεγάλο μέρος αυτής της πλεονάζουσας θερμότητας, γεγονός που συμβάλλει στην άνοδο της θερμοκρασίας τους και στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Οι επιπτώσεις διαφοροποιούνται ανά περιοχή με τις πολιτικές περιοχές να θερμαίνονται ταχύτερα από τον παγκόσμιο μέσο όρο, ενώ ταυτόχρονα οι παράκτιες περιοχές να απειλούνται περισσότερο από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και οι ορεινές από κατολισθήσεις και χιονοστιβάδες.

Κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η ενίσχυση του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων από τη Βιομηχανική Επανάσταση και μετά. Σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), οι υδρατμοί και το όζον (O_3). Οι μελλοντικές προβλέψεις δείχνουν ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα ενταθούν εάν δεν μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτεί άμεση μείωση των εκπομπών αυτών, περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και εφαρμογή μέτρων μετριασμού και προσαρμογής για την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

3. ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ & ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η κατανόηση των πηγών των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διαμόρφωση αποτελεσματικών στρατηγικών αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Στους βασικούς τομείς που συμβάλλουν σε αυτές τις εκπομπές, περιλαμβάνονται η παραγωγή ενέργειας, η βιομηχανία, οι κατασκευές και οι μεταφορές. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) αποτελεί το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου, καθώς αντιστοιχεί περίπου στο 76% των παγκόσμιων εκπομπών και προέρχεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων. Παράλληλα, το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) συνδέονται με τη χρήση του φυσικού αερίου, του πετρελαίου και τις γεωργικές δραστηριότητες.

Ο τομέας των μεταφορών είναι ένας από τους σημαντικότερους και ταχύτερα αναπτυσσόμενους παράγοντες εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών, με τις οδικές μεταφορές να κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο. Η αύξηση της χρήσης ιδιωτικών οχημάτων, η αστικοποίηση και η ανάπτυξη του εμπορίου έχουν ενισχύσει τις εκπομπές αυτές παρά τις τεχνολογικές βελτιώσεις.

Επιπλέον των αερίων του θερμοκηπίου, οι μεταφορές εκπέμπουν ατμοσφαιρικούς ρύπους όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NOx), οξείδια του θείου (SOx), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και αιωρούμενα σωματίδια (PM), ρύποι οι οποίοι επηρεάζουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτεί την προώθηση εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών ή πολιτικών, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, τα βιώσιμα καύσιμα, οι κυψέλες υδρογόνου, οι δημόσιες συγκοινωνίες και τα αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών ρύπων, με σκοπό να επιτευχθούν οι διεθνείς στόχοι για το κλίμα.

4. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ & ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

Η διεθνής και ευρωπαϊκή πολιτική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής στηρίζεται σε ένα σύνολο συμφωνιών, νομοθετικών ρυθμίσεων και τεχνικών κανονισμών που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην προώθηση βιώσιμων μεταφορών. Βασικό ορόσημο αποτελεί η Συμφωνία του Παρισιού του 2015, η οποία επιδιώκει να περιορίσει την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε επίπεδα σημαντικά χαμηλότερα από τους 2°C και, ιδανικά, στους 1,5°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, τα κράτη υποβάλλουν Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές (NDCs), οι οποίες αναθεωρούνται ανά πενταετία, ενώ εφαρμόζονται μηχανισμοί διαφάνειας, παρακολούθησης και αξιολόγησης της προόδου. Παράλληλα, προβλέπεται οικονομική στήριξη προς τις αναπτυσσόμενες χώρες για την ενίσχυση της κλιματικής τους δράσης.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί την κλιματική ουδετερότητα μέσω της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, η οποία καλύπτει τομείς όπως η ενέργεια, οι μεταφορές, η βιομηχανία και η γεωργία. Η στρατηγική αυτή ενισχύεται από τον Ευρωπαϊκό Νόμο για το Κλίμα, που καθιστά δεσμευτικό τον στόχο μείωσης των καθαρών εκπομπών κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 και

την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει επίσης η UNECE, η οποία μέσω της Συμφωνίας του 1958 δημιούργησε ένα διεθνές πλαίσιο εναρμονισμένων τεχνικών κανονισμών για τα οχήματα. Οι μεταγενέστερες συμφωνίες και οι εργασίες του WP.29 συνέβαλαν στην ανάπτυξη κοινών προτύπων για την ασφάλεια, την ενεργειακή απόδοση και τις εκπομπές.

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση εφαρμόζει δικό της νομοθετικό πλαίσιο για την έγκριση τύπου οχημάτων και τα πρότυπα εκπομπών Euro. Τα πρότυπα αυτά επιβάλλουν ολοένα αυστηρότερα όρια για ρύπους, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), τα οξείδια του αζώτου (NOx), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ενθαρρύνοντας τεχνολογικές καινοτομίες και συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των οδικών μεταφορών.

Οχήματα βάσει Χρήσης και Μεγέθους	Κατηγορία Οχήματος
Επιβατικά Οχήματα	M1
Ελαφριά Επαγγελματικά Οχήματα	N1
Βαρέα Επαγγελματικά Οχήματα Λεωφορεία	N2, N3 M2, M3
Μοτοποδήλατα Μοτοσικλέτες (Δίκυκλες & Τρίκυκλες) Μικροαυτοκίνητα & Τετράτροχες Μοτοσικλέτες (Ελαφριά) Μικροαυτοκίνητα & Τετράτροχες Μοτοσικλέτες (Βαρέα)	L1e, L2e L3e, L4e, L5e L6e L7e

Πίνακας 1. Κατηγορίες Οχημάτων αναλόγως χρήσης και μεγέθους.

5. ΚΥΡΙΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ & ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι οδικές μεταφορές αποτελούν έναν από τους βασικότερους τομείς εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων, με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, τη δημόσια υγεία και την οικονομία. Ρύποι όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NOx), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) συνδέονται με αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, πρόωρους θανάτους και αυξημένο κοινωνικοοικονομικό κόστος.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) αποτελούν βασικό μέσο για τη μετάβαση σε πιο βιώσιμα συστήματα μεταφορών. Παρότι η

τεχνολογία τους αναπτύχθηκε ήδη από τα τέλη του 19ου αιώνα, η επικράτηση των κινητήρων εσωτερικής καύσης περιορίσε την εξάπλωσή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η αναβίωση του ενδιαφέροντος για την ηλεκτροκίνηση οφείλεται κυρίως στην ανάγκη μείωσης των εκπομπών, στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Τα ηλεκτρικά οχήματα συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών CO₂, NO_x και PM, ενώ μέσω έξυπνων τεχνολογιών φόρτισης μπορούν να υποστηρίξουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών δικτύων.

Η αγορά των EV αναπτύσσεται με ταχύ ρυθμό, με τις παγκόσμιες πωλήσεις να φτάνουν τα 17 εκατομμύρια οχήματα το 2024. Η ανάπτυξη αυτή υποστηρίζεται από κρατικές επιδοτήσεις, φορολογικά κίνητρα και πολιτικές περιορισμού των συμβατικών οχημάτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν υψηλή ενεργειακή απόδοση, χαμηλότερο κόστος συντήρησης, μειωμένο θόρυβο και βελτιωμένη οδηγική εμπειρία. Ωστόσο, εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως το υψηλό αρχικό κόστος αγοράς, η περιορισμένη αυτονομία, οι χρόνοι φόρτισης και η εξάρτηση από κρίσιμες πρώτες ύλες για την παραγωγή μπαταριών.

Η εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης βασίζεται κυρίως στις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και φόρτισης. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου κυριαρχούν λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, ενώ συνεχίζεται η έρευνα για ασφαλέστερες και αποδοτικότερες λύσεις. Παράλληλα, αναπτύσσονται διαφορετικές μέθοδοι φόρτισης, όπως η αγωγή και η επαγωγική φόρτιση.

Η περιβαλλοντική απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ενεργειακό μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής. Σε περιοχές με υψηλή συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιτυγχάνονται σημαντικές μειώσεις εκπομπών, ενώ σε περιοχές που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα τα οφέλη είναι μικρότερα. Για τον λόγο αυτό, η αποτελεσματική μετάβαση σε μεταφορές μηδενικών εκπομπών απαιτεί συνδυασμό ηλεκτροκίνησης, καθαρής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ολοκληρωμένης ανάλυσης του κύκλου ζωής των οχημάτων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση υποστηρίζει αυτή τη μετάβαση μέσω πολιτικών όπως το «Fit for 55» και ο κανονισμός Euro 7, προωθώντας τη βιώσιμη κινητικότητα και την απανθρακοποίηση των μεταφορών.

6. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Η παρούσα εργασία εξετάζει την εξέλιξη του στόλου οχημάτων στην Ελλάδα και τη συμβολή του οδικού δικτύου αυτοκινητοδρόμων στις μεταφορές και στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Ο στόλος οχημάτων αποτελεί σημαντικό δείκτη οικονομικής δραστηριότητας, κοινωνικής κινητικότητας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ACEA, ο ενεργός στόλος οχημάτων στην Ελλάδα αυξήθηκε από 6,2 εκατομμύρια οχήματα το 2015 σε 6,84 εκατομμύρια το 2024, σημειώνοντας αύξηση περίπου 10%. Τα επιβατικά αυτοκίνητα αποτελούν τη συντριπτική πλειονότητα του στόλου, ενώ ακολουθούν τα ελαφριά και βαρέα επαγγελματικά οχήματα και τα λεωφορεία.



Εικόνα 1. Ποσοστιαία Κατανομή Οχημάτων για το έτος 2024.

Βασικό χαρακτηριστικό του ελληνικού στόλου είναι η υψηλή μέση ηλικία των οχημάτων. Τα επιβατικά έχουν μέση ηλικία 17,8 έτη, ενώ τα επαγγελματικά οχήματα ξεπερνούν τα 21 έτη, γεγονός που κατατάσσει την Ελλάδα μεταξύ των χωρών με τον γηραιότερο στόλο στην Ευρώπη. Η οικονομική κρίση της περιόδου 2009–2018 προκάλεσε σημαντική μείωση στις ταξινομήσεις νέων οχημάτων, επιβραδύνοντας την ανανέωση του στόλου. Παράλληλα, η ηλικιακή κατανομή αποτυπώνει την κυριαρχία οχημάτων άνω των 10 ετών, ενώ διακρίνεται η επίδραση της οικονομικής κρίσης και της πανδημίας COVID-19 στις νέες ταξινομήσεις.

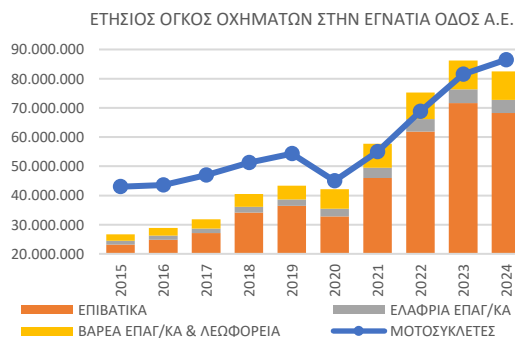
Ως προς τα καύσιμα, τα επιβατικά οχήματα κινούνται κυρίως με βενζίνη και πετρέλαιο, ενώ τα εναλλακτικά καύσιμα και η ηλεκτροκίνηση εξακολουθούν να κατέχουν μικρό ποσοστό. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξανόμενη διεύρυνση τεχνολογιών όπως τα ηλεκτρικά οχήματα (BEV), τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά (PHEV) και τα οχήματα

φυσικού αερίου (CNG), αντανakλώντας τη σταδιακή μετάβαση προς καθαρότερες μορφές μετακίνησης.

Όσον αφορά το σύγχρονο ελληνικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων, αυτό αναπτύχθηκε κυρίως μετά τη δεκαετία του 1990 μέσω μεγάλων επενδύσεων και συμβάσεων παραχώρησης. Σημαντικότεροι άξονες είναι ο Α1 (Α.Θ.Ε.), η Εγνατία Οδός (Α2), η Ιόνια Οδός (Α5), ο Ε65 (Α3), ο Μορέας (Α7), η Ολυμπία Οδός (Α8) και η Αττική Οδός (Α6). Το δίκτυο αυτό έχει βελτιώσει σημαντικά την οδική ασφάλεια, τη συνδεσιμότητα και την οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Οι εταιρείες που διαχειρίζονται τους βασικότερους αυτοκινητοδρόμους στην Ελλάδα συμμετέχουν στον φορέα HELLASTRON.

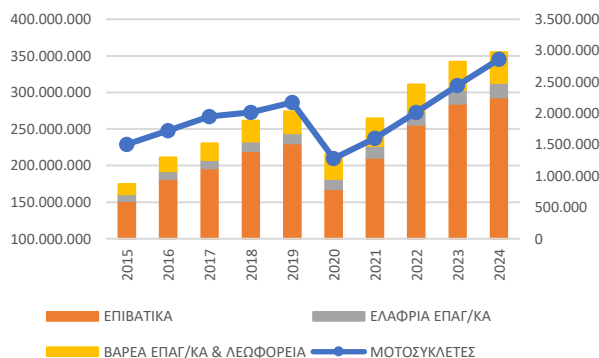
6.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Για την εκτίμηση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα: ένα για την Εγνατία Οδό και ένα για το σύνολο των αυτοκινητοδρόμων του δικτύου HELLASTRON. Τα δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου δείχνουν σημαντική αύξηση των διελεύσεων οχημάτων την περίοδο 2015–2024, με εξαίρεση τη μείωση που καταγράφηκε κατά την πανδημία. Η εποχικότητα είναι έντονη, με αυξημένη κυκλοφορία τους θερινούς μήνες λόγω τουρισμού.



Εικόνα 2. Ετήσιος Κυκλοφοριακός Φόρτος Εγνατίας Οδού ΑΕ ανά κατηγορία οχήματος για τα έτη 2015-2024 (Αριστερός κάθετος άξονας: Επιβατικά, Ελαφριά Επαγγελματικά, Βαρέα Επαγγελματικά & Λεωφορεία; Δεξιός κάθετος άξονας Μοτοσυκλέτες)

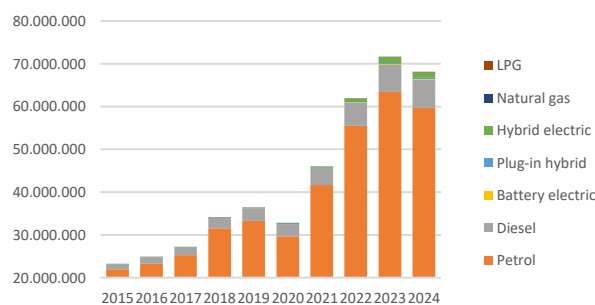
ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ HELLASTRON



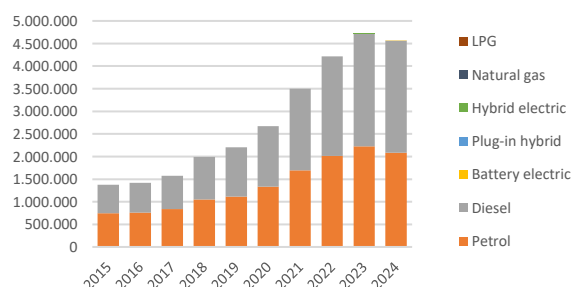
Εικόνα 3. Κυκλοφοριακός Φόρτος στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON ανά κατηγορία οχήματος τα έτη 2015 με 2024. (Αριστερός κάθετος άξονας: Επιβατικά, Ελαφριά Επαγγελματικά, Βαρέα Επαγγελματικά & Λεωφορεία; Δεξιός κάθετος άξονας Μοτοσυκλέτες)

Η εκτίμηση των εκπομπών βασίστηκε στη μεθοδολογία Βαθμίδας 3 (Tier 3) του οδηγού ΕΜΕΡ/ΕΕΑ και στην εφαρμογή COPERT, η οποία υπολογίζει τόσο τις εκπομπές καυσαερίων όσο και τις εκπομπές από φθορά ελαστικών, φρένων και οδοστρώματος. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία στόλου, τύπου καυσίμου, κυκλοφοριακής δραστηριότητας, ταχυτήτων, και κλιματικών δεδομένων από την ΕΜΥ, με στόχο την αξιόπιστη αποτύπωση της τάσης των εκπομπών στους ελληνικούς αυτοκινητοδρόμους.

ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

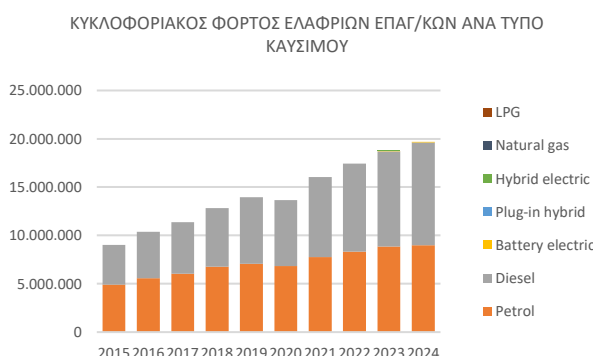


ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΕΛΑΦΡΙΩΝ ΕΠΑΓ/ΚΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ





Εικόνα 4. Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά κατηγορία οχήματος και ανά τύπο καυσίμου στην Εγνατία Οδό για τα έτη 2015 με 2024.



Εικόνα 5. Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά κατηγορία οχήματος και ανά τύπο καυσίμου στους αυτοκινητοδρόμους της HELLASTRON για τα έτη 2015 με 2024.

6.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΞΟΔΟΥ

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μοντέλου COPERT, στο οποίο δημιουργήθηκαν αρχεία εισόδου για κάθε έτος της περιόδου 2015–

2024. Συνολικά αναπτύχθηκαν 10 αρχεία για την Εγνατία Οδό και 10 για το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON. Για κάθε έτος αναφοράς, το μοντέλο παρήγαγε 14 αρχεία εξόδου, εκ των οποίων τα 13 αφορούν εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων (CO, CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, NO, NO₂, NH₃, VOC, NMVOC, PM_{2.5}, PM₁₀ και SO₂) και το ένα την ενεργειακή κατανάλωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για την Εγνατία Οδό και για το σύνολο των ελληνικών αυτοκινητοδρόμων που εκπροσωπείται από το δίκτυο της HELLASTRON.

Τα αποτελέσματα για την Εγνατία Οδό καταδεικνύουν έντονα αυξητική τάση τόσο στην ενεργειακή κατανάλωση όσο και στις εκπομπές όλων των εξεταζόμενων ρύπων κατά την περίοδο 2015–2024. Η ενεργειακή κατανάλωση αυξήθηκε κατά 238% στα επιβατικά οχήματα, 279% στα ελαφρά επαγγελματικά, 450% στα βαρέα επαγγελματικά, 413% στα λεωφορεία και 239% στις μοτοσυκλέτες. Η σημαντική αυτή μεταβολή αποδίδεται κυρίως στην αύξηση της κινητικότητας των οχημάτων, στην επέκταση του λειτουργικού μήκους του αυτοκινητοδρόμου, αλλά και στη βελτίωση της καταγραφής του κυκλοφοριακού φόρτου σε σύγκριση με τα παλαιότερα έτη.

Παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στις εκπομπές ρύπων. Οι εκπομπές μεθανίου (CH₄) αυξήθηκαν έως και 465% στα βαρέα οχήματα, ενώ το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) κατέγραψε αυξήσεις που έφθασαν το 398%. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αυξήθηκαν έως 442%, ενώ ιδιαίτερα υψηλές ήταν οι μεταβολές στο υποξείδιο του αζώτου (N₂O), με μέγιστη αύξηση 790% στα βαρέα επαγγελματικά οχήματα και 709% στα λεωφορεία. Αντίστοιχα, οι εκπομπές αμμωνίας (NH₃) παρουσίασαν αυξήσεις έως 698%, ενώ οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), μονοξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO₂) αυξήθηκαν σημαντικά σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων. Τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2.5} κατέγραψαν αυξήσεις άνω του 400% στα βαρέα οχήματα και στα λεωφορεία, ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) και πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) ακολούθησαν αντίστοιχη ανοδική πορεία.

Στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON παρατηρείται επίσης αυξητική τάση, αλλά με σαφώς ηπιότερους ρυθμούς σε σύγκριση με την Εγνατία Οδό. Η ενεργειακή κατανάλωση αυξήθηκε κατά 108% στα επιβατικά, 133% στα ελαφρά επαγγελματικά, 238% στα βαρέα επαγγελματικά, 216% στα λεωφορεία και 109% στις μοτοσυκλέτες. Αντίστοιχες αυξήσεις καταγράφηκαν και στις εκπομπές των περισσότερων ρύπων, με τα βαρέα

οχήματα και τα λεωφορεία να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές. Ιδιαίτερα το N_2O και η NH_3 παρουσίασαν τις υψηλότερες ποσοστιαίες αυξήσεις, ενώ τα σωματίδια PM_{10} και $PM_{2.5}$ αυξήθηκαν έως περίπου 214% και 210% αντίστοιχα. Συνολικά, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη διαχρονική αύξηση της κυκλοφορίας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στους ελληνικούς αυτοκινητοδρόμους, με την Εγνατία Οδό να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ένταση μεταβολών.

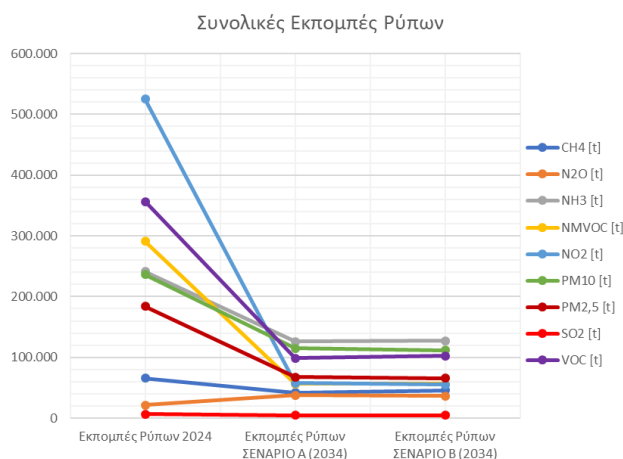
7. ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕΣΩ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ

Στο πλαίσιο της εργασίας αναπτύχθηκαν δύο υποθετικά σενάρια για το έτος αναφοράς 2024 στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON. Στο Σενάριο Α μειώθηκε κατά 20% η χρήση βενζίνης και πετρελαίου, ενώ στο Σενάριο Β η μείωση ανήλθε σε 25%. Το ποσοστό αυτό μεταφέρθηκε σε ηλεκτρικά οχήματα (BEV), plug-in υβριδικά (PHEV), υβριδικά, καθώς και σε οχήματα φυσικού αερίου (CNG και LNG), ανάλογα με την κατηγορία οχήματος. Παράλληλα, υιοθετήθηκε νεότερη ηλικιακή κατανομή στόλου με αυξημένη συμμετοχή οχημάτων προδιαγραφών Euro 7, διατηρώντας σταθερό τον κυκλοφοριακό φόρτο.

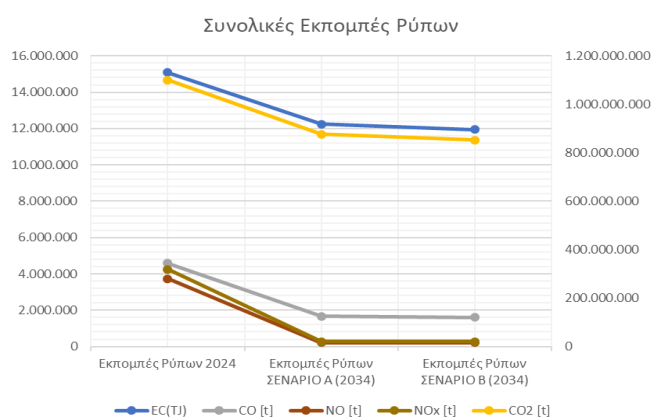
Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των περισσότερων ατμοσφαιρικών ρύπων. Στα επιβατικά οχήματα η ενεργειακή κατανάλωση και οι εκπομπές CO_2 μειώθηκαν κατά 20–22%, ενώ στα ελαφρά επαγγελματικά η μείωση έφτασε το 36–40%. Ιδιαίτερα μεγάλες μειώσεις καταγράφηκαν στα οξείδια του αζώτου (NO , NO_2 και NO_x), στις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC και NMVOC), στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} και $PM_{2.5}$. Στα λεωφορεία οι μειώσεις ξεπέρασαν σε αρκετές περιπτώσεις το 90%, κυρίως λόγω της αυξημένης συμμετοχής ηλεκτρικών οχημάτων.

Ωστόσο, στα βαρέα επαγγελματικά οχήματα και σε ελάχιστες περιπτώσεις στα λεωφορεία παρατηρήθηκαν αυξήσεις στις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου (N_2O) και αμμωνίας (NH_3), γεγονός που αποδίδεται στη μεγαλύτερη χρήση οχημάτων φυσικού αερίου και στις ιδιαιτερότητες των τεχνολογιών αυτών. Συνολικά, τα δύο σενάρια επιβεβαιώνουν ότι η αντικατάσταση συμβατικών καυσίμων από ηλεκτροκίνηση και εναλλακτικά καύσιμα μπορεί να μειώσει ουσιαστικά την ενεργειακή κατανάλωση και τις περισσότερες

εκπομπές ρύπων, συμβάλλοντας σημαντικά στην επίτευξη των στόχων απανθρακοποίησης των οδικών μεταφορών.



Εικόνα 6. Συνολικές Εκπομπές Ρύπων βάσει έτος αναφοράς 2024 και σεναρίων Α και Β.



Εικόνα 7. Συνολικές Εκπομπές Ρύπων βάσει έτος αναφοράς 2024 και σεναρίων Α και Β (Αριστερός κάθετος άξονας: EC [TJ], CO [t], NO [t], NOx [t]; Δεξιός κάθετος άξονας: CO2 [t])

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα μελέτη αξιοποίησε το μοντέλο COPERT και δεδομένα της περιόδου 2015–2024 για την ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων στις οδικές μεταφορές. Τα αποτελέσματα για την Εγνατία Οδό και το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON ανέδειξαν σημαντική αύξηση τόσο της κατανάλωσης ενέργειας όσο και των εκπομπών, γεγονός που συνδέεται με την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου και την ανάπτυξη των οδικών υποδομών. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις καταγράφηκαν στα βαρέα επαγγελματικά οχήματα και στα λεωφορεία, επιβεβαιώνοντας τη σημαντική

συμβολή τους στο συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα του τομέα.

Η αξιολόγηση των σεναρίων ενεργειακής μετάβασης έδειξε ότι η ανανέωση του στόλου, η υιοθέτηση αυστηρότερων προτύπων εκπομπών και η χρήση εναλλακτικών καυσίμων μπορούν να μειώσουν σημαντικά πολλούς ρύπους, ιδιαίτερα τα οξείδια του αζώτου και τις πτητικές οργανικές ενώσεις. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν αυξήσεις σε ρύπους όπως το υποξείδιο του αζώτου και η αμμωνία, γεγονός που αναδεικνύει την πολυπλοκότητα της ενεργειακής μετάβασης και την ανάγκη συνολικής αξιολόγησης των τεχνολογικών επιλογών.

Η μελέτη παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, καθώς βασίζεται σε παραδοχές του μοντέλου COPERT και επικεντρώνεται αποκλειστικά στις εκπομπές από την κυκλοφορία σε αυτοκινητοδρόμους. Δεν εξετάζονται οι εκπομπές ψυχρής εκκίνησης, οι συνθήκες αστικού ή επαρχιακού δικτύου, ούτε το πλήρες περιβαλλοντικό αποτύπωμα των τεχνολογιών μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής. Επιπλέον, δεν αξιολογήθηκαν εξωτερικοί παράγοντες όπως οι οικονομικές μεταβολές ή οι αλλαγές στη ζήτηση μεταφορών.

Για μελλοντική έρευνα προτείνεται η ανάπτυξη μακροπρόθεσμων σεναρίων έως το 2050, η εφαρμογή μεθοδολογιών Life Cycle Assessment, η αξιοποίηση δεδομένων υψηλής ανάλυσης και η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας συγκεκριμένων πολιτικών μεταφορών. Τα αποτελέσματα της εργασίας μπορούν να υποστηρίξουν τον σχεδιασμό τεκμηριωμένων πολιτικών για τη μείωση των εκπομπών, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης και κλιματικής ουδετερότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ACEA (2026). Vehicles on European Roads 2026. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium.

<https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-on-european-roads-2026/>

EEA (2025) Emissions of air pollutants from transport in Europe. *European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/emissions-of-air-pollutants-from>

EMEP/EEA (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. Technical guidance to prepare national emission inventories. *European Environment Agency*. Copenhagen.

Denmark.

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023/emep-eea-guidebook-2023-status>

EPA (2025). Basics of Climate Change. *Environmental Protection Agency*.

<https://www.epa.gov/climatechange-science/basics-climate-change#othergases> last accessed 07/12/2025.

HELLASTRON (2026). Μέλη. *HELLENIC ASSOCIATION of TOLL ROAD NETWORK*.

<https://www.hellastron.com/members>

UNECE (2013). *Climate change impacts and adaptation for international transport networks: Expert group report*. United Nations Economic Commission for Europe.

https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate_change_2014.pdf

EEA (2025) Greenhouse gas emissions from transport in Europe [Greenhouse gas emissions from transport in Europe | Indicators | European Environment Agency \(EEA\)](#)

Jaramillo, P., S. Kahn Ribeiro, P. Newman, S. Dhar, O.E. Diemuodeke, T. Kajino, D.S. Lee, S.B. Nugroho, X. Ou, A. Hammer Strømman, J. Whitehead, (2022). Transport. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.012>

Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404. <https://doi.org/10.3390/smartcities401002>

1. Εισαγωγή

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή συνιστούν ένα σύνθετο και πολυδιάστατο φαινόμενο, το οποίο επηρεάζει ολόένα και περισσότερο τα φυσικά οικοσυστήματα, τις κοινωνίες και τις οικονομικές δραστηριότητες σε παγκόσμιο επίπεδο. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η επιστημονική κοινότητα έχει τεκμηριώσει με αυξανόμενη σαφήνεια ότι οι μεταβολές που παρατηρούνται στο κλίμα δεν αποτελούν απλώς φυσικές διακυμάνσεις, αλλά συνδέονται άμεσα με την εντατικοποίηση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, κυρίως μέσω της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την κλιματική αλλαγή, καθώς και των συνεπειών της, αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για τη διαμόρφωση αποτελεσματικών πολιτικών μετριασμού και προσαρμογής (UNECE, 2013; Arias et al., 2021; Seneviratne et al., 2021).

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, μιας φυσικής διαδικασίας που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη, αλλά η οποία έχει διαταραχθεί λόγω της αύξησης των συγκεντρώσεων συγκεκριμένων αερίων στην ατμόσφαιρα. Η καύση ορυκτών καυσίμων, η βιομηχανική παραγωγή, οι μεταφορές και η γεωργία αποτελούν τις κύριες πηγές αυτών των εκπομπών, με το διοξείδιο του άνθρακα να διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο λόγω της μεγάλης διάρκειας παραμονής του στην ατμόσφαιρα και των μεγάλων ποσοτήτων που εκπέμπονται. Η συνεχής αύξηση των συγκεντρώσεων αυτών των αερίων έχει οδηγήσει σε σημαντική ενεργειακή ανισορροπία στο κλιματικό σύστημα, με αποτέλεσμα την αποθήκευση θερμότητας κυρίως στους ωκεανούς και την ατμόσφαιρα (UNECE, 2013; EPA, 2025; IPCC, 2022).

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει ο τομέας των μεταφορών, ο οποίος αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους παράγοντες εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις ανθρώπων και εμπορευμάτων, σε συνδυασμό με την εξάρτηση από κινητήρες εσωτερικής καύσης και ορυκτά καύσιμα, έχει οδηγήσει σε σημαντική επιβάρυνση τόσο του κλίματος όσο και της ποιότητας του αέρα. Πέρα από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι μεταφορές συμβάλλουν και στην εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων που έχουν άμεσες επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, καθιστώντας τον τομέα αυτό κρίσιμο πεδίο παρέμβασης για την επίτευξη περιβαλλοντικών και υγειονομικών στόχων (EEA, 2025a; UNECE, 2011; Jaramillo et al., 2022).

Η αντιμετώπιση των εκπομπών από τις οδικές μεταφορές αποτελεί βασική προτεραιότητα για την επίτευξη των διεθνών και ευρωπαϊκών κλιματικών στόχων. Οι πολιτικές που εφαρμόζονται επικεντρώνονται τόσο στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όσο και στον περιορισμό των ατμοσφαιρικών ρύπων, μέσω της θέσπισης αυστηρότερων προτύπων εκπομπών, της προώθησης καθαρότερων τεχνολογιών και της ενίσχυσης των βιώσιμων μορφών μετακίνησης. Η μετάβαση προς την ηλεκτροκίνηση, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και η ανάπτυξη αποδοτικότερων συστημάτων μεταφορών αποτελούν βασικούς άξονες αυτής της στρατηγικής.

Παρά τις σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, η μείωση των εκπομπών στον τομέα των οδικών μεταφορών παραμένει πρόκληση, καθώς η αυξανόμενη ζήτηση για μετακινήσεις συχνά αντισταθμίζει τα οφέλη από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Ως εκ τούτου, απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που να συνδυάζει την τεχνολογική καινοτομία με την αλλαγή των προτύπων κινητικότητας και την ενίσχυση των δημόσιων συγκοινωνιών.

Συνοψίζοντας, οι οδικές μεταφορές αποτελούν έναν από τους βασικούς πυλώνες της σύγχρονης οικονομίας, αλλά ταυτόχρονα συνιστούν σημαντική πηγή περιβαλλοντικών πιέσεων. Η συμβολή τους τόσο στην κλιματική αλλαγή όσο και στην ατμοσφαιρική ρύπανση καθιστά αναγκαία την εις βάθος ανάλυση και την υιοθέτηση στοχευμένων μέτρων. Η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ εκπομπών, ποιότητας αέρα και κλιματικών μεταβολών αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τη διαμόρφωση ενός βιώσιμου και υγιούς περιβάλλοντος.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και η ποσοτική αξιολόγηση της εξέλιξης της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων που προέρχονται από την κυκλοφορία οχημάτων στους βασικούς αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας για την περίοδο 2015–2024. Η ανάλυση πραγματοποιείται με την εφαρμογή του μοντέλου COPERT και την επεξεργασία χρονοσειρών, προκειμένου να αποτυπωθούν οι διαχρονικές τάσεις των εκπομπών και της κατανάλωσης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη της τεχνολογίας των οχημάτων, τις μεταβολές στη σύνθεση των καυσίμων, την ανανέωση του στόλου, τα ευρωπαϊκά πρότυπα και τις μεταβολές στο θεσμικό και κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο που επηρεάζουν τον τομέα των οδικών μεταφορών.

Παράλληλα, η εργασία προχωρά στη συγκριτική αξιολόγηση της Εγνατίας Οδού και του δικτύου αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON, αναδεικνύοντας τις διαφοροποιήσεις στην

ενεργειακή κατανάλωση και στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Επιπλέον, εξετάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια μείωσης των εκπομπών μέσω της διείσδυσης εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών, με στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των αντίστοιχων παρεμβάσεων και της συμβολής τους στη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο σύστημα μεταφορών.

Η συνεισφορά της εργασίας έγκειται στην ολοκληρωμένη ποσοτική αποτίμηση της εξέλιξης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και της ενεργειακής κατανάλωσης στο ελληνικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων, καθώς και στην τεκμηριωμένη αξιολόγηση των επιπτώσεων της τεχνολογικής προόδου, της ανανέωσης του στόλου και της υιοθέτησης εναλλακτικών καυσίμων. Μέσω της εφαρμογής ενός αναγνωρισμένου ευρωπαϊκού μοντέλου εκπομπών και της ανάλυσης εναλλακτικών σεναρίων, η εργασία παρέχει επιστημονικά δεδομένα που μπορούν να υποστηρίξουν τον σχεδιασμό και την εφαρμογή αποτελεσματικών πολιτικών βιώσιμων μεταφορών, ενεργειακής μετάβασης και περιβαλλοντικής διαχείρισης στην Ελλάδα.

2. Υπερθέρμανση του Πλανήτη και Κλιματική Αλλαγή

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή είναι από τις πιο επείγουσες περιβαλλοντικές προκλήσεις του 21ου αιώνα. Η υπερθέρμανση του πλανήτη αναφέρεται στις αλλαγές της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας σε σχέση με τα έτη 1850 με 1900 και διαχωρίζεται σε επίπεδα αναλόγως τα σενάρια RCP και SSP. Η κλιματική αλλαγή από την άλλη παρουσιάζεται ως οι αλλαγές στο κλίμα που προέρχονται από τις διακυμάνσεις των ηλιακών κύκλων, των ηφαιστειακών εκρήξεων και των άμεσων ή έμμεσων ανθρώπινων δραστηριοτήτων (IPCC, 2022). Τα σενάρια RCP αποτελούν μελλοντικά μοντέλα πιθανοτήτων σχετικά με τις πορείες συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου και των συνεπειών τους στο κλίμα. Τα σενάρια είναι τα RCP 2.6, 4.5, 6.0 και 8.5 αναλόγως τα διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολικής δύναμης (ενεργειακή ανισορροπία) έως το 2100, με το RCP 2.6 να αντιπροσωπεύει ισχυρό μετριασμό και χαμηλή αύξηση της θερμοκρασίας και το RCP 8.5 να οδηγεί σε υψηλές εκπομπές και αύξηση της θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, τα σενάρια SSP περιγράφουν μελλοντικά πιθανά σενάρια σχετικά με το μέλλον της παγκόσμιας κοινωνίας και οικονομίας και πως επηρεάζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Τα SSP συνδυάζονται με τα RCP για την καλύτερη εκτίμηση των στόχων μετριασμού προς μια βιώσιμη πορεία (Arias et al., 2021; IPCC, 2014).

Οι συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη στο κλίμα ήδη λαμβάνουν χώρα ανεξαρτήτως από τις προσπάθειες μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη έχει οδηγήσει ήδη στην εντατικοποίηση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως καύσωνες, ξηρασία, αύξηση των βροχοπτώσεων, πλημμύρες και άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το κλίμα επηρεάζεται από τη δυναμική της θερμότητας στη θάλασσα, τη στεριά και την ατμόσφαιρα, με σημαντική αποθήκευση θερμότητας να λαμβάνει χώρα στους ωκεανούς (UNECE, 2013; Arias et al., 2021; Senaviratne et al., 2021). Η θέρμανση των ωκεανών κυμάνθηκε σε ρυθμό 0,64 W m⁻² μεταξύ 1993 και 2008, με τα επιφανειακά νερά να παρουσιάζουν τη σημαντικότερη αύξηση της θερμοκρασίας, με μέσο όρο 0,11 °C ανά δεκαετία μεταξύ 1971 και 2010. Οι θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας αναμένεται να αυξηθούν κατά 1,0 έως 3,7 °C μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα στα ήπια σενάρια, με μια μέση εκτίμηση αύξησης 1,0 (RCP2.6) έως 2,0 °C (RCP8.5) για την περίοδο 2046-2065 σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005, και ένα ευρύτερο φάσμα από 0,3 έως 4,8 °C αναλόγως της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (UNECE, 2013; IPCC, 2014).

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής δεν είναι ομοιόμορφες όμως. Οι πολικές περιοχές φαίνεται να βιώνουν μεγαλύτερες αυξήσεις θερμοκρασίας από τον ισημερινό, ενώ οι μετρήσεις βροχοπτώσεων ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των περιοχών. Μέχρι το 2029, η Μεσόγειος ενδέχεται να σημειώσει μείωση των βροχοπτώσεων κατά 25% σε σύγκριση με τα επίπεδα της περιόδου 1990-1999 (UNECE, 2013; Douville et al., 2021). Οι αλλαγές στο μέσο κλίμα αναμένεται να επηρεάσουν τη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων ακόμα περισσότερο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πρωτόγνωρων συνθηκών. Ακραία φαινόμενα όπως καταιγίδες, πλημμύρες, ξηρασίες και καύσωνες μπορούν να έχουν πιο σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τις κοινωνίες, οι οποίες συχνά δεν είναι προετοιμασμένες για τέτοιες μεταβλητότητες (Arias et al., 2021;). Τα στοιχεία δείχνουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του κλίματος μπορεί να εντείνει τη ένταση και τη συχνότητα των καταιγίδων, με ακόμη και μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας των ωκεανών να ενισχύουν σημαντικά τη σοβαρότητα των κυκλώνων. Οι παράκτιες περιοχές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε αυτά τα ακραία φαινόμενα, αντιμετωπίζοντας αυξημένους κινδύνους πλημμύρας από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τις καταιγίδες (UNECE, 2013; Seneviratne et al., 2021; Kundzewicz, 2015).

Μια αξιοσημείωτη τάση είναι η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ισχυρών βροχοπτώσεων, που συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση των συνολικών βροχοπτώσεων τα τελευταία 50 χρόνια. Τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί, με έντονες βροχοπτώσεις να λαμβάνουν χώρα κάθε 4-15 χρόνια έως το 2100, αναλόγως την τοποθεσία. Επιπλέον, οι έντονες βροχοπτώσεις ενδέχεται να αυξηθούν ακόμη και σε περιοχές με μείωση των συνολικών βροχοπτώσεων (UNECE, 2013; Seneviratne et al., 2021). Αισθητή αύξηση στις ετήσιες βροχοπτώσεις παρατηρείται ήδη όμως στα βόρεια υψηλά γεωγραφικά πλάτη και συνδέεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι επικρατούσες εθνικές εκτιμήσεις δείχνουν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει αυξητικά τη διαφορά στις μέσες βροχοπτώσεις μεταξύ των υγρών τροπικών και των ξηρών υποτροπικών περιοχών (Douville et al., 2021). Οι πλημμύρες, που επηρεάζονται τόσο από υδρολογικούς όσο και από κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, επιδεινώνονται από την ανθρώπινη ανάπτυξη που αλλοιώνει τις φυσικές ροές των υδάτων (Douville et al., 2021; Kundzewicz, 2015). Στην Ανατολική Ευρώπη, οι κίνδυνοι πλημμύρας είναι σημαντικοί, ειδικά για σπάνια φαινόμενα (1 στα 100 χρόνια). Μελέτες δείχνουν αύξηση των ετήσιων απορροών νερού στη Βόρεια Ευρώπη και μείωση στη Νότια, τάσεις που προβλέπεται να συνεχιστούν με

την αλλαγή στην ένταση των βροχοπτώσεων, ειδικά εκείνων που οδηγούν σε ξαφνικές πλημμύρες (UNECE, 2013; Douville et al., 2021).

Οι κατολισθήσεις και οι χιονοστιβάδες σε ορεινές περιοχές αναμένεται επίσης να αυξηθούν λόγω των ισχυρότερων βροχοπτώσεων, ενώ οι ζημιές από πλημμύρες στην Ευρώπη θα αυξηθούν σημαντικά περισσότερο στο βορρά μέχρι το τέλος του αιώνα. Προβλέπεται επίσης αύξηση της συχνότητας και της έντασης των καυσώνων, όπως αποδεικνύουν οι προσομοιώσεις των μελλοντικών κλιματικών μοντέλων. Είναι εμφανές ότι από τη δεκαετία του 1950 και έπειτα, υπάρχει αξιοσημείωτη συνολική μείωση στις ασυνήθιστα κρύες ημέρες και αύξηση των θερμών ημερών σε παγκόσμιο επίπεδο (UNECE, 2013; Seneviratne et al., 2021).

3. Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Τα στοιχεία για την αύξηση των θερμοκρασιών τις τελευταίες δεκαετίες δείχνουν ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη, οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο αποτελεί ένα διαρκές πρόβλημα. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική και απαραίτητη διαδικασία, κατά την οποία ορισμένα αέρια στην ατμόσφαιρα της Γης — γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου — παγιδεύουν ένα μέρος της ηλιακής ενέργειας που ανακλάται πάνω στην επιφάνεια της Γης (Senewiratne et al., 2021). Αυτή η θερμότητα παγιδεύεται στους ωκεανούς, τη γη και την ατμόσφαιρα και θερμαίνει τον πλανήτη καθιστώντας τον κατοικήσιμο. Χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία της Γης θα βρισκόταν περίπου στους -18°C , θερμοκρασία πολύ χαμηλή για να υποστηρίξει τα οικοσυστήματα που υπάρχουν σήμερα. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες κατά τον τελευταίο ενάμιση αιώνα έχουν ενισχύσει σημαντικά αυτό το φαινόμενο, προκαλώντας την υπερθέρμανση του πλανήτη με πρωτοφανή ρυθμό. Παρά τις παγκόσμιες προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τα επιστημονικά ευρήματα υποδηλώνουν ότι, αν και η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να επιβραδυνθεί, δεν μπορεί να αναστραφεί πλήρως.

Τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και το τροποσφαιρικό όζον (O_3). Εκτός από αυτά όμως υπάρχουν και τα ανθρωπογενή αέρια του θερμοκηπίου, όπως είναι οι υδροφθοράνθρακες (HFC), οι υπερφθοράνθρακες (PFC), οι χλωροφθοράνθρακες (CFC), το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) και το τριφθοριούχο νάτριο (NF_3), αέρια που καταστρέφουν το όζον και ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Από αυτά, όλα εκτός από τους υδρατμούς και το όζον, θεωρούνται ότι συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη άμεσα και συνεπώς πρέπει να μειωθούν ή να μετριαστούν. Μεταξύ αυτών, το διοξείδιο του άνθρακα είναι το πιο σημαντικό λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής του στην ατμόσφαιρα και των τεράστιων ποσοτήτων που εκπέμπονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτά τα αέρια απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την ανακλούν πίσω προς τον πλανήτη, συμβάλλοντας στη συνολική τάση θέρμανσης του. Ενώ ο φυσικός μηχανισμός είναι καλά κατανοητός και αναγνωρίζεται για περισσότερο από έναν αιώνα, η ραγδαία αύξηση των συγκεντρώσεων μερικών από αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα από την εποχή της

βιομηχανικής επανάστασης και μετά συνδέεται άμεσα με την ανθρώπινη συμπεριφορά (UNECE, 2013; Eurostat, 2025; EPA, 2025; IPCC, 2022).

Οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν σημαντικά την ένταση του φαινομένου. Οι υδρατμοί είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα αέρια του θερμοκηπίου καθώς παίζουν καθοριστικό ρόλο στο «φυσικό» φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν έχουν αλλάξει σημαντικά τις καθαρές ροές υδρατμών προς και από την ατμόσφαιρα, η αποψίλωση των δασών και τα μεγάλα αρδευτικά έργα έχουν πιθανώς επηρεάσει αυτές τις ροές. Ωστόσο, η ικανότητα της ατμόσφαιρας να συγκρατεί υδρατμούς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία. Γενικά τα επίπεδα υδρατμών στην ατμόσφαιρα ρυθμίζονται από τη θερμοκρασία της Γης. Καθώς οι παγκόσμιες θερμοκρασίες αυξάνονται, αυξάνεται και η ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα, η οποία όχι μόνο ακολουθεί αλλά και επιδεινώνει τις αλλαγές θερμοκρασίας που προκαλούνται από άλλους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης των επιπέδων άλλων αερίων του θερμοκηπίου (UNECE, 2013; Seneviratne et al., 2021; EPA, 2025).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων CO₂, CH₄ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, κυρίως λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Καταγραφές πυρήνων πάγου και ιζημάτων δείχνουν ότι οι τρέχουσες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου είναι οι υψηλότερες που έχουν καταγραφεί τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια. Ταυτόχρονα, υπάρχουν όλο και περισσότερες ενδείξεις για τη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου και του κλίματος (UNECE, 2013). Η μείωση των εκπομπών αερίων είναι απαραίτητη για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Ενώ οι παγκόσμιες ανησυχίες επικεντρώνονται κυρίως στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες υπόκεινται σε διεθνείς συμφωνίες και φορολογία, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου (SO_x) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), ρυθμίζονται από τοπικούς κανονισμούς. Αυτοί οι ρύποι έχουν άμεσες επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, ενώ οδηγούν και στη δημιουργία δευτερογενούς ρύπανσης, όπως το όζον (O₃) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5} & PM₁₀). Οι αποτελεσματικές πρωτοβουλίες για την προστασία του περιβάλλοντος πρέπει να υιοθετήσουν μια ολιστική προσέγγιση αντί να επιλέγουν μεταξύ καθαρού αέρα και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Παραδοσιακά, οι δείκτες περιβαλλοντικής βιωσιμότητας έχουν υπεραπλουστεύσει το ζήτημα εστιάζοντας κυρίως στις εκπομπές CO₂ ή στο αποτύπωμα άνθρακα (Fan et al., 2018; Karri et al., 2024).

4. Οδικές Μεταφορές & Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η κατανόηση των πηγών των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της μείωσης τους. Η ενέργεια και η βιομηχανία, οι μεταφορές και οι κατασκευές είναι κάποιοι από τους κυριότερους συντελεστές των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα στοιχεία δείχνουν ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2005 από τον κλάδο των μεταφορών είχαν ανέλθει σε 784 MtCO₂e και είχαν ξεπεράσει τις αντίστοιχες εκπομπές από τον κλάδο της ενέργειας και της βιομηχανίας (165 MtCO₂e) και τον κλάδο των κατασκευών (564 MtCO₂e) (EEA,2025b). Οι εκπομπές μεθανίου (CH₄) προήλθαν κυρίως από συστήματα φυσικού αερίου και πετρελαίου (31%), ενώ οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου (N₂O) δημιουργούνται κυρίως από τη γεωργία και τη διαχείριση του εδάφους (75%). Άνω του 60% των εκπομπών CH₄ και το 40% των εκπομπών N₂O αποδίδονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (Fan et al., 2018). Το CO₂ ευθύνεται για το 76% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με τους τομείς της ηλεκτρικής ενέργειας και των μεταφορών να εντοπίζονται ως οι κύριες πηγές. Τα αέρια του θερμοκηπίου μετριούνται χρησιμοποιώντας τη μονάδα μέτρησης «ισοδύναμο CO₂ (CO₂eq)» με την οποία μετατρέπονται οι εκπομπές τους σε ίση ποσότητα CO₂ με το ίδιο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη. Χρησιμοποιούνται συνήθως για να περιγράψουν τη συμβολή των αερίων στην κλιματική αλλαγή, ενώ για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους δεν υπάρχει ένας ενιαίος όρος λόγω της πολυπλοκότητας και της ποικιλίας τους (Eurostat, 2020; Fan et al., 2018).

Η κύρια αιτία της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, κυρίως για ενεργειακές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Μεταξύ όλων των τομέων, όμως, οι μεταφορές έχουν καταστεί ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους παράγοντες που συμβάλλουν στις εκπομπές. Στην ΕΕ αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (EEA,2025a). Σήμερα, αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό μερίδιο της παγκόσμιας παραγωγής CO₂, κυρίως λόγω της ευρείας χρήσης κινητήρων εσωτερικής καύσης σε αυτοκίνητα, φορτηγά, πλοία και αεροπλάνα. Οι οδικές μεταφορές είναι μακράν η μεγαλύτερη πηγή εντός του τομέα, υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών που σχετίζονται με τις μεταφορές σε σχέση με τις ναυτιλιακές και τις αεροπορικές. Το 2023 οι εκπομπές των οδικών μεταφορών στην ΕΕ ανήλθαν στο 73% του συνόλου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές (EEA,2025a). Η αύξηση της παγκόσμιας ιδιοκτησίας οχημάτων, η αστικοποίηση, η επέκταση

των δικτύων logistics και η αυξανόμενη ζήτηση για αεροπορικές μεταφορές έχουν συμβάλει στην ανοδική πορεία των εκπομπών από τον κλάδο των μεταφορών. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίοι καταναλώνουν βενζίνη ή ντίζελ, εκλύουν CO₂ ως υποπροϊόν της καύσης καυσίμων. Εκτός από το CO₂, οι μεταφορές εκπέμπουν επίσης οξείδια του αζώτου και σωματίδια, τα οποία όχι μόνο συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή, αλλά επηρεάζουν επίσης την ποιότητα του αέρα και τη δημόσια υγεία. Οι αεροπορικές και ναυτιλιακές μεταφορές εξαρτώνται επίσης σε μεγάλο βαθμό από καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Με την επέκταση του παγκόσμιου εμπορίου και την αύξηση των επιβατικών μετακινήσεων, οι τομείς αυτοί αναμένεται να αναπτυχθούν, εκτός εάν συμβούν σημαντικές τεχνολογικές και πολιτικές αλλαγές (UNECE, 2011; Jaramillo et al., 2022).

Πολλά από τα πιο δημοφιλή μέσα μεταφοράς εξαρτώνται από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και συνεπώς από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες, εκτός από την άμεση μείωση των φυσικών πόρων, σχετίζονται επίσης με την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και επιβλαβών ρύπων. Η καύση ορυκτών καυσίμων συνεπώς επηρεάζει σημαντικά τη βιωσιμότητα λόγω των αυξανόμενων εκπομπών από τις μεταφορές. Αν και το CO₂ δεν είναι ατμοσφαιρικός ρύπος, αλλά αέριο του θερμοκηπίου, συμβάλλει σημαντικά στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στην κλιματική αλλαγή (UNECE, 2011). Στην Ευρώπη, οι εκπομπές CO₂ στις μεταφορές αυξήθηκαν από 661,98 MtCO₂e το 1990 σε 785,74 MtCO₂e, σημειώνοντας αύξηση 18,70%(EEA, 2025c). Αντίστοιχα, οι συνολικές εκπομπές αερίων στον ίδιο κλάδο αυξήθηκαν από 674 MtCO₂e το 1990 σε 794 MtCO₂e (EEA, 2025a). Ορισμένες χώρες της Δυτικής Ευρώπης κατάφεραν να μειώσουν τις κατά κεφαλήν εκπομπές τη δεκαετία 1998-2008. Το 2008, όμως, οι οδικές μεταφορές κατέληξαν να αντιπροσώπευαν το 85% των εκπομπών CO₂ που σχετίζονταν με τον τομέα, με αξιοσημείωτη αύξηση 23% στις εκπομπές από το 1990 έως το 2008. Αυτή η αύξηση σημειώθηκε παρά τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα των οχημάτων και τις τεχνολογικές εξελίξεις που αποσκοπούσαν στη μείωση των εκπομπών, κυρίως λόγω της αυξανόμενης ζήτησης μεταφορών (UNECE, 2011).

Τα δίκτυα μεταφορών είναι ζωτικής σημασίας για τις εφοδιαστικές αλυσίδες και τις εθνικές οικονομίες. Ο τομέας των μεταφορών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων, φτάνοντας να αντιπροσωπεύει το 27,33% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ το 2023. Από το 1990 μέχρι το 2023 παρουσιάζεται αύξηση κατά 17,85% στις συνολικές εκπομπές ΑΘ στις μεταφορές (EEA, 2025c). Οι μεταφορές συμβάλλουν άμεσα στις εκπομπές επιβλαβών ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι πιο σημαντικοί ρύποι,

όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου (SO_x), οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και το όζον (O₃). Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) αποτελεί ένα άοσμο και άχρωμο αέριο που δημιουργείται από την ατελή καύση ορυκτών καυσίμων. Στις οδικές μεταφορές προέρχεται κυρίως από τους πετρελαιοκινητήρες. Το CO δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη στο αίμα και μειώνει την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο θέτει σε σοβαρό κίνδυνο την υγεία ατόμων με καρδιακές παθήσεις, αφού προκαλεί πονοκεφάλους, κούραση, ζάλη και μειωμένη γνωστική λειτουργία, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις και σε κλειστούς χώρους γίνεται τοξικό (Karri et al, 2024; NAEI, 2025; WHO, 2025).

Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) περιλαμβάνουν το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και σχηματίζονται όταν το άζωτο στον αέρα αντιδρά με το οξυγόνο υπό υψηλή θερμοκρασία και πίεση κατά την ανάφλεξη του κινητήρα. Επιδρούν αρνητικά στο αναπνευστικό σύστημα και είναι πρόδρομοι τόσο της φωτοχημικής αιθαλομίχλης όσο και της όξινης βροχής. Τα οξείδια του θείου (SO_x), και ιδιαίτερα το διοξείδιο του θείου (SO₂), δημιουργούνται λόγω της οξείδωσης του θείου κατά την ανάφλεξη, λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων και λόγω βιομηχανικών διεργασιών. Όπως και τα οξείδια του αζώτου, τα οξείδια του θείου κάτω από συνθήκες παρατεταμένης έκθεσης μπορούν να οδηγήσουν σε αναπνευστικά προβλήματα (Colville et al, 2001; Karri et al, 2024; NAEI, 2025; WHO, 2025).

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs), αποτελούνται από οργανικές ενώσεις με διάφορες χημικές συνθέσεις. Εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα ως προϊόντα καύσης και ως ατμοί από βενζίνη και διαλύτες και προέρχονται κυρίως από τις εκπομπές οχημάτων, βιομηχανικές διεργασίες και τη βλάστηση. Μερικές από τις ενώσεις VOCs θεωρούνται καρκινογενείς (Karri et al, 2024; NAEI, 2025). Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αναλόγως την αεροδυναμική διάμετρο τους (PM_{2.5} για $d \geq 2.5 \mu\text{m}$ και PM₁₀ για $d \geq 10 \mu\text{m}$) αποτελούνται κυρίως από στερεά σωματίδια και σταγονίδια. Προέρχονται από τις εκπομπές των οχημάτων, τη φθορά των φρένων και των ελαστικών και τη σκόνη του δρόμου. Έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα. Κάποια από τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως ο μαύρος άνθρακας (Black Carbon) απορροφούν ακτινοβολία και συνεπώς συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η εισαγωγή φίλτρων σωματιδίων στα οχήματα έχει μειώσει

σημαντικά τις εκπομπές τους (Karri et al, 2024; Fan et al., 2018; Eurostat, 2020; EPA, 2025; WHO, 2025; UNECE, 2011).

Το τροποσφαιρικό όζον (O₃) δημιουργείται από μια χημική αντίδραση μεταξύ των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO), πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου (NMVOCs) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Το τροποσφαιρικό όζον, όπως και ο μαύρος άνθρακας (Black Carbon), απορροφά ακτινοβολία και παγιδεύει θερμότητα, συμβάλλοντας έτσι στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να επηρεάσει αρνητικά τα οικοσυστήματα και τη βλάστηση και να οδηγήσει στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους (EPA, 2025; WHO, 2024; WHO, 2025).

Το 2019 οι τομείς της ενέργειας, της βιομηχανίας και της γεωργίας, της δασοκομίας και της χρήσης γης (AFOLU) κατείχαν τις πρώτες θέσεις στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τοποθετώντας τον τομέα των παγκόσμιων μεταφορών στην τέταρτη θέση. Την ίδια χρονιά, οι μεταφορές ήταν υπεύθυνες για περίπου 8,9 GtCO₂-eq των άμεσων εκπομπών ΑΘ σε σχέση με τους 5,1 GtCO₂-eq από το 1990. Την εικοσαετία 2002 με 2022, οι εκπομπές από τις μεταφορές αυξήθηκαν με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης +1,8% καθιστώντας τον τομέα αυτό στο μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας σε 40% των κρατών. Από το 2019, οι οδικές μεταφορές αναγνωρίστηκαν ως η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών στον κλάδο, συμβάλλοντας στο 69 % των συνολικών εκπομπών του τομέα. Τη δεκαετία 2010 με 2019, οι οδικές μεταφορές παρουσίασαν μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης εκπομπών +1,7%, με την πανδημία COVID-19 να προκαλεί σημαντική μείωση λόγω των περιοριστικών μέτρων (Jaramillo et al., 2022).

Οι μεταφορικές δραστηριότητες αυξήθηκαν κατά 73% μεταξύ 2000 και 2018, με συνέπεια την απότομη αύξηση των παγκόσμιων εκπομπών. Η αύξηση της μεταφορικής δραστηριότητας ξεπέρασε τις υπάρχουσες βελτιώσεις στην οικονομία καυσίμων και στην ενεργειακή απόδοση. Περίπου το 75% των εκπομπών CO₂ των επιβατικών μεταφορών προέρχεται από επιβατικά αυτοκίνητα, δίκυκλα και τρίκυκλα οχήματα, με μόνο το 7% να αντιπροσωπεύεται από λεωφορεία και τρένα παγκοσμίως. Οι παγκόσμιες μεταφορές εμπορευμάτων αυξήθηκαν κατά 68% μεταξύ 2000 και 2015, ενώ αναμένεται αύξηση ως και 3,3 φορές έως το 2050. Η αύξηση των εκπομπών CO₂ από τις μεταφορές εμπορευμάτων έχει ξεπεράσει τις εκπομπές από την επιβατική δραστηριότητα λόγω του διεθνούς εμπορίου και των εκτεταμένων παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού. Παρά το μικρό τους αριθμό, τα βαρέα οχήματα (HDV) συμβάλλουν δυσανάλογα στην ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω των υψηλών εκπομπών αιθάλης και σωματιδίων (Jaramillo et al., 2022).

Η κλιματική αλλαγή και η υπερθέρμανση του πλανήτη θα μεταβάλλουν σημαντικά τον τρόπο ζωής και τα ταξίδια των ανθρώπων, τη μεταφορά εμπορευμάτων και τη διεξαγωγή επιχειρηματικών δραστηριοτήτων. Υπάρχει επείγουσα ανάγκη όχι μόνο να αντιμετωπιστούν οι βαθύτερες αιτίες της κλιματικής αλλαγής, αλλά και να προσαρμοστεί η ανθρωπότητα απέναντι στις επιπτώσεις αυτής. Αν και η υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιταχύνεται σε τομείς όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ο τομέας των μεταφορών ιστορικά έχει αργήσει να «αποκαρβονιστεί». Δομικές προκλήσεις, όπως η εξάρτηση από υγρά καύσιμα, η μεγάλη διάρκεια ζωής των περιουσιακών στοιχείων και η ανάγκη για πυκνές πηγές ενέργειας, έχουν καταστήσει πιο δύσκολη τη μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, λύσεις όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, τα βιώσιμα καύσιμα αεροπορίας, οι μεταφορές με υδρογόνο, η βελτίωση των δημόσιων συγκοινωνιών και τα αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών προσφέρουν πολλά υποσχόμενες οδούς για τη μείωση του κλιματικού αντίκτυπου του τομέα. Η αντιμετώπιση των εκπομπών από τις μεταφορές είναι θεμελιώδης για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη και την επίτευξη των διεθνών κλιματικών στόχων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που έχουν τεθεί στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού.

5. Νομοθετικές Ρυθμίσεις & Στρατηγικές

5.1. Η Συμφωνία του Παρισιού (2015)

Η Συμφωνία του Παρισιού είναι μια ιστορική διεθνής συνθήκη για το κλίμα που υιοθετήθηκε το 2015 στο πλαίσιο της Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC). Ο κεντρικός της στόχος είναι να διατηρήσει την υπερθέρμανση του πλανήτη σε επίπεδα πολύ κάτω από τους 2 °C, ενώ παράλληλα να καταβληθούν προσπάθειες για τον περιορισμό της σε 1,5 °C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα. Η συμφωνία καθορίζει έναν παγκόσμιο στόχο θερμοκρασίας που δεσμεύει τις χώρες να περιορίσουν την υπερθέρμανση μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Απαιτεί από κάθε χώρα να υποβάλει το δικό της σχέδιο δράσης για το κλίμα, γνωστό ως Εθνικά Καθορισμένη Συνεισφορά (NDC), το οποίο περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο θα μειώσει τις εκπομπές και θα προσαρμοστεί στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι NDC πρέπει να ενημερώνονται κάθε πέντε χρόνια και κάθε ενημέρωση πρέπει να αντιπροσωπεύει πρόοδο σε σχέση με την προηγούμενη. Για να υποστηριχθεί η διαφάνεια και η λογοδοσία, η συμφωνία απαιτεί από τις χώρες να αναφέρουν τις εκπομπές και την πρόοδό τους χρησιμοποιώντας ένα κοινό πλαίσιο διαφάνειας (UNFCCC, 2026a; 2026b).

Επιπλέον, η Συμφωνία του Παρισιού περιλαμβάνει διατάξεις για τη χρηματοδότηση της κλιματικής αλλαγής, με τις ανεπτυγμένες χώρες να αναμένεται να υποστηρίξουν τις αναπτυσσόμενες χώρες τόσο στην μείωση των εκπομπών όσο και στην διαρκή προσπάθεια αντιμετώπισης των επιπτώσεων της. Κάθε πέντε χρόνια πραγματοποιείται μια παγκόσμια αποτίμηση, κατά τη διάρκεια της οποίας η διεθνής κοινότητα αξιολογεί συλλογικά την πρόοδο προς την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων της συμφωνίας. Η Συμφωνία είναι σημαντική καθώς αποτελεί την πρώτη κλιματική συνθήκη στην οποία σχεδόν όλες οι χώρες του κόσμου δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές. Αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή από τις προηγούμενες «καθολικές» προσεγγίσεις, όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο, προς ένα πιο ευέλικτο, «από κάτω προς τα πάνω» σύστημα, στο οποίο κάθε χώρα καθορίζει τη δική της πορεία (UNFCCC, 2026a; 2026b).

5.2. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία είναι η συνολική στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μετατροπή της ΕΕ σε μια σύγχρονη, αποδοτική ως προς τους πόρους και ανταγωνιστική οικονομία, με στόχο να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050. Καθορίζει ένα ευρύ πλαίσιο πολιτικής που καλύπτει την ενέργεια, τις μεταφορές, τη βιομηχανία, τη γεωργία, τη βιοποικιλότητα και τα κτίρια. Η Πράσινη Συμφωνία στοχεύει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στην τόνωση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης και στη διασφάλιση μιας «δίκαιης μετάβασης», ώστε καμία περιοχή ή πολίτης να μην μείνει πίσω στη μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Περιλαμβάνει πρωτοβουλίες όπως το Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία, τη Στρατηγική για τη Βιοποικιλότητα, τη Στρατηγική «Από το Αγρόκτημα στο Τραπέζι», τη Στρατηγική για τη Βιώσιμη και Έξυπνη Κινητικότητα, καθώς και μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία δεν είναι ένας μεμονωμένος νόμος, αλλά ένας ευρύς πολιτικός και νομοθετικός χάρτης πορείας που καθοδηγεί την ατζέντα της ΕΕ για το κλίμα και το περιβάλλον για τις επόμενες δεκαετίες (European Commission, 2026a).

5.3. Ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα

Ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα, από την άλλη πλευρά, είναι ένας νομικά δεσμευτικός κανονισμός που μετατρέπει τους μακροπρόθεσμους κλιματικούς στόχους της Πράσινης Συμφωνίας σε εκτελεστές υποχρεώσεις. Ο Νόμος για το Κλίμα, που θεσπίστηκε το 2021, καθορίζει τον πανευρωπαϊκό στόχο της επίτευξης κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 και θέτει ως ενδιάμεσο στόχο τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Παρέχει το νομικό πλαίσιο για την εξασφάλιση της προόδου, συμπεριλαμβανομένων κανόνων για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και τη διόρθωση της πορείας σε περίπτωση που η ΕΕ υστερήσει. Ο νόμος για το κλίμα απαιτεί επίσης από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να προτείνει έναν κλιματικό στόχο για το 2040 και επιβάλλει τη δημιουργία μιας Ευρωπαϊκής Επιστημονικής Συμβουλευτικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία θα παρέχει ανεξάρτητη επιστημονική καθοδήγηση. Ουσιαστικά, ενώ η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία παρέχει το όραμα και την πολιτική κατεύθυνση, ο ευρωπαϊκός νόμος για το κλίμα καθιστά

νομικά δεσμευτικά βασικά μέρη αυτού του οράματος και εξασφαλίζει τη λογοδοσία σε όλα τα θεσμικά όργανα της ΕΕ και τα κράτη μέλη (European Commission, 2026b).

5.4. Κανονισμοί των Ηνωμένων Εθνών

Η Συμφωνία του 1958 σχετικά με την υιοθέτηση εναρμονισμένων τεχνικών κανονισμών των Ηνωμένων Εθνών για τροχοφόρα οχήματα, εξοπλισμό και εξαρτήματα που μπορούν να τοποθετηθούν και/ή να χρησιμοποιηθούν σε τροχοφόρα οχήματα και τους όρους αμοιβαίας αναγνώρισης των εγκρίσεων που χορηγούνται βάσει των εν λόγω κανονισμών των Ηνωμένων Εθνών υπογράφηκε στο πλαίσιο της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE). Καθιερώνει ένα διεθνές πλαίσιο για κοινούς κανονισμούς σχετικά με τα οχήματα, επιτρέποντας στις χώρες να υιοθετήσουν κοινά τεχνικά πρότυπα — γνωστά ως κανονισμοί του ΟΗΕ — που καλύπτουν τομείς όπως η ασφάλεια των οχημάτων (συμπεριλαμβανομένων των φρένων, του συστήματος διεύθυνσης, του φωτισμού και των δοκιμών σύγκρουσης), οι περιβαλλοντικές επιδόσεις (συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών και του θορύβου), τα συστήματα και τα εξαρτήματα των οχημάτων (όπως ελαστικά, ζώνες ασφαλείας και συστήματα συγκράτησης παιδιών) και προηγμένες τεχνολογίες όπως τα ADAS και τα αυτόνομα συστήματα. Δημιουργεί επίσης ένα σύστημα αμοιβαίας αναγνώρισης των εγκρίσεων: όταν μια χώρα χορηγεί έγκριση τύπου για ένα όχημα ή εξάρτημα σύμφωνα με έναν κανονισμό του ΟΗΕ, οι άλλες χώρες που εφαρμόζουν τον εν λόγω κανονισμό πρέπει να αποδεχθούν την έγκριση χωρίς να απαιτούν πρόσθετες δοκιμές. Αυτό απλοποιεί σημαντικά την κατασκευή οχημάτων και προωθεί το διεθνές εμπόριο (UNECE, 2022).

Σε συνέχεια της Συμφωνίας του 1958, η UNECE υπέγραψε τη Συμφωνία του 1997 για τις περιοδικές τεχνικές επιθεωρήσεις και τη Συμφωνία του 1998 για τους παγκόσμιους τεχνικούς κανονισμούς των Ηνωμένων Εθνών (UN GTRs). Η συμφωνία του 1958 δημιούργησε το Παγκόσμιο Φόρουμ για την Εναρμόνιση των Κανονισμών για τα Οχήματα (WP.29) και, τα επόμενα χρόνια, το βοηθητικό του όργανο, την Ομάδα Εργασίας για τη Ρύπανση και την Ενέργεια (GRPE). Η τελευταία προετοιμάζει προτάσεις κανονιστικών ρυθμίσεων σχετικά με τη ρύπανση και την ενεργειακή απόδοση για το WP.29 και διεξάγει έρευνα και ανάλυση για την ανάπτυξη απαιτήσεων σχετικά με τις εκπομπές και την ενέργεια για τα οχήματα (UNECE, 2022). Σημαντικά παραδείγματα των αποτελεσμάτων της GRPE παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Κανονισμοί ΟΗΕ	Παραδοτέα της GRPE	Παραδείγματα
83	τεχνικές διατάξεις για τα πρότυπα εκπομπών ρύπων έως Euro 6 για τα αυτοκίνητα	παλαιά διαδικασία δοκιμών (NEDC)
49	τεχνικές διατάξεις για τα πρότυπα εκπομπών ρύπων έως Euro VI για φορτηγά και λεωφορεία	κινητήρες βαρέος τύπου (WHSC, WHTC)
154	τεχνικές διατάξεις για τη μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO ₂ για τα αυτοκίνητα	WLTP (Παγκοσμίως Εναρμονισμένη Διαδικασία Δοκιμών Ελαφρών Οχημάτων)

Πίνακας 1. Παραδείγματα Αποτελεσμάτων της GRPE ανά Κανονισμό ΟΗΕ

5.5. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Ωστόσο, παρόλο που οι κανονισμοί του ΟΗΕ δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο μιας συνθήκης του ΟΗΕ και εφαρμόζονται από χώρες που είναι συμβαλλόμενα μέρη, όπως οι χώρες της ΕΕ, δεν είναι όλοι οι κανονισμοί του ΟΗΕ υποχρεωτικοί. Ως εκ τούτου, η ΕΕ επιλέγει ποιοι θα εφαρμόσει και διατηρεί επίσης τους δικούς της κανόνες σε τομείς που δεν καλύπτονται από την UNECE. Οι κανόνες αυτοί είναι οι κανονισμοί της ΕΕ και είναι νομικά δεσμευτικοί στα κράτη μέλη της ΕΕ. Οι κανονισμοί της ΕΕ περιλαμβάνουν νόμους-πλαίσια για την έγκριση τύπου οχημάτων, όπως ο κανονισμός (ΕΕ) 2018/858, καθώς και πρόσθετες τεχνικές απαιτήσεις σε τομείς όπου δεν υπάρχουν κανονισμοί του ΟΗΕ. Καλύπτουν επίσης την εποπτεία της αγοράς και τις υποχρεώσεις των κατασκευαστών, μαζί με ευρύτερες περιβαλλοντικές πολιτικές, όπως τα όρια εκπομπών CO₂, τα πρότυπα βιωσιμότητας των μπαταριών και οι κανόνες για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Γενικά, η ΕΕ συχνά υπερβαίνει τα τεχνικά πρότυπα για να αντιμετωπίσει θέματα πολιτικής, προστασίας του περιβάλλοντος, προστασίας των καταναλωτών και επιβολής της νομοθεσίας. Η ΕΕ υιοθετεί σε μεγάλο βαθμό τους κανονισμούς του ΟΗΕ και οι περισσότεροι από αυτούς τους κανονισμούς καθίστανται είτε υποχρεωτικοί είτε επιτρεπτοί εντός της ΕΕ. Τα στοιχεία που συμμορφώνονται με τους κανονισμούς του ΟΗΕ λαμβάνουν «σήμα Ε» και γίνονται αποδεκτά σε ολόκληρη την ΕΕ.

5.5.1. Κατηγορίες Οχημάτων

Ο κανονισμός (ΕΕ) 2018/858 (30.05.2018) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου αφορά την έγκριση και την εποπτεία της αγοράς μηχανοκίνητων οχημάτων και άλλων συστημάτων και στοιχείων αυτών και τροποποιεί τους κανονισμούς (ΕΚ) αριθ. 715/2007 και (ΕΚ) αριθ. 595/2009. Σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 1 αυτού, τα οχήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν αναλόγως τη χρήση τους και του μεγέθους τους. Οι βασικότερες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται ανάμεσα στα επιβατικά με τα επαγγελματικής χρήσης, και τα ελαφρά με τα βαρέα οχήματα. Στον Πίνακα 2 ακολουθούν οι κυριότερες κατηγορίες οχημάτων.

Οχήματα βάσει Χρήσης και Μεγέθους	Κατηγορία Οχήματος
Επιβατικά Οχήματα	M1
Ελαφριά Επαγγελματικά Οχήματα	N1
Βαρέα Επαγγελματικά Οχήματα	N2, N3
Λεωφορεία	M2, M3
Μοτοποδήλατα	L1e, L2e
Μοτοσικλέτες (Δίκυκλες & Τρίκυκλες)	L3e, L4e, L5e
Μικροαυτοκίνητα & Τετράτροχες Μοτοσικλέτες (Ελαφριά)	L6e
Μικροαυτοκίνητα & Τετράτροχες Μοτοσικλέτες (Βαρέα)	L7e

Πίνακας 2. Κατηγορίες Οχημάτων αναλόγως χρήσης και μεγέθους

Η κατηγορία M περιλαμβάνει μηχανοκίνητα οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα κυρίως για τη μεταφορά επιβατών και των αποσκευών τους και τα οποία αναλύονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

- i) Κατηγορία M1 : μηχανοκίνητα οχήματα με όχι περισσότερες από οκτώ θέσεις καθημένων επιπλέον της θέσης του οδηγού και χωρίς χώρο για όρθιους επιβάτες, ανεξαρτήτως εάν ο αριθμός των θέσεων καθημένων περιορίζεται στη θέση του οδηγού.
- ii) Κατηγορία M2 : μηχανοκίνητα οχήματα με περισσότερες από οκτώ θέσεις καθημένων επιπλέον της θέσης του οδηγού και έχουν μέγιστη μάζα που δεν

υπερβαίνει τους 5 τόνους, ανεξαρτήτως εάν τα εν λόγω μηχανοκίνητα οχήματα διαθέτουν χώρο για όρθιους επιβάτες· και

- iii) Κατηγορία M3 : μηχανοκίνητα οχήματα με περισσότερες από οκτώ θέσεις καθήμενων επιπλέον της θέσης του οδηγού και έχουν μέγιστη μάζα που υπερβαίνει τους 5 τόνους, ανεξαρτήτως εάν τα εν λόγω μηχανοκίνητα οχήματα διαθέτουν χώρο για όρθιους επιβάτες.

Αντίστοιχα, η κατηγορία N αποτελείται από μηχανοκίνητα οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα κυρίως για τη μεταφορά εμπορευμάτων και τα οποία αναλύονται σε:

- i) Κατηγορία N1 : μηχανοκίνητα οχήματα μέγιστης μάζας που δεν υπερβαίνει τους 3,5 τόνους·
- ii) Κατηγορία N2 : μηχανοκίνητα οχήματα μέγιστης μάζας που υπερβαίνει τους 3,5 τόνους αλλά δεν υπερβαίνει τους 12 τόνους· και
- iii) Κατηγορία N3 : μηχανοκίνητα οχήματα μέγιστης μάζας που υπερβαίνει τους 12 τόνους.

Τέλος, σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 2 του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 168/2013 (15.01.2013) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, ο οποίος αφορά την έγκριση και την εποπτεία της αγοράς δίκυκλων, τρίκυκλων και τετράκυκλων οχημάτων, η κατηγορία L αποτελείται από μηχανοκίνητα οχήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα κυρίως για τη μεταφορά επιβατών και των αποσκευών τους, τα οποία χωρίζονται σε:

- i) Κατηγορία L1e: ελαφριά μηχανοκίνητα δίκυκλα οχήματα χωριζόμενα σε υποκατηγορίες μηχανοκίνητα ποδήλατα και δίκυκλα μοτοποδήλατα
- ii) Κατηγορία L2e: τρίκυκλα μοτοποδήλατα χωριζόμενα σε υποκατηγορίες σχεδιασμένες για μεταφορά επιβατών ή για επαγγελματική χρήση
- iii) Κατηγορία L3e: δίκυκλη μοτοσικλέτα χωριζόμενα σε υποκατηγορίες βάσει την επίδοση της μοτοσικλέτας ή της ειδικής χρήσης
- iv) Κατηγορία L4e: δίκυκλη μοτοσικλέτα με καλάθι
- v) Κατηγορία L5e: μηχανοκίνητα τρίκυκλα που προορίζονται κυρίως για τη μεταφορά επιβατών ή αποκλειστικά για τη μεταφορά εμπορευμάτων

vi) Κατηγορία L6e: ελαφριά τετράκυκλα μοτοσικλέτες και μικροαυτοκίνητα για χρήση εντός δρόμου και για μεταφορά επιβατών ή για επαγγελματική χρήση

vii) Κατηγορία L7e: βαρέα τετράκυκλα μοτοσικλέτες και μικροαυτοκίνητα για χρήση εντός δρόμου ή παντός εδάφους και για μεταφορά επιβατών ή για επαγγελματική χρήση

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των οχημάτων και της περιβαλλοντικής πολιτικής είναι στενά συνυφασμένη με την ανάγκη περιορισμού των εκπομπών καυσαερίων. Ο έλεγχος των εκπομπών καυσαερίων αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους πυλώνες της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς οι οδικές μεταφορές συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση της ατμόσφαιρας στις αστικές περιοχές. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 έως σήμερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) ανέπτυξε ένα ολοένα αυστηρότερο και ολοκληρωμένο πλαίσιο που καθορίζει τα όρια ρύπων τα οποία πρέπει να τηρούν τα επιβατικά και επαγγελματικά οχήματα. Οι κατασκευαστές οχημάτων, για να συμμορφωθούν με τις αυστηρές νομοθετικές απαιτήσεις, έχουν βελτιώσει τις τεχνολογίες κινητήρων και έχουν εφαρμόσει συστήματα ελέγχου εκπομπών.

Σκοπός αυτής της αυστηρότερης νομοθεσίας είναι η μείωση ρύπων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) και, πιο πρόσφατα, ο αριθμός σωματιδίων (PN) και οι εκπομπές CO₂. Τα οδικά οχήματα ταξινομούνται από το 1992 με βάση το επίπεδο της τεχνολογίας ελέγχου εκπομπών που διαθέτουν, το οποίο ορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία για τις εκπομπές. Οι ταξινομήσεις εκπομπών ρύπων αποτελούν πυλώνα της διαδικασίας έγκρισης τύπου, της παραγωγής και της κυκλοφορίας των οχημάτων μικρών και μεγάλων σειρών. Οι κατηγορίες Euro από το 1992 και έπειτα αποτελούν τα ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων για επιβατικά και επαγγελματικά οχήματα και χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν πόσους ρύπους επιτρέπεται να εκπέμπει ένα όχημα. Παρακάτω παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη των ευρωπαϊκών κανονισμών, τα στάδια πριν την εισαγωγή των Euro, οι υφιστάμενες κατηγορίες, οι διαφορές μεταξύ τους, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο διαμορφώνουν τον έλεγχο εκπομπών για επιβατικά και επαγγελματικά οχήματα.

5.5.2. Ιστορική αναδρομή: Τα πρώτα βήματα ελέγχου εκπομπών (1970–1992)

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα (ΕΟΚ) αναγνώρισε την ανάγκη εναρμόνισης της νομοθεσίας που σχετιζόταν με τις εκπομπές ρύπων που

προέρχονται από την κυκλοφορία των επιβατικών αυτοκινήτων. Μέχρι τότε, κάθε κράτος-μέλος προσαρμόζε τα δικά του όρια, δημιουργώντας εμπόδια στο διασυνοριακό εμπόριο και στη βιομηχανική παραγωγή. Ως απάντηση, το 1970 εκδόθηκε η Οδηγία 70/220/EEC, η οποία θεωρείται το θεμέλιο της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τις εκπομπές καυσαερίων. Αποτέλεσε την πρώτη ενοποιημένη ευρωπαϊκή νομοθεσία για τον έλεγχο των εκπομπών καυσαερίων των επιβατικών αυτοκινήτων με κινητήρες βενζίνης.

Η οδηγία αυτή όριζε για πρώτη φορά κοινές απαιτήσεις, εισήγαγε εργαστηριακές διαδικασίες μέτρησης εκπομπών και θέσπισε τα πρώτα ευρωπαϊκά όρια όσον αφορά τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO), άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) για τα επιβατικά οχήματα με βενζινοκινητήρες. Η έκδοση της αποτέλεσε απάντηση στην αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις, ενώ επηρέασε άμεσα και τις τεχνολογίες ελέγχου εκπομπών, όπως πιο εξελιγμένα καρμπυρατέρ και, αργότερα, τους πρώτους καταλύτες.

Αποτέλεσε την αρχή μιας περιόδου προσαρμογών και τροποποιήσεων, καθώς νέες επιστημονικές γνώσεις και τεχνολογικές εξελίξεις επέβαλαν συνεχή αναθεώρηση των ορίων. Πράγματι, μέσα στις επόμενες δύο δεκαετίες η Οδηγία 70/220/EEC τροποποιήθηκε πολυάριθμες φορές, κάθε φορά μειώνοντας τα επιτρεπόμενα επίπεδα ρύπων και εισάγοντας νέες μεθόδους δοκιμής. Μάλιστα, οι σημαντικότερες τροποποιήσεις αυτής ήταν οι οδηγίες 74/290/EEC, 77/102/EEC, 78/665/EEC, 83/351/EEC, 88/76/EEC και 89/458/EEC. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι Οδηγίες και οι Κανονισμοί ανά έτος εφαρμογής και ανά κατηγορία οχήματος και έλεγχο εκπομπών.

Οδηγία ΕΕ	Ισοδύναμος Κανονισμός ECE	Ενδεικτικό Έτος Εφαρμογής	Τύπος Οχήματος και Έλεγχος Εκπομπών
70/220/EEC	ECE R 15	1970	Εκπομπές καυσαερίων για βενζινοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα
72/306/EEC	ECE R 24.03	1972	Εκπομπές μαύρου καπνού από βαρέα επαγγελματικά οχήματα ντίζελ

74/290/EEC	ECE R 15.01	1974	Εκπομπές καυσαερίων για βενζινοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα
77/102/EEC	ECE R 15.02	1977	Εκπομπές καυσαερίων για βενζινοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα
78/665/EEC	ECE R 15.03	1979	Εκπομπές καυσαερίων για βενζινοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα
83/351/EEC	ECE R 15.04	1984	Εκπομπές καυσαερίων για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα
88/76/EEC	ECE R 83	Δεν εφαρμόστηκε	Εκπομπές καυσαερίων για επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα.
88/77/EEC	ECE R 49.01	1988	Εκπομπές καυσαερίων από βαρέα επαγγελματικά οχήματα ντίζελ

Πίνακας 3. Οδηγίες & Κανονισμοί ανά έτος εφαρμογής και κατηγορία οχήματος

Στη διάρκεια αυτής της περιόδου, δεν υπήρχαν τα σημερινά πρότυπα προδιαγραφών. Αντίθετα, τα οχήματα χωρίζονταν ουσιαστικά σε κατηγορίες ανάλογα με το στάδιο έκδοσης της οδηγίας στην οποία συμμορφώνονταν ή βάση της τεχνολογίας που περιείχαν (βελτιωμένο συμβατικό ή ανοιχτού βρόχου). Ορισμένα κράτη-μέλη είχαν αρχίσει να υιοθετούν καταλυτικούς μετατροπείς, ιδιαίτερα μεταξύ των ετών 1985 με 1990, αλλά η χρήση τους δεν ήταν ακόμη πανευρωπαϊκά υποχρεωτική. Στα πετρελαιοκίνητα οχήματα δεν είχαν επιβληθεί όρια για σωματίδια (PM) ή για αριθμό σωματιδίων (PN), καθώς τότε τα diesel αποτελούσαν μικρότερο ποσοστό του στόλου οχημάτων.

Η σημαντική καμπή πραγματοποιήθηκε το 1991–1992 με την Οδηγία 91/441/EEC, η οποία εισήγαγε την πρώτη «Ενοποιημένη Οδηγία για τις Εκπομπές», δηλαδή το γνωστό πρότυπο εκπομπών Euro 1, σηματοδοτώντας την αρχή μιας νέας εποχής. Σε αυτή την Οδηγία

περιλαμβάνονταν πρότυπα εκπομπών καυσαερίων με νέες δοκιμές αντοχής για την έγκριση του κάθε τύπου οχήματος, αλλά και όρια για τις εκπομπές οχημάτων από εξάτμιση.

5.5.3. Η καθιέρωση των προτύπων Euro και η εξέλιξή τους (1992 – σήμερα)

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, εφαρμόζονται διαφορετικοί συμβολισμοί για τα πρότυπα εκπομπών. Χρησιμοποιούνται αραβικοί αριθμοί για: i) τα επιβατικά οχήματα, ii) τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα και iii) τα οχήματα κατηγορίας L (π.χ. Euro 1, Euro 2), και λατινικοί αριθμοί για τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα (π.χ. Euro I, Euro II).

Επιβατικά και Ελαφρά Επαγγελματικά Οχήματα

Euro 1 (1992)

Το Euro 1 καθιερώθηκε επίσημα το 1992 με την Οδηγία 91/441/EEC. έθεσε κοινά αυστηρά όρια εκπομπών στα βενζινοκίνητα και στα πετρελαιοκίνητα (diesel) οχήματα. Για πρώτη φορά, κατέστη πρακτικά υποχρεωτική η χρήση καταλυτικών μετατροπών (καταλύτης τριών δρόμων κλειστού βρόγχου) αντικαθιστώντας τα καρμπυρατέρ στα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, ενώ στα diesel εφαρμόστηκαν όρια για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), γεγονός που ανάγκασε τη βιομηχανία να βελτιώσει τις διαδικασίες καύσης και τις τεχνολογίες έγχυσης.

Euro 2 (1996)

Με την οδηγία 94/12/EC τα όρια εκπομπών γίνονται αυστηρότερα και διαφοροποιούνται ανάμεσα στα βενζινοκίνητα και στα πετρελαιοκίνητα (diesel) οχήματα. Τα όρια εκπομπών των οχημάτων μειώνονται κατά 30% σε CO, 55% σε HC + NOx για τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, ενώ κατά 68% σε CO, 38% σε HC + NOx και 55% σε αιωρούμενα σωματίδια για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα.

Euro 3 (2000)

Με την οδηγία 98/69/EC (Στάδιο 1) εισάγεται η σημαντική διάκριση μεταξύ HC και NOx στα βενζινοκίνητα οχήματα, όπου μέχρι τότε αξιολογούνταν ως άθροισμα (HC + NOx). Παράλληλα, καθιερώνεται μια νέα δοκιμή έγκρισης τύπου (Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης – NEDC), ενώ εισάγονται στα οχήματα αυτά ενσωματωμένα συστήματα διάγνωσης (OBD) και περαιτέρω αισθητήρες. Αυτό επιτρέπει λεπτομερέστερη ποιοτική αξιολόγηση των ρύπων. Στα diesel παραμένει το άθροισμα (HC + NOx), αλλά προσθέτετε και ξεχωριστό όριο για τα NOx. Αυστηροποιούνται τα όρια εκπομπών. Οι μειώσεις των NOx επιτυγχάνονται μέσω της ανακυκλοφορίας καυσαερίων, ενώ των PM μέσω των βελτιστοποιημένων συστημάτων

έγχυσης καυσίμου με τη χρήση συστημάτων «κοινού αυλού ροής καυσίμου» (common rail system). Οι βελτιώσεις στην ποιότητα του καυσίμου, ιδίως η μείωση της περιεκτικότητας σε θείο, συνέβαλαν επίσης σημαντικά στη μείωση των εκπομπών PM. Καταργείται η περίοδος προθέρμανσης των 40 δευτερολέπτων από τη διαδικασία δοκιμής.

Euro 4 (2005)

Με την οδηγία 98/69/EC (Στάδιο 2) αυστηροποιούνται δραστικά τα όρια NO_x, κυρίως για τα πετρελαιοκίνητα (diesel) οχήματα, για να περιοριστεί η αυξανόμενη αστική ρύπανση από την εκρηκτική άνοδο αυτών των οχημάτων στην Ευρώπη. Καθιερώνεται ακριβέστερη παρακολούθηση και έλεγχος στα συστήματα τροφοδοσίας και μετεπεξεργασίας με την εισαγωγή φίλτρων σωματιδίων, συστημάτων ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) και τεχνικών οξείδωσης σωματιδίων PM.

Euro 5 (2009)

Το Euro 5 θεσπίστηκε με τον Κανονισμό 715/2007/EC εισάγει μια σημαντική αλλαγή. Τα βενζινοκίνητα οχήματα άμεσης έγχυσης βενζίνης (GDI) αποκτούν όρια στη μάζα σωματιδίων PM παρόμοια με τα diesel, καθώς διαπιστώθηκε ότι παράγουν υπέρλεπτα σωματίδια. Η χρήση φίλτρου σωματιδίων diesel (DPF) στα πετρελαιοκίνητα (diesel) οχήματα γίνεται ουσιαστικά υποχρεωτική, καθώς τα όρια εκπομπών για τα μικροσωματίδια (PM) μειώνονται κατά 88%.

Euro 6 (2014–2021)

Το Euro 6 θεσπίστηκε με τους Κανονισμούς 715/2007/EC, 692/2008/EC, 2017/1151/EC και 2018/858/EC, ενώ οι υποκατηγορίες του (6b, 6c, 6d-Temp, 6d) αποτελούν μία από τις πιο σημαντικές εξελίξεις. Στη θέση του NEDC, εισάγεται ο Παγκόσμιος Εναρμονισμένος Κύκλος Δοκιμών Ελαφρών Οχημάτων (WLTC) καθώς αντιπροσωπεύει καλύτερα πραγματικές συνθήκες οδήγησης με τις οποίες γίνεται η εισαγωγή των Πραγματικών Εκπομπών Οδήγησης (RDE). Πλέον τα οχήματα δεν αξιολογούνται μόνο στο εργαστήριο αλλά και σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Αυτό αποκαλύπτει μεγάλες διαφορές σε σχέση με τα παλαιότερα συστήματα και επιβάλλει πραγματική συμμόρφωση, ιδιαίτερα σε NO_x και PM. Μάλιστα, για τη μείωση των σωματιδίων τέθηκαν όρια όχι μόνο στη μάζα των σωματιδίων αλλά και στον αριθμό σωματιδίων (PN). Οι απαιτήσεις στα όρια εκπομπών καθιέρωσαν τη χρήση τεχνολογιών μετεπεξεργασίας όπως λεπτές παγίδες NO_x, επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR), καταλύτες οξείδωσης ντίζελ (DOC), φίλτρα σωματιδίων ντίζελ (DPF) και συστήματα

ανακυκλοφορίας καυσίμου (EGR). Η υποκατηγορία 6d έφερε τις RDE μετρήσεις των diesel πολύ κοντά σε αυτές των βενζινοκίνητων κάτω από πραγματικές συνθήκες οδήγησης.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται συνοπτικά οι Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες αναλόγως τα Πρότυπα Εκπομπών “Euro” που εφαρμόζονται στα Επιβατικά & Ελαφρά Επαγγελματικά Οχήματα των κατηγοριών M1 & N1.

Πρότυπο	Έτος ισχύος	Νομοθεσία ΕΕ	Σχόλια
Euro 1	1992	Οδηγία 91/441/EEC (τροποποίηση 70/220/EEC)	Πρώτη μεγάλη μείωση CO/HC· καθιέρωση τριοδικών καταλυτών.
Euro 2	1996/1997	Οδηγία 94/12/EC και 96/69/EC	Τροποποιήσεις στη 70/220/EEC με αυστηρότερα όρια.
Euro 3	2000/2001	Οδηγία 98/69/EC (Stage 1)	Νέα μέθοδος ελέγχου· διαχωρισμός NOx/HC ορίων.
Euro 4	2005/2006	Οδηγία 98/69/EC (Stage 2)	Αυστηρότερα όρια NOx για βενζίνης/πετρελαίου.
Euro 5	2009/2011	Κανονισμός (EC) 715/2007 & 692/2008	Από οδηγίες → κανονισμός. Υποχρεωτικό φίλτρο σωματιδίων στα diesel.
Euro 6 a/b/c	2014	Κανονισμός (EC) 715/2007 & 692/2008 & 136/2014	Εισαγωγή πραγματικών μετρήσεων εκπομπών (RDE).
Euro 6 d-temp, d/e	2019	Κανονισμός 2017/1151 & 2018/858	Ολοκλήρωση RDE και WLTP με αυστηρότερους παράγοντες συμμόρφωσης.

Πίνακας 4. Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες για Πρότυπα Εκπομπών “Euro” στα Επιβατικά & Ελαφρά Επαγγελματικά Οχήματα (M1, N1)

Βαρέα Επαγγελματικά Οχήματα

Euro I

Τα πρώτα δύο πρότυπα, Euro I και Euro II, θεσπίστηκαν με την Οδηγία 88/77/EEC για τις εκπομπές βαρέων επαγγελματικών οχημάτων, η οποία αργότερα τροποποιήθηκε από την Οδηγία 91/542/EEC. Οι τροποποιήσεις αυτές καθόρισαν δύο σειρές ορίων εκπομπών που αντιστοιχούν στα Euro I (Σειρά I) και Euro II (Σειρά II). Το Euro I τέθηκε σε ισχύ το 1992 και αποτέλεσε το πρώτο κοινό ευρωπαϊκό πλαίσιο για βαρέα οχήματα, αν και τα όριά του ήταν σχετικά υψηλά με βάση τα σημερινά δεδομένα. Η έμφαση δόθηκε κυρίως στη μείωση του μαύρου καπνού και των σωματιδίων, χωρίς ακόμη την ύπαρξη ηλεκτρονικού ελέγχου στον κινητήρα. Το Euro I καθιέρωσε τόσο την ανάγκη για επίσημη έγκριση τύπου κινητήρα όσο και την ύπαρξη σαφήνεια στις μεθόδους μέτρησης.

Euro II

Με το Euro II, που εφαρμόστηκε το 1996, τα όρια έγιναν πιο αυστηρά, ιδίως ως προς τα αιωρούμενα σωματίδια PM, καθώς η επιστημονική κοινότητα είχε αρχίσει να αναγνωρίζει τις επιπτώσεις των σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία. Τα σωματίδια (PM10 και στη συνέχεια PM2.5) άρχισαν να συνδέονται με σοβαρές αναπνευστικές και καρδιαγγειακές ασθένειες, γεγονός που κινητοποίησε την ανάγκη για επιπλέον αυστηροποίηση. Οι κινητήρες εξακολουθούσαν να λειτουργούν με μηχανικά συστήματα έγχυσης καυσίμου, όμως οι βελτιώσεις στη σχεδίαση θαλάμων καύσης και στα turbo συστήματα οδήγησαν σε καθαρότερη καύση. Αν και οι μειώσεις δεν ήταν δραματικές, αποτέλεσαν βήμα προς μια πιο σύγχρονη φιλοσοφία διαχείρισης εκπομπών.

Euro III

Η πραγματική τεχνολογική τομή στα πρότυπα εκπομπών βαρέων οχημάτων εμφανίζεται με το Euro III, το οποίο εισήχθη με την Οδηγία 1999/96/EC. Η συγκεκριμένη Οδηγία ήταν καθοριστική, καθώς αναμόρφωσε το σύστημα ορίων και έθεσε ένα νέο πλαίσιο δοκιμών που απαιτούσε πλέον ηλεκτρονικά ελεγχόμενους κινητήρες. Η εισαγωγή ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου κινητήρα (ECU) επέτρεψε ακριβέστερη έγχυση καυσίμου, αυξημένες πιέσεις έγχυσης και αποτελεσματικότερη καύση. Τα όρια NOx και PM μειώθηκαν δραστικά σε σχέση με το Euro II. Επιπλέον, η ίδια Οδηγία όρισε ότι τα βαρέα οχήματα οφείλουν να συμμορφώνονται με νέους κύκλους δοκιμών πιο αντιπροσωπευτικούς σε συνθήκες πραγματικής χρήσης.

Euro IV

Η Οδηγία 1999/96/EC καθόρισε επίσης τα επόμενα δύο στάδια: Euro IV και Euro V. Το Euro IV τέθηκε σε εφαρμογή το 2005 και χαρακτηρίστηκε από την πιο έντονη μείωση των NOx μέχρι εκείνη τη στιγμή. Για να επιτευχθούν αυτά τα όρια, οι κατασκευαστές υιοθέτησαν μαζικά την τεχνολογία SCR (Selective Catalytic Reduction), Με την προσθήκη συστήματος έγχυσης ουρίας (AdBlue), τα οξείδια του αζώτου NOx μετατρέπονται σε άζωτο και υδρατμούς μέσα στον καταλύτη. Το Euro IV ήταν η πρώτη περίοδος κατά την οποία τα συστήματα αυτά εγκαταστάθηκαν σχεδόν σε όλα τα φορτηγά παραγωγής, επηρεάζοντας καθοριστικά τον σχεδιασμό των συστημάτων πίεσης και θερμοκρασίας του κινητήρα.

Euro V

Το Euro V, που ορίστηκε επίσης από την Οδηγία 1999/96/EC και εφαρμόστηκε από το 2008, έθεσε ακόμα χαμηλότερα όρια για τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM και προώθησε την περαιτέρω βελτίωση των συστημάτων SCR. Αν και τα όρια NOx δεν μειώθηκαν τόσο όσο στο Euro IV, τα όρια των σωματιδίων PM έγιναν ιδιαίτερα αυστηρά, οδηγώντας πολλούς κατασκευαστές να εφαρμόσουν φίλτρα σωματιδίων (DPF) και συστήματα ανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) στα βαρέα οχήματα. Αυτή την περίοδο εισήχθη και η προαιρετική κατηγορία EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle), η οποία παρείχε ακόμη αυστηρότερα όρια από το Euro V, ιδίως για χρήση σε αστικά περιβάλλοντα και δημόσιες μεταφορές.

Euro VI

Η πιο βαθιά αναμόρφωση του συστήματος εκπομπών βαρέων οχημάτων πραγματοποιήθηκε με το Euro VI, που θεσπίστηκε μέσω του Κανονισμού (EC) 595/2009 και τροποποιήθηκε από τους κανονισμούς 582/2011, 136/2014 και 2017/2400. Ο Κανονισμός 595/2009 αντικατέστησε τις προηγούμενες Οδηγίες και εισήγαγε ενιαίους, άμεσα δεσμευτικούς κανόνες για όλα τα κράτη μέλη. Το Euro VI, που εφαρμόστηκε από το 2014, επέβαλε εξαιρετικά χαμηλά όρια. Μείωσε τα NOx κατά περίπου 80% σε σχέση με το Euro V, ενώ σχεδόν εξάλειψε πλήρως τα αιωρούμενα σωματίδια μέσω της επιβολής ορίων όχι μόνο στη μάζα των σωματιδίων αλλά και στον αριθμό σωματιδίων (PN). Αυτή η απαίτηση έκανε το φίλτρο σωματιδίων DPF υποχρεωτικό σε όλα τα νέα βαρέα οχήματα. Το Euro VI καθιέρωσε επίσης υποχρεωτική την υιοθέτηση συστημάτων OBD (On-Board Diagnostics), διεργασίες επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής (SCR), φίλτρων σωματιδίων (DPF) και συστημάτων ανακυκλοφορίας καυσίμου

(EGR). Στις υποεκδόσεις Euro VI C, D, E, F ενσωματώθηκαν πραγματικές μετρήσεις εκπομπών (RDE) υπό πραγματικές συνθήκες οδήγησης, γεγονός που περιορίσε περαιτέρω τις εκπομπές και ανάγκασε τους κατασκευαστές να βελτιώσουν την απόδοση των συστημάτων καθαρισμού σε όλο το εύρος λειτουργίας του κινητήρα.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται συνοπτικά οι Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες αναλόγως τα Πρότυπα Εκπομπών “Euro” που εφαρμόζονται στα Βαρέα οχήματα (φορτηγά & λεωφορεία) των κατηγοριών N2, N3 & M3.

Πρότυπο	Έτος Εφαρμογής	Νομοθεσία ΕΕ	Κύρια χαρακτηριστικά / όρια εκπομπών
Euro I	1992	Οδηγία 91/542/EEC (Stage I)	Πρώτα κοινά όρια εκπομπών για βαρέα οχήματα. Μείωση καπνού και βασικά όρια NO _x & PM.
Euro II	1996	Οδηγία 91/542/EEC (Stage II)	Αυστηρότερα όρια NO _x και PM. Βελτιώσεις στους μηχανισμούς συστημάτων έγχυσης καυσίμου.
Euro III	2000	Οδηγία 1999/96/EC	Εισαγωγή ηλεκτρονικού ελέγχου κινητήρα (ECU). Μείωση NO _x ~30% και PM ~50%.
Euro IV	2005	Οδηγία 1999/96/EC (Stage B1)	Μεγάλη μείωση NO _x . Εμφάνιση τεχνολογιών SCR (AdBlue).
Euro V	2008	Οδηγία 2005/55/EC & 2005/78/EC	Ακόμα αυστηρότερα όρια NO _x και PM. Ευρεία χρήση SCR.
Euro VI A/B	2014	Κανονισμός 595/2009/EC	Τεράστια μείωση NO _x (~80%) και PM. Υποχρεωτική χρήση SCR, DPF, EGR, OBD. Πολύ αυστηρές πραγματικές μετρήσεις.
Euro VI C/D/E/F	2017-2021	Κανονισμός 595/2009/EC	Διαδοχικές αυστηροποιήσεις πραγματικών μετρήσεων εκπομπών (RDE), όχι νέα όρια αλλά αυστηρότεροι έλεγχοι.

Πίνακας 5. Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες για Πρότυπα Εκπομπών “Euro” στα Βαρέα οχήματα (N2, N3, M3)

6. Κύριες Τεχνολογίες & Εξελίξεις

Σε παγκόσμια κλίμακα, οι οδικές μεταφορές αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους τομείς εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑΘ) και ατμοσφαιρικών ρύπων, με πολυεπίπεδες επιπτώσεις στο περιβάλλον, τη δημόσια υγεία και την οικονομία. Οι εκπομπές από την κυκλοφορία το 2011 ευθύνονταν περίπου για το 47% των υδρογονανθράκων εκτός μεθανίου (NMHC), το 54% του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), το 14% του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το 30% των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και το 10% των αιωρούμενων σωματιδίων (PM). Ιδιαίτερα το CO και τα NO_x συνδέονται με φωτοχημικές αντιδράσεις που οδηγούν στον σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος (O₃), ενώ τα λεπτά σωματίδια PM_{2,5} διεισδύουν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα (Requia et al., 2018; Sanguesa et al., 2021).

Οι άμεσες επιπτώσεις στην υγεία περιλαμβάνουν άσθμα, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, υπέρταση, καρκίνο του πνεύμονα, διαβήτη και νευροεκφυλιστικές νόσους όπως η νόσος Αλτσχάιμερ, καθώς και αυξημένη πρόωγη θνησιμότητα. Σε πολιτείες των ΗΠΑ όπως το Κονέκτικατ και η Μασαχουσέτη, τα PM_{2,5} που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές συνδέθηκαν με 2,1% και 3,5% υψηλότερα ποσοστά νοσηλείας για καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις αντίστοιχα, ενώ στη Νέα Υόρκη περισσότεροι από 320 θάνατοι ετησίως αποδίδονται στην έκθεση σε PM_{2,5} από κινητές πηγές. Το παγκόσμιο οικονομικό κόστος των πρόωγων θανάτων λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης εκτιμήθηκε σε περίπου 225 δισεκατομμύρια δολάρια για το 2013 (Requia et al., 2018).

Πέραν των άμεσων επιπτώσεων, η αύξηση των ΑΘ εντείνει την κλιματική αλλαγή, η οποία με τη σειρά της επιδρά έμμεσα στην υγεία μέσω ακραίων καιρικών φαινομένων, αυξημένων πυρκαγιών και μεταβολών στα επίπεδα ρύπανσης. Κατά τον ευρωπαϊκό καύσωνα του 2003, η έκθεση στο όζον συνδέθηκε με αύξηση της θνησιμότητας κατά 50%. Επιπλέον, έχει εκτιμηθεί ότι κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C στις ΗΠΑ, μέσω της αλληλεπίδρασης θερμότητας και ρύπων, θα μπορούσε να οδηγήσει σε 1.000 επιπλέον θανάτους ετησίως που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα δεδομένα αυτά καταδεικνύουν τον μη βιώσιμο χαρακτήρα των υφιστάμενων συστημάτων μεταφορών (Requia et al., 2018).

6.1. Ηλεκτρικά Οχήματα

Η ηλεκτρική κινητικότητα αναδεικνύεται ολοένα και περισσότερο ως μια στρατηγική επιλογή μετάβασης προς ένα καθαρότερο, αποδοτικότερο και περισσότερο βιώσιμο μοντέλο μεταφορών, ικανό να ανταποκριθεί στις περιβαλλοντικές, ενεργειακές και κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις του 21ου αιώνα. Παρότι συχνά παρουσιάζεται ως σύγχρονη καινοτομία, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) διαθέτουν ιστορία που υπερβαίνει τον έναν αιώνα. Το πρώτο πρακτικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο κατασκευάστηκε από τον Thomas Parker το 1884, ενώ λίγα χρόνια αργότερα, το 1899, ο Ferdinand Porsche ανέπτυξε δικά του ηλεκτρικά μοντέλα, αποδεικνύοντας ήδη από τα τέλη του 19ου αιώνα τη λειτουργικότητα της τεχνολογίας. Κατά τη δεκαετία του 1920, περίπου το 28% των οχημάτων που κυκλοφορούσαν στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν ηλεκτρικά, χάρη στην αθόρυβη λειτουργία τους, την ευκολία οδήγησης και την απουσία δύσσομων καυσαερίων. Ωστόσο, η υψηλή τιμή αγοράς, οι περιορισμοί στην αποθήκευση ενέργειας και η ραγδαία εξάπλωση των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), τα οποία επωφελήθηκαν από τη μαζική παραγωγή και τη φθηνή διαθεσιμότητα πετρελαίου, περιόρισαν την περαιτέρω ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης και οδήγησαν στην περιθωριοποίηση της για πολλές δεκαετίες (Kittner et al., 2020; Sun et al., 2020).

Στον 21ο αιώνα, η επιδείνωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η εντεινόμενη κλιματική αλλαγή και οι αυξανόμενες ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια επανέφεραν δυναμικά τα EV στο επίκεντρο της βιομηχανικής και πολιτικής ατζέντας (Kittner et al., 2020;). Η εξάρτηση των μεταφορών από μη ανανεώσιμα καύσιμα και υδρογονάνθρακες οδήγησε στην ανάπτυξη οχημάτων νέας ενέργειας (NEV), με βασικό στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οξειδίων του αζώτου (NO_x), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του θείου (SO₂) και αιωρούμενων σωματιδίων (PM) (Sun et al., 2020; Sanguesa et al., 2021). Τα ηλεκτρικά οχήματα οδηγούν στη μεταφορά σημαντικών κινητών πηγών ρύπανσης από τα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα σε σταθερούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου οι εκπομπές μπορούν να ελεγχθούν αποτελεσματικότερα. Η μείωση της τροποσφαιρικής συγκέντρωσης όζοντος και η περιορισμένη δημιουργία αιθαλομίχλης συνεπάγονται ουσιαστικά οφέλη για τη δημόσια υγεία, ιδίως σε μητροπολιτικές περιοχές με υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Παράλληλα, η συνολική μείωση του αποτυπώματος άνθρακα εξαρτάται από το ενεργειακό μείγμα, ιδίως όταν η ηλεκτροπαραγωγή βασίζεται σε

ανανεώσιμες πηγές ή άλλες χαμηλών εκπομπών τεχνολογίες, τότε τα περιβαλλοντικά οφέλη μεγιστοποιούνται (Kittner et al., 2020; Requia et al., 2018).

Πέραν της περιβαλλοντικής τους διάστασης, τα EV μπορούν να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο στο ίδιο το ενεργειακό σύστημα. Μέσω έξυπνων και συγχρονισμένων διαδικασιών φόρτισης, τεχνολογιών διαχείρισης ζήτησης και εφαρμογών vehicle-to-grid (V2G), δύνανται να εξομαλύνουν τα φορτία αιχμής, να απορροφούν πλεονάζουσα παραγωγή από μεταβλητές ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια και να ενισχύουν τη σταθερότητα και ευελιξία των δικτύων. Ωστόσο, δεν αποτελούν οριστική λύση, καθώς οι συνολικές επιπτώσεις τους εξαρτώνται από τον πλήρη κύκλο ζωής των μπαταριών, την εξόρυξη πρώτων υλών και τη διαχείριση αποβλήτων στο τέλος ζωής (Kittner et al., 2020).

6.1.1. Επιδότησεις και θέση στην αγορά

Η τεχνολογική πρόοδος, ιδίως στη χημεία και στην κατασκευή μπαταριών ιόντων λιθίου, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους παραγωγής, έχει ενισχύσει σημαντικά τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά. Οι παγκόσμιες πωλήσεις ξεπέρασαν το ένα εκατομμύριο το 2016 και τα πέντε εκατομμύρια το 2018, ενώ μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Volkswagen, η Mercedes-Benz και η Ford Motor Company επενδύουν στρατηγικά στην ηλεκτροκίνηση (Sun et al., 2020). Το 2024 σημειώθηκε αύξηση 3,5 εκατομμυρίων ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με το 2023, με αποτέλεσμα ο συνολικός ετήσιος αριθμός πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων να φτάσει τα 17 εκατομμύρια οχήματα παγκοσμίως. Περισσότερο από το 20% των παγκόσμιων πωλήσεων οχημάτων ήταν ηλεκτρικά. Μέχρι το τέλος του ίδιου έτους ο παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών οχημάτων αριθμούσε σχεδόν στα 58 εκατομμύρια οχήματα. Το 2024 η Κίνα κατείχε το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς πωλήσεων (64,71%) με 11 εκατομμύρια EV, ακολουθούμενη από την Ευρώπη (18,23%) με 3,1 εκατομμύρια EV και τις Ηνωμένες Πολιτείες (9,41%) με 1,6 εκατομμύρια EV (IEA, 2025).

Παράλληλα, η ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων προορίζεται στο να ενισχύσει την καινοτομία, να μειώσει το κόστος, να βελτιώσει τη διαχείριση αποβλήτων μπαταριών και να προωθήσει εναλλακτικές μορφές κινητικότητας, όπως η κοινή χρήση αυτοκινήτων. Καθοριστικό ρόλο στην επιτάχυνση της υιοθέτησης των EV διαδραμάτιζαν οι δημόσιες πολιτικές (Kittner et al., 2020). Σε ευρωπαϊκές μητροπόλεις όπως το Λονδίνο και το Παρίσι είχαν ανακοινωθεί σχέδια απαγόρευσης των οχημάτων ICE έως το 2040, ενώ το Άμστερνταμ στόχευε σε παρόμοια κατάργηση έως το 2030 (Sun et al., 2020; Kittner et al., 2020). Η Σενζέν

έχει ήδη στραφεί πλήρως σε ηλεκτρικά λεωφορεία και ταξί, ενώ το Όσλο παρουσιάζει από τα υψηλότερα ποσοστά ιδιοκτησίας EV παγκοσμίως. Στην Καλιφόρνια τέθηκε στόχος ενός εκατομμυρίου ηλεκτρικών οχημάτων, με έμφαση σε φορολογικά κίνητρα και ανάπτυξη υποδομών φόρτισης (Kittner et al., 2020; Sanguesa et al., 2021).

Σε εθνικό επίπεδο, η Κίνα, ως η μεγαλύτερη αγορά αυτοκινήτων παγκοσμίως, προωθεί συστηματικά τα NEV για τη μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου (Sun et al., 2020), καταγράφοντας το 2024 τη μεγαλύτερη δημόσια δαπάνη από το 2020 (IEA, 2025). Παρότι το πρόγραμμα επιδοτήσεων έληξε τον Δεκέμβριο του 2022 μετά από 12 χρόνια, διατηρήθηκαν άλλα κίνητρα, όπως η απαλλαγή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από τον φόρο αγοράς 10% που ισχύει για τα συμβατικά οχήματα, ενώ το 2024 εισήχθη και επιδότηση ανταλλαγής (trade-in), με πρόσθετη δημόσια δαπάνη περίπου τα 2,7 δισ. δολάρια. Παρ' όλα αυτά, η κρατική δαπάνη ανά όχημα μειώθηκε κατά 25% μεταξύ του 2022 και του 2024. Στην Κίνα, σχεδόν το 45% των επιδοτήσεων κατευθύνεται σε PHEV, καθώς επωφελούνται και αυτά από την απαλλαγή του φόρου 10% (IEA, 2025).

Το Βέλγιο προσέφερε 4.000 ευρώ ως επιδότηση αγοράς, ενώ τα παραδοσιακά οχήματα υπόκειντο σε φόρο κυκλοφορίας 1.900 ευρώ, σε σύγκριση με μόλις 74 ευρώ για τα EV (Sanguesa et al., 2021). Η Γερμανία είχε θέσει φιλόδοξους στόχους για την κυκλοφορία ηλεκτρικών οχημάτων (Sun et al., 2020) με τους αγοραστές να λάμβαναν επιδοτήσεις 4.000 € για τα οχήματα BEV και 3.000 € για οχήματα PHEV, ενώ τα BEV απαλλάσσονταν από τον φόρο ακίνητης περιουσίας (Sanguesa et al., 2021). Η δυναμική της αγοράς τους επηρεάστηκε όμως το 2024, λόγω της κατάργησης των επιδοτήσεων που σημειώθηκε στα τέλη του 2023. Ως αντίδραση, θεσπίστηκαν νέα φορολογικά οφέλη για εταιρείες που αγοράζουν EV, με ισχύ από τον Ιούλιο του 2024 μέχρι το 2028, δεδομένου ότι τα εταιρικά αυτοκίνητα αντιπροσωπεύουν περίπου τα δύο τρίτα των νέων ταξινομήσεων οχημάτων (IEA, 2025).

Η Νορβηγία επέβαλε ελάχιστους φόρους στα BEV, ενώ τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα υπόκειντο σε σημαντικά υψηλότερους φόρους, παράλληλα με οφέλη όπως απαλλαγές από διόδια και τέλη στάθμευσης (Sanguesa et al., 2021). Αυτή τους η πολιτική συνάδει με την πολύ υψηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων που καταγράφηκε το 2024, καθώς επιτεύχθηκε ο σχεδόν πλήρης εξηλεκτρισμός των πωλήσεων, με 88% των νέων αυτοκινήτων να είναι BEV και λιγότερο από 3% PHEV, οδηγώντας σε μείωση 12% της κατανάλωσης πετρελαίου για οδικές μεταφορές το 2024 σε σύγκριση με το 2021 (IEA, 2025). Από τον Απρίλιο του 2025 μάλιστα, προβλέπεται αύξηση της φορολογίας στα οχήματα ICE και PHEV, ενισχύοντας

περαιτέρω την επίτευξη του στόχου για 100% πωλήσεις οχημάτων μηδενικών εκπομπών έως το 2025 (IEA, 2025).

Στη Δανία, το μερίδιο πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων το 2024 αυξήθηκε κατά 10 ποσοστιαίες μονάδες, φτάνοντας το 56%, με σχεδόν 100.000 πωλήσεις (IEA, 2025). Η Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο επιδιώκουν τον περιορισμό των πωλήσεων συμβατικών οχημάτων τις επόμενες δεκαετίες. Στη Γαλλία, οι αγοραστές EV λάμβαναν επιδοτήσεις 4.000 έως 6.000 ευρώ για οχήματα BEV, 3.500 ευρώ για οχήματα PHEV και σημαντικές μειώσεις στα τέλη κυκλοφορίας. Το Ηνωμένο Βασίλειο παρείχε κίνητρα έως 4.500 λίρες για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και φορολογικές απαλλαγές για φθηνότερα οχήματα (Sun et al., 2020). Ωστόσο, οι πρόσφατες προσαρμογές και μειώσεις των επιδοτήσεων, ιδίως στη Γαλλία, ανέδειξαν τον καθοριστικό ρόλο της σταθερότητας των πολιτικών στη διατήρηση της αναπτυξιακής τροχιάς της ηλεκτροκίνησης (IEA, 2025).

Παράλληλα, επιδοτήσεις και φορολογικά κίνητρα εφαρμόζονταν σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ιαπωνία, ενισχύοντας τη ζήτηση για καθαρά οχήματα (Sanguesa et al., 2021). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο νόμος Inflation Reduction Act διέυρνε το 2023 τον αριθμό οχημάτων που είναι επιλέξιμα για φορολογική επιδότηση με το ανώτατο ποσό να ανέρχεται στα 7.500 δολάρια. Τα κριτήρια της λίστας επιλεξιμότητας όμως μεταβλήθηκαν επανειλημμένως. Η μέση φορολογική επιδότηση το 2024 ανήλθε περίπου στα 4.000 δολάρια ανά όχημα, με αποτέλεσμα οι ΗΠΑ να παρέχουν τη διетία 2023 με 2024 την υψηλότερη επιδότηση ανά όχημα μεταξύ των τριών μεγάλων αγορών EV (IEA, 2025).

Συνολικά, έπειτα των στρατηγικών αλλαγών του 2024, καταδεικνύεται ότι η εξέλιξη της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων εξαρτάται από τον συνδυασμό ρυθμιστικών πλαισίων, δημοσιονομικών κινήτρων, βιομηχανικής στρατηγικής και καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων, τα οποία διαμορφώνουν τόσο την προσφορά όσο και τη ζήτηση στην παγκόσμια μετάβαση προς καθαρές μεταφορές.

6.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Σε τεχνολογικό επίπεδο, στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EV), ο ρυθμός μείωσης του κόστους και βελτίωσης της απόδοσης συνδέεται πρωτίστως με τη μπαταρία έλξης — το βασικότερο και ακριβότερο υποσύστημα, που το 2018 αντιστοιχούσε περίπου στο 35% του συνολικού κόστους ενός EV. Επιπλέον, παράγοντες όπως η ενεργειακή πυκνότητα, ο χρόνος φόρτισης και το βάρος των μπαταριών, που μπορεί να προσεγγίζει τα 200 kg, επηρεάζουν

άμεσα τον σχεδιασμό, τη χωροταξική διάταξη και τη διαδικασία παραγωγής των οχημάτων, διαφοροποιώντας τα EV από τα συμβατικά αυτοκίνητα τόσο σε τεχνικό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο (Kittner et al., 2020; Sanguesa et al., 2021). Η αυτονομία κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 200 και 350 χιλιομέτρων, αν και μοντέλα όπως το Nissan Leaf φτάνουν περίπου τα 364 km και το Tesla Model S ξεπερνά τα 500 km. Οι ταχυφορτιστές επιτρέπουν σημαντική μείωση του χρόνου φόρτισης, χωρίς όμως να εξαλείφουν πλήρως το σχετικό μειονέκτημα έναντι του ανεφοδιασμού καυσίμων (Sanguesa et al., 2021).

Συγκριτικά με τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), τα EV υπερτερούν σε αξιοπιστία, λόγω λιγότερων και απλούστερων μηχανικών εξαρτημάτων, μειωμένου κόστους συντήρησης και απουσίας συστημάτων όπως κιβώτιο ταχυτήτων, συμπλέκτης ή πολύπλοκα κυκλώματα ψύξης (Kittner et al., 2020; Sanguesa et al., 2021). Η ενεργειακή απόδοση well-to-wheel (WTW) είναι σημαντικά υψηλότερη όταν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, φθάνοντας έως και το 70%, έναντι 11 με 27% για βενζινοκίνητα και 25% με 37% για πετρελαιοκίνητα οχήματα (Sanguesa et al., 2021). Επιπλέον, η αθόρυβη λειτουργία και η απουσία κραδασμών ενισχύουν την οδηγική άνεση, ενώ η πρόσβαση σε ζώνες χαμηλών εκπομπών αυξάνει τη λειτουργική τους ευελιξία στις σύγχρονες πόλεις (Sanguesa et al., 2021).

Παρά τα πλεονεκτήματα, παραμένουν προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος, την αυτονομία, τον χρόνο φόρτισης, τη βιωσιμότητα των πρώτων υλών και τις εκπομπές σωματιδίων από μη εξατμιστικές πηγές, όπως η φθορά ελαστικών και φρένων. Συνεπώς, η ηλεκτροκίνηση συνιστά κρίσιμο αλλά όχι αποκλειστικό πυλώνα της απανθρακοποίησης των μεταφορών και της μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Η διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης, τεχνοοικονομικά βιώσιμης και περιβαλλοντικά αποτελεσματικής στρατηγικής απαιτεί συνεχή έρευνα, ανάλυση κύκλου ζωής, παρακολούθηση του κόστους τεχνολογίας και κατανόηση των δευτερογενών επιδράσεων στην αγορά ενέργειας και στη βιομηχανική αλυσίδα αξίας (Sanguesa et al., 2021).

6.1.3. Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

Στο ευρύτερο πλαίσιο, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν περιορίζονται στις επιβατικές μεταφορές, αλλά καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μέσων —οδικών, σιδηροδρομικών, θαλάσσιων και αεροπορικών— που τροφοδοτούνται εν μέρει ή πλήρως με ηλεκτρική ενέργεια. Εντούτοις, η πιο έντονη τεχνολογική και εμπορική εξέλιξη καταγράφεται στις οδικές μεταφορές, όπου η πρόοδος στις μπαταρίες έχει επιταχύνει την ανάπτυξη τόσο των δημόσιων συγκοινωνιών όσο

και των ιδιωτικών ή κοινόχρηστων οχημάτων (Kittner et al., 2020). Σε αυτό το επίπεδο, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, οι οποίες αντανακλούν διαφορετικές τεχνολογικές προσεγγίσεις και βαθμούς εξάρτησης από την ηλεκτρική ενέργεια.

Πρώτον, τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV), γνωστά και ως PEV, λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες — κυρίως ιόντων λιθίου— και μπορούν να ανακτούν ενέργεια μέσω αναγεννητικής πέδησης. Δεν χρησιμοποιούν κινητήρα εσωτερικής καύσης και δεν εξαρτώνται από υγρά καύσιμα. Προσφέρουν μηδενικές εκπομπές καυσαερίων, υψηλή ενεργειακή απόδοση και βελτιωμένη επιτάχυνση, αλλά αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως υψηλό αρχικό κόστος, περιορισμένη αυτονομία και εξάρτηση από την υποδομή φόρτισης (Kittner et al., 2020; Sun et al., 2020; Sanguesa et al., 2021).

Δεύτερον, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) συνδυάζουν κινητήρα εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης και μπαταρία, σε διατάξεις σειράς, παράλληλης ή μικτής λειτουργίας. Τα HEV δεν συνδέονται με εξωτερική πηγή ενέργειας για να φορτίσουν τις μπαταρίες τους. Αντ' αυτού, οι μπαταρίες τους επαναφορτίζονται μέσω της ενέργειας που παράγεται από τον κινητήρα καύσης, καθώς και μέσω αναγεννητικής πέδησης, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα plug-in υβριδικά (PHEV) διαθέτουν επιπλέον δυνατότητα εξωτερικής φόρτισης. Αν και τεχνολογικά ώριμα και εμπορικά κυρίαρχα, δεν είναι πλήρως απαλλαγμένα από τη χρήση καυσίμων (Kittner et al., 2020; Sun et al., 2020; Sanguesa et al., 2021).

Τρίτον, τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV) χρησιμοποιούν ηλεκτρικό κινητήρα που τροφοδοτείται από κυψέλες καυσίμου για τη μετατροπή συμπιεσμένου υδρογόνου και οξυγόνου σε ηλεκτρική ενέργεια, παράγοντας ως υποπροϊόν νερό και προσφέροντας έτσι λειτουργία «μηδενικών εκπομπών». Ωστόσο, η πλειονότητα της παραγωγής υδρογόνου περιλαμβάνει φυσικό αέριο, γεγονός που εγείρει περιβαλλοντικές ανησυχίες. Παρότι προσφέρουν γρήγορο ανεφοδιασμό και μικρότερο βάρος συστήματος σε σχέση με μεγάλες μπαταρίες, το υψηλό κόστος οχημάτων και υποδομών περιορίζει ακόμη τη διείσδυσή τους στην αγορά (Kittner et al., 2020; Sun et al., 2020; Sanguesa et al., 2021).

6.1.4. Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας

Κοινός παρονομαστής όλων των παραπάνω κατηγοριών είναι η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας. Η εξέλιξη των μπαταριών έλξης ξεκίνησε με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, που

αναπτύχθηκαν από τον Gaston Planté το 1860. Παρότι αποτελούν φθηνή και ευρέως ανακυκλώσιμη τεχνολογία, η χαμηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητά τους τις καθιστούν ακατάλληλες για σύγχρονα EV μεγάλης αυτονομίας (Sun et al., 2020).

Στη συνέχεια, οι μπαταρίες νικελίου-μετάλλου υδριδίου (Ni-MH) χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς από τη δεκαετία του 1990, προσφέροντας υψηλότερη ειδική ενέργεια σε σχέση με τις μολύβδου-οξέος. Ωστόσο, ζητήματα αυτοεκφόρτισης, θερμικής συμπεριφοράς και περιορισμών πνευματικής ιδιοκτησίας, σε συνδυασμό με την ταχεία πρόοδο των τεχνολογιών λιθίου, περιόρισαν την περαιτέρω ανάπτυξή τους (Sun et al., 2020).

Σήμερα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου κυριαρχούν στην αγορά, μετά την εμπορική τους εισαγωγή από τη Sony το 1991. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής και υψηλή απόδοση, καθιστώντας τις κατάλληλες για σύγχρονα EV όπως τα BMW i3, Nissan Leaf και μοντέλα της Tesla, Inc. και της BYD Auto. Επιμέρους μπαταρίες, όπως οι μπαταρίες φωσφορικού λιθίου-σιδήρου (LiFePO_4), οι μπαταρίες οξειδίου λιθίου-νικελίου-μαγγανίου-κοβαλτίου (LiNiMnCoO_2 ή NMC) και οι μπαταρίες οξειδίου λιθίου-νικελίου-αλουμινίου-κοβαλτίου (LiNiCoAlO_2 ή NCA), διαφοροποιούνται ως προς το κόστος, τη θερμική σταθερότητα και την ενεργειακή απόδοση (Sun et al., 2020). Παρά την πρόοδο, παραμένουν προκλήσεις σε ρυθμούς φόρτισης, ασφάλεια, αξιοπιστία και διαχείριση κύκλου ζωής, γεγονός που οδηγεί σε συνεχή έρευνα σε νέα υλικά και υβριδικά συστήματα αποθήκευσης.

Η απόδοση μιας μπαταρίας EV καθορίζεται από δείκτες όπως η ενεργειακή πυκνότητα, η πυκνότητα ισχύος, η απόδοση κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης, η διάρκεια ζωής και η αυτοεκφόρτιση. Η ανάγκη αντιστοίχισης της παρεχόμενης ισχύος με τις δυναμικές απαιτήσεις του οχήματος οδήγησε στην ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων αποθήκευσης, που συνδυάζουν διαφορετικές τεχνολογίες (π.χ. μπαταρίες και υπερπυκνωτές) (Sun et al., 2020; Sanguesa et al., 2021).

6.1.5. Τεχνολογίες Φόρτισης

Εξίσου κρίσιμη για την ευρεία υιοθέτηση των BEV είναι η τεχνολογία φόρτισης, καθώς σχετίζεται άμεσα με την «αγωνία αυτονομίας». Οι βασικές προσεγγίσεις είναι τρεις: αγωγήμη φόρτιση, επαγωγική (ασύρματη) φόρτιση και αντικατάσταση μπαταριών.

Η αγωγήμη φόρτιση, η πιο διαδεδομένη λύση, βασίζεται σε φυσική σύνδεση οχήματος-φορτιστή και περιλαμβάνει μετατροπείς AC/DC και συστήματα διόρθωσης συντελεστή

ισχύος. Είναι οικονομικά αποδοτική, αλλά ενδέχεται να παρουσιάζει κινδύνους σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες (Sun et al., 2020).

Η επαγωγική φόρτιση αξιοποιεί ασύρματη μεταφορά ισχύος, επιτρέποντας ακόμη και δυναμική φόρτιση κατά την κίνηση. Παρότι βελτιώνει την ασφάλεια και την ευχρηστία, χαρακτηρίζεται από υψηλότερο κόστος και χαμηλότερη απόδοση (Sun et al., 2020).

Η αντικατάσταση μπαταριών προσφέρει τον ταχύτερο «ανεφοδιασμό», μέσω σταθμών ανταλλαγής με αυτοματοποιημένα συστήματα. Ωστόσο, απαιτεί τυποποίηση πακέτων μπαταριών, σημαντικές επενδύσεις υποδομής και αποτελεσματική διαχείριση αποθεμάτων (Sun et al., 2020).

Η ενσωμάτωση των EV σε έξυπνα δίκτυα μπορεί να περιορίσει τις επιπτώσεις της φόρτισης στο ηλεκτρικό σύστημα και να βελτιώσει τη διαχείριση φορτίου, καθιστώντας την υποδομή φόρτισης στρατηγικό στοιχείο του ενεργειακού μετασχηματισμού. Η ανάπτυξη αποδοτικής υποδομής φόρτισης είναι καθοριστική. Διαφορετικά πρότυπα εφαρμόζονται διεθνώς, όπως το SAE J1772 στη Βόρεια Αμερική, το GB/T 20234 στην Κίνα και το IEC 62196 στην Ευρώπη. Τα πρότυπα διαφοροποιούνται ως προς τον τύπο ρεύματος (AC/DC) και την ισχύ φόρτισης. Τα EV διαθέτουν μετατροπέα AC/DC για φόρτιση από οικιακές πρίζες, ενώ οι σταθμοί ταχείας φόρτισης παρέχουν αυξημένη ασφάλεια και επικοινωνία με το όχημα για έλεγχο ισχύος (Sun et al., 2020; Sanguesa et al., 2021).

6.1.6. Άλλες Σχετικές Τεχνολογίες

Εκτός από τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και τεχνολογίες φόρτισης, σημαντικό είναι εξίσου και το Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (Battery Management System – BMS), υπεύθυνο για την ασφάλεια, την εξισορρόπηση κυψελών, την αποφυγή αιφνίδιων αιχμών ρεύματος και τον υπολογισμό κατάστασης φόρτισης και αυτονομίας. Η βελτιστοποιημένη ενεργειακή διαχείριση μπορεί να ενισχύσει την απόδοση ισχύος χωρίς να μειώνει τη συνολική ενεργειακή απόδοση του οχήματος (Sun et al., 2020; Sanguesa et al., 2021).

Τέλος, κεντρικό ρόλο στη λειτουργία των EV διαδραματίζει ο ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Τεχνολογίες όπως οι κινητήρες επαγωγής (IM), οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PM) και οι κινητήρες μεταβαλλόμενης μαγνητικής αντίστασης (SRM) χρησιμοποιούνται ευρέως, με τους PM να θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλοι για αυτοκινητικές εφαρμογές λόγω υψηλής απόδοσης και πυκνότητας ισχύος (Sanguesa et al., 2021).

Συνολικά, η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ τεχνολογίας μπαταριών, συστημάτων πρόωσης και υποδομών φόρτισης. Η περαιτέρω μείωση κόστους, η βελτίωση ενεργειακής απόδοσης και η ανάπτυξη ολοκληρωμένων δικτυακών λύσεων θα καθορίσουν τον ρυθμό μετάβασης προς ένα βιώσιμο, ηλεκτροκίνητο σύστημα μεταφορών.

6.1.7. Περιβαλλοντική Απόδοση Ηλεκτρικών Οχημάτων

Ωστόσο, η τεχνολογική πρόοδος των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και η απλή διεύρυνση του μεριδίου αγοράς τους δεν διασφαλίζουν αυτομάτως την επίτευξη φιλόδοξων περιβαλλοντικών στόχων. Η πραγματική τους περιβαλλοντική επίδοση εξαρτάται από πολυπαραγοντικούς δείκτες: το είδος των εξεταζόμενων ρύπων, το ενεργειακό μείγμα ηλεκτροπαραγωγής και την πλήρη ανάλυση κύκλου ζωής, από την εξόρυξη πρώτων υλών και την κατασκευή έως τη χρήση και τη διαχείριση τέλους ζωής. Σε οικονομίες όπου κυριαρχεί ο άνθρακας στην ηλεκτροπαραγωγή, όπως στην Κίνα, τα EV μπορούν να επιφέρουν μείωση εκπομπών CO₂ περίπου 20%, αλλά ταυτόχρονα να αυξήσουν εκπομπές SO₂, NO_x και αιωρούμενων σωματιδίων (PM), ακόμη και κατά 360% για PM₁₀ και 250% για PM_{2,5} σε ορισμένες επαρχίες. Αντίστοιχα, στο Τέξας έχει διαπιστωθεί ότι τα PHEV ενδέχεται να εμφανίζουν υψηλότερες εκπομπές SO₂ σε όρους κύκλου ζωής συγκριτικά με συμβατικά οχήματα (Requia et al., 2018).

Αντίθετα, σε περιοχές με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών, όπως η Καλιφόρνια και ισπανικές πόλεις όπως η Βαρκελώνη και η Μαδρίτη, καταγράφονται ουσιαστικές μειώσεις PM_{2,5} και NO₂, με περιορισμένη συμβολή της ηλεκτροπαραγωγής στο αστικό φορτίο ρύπανσης. Στο Μιλάνο, σενάρια αντικατάστασης του 50% των ελαφρών οχημάτων εκτιμάται ότι μειώνουν NO_x κατά 14,1%, ενώ στο Ντένβερ πλήρης μετάβαση σε PHEV θα μπορούσε να μειώσει ημερήσιες εκπομπές NO_x κατά 16% και VOC κατά 24% (Requia et al., 2018).

Παρά τα οφέλη, υφίσταται κίνδυνος γεωγραφικής «μεταφοράς» ρύπανσης προς περιοχές με σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, εγείροντας ζητήματα περιβαλλοντικής δικαιοσύνης. Επιπλέον, το αυξημένο βάρος των EV (κατά μέσο όρο 24% υψηλότερο από τα ICE) ενισχύει τις μη-εξατμιστικές εκπομπές από φθορά ελαστικών και φρένων. Η κατηγοριοποίηση (BEV, HEV, FCEV), οι συνθήκες φόρτισης και η περιφερειακή διαφοροποίηση καθορίζουν τελικά το καθαρό περιβαλλοντικό ισοζύγιο, ιδίως σε χώρες με υψηλές συγκεντρώσεις PM_{2,5} (Requia et al., 2018).

Συμπερασματικά, η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση μπορεί να αποφέρει ουσιαστικά οφέλη, ιδίως ως προς τη μείωση του CO₂ και ορισμένων ρύπων όπως CO, NO_x και VOC. Ωστόσο, οι επιπτώσεις στα σωματίδια, στο SO₂ και στο O₃ εξαρτώνται έντονα από το ενεργειακό μείγμα και τις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η μεγιστοποίηση των οφελών απαιτεί παράλληλη απανθρακοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής, ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών, βελτιστοποίηση στρατηγικών φόρτισης και ολοκληρωμένη ανάλυση κύκλου ζωής. Μόνο μέσω μιας τέτοιας συστημικής προσέγγισης μπορεί η ηλεκτροκίνηση να συμβάλει ουσιαστικά σε ένα βιώσιμο, υγιές και περιβαλλοντικά δίκαιο σύστημα μεταφορών.

6.2.Βιωσιμότητα στις μεταφορές

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) διαχρονικά στηρίζει την ανάπτυξη σύγχρονων και αποδοτικών συστημάτων μεταφορών, αναγνωρίζοντας ότι οι μεταφορές αποτελούν θεμελιώδη πυλώνα της ενιαίας αγοράς και της οικονομικής συνοχής. Η ύπαρξη αξιόπιστων και καλά συνδεδεμένων δικτύων μεταφορών διευκολύνει την ελεύθερη κυκλοφορία αγαθών, υπηρεσιών και πολιτών, ενισχύει την ανταγωνιστικότητα των ευρωπαϊκών επιχειρήσεων και μειώνει τις περιφερειακές ανισότητες μεταξύ των κρατών μελών.

Παράλληλα, η ΕΕ επιδιώκει τη βελτίωση της εδαφικής και κοινωνικής συνοχής, διασφαλίζοντας ότι όλες οι περιφέρειες, συμπεριλαμβανομένων των απομακρυσμένων και νησιωτικών περιοχών, έχουν πρόσβαση σε αποδοτικά συστήματα μεταφορών. Ωστόσο, η ανάπτυξη αυτή δεν μπορεί πλέον να βασίζεται σε παραδοσιακά, ρυπογόνα μοντέλα. Για τον λόγο αυτό, η ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών συνδέεται άρρηκτα με τη μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα.

Στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή, τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν δεσμευτεί να καταστήσουν την Ένωση κλιματικά ουδέτερη έως το 2050. Η δέσμευση αυτή σηματοδοτεί μια βαθιά και μακροπρόθεσμη μεταμόρφωση του ευρωπαϊκού παραγωγικού και ενεργειακού μοντέλου.

Ως ενδιάμεσος στόχος, η ΕΕ έχει θέσει τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η πορεία αυτή προϋποθέτει σταδιακή αλλά σταθερή μείωση των εκπομπών σε όλους τους τομείς της οικονομίας, με ιδιαίτερη έμφαση στους τομείς που μέχρι σήμερα παρουσιάζουν περιορισμένη πρόοδο.

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί έναν από τους πλέον απαιτητικούς τομείς της πράσινης μετάβασης. Ευθύνεται για περίπου το 25% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ, ενώ η μείωση των εκπομπών στον τομέα αυτό εξελίσσεται με βραδύτερους ρυθμούς σε σύγκριση με άλλους τομείς της οικονομίας.

Ενώ σε τομείς όπως η ενέργεια και η βιομηχανία παρατηρείται σημαντική μείωση εκπομπών, οι εκπομπές από τις μεταφορές έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ανάγκη ριζικού μετασχηματισμού των επιβατικών και εμπορευματικών μεταφορών, με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη δραστική μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

Για να ευθυγραμμιστεί με τους συνολικούς κλιματικούς στόχους, ο τομέας των μεταφορών καλείται να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 90% έως το 2050, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

Το 2021 το Συμβούλιο της ΕΕ ενέκρινε συμπεράσματα σχετικά με τη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για έξυπνη και βιώσιμη κινητικότητα. Η στρατηγική αυτή χαράσσει έναν οδικό χάρτη για τη μετάβαση σε ένα σύστημα μεταφορών που θα είναι ταυτόχρονα πράσινο, έξυπνο και ανθεκτικό.

Οι βασικοί άξονες της στρατηγικής περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών, την ψηφιοποίηση των μεταφορών, τη βελτίωση της ασφάλειας και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των δικτύων απέναντι σε κρίσεις, όπως η κλιματική αλλαγή ή οι διαταραχές της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η δέσμη «Προσαρμογή στον στόχο του 55%» (Fit for 55) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύνολο πολιτικών και νομοθετικών πρωτοβουλιών που αποσκοπούν στην επίτευξη του στόχου μείωσης των εκπομπών έως το 2030. Στο πλαίσιο αυτό περιλαμβάνονται κρίσιμες παρεμβάσεις για την απανθρακοποίηση των οδικών, αεροπορικών και θαλάσσιων μεταφορών. Η προσέγγιση της ΕΕ είναι πολυδιάστατη και συνδυάζει αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών, οικονομικά κίνητρα, επενδύσεις σε υποδομές και ενίσχυση της τεχνολογικής καινοτομίας.

Οι οδικές μεταφορές αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών στον τομέα των μεταφορών, με τα επιβατικά αυτοκίνητα να ευθύνονται για περίπου το 12% των συνολικών εκπομπών CO₂ στην ΕΕ. Τον Μάρτιο του 2023, το Συμβούλιο ενέκρινε νέους κανόνες για τη μείωση των εκπομπών από νέα αυτοκίνητα και ημιφορτηγά, αναθεωρώντας τον κανονισμό του 2019. Οι νέοι στόχοι προβλέπουν μείωση των εκπομπών κατά 55% για τα νέα αυτοκίνητα και κατά 50%

για τα νέα ημιφορτηγά την περίοδο 2030–2034, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2021. Από το 2035, όλα τα νέα αυτοκίνητα και ημιφορτηγά που θα διατίθενται στην αγορά της ΕΕ θα πρέπει να είναι οχήματα μηδενικών εκπομπών.

Τον Μάιο του 2024, το Συμβούλιο ενέκρινε νέους κανόνες για την ενίσχυση των προτύπων εκπομπών CO₂ για τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα. Οι κανόνες αυτοί θέτουν φιλόδοξους στόχους μείωσης: 45% έως το 2030, 65% έως το 2035 και 90% έως το 2040. Το πεδίο εφαρμογής επεκτείνεται ώστε να καλύπτει σχεδόν όλα τα νέα βαρέα οχήματα, συμπεριλαμβανομένων των μικρότερων φορτηγών, των αστικών λεωφορείων, των πούλμαν και των ρυμουλκουμένων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα αστικά λεωφορεία, τα οποία θα πρέπει να είναι μηδενικών εκπομπών έως το 2035.

Η αναθεωρημένη οδηγία για την ευρωβινιέτα, η οποία τέθηκε σε ισχύ τον Μάρτιο του 2022, εισάγει νέους κανόνες για τα οδικά τέλη των βαρέων οχημάτων. Οι κανόνες αυτοί ενσωματώνουν την περιβαλλοντική διάσταση, συνδέοντας τα τέλη με τις εκπομπές CO₂ και προωθώντας οικολογικότερες μεταφορές. Ο κανονισμός για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων, που εκδόθηκε τον Ιούλιο του 2023, στοχεύει στη δημιουργία πανευρωπαϊκού δικτύου σταθμών επαναφόρτισης και ανεφοδιασμού. Προβλέπεται, μεταξύ άλλων, η ύπαρξη σταθμών επαναφόρτισης τουλάχιστον ανά 60 χιλιόμετρα στους κύριους οδικούς άξονες.

Τέλος, η αναθεωρημένη οδηγία για τα Συστήματα Ευφώνων Μεταφορών, που εκδόθηκε τον Οκτώβριο του 2023, επιταχύνει την ψηφιακή μετάβαση στον τομέα των μεταφορών. Τα ITS, όπως οι προγραμματιστές ταξιδιών και τα αυτοματοποιημένα οχήματα, συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών, της συμφόρησης και του χρόνου μετακίνησης, καθιστώντας την ευρωπαϊκή κινητικότητα πιο αποδοτική και βιώσιμη.

6.3. Κανονισμός Euro 7

Ο κανονισμός Euro 7 αποτελεί τη νεότερη νομοθετική παρέμβαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα της ρύθμισης των εκπομπών από τα οδικά οχήματα (European Commission, 2022). Εκδόθηκε από το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ολοκληρώνει τη σχετική νομοθετική διαδικασία, εισάγοντας ένα επικαιροποιημένο και ενιαίο πλαίσιο κανόνων για τα επιβατικά αυτοκίνητα, τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα και τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα (Council of the European Union, 2024). Βασικός στόχος του κανονισμού είναι η περαιτέρω μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και η βελτίωση της ποιότητας του αέρα, στο

πλαίσιο της ευρύτερης στρατηγικής της ΕΕ για βιώσιμη και έξυπνη κινητικότητα (European Commission, 2020).

Σε αντίθεση με προηγούμενα πρότυπα, ο κανονισμός Euro 7 συγκεντρώνει σε μία ενιαία νομική πράξη τις ρυθμίσεις που αφορούν διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων και επεκτείνει το πεδίο εφαρμογής του πέρα από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (European Union, 2024). Πέρα από το CO₂, η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει, μέσω του Euro 7, στη μείωση και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων που έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και στο περιβάλλον.

Ο κανονισμός Euro 7 καλύπτει ρύπους που προέρχονται όχι μόνο από τις εξατμίσεις των οχημάτων, αλλά και από τη φθορά των ελαστικών, τη λειτουργία των φρένων και τη χρήση των μπαταριών (European Commission, 2022). Οι πηγές αυτές ρύπανσης αποκτούν αυξανόμενη σημασία, καθώς η ηλεκτροκίνηση μειώνει τις εκπομπές καυσαερίων αλλά όχι απαραίτητα τις μη καυσαεριογενείς εκπομπές.

Για τα επιβατικά αυτοκίνητα και τα ημιφορτηγά, ο κανονισμός διατηρεί τα όρια εκπομπών καυσαερίων του προτύπου Euro 6, ενώ εισάγει αυστηρότερες απαιτήσεις για τις εκπομπές στερεών σωματιδίων (Council of the European Union, 2024). Για τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα, όπως τα λεωφορεία και τα φορτηγά, θεσπίζονται αυστηρότερα όρια για διάφορους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων ουσιών που δεν είχαν έως σήμερα ρυθμιστεί, όπως το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) (European Commission, 2022).

Ο κανονισμός εφαρμόζεται ενιαία σε αυτοκίνητα, ημιφορτηγά και βαρέα οχήματα, ενισχύοντας τη συνοχή και την αποτελεσματικότητα της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής νομοθεσίας (European Union, 2024).

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις μη καυσαεριογενείς εκπομπές, όπως εκείνες που προκύπτουν από την πέδηση και τη φθορά των ελαστικών, οι οποίες αποτελούν σημαντικό παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα στις αστικές περιοχές. Ο κανονισμός Euro 7 εισάγει συγκεκριμένα όρια για τις εκπομπές αυτές, συμβάλλοντας στη μείωση των επιπτώσεών τους στη δημόσια υγεία (European Commission, 2022).

Παράλληλα, εισάγονται αυστηρότερες απαιτήσεις σχετικά με τη διάρκεια ζωής των οχημάτων και των συστημάτων ελέγχου εκπομπών. Τα οχήματα οφείλουν να συμμορφώνονται με τα πρότυπα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και περισσότερα διανυόμενα χιλιόμετρα, γεγονός

που διασφαλίζει τη μακροχρόνια περιβαλλοντική τους απόδοση (Council of the European Union, 2024).

Ο κανονισμός Euro 7 περιλαμβάνει ειδικές διατάξεις για τις μπαταρίες των ηλεκτρικών και των επαναφορτιζόμενων υβριδικών οχημάτων, οι οποίες θα υποβάλλονται σε δοκιμές αντοχής και απόδοσης (European Commission, 2022). Η ρύθμιση αυτή αποσκοπεί στη διασφάλιση της μακροβιότητας των μπαταριών και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή και την αντικατάστασή τους (European Union, 2024).

Ο κανονισμός Euro 7 θεσπίστηκε τον Απρίλιο του 2024 και λειτουργεί συμπληρωματικά προς τα πρότυπα εκπομπών CO₂ που προβλέπονται στον κανονισμό (ΕΕ) 2023/851 (Council of the European Union, 2024). Η εφαρμογή του αναμένεται να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στην προστασία της δημόσιας υγείας, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές με αυξημένη κυκλοφορία. Η επιλογή της μορφής του κανονισμού, αντί της οδηγίας, διασφαλίζει την άμεση και ομοιόμορφη εφαρμογή των κανόνων σε όλα τα κράτη μέλη, χωρίς την ανάγκη ενσωμάτωσης στο εθνικό δίκαιο (European Commission, 2022).

Συμπερασματικά, ο κανονισμός Euro 7 αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο περιβαλλοντικής πολιτικής στον τομέα των οδικών μεταφορών. Μέσω της ρύθμισης τόσο των εκπομπών CO₂ όσο και των λοιπών ατμοσφαιρικών ρύπων, καθώς και μέσω της ενίσχυσης της διάρκειας ζωής των οχημάτων και των μπαταριών, συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση της ρύπανσης και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Commission, 2020).

6.4.Τεχνολογίες CNG, LNG και LPG

Η ταχεία ανάπτυξη των παγκόσμιων μεταφορών έχει καταστήσει τις εκπομπές οχημάτων ένα κεντρικό ζήτημα για την κλιματική πολιτική, την ποιότητα του αέρα και την ενεργειακή ασφάλεια. Οι οδικές μεταφορές παραμένουν ένας από τους μεγαλύτερους συντελεστές περιβαλλοντικών πιέσεων, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, όπου παρά τις συνεχείς τεχνολογικές βελτιώσεις, οι εκπομπές από τον τομέα αυτό παραμένουν σημαντικές στο πλαίσιο των κλιματικών στόχων (EEA, 2025a). Σε απάντηση αυτών των προκλήσεων, εναλλακτικά καύσιμα έχουν εισαχθεί ως μέρος ευρύτερων στρατηγικών για τη μείωση της εξάρτησης από τη συμβατική βενζίνη και το ντίζελ και για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Μεταξύ αυτών, τα αέρια καύσιμα όπως το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (compressed natural gas – CNG), το υγροποιημένο φυσικό αέριο (liquefied natural gas – LNG)

και το υγραέριο (liquefied petroleum gas – LPG) έχουν αναδειχθεί ως σημαντικές μεταβατικές ενεργειακές επιλογές.

Τα οχήματα φυσικού αερίου και άλλα οχήματα που χρησιμοποιούν αέρια καύσιμα έχουν ενσωματωθεί σε συστήματα μεταφορών σε πολλές περιοχές λόγω της δυνατότητάς τους να μειώνουν ορισμένες εκπομπές που σχετίζονται με την καύση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα πετρελαϊκής προέλευσης. Ο ρόλος τους στην απανθρακοποίηση και στις πολιτικές ποιότητας του αέρα συνεχίζει να εξελίσσεται, ιδιαίτερα καθώς ο τομέας των μεταφορών υφίσταται μια ευρύτερη μετάβαση προς τεχνολογίες χαμηλών και μηδενικών εκπομπών.

Το CNG αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και αποθηκεύεται σε οχήματα υπό υψηλή πίεση, συνήθως μεταξύ 200 και 250 bar. Χρησιμοποιείται κυρίως σε επιβατικά αυτοκίνητα, λεωφορεία και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα εξοπλισμένα με κινητήρες ανάφλεξης σπινθήρα προσαρμοσμένους για αέρια καύσιμα. Σύμφωνα με αναλύσεις, η χαμηλότερη περιεκτικότητα άνθρακα του μεθανίου σε σύγκριση με τα συμβατικά υγρά καύσιμα οδηγεί σε μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την καύση, ενώ οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων είναι επίσης συνήθως χαμηλότερες υπό ελεγχόμενες συνθήκες λειτουργίας. Ωστόσο, λόγω της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας κατ' όγκο, το CNG απαιτεί μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης, γεγονός που περιορίζει την αυτονομία του οχήματος και επηρεάζει την αποδοτικότητα σχεδιασμού (IEA, 2010).

Το LNG, αντίθετα, είναι φυσικό αέριο που έχει ψυχθεί περίπου στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ ώστε να μετατραπεί σε υγρή κατάσταση, μειώνοντας σημαντικά τον όγκο του και επιτρέποντας μεγαλύτερη αποθήκευση ενέργειας σε μικρότερο χώρο. Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά το LNG ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές βαρέων μεταφορών, όπως οι μεταφορές μεγάλων αποστάσεων με φορτηγά. Επισημαίνεται ότι το LNG επιτρέπει μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης σε σύγκριση με το CNG, αλλά απαιτεί σύνθετα κρυογενικά συστήματα αποθήκευσης και εξειδικευμένες υποδομές ανεφοδιασμού. Επιπλέον, η ενέργεια που απαιτείται για τη ρευστοποίηση και η πιθανότητα διαρροής μεθανίου κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας επηρεάζουν τη συνολική περιβαλλοντική απόδοση του LNG (IEA, 2025b).

Το LPG διαφέρει τόσο από το CNG όσο και από το LNG ως προς τη σύσταση και την προέλευση, αποτελούμενο κυρίως από προπάνιο και βουτάνιο που προκύπτουν ως

παραπροϊόντα της επεξεργασίας φυσικού αερίου και της διύλισης αργού πετρελαίου. Αποθηκεύεται ως υγρό υπό σχετικά χαμηλή πίεση, συνήθως μεταξύ 5 και 10 bar, καθιστώντας την αποθήκευση και διαχείρισή του απλούστερη σε σύγκριση με το CNG και το LNG. Το LPG έχει υιοθετηθεί ευρέως σε επιβατικά οχήματα, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, όπου χρησιμοποιείται συχνά σε συστήματα διπλού καυσίμου που επιτρέπουν την εναλλαγή μεταξύ βενζίνης και LPG. Σύμφωνα με αναλύσεις, το LPG προσφέρει χαμηλότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων από το ντίζελ, αν και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι μόνο μέτρια χαμηλότερες από αυτές της βενζίνης και παραμένουν υψηλότερες από εκείνες του φυσικού αερίου σε ενεργειακή βάση. Επιπλέον, τα LPG, CNG και LNG εμφανίζουν υψηλότερες εκπομπές αμμωνίας (EAF0, 2026b).

Τα τρία καύσιμα διαφέρουν σημαντικά ως προς τις φυσικές ιδιότητες και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, όπως φαίνεται παραπάνω, και οι διαφορές αυτές εξηγούν τους διακριτούς ρόλους τους στον τομέα των μεταφορών: το LPG κυριαρχεί στις εφαρμογές επιβατικών αυτοκινήτων σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, το CNG είναι συνηθισμένο σε λεωφορεία και δημοτικούς στόλους, ενώ το LNG αναδύεται κυρίως στις εμπορευματικές μεταφορές. Ιστορικά, τα αέρια καύσιμα χρησιμοποιούνται σε οχήματα από τις αρχές του 20ού αιώνα, συχνά λόγω ελλείψεων καυσίμων ή οικονομικών κινήτρων. Το LPG γνώρισε σημαντική ανάπτυξη στην Ευρώπη από τη δεκαετία του 1970 και μετά, ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ιταλία και η Πολωνία, λόγω ευνοϊκής φορολόγησης και πολιτικών τιμολόγησης καυσίμων. Η υιοθέτηση του CNG αυξήθηκε αργότερα, ιδίως σε στόλους δημόσιων μεταφορών που επιδιώκουν τη μείωση της αστικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ενώ το LNG απέκτησε δυναμική μόνο τις τελευταίες δύο δεκαετίες ως καύσιμο για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων. Τα καύσιμα αυτά περιγράφονται σταθερά ως μεταβατικές επιλογές που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών, ενώ αναπτύσσονται πιο μακροπρόθεσμες λύσεις (IEA, 2010).

Όσον αφορά τις υποδομές και τη διείσδυση στην αγορά, η Ευρώπη έχει αναπτύξει ένα σημαντικό δίκτυο που υποστηρίζει τα αέρια καύσιμα. Τα δεδομένα δείχνουν ότι έως το 2021 υπήρχαν περίπου 4.000 σταθμοί ανεφοδιασμού CNG και LNG στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αντανakλώντας σταθερή ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Αντίθετα, οι υποδομές για το LPG είναι πολύ πιο εκτεταμένες, με πάνω από 30.000 σταθμούς ανεφοδιασμού, καθιστώντας το LPG το πιο ευρέως διαθέσιμο εναλλακτικό καύσιμο στην Ευρώπη. Τα δεδομένα ταξινόμησης οχημάτων δείχνουν ότι, ενώ τα οχήματα φυσικού αερίου (CNG και LNG) υπάρχουν σε

σημαντικούς αριθμούς, τα οχήματα LPG κυριαρχούν στο τμήμα των αέριων καυσίμων στην αγορά επιβατικών αυτοκινήτων (ACEA, 2022b).

Από περιβαλλοντική σκοπιά, η χρήση αέριων καυσίμων έχει συμβάλει στη μείωση ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, οι εκπομπές βασικών ρύπων όπως τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου από τις οδικές μεταφορές έχουν μειωθεί σημαντικά από το 1990, κυρίως λόγω βελτιωμένων τεχνολογιών οχημάτων και καθαρότερων καυσίμων. Τα οχήματα CNG και LPG, ειδικότερα, τείνουν να παράγουν λιγότερα αιωρούμενα σωματίδια και εκπομπές θείου σε σύγκριση με το ντίζελ, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας του αστικού αέρα (EEA, 2025d).

Ωστόσο, η συνολική συμβολή αυτών των καυσίμων στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής είναι πιο σύνθετη. Αν και τα καύσιμα φυσικού αερίου εκπέμπουν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα κατά την καύση σε σύγκριση με τη βενζίνη ή το ντίζελ, το μεθάνιο — το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου — είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, και οι εκπομπές από διαρροές κατά την παραγωγή, τη διανομή και τη λειτουργία των οχημάτων μπορούν να αντισταθμίσουν μέρος των κλιματικών οφελών. Τονίζεται ότι οι εκπομπές κύκλου ζωής, συμπεριλαμβανομένων των προγενέστερων διεργασιών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης του LNG και του CNG. Το LPG δεν περιλαμβάνει εκπομπές μεθανίου, αλλά παραμένει ορυκτό καύσιμο με συναφείς εκπομπές άνθρακα από την καύση και την παραγωγή (IEA, 2025b).

Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση της ραγδαίας αύξησης των εξαγωγών LNG από τις Ηνωμένες Πολιτείες μετά την άρση της απαγόρευσης τους το 2016. Αυτή η τόσο γρήγορη αύξηση έχει εντείνει τις ανησυχίες για το συνολικό αποτύπωμα αερίων του θερμοκηπίου. Το μεγαλύτερο μέρος του LNG προέρχεται από αέριο σχιστολιθικών σχηματισμών, του οποίου η εξόρυξη, η επεξεργασία, η υγροποίηση και η θαλάσσια μεταφορά απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και συνοδεύονται από σημαντικές εκπομπές μεθανίου. Οι εκπομπές στα ανάντη και ενδιάμεσα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελούν σχεδόν το 50% του συνολικού αποτυπώματος αερίων του θερμοκηπίου του LNG. Επιπλέον, η υγροποίηση και η μεταφορά με δεξαμενόπλοια αυξάνουν περαιτέρω τις εκπομπές, ιδιαίτερα λόγω της διαφυγής μεθανίου από τα καυσάτρια των σύγχρονων δεξαμενόπλοιων. Συνολικά, με βάση το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη σε ορίζοντα 20 ετών, το αποτύπωμα του LNG εκτιμάται κατά 33% υψηλότερο από

εκείνο του άνθρακα, ενώ ακόμη και σε ορίζοντα 100 ετών το αποτύπωμα παραμένει συγκρίσιμο ή μεγαλύτερο (Howarth, 2024) .

Τα πλαίσια πολιτικής στην Ευρώπη έχουν υποστηρίξει την ανάπτυξη των αέριων καυσίμων μέσω οδηγιών για τις υποδομές και εθνικών κινήτρων, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της Οδηγίας για τις Υποδομές Εναλλακτικών Καυσίμων. Ταυτόχρονα, οι πρόσφατες εξελίξεις πολιτικής, όπως οι κλιματικοί στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τα αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών οχημάτων, δίνουν ολοένα και μεγαλύτερη προτεραιότητα σε τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία και των οχημάτων κυψελών καυσίμου υδρογόνου. Αυτή η μετατόπιση αντικατοπτρίζει την αναγνώριση ότι, ενώ τα αέρια καύσιμα μπορούν να μειώσουν ορισμένες εκπομπές, δεν επαρκούν για την επίτευξη μακροπρόθεσμων στόχων απανθρακοποίησης (Soone, 2021).

Στην πράξη, το LPG παραμένει το πιο διαδεδομένο αέριο καύσιμο για επιβατικά οχήματα λόγω των πλεονεκτημάτων κόστους και της εκτεταμένης υποδομής του, ενώ το CNG χρησιμοποιείται ευρέως σε λεωφορεία και δημοτικούς στόλους για τη βελτίωση της ποιότητας του αστικού αέρα. Το LNG χρησιμοποιείται κυρίως στις βαριές μεταφορές, όπου η υψηλότερη ενεργειακή του πυκνότητα επιτρέπει μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης σε σύγκριση με το CNG. Παρ' όλα αυτά, και τα τρία καύσιμα αντιμετωπίζουν αυξανόμενο ανταγωνισμό από την ηλεκτροκίνηση, ιδιαίτερα στα ελαφρά οχήματα, όπου τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία κερδίζουν γρήγορα μερίδιο αγοράς.

Συμπερασματικά, τα CNG, LNG και LPG έχουν συμβάλει στη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών στις μεταφορές και στη μείωση ορισμένων επιβλαβών εκπομπών, ιδιαίτερα σε αστικά περιβάλλοντα. Τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι τα καύσιμα αυτά προσφέρουν μετρήσιμα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τη συμβατική βενζίνη και το ντίζελ όσον αφορά τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Ωστόσο, ο ρόλος τους στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής περιορίζεται από τις εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής και τη συνεχιζόμενη εξάρτηση από ορυκτούς πόρους. Ως εκ τούτου, μπορούν να θεωρηθούν κυρίως ως μεταβατικές λύσεις στο πλαίσιο μιας ευρύτερης στρατηγικής που δίνει ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στη κινητικότητα μηδενικών εκπομπών.

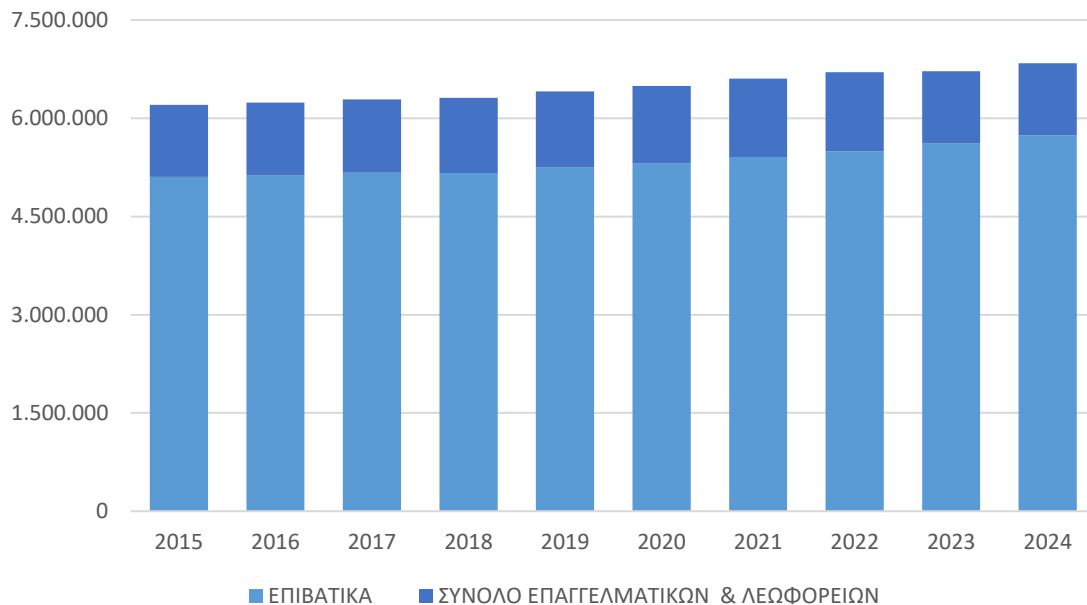
7. Μελέτη Περίπτωσης στους Αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας

Ο στόλος οχημάτων μιας χώρας αποτελεί κρίσιμο δείκτη οικονομικής δραστηριότητας, κοινωνικής κινητικότητας και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Στην Ελλάδα, η εξέλιξη του στόλου οχημάτων συνδέεται άμεσα με τη μεταπολεμική αστικοποίηση, την οικονομική ανάπτυξη των δεκαετιών 1990–2008, την ύφεση που ακολούθησε και, πιο πρόσφατα, τη μετάβαση προς καθαρότερες μορφές μετακίνησης στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών πολιτικών για την κλιματική αλλαγή. Η ανάλυση των στοιχείων στόλου δεν περιορίζεται στον απόλυτο αριθμό οχημάτων. Περιλαμβάνει τη διάρθρωση κατά κατηγορία (επιβατικά, φορτηγά, λεωφορεία, δίκυκλα), την ηλικιακή κατανομή, τον τύπο καυσίμου, τη γεωγραφική κατανομή, καθώς και τη συμμόρφωση με τα πρότυπα εκπομπών ρύπων (Euro standards). Τα δεδομένα αυτά αποτυπώνουν τη φυσιογνωμία της ελληνικής κινητικότητας και αναδεικνύουν τόσο διαρθρωτικά προβλήματα όσο και ευκαιρίες μετασχηματισμού.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι παρατηρούνται διαφοροποιήσεις αναλόγως την πηγή από την οποία συλλέγονται τα στοιχεία. Η διαφοροποίηση μεταξύ των δημοσιευμένων στοιχείων οφείλεται κυρίως στην μεθοδολογική προσέγγιση που χρησιμοποιείται. Τα δεδομένα που θα παρουσιαστούν ακολούθως δημοσιεύθηκαν από την European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), μέσω της ετήσιας έκθεσης Vehicles on European Roads, στην οποία αναφέρονται στοιχεία που αποτυπώνουν τα οχήματα που βρίσκονται σε πραγματική κυκλοφορία ή θεωρούνται ενεργά στο οδικό δίκτυο. Τα δεδομένα συλλέγονται από τις εθνικές αρχές, αλλά υπόκεινται σε εναρμονισμένη ευρωπαϊκή επεξεργασία ώστε να διασφαλίζεται συγκρισιμότητα μεταξύ κρατών-μελών. Στο πλαίσιο αυτό, ενδέχεται να εξαιρούνται οχήματα που παραμένουν εγγεγραμμένα στο ελληνικό μητρώο οχημάτων, αλλά δεν εμφανίζουν πραγματική δραστηριότητα (π.χ. μακροχρόνια ακινησία, μη χρήση, μη ανανέωση τεχνικού ελέγχου ή ασφάλισης). Συνεπώς, ο αριθμός που δημοσιεύεται από την ACEA αντανακλά μια εκτίμηση «ενεργού στόλου».

Ο συνολικός αριθμός κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα το 2024 ανέρχόταν σε 6.840.059 οχήματα σε σχέση με το 2015 που ήταν 6.205.256, παρουσιάζοντας μια αύξηση της τάξης του 10% περίπου (ACEA, 2021; ACEA, 2022; ACEA, 2026). Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται χρονοσειρά από τα έτη 2015 έως 2024 με τα οχήματα σε κυκλοφορία στην Ελλάδα και την κατανομή τους ανά κατηγορία. Τα οχήματα επαγγελματικής χρήσης και τα λεωφορεία παρουσιάζονται μαζί.

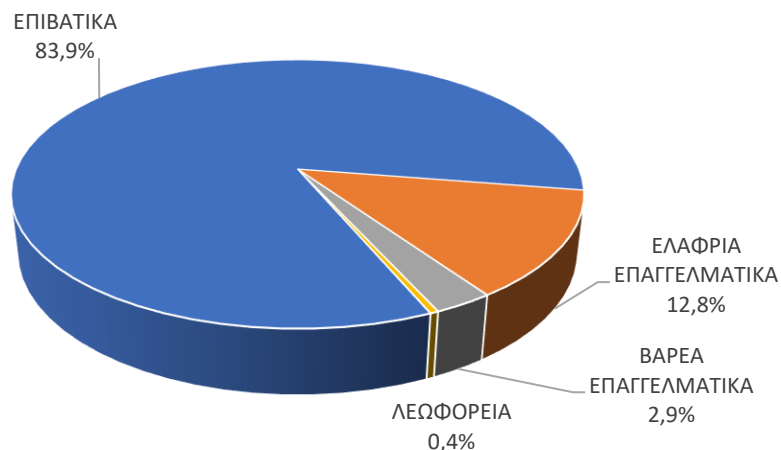
Αριθμός Οχημάτων σε Κυκλοφορία στην Ελλάδα 2015-2024



Εικόνα 1. Αριθμός Οχημάτων στην Ελλάδα ανά κατηγορία για τα έτη 2015-2024.

Κατά την πλειοψηφία τους τα επιβατικά οχήματα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού στόλου οχημάτων, ακολουθούμενα από τα ελαφριά επαγγελματικά οχήματα (φορτηγά κάτω των 3,5 tn) και τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα (φορτηγά άνω των 3,5 tn). Ελάχιστα είναι τα λεωφορεία (ACEA, 2026). Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των οχημάτων για το έτος 2024.

Ποσοστό Οχημάτων σε Κυκλοφορία στην Ελλάδα - 2024



Εικόνα 2. Ποσοστιαία Κατανομή Οχημάτων για το έτος 2024.

Ένα από τα σημαντικότερα δομικά προβλήματα του ελληνικού στόλου είναι η προχωρημένη μέση ηλικία των οχημάτων. Η μέση ηλικία των επιβατικών φτάνει τα 17,8 έτη, ενώ των επαγγελματικών ξεπερνάει τα 21 έτη. Τα λεωφορεία αποτελούν την πιο νεότερη γενιά στα 17,2 έτη. Σε σύγκριση με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αυτοί οι μέσοι όροι καθιστούν τον ελληνικό στόλο σε έναν από τους γηραιότερους στην Ευρώπη. Η οικονομική κρίση της περιόδου 2009–2018 είχε δραματική επίπτωση στις πωλήσεις νέων αυτοκινήτων. Οι ταξινομήσεις μειώθηκαν κατά περισσότερο από 70% σε σύγκριση με τα προ κρίσης επίπεδα, με αποτέλεσμα την αναστολή ανανέωσης του στόλου. Παρά την ανάκαμψη των τελευταίων ετών, η γήρανση παραμένει έντονη (ACEA, 2026). Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι μέσες ηλικίες των οχημάτων ανά κατηγορία. Τα δεδομένα είναι μέχρι το έτος 2024.

	Μέση Ηλικία Οχημάτων στην Ελλάδα	Μέση Ηλικία Οχημάτων στην Ε.Ε.
Επιβατικά	17,8	12,7
Ελαφριά Επαγγελματικά (κάτω των 3,5 tn)	21,2	12,9
Βαρέα Επαγγελματικά (άνω των 3,5 tn)	22,9	14,0
Λεωφορεία	17,2	12,2

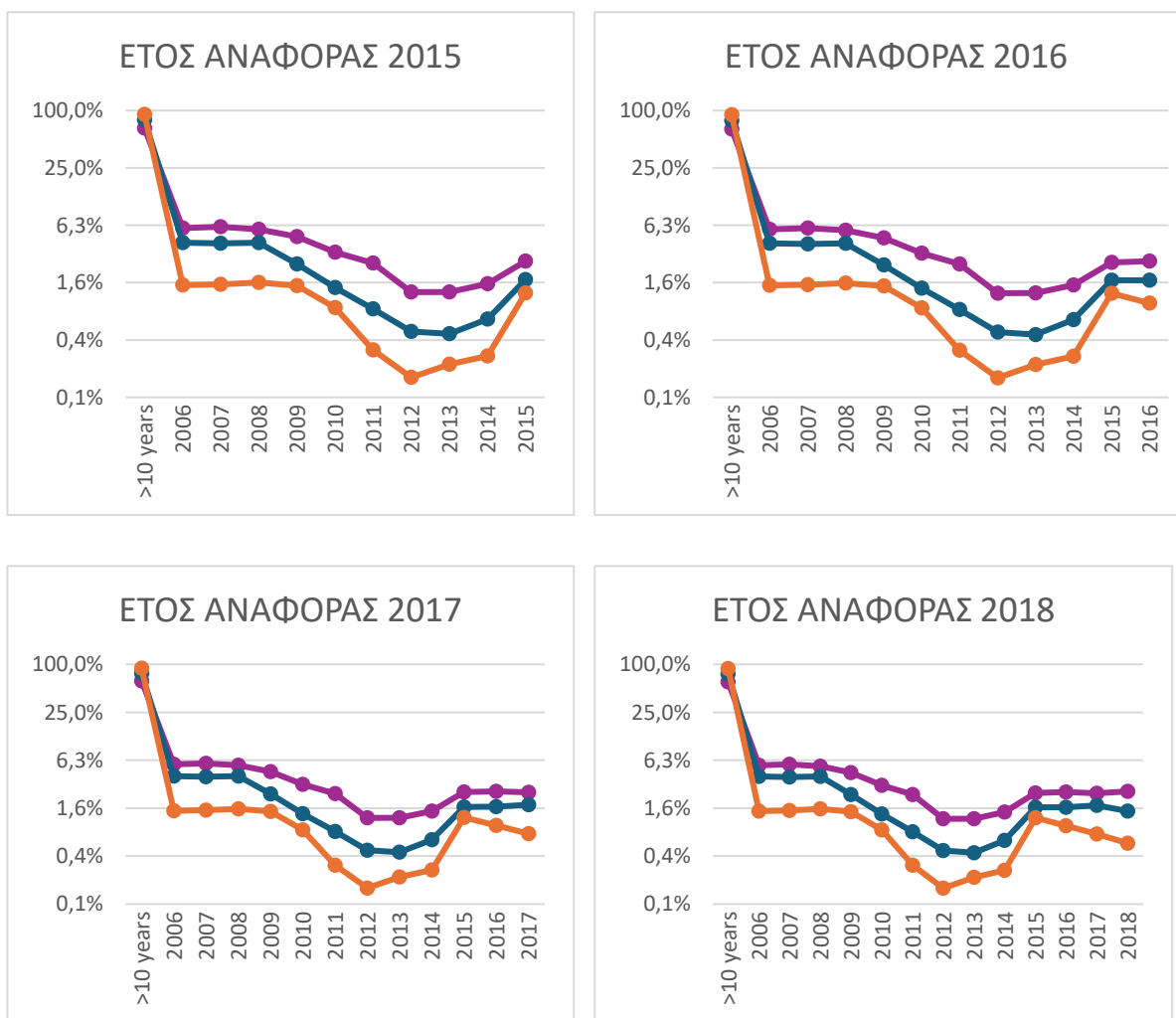
Πίνακας 6. Μέση Ηλικία Οχημάτων στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά κατηγορία οχήματος (έτος αναφοράς 2024). (ACEA, 2026)

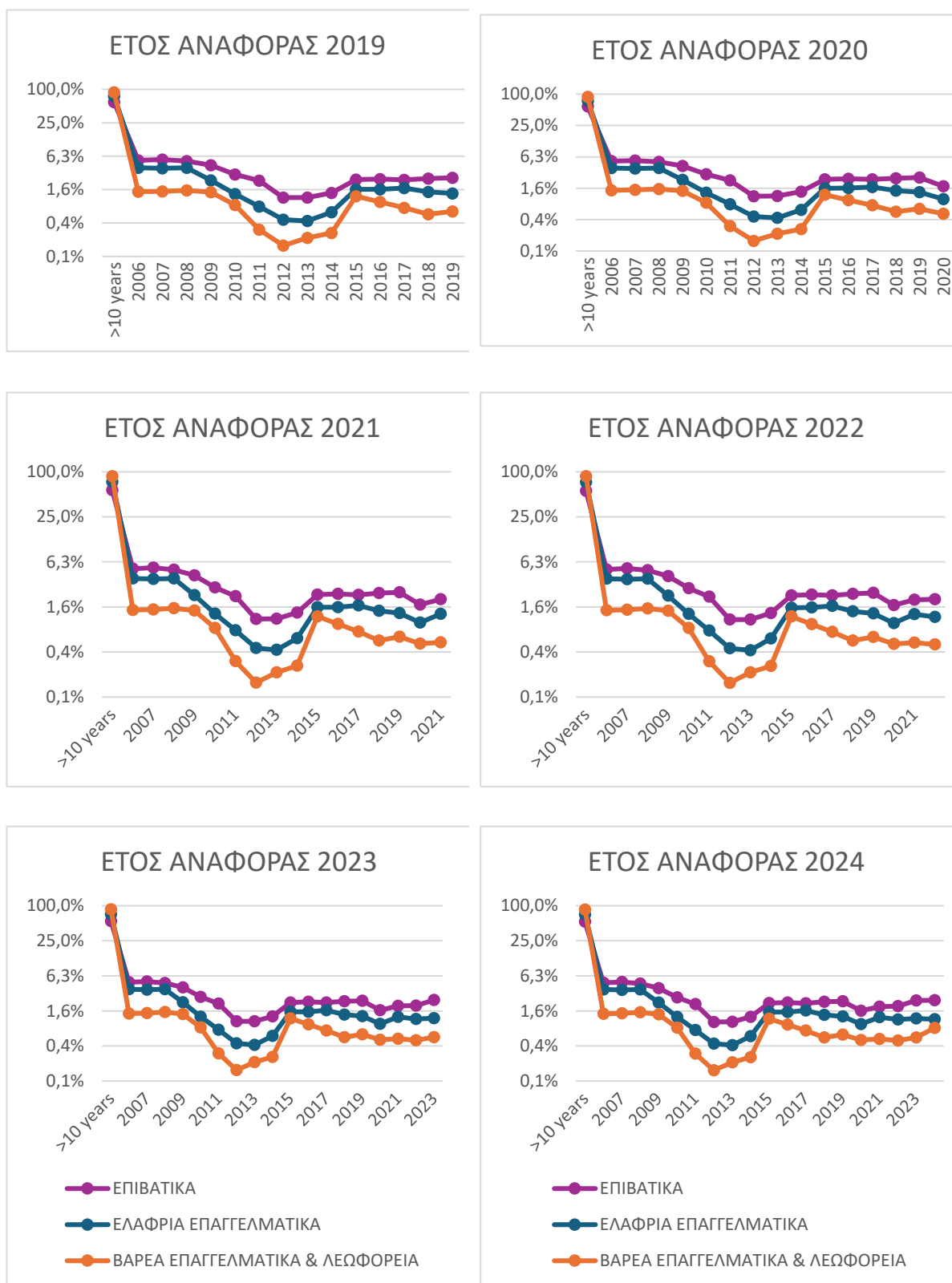
Η αναλογία επιβατικών ανά 1.000 κατοίκους είναι υψηλή συγκριτικά με το επίπεδο αστικοποίησης της χώρας και τους αντίστοιχους μέσους όρους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, γεγονός που καταδεικνύει τη μεγάλη εξάρτηση από το ιδιωτικό αυτοκίνητο.

	Αναλογία ανά 1.000 κατοίκου στην Ελλάδα	Αναλογία ανά 1.000 κατοίκου στην Ε.Ε.
Επιβατικά	552	570
Επαγγελματικά & Λεωφορεία	106	85

Πίνακας 7. Αναλογία Οχημάτων ανά 1.000 κατοίκους στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2024. (ACEA, 2026)

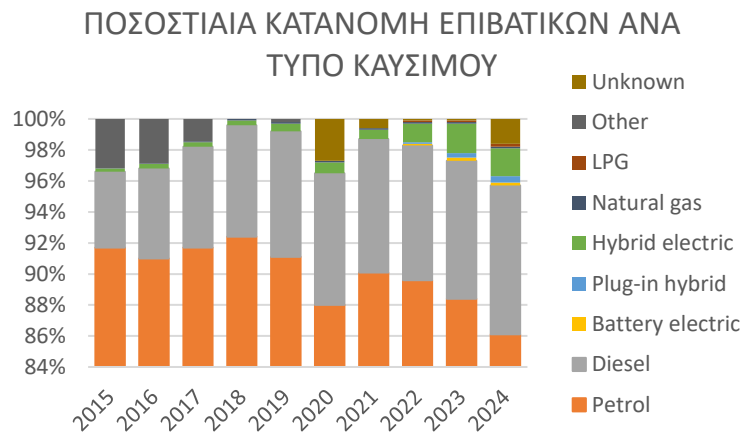
Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3) παρουσιάζεται η ηλικιακή κατανομή των οχημάτων στην Ελλάδα σε ποσοστά ανά τύπο οχήματος και ανά έτος αναφοράς (ACEA, 2026). Τα βαρέα επαγγελματικά και τα λεωφορεία περιλαμβάνονται σε μία κατηγορία. Γίνεται η παραδοχή ότι οι μοτοσυκλέτες ακολουθούν την ηλικιακή κατανομή των επιβατικών οχημάτων. Τα διαγράμματα της Εικόνας 3 παρουσιάζονται σε λογαριθμική κλίμακα, καθώς η ηλικία των οχημάτων άνω των 10 ετών (αναλόγως το έτος αναφοράς και τον τύπο οχήματος) μπορεί να κυμαίνεται από 53% με 65% στα επιβατικά, 70% με 80% στα ελαφριά επαγγελματικά και 86% με 91% στα βαρέα & λεωφορεία. Αντίστοιχα, η ηλικία από το 2006 και έπειτα παρουσιάζει κάθε χρόνο αναλόγως το έτος αναφοράς και τον τύπο οχήματος μικρές αποκλίσεις αλλά πάντα διατηρείται κάτω του 6,5%. Όπως φαίνεται από το 2010 μέχρι το 2015 παρατηρείται μείωση στις ταξινομήσεις, πιθανότατα ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης και των capital controls. Ελάχιστη μείωση παρατηρείται και το 2020 λόγω της πανδημίας Covid-19 και της αντίστοιχης καραντίνας.

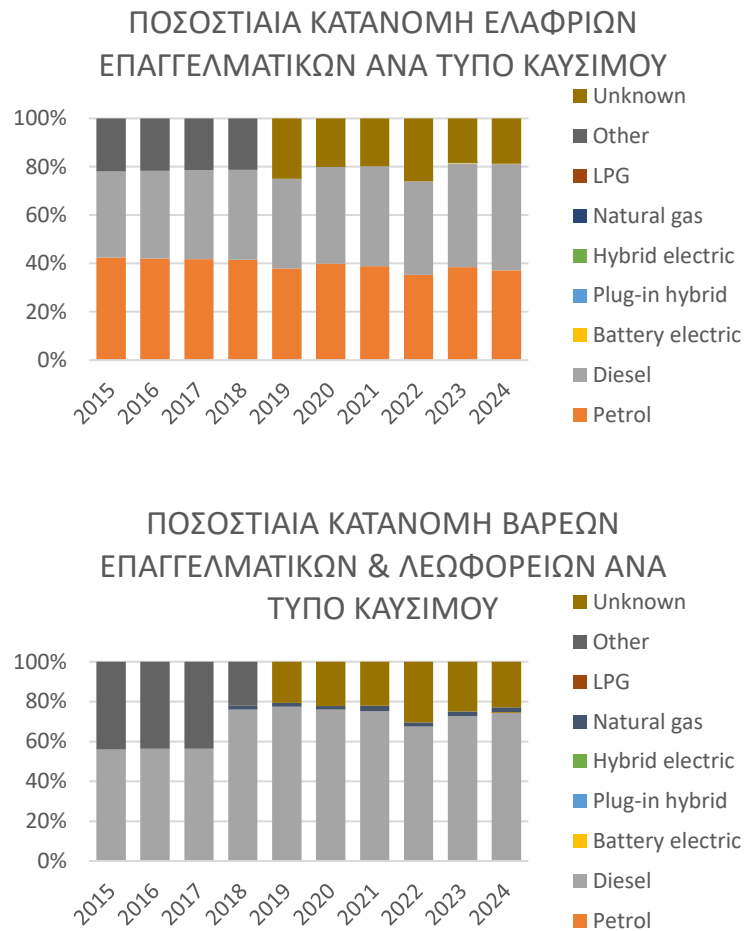




Εικόνα 3. Ηλικιακή Κατανομή Οχημάτων (σε %) ανά τύπο οχήματος και ανά έτος αναφοράς στην Ελλάδα.

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των οχημάτων ανά τύπο καυσίμου στην Ελλάδα. Τα στοιχεία αυτά λήφθηκαν από την ετήσια έκθεση «Vehicles on European Roads» της ACEA (ACEA, 2017; 2018; 2019; 2021; 2022; 2023; 2024; 2025; 2026). Για το έτος 2017 δεν υπήρχαν δεδομένα, συνεπώς έγινε η παραδοχή ότι τα δεδομένα εκείνου του έτους θα είναι ο μέσος όρος μεταξύ των ετών 2016 και 2018. Μεγάλο ποσοστό των τύπων καυσίμων βάση αυτών των ετήσιων εκθέσεων είναι άγνωστο ή χαρακτηρίζεται ως Άλλο. Στα Ελαφριά Επαγγελματικά οχήματα είναι περίπου το 21%, ενώ στα Βαρέα Επαγγελματικά και στα Λεωφορεία είναι περίπου το 30%. Τα διαγράμματα εμφανίζονται ως συσσωρευμένες στήλες 100%. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 4, τα επιβατικά οχήματα χρησιμοποιούν κατά μέσο όρο 90% πετρέλαιο, 8% ντίζελ, με το υπόλοιπο 2% να μοιράζεται ισόποσα σε εναλλακτικές ενεργειακές επιλογές (ηλεκτροκίνηση, φυσικό αέριο κτλ.) ή σε άγνωστο/άλλο καύσιμο. Τα ελαφριά επαγγελματικά οχήματα χρησιμοποιούν κατά μέσο όρο 39,50% πετρέλαιο, 39% ντίζελ, με το υπόλοιπο 20% να είναι άγνωστο/άλλο καύσιμο και να εμφανίζεται λιγότερο από 1% ως ηλεκτροκίνηση. Αντίστοιχα, στα βαρέα επαγγελματικά και στα λεωφορεία 0,1% κινούνται με πετρέλαιο, 69% με ντίζελ, 2% με φυσικό αέριο και το υπόλοιπο 28,9% είναι άγνωστο/άλλο καύσιμο.

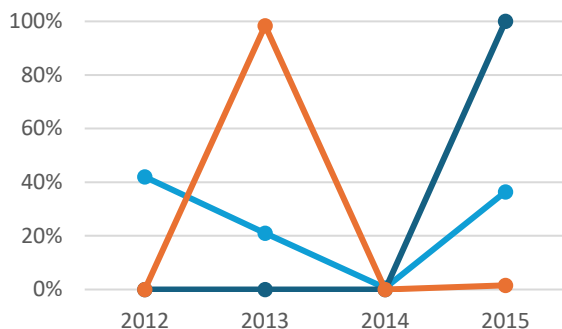




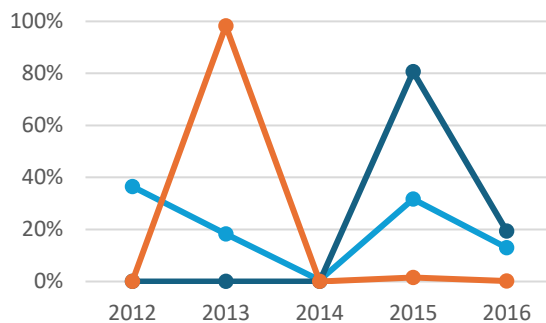
Εικόνα 4. Ποσοστιαία Κατανομή Οχημάτων ανά τύπο καυσίμου στην Ελλάδα.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται ο ρυθμός αύξησης σε εναλλακτικά καύσιμα, και συγκεκριμένα για τα BEV, PHEV και CNG σε ετήσια βάση του στόλου επιβατικών αυτοκινήτων και ελαφριών επαγγελματικών οχημάτων (EAFO, 2026). Αναλόγως το έτος αναφοράς αλλάζει ο ρυθμός αύξησης. Θεωρείται ότι σε κάθε έτος αναφοράς το κάθε εναλλακτικό καύσιμο αθροίζει στο 100%, συνεπώς διαμοιράζεται ο καταμερισμός του καυσίμου από το 2012 που υπάρχουν τα πρώτα δεδομένα μέχρι το αντίστοιχο έτος αναφοράς.

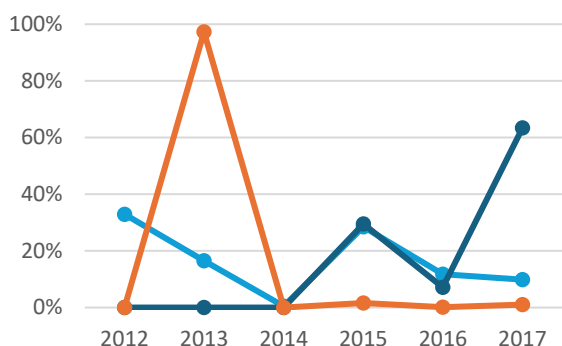
ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2015



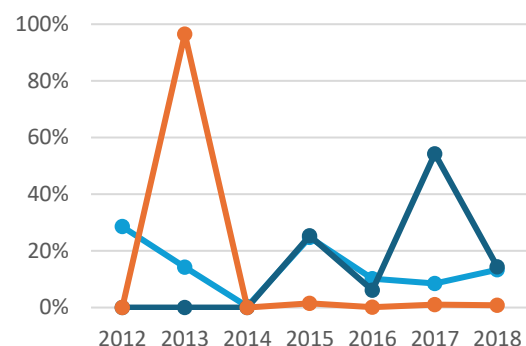
ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2016



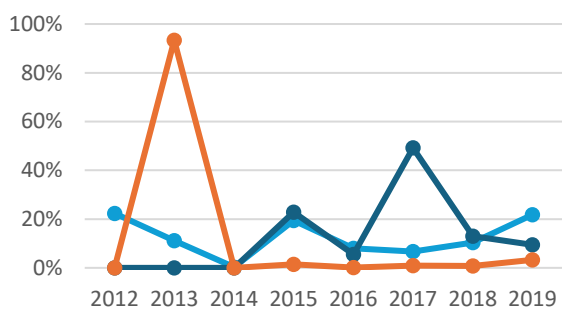
ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2017



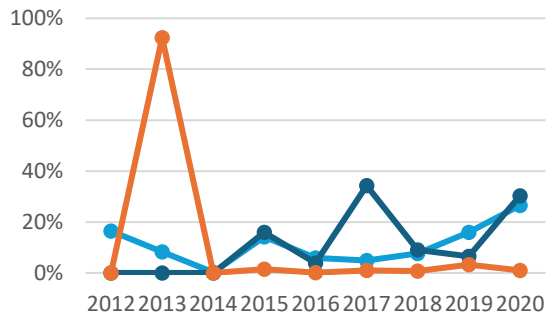
ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2018



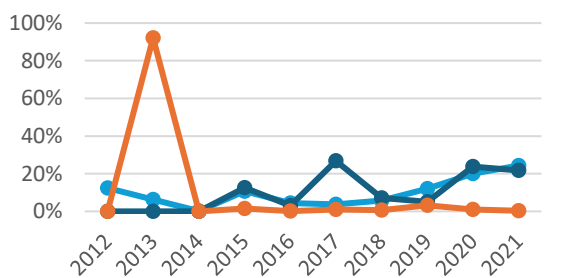
ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2019



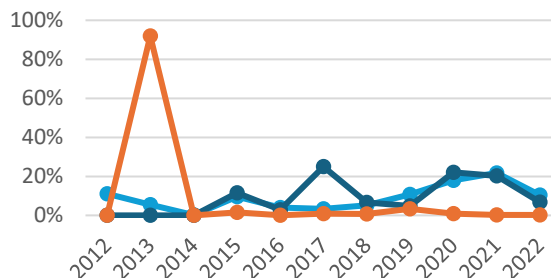
ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2020

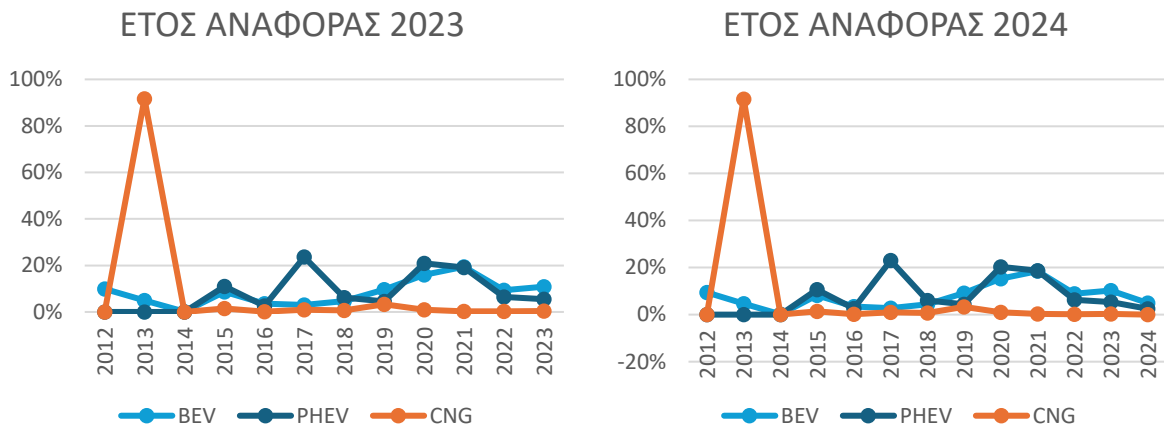


ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2021



ΕΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 2022





Εικόνα 5. Ρυθμός Αύξησης Εναλλακτικών Καυσίμων (BEV, PHEV, CNG) ανά έτος αναφοράς επιβατικών και ελαφριά επαγγελματικών οχημάτων.

7.1.Αυτοκινητόδρομοι της Ελλάδας

Το σύγχρονο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα υποδομών των τελευταίων δεκαετιών και έχει μεταμορφώσει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούνται οι μετακινήσεις, το εμπόριο και οι μεταφορές στη χώρα. Από ένα δίκτυο παλαιών και συχνά επικίνδυνων εθνικών οδών, η Ελλάδα πέρασε σε ένα σύστημα σύγχρονων, ταχείας κυκλοφορίας αυτοκινητοδρόμων, οι οποίοι συνδέουν τις μεγαλύτερες πόλεις, τα λιμάνια και τα σύνορα με υψηλά επίπεδα ασφάλειας και άνεσης. Η εξέλιξη αυτή δεν ήταν στιγμιαία, αλλά αποτέλεσμα δεκαετιών σχεδιασμού, επενδύσεων και συνεργασίας μεταξύ του κράτους και ιδιωτικών φορέων.

Οι αυτοκινητόδρομοι είναι δρόμοι υψηλών προδιαγραφών, σχεδιασμένοι ώστε να εξασφαλίζουν τη γρήγορη και ασφαλή μετακίνηση μεγάλου αριθμού οχημάτων. Διαθέτουν διαχωρισμένες λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, λωρίδα έκτακτης ανάγκης, ανισόπεδους κόμβους και πλήρως ελεγχόμενη πρόσβαση, γεγονός που τους διαφοροποιεί από το παλαιότερο εθνικό οδικό δίκτυο. Η απουσία ισόπεδων διασταυρώσεων μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο τροχαίων ατυχημάτων, ενώ η ποιότητα κατασκευής και συντήρησης αυξάνει την ταχύτητα και την άνεση των μετακινήσεων.

Η ανάπτυξη των αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα επιταχύνθηκε ιδιαίτερα μετά τη δεκαετία του 1990, όταν η χώρα αξιοποίησε ευρωπαϊκά κονδύλια και προχώρησε σε μεγάλα έργα υποδομής. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του ελληνικού μοντέλου είναι ότι οι αυτοκινητόδρομοι δεν διαχειρίζονται αποκλειστικά από το κράτος, αλλά λειτουργούν μέσω

συμβάσεων παραχώρησης. Αυτό σημαίνει ότι ιδιωτικές εταιρείες αναλαμβάνουν την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των δρόμων για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, χρηματοδοτώντας τα έργα εν μέρει μέσω διοδίων. Το μοντέλο αυτό επέτρεψε την ταχύτερη ανάπτυξη του δικτύου, αλλά παράλληλα δημιούργησε ένα σύστημα στο οποίο διαφορετικά τμήματα του ίδιου αυτοκινητοδρόμου μπορεί να διαχειρίζονται από διαφορετικές εταιρείες.

Ο σημαντικότερος αυτοκινητόδρομος της χώρας είναι ο Α1, γνωστός και ως Α.Θ.Ε., που αποτελεί τον βασικό άξονα σύνδεσης της νότιας με τη βόρεια Ελλάδα. Αρχίζει από την Αθήνα και φτάνει έως τους Ευζώνους, στα σύνορα με τη Βόρεια Μακεδονία, διασχίζοντας σημαντικές πόλεις όπως η Λαμία, η Λάρισα, η Κατερίνη και η Θεσσαλονίκη. Το συνολικό του μήκος είναι περίπου 557 χιλιόμετρα και αποτελεί τμήμα του ευρωπαϊκού οδικού δικτύου. Παρότι λειτουργεί ως ένας ενιαίος αυτοκινητόδρομος, στην πραγματικότητα είναι κατακερματισμένος σε τρία βασικά τμήματα, καθένα από τα οποία διαχειρίζεται διαφορετική εταιρεία παραχώρησης (Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776/2015).

Το νότιο τμήμα που εκτείνεται από τον Ανισόπεδο Κόμβο Μεταμορφώσεως Αττικής έως τη Σκάρφεια Φθιώτιδας και έχει μήκος περίπου 172 χιλιόμετρα, διαχειρίζεται από τη Νέα Οδό Α.Ε. Η ίδια εταιρεία διαχειρίζεται και τον κλάδο που συνδέει το Σχηματάρι με τη Χαλκίδα, μήκους 11 χιλιομέτρων. Το μεσαίο τμήμα του Α.Θ.Ε., από τη Σκάρφεια έως τις Ράχες Φθιώτιδας, μήκους 57 χιλιομέτρων, ανήκει στην Κεντρική Οδό Α.Ε. Το βόρειο και πιο απαιτητικό τεχνικά τμήμα, από τις Ράχες έως το Κλειδί Ημαθίας, μήκους περίπου 229,4 χιλιομέτρων, διαχειρίζεται από την Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.. Το συγκεκριμένο τμήμα περιλαμβάνει μεγάλα τεχνικά έργα, όπως οι σήραγγες των Τεμπών, και θεωρείται από τα πιο σύνθετα κατασκευαστικά έργα στην Ελλάδα. Η ύπαρξη διαφορετικών διαχειριστών οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε τμήμα δημοπρατήθηκε και χρηματοδοτήθηκε ξεχωριστά, με διαφορετικές συμβάσεις και επενδυτές. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τεχνικά ο δρόμος περιλαμβάνει ένα ακόμα τμήμα από το Κλειδί Ημαθίας μέχρι τους Εύζωνες κάτω από τη διαχείριση της Εγνατίας Οδού αλλά μέρος αυτού περίπου 48 χλμ. αποτελεί οδός ταχείας κυκλοφορίας χωρίς νησίδα και όχι αυτοκινητόδρομο ακόμα καθώς βρίσκεται υπό σχεδιασμό.

Εξίσου σημαντικός είναι ο αυτοκινητόδρομος Α2, γνωστός ως Εγνατία Οδός, ο οποίος αποτελεί τον μεγαλύτερο σε μήκος αυτοκινητόδρομο της χώρας, με συνολικό μήκος 658 χιλιόμετρα. Η Εγνατία Οδός εκτείνεται από την Ηγουμενίτσα στη δυτική Ελλάδα έως τους Κήπους του Έβρου στα ανατολικά σύνορα με την Τουρκία, διασχίζοντας ολόκληρη τη βόρεια Ελλάδα. Θεωρείται ως η ραχοκοκαλιά των οδικών μεταφορών της Βόρειας Ελλάδας. Ο δρόμος

αυτός έχει τεράστια γεωπολιτική και οικονομική σημασία, καθώς συνδέει λιμάνια, βιομηχανικές περιοχές και διεθνή σύνορα, αποτελώντας βασικό άξονα μεταφορών προς τα Βαλκάνια και την Νοτιοανατολική Ευρώπη. Η κατασκευή του άρχισε το 1994 και ολοκληρώθηκε το 2014, ενώ περιλαμβάνει 177 μεγάλες γέφυρες και 73 δίδυμες σήραγγες, γεγονός που καταδεικνύει τη δυσκολία του έργου.

Εκτός από τον κύριο άξονα του Αυτοκινητοδρόμου Α2, η Εγνατία Οδός διαχειρίζεται και δύο ακόμα αυτοκινητοδρόμους, τον αυτοκινητόδρομο Α29 Σιάτιστα-Ιεροπηγή-Κρυσταλλοπηγή (Αλβανία- Πανευρωπαϊκός Διάδρομος VIII), συνολικού μήκους 72 χλμ. και τον αυτοκινητόδρομο Α25 Θεσσαλονίκη- Σέρρες- Προμαχώνας (Βουλγαρία- Πανευρωπαϊκός Διάδρομος IV), συνολικού μήκους 96 χλμ., ενώ τμήμα της από τον Α/Κ Κλειδιού μέχρι τον Α/Κ Αξιού ανήκει και στον Α1. Σε αντίθεση με τον Α1 (Α.Θ.Ε.), η Εγνατία Οδός μέχρι το Δεκέμβριο του 2025 διαχειριζόταν από μία ενιαία εταιρεία, την Εγνατία Οδός Α.Ε., που ήταν και ο μοναδικός Φορέας Γενικής Κυβέρνησης με ειδίκευση στην κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα. Από 31/12/2025 καινούργιος διαχειριστής της οδού στο μεγαλύτερο κομμάτι της είναι η Νέα Εγνατία Οδός Παραχώρηση Α.Ε. με κάποια τμήματα του αυτοκινητοδρόμου να παραμένουν στην Εγνατία Οδός Α.Ε. (Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776/2015; HELLASTRON, 2026a).

Στη δυτική Ελλάδα, ένας από τους σημαντικότερους άξονες είναι ο αυτοκινητόδρομος Α5, γνωστός ως Ιόνια Οδός. Ο δρόμος αυτός έχει μήκος περίπου 196 χιλιόμετρα και θα συνδέει την Τσάκωνα μέχρι την Κακαβιά (σύνορα με Αλβανία). Προσφέρει μια σύγχρονη και ασφαλή διαδρομή που αντικατέστησε τον παλιό επικίνδυνο δρόμο της περιοχής. Η Ιόνια Οδός χωρίζεται σε 3 τμήματα, με κάθε ένα να διαχειρίζεται από διαφορετική εταιρεία παραχώρησης. Από την Τσάκωνα (κόμβος με τον Α7) μέχρι την Πάτρα (Α/Κ Ρίου) μέσω Πύργου την διαχειρίζεται η Ολυμπία Οδός, από τον Α/Κ Ρίου μέχρι τον Α/Κ Αντιρρίου την διαχειρίζεται η ΓΕΦΥΡΑ, από το Α/Κ Αντιρρίου μέχρι τα Ιωάννινα την διαχειρίζεται η Νέα Οδό Α.Ε. Αποτελεί κρίσιμο σύνδεσμο μεταξύ της δυτικής Ελλάδας και της Εγνατίας Οδού, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της Ηπείρου και της Αιτωλοακαρνανίας. Μάλιστα το κομμάτι που διαχειρίζεται η εταιρεία ΓΕΦΥΡΑ πρόκειται για τη Γέφυρα Ρίου - Αντιρρίου «Χαρίλαος Τρικούπης» που αποτελεί τη μεγαλύτερη καλωδιωτή γέφυρα πολλαπλών ανοιγμάτων με συνεχές πλήρως αναρτημένο κατάστρωμα (2.252μ) στον κόσμο (Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776/2015; HELLASTRON, 2026a).

Ένας ακόμη σημαντικός κάθετος άξονας είναι ο αυτοκινητόδρομος Α3, γνωστός και ως Ε65 ή Αυτοκινητόδρομος Κεντρικής Ελλάδας. Το συνολικό του μήκος φτάνει περίπου τα 231 χιλιόμετρα και συνδέει τη Λαμία με την Εγνατία Οδό, περνώντας από περιοχές όπως η Καρδίτσα και τα Τρίκαλα. Ο δρόμος αυτός διαχειρίζεται από την Κεντρική Οδό Α.Ε. και έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς δημιουργεί έναν νέο διάδρομο μεταφορών που διασχίζει την κεντρική Ελλάδα, μειώνοντας τις αποστάσεις και τον χρόνο μετακίνησης μεταξύ ανατολικής και δυτικής χώρας (Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776/2015; HELLASTRON, 2026a).

Στην Πελοπόννησο, το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων περιλαμβάνει τον Α7, γνωστό ως Μορέας, ο οποίος συνδέει την Κόρινθο με την Τρίπολη και την Καλαμάτα, ενώ διαθέτει και κλάδο προς τη Σπάρτη. Ο δρόμος αυτός διαχειρίζεται από την εταιρεία Μορέας Α.Ε. και έχει συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη της νότιας Πελοποννήσου. Παράλληλα, ο αυτοκινητόδρομος Α8, γνωστός ως Ολυμπία Οδός, συνδέει την Αθήνα με την Πάτρα, διασχίζοντας την Κόρινθο. Το μήκος του φτάνει περίπου τα 210 χιλιόμετρα, ενώ βρίσκονται σε εξέλιξη επεκτάσεις προς τον Πύργο. Τη διαχείρισή του έχει αναλάβει η Ολυμπία Οδός Α.Ε. και αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους άξονες για τον τουρισμό, καθώς οδηγεί προς δημοφιλείς προορισμούς της δυτικής Ελλάδας (Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776/2015; HELLASTRON, 2026a).

Ιδιαίτερη θέση κατέχει και ο αυτοκινητόδρομος Α6, γνωστός ως Αττική Οδός, ο οποίος είναι ένας σύγχρονος αστικός αυτοκινητόδρομος μήκους περίπου 70 χιλιομέτρων. Λειτουργεί από το 2001 και εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, συνδέοντας βασικούς οδικούς άξονες και το αεροδρόμιο της πόλης. Η διαχείρισή του από τον Οκτώβριο 2024 ανήκει στη Νέα Αττική Οδός Α.Ε. και αποτελεί ένα από τα πιο επιτυχημένα παραδείγματα αστικής υποδομής στην Ελλάδα (Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776/2015; HELLASTRON, 2026a).

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ο Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης, γνωστός ως ΒΟΑΚ, ο οποίος βρίσκεται υπό ανάπτυξη και αναμένεται να αποτελέσει τον βασικό αυτοκινητόδρομο του νησιού. Το συνολικό του μήκος εκτιμάται σε περίπου 300 χιλιόμετρα και θα συνδέει τα Χανιά με το Ηράκλειο και τον Άγιο Νικόλαο, βελτιώνοντας σημαντικά την οδική ασφάλεια και την οικονομική δραστηριότητα στην Κρήτη (Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776/2015).

Η ύπαρξη πολλών διαφορετικών εταιρειών διαχείρισης στο ελληνικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων οφείλεται σε ιστορικούς και οικονομικούς λόγους. Κάθε έργο σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σε διαφορετική χρονική περίοδο, με διαφορετικά χρηματοδοτικά σχήματα και επενδυτές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός «μωσαϊκού» διαχείρισης, όπου

Συνολικά, το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα έχει συμβάλει καθοριστικά στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, μειώνοντας τους χρόνους μετακίνησης, αυξάνοντας την ασφάλεια και ενισχύοντας την οικονομική ανάπτυξη. Παράλληλα, έχει ενισχύσει τη γεωπολιτική θέση της χώρας ως κόμβου μεταφορών στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων και της Ανατολικής Μεσογείου. Με την ολοκλήρωση των νέων έργων και τη συνεχή αναβάθμιση των υφιστάμενων υποδομών, το ελληνικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων αναμένεται να συνεχίσει να εξελίσσεται, ανταποκρινόμενο στις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας και οικονομίας.



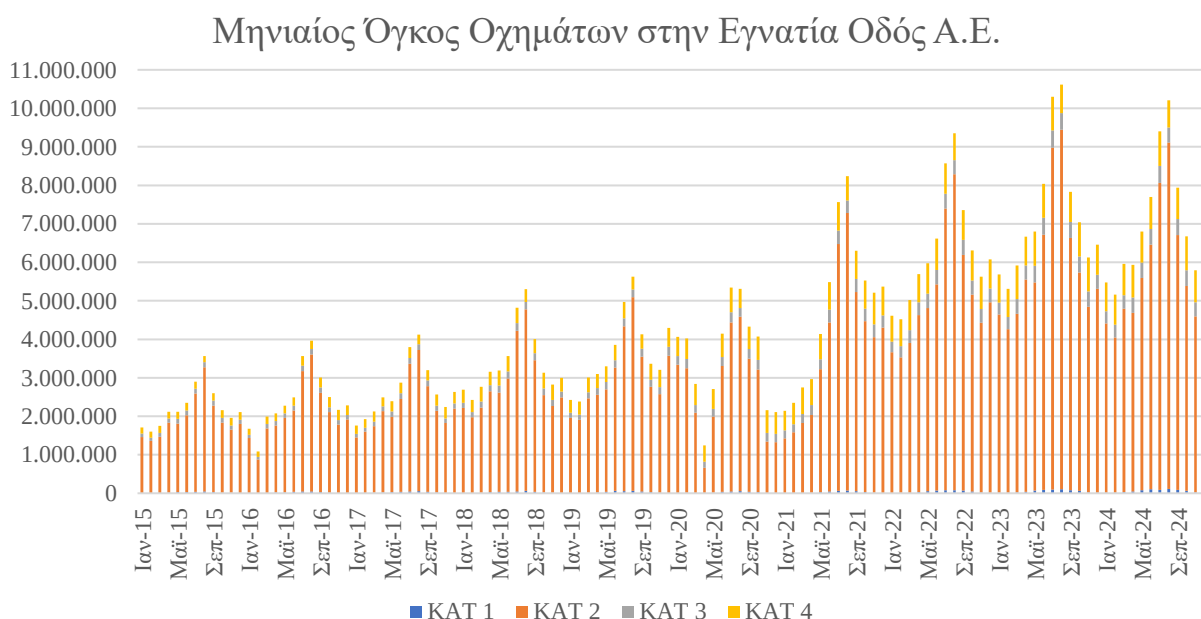
7.2.Δεδομένα Εισόδου και Μεθοδολογία

Για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την Εγνατία Οδός Α.Ε. και από την HELLASTRON. Η HELLASTRON (HELLENIC ASSOCIATION of TOLL ROAD NETWORK) αποτελεί το διακριτικό τίτλο του φορέα «ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ και ΟΔΟΙ ΜΕ ΔΙΟΔΙΑ». Πρόκειται για μια αστική μη κερδοσκοπικής εταιρίας με γενικό στόχο την προώθηση θεμάτων που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα (HELLASTRON, 2026a). Για τη διεξαγωγή της διαδικασίας έγιναν αρχικά δύο μοντέλα για τον υπολογισμό της τάσης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας. Το πρώτο μοντέλο χρησιμοποιεί δεδομένα από την Εγνατία Οδός Α.Ε. για τον αυτοκινητόδρομο της Εγνατίας Οδού, ενώ το δεύτερο μοντέλο χρησιμοποιεί δεδομένα από τους αυτοκινητοδρόμους που ανήκουν στο δίκτυο της HELLASTRON και αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία των αυτοκινητοδρόμων της Ελλάδος. Συγκεκριμένα, στο δίκτυο της HELLASTRON ανήκουν οι αυτοκινητόδρομοι, όπως αντιπροσωπεύονται από τις εταιρείες παραχώρησης τους: Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε., Νέα Αττική Οδός Μ.Α.Ε, ΓΕΦΥΡΑ Α.Ε, Εγνατία Οδός Α.Ε., Κεντρική Οδός Α.Ε., ΜΟΡΕΑΣ Α.Ε., Νέα Οδός Α.Ε. και Ολυμπία Οδός Α.Ε. (HELLASTRON, 2026a).

Τα δεδομένα που δόθηκαν από την Εγνατία Οδός Α.Ε. σχετίζονται με τον κυκλοφοριακό φόρτο ανά κατηγορία οχήματος για το χρονικό διάστημα 2015 με 2024 και παρουσιάζονται στην Εικόνα 7. Σύμφωνα με τα δεδομένα οι μοτοσυκλέτες που διήλθαν από την Εγνατία Οδός το 2015 ήταν περίπου 230 χιλιάδες το 2015, ενώ ανήλθαν σε 665 χιλιάδες το 2024. Αντίστοιχα, οι διελεύσεις των επιβατικών από 23 εκατομμύρια το 2015 ανήλθαν σε 68 εκατομμύρια το 2024. Για τα Ελαφριά Επαγγελματικά οχήματα παρατηρήθηκαν 1,4 εκατομμύρια διελεύσεις το 2015 και 4,6 εκατομμύρια διελεύσεις το 2024. Τέλος, τα Βαρέα Επαγγελματικά & Λεωφορεία από 2 εκατομμύρια διελεύσεις το 2015 ανέβηκαν σε 9,7 εκατομμύρια διελεύσεις το 2024. Σημαντική μείωση στις διελεύσεις των οχημάτων παρατηρήθηκε το 2020 λόγω της πανδημίας COVID-19 που οδήγησε στην καραντίνα και στο περιορισμό των ταξιδιών (κυρίως για προσωπικής χρήση και όχι για επαγγελματική).



Εικόνα 7. Ετήσιος Κυκλοφοριακός Φόρτος Εγνατίας Οδού ΑΕ ανά κατηγορία οχήματος για τα έτη 2015-2024 (Αριστερός κάθετος άξονας: Επιβατικά, Ελαφριά Επαγγελματικά, Βαρέα Επαγγελματικά & Λεωφορεία; Δεξιός κάθετος άξονας Μοτοσυκλέτες)



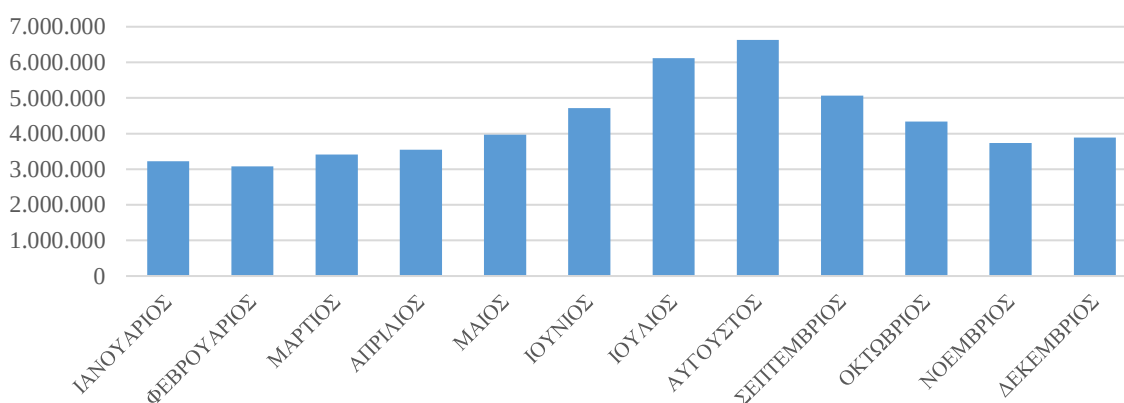
Εικόνα 8. Μηνιαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Εγνατίας Οδού ΑΕ ανά κατηγορία οχήματος για τα έτη 2015-2024

Στη Εικόνα 8 παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση του όγκου οχημάτων που διήλθαν τα έτη 2015 με 2024 από τα διόδια της Εγνατίας Οδού. Γίνεται αντιληπτό ιδιαίτερα από την παραπάνω εικόνα ότι η κατηγορία 1 των οχημάτων (μοτοσυκλέτες) καταλαμβάνει συγκριτικά μικρό μέρος της κίνησης των οχημάτων σε έναν αυτοκινητόδρομο σε σχέση με τις υπόλοιπες

κατηγορίες. Αντίστοιχα, εντοπίζεται η επίδραση της καραντίνας στην κυκλοφορία τα έτη 2020 και 2021 και ιδιαίτερα τους μήνες που ίσχυαν οι πιο αυστηροί περιορισμοί μετακίνησης. Σε βάθος χρόνου φαίνεται και η αυξητική τάση της κίνησης των οχημάτων. Πιθανότατα λόγω της αύξησης στις ταξινομήσεις εισαγόμενων μεταχειρισμένων οχημάτων και στην ακριβέστερη συγκέντρωση δεδομένων κυκλοφοριακού φόρτου.

Από τις Εικόνες 8 και 9 μπορεί να παρατηρηθεί η εποχική διακύμανση της συνολικής κίνησης επί του αυτοκινητοδρόμου της Εγνατίας Οδού. Εντοπίζεται μεγάλη ροή οχημάτων τους καλοκαιρινούς μήνες (ιδιαίτερα τον Ιούλιο και τον Αύγουστο). Κύριος λόγος οι καλοκαιρινές διακοπές τόσο των Ελλήνων όσο και κατοίκων εξωτερικού που επιλέγουν να ταξιδέψουν οδικώς. Λιγότερη κίνηση εμφανίζεται το πρώτο τρίμηνο κάθε έτους, πιθανότατα λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχουν βασικές ή πολυήμερες αργίες εκείνες τις ημέρες.

Μέσος Μηνιαίος Όγκος Οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού



Εικόνα 9. Μέσος Μηνιαίος Κυκλοφοριακός Φόρτος Εγνατίας Οδού ΑΕ για τα έτη 2015-2024

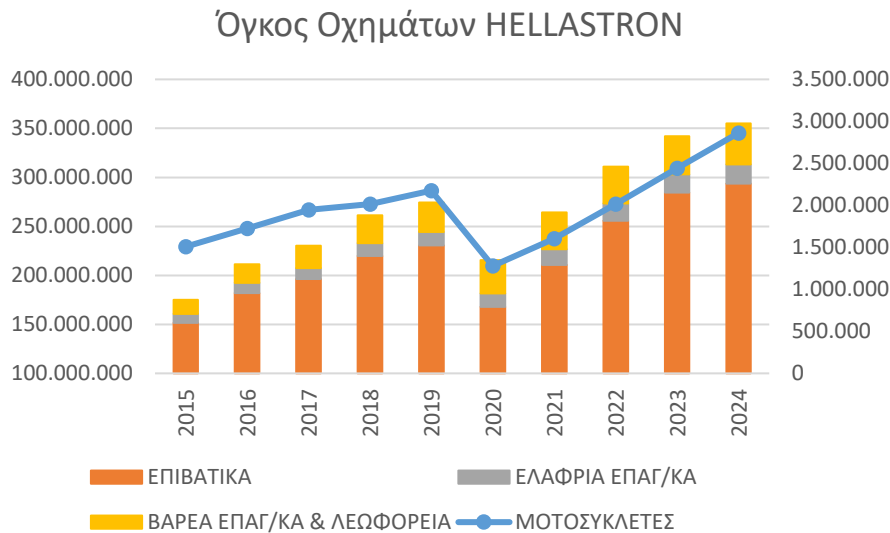
Βάση των ετήσιων συναλλαγών διοδίων που έγιναν στο συνολικό δίκτυο της HELLASTRON τα έτη 2015 με 2024 σε συνδυασμό με την κατανομή (σε ποσοστά) ανά κατηγορία οχήματος στην Εγνατία Οδός Α.Ε. δημιουργήθηκε ο κυκλοφοριακός φόρτος σε όλο το δίκτυο των αυτοκινητοδρόμων που ανήκουν στην HELLASTRON και παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 και στην Εικόνα 10.

2015	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	229.957	0,85%	1.506.543
KAT 2	23.154.292	85,96%	151.693.275
KAT 3	1.376.035	5,11%	9.014.970

KAT 4	2.175.775	8,08%	14.254.395
Σύνολο 2015	26.936.059		176.469.183
2016	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	235.765	0,81%	1.726.834
KAT 2	24.830.381	85,38%	181.867.283
KAT 3	1.416.645	4,87%	10.376.054
KAT 4	2.599.275	8,94%	19.038.092
Σύνολο 2016	29.082.066		213.008.263
2017	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	269.225	0,84%	1.947.126
KAT 2	27.122.853	84,44%	196.161.662
KAT 3	1.573.444	4,90%	11.379.680
KAT 4	3.153.922	9,82%	22.810.232
Σύνολο 2017	32.119.444		232.298.701
2018	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	312.679	0,77%	2.016.116
KAT 2	34.116.112	83,50%	219.976.527
KAT 3	1.992.186	4,88%	12.845.372
KAT 4	4.439.050	10,86%	28.622.453
Σύνολο 2018	40.860.027		263.460.468
2019	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	343.544	0,79%	2.175.336
KAT 2	36.397.014	83,36%	230.467.517
KAT 3	2.205.812	5,05%	13.967.300
KAT 4	4.718.082	10,81%	29.875.106
Σύνολο 2019	43.664.452		276.485.259
2020	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	249.763	0,59%	1.279.154
KAT 2	32.799.481	77,45%	167.981.657
KAT 3	2.668.867	6,30%	13.668.530
KAT 4	6.630.951	15,66%	33.960.237
Σύνολο 2020	42.349.062		216.889.579
2021	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	349.643	0,60%	1.602.413

KAT 2	45.976.232	79,22%	210.708.928
KAT 3	3.500.212	6,03%	16.041.461
KAT 4	8.212.442	14,15%	37.637.596
Σύνολο 2021	58.038.529		265.990.397
2022	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	487.452	0,64%	2.015.143
KAT 2	61.886.991	81,73%	255.842.932
KAT 3	4.217.466	5,57%	17.435.148
KAT 4	9.131.040	12,06%	37.748.031
Σύνολο 2022	75.722.949		313.041.254
2023	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	615.532	0,71%	2.443.877
KAT 2	71.646.667	82,56%	284.462.314
KAT 3	4.720.838	5,44%	18.743.377
KAT 4	9.801.712	11,29%	38.916.223
Σύνολο 2023	86.784.749		344.565.792
2024	Όγκος Οχημάτων ΕΓΝΑΤΙΑ	Ποσοστά	Όγκος Οχημάτων HELLASTRON
KAT 1	664.778	0,80%	2.861.502
KAT 2	68.183.123	82,02%	293.490.659
KAT 3	4.571.852	5,50%	19.679.296
KAT 4	9.712.616	11,68%	41.807.444
Σύνολο 2024	83.132.369		357.838.900

Πίνακας 8. Όγκος Οχημάτων στην Εγνατία Οδός Α.Ε., αναλογία ανά κατηγορία οχήματος (σε %) και Όγκος Οχημάτων στους Αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας βάσει στοιχείων της HELLASTRON

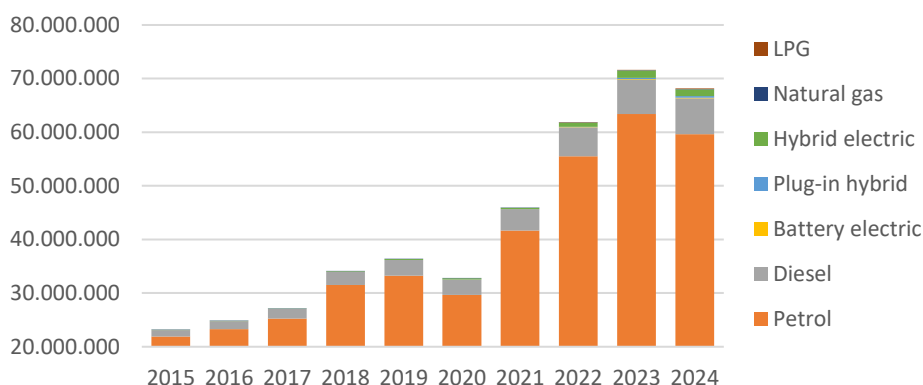


Εικόνα 10. Κυκλοφοριακός Φόρτος στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON ανά κατηγορία οχήματος τα έτη 2015 με 2024. (Αριστερός κάθετος άξονας: Επιβατικά, Ελαφριά Επαγγελματικά, Βαρέα Επαγγελματικά & Λεωφορεία; Δεξιός κάθετος άξονας Μοτοσυκλέτες)

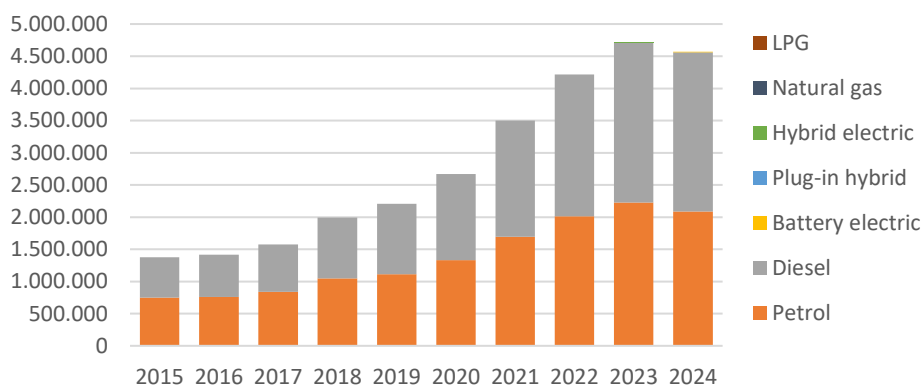
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα δεδομένα εισόδου αφορούν στα οχήματα που πραγματοποίησαν διελεύσεις από τους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας, δηλαδή αποτελούν το συνολικό όγκο οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους. Τα δεδομένα εισόδου δεν σχετίζονται με τις ετήσιες ταξινομήσεις οχημάτων στην Ελλάδα ούτε με τον στόλο οχημάτων της χώρας. Αυτό σημαίνει ότι ένα όχημα μπορεί να διήλθε πολλές φορές από τα διόδια των αυτοκινητοδρόμων σε διάφορες μέρες. Κάθε διέλευση του θεωρείται μοναδική και προσμετράται στο συνολικό κυκλοφοριακό φόρτο. Αυτός είναι και ο λόγος που ο κυκλοφοριακός φόρτος τόσο στην Εγνατία Οδό όσο και στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON εμφανίζεται τόσο αυξημένος σε σχέση με το συνολικό αριθμό κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα.

Για τη διεξαγωγή της εργασίας, το ποσοστό που ανήκει στην κατηγορία Άγνωστο ή Άλλο καύσιμο στην Εικόνα 4 διαμοιράζεται βάση των ποσοστών που υπάρχουν στις άλλες κατηγορίες καυσίμου. Έχοντας κάνει αυτή την παραδοχή, στις Εικόνες 11 και 12 παρουσιάζεται ο κυκλοφοριακός φόρτος ανά κατηγορία οχήματος και ανά τύπο καυσίμου στην Εγνατία Οδό και στους αυτοκινητοδρόμους της HELLASTRON αντίστοιχα. Οι μοτοσυκλέτες θεωρούνται ότι λειτουργούν μόνο με πετρέλαιο και συνεπώς δεν γίνεται κάποια περαιτέρω ανάλυση σε σχέση με τον τύπο καυσίμου.

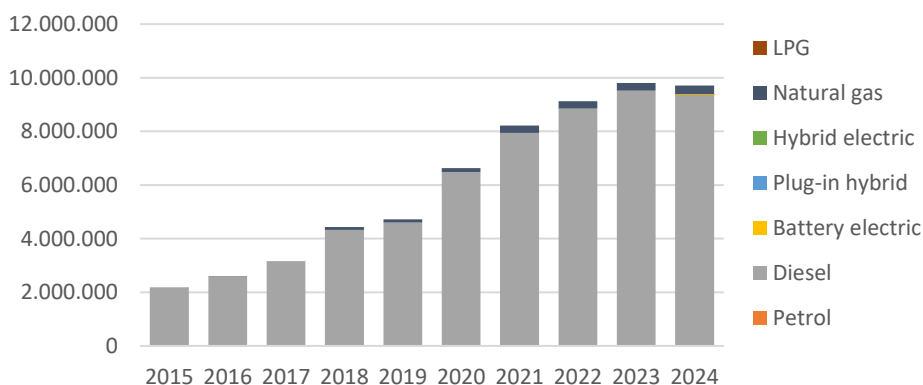
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ



ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΕΛΑΦΡΙΩΝ ΕΠΑΓ/ΚΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

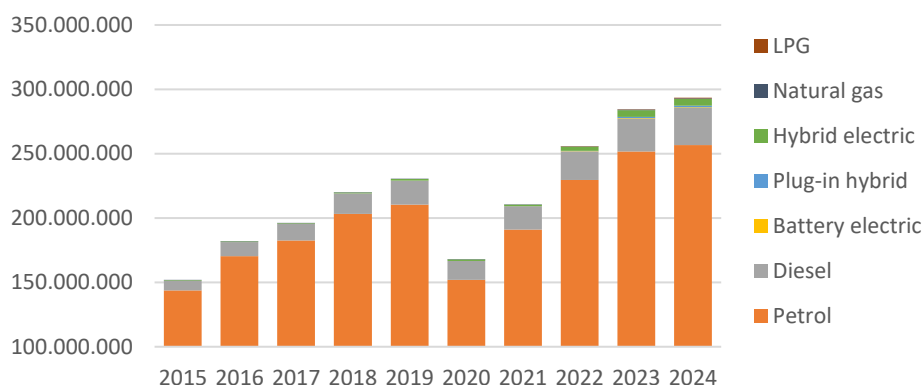


ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΕΠΑΓ/ΚΩΝ & ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

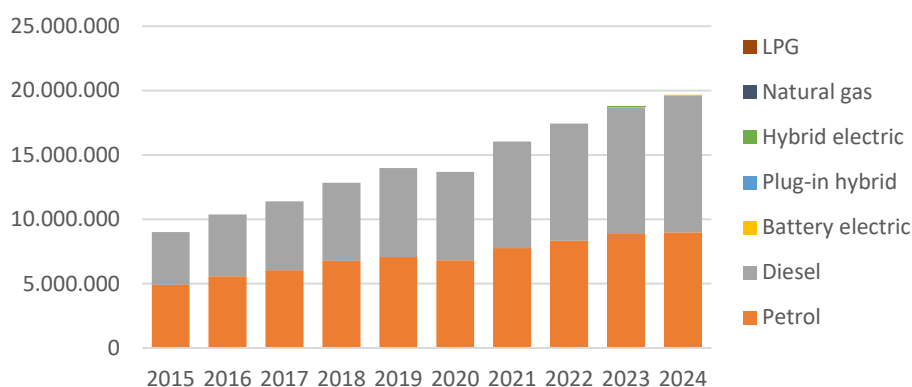


Εικόνα 11. Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά κατηγορία οχήματος και ανά τύπο καυσίμου στην Εγνατία Οδό για τα έτη 2015 με 2024.

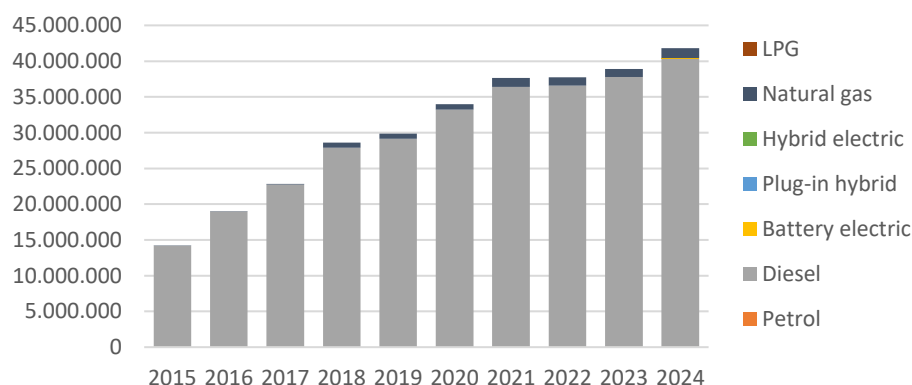
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ



ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΕΛΑΦΡΙΩΝ ΕΠΑΓ/ΚΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ



ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΕΠΑΓ/ΚΩΝ & ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΚΑΥΣΙΜΟΥ



Εικόνα 12. Κυκλοφοριακός Φόρτος ανά κατηγορία οχήματος και ανά τύπο καυσίμου στους αυτοκινητοδρόμους της HELLASTRON για τα έτη 2015 με 2024.

Για να μελετηθεί η τάση των ατμοσφαιρικών ρύπων από την κίνηση των οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία Βαθμίδας 3 (Tier 3) από τον Οδηγό Απογραφής Εκπομπών Ατμοσφαιρικών Ρύπων των ΕΜΕΡ/ΕΕΑ. Πρόκειται για έναν τεχνικό οδηγό που παρέχει καθοδήγηση στην προετοιμασία απογραφής εθνικών εκπομπών από ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές. Στο Μέρος Β συμπεριλαμβάνονται κεφάλαια σχετικά με τις οδικές μεταφορές (ΕΜΕΡ/ΕΕΑ, 2023).

Η μεθοδολογία εκτίμησης εκπομπών από τις οδικές μεταφορές καλύπτει τις εκπομπές καυσαερίων CO, CO₂, NO_x, NMVOC, CH₄, N₂O, NH₃, SO_x, PM, PAH και POP, διοξίνες και φουράνια, PCB, HCB και βαρέα μέταλλα από καύσιμα και λιπαντικά, όπως μόλυβδο, αρσενικό, κάδμιο, χαλκό, χρώμιο, υδράργυρο, νικέλιο, σελήνιο και ψευδάργυρο. Εκτός από τις εκπομπές NO_x περιλαμβάνονται επίσης NO και NO₂. Ενώ είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα PM διαχωρίζονται επίσης σε μαύρο άνθρακα (BC) και οργανικό άνθρακα (OC) ανάλογα με την τεχνολογία των οχημάτων, όπως επίσης σε PM_{2.5} και PM₁₀ αναλόγως το μέγεθος τους. Τέλος, παρέχεται και μια λεπτομερής ταξινόμηση των NMVOC, η οποία καλύπτει αλκάνια, αλκένια, αλκίνια, αλδεΐδες, κετόνες και αρωματικές ενώσεις (ΕΜΕΡ/ΕΕΑ, 2025a).

Εκτός από τα παραπάνω, η εκτίμηση των εκπομπών από την εξάτμιση του οχήματος, δηλαδή των εκπομπών καυσαερίων, βασίζεται στο διαχωρισμό των οχημάτων βάση της κατηγορίας τους σε επιβατικά, ελαφριά επαγγελματικά, βαρέα επαγγελματικά και μοτοσυκλέτες (L κατηγορία). Η κάθε κατηγορία έχει υποκατηγορίες αναλόγως τον τύπο καυσίμου, την κατηγορία Euro, την ισχύ του κινητήρα, το βάρος, το μέγεθος και το τεχνολογικό επίπεδο του οχήματος. Στη μεθοδολογία Βαθμίδας 3, οι εκπομπές αυτές μετριοούνται συνδυάζοντας τεχνικά δεδομένα, όπως είναι οι συντελεστές εκπομπών, μαζί με δεδομένα δραστηριότητας του οχήματος, όπως είναι οι συνθήκες κυκλοφορίες (πχ. αστική, επαρχιακή, σε αυτοκινητοδρόμους), οι συνθήκες του κινητήρα, η μέση κυκλοφορία και τα συνολικά χιλιόμετρα, και τέλος μαζί με κλιματικά δεδομένα ανά περιοχή (ΕΜΕΡ/ΕΕΑ, 2025a).

Εκτός από τις προηγούμενες διακρίσεις, η μεθοδολογία Βαθμίδας 3 υπολογίζει τις συνολικές εκπομπές καυσαερίων από τις οδικές μεταφορές ως το άθροισμα μεταξύ των εκπομπών σε θερμή λειτουργία (hot emissions) και των εκπομπών εκκίνησης ψυχρού κινητήρα (cold-start emissions). Οι θερμές εκπομπές είναι αυτές που παράγονται όταν ο κινητήρας, και οι όποιες τεχνολογίες μετεπεξεργασίας καυσαερίων, του οχήματος βρίσκονται στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του, ενώ οι εκπομπές εκκίνησης ψυχρού κινητήρα αναφέρονται στις εκπομπές που παράγονται κατά τη διάρκεια της παροδικής θερμικής λειτουργίας, ήτοι κατά

την έναρξη του κινητήρα μέχρι να αποκτήσει την τυπική του θερμοκρασία. Παρατηρείται μεγάλη διαφορά στις εκπομπές καυσαερίων ανάμεσα σε αυτές τις δύο καταστάσεις, με την ψυχρή λειτουργία (κατάσταση προθέρμανσης κινητήρα) να εμφανίζει πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων (EMEP/EEA, 2025a).

Η βασικότερη εφαρμογή με την οποία εφαρμόζεται η Βαθμίδα 3 είναι η COPERT. Η COPERT αποτελεί το κυριότερο εργαλείο υλοποίησης αυτής της μεθοδολογίας παρέχοντας ένα πλήρες υπολογιστικό πλαίσιο Βαθμίδας 3. Χρησιμοποιείται ευρέως ως ο υπολογιστής για τις εκπομπές ρύπων του κλάδου των μεταφορών σε εθνικούς καταλόγους απογραφών ατμοσφαιρικών ρύπων και σε ευρωπαϊκές πολιτικές για την νομοθέτηση στην ποιότητα του αέρα. Η εφαρμογή αυτή εκτός από τη μεθοδολογία Βαθμίδας 3 για τον υπολογισμό των εκπομπών καυσαερίων των οδικών μεταφορών, χρησιμοποιεί επίσης από τον Οδηγό Απογραφής Εκπομπών Ατμοσφαιρικών Ρύπων των EMEP/EEA τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό της εξάτμισης καυσίμου και των εκπομπών PM εκτός καυσαερίων (COPERT, 2026).

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί μεθοδολογία, συντελεστές εκπομπών και σχετικά δεδομένα δραστηριότητας που επιτρέπουν τον υπολογισμό των όλων των εκπομπών NMVOC που σχετίζονται με το καύσιμο και δεν προέρχονται από την καύση καυσίμου από βενζινοκίνητα οχήματα. Ταυτόχρονα, συμπεριλαμβάνει μεθοδολογία, η οποία καλύπτει τις εκπομπές σωματιδίων (PM), μαζί και του μαύρου άνθρακα (BC), που οφείλονται στη φθορά των ελαστικών και των φρένων των οδικών οχημάτων, καθώς και στη φθορά της επιφάνειας του οδοστρώματος. Σε αυτές τις εκπομπές δεν περιλαμβάνονται οι εκπομπές PM από τα καυσαέρια των οχημάτων. Αντιθέτως, η μεθοδολογία εστιάζεται στα σωματίδια που εκπέμπονται άμεσα από τη φθορά των επιφανειών και όχι σε εκείνα που εμφανίζονται από την επαναιώρηση του προηγουμένως εναποτιθέμενου υλικού (EMEP/EEA, 2025b; 2025c).

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά δεδομένα από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Συγκεκριμένα, λήφθηκαν δεδομένα σχετικά με τις μέσες, ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες (σε °C) και υγρασία (σε %) ανά Πόλη ανά Περιφέρεια και ανά μήνα. Για το μοντέλο της Εγνατίας Οδού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σχετικά με τις πόλεις που περιλαμβάνονται στις Περιφέρειες Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης, Κεντρικής Μακεδονίας, Δυτικής Μακεδονίας και Ηπείρου. Για το μοντέλο όλης της Ελλάδας χρησιμοποιήθηκαν όλα τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα (ΕΜΥ, 2026). Στους Πίνακες 9 και 10 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές κλιματικών δεδομένων για την Εγνατία Οδό και για την Ελλάδα αντίστοιχα.

	Ελάχιστη (°C)	Μέγιστη (°C)	Υγρασία (%)
Ιανουάριος	0,7	8,7	76,7
Φεβρουάριος	1,5	10,4	73,1
Μάρτιος	3,9	13,8	69,9
Απρίλιος	7,5	18,3	67,1
Μάιος	11,9	23,7	64,3
Ιούνιος	15,6	28,3	58,4
Ιούλιος	17,8	30,9	54,6
Αύγουστος	17,6	30,8	56,6
Σεπτέμβριος	14,1	26,6	63,0
Οκτώβριος	10,1	20,9	70,6
Νοέμβριος	5,8	14,8	76,8
Δεκέμβριος	2,1	9,9	78,6

Πίνακας 9. Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία (σε °C), Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία (σε °C) και Μέση Υγρασία (σε %) στην Εγνατία Οδό.

	Ελάχιστη (°C)	Μέγιστη (°C)	Υγρασία (%)
Ιανουάριος	4,1	12,0	75,0
Φεβρουάριος	4,4	12,9	72,5
Μάρτιος	6,1	15,4	70,1
Απρίλιος	9,0	19,3	66,4
Μάιος	13,0	24,4	61,9
Ιούνιος	17,0	29,1	55,1
Ιούλιος	19,3	31,5	52,4
Αύγουστος	19,4	31,4	54,7
Σεπτέμβριος	16,3	27,6	61,6
Οκτώβριος	12,7	22,6	69,2
Νοέμβριος	8,9	17,5	75,0
Δεκέμβριος	5,7	13,4	76,4

Πίνακας 10. Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία (σε °C), Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία (σε °C) και Μέση Υγρασία (σε %) στην Ελλάδα.

Η εφαρμογή COPERT έχει τη δυνατότητα να αυτοματοποιεί την ενεργειακή ισορροπία δεδομένων για την κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιώντας κάποιες συγκεκριμένες

προδιαγραφές καυσίμων. Η μόνη προσθήκη που γίνεται είναι ότι τίθεται η περιεκτικότητα σε θείο σε βενζίνη και ντίζελ σε 10 mg/kg ή αλλιώς σε 10 ppm wt σύμφωνα με την Οδηγία 2009/30/EK (L 140/05.06.2009).

Στους Πίνακες 11 και 12 παρουσιάζονται βασικά μεγέθη κυκλοφοριακής δραστηριότητας στην Εγνατία Οδό και στο σύνολο των αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON για τα έτη 2015 με 2024. Τα δεδομένα για τα Διανυθέντα Οχηματοχιλιόμετρα και το Μήκος των Αυτοκινητοδρόμων σε Λειτουργία πάρθηκαν από τα Στατιστικά του Φορέα που είναι διαθέσιμα στο πληροφοριακό υλικό της ιστοσελίδας του (HELLASTRON, 2026b). Η μέση δραστηριότητα των οχημάτων δημιουργήθηκε από τα διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα διαιρούμενα με το γινόμενο του μήκος επί 365 ημερών. Θεωρήθηκε ότι ένα όχημα έχει διάρκεια ζωής τα 30 χρόνια. Συνεπώς, η συνολική δραστηριότητα αποτελεί το γινόμενο της μέσης δραστηριότητας με τη διάρκεια ζωής ενός οχήματος.

	Διανυθέντα Οχηματοχιλιόμετρα	Μήκος Σε Λειτουργία (km)	Mean Activity (km)	Total Activity (km)
2015	2.316.000.000	657,7	9.648	289.427
2016	2.930.500.000	854,1	9.400	282.008
2017	3.140.000.000	887,2	9.697	290.895
2018	3.267.000.000	887,2	10.089	302.661
2019	3.349.700.000	887,2	10.344	310.322
2020	2.250.000.000	887,2	6.948	208.444
2021	2.710.000.000	887,2	8.369	251.059
2022	3.308.900.000	887,2	10.218	306.542
2023	3.669.550.000	887,2	11.332	339.954
2024	3.733.570.000	887,2	11.529	345.885

Πίνακας 11. Βασικά Στοιχεία Κυκλοφοριακής Δραστηριότητας στην Εγνατία Οδό.

	Διανυθέντα Οχηματοχιλιόμετρα	Μήκος Σε Λειτουργία (km)	Mean Activity (km)	Total Activity (km)
2015	7.836.300.000	1.589,4	13.508	405.234
2016	8.406.500.000	1.842,1	12.503	375.086
2017	9.743.300.000	2.133,2	12.514	375.407
2018	9.904.300.000	2.133,2	12.720	381.611
2019	10.403.700.000	2.133,2	13.362	400.853
2020	7.846.000.000	2.145,3	10.020	300.600
2021	9.024.100.000	2.159,3	11.450	343.494
2022	10.540.940.000	2.159,3	13.374	401.231
2023	11.656.870.000	2.159,3	14.790	443.708
2024	12.150.440.000	2.202,0	15.118	453.527

Πίνακας 12. Βασικά Στοιχεία Κυκλοφοριακής Δραστηριότητας στους Αυτοκινητοδρόμους της HELLASTRON

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζεται η κατανομή των ταχυτήτων σε αυτοκινητοδρόμους (km/h). Καθώς η εργασία εξετάζει μόνο την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους, στον παρακάτω πίνακα δεν συμπεριλαμβάνεται η κίνηση των οχημάτων σε αστικές και επαρχιακές περιοχές. Η κατανομή τους θεωρείται 0%, ενώ επιλέχθηκε 100% στην κατανομή της δραστηριότητας σε αυτοκινητοδρόμους. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται και στα δύο μοντέλα.

Κατηγορία Οχήματος	Καύσιμο	Μέγεθος /Βάρος	Πρότυπο Euro	Ταχύτητα Αυτοκινητοδρόμου [km/h]
Buses	Diesel	Coaches Standard <=18 t Coaches Articulated >18 t	Euro I - Euro V Euro VI A/B/C & Euro VI D/E	100 80
	Battery electric	-	Euro VI D/E	80
Heavy Duty Trucks	Petrol	>3,5 t	Conventional	80
	Diesel	Articulated 14 - 20 t Articulated 20 - 28 t Articulated 28 - 34 t Articulated 34 - 40 t	Euro I - Euro V	80

		Articulated 40 - 50 t Articulated 50 - 60 t Rigid <=7,5 t Rigid 7,5 - 12 t Rigid 12 - 14 t Rigid 14 - 20 t Rigid 20 - 26 t Rigid 26 - 28 t Rigid 28 - 32 t Rigid >32 t	Euro VI A/B/C & Euro VI D/E	75
	CNG	Articulated < 40 t Rigid <=7,5 t Rigid 7,5 - 12 t Rigid >12 t	Euro VI D/E	80
L-Category	Petrol	Motorcycles 2-stroke >50 cm ³	Euro 1 & Euro 2 Euro 3 - Euro 5	90 100
		Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 1 & Euro 2 Euro 3 - Euro 4 Euro 5	90 100 70
		Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³ Motorcycles 4-stroke >750 cm ³ Quad & ATVs	Euro 1 - Euro 5	100
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I N1-II N1-III	Euro 1 - Euro 6 d-temp	100
	Diesel	N1-I N1-II N1-III	Euro 1 - Euro 6 d-temp	100
	Battery electric	N1-I N1-II N1-III	Euro 6 a/b/c - Euro 6 d-temp	100
Passenger Cars	Petrol	Mini Small Medium Large-SUV-Executive	Euro 1 - Euro 6 d-temp	100
	Diesel	Mini Small Medium Large-SUV-Executive	Euro 1 - Euro 6 d-temp	100
	Battery electric	Mini Small Medium Large-SUV-Executive	Euro 6 a/b/c - Euro 6 d-temp	100

	Petrol PHEV	Small Medium Large-SUV-Executive	Euro 6 a/b/c - Euro 6 d-temp	100
	Diesel PHEV	Large-SUV-Executive	Euro 6 a/b/c - Euro 6 d-temp	100
	Petrol Hybrid	Mini Small Medium Large-SUV-Executive	Euro 5 - Euro 6 d-temp	100
	CNG Bifuel	Mini Small Medium Large-SUV-Executive	Euro 5 - Euro 6 d-temp	100
	LPG Bifuel	Mini Small Medium Large-SUV-Executive	Euro 1 - Euro 6 d-temp	100

Πίνακας 13. Κατανομή ταχυτήτων σε αυτοκινητοδρόμους (σε km/h) ανά τύπο οχήματος, τύπο καυσίμου, μέγεθος/ βάρος και πρότυπο Euro.

7.3.Δεδομένα Εξόδου

Χρησιμοποιώντας το COPERT και όλα τα δεδομένα εισόδου, δημιουργείται για το κάθε μοντέλο ένα αρχείο εισαγωγής δεδομένων ανά έτος αναφοράς. Καθώς η εργασία μελετάει τάση, χρησιμοποιείται χρονοσειρά ετών 2015 με 2024 και συνεπώς δημιουργούνται 10 αρχεία εισαγωγής για το μοντέλο της Εγνατίας Οδού και 10 αρχεία εισαγωγής για το μοντέλο των αυτοκινητοδρόμων της HELLASTRON. Αφού εισαχθούν στο πρόγραμμα μοντελοποίησης για κάθε έτος παράγονται 14 αρχεία εξόδου, 13 για κάθε ρύπο και ένα για την ενεργειακή κατανάλωση (EC). Συγκεκριμένα, παράγονται αρχεία εξόδου για τους ρύπους CO, CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, NO, NO₂, NH₃, VOC, NMVOC, PM_{2.5}, PM₁₀ και SO₂. Στους Πίνακες 14 με 27 παρουσιάζονται η ενεργειακή κατανάλωση και οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από την μελέτη της οδικής κίνησης επί του αυτοκινητοδρόμου της Εγνατίας Οδού, ενώ στους Πίνακες 28 με 41 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τους αυτοκινητοδρόμους που ανήκουν στο δίκτυο της HELLASTRON και στην συγκεκριμένα εργασία αντιπροσωπεύουν την κίνηση όλων των αυτοκινητοδρόμων της Ελλάδας.

7.3.1. Δεδομένα Εξόδου Εγνατία Οδός

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δεδομένων εξόδου της Εγνατίας Οδού που παρουσιάζονται παρακάτω, εμφανίζεται αυξητική τάση στις εκπομπές αέριων ρύπων και στην ενεργειακή κατανάλωση. Συγκεκριμένα, η ενεργειακή κατανάλωση έχει αυξηθεί κατά 238% στα επιβατικά οχήματα, 279% στα ελαφριά επαγγελματικά, 450% στα βαρέα επαγγελματικά, 413% στα λεωφορεία και 239% στις μοτοσυκλέτες. Όπως φαίνεται ο ρυθμός μεταβολής μέσα στη δεκαετία 2015 - 2024 είναι τεράστιος, εν μέρει λόγω της αύξησης του συνολικού μήκους σε λειτουργία του αυτοκινητοδρόμου και εν μέρει λόγω του κυκλοφοριακού φόρτου που σε παλαιότερα χρόνια πιθανότατα ήταν ελλιπής ως πληροφορία.

Αντίστοιχα, ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών μεθανίου εμφανίζει αύξηση κατά 214% στα επιβατικά, 247% στα ελαφριά επαγγελματικά, 465% στα βαρέα επαγγελματικά, 389% στα λεωφορεία και 195% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζει αύξηση κατά 189% στα επιβατικά, 208% στα ελαφριά επαγγελματικά, 398% στα βαρέα επαγγελματικά, 391% στα λεωφορεία και 203% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εμφανίζει αύξηση κατά 239% στα επιβατικά, 280% στα ελαφριά επαγγελματικά, 442% στα βαρέα επαγγελματικά, 413% στα λεωφορεία και 239% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών υποξειδίου του

αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 255% στα επιβατικά, 270% στα ελαφριά επαγγελματικά, 790% στα βαρέα επαγγελματικά, 709% στα λεωφορεία και 245% στις μοτοσυκλέτες.

Παρόμοιος ρυθμός μεταβολής παρουσιάζεται στις εκπομπές αμμωνίας με αύξηση 192% στα επιβατικά, 199% στα ελαφριά επαγγελματικά, 698% στα βαρέα επαγγελματικά, 432% στα λεωφορεία και 245% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου εμφανίζει αύξηση κατά 171% στα επιβατικά, 240% στα ελαφριά επαγγελματικά, 396% στα βαρέα επαγγελματικά, 390% στα λεωφορεία και 204% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 213% στα επιβατικά, 285% στα ελαφριά επαγγελματικά, 390% στα βαρέα επαγγελματικά, 389% στα λεωφορεία και 195% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών διοξειδίου του αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 370% στα επιβατικά, 317% στα ελαφριά επαγγελματικά, 390% στα βαρέα επαγγελματικά, 389% στα λεωφορεία και 195% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών οξειδίων του αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 226% στα επιβατικά, 293% στα ελαφριά επαγγελματικά, 390% στα βαρέα επαγγελματικά, 389% στα λεωφορεία και 195% στις μοτοσυκλέτες.

Τέλος, ο ρυθμός μεταβολής των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} εμφανίζει αύξηση κατά 267% και 278% στα επιβατικά, 284% και 282% στα ελαφριά επαγγελματικά, 411% και 404% στα βαρέα επαγγελματικά, 401% και 397% στα λεωφορεία και 210% και 205% στις μοτοσυκλέτες αντίστοιχα. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών διοξειδίου του θείου εμφανίζει αύξηση κατά 238% στα επιβατικά, 278% στα ελαφριά επαγγελματικά, 415% στα βαρέα επαγγελματικά, 413% στα λεωφορεία και 239% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων εμφανίζει αύξηση κατά 177% στα επιβατικά, 241% στα ελαφριά επαγγελματικά, 411% στα βαρέα επαγγελματικά, 390% στα λεωφορεία και 204% στις μοτοσυκλέτες.

EC(TJ)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	475.393,03	494.527,85	555.145,19	723.854,76	788.335,85	475.766,36	801.405,09	1.308.397,81	1.668.512,47	1.608.373,76
Petrol	451.137,24	464.544,19	517.983,33	670.728,05	722.252,34	432.197,12	729.339,00	1.182.944,87	1.493.744,55	1.425.867,77
Petrol Hybrid	636,22	1.011,17	1.135,31	1.483,78	2.761,05	2.442,25	3.499,41	11.487,28	23.431,16	21.850,92
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	758,74	2.922,34	3.830,27
Diesel	23.451,99	28.797,94	35.704,52	50.814,29	62.423,80	40.570,71	67.648,08	111.605,17	146.101,70	154.424,39
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,58	387,39	507,75
CNG Bifuel	167,57	174,56	322,04	828,64	898,66	556,28	918,60	1.501,17	1.925,33	1.892,66
Light Commercial Vehicles	36.888,87	36.757,00	41.848,28	54.781,82	61.888,17	50.107,45	78.866,24	115.536,39	142.318,84	139.655,24
Petrol	19.478,35	19.112,93	21.509,98	27.831,09	30.072,44	24.024,44	36.540,47	52.759,05	64.224,10	60.777,67
Diesel	17.410,52	17.644,08	20.338,30	26.950,74	31.815,73	26.083,01	42.325,78	62.777,35	78.094,74	78.877,57
Heavy Duty Trucks	88.642,08	103.165,40	129.111,68	193.703,96	210.866,14	198.362,04	299.691,51	405.544,28	481.333,20	487.088,81
Petrol	240,66	278,64	348,75	184,88	197,79	190,59	283,92	431,09	476,55	467,05
Diesel	87.716,91	102.094,21	127.770,96	183.264,84	199.697,85	188.956,90	278.412,21	378.749,85	451.712,67	452.744,08
CNG	684,51	792,55	991,97	10.254,25	10.970,50	9.214,55	20.995,38	26.363,34	29.143,99	33.877,68
Buses	83.026,17	96.523,98	120.692,44	172.996,19	188.411,09	178.203,57	262.456,05	356.901,37	425.466,20	426.165,24
Diesel	83.026,17	96.523,98	120.692,44	172.996,19	188.411,09	178.203,57	262.456,05	356.901,37	425.466,20	426.165,24
L-Category	3.774,57	3.762,05	4.421,93	5.331,94	5.994,04	2.922,31	4.917,60	8.354,79	11.673,24	12.798,84
Petrol	3.774,57	3.762,05	4.421,93	5.331,94	5.994,04	2.922,31	4.917,60	8.354,79	11.673,24	12.798,84

Πίνακας 14. Ενεργειακή Κατανάλωση (σε TJ) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

CH4 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	1.694,51	1.741,63	1.938,40	2.509,78	2.701,08	1.617,22	2.714,95	4.410,64	5.585,69	5.328,76
Petrol	1.663,15	1.702,07	1.887,02	2.429,30	2.600,93	1.550,32	2.604,91	4.206,99	5.284,86	5.019,12
Petrol Hybrid	2,34	3,66	4,07	5,25	9,58	8,33	11,80	38,59	78,44	73,05
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	7,19	9,42

Diesel	26,02	32,77	41,58	60,53	74,93	48,94	82,37	137,15	181,52	193,88
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,53	0,69
CNG Bifuel	3,00	3,13	5,74	14,70	15,64	9,63	15,87	25,90	33,16	32,59
Light Commercial Vehicles	64,57	64,60	73,97	95,70	105,21	84,31	130,49	189,73	232,23	224,18
Petrol	50,96	49,63	55,46	71,24	76,43	60,76	91,90	131,96	159,56	150,00
Diesel	13,62	14,97	18,51	24,46	28,79	23,55	38,59	57,77	72,66	74,18
Heavy Duty Trucks	547,00	630,77	783,78	1.237,81	1.339,16	1.245,79	1.931,25	2.587,23	3.040,04	3.092,99
Petrol	2,62	3,03	3,80	2,01	2,15	2,07	3,09	4,69	5,19	5,08
Diesel	534,84	616,69	766,15	1.092,83	1.184,06	1.115,25	1.635,44	2.214,98	2.628,53	2.615,59
CNG	9,54	11,05	13,83	142,96	152,95	128,47	292,72	367,56	406,32	472,32
Buses	497,62	573,78	712,85	1.016,81	1.101,70	1.037,69	1.521,71	2.060,96	2.445,77	2.433,75
Diesel	497,62	573,78	712,85	1.016,81	1.101,70	1.037,69	1.521,71	2.060,96	2.445,77	2.433,75
L-Category	186,40	182,92	211,88	251,70	278,79	134,19	222,50	372,50	511,22	550,67
Petrol	186,40	182,92	211,88	251,70	278,79	134,19	222,50	372,50	511,22	550,67

Πίνακας 15. Εκπομπές μεθανίου CH₄ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

CO [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	198.585,46	202.024,07	222.677,58	285.009,79	303.491,87	180.305,90	301.343,39	485.112,35	607.225,31	573.650,16
Petrol	197.845,79	201.111,42	221.543,24	283.341,12	301.373,38	178.849,01	298.981,51	480.414,86	599.784,23	566.154,81
Petrol Hybrid	43,60	81,11	99,53	143,25	300,18	292,88	445,41	1.489,34	3.088,72	2.899,30
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,45	329,11	431,36
Diesel	659,42	793,35	964,77	1.345,95	1.627,37	1.046,46	1.722,65	2.805,92	3.616,59	3.764,35
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	1,70	2,24
CNG Bifuel	36,66	38,19	70,05	179,46	190,95	117,55	193,83	316,35	404,95	398,09
Light Commercial Vehicles	14.839,75	14.495,18	16.226,65	20.879,22	22.678,45	18.081,52	27.612,12	39.764,68	48.156,53	45.715,18
Petrol	12.538,01	12.212,04	13.647,98	17.532,70	18.809,79	14.954,41	22.620,39	32.481,93	39.277,49	36.925,18
Diesel	2.301,74	2.283,14	2.578,67	3.346,52	3.868,65	3.127,11	4.991,73	7.282,75	8.879,03	8.789,99

Heavy Duty Trucks	14.428,24	16.656,68	20.714,23	29.802,26	32.288,12	30.370,69	44.858,15	60.695,06	71.932,22	71.794,06
Petrol	104,60	121,11	151,59	80,36	85,97	82,83	123,40	187,38	207,14	203,02
Diesel	14.294,94	16.502,33	20.521,05	29.291,92	31.742,14	29.901,47	43.854,36	59.402,21	70.503,00	70.170,47
CNG	28,70	33,23	41,60	429,98	460,02	386,39	880,38	1.105,47	1.222,07	1.420,57
Buses	12.396,33	14.313,54	17.802,16	25.414,12	27.541,82	25.946,12	38.055,48	51.550,14	61.187,23	60.903,92
Diesel	12.396,33	14.313,54	17.802,16	25.414,12	27.541,82	25.946,12	38.055,48	51.550,14	61.187,23	60.903,92
L-Category	19.876,55	19.538,96	22.670,76	26.978,03	29.933,80	14.449,70	24.041,29	40.387,27	55.662,31	60.212,61
Petrol	19.876,55	19.538,96	22.670,76	26.978,03	29.933,80	14.449,70	24.041,29	40.387,27	55.662,31	60.212,61

Πίνακας 16. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

CO2 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	34.359.978,92	35.752.334,85	40.140.389,55	52.342.607,64	57.020.973,89	34.415.523,43	57.972.828,60	94.654.847,66	120.717.908,02	116.396.577,08
Petrol	32.560.795,53	33.528.214,49	37.385.365,44	48.410.043,99	52.129.043,38	31.191.005,27	52.638.053,54	85.379.768,18	107.814.209,60	102.915.503,05
Petrol Hybrid	45.912,73	72.970,66	81.930,58	107.080,51	199.260,14	176.228,03	252.531,41	829.024,02	1.691.052,08	1.577.012,48
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54.758,18	210.909,46	276.437,90
Diesel	1.743.693,35	2.141.173,30	2.654.688,45	3.778.124,15	4.641.309,55	3.016.497,15	5.029.743,30	8.298.023,54	10.862.896,52	11.481.701,91
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7.478,08	28.802,95	37.751,87
CNG Bifuel	9.577,31	9.976,40	18.405,08	47.359,00	51.360,83	31.792,99	52.500,35	85.795,66	110.037,41	108.169,87
Light Commercial Vehicles	2.700.499,26	2.691.482,39	3.064.831,51	4.012.757,47	4.536.268,73	3.673.380,82	5.784.522,21	8.475.891,64	10.442.389,43	10.251.824,12
Petrol	1.405.998,89	1.379.616,86	1.552.646,26	2.008.926,94	2.170.718,31	1.734.067,18	2.637.532,71	3.808.295,07	4.635.920,04	4.387.150,20
Diesel	1.294.500,38	1.311.865,53	1.512.185,24	2.003.830,53	2.365.550,42	1.939.313,64	3.146.989,51	4.667.596,57	5.806.469,39	5.864.673,92
Heavy Duty Trucks	6.578.382,19	7.656.273,08	9.581.838,14	14.225.432,14	15.489.120,75	14.589.635,15	21.920.819,78	29.698.498,98	35.285.604,01	35.632.147,95
Petrol	17.367,36	20.108,42	25.168,18	13.342,04	14.273,97	13.752,39	20.488,18	31.111,07	34.392,48	33.707,50
Diesel	6.521.893,36	7.590.868,70	9.499.976,46	13.626.035,46	14.847.856,42	14.049.249,05	20.700.395,49	28.160.659,78	33.585.563,03	33.662.249,85
CNG	39.121,47	45.295,96	56.693,50	586.054,65	626.990,36	526.633,70	1.199.936,12	1.506.728,13	1.665.648,50	1.936.190,60

Buses	6.173.129,01	7.176.713,31	8.973.676,58	12.862.544,44	14.008.667,28	13.249.722,16	19.514.029,02	26.536.190,31	31.634.095,43	31.686.070,73
Diesel	6.173.129,01	7.176.713,31	8.973.676,58	12.862.544,44	14.008.667,28	13.249.722,16	19.514.029,02	26.536.190,31	31.634.095,43	31.686.070,73
L-Category	272.449,52	271.544,60	319.175,09	384.861,80	432.653,22	210.921,62	354.944,51	603.051,50	842.586,88	923.835,62
Petrol	272.449,52	271.544,60	319.175,09	384.861,80	432.653,22	210.921,62	354.944,51	603.051,50	842.586,88	923.835,62

Πίνακας 17. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

N ₂ O [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	482,53	506,58	572,00	749,97	824,60	478,57	842,16	1.376,51	1.760,09	1.711,43
Petrol	431,81	443,97	494,36	639,23	687,38	388,86	692,72	1.122,44	1.415,62	1.349,66
Petrol Hybrid	0,80	1,26	1,40	1,80	3,29	2,63	4,05	13,24	26,91	25,06
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	2,31	3,06
Diesel	49,79	61,23	76,02	108,34	133,28	86,70	144,72	238,99	313,25	331,49
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,58	0,76
CNG Bifuel	0,12	0,13	0,23	0,60	0,66	0,38	0,67	1,10	1,42	1,39
Light Commercial Vehicles	58,24	57,81	65,60	85,58	96,35	75,05	122,28	178,79	219,74	215,24
Petrol	31,59	30,73	34,29	43,99	47,12	34,62	56,55	81,10	97,93	91,94
Diesel	26,65	27,09	31,30	41,59	49,23	40,43	65,73	97,69	121,80	123,30
Heavy Duty Trucks	119,07	156,95	214,28	367,83	408,75	388,01	616,82	841,77	1.010,35	1.059,48
Petrol	0,22	0,26	0,33	0,17	0,18	0,18	0,26	0,40	0,44	0,44
Diesel	115,62	152,97	209,29	319,44	356,97	344,49	517,81	717,38	872,85	899,73
CNG	3,22	3,73	4,67	48,22	51,59	43,33	98,74	123,98	137,06	159,32
Buses	101,25	135,49	186,71	286,27	320,89	310,41	467,66	649,26	791,72	818,60
Diesel	101,25	135,49	186,71	286,27	320,89	310,41	467,66	649,26	791,72	818,60
L-Category	4,44	4,43	5,22	6,31	7,11	3,47	5,85	9,96	13,95	15,33
Petrol	4,44	4,43	5,22	6,31	7,11	3,47	5,85	9,96	13,95	15,33

Πίνακας 18. Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου N₂O σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

NH ₃ [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	13.948,59	14.187,86	15.622,75	19.974,81	21.290,29	12.635,65	21.135,49	34.223,71	43.161,05	40.756,94
Petrol	13.901,90	14.118,54	15.539,48	19.856,33	21.101,00	12.484,21	20.906,03	33.568,79	41.873,32	39.491,35
Petrol Hybrid	30,22	47,22	52,44	67,63	123,54	107,12	152,11	497,51	1.011,35	941,85
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,98	92,47	121,23
Diesel	14,95	20,50	27,89	43,25	57,41	39,15	68,79	119,17	164,93	183,51
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,02	1,34
CNG Bifuel	1,53	1,59	2,95	7,61	8,34	5,16	8,56	13,99	17,96	17,66
Light Commercial Vehicles	491,52	479,18	536,00	689,25	741,44	588,78	895,02	1.287,31	1.559,36	1.471,36
Petrol	484,97	471,55	526,14	674,76	722,68	572,50	866,93	1.243,21	1.500,84	1.408,66
Diesel	6,55	7,63	9,86	14,49	18,76	16,28	28,09	44,10	58,51	62,69
Heavy Duty Trucks	36,16	42,07	52,65	102,48	111,79	102,78	175,03	232,49	271,69	288,71
Petrol	0,07	0,09	0,11	0,06	0,06	0,06	0,09	0,13	0,15	0,15
Diesel	33,99	39,56	49,51	71,01	78,13	74,50	110,63	151,60	182,27	184,79
CNG	2,10	2,43	3,04	31,41	33,60	28,23	64,31	80,75	89,27	103,77
Buses	33,88	39,37	49,20	70,50	77,31	73,52	108,89	148,85	178,47	180,25
Diesel	33,88	39,37	49,20	70,50	77,31	73,52	108,89	148,85	178,47	180,25
L-Category	4,44	4,43	5,22	6,31	7,11	3,47	5,85	9,96	13,95	15,33
Petrol	4,44	4,43	5,22	6,31	7,11	3,47	5,85	9,96	13,95	15,33

Πίνακας 19. Εκπομπές αμμωνίας NH₃ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

NMVO _C [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	9.418,84	9.630,21	10.523,98	13.325,95	14.096,90	9.299,44	14.663,32	22.362,90	27.204,49	25.500,38
Petrol	9.270,97	9.449,37	10.302,94	13.013,24	13.713,51	9.040,82	14.250,03	21.648,81	26.222,33	24.495,96
Petrol Hybrid	5,67	9,05	9,79	12,22	21,87	26,63	31,89	88,08	164,26	150,73
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,47	19,27	24,88

Diesel	140,39	169,90	207,78	291,59	352,08	226,19	371,83	604,80	778,18	808,56
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,48	0,62
CNG Bifuel	1,82	1,90	3,48	8,90	9,44	5,80	9,57	15,61	19,98	19,64
Light Commercial Vehicles	484,12	478,58	537,60	691,89	773,59	647,16	989,74	1.408,50	1.697,14	1.645,97
Petrol	211,32	206,79	229,31	291,74	310,94	273,14	392,44	536,65	633,58	592,45
Diesel	272,80	271,79	308,29	400,15	462,66	374,02	597,30	871,85	1.063,56	1.053,51
Heavy Duty Trucks	2.048,31	2.363,67	2.938,72	4.198,36	4.546,41	4.271,63	6.347,95	8.587,58	10.156,24	10.158,04
Petrol	71,70	83,07	103,89	55,02	58,83	57,31	84,90	128,26	141,47	138,60
Diesel	1.969,00	2.271,80	2.823,81	4.029,40	4.365,68	4.111,93	6.029,78	8.166,39	9.690,95	9.643,02
CNG	7,61	8,81	11,02	113,93	121,89	102,38	233,28	292,92	323,82	376,41
Buses	2.110,16	2.434,56	3.026,01	4.317,81	4.678,14	4.406,23	6.461,33	8.750,85	10.384,50	10.333,12
Diesel	2.110,16	2.434,56	3.026,01	4.317,81	4.678,14	4.406,23	6.461,33	8.750,85	10.384,50	10.333,12
L-Category	1.714,61	1.690,30	1.965,88	2.345,00	2.608,40	1.261,83	2.094,63	3.511,19	4.831,24	5.220,25
Petrol	1.714,61	1.690,30	1.965,88	2.345,00	2.608,40	1.261,83	2.094,63	3.511,19	4.831,24	5.220,25

Πίνακας 20. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων πλην Μεθανίου NMVOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

NO [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	35.069,83	36.444,14	40.700,61	52.752,55	57.263,35	34.459,12	57.017,62	91.366,73	114.134,73	109.714,57
Petrol	29.867,34	30.087,80	32.858,79	41.646,57	43.892,57	25.886,15	42.959,14	68.521,62	84.773,45	79.293,16
Petrol Hybrid	5,60	7,91	8,17	9,57	14,98	10,94	13,52	42,12	81,64	74,55
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	4,49	5,88
Diesel	5.195,92	6.347,42	7.831,79	11.091,64	13.350,70	8.558,88	14.039,78	22.787,13	29.241,33	30.300,80
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24	22,99	29,53
CNG Bifuel	0,97	1,01	1,86	4,77	5,09	3,14	5,18	8,45	10,82	10,64
Light Commercial Vehicles	5.407,75	5.449,91	6.259,53	8.153,03	9.348,76	7.565,85	11.967,19	17.417,18	21.212,82	20.838,38
Petrol	1.174,98	1.133,14	1.254,38	1.595,49	1.694,54	1.338,03	2.007,78	2.859,87	3.423,88	3.186,76
Diesel	4.232,76	4.316,77	5.005,15	6.557,53	7.654,22	6.227,82	9.959,41	14.557,31	17.788,94	17.651,62
Heavy Duty Trucks	53.687,18	61.929,27	76.964,52	109.811,87	118.970,81	112.030,62	164.473,03	222.733,08	264.235,99	263.045,61

Petrol	167,29	193,70	242,44	128,52	137,50	132,47	197,35	299,68	331,29	324,69
Diesel	53.502,74	61.715,72	76.697,23	109.426,46	118.558,48	111.667,30	163.749,69	221.772,93	263.174,57	261.872,20
CNG	17,15	19,86	24,85	256,89	274,84	230,85	525,99	660,47	730,13	848,72
Buses	53.993,90	62.281,52	77.399,64	110.427,81	119.642,74	112.688,04	165.245,76	223.798,15	265.576,57	264.260,43
Diesel	53.993,90	62.281,52	77.399,64	110.427,81	119.642,74	112.688,04	165.245,76	223.798,15	265.576,57	264.260,43
L-Category	633,96	621,39	719,00	853,17	943,92	454,53	754,08	1.263,12	1.734,65	1.869,77
Petrol	633,96	621,39	719,00	853,17	943,92	454,53	754,08	1.263,12	1.734,65	1.869,77

Πίνακας 21. Εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου NO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

NO2 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	3.178,37	3.634,26	4.323,55	5.942,90	6.907,89	4.340,48	7.146,20	11.564,26	14.737,58	14.950,27
Petrol	1.204,78	1.212,08	1.322,02	1.673,33	1.761,14	1.037,67	1.720,39	2.741,37	3.387,38	3.164,44
Petrol Hybrid	0,17	0,24	0,25	0,30	0,46	0,34	0,42	1,30	2,53	2,31
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,18
Diesel	1.973,39	2.421,90	3.001,23	4.269,13	5.146,13	3.302,37	5.425,24	8.818,76	11.337,92	11.771,11
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,53	9,28	11,90
CNG Bifuel	0,03	0,03	0,06	0,15	0,16	0,10	0,16	0,26	0,33	0,33
Light Commercial Vehicles	1.674,78	1.714,20	1.994,55	2.607,21	3.031,84	2.462,62	3.936,14	5.755,09	7.037,04	6.981,62
Petrol	46,56	44,85	49,60	63,02	66,85	52,75	79,07	112,53	134,56	125,09
Diesel	1.628,22	1.669,35	1.944,95	2.544,19	2.964,99	2.409,87	3.857,07	5.642,56	6.902,48	6.856,53
Heavy Duty Trucks	7.220,71	8.328,48	10.349,62	14.780,95	16.013,92	15.080,06	22.134,36	29.972,92	35.561,25	35.398,38
Petrol	6,97	8,07	10,10	5,35	5,73	5,52	8,22	12,49	13,80	13,53
Diesel	7.211,84	8.318,20	10.336,76	14.747,06	15.977,66	15.048,89	22.067,69	29.887,04	35.466,32	35.290,54
CNG	1,91	2,21	2,76	28,54	30,54	25,65	58,44	73,39	81,13	94,30
Buses	7.266,65	8.381,34	10.415,14	14.858,80	16.098,65	15.162,80	22.234,64	30.113,04	35.734,36	35.557,05
Diesel	7.266,65	8.381,34	10.415,14	14.858,80	16.098,65	15.162,80	22.234,64	30.113,04	35.734,36	35.557,05
L-Category	26,41	25,89	29,96	35,55	39,33	18,94	31,42	52,63	72,28	77,91
Petrol	26,41	25,89	29,96	35,55	39,33	18,94	31,42	52,63	72,28	77,91

Πίνακας 22. Εκπομπές διοξειδίου του αζώτου NO2 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

NOx [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	38.248,20	40.078,39	45.024,16	58.695,45	64.171,24	38.799,59	64.163,82	102.930,99	128.872,31	124.664,83
Petrol	31.072,11	31.299,88	34.180,81	43.319,90	45.653,72	26.923,82	44.679,53	71.262,99	88.160,84	82.457,60
Petrol Hybrid	5,77	8,15	8,42	9,86	15,44	11,28	13,94	43,42	84,17	76,86
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	4,62	6,06
Diesel	7.169,31	8.769,32	10.833,02	15.360,77	18.496,83	11.861,25	19.465,02	31.605,89	40.579,25	42.071,92
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,77	32,27	41,43
CNG Bifuel	1,00	1,04	1,92	4,92	5,25	3,23	5,33	8,71	11,15	10,96
Light Commercial Vehicles	7.082,53	7.164,11	8.254,07	10.760,23	12.380,60	10.028,46	15.903,33	23.172,27	28.249,85	27.820,00
Petrol	1.221,55	1.177,99	1.303,98	1.658,51	1.761,39	1.390,77	2.086,85	2.972,40	3.558,44	3.311,85
Diesel	5.860,99	5.986,11	6.950,10	9.101,72	10.619,21	8.637,69	13.816,48	20.199,87	24.691,42	24.508,15
Heavy Duty Trucks	60.907,90	70.257,75	87.314,14	124.592,82	134.984,74	127.110,68	186.607,39	252.706,00	299.797,24	298.443,98
Petrol	174,26	201,77	252,54	133,87	143,22	137,99	205,58	312,17	345,09	338,22
Diesel	60.714,58	70.033,92	87.033,99	124.173,51	134.536,14	126.716,19	185.817,38	251.659,98	298.640,89	297.162,74
CNG	19,05	22,06	27,61	285,44	305,38	256,50	584,43	733,85	811,25	943,02
Buses	61.260,54	70.662,86	87.814,78	125.286,60	135.741,39	127.850,84	187.480,40	253.911,19	301.310,93	299.817,48
Diesel	61.260,54	70.662,86	87.814,78	125.286,60	135.741,39	127.850,84	187.480,40	253.911,19	301.310,93	299.817,48
L-Category	660,37	647,28	748,96	888,72	983,25	473,47	785,50	1.315,75	1.806,93	1.947,67
Petrol	660,37	647,28	748,96	888,72	983,25	473,47	785,50	1.315,75	1.806,93	1.947,67

Πίνακας 23. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NOx σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

PM10 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	4.303,81	4.566,91	5.188,36	6.837,71	7.575,10	4.622,06	7.750,21	12.655,83	16.178,48	15.799,88
Petrol	3.579,19	3.689,73	4.118,54	5.338,73	5.754,44	3.445,32	5.818,59	9.444,61	11.936,52	11.403,68
Petrol Hybrid	7,10	11,08	12,29	15,83	28,84	25,00	35,36	115,58	234,84	218,66
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,73	22,06	28,92
Diesel	716,40	864,94	1.055,38	1.477,60	1.785,73	1.147,95	1.890,01	3.079,03	3.969,40	4.132,40

Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	2,54	3,32
CNG Bifuel	1,12	1,16	2,15	5,56	6,09	3,78	6,25	10,22	13,12	12,90
Light Commercial Vehicles	782,82	778,98	883,71	1.152,09	1.321,29	1.069,41	1.698,91	2.484,31	3.043,54	3.004,51
Petrol	157,95	156,15	176,96	230,56	250,84	201,29	307,76	446,65	547,06	520,81
Diesel	624,87	622,83	706,75	921,53	1.070,45	868,11	1.391,15	2.037,66	2.496,48	2.483,70
Heavy Duty Trucks	2.522,80	2.920,52	3.639,77	5.280,10	5.733,32	5.400,59	8.003,07	10.841,26	12.872,92	12.892,86
Petrol	2,77	3,20	4,01	2,13	2,27	2,19	3,26	4,96	5,48	5,37
Diesel	2.513,87	2.910,18	3.626,82	5.185,57	5.632,19	5.315,36	7.810,61	10.598,73	12.604,82	12.582,20
CNG	6,17	7,14	8,94	92,41	98,86	83,04	189,20	237,57	262,63	305,29
Buses	1.986,99	2.300,88	2.868,12	4.101,48	4.455,64	4.205,69	6.181,07	8.388,84	9.978,43	9.963,11
Diesel	1.986,99	2.300,88	2.868,12	4.101,48	4.455,64	4.205,69	6.181,07	8.388,84	9.978,43	9.963,11
L-Category	48,52	47,77	55,51	66,16	73,53	35,60	59,42	100,17	138,62	150,57
Petrol	48,52	47,77	55,51	66,16	73,53	35,60	59,42	100,17	138,62	150,57

Πίνακας 24. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

PM2,5 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	2.830,92	3.029,89	3.458,52	4.576,48	5.104,68	3.127,98	5.229,66	8.527,93	10.895,42	10.696,58
Petrol	2.184,13	2.249,41	2.508,59	3.248,87	3.498,60	2.093,41	3.532,95	5.730,66	7.236,70	6.908,12
Petrol Hybrid	4,26	6,63	7,35	9,46	17,21	14,90	21,05	68,79	139,71	130,07
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	13,27	17,39
Diesel	641,85	773,14	941,27	1.314,75	1.585,16	1.017,36	1.671,85	2.718,41	3.496,23	3.631,16
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	1,51	1,98
CNG Bifuel	0,68	0,71	1,31	3,39	3,71	2,31	3,81	6,23	8,00	7,86
Light Commercial Vehicles	669,51	665,31	753,48	980,54	1.126,53	911,13	1.448,89	2.116,48	2.588,05	2.555,70
Petrol	96,29	95,11	107,70	140,21	152,43	122,25	186,80	270,95	331,63	315,50
Diesel	573,22	570,20	645,78	840,33	974,11	788,87	1.262,08	1.845,53	2.256,42	2.240,20
Heavy Duty Trucks	2.120,67	2.452,05	3.053,04	4.404,50	4.779,02	4.501,50	6.647,50	9.004,22	10.689,41	10.682,93

Petrol	1,46	1,69	2,11	1,12	1,20	1,15	1,72	2,61	2,88	2,82
Diesel	2.115,78	2.446,39	3.045,96	4.351,95	4.722,81	4.454,13	6.540,49	8.869,40	10.540,38	10.510,22
CNG	3,43	3,97	4,97	51,42	55,02	46,21	105,29	132,21	146,15	169,89
Buses	1.710,94	1.978,44	2.463,46	3.519,86	3.820,10	3.603,00	5.291,01	7.175,44	8.527,84	8.504,26
Diesel	1.710,94	1.978,44	2.463,46	3.519,86	3.820,10	3.603,00	5.291,01	7.175,44	8.527,84	8.504,26
L-Category	42,74	42,00	48,72	57,96	64,29	31,08	51,80	87,15	120,36	130,46
Petrol	42,74	42,00	48,72	57,96	64,29	31,08	51,80	87,15	120,36	130,46

Πίνακας 25. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

SO2 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	209,34	217,75	244,38	318,46	346,81	209,27	352,53	575,57	733,98	707,48
Petrol	198,79	204,69	228,24	295,55	318,25	190,42	321,36	521,25	658,22	628,31
Petrol Hybrid	0,28	0,45	0,50	0,65	1,22	1,08	1,54	5,06	10,32	9,63
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,29	1,69
Diesel	10,27	12,61	15,64	22,25	27,34	17,77	29,62	48,87	63,98	67,63
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17	0,22
Light Commercial Vehicles	16,21	16,15	18,39	24,07	27,19	22,01	34,64	50,74	62,50	61,33
Petrol	8,58	8,42	9,48	12,26	13,25	10,59	16,10	23,25	28,30	26,78
Diesel	7,62	7,73	8,91	11,80	13,93	11,42	18,54	27,49	34,20	34,54
Heavy Duty Trucks	38,52	44,83	56,11	80,34	87,54	82,83	122,05	166,05	198,03	198,47
Petrol	0,11	0,12	0,15	0,08	0,09	0,08	0,13	0,19	0,21	0,21
Diesel	38,41	44,71	55,95	80,26	87,45	82,75	121,92	165,87	197,82	198,27
Buses	36,36	42,27	52,85	75,76	82,51	78,04	114,94	156,30	186,32	186,63
Diesel	36,36	42,27	52,85	75,76	82,51	78,04	114,94	156,30	186,32	186,63
L-Category	1,66	1,66	1,95	2,35	2,64	1,29	2,17	3,68	5,14	5,64
Petrol	1,66	1,66	1,95	2,35	2,64	1,29	2,17	3,68	5,14	5,64

Πίνακας 26. Εκπομπές διοξειδίου του θείου SO2 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

VOC [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	11.113,35	11.371,84	12.462,39	15.835,73	16.797,97	10.916,66	17.378,27	26.773,54	32.790,17	30.829,15
Petrol	10.934,12	11.151,44	12.189,96	15.442,54	16.314,45	10.591,15	16.854,94	25.855,80	31.507,18	29.515,08
Petrol Hybrid	8,01	12,71	13,86	17,47	31,45	34,96	43,69	126,67	242,70	223,78
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,33	26,45	34,29
Diesel	166,40	202,67	249,36	352,12	427,00	275,13	454,20	741,95	959,70	1.002,45
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,01	1,31
CNG Bifuel	4,82	5,03	9,21	23,60	25,07	15,43	25,44	41,52	53,14	52,23
Light Commercial Vehicles	548,69	543,18	611,57	787,59	878,81	731,47	1.120,23	1.598,23	1.929,37	1.870,14
Petrol	262,28	256,42	284,78	362,98	387,37	333,90	484,34	668,61	793,14	742,45
Diesel	286,41	286,76	326,80	424,60	491,44	397,57	635,89	929,62	1.136,22	1.127,69
Heavy Duty Trucks	2.595,31	2.994,45	3.722,50	5.436,17	5.885,57	5.517,42	8.279,20	11.174,80	13.196,28	13.251,03
Petrol	74,32	86,10	107,68	57,03	60,98	59,38	87,99	132,95	146,66	143,69
Diesel	2.503,84	2.888,49	3.589,97	5.122,24	5.549,74	5.227,19	7.665,22	10.381,37	12.319,48	12.258,61
CNG	17,15	19,86	24,85	256,90	274,84	230,85	526,00	660,48	730,14	848,74
Buses	2.607,78	3.008,34	3.738,86	5.334,62	5.779,85	5.443,92	7.983,04	10.811,81	12.830,27	12.766,87
Diesel	2.607,78	3.008,34	3.738,86	5.334,62	5.779,85	5.443,92	7.983,04	10.811,81	12.830,27	12.766,87
L-Category	1.901,01	1.873,21	2.177,76	2.596,70	2.887,19	1.396,02	2.317,13	3.883,69	5.342,45	5.770,91
Petrol	1.901,01	1.873,21	2.177,76	2.596,70	2.887,19	1.396,02	2.317,13	3.883,69	5.342,45	5.770,91

Πίνακας 27. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων VOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων επί της Εγνατίας Οδού.

7.3.2. Δεδομένα Εξόδου Αυτοκινητόδρομοι Ελλάδας (Δίκτυο HELLASTRON)

Όπως εμφανίζεται και από τα δεδομένα εξόδου της Εγνατίας Οδού, ο ρυθμός μεταβολής στους αυτοκινητοδρόμους παρουσιάζει ομοίως αυξητική τάση, όχι φυσικά σε τέτοιο βαθμό όπως οι εκπομπές από την Εγνατία Οδό. Σύμφωνα με τους ακόλουθους Πίνακες, η ενεργειακή κατανάλωση έχει αυξηθεί κατά 108% στα επιβατικά οχήματα, 133% στα ελαφριά επαγγελματικά, 238% στα βαρέα επαγγελματικά, 216% στα λεωφορεία και 109% στις μοτοσυκλέτες.

Αντίστοιχα, ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών μεθανίου εμφανίζει αύξηση κατά 93% στα επιβατικά, 114% στα ελαφριά επαγγελματικά, 248% στα βαρέα επαγγελματικά, 201% στα λεωφορεία και 82% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζει αύξηση κατά 78% στα επιβατικά, 90% στα ελαφριά επαγγελματικά, 206% στα βαρέα επαγγελματικά, 202% στα λεωφορεία και 86% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εμφανίζει αύξηση κατά 108% στα επιβατικά, 134% στα ελαφριά επαγγελματικά, 233% στα βαρέα επαγγελματικά, 216% στα λεωφορεία και 109% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών υποξειδίου του αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 118% στα επιβατικά, 127% στα ελαφριά επαγγελματικά, 448% στα βαρέα επαγγελματικά, 397% στα λεωφορεία και 113% στις μοτοσυκλέτες.

Παρόμοιος ρυθμός μεταβολής παρουσιάζεται στις εκπομπές αμμωνίας με αύξηση 80% στα επιβατικά, 84% στα ελαφριά επαγγελματικά, 391% στα βαρέα επαγγελματικά, 227% στα λεωφορεία και 113% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου εμφανίζει αύξηση κατά 69% στα επιβατικά, 111% στα ελαφριά επαγγελματικά, 205% στα βαρέα επαγγελματικά, 201% στα λεωφορεία και 87% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 92% στα επιβατικά, 137% στα ελαφριά επαγγελματικά, 201% στα βαρέα επαγγελματικά, 201% στα λεωφορεία και 81% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών διοξειδίου του αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 189% στα επιβατικά, 156% στα ελαφριά επαγγελματικά, 202% στα βαρέα επαγγελματικά, 201% στα λεωφορεία και 81% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών οξειδίων του αζώτου εμφανίζει αύξηση κατά 101% στα επιβατικά, 142% στα ελαφριά επαγγελματικά, 201% στα βαρέα επαγγελματικά, 201% στα λεωφορεία και 81% στις μοτοσυκλέτες.

Τέλος, ο ρυθμός μεταβολής των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} εμφανίζει αύξηση κατά 126% και 132% στα επιβατικά, 136% και 135% στα ελαφριά επαγγελματικά, 214% και 210% στα βαρέα επαγγελματικά, 209% και 206% στα λεωφορεία και 91% και 88% στις μοτοσυκλέτες αντίστοιχα. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών διοξειδίου του θείου εμφανίζει αύξηση κατά 108% στα επιβατικά, 133% στα ελαφριά επαγγελματικά, 217% στα βαρέα επαγγελματικά, 216% στα λεωφορεία και 109% στις μοτοσυκλέτες. Ο ρυθμός μεταβολής των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων εμφανίζει αύξηση κατά 73% στα επιβατικά, 111% στα ελαφριά επαγγελματικά, 214% στα βαρέα επαγγελματικά, 201% στα λεωφορεία και 87% στις μοτοσυκλέτες.

EC(TJ)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	4.360.442,93	4.817.366,26	5.181.233,33	5.884.595,05	6.447.773,40	3.513.599,12	5.024.804,22	7.079.456,95	8.646.091,27	9.077.379,76
Petrol	4.137.949,99	4.525.271,53	4.834.383,34	5.452.684,65	5.907.258,36	3.191.810,31	4.572.925,71	6.400.634,26	7.740.433,05	8.047.318,90
Petrol Hybrid	5.835,35	9.849,79	10.595,66	12.062,17	22.582,00	18.035,45	21.940,51	62.153,66	121.415,69	123.320,06
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.105,30	15.142,98	21.616,92
Diesel	215.120,45	280.544,44	333.248,61	413.111,50	510.582,59	299.644,79	424.178,04	603.896,63	757.114,77	871.575,92
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	544,22	2.007,49	2.865,74
CNG Bifuel	1.537,13	1.700,51	3.005,72	6.736,74	7.350,44	4.108,57	5.759,97	8.122,86	9.977,29	10.682,21
Light Commercial Vehicles	338.369,02	358.075,37	390.586,92	445.362,32	506.196,21	370.072,70	494.512,51	625.161,89	737.504,63	788.211,22
Petrol	178.665,77	186.189,90	200.759,13	226.257,44	245.966,02	177.430,30	229.114,51	285.473,07	332.809,27	343.023,86
Diesel	159.703,26	171.885,47	189.827,79	219.104,88	260.230,19	192.642,39	265.398,00	339.688,82	404.695,35	445.187,36
Heavy Duty Trucks	813.095,92	1.005.018,79	1.205.065,39	1.574.780,03	1.724.736,13	1.465.050,81	1.879.174,52	2.194.403,84	2.494.320,37	2.749.143,75
Petrol	2.207,30	2.714,26	3.254,85	1.502,92	1.617,66	1.407,46	1.780,09	2.332,49	2.469,37	2.635,90
Diesel	804.609,74	994.583,67	1.192.551,97	1.489.911,85	1.633.387,51	1.395.587,04	1.745.745,77	2.049.419,04	2.340.823,73	2.555.301,19
CNG	6.278,89	7.720,85	9.258,57	83.365,26	89.730,95	68.056,31	131.648,66	142.652,30	151.027,27	191.206,66
Buses	761.582,48	940.319,50	1.126.484,45	1.406.429,44	1.541.069,74	1.316.165,75	1.645.694,82	1.931.196,72	2.204.811,67	2.405.289,44
Diesel	761.582,48	940.319,50	1.126.484,45	1.406.429,44	1.541.069,74	1.316.165,75	1.645.694,82	1.931.196,72	2.204.811,67	2.405.289,44
L-Category	34.622,41	36.648,33	41.271,22	43.346,99	49.026,04	21.582,42	30.834,12	45.206,86	60.490,77	72.235,63
Petrol	34.622,41	36.648,33	41.271,22	43.346,99	49.026,04	21.582,42	30.834,12	45.206,86	60.490,77	72.235,63

Πίνακας 28. Ενεργειακή Κατανάλωση (σε TJ) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

CH4 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	15.543,41	16.966,67	18.092,12	20.404,09	22.092,92	11.944,35	17.023,75	23.866,00	28.945,63	30.075,70
Petrol	15.255,72	16.581,27	17.612,55	19.749,82	21.273,80	11.450,30	16.333,74	22.764,05	27.386,69	28.328,09
Petrol Hybrid	21,50	35,68	37,96	42,64	78,37	61,51	73,98	208,80	406,49	412,30
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,10	37,24	53,16
Diesel	238,65	319,25	388,06	492,12	612,85	361,45	516,52	742,14	940,64	1.094,28
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	2,75	3,91
CNG Bifuel	27,55	30,47	53,55	119,50	127,89	71,09	99,51	140,16	171,82	183,96
Light Commercial Vehicles	592,32	629,31	690,42	778,02	860,58	622,72	818,22	1.026,64	1.203,42	1.265,26
Petrol	467,42	483,48	517,66	579,20	625,13	448,76	576,27	714,06	826,87	846,59
Diesel	124,90	145,82	172,77	198,82	235,45	173,96	241,95	312,58	376,55	418,67
Heavy Duty Trucks	5.017,53	6.144,89	7.315,41	10.063,18	10.953,39	9.201,12	12.109,62	13.999,51	15.753,81	17.456,94
Petrol	24,03	29,54	35,43	16,36	17,61	15,32	19,37	25,39	26,88	28,69
Diesel	4.905,96	6.007,70	7.150,90	8.884,55	9.684,75	8.236,96	10.254,80	11.985,27	13.621,31	14.762,45
CNG	87,54	107,64	129,08	1.162,28	1.251,03	948,84	1.835,44	1.988,85	2.105,62	2.665,80
Buses	4.564,56	5.589,71	6.653,42	8.266,52	9.011,14	7.664,10	9.541,67	11.151,86	12.674,23	13.736,17
Diesel	4.564,56	5.589,71	6.653,42	8.266,52	9.011,14	7.664,10	9.541,67	11.151,86	12.674,23	13.736,17
L-Category	1.709,85	1.781,94	1.977,60	2.046,30	2.280,34	991,08	1.395,16	2.015,60	2.649,18	3.107,98
Petrol	1.709,85	1.781,94	1.977,60	2.046,30	2.280,34	991,08	1.395,16	2.015,60	2.649,18	3.107,98

Πίνακας 29. Εκπομπές μεθανίου CH4 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

CO [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	1.821.584,86	1.968.082,60	2.078.364,15	2.317.080,91	2.482.349,33	1.331.692,99	1.889.532,62	2.624.947,57	3.146.706,97	3.237.698,75
Petrol	1.814.799,99	1.959.191,69	2.067.776,78	2.303.514,92	2.465.021,53	1.320.932,77	1.874.722,72	2.599.529,39	3.108.146,49	3.195.394,79
Petrol Hybrid	399,92	790,20	928,92	1.164,62	2.455,30	2.163,12	2.792,90	8.058,86	16.006,09	16.363,76
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	462,35	1.705,47	2.434,61

Diesel	6.048,69	7.728,72	9.004,66	10.942,37	13.310,71	7.728,90	10.801,62	15.182,84	18.741,57	21.246,12
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36	8,81	12,66
CNG Bifuel	336,26	372,00	653,79	1.459,00	1.561,80	868,21	1.215,37	1.711,77	2.098,52	2.246,82
Light Commercial Vehicles	136.122,04	141.209,43	151.451,64	169.744,47	185.493,69	133.545,46	173.138,00	215.167,08	249.552,32	258.017,84
Petrol	115.008,63	118.967,49	127.383,63	142.537,86	153.850,85	110.449,41	141.838,05	175.760,06	203.540,21	208.406,85
Diesel	21.113,41	22.241,94	24.068,01	27.206,62	31.642,84	23.096,05	31.299,95	39.407,02	46.012,11	49.610,99
Heavy Duty Trucks	132.347,38	162.266,38	193.336,53	242.287,25	264.094,07	224.310,10	281.276,88	328.421,56	372.760,50	405.207,82
Petrol	959,49	1.179,84	1.414,83	653,30	703,18	611,76	773,75	1.013,91	1.073,44	1.145,84
Diesel	131.124,60	160.762,78	191.533,47	238.138,27	259.628,27	220.844,59	274.982,80	321.425,92	365.354,16	396.044,27
CNG	263,29	323,75	388,23	3.495,69	3.762,62	2.853,75	5.520,32	5.981,73	6.332,91	8.017,72
Buses	113.709,05	139.439,94	166.156,67	206.612,49	225.272,62	191.631,39	238.621,66	278.938,32	317.078,81	343.743,55
Diesel	113.709,05	139.439,94	166.156,67	206.612,49	225.272,62	191.631,39	238.621,66	278.938,32	317.078,81	343.743,55
L-Category	182.323,64	190.345,03	211.597,86	219.326,79	244.837,34	106.721,77	150.747,64	218.535,89	288.448,08	339.841,76
Petrol	182.323,64	190.345,03	211.597,86	219.326,79	244.837,34	106.721,77	150.747,64	218.535,89	288.448,08	339.841,76

Πίνακας 30. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

CO2 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	315.177.23	348.292.89	374.650.85	425.536.45	466.391.32	254.184.20	363.510.708,	512.178.287,	625.573.207,	656.945.781,
	4,93	5,12	6,82	8,39	4,58	2,40	20	62	31	15
Petrol	298.673.68	326.625.90	348.936.80	393.565.38	426.378.78	230.368.74	330.059.729,	461.990.743,	558.704.851,	580.858.193,
	4,51	9,62	2,85	7,74	5,37	0,78	41	68	63	92
Petrol Hybrid	421.148,27	710.867,22	764.700,20	870.546,22	1.629.807,	1.301.574,	1.583.463,74	4.485.856,91	8.763.214,10	8.900.705,88
					32	91				
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	296.297,05	1.092.955,57	1.560.223,80
Diesel	15.994.551	20.858.929	24.777.569	30.715.503	37.962.636	22.279.071	31.538.318,7	44.900.684,8	56.292.700,3	64.803.070,8
	,43	,92	,75	,88	,56	,90	7	9	1	2
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40.463,95	149.260,00	213.072,71
CNG Bifuel	87.850,71	97.188,36	171.784,03	385.020,55	420.095,34	234.814,81	329.196,28	464.241,14	570.225,71	610.514,01

Light Commercial Vehicles	24.771.141,24	26.219.943,31	28.605.645,41	32.623.032,70	37.103.476,78	27.130.645,75	36.271.056,93	45.863.130,88	54.113.587,26	57.861.603,62
Petrol	12.896.947,43	13.439.982,38	14.491.644,43	16.332.232,83	17.754.943,80	12.807.374,10	16.538.288,00	20.606.721,10	24.023.837,20	24.761.207,68
Diesel	11.874.193,81	12.779.960,94	14.114.000,98	16.290.799,87	19.348.532,98	14.323.271,65	19.732.768,13	25.256.409,78	30.089.750,06	33.100.395,94
Heavy Duty Trucks	60.342.188,02	74.586.052,34	89.432.213,05	115.650.333,16	126.690.076,51	107.755.291,90	137.451.508,17	160.698.862,55	182.853.802,18	201.108.914,51
Petrol	159.307,30	195.892,69	234.907,56	108.468,47	116.751,02	101.571,64	128.468,33	168.342,32	178.225,53	190.246,13
Diesel	59.824.027,28	73.948.894,47	88.668.155,95	110.777.340,54	121.444.986,81	103.764.139,21	129.799.004,22	152.377.599,89	174.044.006,64	189.990.750,41
CNG	358.853,43	441.265,17	529.149,54	4.764.524,15	5.128.338,68	3.889.581,04	7.524.035,62	8.152.920,34	8.631.570,01	10.927.917,97
Buses	56.624.881,42	69.914.266,21	83.755.929,08	104.570.289,00	114.581.011,91	97.859.039,27	122.360.055,24	143.587.580,00	163.931.291,26	178.837.136,02
Diesel	56.624.881,42	69.914.266,21	83.755.929,08	104.570.289,00	114.581.011,91	97.859.039,27	122.360.055,24	143.587.580,00	163.931.291,26	178.837.136,02
L-Category	2.499.125,15	2.645.339,27	2.979.024,90	3.128.860,69	3.538.797,99	1.557.812,84	2.225.631,12	3.263.117,45	4.366.375,99	5.214.156,04
Petrol	2.499.125,15	2.645.339,27	2.979.024,90	3.128.860,69	3.538.797,99	1.557.812,84	2.225.631,12	3.263.117,45	4.366.375,99	5.214.156,04

Πίνακας 31. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

N ₂ O [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	4.426,12	4.935,06	5.338,80	6.097,15	6.744,68	3.699,34	5.280,66	7.448,65	9.121,78	9.660,33
Petrol	3.960,95	4.325,12	4.614,08	5.196,84	5.622,29	3.034,88	4.343,63	6.073,55	7.335,88	7.617,52
Petrol Hybrid	7,38	12,24	13,02	14,63	26,89	21,11	25,38	71,64	139,47	141,47
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,46	12,78	18,24
Diesel	456,69	596,48	709,52	880,80	1.090,13	640,34	907,42	1.293,20	1.623,29	1.870,93
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	3,02	4,31
CNG Bifuel	1,11	1,22	2,17	4,88	5,38	3,02	4,23	5,97	7,34	7,86

Light Commercial Vehicles	534,27	563,20	612,23	695,74	788,08	575,01	766,74	967,43	1.138,69	1.214,82
Petrol	289,80	299,33	320,05	357,60	385,42	276,42	354,56	438,85	507,50	518,90
Diesel	244,47	263,87	292,18	338,14	402,66	298,59	412,18	528,58	631,19	695,92
Heavy Duty Trucks	1.092,16	1.529,02	2.000,00	2.990,41	3.343,25	2.865,71	3.867,66	4.554,81	5.235,76	5.979,74
Petrol	2,06	2,53	3,04	1,40	1,51	1,31	1,66	2,18	2,30	2,46
Diesel	1.060,57	1.490,18	1.953,42	2.596,96	2.919,75	2.544,34	3.246,89	3.881,78	4.523,21	5.078,08
CNG	29,53	36,31	43,54	392,05	421,98	320,05	619,11	670,86	710,25	899,20
Buses	928,71	1.319,97	1.742,63	2.327,31	2.624,67	2.292,58	2.932,43	3.513,13	4.102,80	4.620,18
Diesel	928,71	1.319,97	1.742,63	2.327,31	2.624,67	2.292,58	2.932,43	3.513,13	4.102,80	4.620,18
L-Category	40,70	43,18	48,73	51,29	58,13	25,63	36,69	53,90	72,29	86,52
Petrol	40,70	43,18	48,73	51,29	58,13	25,63	36,69	53,90	72,29	86,52

Πίνακας 32. Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου N₂O σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

NH ₃ [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	127.947,67	138.215,62	145.815,19	162.391,82	174.139,56	93.550,95	132.527,19	185.185,23	223.666,14	230.034,52
Petrol	127.519,31	137.540,35	145.037,90	161.428,55	172.591,27	92.430,43	131.088,40	181.641,05	216.992,05	222.890,38
Petrol Hybrid	277,20	459,99	489,42	549,81	1.010,48	793,11	953,81	2.692,03	5.240,90	5.315,82
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	130,16	480,13	685,39
Diesel	137,13	199,75	260,35	351,61	469,61	289,18	431,33	644,85	854,69	1.035,71
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	5,29	7,55
CNG Bifuel	14,03	15,52	27,53	61,85	68,20	38,23	53,65	75,70	93,08	99,66
Light Commercial Vehicles	4.508,63	4.668,11	5.002,74	5.603,46	6.064,45	4.358,88	5.612,08	6.965,66	8.080,75	8.304,37
Petrol	4.448,55	4.593,80	4.910,75	5.485,68	5.911,00	4.238,64	5.435,96	6.727,02	7.777,53	7.950,52
Diesel	60,07	74,31	92,00	117,78	153,45	120,24	176,13	238,64	303,22	353,85
Heavy Duty Trucks	331,68	409,86	491,45	833,11	914,40	759,12	1.097,51	1.258,00	1.407,92	1.629,49
Petrol	0,69	0,84	1,01	0,47	0,50	0,44	0,55	0,73	0,77	0,82
Diesel	311,77	385,37	462,07	577,29	639,04	550,21	693,70	820,31	944,53	1.042,98
CNG	19,23	23,65	28,36	255,36	274,86	208,47	403,26	436,96	462,62	585,69

Buses	310,79	383,51	459,22	573,15	632,34	543,02	682,79	805,42	924,87	1.017,34
Diesel	310,79	383,51	459,22	573,15	632,34	543,02	682,79	805,42	924,87	1.017,34
L-Category	40,70	43,18	48,73	51,29	58,13	25,63	36,69	53,90	72,29	86,52
Petrol	40,70	43,18	48,73	51,29	58,13	25,63	36,69	53,90	72,29	86,52

Πίνακας 33. Εκπομπές αμμωνίας NH₃ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

NMVOC [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	81.170,82	88.724,44	93.448,61	103.584,93	109.752,63	62.459,53	85.543,67	114.623,60	134.076,76	136.810,66
Petrol	79.826,34	86.980,24	91.401,79	101.058,73	106.648,47	60.600,56	82.996,41	110.854,12	129.159,69	131.324,08
Petrol Hybrid	40,05	70,60	75,06	83,24	147,22	145,51	155,76	387,94	697,62	695,37
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,80	80,81	113,30
Diesel	1.287,73	1.655,12	1.939,30	2.370,59	2.879,74	1.670,58	2.331,50	3.272,57	4.032,63	4.563,56
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	2,47	3,51
CNG Bifuel	16,71	18,49	32,45	72,37	77,20	42,87	60,00	84,48	103,53	110,85
Light Commercial Vehicles	4.328,43	4.558,19	4.919,24	5.527,12	6.212,71	4.606,67	6.044,32	7.478,20	8.645,51	9.135,57
Petrol	1.826,13	1.910,45	2.041,83	2.273,98	2.428,50	1.844,27	2.299,00	2.760,61	3.134,02	3.189,51
Diesel	2.502,30	2.647,74	2.877,40	3.253,15	3.784,21	2.762,39	3.745,32	4.717,59	5.511,49	5.946,05
Heavy Duty Trucks	18.784,60	23.022,09	27.424,08	34.130,14	37.184,27	31.545,21	39.800,43	46.464,19	52.627,65	57.328,98
Petrol	653,57	804,84	965,11	445,50	479,07	419,34	528,77	690,76	730,03	778,98
Diesel	18.061,27	22.131,47	26.356,09	32.758,37	35.708,20	30.369,69	37.808,92	44.188,43	50.219,56	54.425,51
CNG	69,76	85,79	102,87	926,27	997,00	756,17	1.462,74	1.585,00	1.678,06	2.124,49
Buses	19.356,10	23.717,01	28.243,28	35.103,02	38.263,92	32.543,28	40.514,88	47.350,92	53.813,61	58.320,44
Diesel	19.356,10	23.717,01	28.243,28	35.103,02	38.263,92	32.543,28	40.514,88	47.350,92	53.813,61	58.320,44
L-Category	15.706,09	16.446,73	18.329,45	19.047,17	21.313,32	9.298,12	13.112,55	18.977,40	25.010,26	29.432,30
Petrol	15.706,09	16.446,73	18.329,45	19.047,17	21.313,32	9.298,12	13.112,55	18.977,40	25.010,26	29.432,30

Πίνακας 34. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου NMVOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

NO [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	321.688,56	355.032,29	379.879,66	428.869,18	468.373,77	254.506,17	357.521,21	494.386,24	591.458,46	619.232,32
Petrol	273.967,11	293.110,00	306.687,96	338.579,48	359.010,28	191.188,44	269.369,42	370.771,16	439.305,18	447.532,99
Petrol Hybrid	51,36	77,01	76,22	77,77	122,50	80,84	84,79	227,89	423,09	420,78
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,30	23,25	33,18
Diesel	47.661,17	61.835,41	73.098,12	90.173,15	109.199,34	63.213,72	88.034,54	123.301,40	151.531,75	171.018,64
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,77	119,13	166,69
CNG Bifuel	8,92	9,87	17,36	38,78	41,65	23,18	32,45	45,72	56,07	60,03
Light Commercial Vehicles	49.604,19	53.092,04	58.423,40	66.282,72	76.466,27	55.879,40	75.038,63	94.244,55	109.927,10	117.612,45
Petrol	10.777,90	11.038,85	11.707,75	12.971,09	13.860,15	9.882,32	12.589,51	15.474,78	17.742,91	17.986,16
Diesel	38.826,29	42.053,19	46.715,65	53.311,64	62.606,12	45.997,08	62.449,12	78.769,76	92.184,19	99.626,28
Heavy Duty Trucks	492.461,80	603.303,95	718.349,33	892.751,73	973.097,29	827.429,30	1.031.305,71	1.205.210,84	1.369.299,37	1.484.637,33
Petrol	1.534,55	1.886,96	2.262,77	1.044,84	1.124,62	978,40	1.237,49	1.621,58	1.716,78	1.832,57
Diesel	490.769,95	601.223,57	715.854,61	889.618,39	969.724,69	824.745,92	1.026.770,10	1.200.015,47	1.363.798,98	1.478.014,56
CNG	157,30	193,43	231,95	2.088,51	2.247,98	1.704,98	3.298,13	3.573,80	3.783,61	4.790,20
Buses	495.275,25	606.735,50	722.410,57	897.759,21	978.593,21	832.284,87	1.036.150,97	1.210.973,93	1.376.246,38	1.491.493,82
Diesel	495.275,25	606.735,50	722.410,57	897.759,21	978.593,21	832.284,87	1.036.150,97	1.210.973,93	1.376.246,38	1.491.493,82
L-Category	5.815,19	6.053,48	6.710,84	6.936,11	7.720,62	3.357,06	4.728,33	6.834,73	8.989,14	10.553,01
Petrol	5.815,19	6.053,48	6.710,84	6.936,11	7.720,62	3.357,06	4.728,33	6.834,73	8.989,14	10.553,01

Πίνακας 35. Εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου NO σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

NO2 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	29.154,52	35.404,28	40.353,95	48.314,76	56.501,66	32.057,64	44.809,27	62.574,33	76.371,73	84.379,75
Petrol	11.051,19	11.807,84	12.339,07	13.603,88	14.404,90	7.663,98	10.787,45	14.833,58	17.553,79	17.860,19
Petrol Hybrid	1,59	2,38	2,36	2,41	3,79	2,50	2,62	7,05	13,09	13,01
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,72	1,03

Diesel	18.101,47	23.593,76	28.011,98	34.707,29	42.091,70	24.390,45	34.018,21	47.718,40	58.754,31	66.436,52
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,70	48,11	67,17
CNG Bifuel	0,27	0,30	0,53	1,19	1,28	0,71	0,99	1,40	1,71	1,84
Light Commercial Vehicles	15.362,45	16.699,42	18.616,12	21.196,14	24.798,29	18.188,24	24.681,04	31.140,83	36.466,69	39.404,48
Petrol	427,09	436,95	462,94	512,32	546,80	389,57	495,82	608,88	697,30	706,02
Diesel	14.935,36	16.262,47	18.153,18	20.683,82	24.251,49	17.798,68	24.185,21	30.531,94	35.769,39	38.698,46
Heavy Duty Trucks	66.234,17	81.134,54	96.598,36	120.166,64	130.982,60	111.377,44	138.790,46	162.183,74	184.282,22	199.789,49
Petrol	63,94	78,62	94,28	43,53	46,86	40,77	51,56	67,57	71,53	76,36
Diesel	66.152,76	81.034,42	96.478,30	119.891,05	130.685,97	111.147,24	138.372,44	161.719,08	183.790,29	199.180,89
CNG	17,48	21,49	25,77	232,06	249,78	189,44	366,46	397,09	420,40	532,24
Buses	66.655,49	81.649,49	97.209,88	120.799,47	131.675,60	111.988,51	139.419,25	162.941,94	185.179,30	200.685,06
Diesel	66.655,49	81.649,49	97.209,88	120.799,47	131.675,60	111.988,51	139.419,25	162.941,94	185.179,30	200.685,06
L-Category	242,30	252,23	279,62	289,00	321,69	139,88	197,01	284,78	374,55	439,71
Petrol	242,30	252,23	279,62	289,00	321,69	139,88	197,01	284,78	374,55	439,71

Πίνακας 36. Εκπομπές διοξειδίου του αζώτου NO₂ σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

NO _x [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	350.843,08	390.436,57	420.233,61	477.183,95	524.875,42	286.563,81	402.330,48	556.960,56	667.830,19	703.612,07
Petrol	285.018,30	304.917,83	319.027,03	352.183,36	373.415,17	198.852,42	280.156,87	385.604,74	456.858,97	465.393,18
Petrol Hybrid	52,95	79,39	78,58	80,17	126,29	83,34	87,42	234,93	436,18	433,79
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	23,96	34,21
Diesel	65.762,64	85.429,17	101.110,10	124.880,44	151.291,03	87.604,16	122.052,75	171.019,80	210.286,06	237.455,16
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,48	167,24	233,86
CNG Bifuel	9,20	10,17	17,90	39,97	42,93	23,89	33,45	47,12	57,78	61,87
Light Commercial Vehicles	64.966,64	69.791,46	77.039,51	87.478,86	101.264,56	74.067,65	99.719,67	125.385,37	146.393,79	157.016,92
Petrol	11.204,99	11.475,80	12.170,68	13.483,40	14.406,95	10.271,89	13.085,34	16.083,66	18.440,21	18.692,18
Diesel	53.761,65	58.315,66	64.868,83	73.995,46	86.857,61	63.795,76	86.634,34	109.301,71	127.953,57	138.324,74

Heavy Duty Trucks	558.695,98	684.438,49	814.947,69	1.012.918,37	1.104.079,90	938.806,75	1.170.096,18	1.367.394,58	1.553.581,59	1.684.426,82
Petrol	1.598,49	1.965,58	2.357,06	1.088,37	1.171,48	1.019,17	1.289,05	1.689,14	1.788,31	1.908,92
Diesel	556.922,71	682.257,99	812.332,91	1.009.509,44	1.100.410,66	935.893,16	1.165.142,54	1.361.734,55	1.547.589,27	1.677.195,45
CNG	174,78	214,92	257,72	2.320,56	2.497,76	1.894,42	3.664,59	3.970,88	4.204,01	5.322,45
Buses	561.930,75	688.384,99	819.620,45	1.018.558,68	1.110.268,81	944.273,38	1.175.570,23	1.373.915,87	1.561.425,68	1.692.178,87
Diesel	561.930,75	688.384,99	819.620,45	1.018.558,68	1.110.268,81	944.273,38	1.175.570,23	1.373.915,87	1.561.425,68	1.692.178,87
L-Category	6.057,48	6.305,71	6.990,46	7.225,12	8.042,31	3.496,93	4.925,34	7.119,51	9.363,69	10.992,72
Petrol	6.057,48	6.305,71	6.990,46	7.225,12	8.042,31	3.496,93	4.925,34	7.119,51	9.363,69	10.992,72

Πίνακας 37. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NOx σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

PM10 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	39.477,96	44.489,99	48.425,65	55.589,42	61.958,95	34.137,32	48.596,61	68.480,79	83.838,65	89.175,02
Petrol	32.831,22	35.944,65	38.440,41	43.402,98	47.067,25	25.446,28	36.484,65	51.104,87	61.856,33	64.362,70
Petrol Hybrid	65,13	107,90	114,67	128,66	235,85	184,66	221,71	625,42	1.216,98	1.234,13
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,00	114,33	163,20
Diesel	6.571,36	8.426,11	9.850,45	12.012,61	14.606,01	8.478,44	11.851,06	16.660,63	20.569,86	23.323,41
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,56	13,15	18,77
CNG Bifuel	10,25	11,34	20,11	45,18	49,83	27,93	39,19	55,31	68,01	72,81
Light Commercial Vehicles	7.180,66	7.588,67	8.248,08	9.366,29	10.807,22	7.898,36	10.652,78	13.442,63	15.771,96	16.957,56
Petrol	1.448,85	1.521,17	1.651,63	1.874,41	2.051,71	1.486,71	1.929,78	2.416,83	2.834,94	2.939,49
Diesel	5.731,80	6.067,50	6.596,46	7.491,88	8.755,51	6.411,66	8.723,00	11.025,80	12.937,02	14.018,08
Heavy Duty Trucks	23.141,18	28.451,19	33.971,81	42.926,33	46.894,52	39.887,38	50.182,16	58.662,17	66.708,87	72.767,67
Petrol	25,38	31,20	37,42	17,28	18,60	16,18	20,46	26,82	28,39	30,30
Diesel	23.059,22	28.350,41	33.850,96	42.157,81	46.067,33	39.257,92	48.975,36	57.349,86	65.319,52	71.014,33
CNG	56,58	69,58	83,43	751,24	808,60	613,28	1.186,34	1.285,50	1.360,97	1.723,04

Buses	18.226,25	22.414,80	26.769,64	33.344,36	36.444,00	31.062,16	38.757,53	45.392,08	51.709,29	56.232,09
Diesel	18.226,25	22.414,80	26.769,64	33.344,36	36.444,00	31.062,16	38.757,53	45.392,08	51.709,29	56.232,09
L-Category	445,10	465,41	518,15	537,90	601,39	262,90	372,61	542,00	718,35	849,83
Petrol	445,10	465,41	518,15	537,90	601,39	262,90	372,61	542,00	718,35	849,83

Πίνακας 38. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

PM2,5 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	25.967,45	29.516,69	32.280,14	37.205,97	41.752,68	23.102,47	32.791,86	46.144,69	56.461,26	60.371,83
Petrol	20.034,58	21.913,34	23.413,92	26.412,80	28.616,05	15.461,39	22.152,88	31.008,68	37.501,38	38.989,65
Petrol Hybrid	39,05	64,63	68,64	76,94	140,80	110,06	132,00	372,21	724,01	734,12
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,64	68,76	98,16
Diesel	5.887,57	7.531,80	8.785,32	10.688,70	12.965,46	7.513,99	10.483,10	14.709,33	18.117,83	20.494,36
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,12	7,82	11,16
CNG Bifuel	6,25	6,91	12,26	27,54	30,37	17,03	23,89	33,71	41,45	44,38
Light Commercial Vehicles	6.141,27	6.481,35	7.032,62	7.971,61	9.214,26	6.729,35	9.085,05	11.452,28	13.411,55	14.424,47
Petrol	883,24	926,55	1.005,24	1.139,90	1.246,73	902,93	1.171,33	1.466,10	1.718,53	1.780,70
Diesel	5.258,02	5.554,80	6.027,39	6.831,71	7.967,53	5.826,42	7.913,72	9.986,19	11.693,02	12.643,77
Heavy Duty Trucks	19.452,50	23.887,45	28.495,58	35.807,80	39.089,03	33.246,89	41.682,23	48.721,91	55.393,70	60.294,81
Petrol	13,35	16,42	19,69	9,09	9,78	8,51	10,77	14,11	14,94	15,94
Diesel	19.407,66	23.832,31	28.429,47	35.380,65	38.629,26	32.897,09	41.011,27	47.992,43	54.621,39	59.320,00
CNG	31,49	38,72	46,43	418,06	449,98	341,29	660,19	715,37	757,37	958,87
Buses	15.694,15	19.273,61	22.992,75	28.615,90	31.245,73	26.610,82	33.176,56	38.826,36	44.192,19	47.998,30
Diesel	15.694,15	19.273,61	22.992,75	28.615,90	31.245,73	26.610,82	33.176,56	38.826,36	44.192,19	47.998,30
L-Category	392,07	409,20	454,76	471,23	525,88	229,55	324,77	471,59	623,72	736,32
Petrol	392,07	409,20	454,76	471,23	525,88	229,55	324,77	471,59	623,72	736,32

Πίνακας 39. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

SO2 [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	1.920,22	2.121,29	2.280,91	2.588,99	2.836,64	1.545,60	2.210,48	3.114,41	3.803,58	3.993,02
Petrol	1.823,44	1.994,09	2.130,30	2.402,77	2.603,10	1.406,43	2.015,06	2.820,51	3.410,96	3.546,21
Petrol Hybrid	2,57	4,34	4,67	5,31	9,95	7,95	9,67	27,39	53,50	54,34
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81	6,67	9,53
Diesel	94,21	122,86	145,94	180,91	223,60	131,22	185,76	264,46	331,56	381,69
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,88	1,25
Light Commercial Vehicles	148,68	157,33	171,60	195,66	222,36	162,55	217,19	274,57	323,90	346,13
Petrol	78,74	82,05	88,47	99,71	108,40	78,19	100,97	125,81	146,67	151,17
Diesel	69,94	75,27	83,13	95,95	113,96	84,36	116,23	148,76	177,23	194,96
Heavy Duty Trucks	353,33	436,75	523,69	653,14	716,02	611,79	765,29	898,53	1.026,20	1.120,20
Petrol	0,97	1,20	1,43	0,66	0,71	0,62	0,78	1,03	1,09	1,16
Diesel	352,36	435,56	522,25	652,47	715,31	611,17	764,51	897,50	1.025,11	1.119,04
Buses	333,52	411,79	493,32	615,91	674,88	576,39	720,70	845,72	965,55	1.053,34
Diesel	333,52	411,79	493,32	615,91	674,88	576,39	720,70	845,72	965,55	1.053,34
L-Category	15,26	16,15	18,19	19,10	21,60	9,51	13,59	19,92	26,66	31,83
Petrol	15,26	16,15	18,19	19,10	21,60	9,51	13,59	19,92	26,66	31,83

Πίνακας 40. Εκπομπές διοξειδίου του θείου SO2 σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

VOC [t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Passenger Cars	96.714,24	105.691,11	111.540,73	123.989,02	131.845,54	74.403,88	102.567,42	138.489,60	163.022,39	166.886,37
Petrol	95.082,05	103.561,52	109.014,34	120.808,56	127.922,27	72.050,86	99.330,15	133.618,18	156.546,39	159.652,17
Petrol Hybrid	61,55	106,27	113,02	125,89	225,59	207,02	229,74	596,74	1.104,11	1.107,68
Petrol PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,90	118,05	166,46
Diesel	1.526,38	1.974,36	2.327,36	2.862,70	3.492,59	2.032,03	2.848,01	4.014,71	4.973,27	5.657,83
Diesel PHEV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	5,22	7,42

CNG Bifuel	44,25	48,96	86,01	191,87	205,09	113,96	159,51	224,64	275,35	294,81
Light Commercial Vehicles	4.920,75	5.187,50	5.609,66	6.305,14	7.073,29	5.229,39	6.862,54	8.504,84	9.848,92	10.400,83
Petrol	2.293,55	2.393,93	2.559,49	2.853,18	3.053,63	2.293,04	2.875,27	3.474,67	3.960,89	4.036,10
Diesel	2.627,20	2.793,56	3.050,17	3.451,96	4.019,65	2.936,35	3.987,27	5.030,17	5.888,03	6.364,73
Heavy Duty Trucks	23.802,13	29.166,98	34.739,49	44.193,32	48.137,65	40.746,33	51.910,05	60.463,70	68.381,45	74.785,91
Petrol	677,59	834,38	1.000,54	461,86	496,68	434,66	548,15	716,15	756,90	807,67
Diesel	22.967,23	28.139,18	33.506,99	41.642,92	45.392,95	38.606,66	48.063,72	56.173,70	63.840,87	69.187,95
CNG	157,30	193,43	231,95	2.088,54	2.248,02	1.705,01	3.298,18	3.573,86	3.783,68	4.790,29
Buses	23.920,67	29.306,72	34.896,70	43.369,54	47.275,05	40.207,38	50.056,55	58.502,78	66.487,84	72.056,61
Diesel	23.920,67	29.306,72	34.896,70	43.369,54	47.275,05	40.207,38	50.056,55	58.502,78	66.487,84	72.056,61
L-Category	17.415,93	18.228,67	20.307,05	21.093,46	23.593,66	10.289,20	14.507,71	20.993,00	27.659,44	32.540,27
Petrol	17.415,93	18.228,67	20.307,05	21.093,46	23.593,66	10.289,20	14.507,71	20.993,00	27.659,44	32.540,27

Πίνακας 41. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων VOC σε (tn) για τα έτη 2015 -2024 από την κίνηση οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας.

8. Σενάρια Μείωσης μέσω Εναλλακτικών Ενεργειακών Επιλογών

8.1.Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές αποτελεί βασικό στόχο της Ελλάδας για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Οι μεταφορές είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών στη χώρα και ο μόνος τομέας όπου οι εκπομπές έχουν αυξηθεί σε σχέση με το 1990, με τις οδικές μεταφορές να ευθύνονται για περίπου το 85% των συνολικών εκπομπών του κλάδου.

Για την απανθρακοποίηση των μεταφορών έως το 2030, το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ δίνει έμφαση σε δύο βασικούς άξονες: την αύξηση της χρήσης βιοκαυσίμων (σχεδόν διπλασιασμός σε σχέση με το 2022) και τον εξηλεκτρισμό των χερσαίων μεταφορών. Παράλληλα, τίθενται αυστηρότεροι στόχοι μείωσης των εκπομπών CO₂ για νέα επιβατικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, ενώ για άλλους τομείς μεταφορών προβλέπεται συνδυασμός ηλεκτροκίνησης και ανανεώσιμων καυσίμων. Η μετάβαση αυτή θα αυξήσει σημαντικά τη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις μεταφορές, με το μερίδιό τους να ξεπερνά το 35% έως το 2035, ενώ παράλληλα η ζήτηση για βιοκαύσιμα αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, ενισχύοντας τις επενδύσεις στην παραγωγή τους.

Ως αποτέλεσμα αυτών, οι εκπομπές CO₂ από τις χερσαίες μεταφορές προβλέπεται να μειωθούν κατά 10% έως το 2030 σε σχέση με το 2022, αντισταθμίζοντας εν μέρει την αύξηση των εκπομπών από τις αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές λόγω μεγαλύτερης δραστηριότητας. Μετά το 2030, και ιδιαίτερα μετά το 2035, αναμένεται σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και περαιτέρω βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των μεταφορών χάρη στη διεύρυνση της χρήσης ΑΠΕ και βιοκαυσίμων (ΥΠΕΝ, 2024).

Ιδιαίτερα για τις οδικές μεταφορές το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ θέτει φιλόδοξους αλλά ρεαλιστικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών, λαμβάνοντας υπόψη ότι η Ελλάδα διαθέτει έναν από τους γηραιότερους στόλους οχημάτων στην Ευρώπη. Κύριος άξονας της στρατηγικής είναι η προώθηση της ηλεκτροκίνησης, ιδιαίτερα στα επιβατικά αυτοκίνητα και τα ελαφρά φορτηγά.

Προβλέπονται δύο σενάρια ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης έως το 2030. Το βασικό σενάριο στηρίζεται στη συνέχιση των υφιστάμενων μέτρων, ενώ το αισιόδοξο σενάριο απαιτεί πρόσθετες πολιτικές ενίσχυσης. Στο αισιόδοξο σενάριο, τα ηλεκτρικά οχήματα αναμένεται να

φτάσουν περίπου το 50% των νέων ταξινομήσεων επιβατικών αυτοκινήτων και το 40% των νέων ελαφρών φορτηγών έως το 2030. Παράλληλα, αυξάνεται σταδιακά η συμμετοχή των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (BEV) έναντι των plug-in υβριδικών (PHEV). Η εφαρμογή πρόσθετων μέτρων εκτιμάται ότι θα αυξήσει τον συνολικό στόλο ηλεκτρικών επιβατικών και ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων σε πάνω από 460.000 έως το 2030 (ΥΠΕΝ, 2024).

Από το 2020 και μετά, η Ελλάδα έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στην ηλεκτροκίνηση μέσω νομοθετικών παρεμβάσεων, οικονομικών κινήτρων και προγραμμάτων επιδότησης. Οι στόχοι που είχαν τεθεί για τις νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων έχουν ξεπεραστεί, ενώ ο αριθμός των ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων έχει αυξηθεί κατά 24 φορές σε σχέση με το 2019. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί ήδη και στην ανάπτυξη υποδομών φόρτισης. Έχουν χωροθετηθεί περίπου 9.000 νέα δημόσια σημεία φόρτισης μέσω των Σχεδίων Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων των δήμων, ενώ υπάρχει πρόγραμμα που χρηματοδοτεί την εγκατάσταση χιλιάδων επιπλέον σταθμών. Μέχρι το 2023 λειτούργησαν πάνω από 4.000 δημόσια σημεία φόρτισης, αριθμός πολλαπλάσιος σε σχέση με το 2019.

Για τα βαρέα οχήματα, η μετάβαση σε καθαρότερες μορφές ενέργειας αναμένεται να είναι πιο αργή λόγω της εκτεταμένης χρήσης εισαγόμενων μεταχειρισμένων φορτηγών. Προβλέπεται εξηλεκτρισμός των φορτηγών μικρών αποστάσεων, ενώ για τις μεγάλες αποστάσεις προτείνεται συνδυασμός ηλεκτρισμού, καυσίμων χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος και πράσινου υδρογόνου. Η ανάπτυξη αυτών των υποδομών θεωρείται καθοριστική για την επίτευξη των στόχων κλιματικής ουδετερότητας στις μεταφορές (ΥΠΕΝ, 2024).

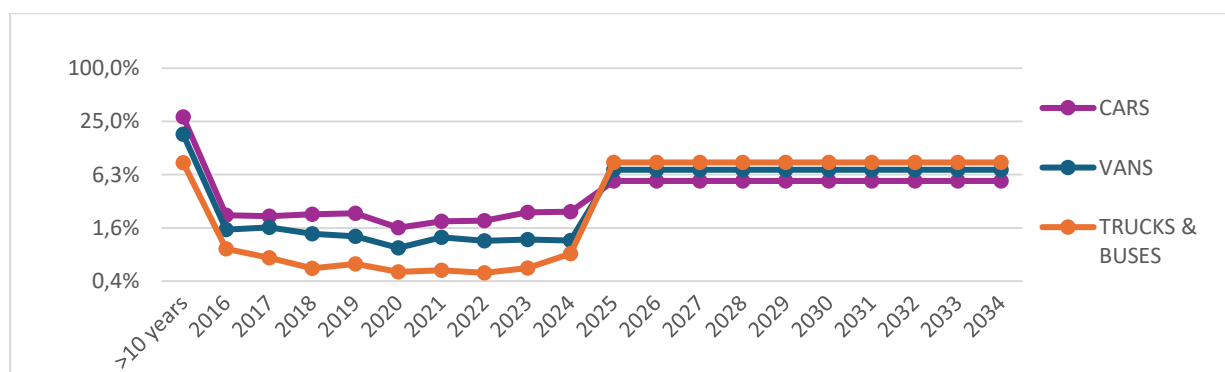
8.2. Συντηρητικά Σενάρια Μείωσης

Συμπληρωματικά στην εργασία διεξάχθηκαν και δύο σενάρια στα οποία μειώθηκε το ποσοστό οχημάτων που εξαρτώνται από βενζίνη και ντίζελ και αυξήθηκε σε αντίστοιχο βαθμό το ποσοστό οχημάτων που κινούνται μέσω εναλλακτικές ενεργειακές επιλογές. Διευκρινίζεται ότι τα σενάρια πραγματοποιήθηκαν στα επιβατικά, ελαφριά επαγγελματικά, βαρέα επαγγελματικά και λεωφορεία και όχι στις μοτοσυκλέτες όπου 100% χρησιμοποιούν βενζίνη. Για την θέσπιση των σεναρίων χρησιμοποιήθηκαν οι δύο βασικές αρχές του ΕΣΕΚ, η μετατροπή ποσοστού των συμβατικών καυσίμων σε ηλεκτροκίνηση και εναλλακτικά καύσιμα. Τα σενάρια που έγιναν θεωρούνται αρκετά συντηρητικά σε σχέση με τους στόχους του ΕΣΕΚ για την απανθρακοποίηση των μεταφορών έως το 2030 με το διπλασιασμό στη χρήση βιοκαυσίμων και τον εξηλεκτρισμό των χερσαίων μεταφορών. Παράλληλα, μια ακόμη

θεωρητική προσέγγιση για τη μείωση των εκπομπών θα μπορούσε να είναι η μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, και ειδικότερα των ιδιωτικών οχημάτων, μέσω της ενίσχυσης εναλλακτικών μορφών μετακίνησης, όπως οι δημόσιες συγκοινωνίες ή ο συνεπιβατισμός (car pooling). Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή δεν εξετάστηκε στην παρούσα εργασία, λόγω έλλειψης των απαραίτητων ποσοτικών δεδομένων.

Συγκεκριμένα στο πρώτο σενάριο (Σενάριο Α) μειώθηκαν κατά 20% τα οχήματα που κινούνται με βενζίνη και κατά 20% αντίστοιχα αυτά που κινούνται με ντίζελ. Στα επιβατικά, ο διαμοιρασμός στις εναλλακτικές ενεργειακές επιλογές έγινε με την πρόσθεση κατά 25% στα BEV, PHEV και Hybrid και κατά 12,50% στα CNG και LPG. Στα ελαφριά επαγγελματικά κατά 100% στα BEV, ενώ στα βαρέα επαγγελματικά & λεωφορεία κατά 50% στα BEV και κατά 25% στα CNG και LNG. Στα βαρέα επαγγελματικά δόθηκε όλο το ποσοστό των CNG και LNG, ενώ στα λεωφορεία δόθηκε όλο το ποσοστό των BEV. Στο δεύτερο σενάριο (Σενάριο Β) μειώθηκαν κατά 25% τα οχήματα που κινούνται με βενζίνη και κατά 25% αντίστοιχα αυτά που κινούνται με ντίζελ. Ο διαμοιρασμός παρέμεινε ο ίδιος με το Σενάριο Α. Και τα δύο σενάρια βασίζονται στα δεδομένα του έτους αναφοράς 2024 για τους αυτοκινητοδρόμους του δικτύου της HELLASTRON. Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 42) παρουσιάζεται ο όγκος διελεύσεων οχημάτων από τους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας για το έτος αναφοράς 2024 HELLASTRON, για το σενάριο Α και το σενάριο Β.

Εκτός από την αλλαγή στον διαμοιρασμό των οχημάτων ανά τύπο καυσίμου, έγιναν προσαρμογές και στην ηλικιακή κατανομή των οχημάτων. Η ηλικιακή κατανομή των οχημάτων και για τα δύο σενάρια χρησιμοποιεί ως έτος αναφοράς το 2034, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 13. Ηλικιακή Κατανομή Οχημάτων για τα Σενάρια Α & Β (έτος αναφοράς 2034).

2024	HELLASTRON	Petrol	Diesel	Battery electric	Plug-in hybrid	Hybrid electric	Natural gas	LPG
KAT 1	2.861.502	2.861.502	0	0	0	0	0	0
KAT 2	293.490.659	256.804.326	28.633.235	596.526	1.193.051	5.368.732	298.263	596.526
KAT 3	19.679.296	8.980.343	10.650.541	48.412	0	0	0	0
KAT 4	41.807.444	27.112	40.370.482	27.112	0	0	1.382.736	0
	357.838.900							
ΣΕΝΑΡΙΟ Α 2025-2035	HELLASTRON	Petrol	Diesel	Battery electric	Plug-in hybrid	Hybrid electric	Natural gas	LPG
KAT 1	2.861.502	2.861.502	0	0	0	0	0	0
KAT 2	293.490.659	205.443.461	22.906.588	14.868.404	15.464.930	19.640.610	7.434.202	7.732.465
KAT 3	19.679.296	7.184.274	8.520.433	3.974.588	0	0	0	0
KAT 4	41.807.444	21.690	32.296.386	4.066.872	0	0	5.422.496	0
	357.838.900							
ΣΕΝΑΡΙΟ Β 2025-2035	HELLASTRON	Petrol	Diesel	Battery electric	Plug-in hybrid	Hybrid electric	Natural gas	LPG
KAT 1	2.861.502	2.861.502	0	0	0	0	0	0
KAT 2	293.490.659	192.603.245	21.474.926	18.436.373	19.032.899	23.208.579	9.218.187	9.516.450
KAT 3	19.679.296	6.735.257	7.987.906	4.956.133	0	0	0	0
KAT 4	41.807.444	20.334	30.277.862	5.076.812	0	0	6.432.436	0
	357.838.900							

Πίνακας 42. Κυκλοφοριακός Φόρτος στους αυτοκινητοδρόμους της Ελλάδας για το έτος αναφοράς 2024, για το Σενάριο Α και για το Σενάριο Β.

Τα κλιματικά δεδομένα, η αυτοματοποιημένη ενεργειακή ισορροπία, η περιεκτικότητα σε θείο σε βενζίνη και ντίζελ, τα βασικά μεγέθη κυκλοφοριακής δραστηριότητας και η κατανομή των ταχυτήτων σε αυτοκινητοδρόμους ανά κατηγορία οχημάτων παρέμειναν ίδια με το έτος αναφοράς 2024 της HELLASTRON στα δύο σενάρια. Δεν λήφθηκε υπόψη ο ρυθμός αύξησης των BEV, PHEV και CNG, αντιθέτως χρησιμοποιήθηκε η ηλικιακή κατανομή. Τα αποτελέσματα των 2 σεναρίων μαζί με τις αντίστοιχες εκπομπές ρύπων και ενεργειακή κατανάλωση από το έτος αναφοράς 2024 παρουσιάζονται στους Πίνακες 43 με 56.

EC(TJ)	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ Α (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ Β (2034)
Passenger Cars	9.077.379,76	7.296.664,64	7.105.399,47
Petrol	8.047.318,90	5.712.321,34	5.355.301,26
Petrol Hybrid	123.320,06	441.272,35	521.435,15
Petrol PHEV	21.616,92	280.208,80	344.856,78
Diesel	871.575,92	614.186,65	575.799,98
Diesel PHEV	2.865,74	37.147,21	45.717,58
CNG Bifuel	10.682,21	211.528,30	262.288,72
Light Commercial Vehicles	788.211,22	504.054,38	472.550,98
Petrol	343.023,86	203.939,15	191.192,95
Diesel	445.187,36	300.115,23	281.358,03
Heavy Duty Trucks	2.749.143,75	2.742.519,69	2.783.704,27
Petrol	2.635,90	2.108,72	1.976,93
Diesel	2.555.301,19	1.885.769,50	1.767.908,91
CNG	191.206,66	374.915,02	444.742,94
LNG	0,00	479.726,45	569.075,50
Buses	2.405.289,44	1.623.356,59	1.521.896,80
Diesel	2.405.289,44	1.623.356,59	1.521.896,80
L-Category	72.235,63	67.769,43	67.769,43
Petrol	72.235,63	67.769,43	67.769,43

Πίνακας 43. Ενεργειακή Κατανάλωση (TJ) Σεναρίων Α & Β.

CH4 [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ Α (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ Β (2034)
Passenger Cars	30.075,70	20.959,97	20.800,68
Petrol	28.328,09	15.777,49	14.791,40
Petrol Hybrid	412,30	1.508,34	1.782,35
Petrol PHEV	53,16	689,09	848,07
Diesel	1.094,28	1.064,71	998,17
Diesel PHEV	3,91	51,09	62,88
CNG Bifuel	183,96	1.869,25	2.317,81
Light Commercial Vehicles	1.265,26	763,71	715,98
Petrol	846,59	328,72	308,18
Diesel	418,67	434,99	407,80
Heavy Duty Trucks	17.456,94	19.815,10	23.470,67
Petrol	28,69	22,95	21,52
Diesel	14.762,45	117,72	110,36
CNG	2.665,80	5.227,06	6.200,59
LNG	0,00	14.447,37	17.138,19
Buses	13.736,17	111,65	104,67
Diesel	13.736,17	111,65	104,67
L-Category	3.107,98	778,23	778,23
Petrol	3.107,98	778,23	778,23

Πίνακας 44. Εκπομπές μεθανίου CH4 (tn) Σεναρίων Α & Β.

CO [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ B (2034)
Passenger Cars	3.237.698,75	1.352.005,30	1.296.578,62
Petrol	3.195.394,79	1.240.072,70	1.162.568,16
Petrol Hybrid	16.363,76	52.346,53	61.855,95
Petrol PHEV	2.434,61	31.558,59	38.839,59
Diesel	21.246,12	4.750,05	4.453,17
Diesel PHEV	12,66	167,77	206,48
CNG Bifuel	2.246,82	23.109,64	28.655,26
Light Commercial Vehicles	258.017,84	85.812,75	80.449,45
Petrol	208.406,85	81.970,57	76.847,41
Diesel	49.610,99	3.842,18	3.602,04
Heavy Duty Trucks	405.207,82	40.260,55	41.866,28
Petrol	1.145,84	916,67	859,38
Diesel	396.044,27	22.772,97	21.349,66
CNG	8.017,72	11.004,71	13.054,34
LNG	0,00	5.566,20	6.602,91
Buses	343.743,55	23.469,75	22.002,89
Diesel	343.743,55	23.469,75	22.002,89
L-Category	339.841,76	155.382,92	155.382,92
Petrol	339.841,76	155.382,92	155.382,92

Πίνακας 45. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO (tn) Σεναρίων A & B.

CO ₂ [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ B (2034)
Passenger Cars	656.945.781,15	524.899.247,20	510.265.968,16
Petrol	580.858.193,92	412.308.760,46	386.539.462,93
Petrol Hybrid	8.900.705,88	31.849.018,22	37.634.802,28
Petrol PHEV	1.560.223,80	20.224.401,01	24.890.445,31
Diesel	64.803.070,82	45.665.764,24	42.811.653,97
Diesel PHEV	213.072,71	2.761.955,01	3.399.175,59
CNG Bifuel	610.514,01	12.089.348,26	14.990.428,07
Light Commercial Vehicles	57.861.603,62	37.035.126,51	34.720.431,10
Petrol	24.761.207,68	14.721.076,81	13.801.009,51
Diesel	33.100.395,94	22.314.049,70	20.919.421,59
Heavy Duty Trucks	201.108.914,51	189.206.994,66	189.531.702,57
Petrol	190.246,13	152.196,90	142.684,60
Diesel	189.990.750,41	140.209.993,43	131.446.868,84
CNG	10.927.917,97	21.427.290,13	25.418.122,92
LNG	0,00	27.417.514,20	32.524.026,21
Buses	178.837.136,02	120.699.171,61	113.155.473,38
Diesel	178.837.136,02	120.699.171,61	113.155.473,38
L-Category	5.214.156,04	4.891.664,66	4.891.664,66
Petrol	5.214.156,04	4.891.664,66	4.891.664,66

Πίνακας 46. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂ (tn) Σεναρίων A & B.

N2O [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ B (2034)
Passenger Cars	9.660,33	7.249,51	7.061,37
Petrol	7.617,52	4.879,66	4.574,68
Petrol Hybrid	141,47	517,53	611,54
Petrol PHEV	18,24	236,43	290,98
Diesel	1.870,93	1.385,17	1.298,59
Diesel PHEV	4,31	55,92	68,82
CNG Bifuel	7,86	174,80	216,75
Light Commercial Vehicles	1.214,82	692,19	648,93
Petrol	518,90	176,96	165,90
Diesel	695,92	515,23	483,03
Heavy Duty Trucks	5.979,74	16.858,33	16.681,85
Petrol	2,46	1,97	1,84
Diesel	5.078,08	13.330,09	12.496,96
CNG	899,20	1.763,14	2.091,52
LNG	0,00	1.763,14	2.091,52
Buses	4.620,18	13.035,31	12.220,61
Diesel	4.620,18	13.035,31	12.220,61
L-Category	86,52	86,52	86,52
Petrol	86,52	86,52	86,52

Πίνακας 47. Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου N2O (tn) Σεναρίων A & B.

NH3 [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ B (2034)
Passenger Cars	230.034,52	118.169,55	119.108,58
Petrol	222.890,38	84.656,29	79.365,27
Petrol Hybrid	5.315,82	19.447,05	22.979,86
Petrol PHEV	685,39	8.884,41	10.934,16
Diesel	1.035,71	1.967,41	1.844,45
Diesel PHEV	7,55	97,86	120,43
CNG Bifuel	99,66	3.116,54	3.864,42
Light Commercial Vehicles	8.304,37	3.606,34	3.380,94
Petrol	7.950,52	2.821,75	2.645,39
Diesel	353,85	784,59	735,56
Heavy Duty Trucks	1.629,49	3.463,67	3.818,53
Petrol	0,82	0,66	0,61
Diesel	1.042,98	1.166,18	1.093,29
CNG	585,69	1.148,42	1.362,31
LNG	0,00	1.148,42	1.362,31
Buses	1.017,34	929,12	871,05
Diesel	1.017,34	929,12	871,05
L-Category	86,52	86,52	86,52
Petrol	86,52	86,52	86,52

Πίνακας 48. Εκπομπές αμμωνίας NH3 (tn) Σεναρίων A & B.

NMVOC [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ B (2034)
Passenger Cars	136.810,66	35.562,33	34.682,38
Petrol	131.324,08	29.603,71	27.753,48
Petrol Hybrid	695,37	2.528,97	2.988,39
Petrol PHEV	113,30	1.458,44	1.794,92
Diesel	4.563,56	986,10	924,47
Diesel PHEV	3,51	41,97	51,65
CNG Bifuel	110,85	943,15	1.169,47
Light Commercial Vehicles	9.135,57	1.577,98	1.479,35
Petrol	3.189,51	1.019,18	955,48
Diesel	5.946,05	558,80	523,87
Heavy Duty Trucks	57.328,98	6.023,93	6.818,66
Petrol	778,98	623,19	584,24
Diesel	54.425,51	692,32	649,05
CNG	2.124,49	4.165,66	4.941,52
LNG	0,00	542,76	643,85
Buses	58.320,44	714,95	670,27
Diesel	58.320,44	714,95	670,27
L-Category	29.432,30	12.747,57	12.747,57
Petrol	29.432,30	12.747,57	12.747,57

Πίνακας 49. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων πλην μεθανίου NMVOC(tn) Σεναρίων A&B.

NO [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ B (2034)
Passenger Cars	619.232,32	90.631,35	86.364,97
Petrol	447.532,99	43.180,54	40.481,76
Petrol Hybrid	420,78	2.027,09	2.395,34
Petrol PHEV	33,18	430,14	529,38
Diesel	171.018,64	42.368,49	39.720,46
Diesel PHEV	166,69	1.836,00	2.259,59
CNG Bifuel	60,03	789,10	978,46
Light Commercial Vehicles	117.612,45	26.900,11	25.218,85
Petrol	17.986,16	1.605,95	1.505,58
Diesel	99.626,28	25.294,16	23.713,28
Heavy Duty Trucks	1.484.637,33	57.753,46	58.076,42
Petrol	1.832,57	1.466,05	1.374,43
Diesel	1.478.014,56	40.478,15	37.948,26
CNG	4.790,20	7.983,67	9.470,63
LNG	0,00	7.825,59	9.283,10
Buses	1.491.493,82	42.414,15	39.763,27
Diesel	1.491.493,82	42.414,15	39.763,27
L-Category	10.553,01	3.406,07	3.406,07
Petrol	10.553,01	3.406,07	3.406,07

Πίνακας 50. Εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου NO (tn) Σεναρίων A & B.

NO ₂ [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ Α (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ Β (2034)
Passenger Cars	84.379,75	30.324,75	28.668,93
Petrol	17.860,19	1.071,12	1.004,17
Petrol Hybrid	13,01	62,69	74,08
Petrol PHEV	1,03	13,30	16,37
Diesel	66.436,52	28.427,10	26.650,41
Diesel PHEV	67,17	729,41	897,69
CNG Bifuel	1,84	21,13	26,20
Light Commercial Vehicles	39.404,48	14.092,66	13.211,87
Petrol	706,02	38,10	35,72
Diesel	38.698,46	14.054,56	13.176,15
Heavy Duty Trucks	199.789,49	7.506,29	7.474,10
Petrol	76,36	61,09	57,27
Diesel	199.180,89	5.688,62	5.333,08
CNG	532,24	887,07	1.052,29
LNG	0,00	869,51	1.031,46
Buses	200.685,06	5.910,39	5.540,99
Diesel	200.685,06	5.910,39	5.540,99
L-Category	439,71	141,92	141,92
Petrol	439,71	141,92	141,92

Πίνακας 51. Εκπομπές διοξείδιο του αζώτου NO₂ (tn) Σεναρίων Α & Β.

NO _x [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ Α (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ Β (2034)
Passenger Cars	703.612,07	120.956,11	115.033,90
Petrol	465.393,18	44.251,66	41.485,93
Petrol Hybrid	433,79	2.089,78	2.469,42
Petrol PHEV	34,21	443,44	545,75
Diesel	237.455,16	70.795,59	66.370,87
Diesel PHEV	233,86	2.565,40	3.157,28
CNG Bifuel	61,87	810,23	1.004,66
Light Commercial Vehicles	157.016,92	40.992,77	38.430,72
Petrol	18.692,18	1.644,05	1.541,29
Diesel	138.324,74	39.348,72	36.889,43
Heavy Duty Trucks	1.684.426,82	65.259,75	65.550,52
Petrol	1.908,92	1.527,14	1.431,69
Diesel	1.677.195,45	46.166,77	43.281,34
CNG	5.322,45	8.870,75	10.522,92
LNG	0,00	8.695,10	10.314,56
Buses	1.692.178,87	48.324,54	45.304,26
Diesel	1.692.178,87	48.324,54	45.304,26
L-Category	10.992,72	3.547,99	3.547,99
Petrol	10.992,72	3.547,99	3.547,99

Πίνακας 52. Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO_x (tn) Σεναρίων Α & Β.

PM10 [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ Α (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ Β (2034)
Passenger Cars	89.175,02	59.572,46	58.111,49
Petrol	64.362,70	45.191,90	42.367,41
Petrol Hybrid	1.234,13	4.360,69	5.152,86
Petrol PHEV	163,20	2.065,59	2.542,16
Diesel	23.323,41	5.990,04	5.615,66
Diesel PHEV	18,77	237,47	292,26
CNG Bifuel	72,81	1.726,77	2.141,14
Light Commercial Vehicles	16.957,56	5.150,92	4.828,99
Petrol	2.939,49	2.156,70	2.021,91
Diesel	14.018,08	2.994,22	2.807,08
Heavy Duty Trucks	72.767,67	30.303,68	30.203,07
Petrol	30,30	24,24	22,73
Diesel	71.014,33	23.069,92	21.628,05
CNG	1.723,04	3.336,29	3.957,68
LNG	0,00	3.873,23	4.594,62
Buses	56.232,09	19.656,51	18.427,97
Diesel	56.232,09	19.656,51	18.427,97
L-Category	849,83	450,90	450,90
Petrol	849,83	450,90	450,90

Πίνακας 53. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 (tn) Σεναρίων Α & Β.

PM2,5 [t]	2024	ΣΕΝΑΠΙΟ Α (2034)	ΣΕΝΑΠΙΟ Β (2034)
Passenger Cars	60.371,83	36.117,17	35.234,88
Petrol	38.989,65	27.053,69	25.362,84
Petrol Hybrid	734,12	2.630,78	3.108,69
Petrol PHEV	98,16	1.252,23	1.541,14
Diesel	20.494,36	3.967,66	3.719,68
Diesel PHEV	11,16	142,41	175,26
CNG Bifuel	44,38	1.070,42	1.327,28
Light Commercial Vehicles	14.424,47	3.266,44	3.062,29
Petrol	1.780,70	1.294,63	1.213,71
Diesel	12.643,77	1.971,81	1.848,58
Heavy Duty Trucks	60.294,81	17.023,42	16.960,95
Petrol	15,94	12,75	11,96
Diesel	59.320,00	12.984,54	12.173,01
CNG	958,87	1.837,92	2.180,23
LNG	0,00	2.188,20	2.595,76
Buses	47.998,30	10.993,29	10.306,21
Diesel	47.998,30	10.993,29	10.306,21
L-Category	736,32	341,51	341,51
Petrol	736,32	341,51	341,51

Πίνακας 54. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 (tn) Σεναρίων Α & Β.

SO ₂ [t]	2024	ΣΕΝΑΡΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΡΙΟ B (2034)
Passenger Cars	3.993,02	3.120,35	3.013,78
Petrol	3.546,21	2.517,20	2.359,87
Petrol Hybrid	54,34	194,44	229,77
Petrol PHEV	9,53	123,47	151,96
Diesel	381,69	268,97	252,16
Diesel PHEV	1,25	16,27	20,02
Light Commercial Vehicles	346,13	221,30	207,47
Petrol	151,17	89,87	84,26
Diesel	194,96	131,43	123,21
Heavy Duty Trucks	1.120,20	826,76	775,09
Petrol	1,16	0,93	0,87
Diesel	1.119,04	825,83	774,22
Buses	1.053,34	710,91	666,48
Diesel	1.053,34	710,91	666,48
L-Category	31,83	29,86	29,86
Petrol	31,83	29,86	29,86

Πίνακας 55. Εκπομπές διοξειδίου του θείου SO₂ (tn) Σεναρίων A & B.

VOC [t]	2024	ΣΕΝΑΡΙΟ A (2034)	ΣΕΝΑΡΙΟ B (2034)
Passenger Cars	166.886,37	56.522,31	55.483,06
Petrol	159.652,17	45.381,20	42.544,87
Petrol Hybrid	1.107,68	4.037,31	4.770,74
Petrol PHEV	166,46	2.147,53	2.642,99
Diesel	5.657,83	2.050,81	1.922,64
Diesel PHEV	7,42	93,06	114,53
CNG Bifuel	294,81	2.812,39	3.487,28
Light Commercial Vehicles	10.400,83	2.341,69	2.195,33
Petrol	4.036,10	1.347,90	1.263,66
Diesel	6.364,73	993,78	931,67
Heavy Duty Trucks	74.785,91	25.815,36	30.267,14
Petrol	807,67	646,14	605,76
Diesel	69.187,95	786,37	737,22
CNG	4.790,29	9.392,72	11.142,11
LNG	0,00	14.990,13	17.782,05
Buses	72.056,61	800,56	750,53
Diesel	72.056,61	800,56	750,53
L-Category	32.540,27	13.525,80	13.525,80
Petrol	32.540,27	13.525,80	13.525,80

Πίνακας 56. Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων VOC (tn) Σεναρίων A & B.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα δύο σενάρια χρησιμοποίησαν τον ίδιο κυκλοφοριακό φόρτο όπως στο έτος αναφοράς 2024. Η διαφορά όμως προκύπτει κυρίως από την ηλικιακή κατανομή καθώς άλλαξε η ηλικία του στόλου και κατανεμήθηκαν σε ποιο πρόσφατες κατηγορίες Euro τα οχήματα. Μεγάλο μέρος των οχημάτων κατανεμήθηκε στην Κατηγορία Euro 7, ενώ καταργήθηκαν οι κατηγορίες Improved Conventional, Open Loop, PRE ECE, ECE 15/00-01, ECE 15/02, ECE 15/03, ECE 15/04 Euro 1, Euro 2 και Euro 3. Στα παραπάνω σενάρια Α και Β, ο ρυθμός μεταβολής μείωσης είναι ιδιαίτερα αισθητός σε κάποιες περιπτώσεις και σχετικά μηδαμινός σε άλλες, αναλόγως την κατηγορία του οχήματος και το σενάριο.

Αναλυτικά, η ενεργειακή κατανάλωση μειώθηκε κατά 20% και κατά 22% στα σενάρια Α και Β αντίστοιχα στα επιβατικά οχήματα, κατά 36% και 40% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 0,2% στο σενάρια Α στα βαρέα επαγγελματικά, κατά 33% και κατά 37% στα λεωφορεία και κατά 6,2% στις μοτοσυκλέτες και στα δύο σενάρια. Στο Σενάριο Β παρατηρήθηκε μικρή αύξηση κατά 1,3% στα βαρέα επαγγελματικά οχήματα. Στα σενάρια Α και Β οι εκπομπές μεθανίου μειώθηκαν κατά 30% και 31% αντίστοιχα στα επιβατικά, 40% και 43% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 99% στα λεωφορεία και κατά 75% στις μοτοσυκλέτες και στα δύο σενάρια. Στα βαρέα επαγγελματικά υπήρξε αύξηση κατά 14% στο σενάριο Α και 34% στο σενάριο Β. Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα μειώθηκαν κατά 58% και 60% στα σενάρια Α και Β αντίστοιχα στα επιβατικά, 67% και 69% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 90% στα βαρέα και στα δύο σενάρια, κατά 93% και 94% αντίστοιχα στα λεωφορεία και κατά 54% και στα δύο σενάρια στις μοτοσυκλέτες.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκαν κατά 20% και 22% στα σενάρια Α και Β αντίστοιχα στα επιβατικά, 36% και 40% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 5,9% και 5,8% στα βαρέα, κατά 33% και 37% αντίστοιχα στα λεωφορεία και κατά 6,2% και στα δύο σενάρια στις μοτοσυκλέτες. Έντονο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου, όπου στα επιβατικά υπάρχει μείωση κατά 25% και 27% αντίστοιχα στα Σενάρια Α και Β και κατά 43% και 47% στα ελαφριά επαγγελματικά. Αντιθέτως όμως εμφανίζεται μεγάλη αύξηση κατά 182% στο σενάριο Α και κατά 179% στο σενάριο Β στα βαρέα επαγγελματικά,. Παρουσιάζεται αύξηση επίσης στα λεωφορεία κατά 182% και 164%, ενώ οι εκπομπές από τις μοτοσυκλέτες δεν έχουν κάποια αλλαγή από το έτος αναφοράς 2024. Σε παρόμοια κατάσταση βρίσκονται οι εκπομπές της αμμωνίας όπου υπάρχει μείωση στα επιβατικά (49% και 48% αντίστοιχα) και στα ελαφριά επαγγελματικά (57% και 59%). Αύξηση παρατηρείται στα βαρέα κατά 113% και

134% αντίστοιχα, ενώ υπάρχει μείωση στα λεωφορεία κατά 9% και 14%. Οι εκπομπές των μοτοσυκλετών παραμένουν ίδιες.

Μεγάλη μείωση υπάρχει στις εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων πλην μεθανίου σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων. Συγκεκριμένα, 74% και 75% στα επιβατικά, 83% και 84% στα ελαφριά, 89% και 88% στα βαρέα, 99% στα λεωφορεία και 57% στις μοτοσυκλέτες. Αντίστοιχα αποτελέσματα συναντιούνται και στις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου όπου υπάρχει μείωση κατά 85% και 86% στα επιβατικά και 77% και 79% στα ελαφριά επαγγελματικά. Στην ίδια κατάσταση είναι και οι εκπομπές του διοξειδίου του αζώτου με μείωση κατά 64% και 66% στα επιβατικά και κατά 64% και 66% στα ελαφριά. Τέλος, οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου παρουσιάζουν μείωση κατά 83% και 84% στα επιβατικά και κατά 74% και 76% στα ελαφριά. Και στους τρεις ρύπους του αζώτου που καταμετريούνται, οι εκπομπές παρουσιάζουν μείωση κατά 96% στα βαρέα, 97% στα λεωφορεία και 68% στις μοτοσυκλέτες.

Μείωση εμφανίζεται επίσης στις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2.5. Οι εκπομπές PM10 στα σενάρια Α και Β μειώνονται κατά 33% και 35% αντίστοιχα στα επιβατικά, 70% και 72% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 58% στα βαρέα, κατά 65% και 67% αντίστοιχα στα λεωφορεία και κατά 47% και στα δύο σενάρια στις μοτοσυκλέτες. Οι εκπομπές PM2.5 στα σενάρια Α και Β μειώνονται κατά 40% και 42% αντίστοιχα στα επιβατικά, 77% και 79% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 72% στα βαρέα, κατά 77% και 79% αντίστοιχα στα λεωφορεία και κατά 54% και στα δύο σενάρια στις μοτοσυκλέτες.

Τέλος, οι εκπομπές διοξειδίου του θείου μειώνονται κατά 22% και 25% αντίστοιχα στα επιβατικά, 36% και 40% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 26% και 31% στα βαρέα, κατά 33% και 37% αντίστοιχα στα λεωφορεία και κατά 6% και στα δύο σενάρια στις μοτοσυκλέτες. Οι εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων μειώνονται κατά 66% και 67% αντίστοιχα στα επιβατικά, 77% και 79% στα ελαφριά επαγγελματικά, κατά 65% και 60% στα βαρέα, κατά 99% στα λεωφορεία και κατά 58% και στα δύο σενάρια στις μοτοσυκλέτες.

Όπως φαίνεται και στα δύο σενάρια η μείωση της κατανομής των οχημάτων που κινούνται με βενζίνη και ντίζελ και η αύξηση των εναλλακτικών ενεργειακών καυσίμων οδήγησε στη μείωση των εκπομπών ρύπων. Συγκεκριμένα, στα επιβατικά μειώθηκαν ιδιαίτερα οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων με ή χωρίς μεθάνιο και τα οξείδια του αζώτου σε όλες τις μορφές του (NO, NO₂ και NO_x). Μικρότερη μείωση παρατηρείται στα αιωρούμενα

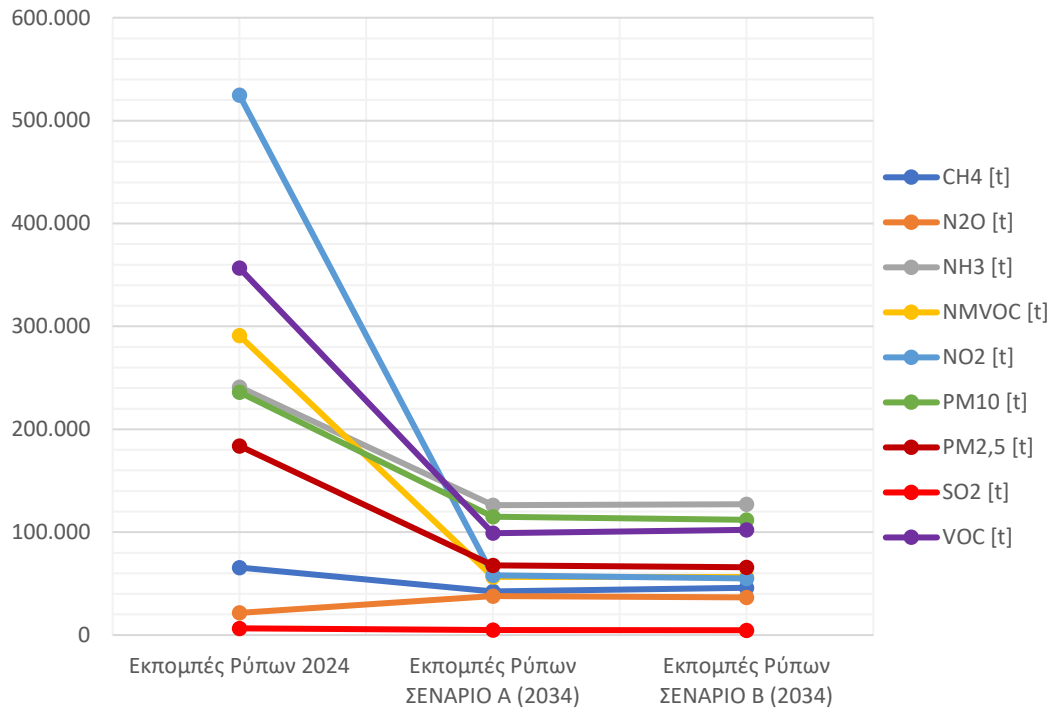
σωματίδια, στην αμμωνία και στο μονοξείδιο του άνθρακα και στα δύο σενάρια. Και ακόμα λιγότερη μείωση εμφανίζεται σε όλους τους υπόλοιπους ρύπους. Η ενεργειακή κατανάλωση και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζουν την ελάχιστη μείωση, η οποία όμως είναι της τάξεως του 20%.

Στα ελαφριά επαγγελματικά οχήματα υπάρχει σημαντική μείωση στις εκπομπές όλων των ρύπων, με την ενεργειακή κατανάλωση, το διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου να εμφανίζουν τις ελάχιστες μειώσεις, οι οποίες όμως αγγίζουν το 36% στο Σενάριο Α και το 40% στο Σενάριο Β.

Τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα και τα λεωφορεία είχαν τις μεγαλύτερες εκπλήξεις. Καθώς και στα δύο σενάρια έγινε αύξηση των οχημάτων που κινούνταν με CNG και LNG στα βαρέα και με BEV στα λεωφορεία, κάποιες εκπομπές ρύπων παρουσίασαν όπως αναφέρθηκε σημαντική αύξηση αντί για μείωση. Ιδιαίτερη περίπτωση ήταν το υποξείδιο του αζώτου και για τις δύο κατηγορίες οχημάτων και η αμμωνία στα βαρέα.

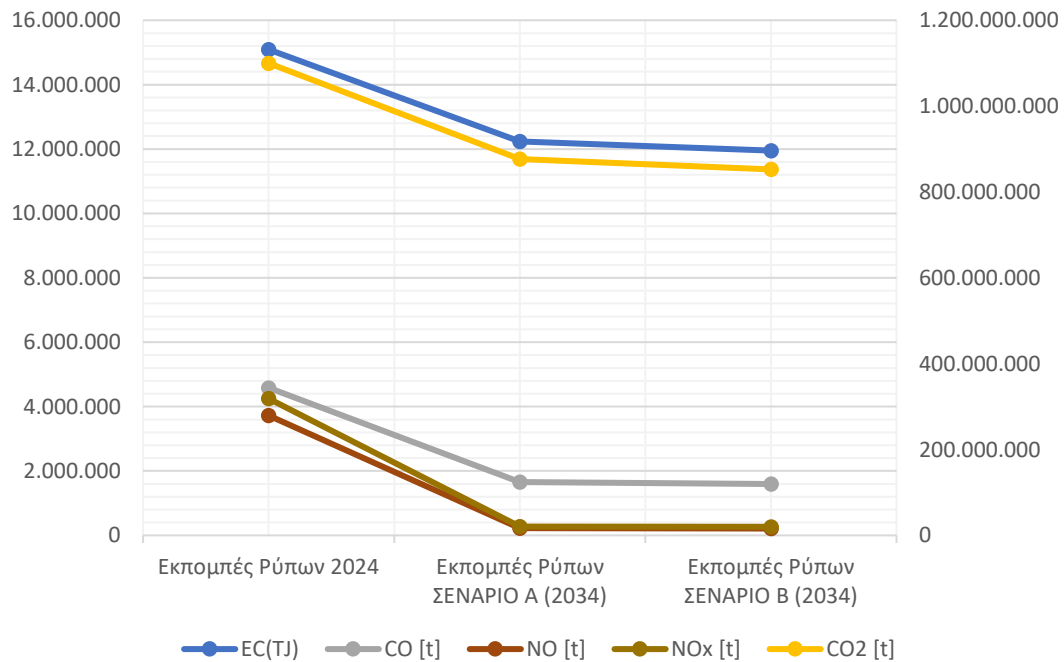
Στις Εικόνες 14 και 15 παρουσιάζονται η συνολικές εκπομπές ρύπων ανά ρύπο για το έτος αναφοράς 2024 και για τα 2 σενάρια. Με τον όρο συνολικές εκπομπές ρύπων νοείται το σύνολο των εκπομπών για το έτος αναφοράς 2024 μη διαχωρισμένο στις επιμέρους κατηγορίες οχημάτων και πως αυτό το σύνολο μεταβλήθηκε αναλόγως το σενάριο Α και το σενάριο Β. Στην Εικόνα 14 αναλύονται οι μεταβολές στις εκπομπές μεθανίου CH₄, υποξειδίου του αζώτου N₂O, αμμωνίας NH₃, πτητικών οργανικών ενώσεων πλην μεθανίου NMVOC, διοξειδίου του αζώτου NO₂, αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5}, διοξειδίου του θείου SO₂ και πτητικών οργανικών ενώσεων VOC. Στην Εικόνα 15 παρουσιάζονται οι μεταβολές στην ενεργειακή κατανάλωση EC, στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα CO, διοξειδίου του άνθρακα CO₂, μονοξειδίου του αζώτου NO και οξειδίων του αζώτου NO_x.

Συνολικές Εκπομπές Ρύπων



Εικόνα 14. Συνολικές Εκπομπές Ρύπων βάσει έτος αναφοράς 2024 και σεναρίων Α και Β.

Συνολικές Εκπομπές Ρύπων



Εικόνα 15. Συνολικές Εκπομπές Ρύπων βάσει έτος αναφοράς 2024 και σεναρίων Α και Β (Αριστερός κάθετος άξονας: EC [TJ], CO [t], NO [t], NOx [t]; Δεξιός κάθετος άξονας: CO2[t])

9. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης, προκύπτει με σαφήνεια ότι η εφαρμογή του μοντέλου COPERT σε συνδυασμό με τη χρονοσειρά δεδομένων για την περίοδο 2015–2024 επιτρέπει την εις βάθος κατανόηση των τάσεων τόσο στην ενεργειακή κατανάλωση όσο και στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων στον τομέα των οδικών μεταφορών. Η επεξεργασία των δεδομένων για την Εγνατία Οδό και για το σύνολο των αυτοκινητοδρόμων της χώρας, όπως εκπροσωπούνται από το δίκτυο της HELLASTRON, ανέδειξε έντονες αυξητικές τάσεις σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων και ρύπων, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη συνεχιζόμενη ανάπτυξη των οδικών υποδομών και την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου.

Ειδικότερα, η Εγνατία Οδός παρουσίασε εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς αύξησης τόσο στην ενεργειακή κατανάλωση όσο και στις εκπομπές, με τις μεταβολές να φτάνουν σε ορισμένες περιπτώσεις πολλαπλάσια επίπεδα σε σχέση με τις αρχικές τιμές του 2015. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί αφενός στην επέκταση του λειτουργικού μήκους του αυτοκινητοδρόμου και αφετέρου στη βελτίωση της καταγραφής και αποτύπωσης των κυκλοφοριακών δεδομένων. Αντίστοιχα, αν και η εικόνα στους αυτοκινητοδρόμους της HELLASTRON εμφανίζεται πιο συγκρατημένη, η γενική τάση παραμένει αυξητική, επιβεβαιώνοντας ότι η συνολική ζήτηση για οδικές μεταφορές στην Ελλάδα βρίσκεται σε ανοδική πορεία.

Η ανάλυση των επιμέρους ρύπων καταδεικνύει ότι οι αυξήσεις δεν είναι ομοιόμορφες, αλλά διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του οχήματος και τον εξεταζόμενο ρύπο. Τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα και τα λεωφορεία εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αυξήσεις, γεγονός που αναδεικνύει τον κρίσιμο ρόλο τους στη διαμόρφωση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος του τομέα. Παράλληλα, οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα ακολουθούν παρόμοια ανοδική πορεία με την ενεργειακή κατανάλωση, γεγονός που επιβεβαιώνει τη στενή συσχέτιση μεταξύ κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των σεναρίων Α και Β, τα οποία βασίζονται στην ίδια κυκλοφοριακή ζήτηση αλλά διαφοροποιούνται ως προς τη σύνθεση και την τεχνολογική εξέλιξη του στόλου. Η μετάβαση σε νεότερες κατηγορίες προτύπων εκπομπών και η ενσωμάτωση εναλλακτικών καυσίμων οδηγούν σε σημαντικές μειώσεις σε πολλούς ρύπους, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών παρεμβάσεων.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν είναι μονοσήμαντα θετικά, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα στα βαρέα οχήματα και στα λεωφορεία, παρατηρούνται αυξήσεις σε συγκεκριμένους ρύπους όπως το υποξείδιο του αζώτου και η αμμωνία.

Η διαφοροποίηση αυτή υποδεικνύει ότι η ενεργειακή μετάβαση στον τομέα των μεταφορών δεν αποτελεί γραμμική διαδικασία, αλλά συνοδεύεται από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τεχνολογίας, καυσίμων και λειτουργικών χαρακτηριστικών των οχημάτων. Για παράδειγμα, η αύξηση της χρήσης φυσικού αερίου στα βαρέα οχήματα και η διεύθυνση της ηλεκτροκίνησης στα λεωφορεία συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών ορισμένων ρύπων, αλλά ταυτόχρονα ενδέχεται να προκαλούν αυξήσεις σε άλλους, αναδεικνύοντας την ανάγκη για ολιστική αξιολόγηση των επιπτώσεων.

Συνολικά, τα σενάρια δείχνουν ότι η μείωση των εκπομπών είναι εφικτή, ιδίως για ρύπους όπως οι πτητικές οργανικές ενώσεις και τα οξείδια του αζώτου, όπου καταγράφονται πολύ υψηλά ποσοστά μείωσης. Αντίθετα, οι μειώσεις στην ενεργειακή κατανάλωση και στο διοξείδιο του άνθρακα είναι πιο περιορισμένες, γεγονός που υποδηλώνει ότι απαιτούνται πιο ριζικές αλλαγές για την επίτευξη ουσιαστικής απανθρακοποίησης του τομέα.

Εν κατακλείδι, η παρούσα μελέτη αναδεικνύει αφενός τη δυναμική αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών στον τομέα των οδικών μεταφορών κατά την τελευταία δεκαετία και αφετέρου τις δυνατότητες αλλά και τους περιορισμούς των τεχνολογικών παρεμβάσεων. Η επίτευξη ουσιαστικής περιβαλλοντικής βελτίωσης προϋποθέτει συνδυασμό μέτρων, όπως η ανανέωση του στόλου, η προώθηση καθαρότερων καυσίμων, η βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας και η ενίσχυση εναλλακτικών μορφών μετακίνησης. Χωρίς μια ολοκληρωμένη στρατηγική που να λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους, οι μεμονωμένες παρεμβάσεις ενδέχεται να οδηγήσουν σε μετατόπιση αντί για ουσιαστική μείωση του περιβαλλοντικού φορτίου.

10. Περιορισμοί και Μελλοντική Έρευνα

10.1. Αναπάντητα Ερωτήματα και αδυναμίες της εργασίας

Παρά τη σημαντική συμβολή της παρούσας μελέτης στην κατανόηση των τάσεων ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών στις οδικές μεταφορές, ορισμένοι περιορισμοί και αναπάντητα ερωτήματα παραμένουν. Αρχικά, η ανάλυση βασίστηκε στο μοντέλο COPERT και σε συγκεντρωτικά κυκλοφοριακά δεδομένα, γεγονός που συνεπάγεται ότι τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τις παραδοχές και τους συντελεστές εκπομπών που ενσωματώνει το μοντέλο. Ως εκ τούτου, ενδέχεται να υπάρχουν αποκλίσεις μεταξύ των υπολογιζόμενων και των πραγματικών εκπομπών υπό πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας.

Επιπλέον, η μελέτη επικεντρώθηκε κυρίως στις εκπομπές που παράγονται κατά την κίνηση των οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους και δεν εξέτασε τις πλήρες κυκλοφοριακές συνθήκες ή τις συνθήκες του κινητήρα. Καθώς εξέτασε μόνο την οδική κίνηση σε αυτοκινητοδρόμους, δεν έγινε κάποια μελέτη για την κίνηση στο αστικό ή στο επαρχιακό δίκτυο. Αντιστοίχως, η κίνηση σε αυτοκινητόδρομο λαμβάνει δεδομένα εκπομπών ρύπων όταν ο κινητήρας και οι όποιες τεχνολογίες μετεπεξεργασίας καυσαερίων, του οχήματος βρίσκονται στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του. Στο αστικό ή/και επαρχιακό οδικό δίκτυο, όμως, ο κινητήρας δεν θα έχει αποκτήσει την τυπική του θερμοκρασία κατά την έναρξη ή την προθέρμανση του και συνεπώς θα παράγονται εκπομπές καυσαερίων εκκίνησης ψυχρού κινητήρα, οι οποίες εμφανίζουν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων.

Ακόμη, η εργασία δεν εξέτασε το πλήρες περιβαλλοντικό αποτύπωμα των διαφορετικών τεχνολογιών μετακίνησης. Για παράδειγμα, δεν αξιολογήθηκαν οι εκπομπές που συνδέονται με την παραγωγή καυσίμων, την κατασκευή οχημάτων, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή τη διαχείριση των συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων. Επομένως, παραμένει ανοιχτό το ερώτημα κατά πόσο οι παρατηρούμενες μειώσεις σε ορισμένους ρύπους μεταφράζονται σε αντίστοιχα οφέλη σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των τεχνολογιών.

Παράλληλα, η εργασία δεν διερεύνησε σε βάθος τον βαθμό επίδρασης εξωτερικών κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, όπως οι μεταβολές στην οικονομική δραστηριότητα, οι αλλαγές στις εμπορευματικές ροές, οι επιπτώσεις της πανδημίας COVID-19 ή οι διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων. Οι παράγοντες αυτοί ενδέχεται να επηρεάζουν σημαντικά τόσο την κυκλοφοριακή ζήτηση όσο και τη σύνθεση του στόλου. Αντίστοιχα, η εργασία επικεντρώθηκε

στις οδικές μεταφορές από την κίνηση οχημάτων και δεν εξέτασε τις οδικές μεταφορές από τη λειτουργία των σιδηροδρόμων, ούτε τις ναυτιλιακές ή αεροπορικές μεταφορές.

Επιπρόσθετα, τα σενάρια που εξετάστηκαν βασίζονται σε συγκεκριμένες παραδοχές σχετικά με την τεχνολογική εξέλιξη του στόλου και τη διείσδυση εναλλακτικών καυσίμων. Ωστόσο, η πραγματική εξέλιξη της αγοράς μπορεί να διαφοροποιηθεί σημαντικά λόγω τεχνολογικών, οικονομικών ή πολιτικών εξελίξεων. Συνεπώς, παραμένει αβέβαιος ο βαθμός στον οποίο οι προβλεπόμενες μειώσεις εκπομπών θα επιτευχθούν στην πράξη.

Τέλος, η εμφάνιση αυξήσεων σε συγκεκριμένους ρύπους, όπως το υποξείδιο του αζώτου και η αμμωνία σε ορισμένες κατηγορίες οχημάτων, αναδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ τεχνολογιών, καυσίμων και συνθηκών λειτουργίας. Το ζήτημα αυτό παραμένει ανοικτό και απαιτεί επιπλέον ερευνητική τεκμηρίωση.

10.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα μελέτη δημιουργεί ένα ισχυρό υπόβαθρο για περαιτέρω ερευνητική διερεύνηση του τομέα των οδικών μεταφορών και των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Μία σημαντική κατεύθυνση μελλοντικής έρευνας αφορά την επέκταση της ανάλυσης σε μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα, με τη δημιουργία μακροπρόθεσμων σεναρίων έως το 2035 ή το 2050, ώστε να αξιολογηθεί η συμβολή διαφορετικών πολιτικών στην επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων απανθρακοποίησης.

Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ενσωμάτωση μεθοδολογιών ανάλυσης κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment – LCA), οι οποίες θα επιτρέψουν την αξιολόγηση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος των διαφορετικών τεχνολογιών κίνησης και καυσίμων. Με τον τρόπο αυτό θα είναι δυνατή η σύγκριση συμβατικών, υβριδικών, ηλεκτρικών και εναλλακτικών τεχνολογιών σε μια ολοκληρωμένη βάση. Επιπλέον, μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν δεδομένα υψηλότερης χωρικής και χρονικής ανάλυσης, όπως δεδομένα από αισθητήρες κυκλοφορίας, συστήματα τηλεματικής και τεχνολογίες ευφύων μεταφορών. Η προσέγγιση αυτή θα επέτρεπε την ακριβέστερη αποτύπωση των πραγματικών συνθηκών κυκλοφορίας και των αντίστοιχων εκπομπών.

Μια ακόμη ερευνητική κατεύθυνση αφορά τη διερεύνηση των επιπτώσεων συγκεκριμένων πολιτικών παρεμβάσεων, όπως η εφαρμογή ζωνών χαμηλών εκπομπών, η επιβολή περιβαλλοντικών τελών, η ενίσχυση των δημόσιων μεταφορών ή η ανάπτυξη υποδομών

φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Η ποσοτική αξιολόγηση των μέτρων αυτών θα μπορούσε να προσφέρει πολύτιμη υποστήριξη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω μελέτη των εκπομπών δευτερευόντων ή λιγότερο εξεταζόμενων ρύπων, όπως η αμμωνία και το υποξείδιο του αζώτου, προκειμένου να κατανοηθούν καλύτερα οι επιπτώσεις της ενεργειακής μετάβασης και να αποφευχθούν φαινόμενα μεταφοράς του περιβαλλοντικού φορτίου από έναν ρύπο σε κάποιον άλλο.

10.3. Πιθανές θεωρητικές και πρακτικές εφαρμογές των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας παρουσιάζουν σημαντικές θεωρητικές και πρακτικές προεκτάσεις για τον τομέα των μεταφορών, της ενεργειακής πολιτικής και της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Σε θεωρητικό επίπεδο, η μελέτη συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ κυκλοφοριακής ζήτησης, ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, αναδεικνύοντας τον σύνθετο χαρακτήρα της ενεργειακής μετάβασης στις οδικές μεταφορές. Παράλληλα, ενισχύει τη σχετική βιβλιογραφία σχετικά με την εφαρμογή του μοντέλου COPERT για την εκτίμηση εκπομπών σε εθνικά δίκτυα μεταφορών.

Σε πρακτικό επίπεδο, τα ευρήματα μπορούν να αξιοποιηθούν από δημόσιους φορείς και οργανισμούς μεταφορών για τον σχεδιασμό αποτελεσματικότερων πολιτικών μείωσης εκπομπών. Η αναγνώριση των κατηγοριών οχημάτων που συμβάλλουν περισσότερο στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο μπορεί να υποστηρίξει στοχευμένες παρεμβάσεις ανανέωσης στόλου, προώθησης καθαρότερων τεχνολογιών και βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διαχειριστές αυτοκινητοδρόμων και φορείς υποδομών για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μελλοντικών επεκτάσεων του δικτύου, καθώς και για την ανάπτυξη στρατηγικών βιώσιμης κινητικότητας. Παράλληλα, παρέχουν χρήσιμα στοιχεία για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας πολιτικών που σχετίζονται με την ηλεκτροκίνηση, τα εναλλακτικά καύσιμα και την πράσινη μετάβαση των μεταφορών.

Τέλος, η μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας μπορεί να αποτελέσει εργαλείο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση τεκμηριωμένων στρατηγικών για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης και κλιματικής ουδετερότητας.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

ACEA (2017). Vehicles in use, Europe 2017. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2017/>

ACEA (2018). Vehicles in use, Europe 2018. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2018/>

ACEA (2019). Vehicles in use, Europe 2019. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2019/>

ACEA (2021). Vehicles in use, Europe 2021. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-january-2021/>

ACEA (2022). Vehicles in use, Europe 2022. *European Automobile Manufacturers Association*: Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2022/>

ACEA (2022b). 2022 Progress Report – Making the transition to zero-emission mobility. *European Automobile Manufacturers Association*: Brussels, Belgium. https://www.acea.auto/files/ACEA_progress_report-2022.pdf

ACEA (2023). Vehicles in use, Europe 2023. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2023/>

ACEA (2024). Vehicles on European roads 2024. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-on-european-roads/>

ACEA (2025). Vehicles on European roads 2025. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-on-european-roads-2025/>

ACEA (2026). Vehicles on European Roads 2026. *European Automobile Manufacturers' Association*. Brussels, Belgium. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-on-european-roads-2026/>

Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, (2021). Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>

Colville, R. N., Hutchinson, E. J., Mindell, J. S., & Warren, R. F. (2001). Millennial Review: The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*, 35, 1537–1565.

COPERT (2026). COPERT The Industry standard emissions calculator. *Emisia SA*. <https://copert.emisia.com/>

Council of the European Union (2024). Euro 7: Council adopts new rules on emission limits for cars, vans and trucks. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/04/12/euro-7-council-adopts-new-rules-on-emission-limits-for-cars-vans-and-trucks/>

Douville, H., K. Raghavan, J. Renwick, R.P. Allan, P.A. Arias, M. Barlow, R. Cerezo-Mota, A. Cherchi, T.Y. Gan, J. Gergis, D. Jiang, A. Khan, W. Pokam Mba, D. Rosenfeld, J. Tierney, and O. Zolina, (2021). Water Cycle Changes. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055–1210, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.010>

EAFO (2026). Greece Summary Growth rate AF fleet (M1&N1). *European Alternative Fuels Observatory*. <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/greece>

EAFO (2026b). Alternative fuels. *European Alternative Fuels Observatory*. <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/alternative-fuels>

EEA (2025d) Emissions of air pollutants from transport in Europe. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/emissions-of-air-pollutants-from>

EMEP/EEA (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. Technical guidance to prepare national emission inventories. *European Environment Agency*. Copenhagen. Denmark. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023/emep-eea-guidebook-2023-status>

EMEP/EEA (2025a). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Update 2025. Part B: Technical chapters. 1.A.3.b.i, 1.A.3.b.ii, 1.A.3.b.iii, 1.A.3.b.iv Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses, mopeds and motorcycles. *European Environment Agency*. Copenhagen. Denmark. <https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/2025/10/1.A.3.b.i-iv-Road-transport-2025.pdf>

EMEP/EEA (2025b). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Update 2025. Part B: Technical chapters. 1.A.3.b.v Gasoline evaporation. *European Environment Agency*. Copenhagen. Denmark. <https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/2025/11/1.A.3.b.v-Gasoline-evaporation-2025-1.pdf>

EMEP/EEA (2025c). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Update 2025. Part B: Technical chapters. 1.A.3.b.vi Road transport: Automobile tyre and brake wear. 1.A.3.b.vii Road transport: Automobile road abrasion. *European Environment Agency*.

Copenhagen, Denmark. <https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/2025/10/1.A.3.b.vi-vii-Road-tyre-and-brake-wear-2025.pdf>

EPA (2025). Basics of Climate Change. *Environmental Protection Agency*.
<https://www.epa.gov/climatechange-science/basics-climate-change#othergases> last accessed 07/12/2025.

European Commission (2020). Sustainable and smart mobility strategy – Putting European transport on track for the future. <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2021-04/2021-mobility-strategy-and-action-plan.pdf>

European Commission (2022). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on type-approval of motor vehicles and engines and on durability of batteries (Euro 7). https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9a25dc0b-60db-11ed-92ed-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

European Commission (2026a). The European Green Deal Striving to be the first climate-neutral continent. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

European Commission (2026b). European Climate Law. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en

European Union (2024). Vehicle emissions and battery durability (Euro 7): technical requirements and certification rules. SUMMARY OF: Regulation (EU) 2024/1257 on type approval of motor vehicles and engines and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, with respect to their emissions and battery durability (Euro 7). Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/vehicle-emissions-and-battery-durability-euro-7-technical-requirements-and-certification-rules.html>

Eurostat (2020). Energy, transport and environment statistics 2020 edition.
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11478276/KS-DK-20-001-EN-N.pdf>

Eurostat (2025). Glossary: Greenhouse gas (GHG). Statistics Explained. ISSN 2443-8219. Last accessed 07/12/2025. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Greenhouse_gas_\(GHG\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Greenhouse_gas_(GHG))

Fan, Y. V., Perry, S., Klemeš, J. J., & Lee, C. T. (2018). A review on air emissions assessment: Transportation. *Journal of Cleaner Production*, 194, 673–684.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.151>

HELLASTRON (2026a). Μέλη. *HELLENIC ASSOCIATION of TOLL ROAD NETWORK*.

<https://www.hellastron.com/members>

HELLASTRON (2026b). HELLASTRON Statistics / Στατιστικά Στοιχεία HELLASTRON. *HELLENIC ASSOCIATION of TOLL ROAD NETWORK*.

https://hellastronin.eu/statistics/statistics_show.php

Howarth Robert W. (2024). The greenhouse gas footprint of liquefied natural gas (LNG) exported from the United States. *Energy Science & Engineering*. 12(11), 4843-4859.

<https://doi.org/10.1002/ese3.1934>

IEA (2010). The Contribution of Natural Gas Vehicles to Sustainable Transport, International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/the-contribution-of-natural-gas-vehicles-to-sustainable-transport>

IEA (2025). Global EV outlook 2025: Expanding sales in diverse markets. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7ea38b60-3033-42a6-9589-71134f4229f4/GlobalEVOutlook2025.pdf>

IEA (2025b). Assessing Emissions from LNG Supply and Abatement Options. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ad737ee-750d-460e-8c33-fb9140f1043d/AssessingemissionsfromLNGsupplyandabatementoptions.pdf>

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

IPCC (2022). Annex II: Glossary [Möller, V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J.S. Fuglestedt, A. Reisinger (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2897–2930, <https://doi.org/10.1017/9781009325844.029>

Jaramillo, P., S. Kahn Ribeiro, P. Newman, S. Dhar, O.E. Diemuodeke, T. Kajino, D.S. Lee, S.B. Nugroho, X. Ou, A. Hammer Strømman, J. Whitehead, (2022). Transport. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

<https://doi.org/10.1017/9781009157926.012>

Karri, R. R., Vera, T., Mohamed Hassan, S. K., Khoder, M. I., Dehghani, M. H., Mubarak, N. M., & Ravindran, G. (2024). Classification, sources, and occurrence of outdoor air pollutants: A comprehensive overview. *Health and Environmental Effects of Ambient Air Pollution* (pp. 1–34). <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16088-2.00002-8>

Kittner, N., Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Schmidt, O., Staffell, I., & Kammen, D. M. (2020). Electric vehicles. In *Technological learning in the transition to a low-carbon energy system* (pp. 145-163). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818762-3.00009-1>

Kundzewicz, Z. W. (2015). Climate change track in river floods in Europe. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 369, 189–194. <https://doi.org/10.5194/piahs-369-189-2015>

Requia, W. J., Mohamed, M., Higgins, C. D., Arain, A., & Ferguson, M. (2018). How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. *Atmospheric Environment*, 185, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.040>

Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>

Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, (2021). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L.

Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766,

<https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>

Soone, J. (2021). Alternative fuel vehicle infrastructure and fleets: State of play. *EPRS: European Parliamentary Research Service*.

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698794/EPRS_BRI\(2021\)698794_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698794/EPRS_BRI(2021)698794_EN.pdf)

Sun, X., Li, Z., Wang, X., & Li, C. (2020). Technology development of electric vehicles: A review. *Energies*, 13(1), 90. <https://doi.org/10.3390/en13010090>

UNECE (2011). Transport for sustainable development in the ECE region. *United Nations Economic Commission for Europe*.

https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/publications/Transport_for_sustainable_development_in_the_ECE_region.pdf

UNECE (2013). Climate change impacts and adaptation for international transport networks: Expert group report. *United Nations Economic Commission for Europe*.

https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate_change_2014.pdf

UNECE (2022). World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) – How It Works, How to Join It. *United Nations Economic Commission for Europe*.

https://unece.org/sites/default/files/2022-07/ECE_TRANS_289_Rev.1_E_corrected.pdf

UNFCCC (2026a). The Paris Agreement. *United Nations*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

UNFCCC (2026b). Nationally Determined Contributions (NDCs). *United Nations*.

<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>

WHO (2024). Ambient (outdoor) air pollution. *World Health Organization*.

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

WHO (2025). Air quality, energy and health. *World Health Organization*.

<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>

EEA (2025) Greenhouse gas emissions from transport in Europe [Greenhouse gas emissions from transport in Europe | Indicators | European Environment Agency \(EEA\)](#)

EEA (2025b) Evolution of ETS2-emissions for EU-27, 2005-2050 [Evolution of ETS2-emissions for EU-27, 2005-2050 | Trends and projections in Europe 2025 | European Environment Agency \(EEA\)](#)

EEA (2025c) EEA greenhouse gases — data viewer

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/greenhouse-gases-viewer-data-viewers> last accessed 04/12/2025

EMY (2026). ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΑ ΜΗΝΑ. Πίνακας Μέσων Μηνιαίων Τιμών για επιλεγμένους σταθμούς στην Ελλάδα. *Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία*. http://oldportal.emy.gr/emy/el/climatology/climatology_month

Ευρωπαϊκή Ένωση (2018). Κανονισμός (ΕΕ) 2018/858 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30ής Μαΐου 2018 σχετικά με την έγκριση και την εποπτεία της αγοράς μηχανοκίνητων οχημάτων και των ρυμουλκουμένων τους, καθώς και συστημάτων, κατασκευαστικών στοιχείων και χωριστών τεχνικών μονάδων που προορίζονται για τα οχήματα αυτά, και για την τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 715/2007 και (ΕΚ) αριθ. 595/2009 και για την κατάργηση της οδηγίας 2007/46/ΕΚ (L 151, 1–218). *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/ALL/?uri=CELEX:32018R0858>

Ευρωπαϊκή Ένωση (2013). Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 168/2013 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 15ης Ιανουαρίου 2013 σχετικά με την έγκριση και την εποπτεία της αγοράς δίκυκλων, τρίκυκλων και τετράκυκλων οχημάτων. (L 60, 52–128). *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:02013R0168-20190220>

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2009). ΟΔΗΓΙΑ 2009/30/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009 (L 140/05.06.2009) με την οποία τροποποιείται η οδηγία 98/70/ΕΚ όσον αφορά τις προδιαγραφές για τη βενζίνη, το ντίζελ και το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης και την καθιέρωση μηχανισμού για την παρακολούθηση και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τροποποιείται η οδηγία 1999/32/ΕΚ του Συμβουλίου όσον αφορά την προδιαγραφή των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στα πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας και

καταργείται η οδηγία 93/12/ΕΟΚ. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0030>

NAEI (2025). Greenhouse Gases. <https://naei.energysecurity.gov.uk/greenhouse-gases>

Υ.Α. ΔΟΥ/οικ/5776 (ΦΕΚ 253/ΑΑΠ/21.12.2015). Χαρακτηρισμός και Αρίθμηση Αυτοκινητοδρόμων. *Εφημερίδα της Κυβέρνησης*. https://www.nomoskopio.gr/a_doy-5776_15.php?toc=0&printWindow&

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2024). ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ (ΕΣΕΚ) – ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΗ ΕΚΔΟΣΗ. Ελληνική Δημοκρατία.

https://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/2024/08/%CE%95%CE%B8%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%A3%CF%87%CE%AD%CE%B4%CE%B9%CE%BF-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%BF-%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1-%CE%95%CE%A3%CE%95%CE%9A_%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B8%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B7%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B7-%CE%AD%CE%BA%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7.pdf

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.