



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ
ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ ΤΗΣ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ**

ΑΘΗΝΑ ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΑΚΗ

ΣΕΜΠΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

**ΠΑΤΡΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ, 2026**

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε.

Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (ΕΑΠ), μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής της διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο τον 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 συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση ή τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Διερεύνηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων
από τη μετάβαση των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής
ωφέλειας της Θεσσαλονίκης στην ηλεκτροκίνηση

Αθηνά Μαυροματάκη

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής

«Ιωάννης Σέμπος»

«ΕΔΙΠ Σχολή Χημικών Μηχανικών

ΕΜΠ ΣΕΠ ΕΑΠ»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής / Συν-

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

«Κοντολέον Κάρολος Νικόλαος»

«Αν. Καθ. Τμήμα Πολ. Μηχ.»

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις από τη μετάβαση των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας της Θεσσαλονίκης στην ηλεκτροκίνηση. Η ανάλυση εστιάζει σε τρεις βασικές κατηγορίες στόλου: τα αστικά λεωφορεία, τα οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης και τα ταξί. Στόχος της εργασίας είναι η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, ο υπολογισμός των εκπομπών βάσης και η αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση.

Η μεθοδολογία βασίζεται σε προσέγγιση Tier 2, με χρήση στοιχείων στόλου, ετήσιας χιλιομετρικής δραστηριότητας και συντελεστών εκπομπής ανά κατηγορία οχήματος, καύσιμο και τεχνολογία. Οι ρύποι που εξετάζονται είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} και $\text{PM}_{2.5}$ και οι μη μεθανούχες πτητικές οργανικές ενώσεις (NMVOC). Για την αποτίμηση του περιβαλλοντικού οφέλους διαμορφώνονται δύο σενάρια μετάβασης: ένα σενάριο μερικής μετάβασης και ένα σενάριο εκτεταμένης, τεχνικά εφικτής μετάβασης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο εξεταζόμενος στόλος παράγει σημαντικές ετήσιες εκπομπές, με κύρια συμβολή από τα αστικά λεωφορεία και τα ταξί. Στο Σενάριο 1, η μείωση των εκπομπών CO_2 εκτιμάται σε 15.167,51 t/έτος, ενώ στο Σενάριο 2 σε 30.426,43 t/έτος. Αντίστοιχες μειώσεις προκύπτουν και για τους υπόλοιπους εξεταζόμενους ρύπους. Η οικονομική αποτίμηση δείχνει ότι το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος ανέρχεται σε περίπου 1,81 εκατ. €/έτος για το Σενάριο 1 και σε περίπου 3,64 εκατ. €/έτος για το Σενάριο 2.

Συνολικά, η εργασία καταλήγει ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση των άμεσων εκπομπών και του αντίστοιχου κοινωνικού κόστους. Ωστόσο, η μετάβαση δεν μπορεί να εφαρμοστεί με ενιαίο τρόπο σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων, αλλά απαιτεί διαφοροποιημένο σχεδιασμό με βάση την τεχνική εφικτότητα, τη δραστηριότητα και το περιβαλλοντικό όφελος κάθε στόλου.

Λέξεις-κλειδιά

Ηλεκτροκίνηση, Οδικές Μεταφορές, Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα, Θεσσαλονίκη

Investigation of the environmental and economic impacts of the transition to electromobility for public service and utility vehicles in Thessaloniki

Athina Mavrommataki

Abstract

This thesis investigates the environmental and economic impacts of the transition to electromobility for public service and utility vehicles in Thessaloniki. The analysis focuses on three main fleet categories: urban buses, municipal vehicles of the Municipality of Thessaloniki, and taxis. The main objective is to describe the existing fleet structure, estimate baseline emissions, and evaluate alternative scenarios for the transition to electric vehicles.

The methodology follows a Tier 2 approach, using fleet data, annual vehicle activity and emission factors differentiated by vehicle category, fuel type and emission technology. The pollutants examined are carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxides (NO_x), particulate matter PM₁₀ and PM_{2.5}, and non-methane volatile organic compounds (NMVOC). Two transition scenarios are developed: a partial transition scenario and an extended, technically feasible transition scenario.

The baseline results indicate that the examined fleet generates significant annual emissions, mainly due to urban buses and taxis. Urban buses contribute strongly to CO₂ and NO_x emissions, while taxis have a major contribution to particulate matter and NMVOC emissions due to their high annual mileage. Under Scenario 1, the reduction in CO₂ emissions is estimated at 15,167.51 t/year, while under Scenario 2 it reaches 30,426.43 t/year. Reductions are also observed for NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} and NMVOC. The economic valuation of the emission reductions is based on external cost values and shows that the avoided external cost is approximately €1.81 million per year under Scenario 1 and approximately €3.64 million per year under Scenario 2. These values do not represent a full cost-benefit analysis of electromobility, but rather the monetary value of the environmental and social benefits associated with reduced direct emissions.

Overall, the thesis concludes that electromobility can significantly reduce the direct environmental footprint of public service and utility fleets in Thessaloniki. However, the transition should not be implemented uniformly across all vehicle categories. Instead, it requires a differentiated and realistic planning approach, taking into account the technical feasibility, operational characteristics and expected environmental benefit of each fleet category.

Keywords

Electromobility, Road Transport, Air Pollution, Sustainable Urban Mobility, Thessaloniki

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	i
Κατάλογος Εικόνων/Σχημάτων	iii
Κατάλογος Πινάκων	iv
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	v
Σημαντικά σημεία της εργασίας	vi
Συνεισφορά της εργασίας	vii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές	1
1.2 Κίνητρα και αναγκαιότητα της Έρευνας: Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης	2
1.3 Σκοπός και Επιμέρους Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας.	4
1.4 Περιορισμοί και Οριοθέτηση της Έρευνας	5
1.5 Δομή της Εργασίας	5
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	7
2.1 Οδικές μεταφορές και αέριοι ρύποι	7
2.2 Τεχνολογικό και Θεσμικό Πλαίσιο	11
2.3 Οικονομική αποτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	13
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	15
3.1. Περιοχή Μελέτης	15
3.2. Διαδικασία Συλλογής και Επεξεργασίας Δεδομένων	16
3.3. Μεθοδολογία Υπολογισμού Εκπομπών	22
3.4. Καθορισμός Σεναρίων Εξέλιξης Στόλου.	24
4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	27
4.1 Υφιστάμενη κατάσταση της ποιότητας του αέρα στη Θεσσαλονίκη	27
4.2 Ποσοτική ανάλυση στόλου οχημάτων δημόσιας και κοινής ωφέλειας	31
4.3 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα της υφιστάμενης κατάστασης	36
5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ	47
5.1 Εκτίμηση μείωσης εκπομπών ανά σενάριο μετάβασης	47
5.2 Οικονομική αποτίμηση περιβαλλοντικού οφέλους σε ευρώ.	52
5.3 Συζήτηση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.	57
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	60
6.1 Σύνοψη κύριων συμπερασμάτων	60
6.2 Προτάσεις περιβαλλοντικής πολιτικής	62
6.3 Αναπάντητα ερωτήματα και αδυναμίες της εργασίας	63

6.4	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	64
6.5	Πιθανές θεωρητικές και πρακτικές εφαρμογές των αποτελεσμάτων	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....		73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....		82

Κατάλογος Εικόνων/Σχημάτων

Εικόνα 1: Το φαινόμενο των Αστικών Χαραδρών (Πηγή: Oke, 1988)	10
Εικόνα 2: Χάρτης της περιοχής μελέτης με έμφαση στον Δήμο Θεσσαλονίκης και στα βασικά σημεία αναφοράς της ανάλυσης. Πηγή: ιδία επεξεργασία σε GIS.....	16
Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας της έρευνας. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.	18
Εικόνα 4: Χωρική κατανομή των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Πηγή: ΥΠΕΝ, Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024, Χάρτης 1.3.	28
Εικόνα 5: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO ₂ σε σταθμούς της Θεσσαλονίκης. Πηγή: ΥΠΕΝ, Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024, Σχήμα 2.5γ.....	29
Εικόνα 6: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM ₁₀ σε σταθμούς της Θεσσαλονίκης. Πηγή: ΥΠΕΝ, Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024, Σχήμα 2.7γ.....	30
Εικόνα 7: Εννοιολογικό πλαίσιο αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της εργασίας για τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.	65
Σχήμα 1: Εκπομπές CO ₂ και NO _x ανά σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.	51
Σχήμα 2: Ποσοστιαία μείωση εκπομπών ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.....	52
Σχήμα 3: Συνολικό οικονομικό όφελος ανά σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).	55
Σχήμα 4: Οικονομικό όφελος ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).	56
Σχήμα 5: Εξέλιξη συνολικού οικονομικού οφέλους ανά σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).....	56
Σχήμα 6: Εξέλιξη οικονομικού οφέλους ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).....	57

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση Κατευθυντήριων Γραμμών ΠΟΥ (2005 vs 2021) για την Αστική Ρύπανση (Πηγή: WHO Global Air Quality Guidelines (2021) – ιδία επεξεργασία)	1
Πίνακας 2: Συνεισφορά πηγών στη ρύπανση από αιωρούμενα σωματίδια στη Θεσσαλονίκη (Πηγή: (Progiou et al., 2023) – ιδία επεξεργασία)	3
Πίνακας 3: Συγκριτικός πίνακας της μέσης ηλικίας ανά τύπου οχήματος στην Ελλάδα συγκριτικά με την ΕΕ (Πηγή: ACEA - ιδία επεξεργασία)	3
Πίνακας 4: Σύγκριση Κατευθυντήριων Οδηγιών Ποιότητας Αέρα ΠΟΥ (2021 έναντι 2005) (Πηγή: WHO, 2021).....	11
Πίνακας 5: Εξέλιξη Ευρωπαϊκών Ορίων Εκπομπών για Κινητήρες Βαρέων Οχημάτων (Πηγή: TransportPolicy, 2018).....	12
Πίνακας 6: Πηγές δεδομένων και τύπος πληροφορίας ανά φορέα.	19
Πίνακας 7: Ομογενοποιημένος πίνακας απαιτήσεων δεδομένων ανά κατηγορία οχήματος.	20
Πίνακας 8: Κανόνες επεξεργασίας και αντιστοίχισης ελλιπών στοιχείων.	21
Πίνακας 9: Μεταβλητές εισόδου για τον υπολογισμό εκπομπών ανά κατηγορία οχήματος	23
Πίνακας 10: Ρύποι που εξετάζονται στην ανάλυση και αιτιολόγηση επιλογής τους.	23
Πίνακας 11: Περιγραφή σεναρίων εξέλιξης στόλου.	25
Πίνακας 12: Βασικά χαρακτηριστικά στόλου αστικών λεωφορείων. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων ΟΣΕΘ.	31
Πίνακας 13: Κατανομή στόλου αστικών λεωφορείων κατά αντιρρυπαντική τεχνολογία. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ.....	32
Πίνακας 14: Συγκοινωνιακό έργο αστικών λεωφορείων (2025). Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων συγκοινωνιακού έργου.	32
Πίνακας 15: Βασική διάρθρωση στόλου Δήμου Θεσσαλονίκης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων Δήμου Θεσσαλονίκης.....	33
Πίνακας 16: Κυριότερες λειτουργικές κατηγορίες οχημάτων Δήμου Θεσσαλονίκης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων Δήμου Θεσσαλονίκης.	33
Πίνακας 17: Ηλικιακή κατανομή στόλου Δήμου Θεσσαλονίκης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων Δήμου Θεσσαλονίκης.....	34
Πίνακας 18: Βασικά διαθέσιμα στοιχεία για τον στόλο ταξί στη Θεσσαλονίκη. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει προσωπικής επικοινωνίας πεδίου και επίσημων θεσμικών πηγών.....	35
Πίνακας 19: Συγκριτική εικόνα των βασικών κατηγοριών στόλου βάσης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.	36
Πίνακας 20: Εύρη τιμών annual mileage / VKT από τη βιβλιογραφία και επιλεγμένες τιμές για τον δημοτικό στόλο του Δήμου Θεσσαλονίκης	38
Πίνακας 21: Εκπομπές βάσης ανά κατηγορία στόλου στην υφιστάμενη κατάσταση. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ, Δήμου Θεσσαλονίκης, προσωπικής επικοινωνίας πεδίου για τα ταξί και εφαρμογής συντελεστών εκπομπής συμβατών με τη μεθοδολογία Tier 2.....	43
Πίνακας 22: Ποσοστιαία συμβολή κάθε κατηγορίας στόλου στις συνολικές εκπομπές. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.....	44
Πίνακας 23: Κατηγοριοποίηση τεχνικής και επιχειρησιακής εφικτότητας μετάβασης	47
Πίνακας 24: Αντιστοίχιση κατηγοριών στόλου σε βαθμούς εφικτότητας	48
Πίνακας 25: Παραδοχές εφαρμογής των σεναρίων μετάβασης	49
Πίνακας 26: Εκπομπές ανά σενάριο μετάβασης	50
Πίνακας 27: Μείωση εκπομπών ανά σενάριο σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση	51
Πίνακας 28: Μοναδιαίες τιμές εξωτερικού κόστους ανά ρύπο	53
Πίνακας 29: Οικονομικό όφελος ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης.....	54

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

Συντομογραφία / Ακρωνύμιο Επεξήγηση

ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΠΣ	Πρόγραμμα Σπουδών
ΘΕ	Θεματική Ενότητα
ΠΣΘ	Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης
ΔΘ	Δήμος Θεσσαλονίκης
ΟΑΣΘ	Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Θεσσαλονίκης
ΟΣΕΘ	Οργανισμός Συγκοινωνιακού Έργου Θεσσαλονίκης
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
ΠΚΜ	Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
NO _x	Οξειδία του αζώτου
PM ₁₀	Αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο έως 10 μm
PM _{2.5}	Αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο έως 2,5 μm
NMVOC	Μη μεθανιούχες πτητικές οργανικές ενώσεις
BEV	Αμιγώς ηλεκτρικό όχημα
Euro	Ευρωπαϊκή κατηγορία αντιρρυπαντικής τεχνολογίας οχήματος
VKT	Ετήσια χιλιομετρική δραστηριότητα οχήματος
TTW	Tank-to-Wheel, εκπομπές κατά τη λειτουργία του οχήματος
WTW	Well-to-Wheel, εκπομπές από την παραγωγή ενέργειας έως την κίνηση
LCA	Ανάλυση κύκλου ζωής
COPERT	Ευρωπαϊκό μοντέλο υπολογισμού εκπομπών οδικών μεταφορών
EMEP/EEA	Οδηγός απογραφής ατμοσφαιρικών εκπομπών
ZEV	Όχημα μηδενικών εκπομπών κατά τη χρήση

Σημαντικά σημεία της εργασίας

Τα λεωφορεία έχουν τη μεγαλύτερη συμβολή σε CO₂ και NO_x.

Τα ταξί εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συμβολή σε PM₁₀, PM_{2.5} και NMVOC.

Η μερική μετάβαση για τα οχήματα Δ.Χ. μειώνει το CO₂ κατά 15.167,51 t/έτος.

Η εκτεταμένη τεχνικά εφικτή μετάβαση για τα οχήματα Δ.Χ. μειώνει το CO₂ κατά 30.426,43 t/έτος.

Το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος για οχήματα Δ.Χ. φτάνει έως 3,64 εκατ. €/έτος.

Συνεισφορά της εργασίας

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση μέσα από την περίπτωση της Θεσσαλονίκης, εστιάζοντας σε τρεις κατηγορίες στόλου: αστικά λεωφορεία, ταξί και οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης. Η βασική της συνεισφορά είναι ότι συνδυάζει την εκτίμηση των εκπομπών με την οικονομική αποτίμηση του περιβαλλοντικού οφέλους, ώστε να φανεί όχι μόνο πόσο μειώνονται οι ρύποι, αλλά και ποια είναι η αντίστοιχη κοινωνική αξία αυτής της μείωσης. Παράλληλα, τα σενάρια μετάβασης δεν αντιμετωπίζουν όλα τα οχήματα με τον ίδιο τρόπο, αλλά λαμβάνουν υπόψη την τεχνική και επιχειρησιακή εφικτότητα κάθε κατηγορίας. Η εργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για πιο ρεαλιστική συζήτηση σχετικά με το ποιοι στόλοι πρέπει να δοθούν κατά προτεραιότητα στην ηλεκτροκίνηση και με ποιον τρόπο μπορεί να γίνει σταδιακά αυτή η μετάβαση.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ

Αθηνά Μαυροματάκη¹, Ιωάννης Σέμπος¹

¹Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάροδος
Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

email: std167089@ac.eap.gr, sempos.ioannis@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία διερευνά τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις από τη μετάβαση των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας της Θεσσαλονίκης στην ηλεκτροκίνηση. Η ανάλυση εστιάζει σε αστικά λεωφορεία, ταξί και οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης. Εφαρμόζεται προσέγγιση Tier 2, με χρήση στοιχείων στόλου, ετήσιας χιλιομετρικής δραστηριότητας και συντελεστών εκπομπής για CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} και NMVOC. Η υφιστάμενη κατάσταση συγκρίνεται με δύο σενάρια μερικής και εκτεταμένης, τεχνικά εφικτής μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα αστικά λεωφορεία συμβάλλουν κυρίως σε CO₂ και NO_x, ενώ τα ταξί εμφανίζουν σημαντική συμβολή στα αιωρούμενα σωματίδια και στους NMVOC. Η μείωση του CO₂ εκτιμάται σε 15.167,51 t/έτος στη μερική μετάβαση και σε 30.426,43 t/έτος στην εκτεταμένη μετάβαση. Το αντίστοιχο αποφευχθέν εξωτερικό κόστος ανέρχεται σε περίπου 1,81 και 3,64 εκατ. €/έτος. Η εργασία καταλήγει ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση των άμεσων εκπομπών, υπό την προϋπόθεση διαφοροποιημένου σχεδιασμού ανά κατηγορία στόλου.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτροκίνηση, Οδικές Μεταφορές, Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Εξωτερικό Κόστος, Θεσσαλονίκη.

ABSTRACT

This paper investigates the environmental and economic impacts of the transition to electromobility for public service and utility vehicles in Thessaloniki. The analysis focuses on urban buses, taxis and vehicles of the Municipality of Thessaloniki. A Tier 2 approach is applied, using fleet data, annual vehicle activity and emission factors for CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} and NMVOC. The baseline situation is compared with two scenarios of partial and extended, technically feasible transition to electric vehicles. The results show that urban buses mainly contribute to CO₂ and NO_x emissions, while taxis have a considerable contribution to particulate matter and NMVOC emissions. CO₂ reductions are estimated at 15,167.51 t/year under the partial transition and 30,426.43 t/year under the extended transition. The corresponding avoided external cost is approximately €1.81 million/year and €3.64 million/year. The paper concludes that electromobility can significantly reduce direct urban emissions, provided that the transition is planned differently for each fleet category.

Keywords: Electromobility, Road Transport, Air Pollution, External Cost, Thessaloniki.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση παραμένει ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα των σύγχρονων αστικών περιοχών, καθώς συνδέεται με επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, στην ποιότητα ζωής και στη βιώσιμη ανάπτυξη των πόλεων. Στις οδικές μεταφορές, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι στόλοι που λειτουργούν καθημερινά στον αστικό ιστό, όπως τα αστικά λεωφορεία, τα ταξί και τα οχήματα κοινής ωφέλειας. Παρότι οι στόλοι αυτοί δεν αποτελούν το σύνολο της κυκλοφορίας, χαρακτηρίζονται από υψηλή ένταση χρήσης και επαναλαμβανόμενη παρουσία σε επιβαρυμένες αστικές ζώνες.

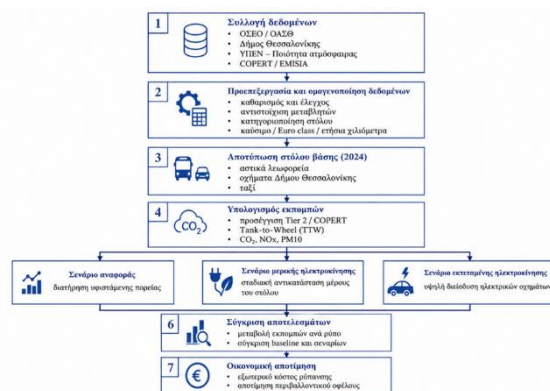
Η Θεσσαλονίκη αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση αστικού περιβάλλοντος με σύνθετες κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές πιέσεις. Η ύπαρξη σταθμών παρακολούθησης ποιότητας αέρα, οι καταγραφές για NO₂ και PM₁₀ και η διαθεσιμότητα στοιχείων για επιμέρους στόλους επιτρέπουν τη συστηματική αποτίμηση της συμβολής των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας. Στο πλαίσιο αυτό, η ηλεκτροκίνηση εξετάζεται ως τεχνολογική και πολιτική επιλογή για τη μείωση των άμεσων εκπομπών κατά τη λειτουργία των οχημάτων.

Σκοπός του άρθρου είναι η συμπύκνωση των βασικών αποτελεσμάτων της Διπλωματικής Εργασίας, με έμφαση στην εκτίμηση των εκπομπών βάσης, στη σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων μετάβασης και στην οικονομική αποτίμηση του αντίστοιχου περιβαλλοντικού οφέλους. Η ανάλυση δεν αποτελεί πλήρη ανάλυση κόστους-οφέλους της ηλεκτροκίνησης, αλλά αποτιμά το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος από τη μείωση των άμεσων εκπομπών.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η μεθοδολογία βασίζεται σε προσέγγιση Tier 2, συμβατή με τη λογική των απογραφών εκπομπών οδικών μεταφορών και του ευρωπαϊκού πλαισίου EMEP/EEA και COPERT (European Environment Agency 2023). Η επιλογή αυτή κρίθηκε κατάλληλη επειδή ήταν

διαθέσιμα στοιχεία για το πλήθος των οχημάτων, την κατηγορία στόλου, το καύσιμο, την τεχνολογία ή το έτος πρώτης κυκλοφορίας και την ετήσια χιλιομετρική δραστηριότητα, αλλά όχι πλήρη μικροδεδομένα ανά όχημα, διαδρομή, ταχύτητα και χρονική περίοδο.



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας της έρευνας

Οι κύριες πηγές δεδομένων αφορούν τον στόλο και το συγκοινωνιακό έργο των αστικών λεωφορείων, τα στοιχεία του δημοτικού στόλου του Δήμου Θεσσαλονίκης, συγκεντρωτικά και εμπειρικά στοιχεία για τη λειτουργία των ταξί, καθώς και επίσημες πληροφορίες για την ποιότητα του αέρα στη Θεσσαλονίκη. Για την οικονομική αποτίμηση χρησιμοποιούνται μοναδιαίες τιμές εξωτερικού κόστους από το ευρωπαϊκό Handbook on the external costs of transport (European Commission 2020).

Ο υπολογισμός των εκπομπών πραγματοποιείται ανά κατηγορία στόλου και ρύπο με βάση τη σχέση:

$$E_i = N_i \times VKT_i \times EF_i \quad (1)$$

όπου E_i είναι οι συνολικές εκπομπές ρύπου, N_i ο αριθμός οχημάτων, VKT_i η ετήσια χιλιομετρική δραστηριότητα και EF_i ο συντελεστής εκπομπής ανά χιλιόμετρο.

Το όριο της ανάλυσης ορίζεται σε επίπεδο Tank-to-Wheel, δηλαδή στις άμεσες εκπομπές κατά τη λειτουργία των οχημάτων. Για την αξιολόγηση της μετάβασης διαμορφώνονται δύο σενάρια: μερική μετάβαση και εκτεταμένη τεχνικά εφικτή μετάβαση. Τα

σενάρια διαφοροποιούνται ανά κατηγορία στόλου, ώστε να ληφθούν υπόψη η τεχνολογική ωριμότητα, η διαθεσιμότητα ηλεκτρικών ισοδύναμων, ο κύκλος εργασίας και οι απαιτήσεις φόρτισης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Εκπομπές βάσης

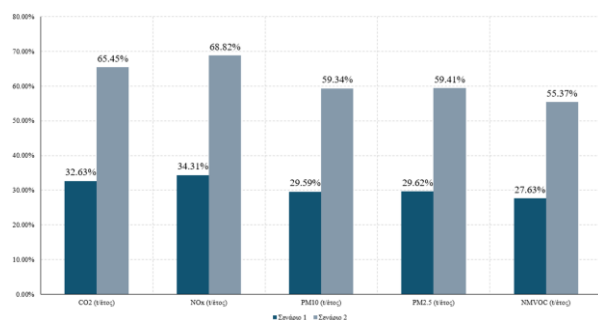
Η υφιστάμενη κατάσταση δείχνει ότι ο εξεταζόμενος στόλος παράγει σημαντικές άμεσες εκπομπές. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τα βασικά αποτελέσματα ανά κατηγορία στόλου. Τα αστικά λεωφορεία εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συμβολή σε CO₂ και NO_x, ενώ τα ταξί συνδέονται με σημαντική συμμετοχή στα αιωρούμενα σωματίδια και στους NMVOC, κυρίως λόγω του πολύ υψηλού ετήσιου χιλιομετρικού έργου τους.

Πίνακας 1. Εκπομπές βάσης ανά κατηγορία στόλου.

Κατηγορία	CO ₂ (t/έτος)	NO _x (t/έτος)	PM10 (t/έτος)	PM2.5 (t/έτος)	NMVOC (t/έτος)
Λεωφορεία	24.858,26	79,85	1,13	1,03	1,68
Δήμος	1.828,05	4,96	0,11	0,10	0,18
Ταξί	19.800,00	38,50	2,20	1,98	7,03
Σύνολο	46.486,31	123,31	3,45	3,12	8,89

3.2. Σενάρια μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση

Στη μερική μετάβαση η μείωση του CO₂ εκτιμάται σε 15.167,51 t/έτος, ενώ στην εκτεταμένη τεχνικά εφικτή μετάβαση φτάνει τις 30.426,43 t/έτος. Αντίστοιχα, μειώσεις παρατηρούνται και για NO_x, PM10, PM2.5 και NMVOC. Το Σχήμα 1 παρουσιάζει τη σχετική ποσοστιαία μείωση ανά ρύπο και δείχνει ότι το μεγαλύτερο σενάριο μετάβασης οδηγεί σε σαφώς υψηλότερη περιβαλλοντική επίδοση για όλες τις εξεταζόμενες κατηγορίες ρύπων.



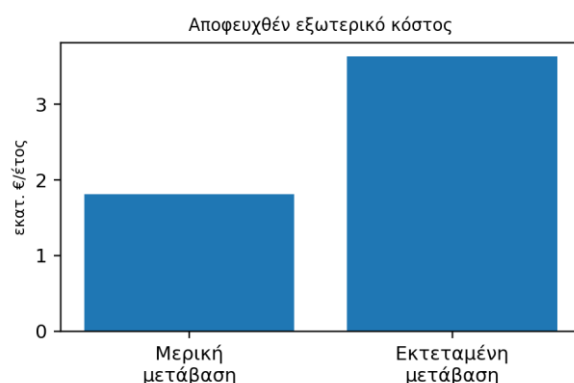
Σχήμα 2. Ποσοστιαία μείωση εκπομπών ανά ρύπο και σενάριο.

3.3. Οικονομική αποτίμηση

Η οικονομική αποτίμηση μετατρέπει τις μειώσεις εκπομπών σε χρηματική αξία με χρήση μοναδιαίων τιμών εξωτερικού κόστους. Στη βασική αποτίμηση χρησιμοποιούνται CO₂, NO_x, PM2.5 και NMVOC. Το PM10 παραμένει στην περιβαλλοντική ανάλυση, αλλά δεν προστίθεται στο συνολικό οικονομικό όφελος όταν χρησιμοποιείται PM2.5, ώστε να αποφευχθεί πιθανή διπλομέτρηση.

Πίνακας 2. Μείωση εκπομπών και αποφευχθέν εξωτερικό κόστος.

Ρύπος	Μείωση μερικής	Μείωση εκτεταμένης	Όφελος μερικής (€)	Όφελος εκτεταμένης (€)
CO ₂	15.167,51	30.426,43	1.516.751	3.042.643
NO _x	42,31	84,87	215.781	432.837
PM2.5	0,92	1,85	79.120	159.100
NMVOC	2,46	4,92	738	1.476
Σύνολο	-	-	1.812.390	3.636.056



Σχήμα 3. Συνολικό αποφευχθέν εξωτερικό κόστος ανά σενάριο.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το συνολικό ετήσιο αποφευχθέν εξωτερικό κόστος ανέρχεται σε περίπου 1,81 εκατ. €/έτος στη μερική μετάβαση και σε περίπου 3,64 εκατ. €/έτος στην εκτεταμένη μετάβαση. Το μεγαλύτερο μέρος του οικονομικού οφέλους προέρχεται από τη μείωση των εκπομπών CO₂, λόγω του μεγάλου απόλυτου μεγέθους της μείωσης σε τόνους. Παράλληλα, η συμβολή των NO_x είναι σημαντική, επειδή πρόκειται για βασικό ρύπο αστικής κυκλοφορίας με υψηλό εξωτερικό κόστος σε αστικό περιβάλλον.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση επιβεβαιώνει ότι τα οχήματα δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας αποτελούν κρίσιμη κατηγορία στόλου για τη

μείωση των άμεσων εκπομπών στη Θεσσαλονίκη. Τα αστικά λεωφορεία συνδέονται κυρίως με CO₂ και NO_x, ενώ τα ταξί εμφανίζουν ιδιαίτερη σημασία για τα αιωρούμενα σωματίδια και τους NMVOC, εξαιτίας του υψηλού ετήσιου χιλιομετρικού έργου τους.

Η ηλεκτροκίνηση μπορεί να δημιουργήσει μετρήσιμο περιβαλλοντικό και κοινωνικό όφελος. Ακόμη και η μερική μετάβαση οδηγεί σε αισθητή μείωση εκπομπών, ενώ η εκτεταμένη τεχνικά εφικτή μετάβαση ενισχύει σημαντικά το αποτέλεσμα. Ωστόσο, η μετάβαση δεν μπορεί να εφαρμοστεί οριζόντια σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων. Τα λεωφορεία, τα ταξί και τα ελαφρά δημοτικά οχήματα εμφανίζουν υψηλότερη τεχνική ετοιμότητα, ενώ τα βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα απαιτούν σταδιακότερη και προσεκτικότερη αξιολόγηση.



Σχήμα 4. Εννοιολογικό πλαίσιο αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της εργασίας για τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση.

Τα αποτελέσματα δεν πρέπει να ερμηνεύονται ως πλήρης ανάλυση κόστους-οφέλους, καθώς δεν περιλαμβάνονται το κόστος αγοράς οχημάτων, οι υποδομές φόρτισης, η λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος ή η ανάλυση κύκλου ζωής. Παρ' όλα αυτά, το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος παρέχει χρήσιμη ένδειξη της κοινωνικής αξίας που μπορεί να έχει η στοχευμένη μείωση των εκπομπών στο αστικό περιβάλλον.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ACEA, Vehicles in use: Europe 2024, European Automobile Manufacturers' Association, 2024.
- European Commission, Handbook on the external costs of transport: Version 2019 – 1.1, Publications Office of the European Union, 2020.
- European Environment Agency, EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, European Environment Agency, 2023.
- gov.gr, Πράσινα Ταξί: Πρόγραμμα επιδότησης επιβατηγών οχημάτων δημόσιας χρήσεως, Ελληνική Κυβέρνηση, 2024.
- World Health Organization, WHO global air quality guidelines: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, World Health Organization, 2021.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024, ΥΠΕΝ, 2025

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα των σύγχρονων αστικών περιοχών, καθώς συνδέεται άμεσα με σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, στην ποιότητα ζωής και στη βιώσιμη ανάπτυξη των πόλεων. Η αυξημένη συγκέντρωση αέριων ρύπων, όπως τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀ και PM_{2.5}), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και ειδικότερα στον τομέα των οδικών μεταφορών (WHO, 2021). Η παγκόσμια υγειονομική ανησυχία κορυφώθηκε με τις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2021), οι οποίες αναθεώρησαν προς το αυστηρότερο τα όρια για κρίσιμους ρύπους, αντανakλώντας επιστημονικά δεδομένα που αποδεικνύουν επιπτώσεις στην υγεία ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις όπως παρουσιάζεται και στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Σύγκριση Κατευθυντήριων Γραμμών ΠΟΥ (2005 vs 2021) για την Αστική Ρύπανση (Πηγή: WHO Global Air Quality Guidelines (2021) – ιδία επεξεργασία)

Ρύπος (Ετήσια Συγκέντρωση)	Όριο 2005 (μg/m3)	Όριο 2021 (μg/m3)	Μεταβολή Αυστηρότητας
Αιωρούμενα Σωματίδια (PM _{2.5})	10	5	-50%
Αιωρούμενα Σωματίδια (PM ₁₀)	20	15	-25%
Διοξείδιο του Αζώτου (NO _x)	40	10	-75%

Σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις, οι μεταφορές αποτελούν μία από τις κύριες πηγές εκπομπών ρύπων, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με έντονη κυκλοφοριακή φόρτιση. Όπως αναφέρει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (2021), η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί πλέον τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική απειλή για την ανθρώπινη υγεία παγκοσμίως .

Ιδιαίτερη βαρύτητα ενέχει η κατηγορία των οχημάτων κοινής ωφέλειας και δημόσιας χρήσης, στην οποία εμπίπτουν, μεταξύ άλλων, τα αστικά λεωφορεία, τα απορριμματοφόρα, τα οχήματα καθαριότητας, καθώς και ο στόλος των υπηρεσιών υγείας και ασφάλειας. Αν και τα εν λόγω οχήματα συνιστούν μικρό ποσοστό του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου, η λειτουργία τους χαρακτηρίζεται από υψηλή συχνότητα χρήσης και επαναλαμβανόμενες διαδρομές εντός του αστικού ιστού οπότε λόγω της συνεχούς λειτουργίας τους σε επιβαρυμένες κυκλοφοριακές συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα να καθίστανται κρίσιμοι παράγοντες στην εκπομπή ρύπων (Aemmer et al., 2023; Bishop et al., 2016; Li et al., 2022; Zanfagna et al., 2022).

Τέλος, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (EEA, 2025), η ατμοσφαιρική ρύπανση παραμένει ο μεγαλύτερος περιβαλλοντικός κίνδυνος για την υγεία στην Ευρώπη, με τον τομέα των μεταφορών να ευθύνεται για το 29% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ.

1.2 Κίνητρα και αναγκαιότητα της Έρευνας: Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία λαμβάνει ως πεδίο αναφοράς τη Θεσσαλονίκη, ένα μητροπολιτικό κέντρο που χαρακτηρίζεται από οξυμένα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και κυκλοφοριακού κορεσμού. Κεντρική επιδίωξη αποτελεί η εκτίμηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλούν τα οχήματα κοινής ωφέλειας, παράλληλα με τη διερεύνηση της ηλεκτροκίνησης ως στρατηγικής για τον περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων. Η ερευνητική προσέγγιση εστιάζει γεωγραφικά στον αστικό ιστό, εξετάζοντας τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται εντός των ορίων του.

Η Θεσσαλονίκη, ως η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας και ένα από τα σημαντικότερα οικονομικά κέντρα της Νοτιοανατολικής Ευρώπης, παρουσιάζει ένα από τα πιο σύνθετα και επίμονα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Μεσόγειο (Tsiaousidis et al., 2023). Η αναγκαιότητα διεξαγωγής εξειδικευμένης έρευνας για την ποιότητα του αέρα στη Θεσσαλονίκη απορρέει από ένα μοναδικό συνδυασμό γεωγραφικών, μετεωρολογικών και ανθρωπογενών παραγόντων που καθιστούν την πόλη ένα «εργαστήριο» περιβαλλοντικής πίεσης (Koukouli et al., 2022).

Η γεωγραφική θέση της πόλης στον Θερμαϊκό Κόλπο είναι καθοριστικής σημασίας. Η Θεσσαλονίκη είναι χτισμένη αμφιθεατρικά γύρω από τον κόλπο, ενώ στα βόρεια και ανατολικά περιβάλλεται από ορεινούς όγκους (Σείχ Σου, Χορτιάτης). Η συγκεκριμένη τοπογραφία, σε συνδυασμό με την παρουσία του λιμανιού και της μεγάλης βιομηχανικής ζώνης στα δυτικά, δημιουργεί συνθήκες που ευνοούν τη συσσώρευση ρύπων (Chatzopoulou & Mavroidis, 2025). Η θαλάσσια αύρα, αν και συχνά θεωρείται παράγοντας ανανέωσης του αέρα, στη Θεσσαλονίκη μπορεί να λειτουργήσει παγιδεύοντας τους ρύπους πάνω από τον αστικό ιστό ή μεταφέροντας εκπομπές από το λιμάνι και τις βιομηχανίες προς το κέντρο της πόλης όπως φαίνεται να προκύπτει από μελέτη των Zeydan, Ö., & Karademir, A. (2023).

Το μικροκλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από συχνές θερμοκρασιακές αναστροφές, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες (Koukouli et al., 2022). Κατά τη διάρκεια μιας αναστροφής, ένα στρώμα θερμού αέρα εμποδίζει την κατακόρυφη κίνηση των ρύπων, «σφραγίζοντας» την πόλη κάτω από ένα νέφος ρύπανσης (Papanastasiou & Melas, 2009). Το φαινόμενο αυτό είναι εξαιρετικά επικίνδυνο, καθώς οι εκπομπές από την οδική κυκλοφορία και τη θέρμανση παραμένουν κοντά στο έδαφος, σε άμεση επαφή με τους κατοίκους (Chatzopoulou & Mavroidis, 2025).

Ένα από τα σημαντικότερα κίνητρα για την έρευνα στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαχρονική υπέρβαση των ορίων για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ (Tsiaousidis et al., 2023). Η Θεσσαλονίκη έχει καταδικαστεί από το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο για τη συστηματική υπέρβαση των τιμών αυτών, με τις ημέρες υπέρβασης να φτάνουν το 2019 τις 88, όταν το επιτρεπτό όριο είναι 35 (Ekathimerini, 2023). Όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα κύρια αιτία αυτής της κατάστασης έχει εντοπιστεί στην οικιακή θέρμανση κυρίως, ενώ δεύτερη σε σημαντικότητα αιτία είναι οι οδικές μεταφορές (Progiou et al., 2023), γεγονός το οποίο λειτούργησε και ως κίνητρο για την περαιτέρω διερεύνησή τους ως αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 2: Συνεισφορά πηγών στη ρύπανση από αιωρούμενα σωματίδια στη Θεσσαλονίκη (Πηγή: (Progiou et al., 2023) – ιδία επεξεργασία)

Περίοδος	Κύρια πηγή εκπομπών PM10	Ποσοστό Συνεισφοράς (%)	Είδος καυσίμου
Χειμώνας	Οικιακή Θέρμανση	73%	Βιομάζα (ξύλο, πέλλετ)
Καλοκαίρι	Οδικές Μεταφορές	48% (περιλαμβάνει ανακυκλοφορία σκόνης)	Πετρέλαιο, Βενζίνη
Ετήσια	Βιομηχανία / Λιμάνι	5-10% (τοπικά υψηλότερο)	Βαριά καύσιμα

Αναφορικά με τον τύπο των οδικών αυτών μετακινήσεων, η Θεσσαλονίκη χαρακτηρίζεται από έναν έντονα μονοκεντρικό χαρακτήρα, ο οποίος επιβάλλει μαζικές μετακινήσεις προς το ιστορικό κέντρο. Όπως αναφέρεται στην εργασία του Σδουκόπουλου (2021), η πόλη υστέρησε για δεκαετίες στην ανάπτυξη πολυτροπικών συστημάτων, γεγονός που οδήγησε σε υπερβολική εξάρτηση από το Ιδιωτικής Χρήσης (Ι.Χ.) αυτοκίνητο και το Ταξί . Η κατάσταση αυτή επιδεινώνεται δραματικά από την παλαιότητα του στόλου. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ACEA (2024), όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, η Ελλάδα διαθέτει τον γηραιότερο στόλο οχημάτων στην ΕΕ, γεγονός που τον κατατάσσει στους πλέον ρυπογόνους της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Πίνακας 3: Συγκριτικός πίνακας της μέσης ηλικίας ανά τύπου οχήματος στην Ελλάδα συγκριτικά με την ΕΕ (Πηγή: ACEA - ιδία επεξεργασία)

Κατηγορία Οχήματος	Μέση Ηλικία στην Ελλάδα (Ετη)	Μέση Ηλικία στην ΕΕ (Ετη)
Επιβατικά Αυτοκίνητα	17,8	12,7
Φορτηγά	22,9	14,0
Λεωφορεία	17,2	12,2

Η παραμονή παλαιών τεχνολογιών (Euro 1 έως Euro 4) στο οδικό δίκτυο, τόσο της Θεσσαλονίκης αλλά και της χώρας γενικότερα, συνεπάγεται πολλαπλάσιες εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) και αιωρούμενων σωματιδίων ανά χιλιόμετρο, ιδιαίτερα κατά τις ώρες κυκλοφοριακής συμφόρησης (Maniotis et al., 2023). Πρέπει να αναφερθεί όμως, πως μια θεμελιώδης διαπίστωση της έρευνας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι ότι η τεχνολογική ανανέωση του στόλου από μόνη της δεν επαρκεί για τη μείωση της ρύπανσης όταν ο συνολικός αριθμός των οχημάτων αυξάνεται συνεχώς. Η αδυναμία εκπλήρωσης των συγκεκριμένων στόχων ερμηνεύεται υπό το πρίσμα του πλαισίου DPSIR (Driving Forces - Pressure - State - Impact - Response). Όπως αναλύουν οι Nikolaou, Basbas και Taxiltaris (2004), οι κινητήριες δυνάμεις (Drivers – Driving Forces), με κυριότερες την αύξηση της ιδιοκτησίας ιδιωτικών οχημάτων και την αστική επέκταση, εντείνουν τις περιβαλλοντικές πιέσεις (Pressure) λόγω της επακόλουθης ανόδου στην κατανάλωση καυσίμων. Τα ευρήματα αυτά τεκμηριώνουν ότι η τεχνολογική αναβάθμιση του στόλου δεν επαρκεί για τη βελτίωση της κατάστασης (State) εφόσον ο συνολικός αριθμός οχημάτων βαίνει αυξανόμενος, με αποτέλεσμα ο κυκλοφοριακός φόρτος να αναιρεί τα περιβαλλοντικά οφέλη των καθαρότερων κινητήρων.

Συνοψίζοντας, ο συνδυασμός της δυσμενούς γεωμορφολογίας, των ατμοσφαιρικών συνθηκών και του γηρασμένου στόλου της Θεσσαλονίκης δημιουργεί ένα ασφυκτικό περιβάλλον που απαιτεί

τεκμηριωμένες λύσεις. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να αποτελέσει εργαλείο λήψης αποφάσεων, διερευνώντας κατά πόσο η στοχευμένη αντικατάσταση των ρυπογόνων οχημάτων κοινής ωφέλειας με ηλεκτρικά μπορεί να αναστρέψει την υφιστάμενη περιβαλλοντική υποβάθμιση. Στο πλαίσιο αυτό, διατυπώνονται στη συνέχεια ο σκοπός και οι επιμέρους στόχοι της έρευνας.

1.3 Σκοπός και Επιμέρους Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας.

Κεντρικός άξονας της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ποσοτική αποτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οχημάτων κοινής ωφέλειας και υπηρεσιακών οχημάτων του Δήμου Θεσσαλονίκης, καθώς και η διερεύνηση της ηλεκτροκίνησης ως μέσου περιορισμού του ατμοσφαιρικού και οικονομικού κόστους των αστικών μεταφορών. Το ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάζει σε τρεις βασικές κατηγορίες οχημάτων με διακριτά λειτουργικά χαρακτηριστικά: στα αστικά λεωφορεία, λόγω του υψηλού συγκοινωνιακού έργου και της συστηματικής τους διέλευσης από τον αστικό ιστό του Δήμου Θεσσαλονίκης, στα ταξί, λόγω της συνεχούς παρουσίας τους στο οδικό δίκτυο της πόλης, και στα οχήματα δημοτικών υπηρεσιών (καθαριότητα, υπηρεσιακά και λοιπά ειδικής χρήσης), λόγω της εντατικής λειτουργίας τους εντός του αστικού κέντρου.

Για την υλοποίηση του σκοπού αυτού, η εργασία ακολουθεί μια σειρά επιμέρους στόχων, ξεκινώντας από την αναλυτική χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του στόλου για λεωφορεία, ταξί και οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης, με χρήση πραγματικών δεδομένων όπου αυτά είναι διαθέσιμα και με τεκμηριωμένες παραδοχές στις περιπτώσεις ελλειπών πληροφόρησης. Ακολουθεί η ποσοτικοποίηση των εκπομπών βάσης για τον υπολογισμό του τρέχοντος αποτυπώματος σε CO₂, NO_x, PM₁₀ και PM_{2.5} μέσω μεθοδολογίας συντελεστών εκπομπής, ώστε να εντοπιστούν οι βασικές κατηγορίες οχημάτων που συμβάλλουν περισσότερο στην περιβαλλοντική επιβάρυνση. Στη συνέχεια αναπτύσσονται και αξιολογούνται εναλλακτικά σενάρια μερικής και εκτεταμένης ηλεκτροκίνησης των εξεταζόμενων στόλων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας, ενώ η διαδικασία ολοκληρώνεται με την οικονομική αποτίμηση του αντίστοιχου περιβαλλοντικού οφέλους μέσω της μεθοδολογίας του εξωτερικού κόστους.

Μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας, η έρευνα επιδιώκει να απαντήσει σε τέσσερα βασικά ερωτήματα:

ΕΕ1: Ποια είναι η ποιοτική σύνθεση του στόλου οχημάτων του Δήμου Θεσσαλονίκης ως προς την κατηγορία οχήματος, το καύσιμο και την αντιρρυπαντική τεχνολογία;

ΕΕ2: Ποια είναι η συνεισφορά των αστικών λεωφορείων, των οχημάτων δημοτικών υπηρεσιών και των ταξί στις συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) και αιωρούμενων σωματιδίων;

ΕΕ3: Ποιο είναι το μετρήσιμο περιβαλλοντικό όφελος από την εφαρμογή σεναρίων μερικής ή εκτεταμένης ηλεκτροκίνησης των εξεταζόμενων στόλων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας στη Θεσσαλονίκη;

ΕΕ4: Ποιο είναι το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος σε ευρώ από τη μείωση των εκπομπών που προκύπτει μέσω της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση;

1.4 Περιορισμοί και Οριοθέτηση της Έρευνας

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία οριοθετείται γεωγραφικά, χρονικά και μεθοδολογικά προκειμένου να εξασφαλιστεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και τις ιδιαιτερότητες του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης.

Η γεωγραφική οριοθέτηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας οργανώνεται με κέντρο αναφοράς τον Δήμο Θεσσαλονίκης, ο οποίος αποτελεί τον βασικό αστικό πυρήνα της ανάλυσης. Για τα οχήματα δημοτικών υπηρεσιών η ανάλυση αναφέρεται άμεσα στα διοικητικά όρια του Δήμου Θεσσαλονίκης, καθώς πρόκειται για στόλο με σαφή διοικητική και επιχειρησιακή οριοθέτηση. Για τα αστικά λεωφορεία και τα ταξί, η ανάλυση αξιοποιεί τα διαθέσιμα δεδομένα που σχετίζονται με τη λειτουργία τους στον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης, με έμφαση στην περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλούν εντός του Δήμου Θεσσαλονίκης.

Χρονικά, το 2024 ορίζεται ως έτος βάσης (Reference year) για την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, επιλογή που στηρίζεται στα πλέον πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ) και των αρμόδιων φορέων. Η αξιολόγηση της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση πραγματοποιείται μέσω δύο υποθετικών σεναρίων διαφορετικής έντασης, τα οποία αποτυπώνουν έναν μερικό και έναν εκτεταμένο, τεχνικά εφικτό βαθμό αντικατάστασης του συμβατικού έργου από ηλεκτρικά οχήματα, χωρίς να αποτελούν πλήρεις χρονικές προβολές στόλου για συγκεκριμένα έτη.

Σε μεθοδολογικό επίπεδο, ο υπολογισμός των εκπομπών ακολουθεί προσέγγιση Tier 2 σύμφωνα με τη λογική του COPERT. Η έλλειψη πλήρων δεδομένων για ορισμένες παραμέτρους του στόλου επέβαλε τη χρήση τεκμηριωμένων παραδοχών, όπως η αντιστοίχιση της κατηγορίας Euro από το έτος πρώτης κυκλοφορίας και η χρήση διαθέσιμων ή μέσων τιμών δραστηριότητας ανά κατηγορία οχήματος όπου δεν υπήρχαν πλήρη λειτουργικά στοιχεία. Επιπροσθέτως, η ανάλυση περιορίζεται στις άμεσες εκπομπές κατά τη λειτουργία του οχήματος (Tank-to-Wheel), χωρίς να περιλαμβάνει ανάλυση πλήρους κύκλου ζωής.

1.5 Δομή της Εργασίας

Η δομή της εργασίας αναπτύσσεται σε έξι διακριτά κεφάλαια, τα οποία καλύπτουν τη διαδρομή από τη θεωρητική προσέγγιση έως την εμπειρική εφαρμογή και την αξιολόγηση των ευρημάτων.

Το εισαγωγικό κεφάλαιο θέτει το πλαίσιο του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα αστικά κέντρα με ειδική αναφορά στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, ενώ παράλληλα προσδιορίζονται ο σκοπός, οι στόχοι και οι περιορισμοί που διέπουν την έρευνα. Στο δεύτερο κεφάλαιο επισκοπείται η βιβλιογραφία σχετικά με τους ρύπους των οδικών μεταφορών και τις επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία. Παράλληλα, εξετάζονται το κανονιστικό πλαίσιο των ευρωπαϊκών προτύπων (Euro Standards) και οι τεχνολογίες ηλεκτροκίνησης, ενώ αναλύεται η οικονομική αποτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους ως βασικό εργαλείο αξιολόγησης.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει τη μεθοδολογική προσέγγιση, περιλαμβάνοντας τις πηγές δεδομένων,

τη διαδικασία υπολογισμού των εκπομπών και τον καθορισμό των σεναρίων για τη μετάβαση του στόλου. Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο, το οποίο εστιάζει στη χαρτογράφηση της υφιστάμενης κατάστασης στη Θεσσαλονίκη, με ιδιαίτερη έμφαση στον Δήμο Θεσσαλονίκης ως βασικό πεδίο αναφοράς. Τα δεδομένα για τα αστικά λεωφορεία, τα ταξί και τα δημοτικά οχήματα αναλύονται εδώ σε συνάρτηση με τα διαθέσιμα στοιχεία για την ποιότητα του αέρα και τα χαρακτηριστικά του αστικού περιβάλλοντος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η συγκριτική αξιολόγηση των σεναρίων, εστιάζοντας στην εκτίμηση της μείωσης των ρύπων και στη χρηματική αποτίμηση του περιβαλλοντικού οφέλους για την τεκμηρίωση της βιωσιμότητας των παρεμβάσεων. Η μελέτη ολοκληρώνεται με το έκτο κεφάλαιο, όπου συνοψίζονται τα συμπεράσματα και οι περιορισμοί της έρευνας, ενώ κατατίθενται προτάσεις για τη χάραξη μελλοντικών πολιτικών.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η μετάβαση των αστικών συστημάτων μεταφορών προς την αειφορία και την κλιματική ουδετερότητα αποτελεί μία από τις πλέον επιτακτικές και πολυσύνθετες προκλήσεις της σύγχρονης περιβαλλοντικής μηχανικής, του σχεδιασμού των μεταφορών και του πολεοδομικού σχεδιασμού. Στον πυρήνα αυτού του μετασχηματισμού βρίσκονται τα οχήματα δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας, όπως τα αστικά λεωφορεία, τα ταξί και τα ειδικά βαρέα οχήματα (π.χ. απορριμματοφόρα δήμων). Αν και, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα οχήματα αυτά αποτελούν συγκριτικά ένα μικρό μόνο ποσοστό του συνολικού κυκλοφορούντος στόλου σε απόλυτους αριθμούς, τα εξαιρετικά υψηλά διανυόμενα χιλιόμετρά τους εντός του αστικού ιστού, οι δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας τους (συνεχείς κύκλοι σταμάτα-ξεκίνα, συχνή λειτουργία στο ρελαντί, χαμηλές μέσες ταχύτητες) και η ιστορική τους εξάρτηση από πετρελαιοκινητήρες βαρέως τύπου (Heavy Duty Diesel Engines), τα καθιστούν κύριους υπαίτιους για τις εκπομπές τοπικών ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου (European Commission, 2020).

Το παρόν κεφάλαιο εγκαθιδρύει το εις βάθος θεωρητικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο για την κατανόηση, την ποσοτικοποίηση και την οικονομική αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού του ειδικού στόλου, καθώς και των τεχνολογικών επιλογών που προσφέρει η ραγδαία μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση. Η ανάλυση διαρθρώνεται μεθοδικά σε τρεις βασικούς άξονες. Αρχικά εξετάζεται λεπτομερώς η φυσικοχημεία των εκπομπών των κινητήρων Diesel που χρησιμοποιούνται ευρέως στις δημόσιες συγκοινωνίες, η αεροδυναμική συμπεριφορά τους στην αστική τοπογραφία και οι καταστροφικές επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία. Στη συνέχεια, αναλύεται η τεχνολογική εξέλιξη των κινητήρων υπό το πρίσμα του αυστηρού ευρωπαϊκού κανονιστικού πλαισίου και διερευνώνται οι τεχνολογίες ηλεκτροκίνησης, εστιάζοντας στην ετοιμότητα των υποδομών για στόλους κοινής ωφέλειας. Τέλος, παρουσιάζεται το αυστηρό οικονομοτεχνικό πλαίσιο εσωτερικοποίησης του εξωτερικού κόστους (externalities) και οι πολύπλοκες μεθοδολογίες νομιματοποίησης της ανθρώπινης υγείας και ζωής, προκειμένου να χτιστεί η μεθοδολογία αξιολόγησης της επικείμενης μετάβασης του στόλου της Θεσσαλονίκης.

2.1 Οδικές μεταφορές και αέριοι ρύποι

Οι οδικές μεταφορές λειτουργούν ως ο κυριότερος ρυθμιστής της ποιότητας του αέρα στα αστικά κέντρα. Ειδικά για τα οχήματα κοινής ωφέλειας, η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλούν δεν είναι απλώς ένα πρόβλημα αθροιστικών ποσοτήτων καυσαερίου, αλλά το αποτέλεσμα μιας πολυδιάστατης αλληλεπίδρασης μεταξύ της συνεχούς κίνησής τους στον στενό πολεοδομικό ιστό της πόλης που εγκλωβίζει τις αέριες μάζες και της παρατεταμένης έκθεσης των πεζών σε στάσεις και διασταυρώσεις.

2.1.1 Ανάλυση ρύπων και δυναμική στο αστικό περιβάλλον

Η θεμελιώδης θεωρία γύρω από την παραγωγή αερίων ρύπων, τους μηχανισμούς σχηματισμού τους και τις αρχές της ατμοσφαιρικής τεχνολογίας αναλύεται διεξοδικά στην εγχώρια βιβλιογραφία, όπως καταδεικνύεται στα ακαδημαϊκά εγχειρίδια των Ζέρβα και Σέμπου (2024) σχετικά με την αέρια ρύπανση και την αντιρρυπαντική τεχνολογία, καθώς και στο έργο των Μελά, Μπάη και Μπαλή (2015) για τη φυσική και τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Ο στόλος των οχημάτων δημόσιας χρήσης (όπως τα ταξί) και βαρέων οχημάτων κοινής ωφέλειας

(όπως τα αστικά λεωφορεία και τα απορριμματοφόρα), βασίζεται ιστορικά και σχεδόν αποκλειστικά στους κινητήρες εσωτερικής καύσης ανάφλεξης με συμπίεση (κινητήρες Diesel). Η επιλογή αυτή υπαγορεύτηκε από την υψηλή θερμοδυναμική τους απόδοση, την αξιοπιστία στις πολλές ώρες λειτουργίας και την απαραίτητη ροπή για βαριά φορτία (Heywood, 2018). Ωστόσο, η ίδια η θερμοδυναμική φύση της ετερογενούς καύσης του πετρελαίου ευθύνεται για την παραγωγή εξαιρετικά επιβλαβών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) αναφέρονται σε ένα μείγμα μονοξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO₂), το οποίο παράγεται κυρίως από την καύση καυσίμων σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα στους κινητήρες των οχημάτων. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση, περιλαμβανομένου του σχηματισμού όξινης βροχής και σοβαρών προβλημάτων υγείας (Harrison, 2005). Ο όρος NO_x αναφέρεται αθροιστικά στο μονοξείδιο του αζώτου (NO) και στο διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Στους πετρελαιοκινητήρες βαρέως τύπου των λεωφορείων, η παραγωγή των NO_x προκύπτει μέσα από εξαιρετικά πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις στον θάλαμο καύσης, ειδικά κατά τις φάσεις έντονης επιτάχυνσης (π.χ. αναχώρηση από μια στάση) (Ζέρβας & Σέμπος, 2024). Η διεθνής βιβλιογραφία διακρίνει τρεις βασικούς μηχανισμούς παραγωγής NO_x:

1. **Θερμικό NO (Thermal NO):** Αποτελεί τον απόλυτα κυρίαρχο μηχανισμό. Ενεργοποιείται έντονα όταν η τοπική αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας υπερβαίνει το κρίσιμο όριο των 1.700 K στον θάλαμο καύσης.
2. **Άμεσο NO (Prompt NO):** Σχηματίζεται κυρίως στο μέτωπο της φλόγας και σε τοπικές περιοχές του θαλάμου όπου το μίγμα καυσίμου είναι εξαιρετικά πλούσιο.
3. **NO Καυσίμου (Fuel NO):** Προέρχεται από την απευθείας οξείδωση των οργανικών ενώσεων του αζώτου που περιέχονται εγγενώς στο ίδιο το καύσιμο.

Αιωρούμενα Σωματίδια (PM₁₀, PM_{2.5})

Τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter - PM) ορίζονται ως ένα πολύπλοκο μείγμα στερεών και υγρών σωματιδίων που αιωρούνται στον αέρα. Κατηγοριοποιούνται με βάση την αεροδυναμική τους διάμετρο σε χαρακτηριστικές ομάδες, όπως τα PM₁₀ ($\leq 10 \mu\text{m}$) και τα PM_{2.5} ($\leq 2.5 \mu\text{m}$), ένα μέγεθος που επηρεάζει καθοριστικά την ικανότητά τους να διεισδύουν βαθιά στους πνεύμονες (El Morabet, 2018; Harrison, 2005). Στην περίπτωση των οχημάτων κοινής ωφέλειας, παράγεται η λεγόμενη σωματιδιακή ρύπανση Diesel (DPM), ένα πολυφασικό αερόλυμα εξαιρετικά επικίνδυνο. Η ετερογενής καύση του Diesel δημιουργεί τοπικά στον πυρήνα του νέφους καυσίμου ζώνες με έλλειψη οξυγόνου, όπου ενώσεις υφίστανται πυρήνωση μετατρεπόμενες σε στερεά φάση (Majewski & Jääskeläinen, 2026). Το 80-95% της μάζας των σωματιδίων από εξατμίσεις λεωφορείων και απορριμματοφόρων έχει αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5 μικρόμετρα (PM_{2.5}) (UCS, 2024). Πέρα από τα καυσαέρια, τα βαρέα οχήματα κοινής ωφέλειας, λόγω του μεγάλου βάρους τους και των συχνών στάσεων, συμβάλλουν τεράστια και στις εκπομπές που δεν προέρχονται από την εξάτμιση (στα αγγλικά: non-exhaust emissions) λόγω φθοράς ελαστικών και συστημάτων πέδησης.

Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι ένα φυσικά παραγόμενο, άχρωμο και άοσμο αέριο. Είναι

απολύτως απαραίτητο για την επιβίωση των περισσότερων ζωντανών οργανισμών και κάνει αέναους κύκλους στο οικοσύστημα μέσω της αναπνοής (αερόβιας και αναερόβιας), της φωτοσύνθεσης και της καύσης, παίζοντας σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της θερμοκρασίας της Γης ως ένα από τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου. Ωστόσο, η ραγδαία συσσώρευσή του στην ατμόσφαιρα από την καύση ορυκτών καυσίμων έχει ανατρέψει αυτή την ισορροπία (Wexler, 2005). Εν αντιθέσει με τα NOx και τα PM, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το φυσικό προϊόν της τέλει οξείδωσης του άνθρακα και είναι απολύτως ανάλογο της κατανάλωσης καυσίμου (EPA, 1996). Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης, μέσω του μεγάλου στόλου οχημάτων δημόσιας χρήσης, συνεισφέρουν τεράστια ποσοστά CO₂, καθιστώντας τον εξηλεκτρισμό τους μονόδρομο για τους κλιματικούς στόχους της πόλης.

Σε τοπικό επίπεδο, η βαρύτητα που έχουν τα οχήματα δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας έχει μελετηθεί εκτενώς στην ελληνική ακαδημαϊκή κοινότητα. Η σημαντική συνεισφορά αυτών των κλάσεων πετρελαιοκίνητων οχημάτων (λεωφορεία, ταξί, βαρέα οχήματα διανομών/αποκομιδής) στη συνολική ατμοσφαιρική ρύπανση αναδείχθηκε ιστορικά από τους Basbas et al. (2004). Η μελέτη αυτή απέδειξε τον δυσανάλογα μεγάλο ρόλο που παίζει αυτός ο συγκριτικά μικρός –αριθμητικά– στόλος στην επιβάρυνση του αστικού κέντρου της Θεσσαλονίκης. Παράλληλα, τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά των εκπομπών των συγκεκριμένων οχημάτων τεκμηριώθηκαν στις θεμελιώδεις έρευνες των Tsilingiridis et al. (2002).

Το φαινόμενο των «Αστικών Χαράδρων» (Urban Canyons) και η Διασπορά των Ρύπων

Τα οχήματα κοινής ωφέλειας, όπως τα λεωφορεία του ΟΑΣΘ και τα ταξί, κινούνται στους κεντρικούς άξονες της πόλης, όπου αναπτύσσεται το φαινόμενο της «αστικής χαράδρας» (urban canyon). Σύμφωνα με τη θεμελιώδη έρευνα της ερευνητικής ομάδας του Καθ. Ν. Μουτσιόπουλου στο ΑΠΘ, όταν ο αέρας ρέει κάθετα προς τον άξονα οδών με ψηλά κτίρια, αναπτύσσεται ένας κλειστός κατακόρυφος στρόβιλος ανακυκλοφορίας (recirculation vortex) (Assimakopoulos et al., 2003) όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

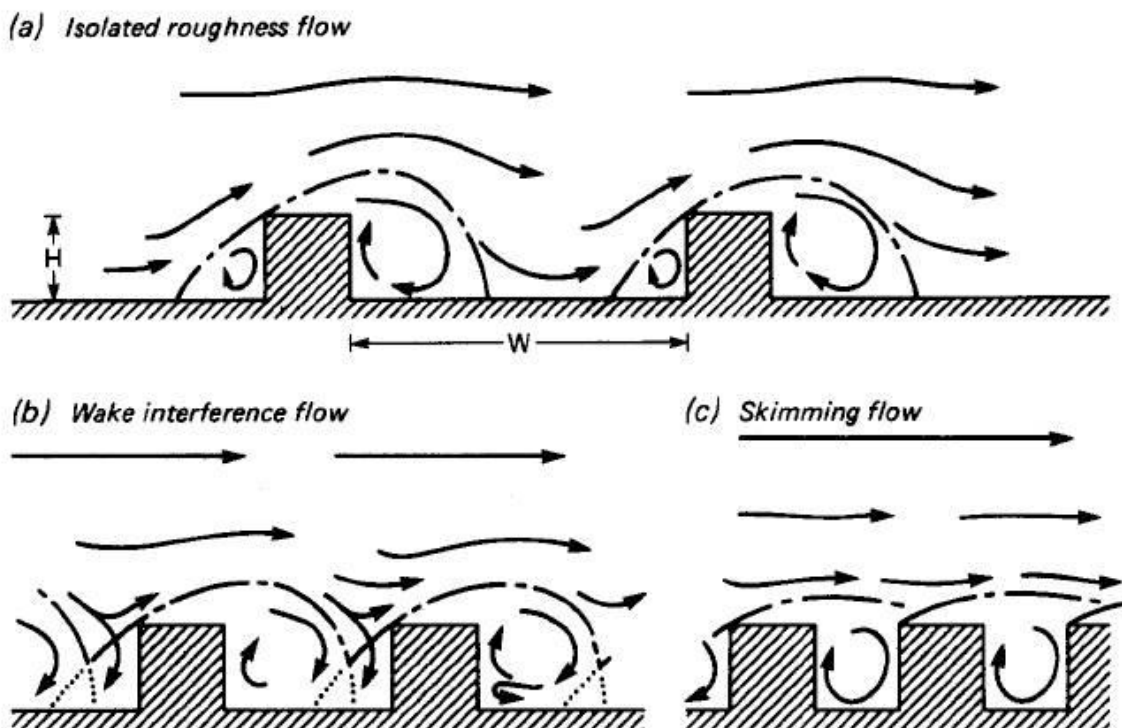


Fig. 1. The flow regimes associated with air flow over building arrays of increasing H/W .

Εικόνα 1: Το φαινόμενο των Αστικών Χαραδρών (Πηγή: Oke, 1988)

Αυτός ο στρόβιλος δρα ως "περιβαλλοντική παγίδα". Τα καυσαέρια που εκλύονται από τις συχνές στάσεις των λεωφορείων και των ταξί εγκλωβίζονται, οδηγώντας σε συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα όρια ασφαλείας. Έρευνες καταδεικνύουν ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι συχνές μεταβολές ταχύτητας (που αποτελούν τον κανόνα για τα οχήματα δημόσιας χρήσης) πολλαπλασιάζουν δραματικά τις εκπομπές ρύπων (Zefreh & Török, 2021). Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, εντός αυτών των ρυπασμένων χαραδρών, ο λόγος NO_2/NO_x κατακρημνίζεται λόγω της αδυναμίας φωτοχημικής μετατροπής του άμεσα εκπεμπόμενου NO των κινητήρων Diesel (Chatzopoulou & Mavroidis, 2025). Η αλλαγή των κινητήρων των λεωφορείων και των ταξί σε οχήματα μηδενικών εκπομπών (ZEV) μπορεί, επομένως, να διασπάσει ριζικά αυτόν τον κύκλο εγκλωβισμού ρύπων στις κεντρικές αρτηρίες της Θεσσαλονίκης (Chen & Li, 2025).

2.1.2. Επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον

Επειδή τα οχήματα δημόσιας χρήσης διέρχονται μέσα από τις πιο πυκνοκατοικημένες ζώνες, οι ρύποι τους απελευθερώνονται κυριολεκτικά "στο ύψος της αναπνοής" των πολιτών, καθιστώντας τα το μεγαλύτερο ενιαίο περιβαλλοντικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία.

Κατευθυντήριες Οδηγίες Ποιότητας Αέρα του ΠΟΥ

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) αναθεώρησε δραστικά προς τα κάτω τις κατευθυντήριες οδηγίες του (Air Quality Guidelines) το 2021 (WHO, 2021). Αποδείχθηκε επιστημονικά ότι δεν υφίσταται "ασφαλές κατώφλι" έκθεσης στα καυσαέρια.

Ιδιαίτερη αίσθηση προκάλεσε η κατακρήμνιση του ετήσιου ορίου ασφαλείας για το NO_2 στα $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, όπως δείχνει και ο παρακάτω πίνακας (ρύπος που παράγεται κατά κόρον από παλαιότερα πετρελαιοκίνητα ταξί και λεωφορεία) (WHO, 2021).

Πίνακας 4: Σύγκριση Κατευθυντήριων Οδηγιών Ποιότητας Αέρα ΠΟΥ (2021 έναντι 2005) (Πηγή: WHO, 2021)

Ρύπος	Χρόνος Αναφοράς (Averaging Time)	Νέο Επίπεδο AQG 2021 (µg/m3)	Παλαιό Επίπεδο 2005 (µg/m3)
PM2.5	Ετήσιος Μέσος Όρος	5	10
	24-ωρη Μέση Τιμή	15	25
NO2	Ετήσιος Μέσος Όρος	10	40
	24-ωρη Μέση Τιμή	25	-

Φυσιολογία και Συνέπειες (Καρδιαγγειακά και Αναπνευστικά Νοσήματα)

Τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια (PM2.5), βασικό συστατικό των εξατμίσεων των βαρέων οχημάτων κοινής ωφέλειας, διεισδύουν βαθιά στις κυψελίδες των πνευμόνων (WHO, 2024). Η παρουσία τους προκαλεί οξειδωτικό στρες, συστηματική φλεγμονή και ταχεία εξέλιξη της αθηροσκλήρωσης. Αναπνευστικά, η χρόνια έκθεση αυξάνει τον κίνδυνο ΧΑΠ, άσθματος και καρκίνου του πνεύμονα (UCS, 2024).

Στατιστικά Πρόωρων Θανάτων στην Ευρώπη και την Ελλάδα

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (EEA, 2025) το 94-95% του αστικού πληθυσμού της ΕΕ εξακολουθεί να εκτίθεται σε επίπεδα PM2.5 άνω των ορίων του ΠΟΥ. Στην Ελλάδα, η κατάσταση παραμένει επιβαρυνμένη με χιλιάδες Πρόωρους Θανάτους ετησίως εξαιτίας του γερασμένου στόλου δημόσιας χρήσης και των μετεωρολογικών συνθηκών (EEA, 2025).

Η αναγκαιότητα άμεσης αντιμετώπισης του προβλήματος τονίζεται στην έρευνα των Progiou et al. (2023), όπου μέσω μοντέλων στη Θεσσαλονίκη επιβεβαιώθηκε ότι η επίτευξη των νομικών ορίων απαιτεί αυστηρές παρεμβάσεις τόσο στην οικιακή θέρμανση όσο και στη δραστική μείωση των εκπομπών PM και NOx από τις οδικές μεταφορές. Ο εξηλεκτρισμός των οχημάτων κοινής ωφέλειας συνιστά τον ταχύτερο και πλέον άμεσο τρόπο παρέμβασης της Πολιτείας.

2.2 Τεχνολογικό και Θεσμικό Πλαίσιο

2.2.1. Η εξέλιξη των προτύπων Euro (I έως VI) για Βαρέα Οχήματα

Είναι εξαιρετικά σημαντικό να διαχωριστεί η νομοθεσία των ελαφρών επιβατικών οχημάτων (I.X.) από αυτή των βαρέων (Heavy Duty Vehicles - HDV), στην οποία υπάγονται τα αστικά λεωφορεία και τα απορριμματοφόρα. Στα οχήματα κοινής ωφέλειας, τα πρότυπα συμβολίζονται με λατινικούς αριθμούς (Euro I έως VI) και πιστοποιείται αποκλειστικά ο κινητήρας, με τα όρια να εκφράζονται σε γραμμάρια ανά παραγόμενη κιλοβατώρα (g/kWh) (DieselNet, 2024). Ο παρακάτω πίνακας αναδεικνύει ότι από το Euro V στο Euro VI επιβλήθηκε εξαιρετικά σημαντικής τάξεως μείωση των NOx κατά ~77% και της μάζας των σωματιδίων κατά 66% (TransportPolicy, 2018).

Πίνακας 5: Εξέλιξη Ευρωπαϊκών Ορίων Εκπομπών για Κινητήρες Βαρέων Οχημάτων (Πηγή: TransportPolicy, 2018)

Πρότυπο (Έτος)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Σωματίδια PM (Μάζα, mg/kWh)
Euro III (2000)	5.45	5.0	160
Euro IV (2005)	4.0	3.5	30
Euro V (2008)	4.0	2.0	30
Euro VI (2013)	4.0	0.46	10

Για να επιτευχθούν αυτά τα όρια στους στόλους κοινής ωφέλειας, τα λεωφορεία και φορτηγά Euro VI ενσωματώνουν πλέον πολύπλοκα συστήματα όπως η Ανακυκλοφορία Καυσαερίων (EGR), η Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή (SCR) και τα Φίλτρα Σωματιδίων (DPF) (Ζέρβας & Σέμπος, 2024).

2.2.2. Ηλεκτροκίνηση στα Οχήματα Κοινής Ωφέλειας: Τεχνολογίες και Υποδομές

Παρά την πρόοδο των κινητήρων Euro VI, τα οχήματα δημόσιας χρήσης εμφανίζουν μια εγγενή αδυναμία. Σε συνθήκες συχνών στάσεων και πολύ χαμηλών ταχυτήτων εντός των πόλεων (κύκλος λειτουργίας αστικού λεωφορείου ή ταξί), η θερμοκρασία καυσαερίων πέφτει. Ο καταλύτης SCR συχνά δεν μπορεί να λειτουργήσει ("low temperature NOx penalty"), προκαλώντας τεράστιες, τοπικές εκπομπές θανάσιμων ρύπων (Mathissen et al., 2019).

Για τον λόγο αυτό, τα οχήματα κοινής ωφέλειας και δημόσιας χρήσης αποτελούν τους ιδανικότερους υποψηφίους για μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση (e-buses, e-taxis). Αφενός κινούνται σε προκαθορισμένα δρομολόγια ή έχουν συγκεκριμένες πιάτσες/αμαξοστάσια διευκολύνοντας τον σχεδιασμό των υποδομών φόρτισης, αφετέρου λειτουργούν σε συνθήκες «σταμάτα-ξεκίνα» όπου η αναγεννητική πέδηση (regenerative braking) των ηλεκτροκινητήρων ανακτά ενέργεια (Todoruț, Cordos, & Iclodean, 2020). Παράλληλα, μηδενίζουν τις τοπικές εκπομπές (Tank-to-Wheel) και εξαφανίζουν την ηχορύπανση, αναβαθμίζοντας την ποιότητα ζωής (Pietrzak & Pietrzak, 2020).

Υποδομές και Στρατηγικές Φόρτισης για Στόλους

Η εφαρμογή της ηλεκτροκίνησης στους Οργανισμούς Αστικών Συγκοινωνιών απαιτεί μια αυστηρή επιλογή στρατηγικής φόρτισης:

1. **Φόρτιση στο Αμαξοστάσιο (Depot Charging):** Το όχημα κοινής ωφέλειας φέρει ογκώδεις μπαταρίες ικανές να καλύψουν όλη τη βάρδια. Η φόρτιση γίνεται το βράδυ, ασκώντας μικρότερη πίεση στο αστικό δίκτυο ηλεκτρισμού, αλλά μειώνοντας το ωφέλιμο φορτίο (επιβάτες/απορρίμματα).
2. **Φόρτιση Ευκαιρίας (Opportunity Charging):** Ταχυφόρτιση στους τερματικούς σταθμούς λεωφορείων ή πιάτσες ταξί (μέσω παντογράφου ή υπερταχυφοριστών). Το όχημα παραμένει ελαφρύ, αλλά απαιτεί τεράστιες, δαπανηρές τοπικές αναβαθμίσεις του δικτύου ΔΕΔΔΗΕ εντός της πόλης (Angelidou et al., 2022; Karolemeas et al., 2021; Patil et al., 2022)

Η χωροθέτηση αυτών των υποδομών στην Ελλάδα (ΣΦΗΟ) αποτελεί πολύπλοκο συγκοινωνιακό ζήτημα, καθώς η γειτνίαση με συγκοινωνιακούς κόμβους και πιάτσες (transport hubs) είναι πιο κρίσιμη από τον αμιγώς ηλεκτρολογικό σχεδιασμό (Karolemeas et al., 2021). Επιπρόσθετα, σύμφωνα με την ελληνική ακαδημαϊκή βιβλιογραφία, το υψηλό αρχικό κόστος κτήσης των οχημάτων και το «άγχος αυτονομίας» παραμένουν βασικά εμπόδια (Nalmpantis et al., 2024; Angelidou et al., 2022).

2.3 Οικονομική αποτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Για να μπορέσει η Πολιτεία, ο Δήμος Θεσσαλονίκης ή οι πάροχοι ταξί να δικαιολογήσουν το τεράστιο αρχικό κόστος (CAPEX) που απαιτείται για την προμήθεια ηλεκτρικών λεωφορείων και ειδικών οχημάτων, είναι απολύτως απαραίτητο τα οφέλη προς τη δημόσια υγεία να νομιμοποιηθούν.

2.3.1. Η έννοια του Εξωτερικού Κόστους στις μεταφορές

Η θεμελιώδης αρχή στηρίζεται στην έννοια της «Εξωτερικότητας». Στην περίπτωση των ρυπογόνων οχημάτων δημόσιας χρήσης (π.χ. αστικά λεωφορεία ή απορριμματοφόρα), το ιδιωτικό λειτουργικό κόστος μετακίνησης (καύσιμα, μισθοδοσία) δεν περιλαμβάνει τις βλάβες που προκαλούνται. Η ευρύτερη κοινωνία επωμίζεται το βαρύντατο ιατρικό κόστος και την απώλεια παραγωγικότητας.

Για να διορθωθεί αυτή η αστοχία, η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί την εσωτερικοποίηση (internalization) αυτού του Εξωτερικού Κόστους (European Commission, 2020). Το εδραιωμένο εργαλείο *Handbook on the external costs of transport* επιβάλλει τη «Διαδρομή Επιπτώσεων» (Impact Pathway Approach): Καταγραφή των ακριβών Εκπομπών του στόλου → Μοντελοποίηση της Διασποράς → Υπολογισμός της Έκθεσης → Ανταπόκριση μέσω επιδημιολογικών συναρτήσεων (CRF) → Νομιμοποίηση των βλαβών (European Commission, 2020).

2.3.2. Μεθοδολογίες μετατροπής ρύπων σε αξίες

Η πλέον αμφιλεγόμενη παράμετρος είναι η κοστολόγηση της ανθρώπινης ζωής, η οποία γίνεται στην περιβαλλοντική οικονομία μέσω τριών αλληλένδετων δεικτών:

1. **WTP (Willingness to Pay - Προθυμία Πληρωμής):** Το ποσό που προτίθεται να πληρώσει ένα άτομο για τη μείωση του κινδύνου ασθένειας (Denant-Boemont & Hammiche, 2019).
2. **VSL (Value of a Statistical Life):** Η μακροοικονομική αξία της Στατιστικής Ζωής (Kniesner & Viscusi, 2019).
3. **VOLY (Value of a Life Year):** Η νομισματική αξία ενός επιπλέον Έτους Ζωής με φυσιολογική υγεία (Markiewicz, 2021).

Για την Ελλάδα, η διεξοδική εργασία του Χ. Βλαχοκώστα (ΑΠΘ) εκτίμησε άμεσα το WTP και το VOLY για την πόλη της Θεσσαλονίκης, μέσω μεθόδων Εξαρτημένης Εκτίμησης (Contingent Valuation) (Vlachokostas et al., 2011). Η μέση προθυμία πληρωμής (WTP) των κατοίκων της Θεσσαλονίκης για την αποφυγή απώλειας ενός έτους ζωής υπολογίστηκε σε 920 €/έτος, παράγοντας μια τιμή VOLY της τάξεως των 41.000 € (Vlachokostas et al., 2011).

Παράλληλα, η ερευνητική ομάδα του ΑΠΘ έχει αναπτύξει Ολοκληρωμένα Συστήματα Υποστήριξης (Decision Support Systems), αποδεικνύοντας ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός προϋποθέτει τον

συγκερασμό μοντέλων με τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού (Vlachokostas et al., 2009). Έτσι, παρεμβάσεις όπως η αντικατάσταση του ρυπογόνου στόλου κοινής ωφέλειας, μπορούν να αξιολογηθούν με αυστηρούς όρους (Cost-Benefit Analysis).

Αυτά τα επιστημονικά δεδομένα (τόσο η γνώση για την παραγωγή και διασπορά των ρύπων στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, όσο και οι δείκτες νομιματοποίησης VOLY) δημιουργούν το απόλυτο θεωρητικό θεμέλιο. Πάνω σε αυτό το θεμέλιο θα βασιστεί η ανάλυση του Κεφαλαίου 4, προκειμένου να αποδειχθεί ποσοτικά και οικονομικά το όφελος από τη μετάβαση των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας της Θεσσαλονίκης στην ηλεκτροκίνηση.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει τη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την ποσοτική αποτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας στη Θεσσαλονίκη και για τη διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση. Η μεθοδολογία οργανώνεται σε τέσσερις βασικούς άξονες: τον καθορισμό της περιοχής μελέτης, τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων, την επιλογή της μεθόδου υπολογισμού των εκπομπών και τον σχεδιασμό των σεναρίων εξέλιξης του στόλου.

Η συνολική λογική του κεφαλαίου στηρίζεται σε προσέγγιση activity-based για τον υπολογισμό εκπομπών, σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική των απογραφών οδικών μεταφορών, όπου οι εκπομπές εκτιμώνται ως συνάρτηση των δραστηριοτήτων κυκλοφορίας και των αντίστοιχων συντελεστών εκπομπής. Η προσέγγιση αυτή είναι συμβατή με το EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 και με τη λογική του μοντέλου COPERT, το οποίο αποτελεί το ευρέως χρησιμοποιούμενο ευρωπαϊκό εργαλείο υπολογισμού εκπομπών από οδικές μεταφορές (EEA, 2023).

3.1. Περιοχή Μελέτης

Το πεδίο έρευνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρώνεται στον Δήμο Θεσσαλονίκης. Η επιλογή αυτής της περιοχής ως βασικού άξονα ανάλυσης οφείλεται στην υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, την έντονη δραστηριότητα και τη σημαντική κυκλοφοριακή επιβάρυνση που παρατηρείται εντός των ορίων του. Ο δημοτικός στόλος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην καθημερινή λειτουργία της πόλης, ενώ η συγκέντρωση αυξημένων περιβαλλοντικών πιέσεων και οι συχνές μετακινήσεις οχημάτων σε επαναλαμβανόμενες διαδρομές καθιστούν τον αστικό ιστό της περιοχής ιδανικό για τη διεξαγωγή της μελέτης.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα οχήματα κοινής ωφέλειας και στις υπηρεσιακές μονάδες που τελούν υπό τη διαχείριση του Δήμου Θεσσαλονίκης. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει απορριμματοφόρα, σάρωθρα, πλυντήρια κάδων και υπηρεσιακά επιβατικά, καθώς και ημιφορτηγά ή άλλα οχήματα ειδικής χρήσης. Η ανάλυση ενσωματώνει επίσης τα αστικά λεωφορεία, δεδομένου ότι το συγκοινωνιακό έργο των συγκεκριμένων μέσων επηρεάζει άμεσα το περιβάλλον της πόλης. Η ύπαρξη διαθέσιμων δεδομένων επιτρέπει την ουσιαστική ποσοτική αξιολόγηση της συμβολής τους στην επιβάρυνση του ιστού.

Ο στόλος των ταξί εξετάζεται ως διακριτή κατηγορία δημόσιας χρήσης λόγω της διαρκούς παρουσίας του στο οδικό δίκτυο. Η αξιολόγηση της δραστηριότητας των ταξί βασίζεται στον συνδυασμό των διαθέσιμων συγκεντρωτικών δεδομένων με τις απαραίτητες τεκμηριωμένες παραδοχές. Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει την επάρκεια της έρευνας και αποφεύγει την υιοθέτηση ατεκμηρίωτων γενικεύσεων. Η μελέτη του συνόλου αυτών των κατηγοριών αναδεικνύει τις προκλήσεις και τις ανάγκες του συγκοινωνιακού συστήματος της Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 2: Χάρτης της περιοχής μελέτης με έμφαση στον Δήμο Θεσσαλονίκης και στα βασικά σημεία αναφοράς της ανάλυσης. Πηγή: ιδία επεξεργασία σε GIS.

Συνεπώς, η παρούσα Διπλωματική Εργασία δεν επιδιώκει την πλήρη απογραφή όλων των πηγών ρύπανσης της Θεσσαλονίκης, αλλά εστιάζει σε εκείνες τις κατηγορίες οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας που επιβαρύνουν ουσιαστικά τον αστικό ιστό του Δήμου Θεσσαλονίκης και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αξιολόγηση σεναρίων μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση.

3.2. Διαδικασία Συλλογής και Επεξεργασίας Δεδομένων

Η ποιότητα των αποτελεσμάτων συνδέεται άμεσα με την πληρότητα, τη συνέπεια και την ομογενοποίηση των εισερχόμενων δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, η συλλογή των στοιχείων οργανώθηκε με τρόπο που να επιτρέπει τη σύνθεση ετερογενών πηγών σε ενιαία βάση ανάλυσης. Οι βασικές κατηγορίες πηγών περιλαμβάνουν:

1. επίσημα στατιστικά στοιχεία για τον στόλο οχημάτων,
2. στοιχεία που ζητήθηκαν ή αντλήθηκαν από αρμόδιους φορείς λειτουργίας και διαχείρισης στόλων,
3. τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά οχημάτων,
4. δεδομένα δραστηριότητας, όπως ετήσια χιλιόμετρα ή επιχειρησιακή χρήση, και
5. στοιχεία υποβάθρου σχετικά με την ποιότητα αέρα και το κανονιστικό πλαίσιο.

Ως βασικές πηγές δεδομένων αξιοποιούνται ο ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ για τα στοιχεία του στόλου και του συγκοινωνιακού έργου των αστικών λεωφορείων, ο Δήμος Θεσσαλονίκης για τα στοιχεία του δημοτικού στόλου, η ΕΛΣΤΑΤ για συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία υποστηρικτικού χαρακτήρα, το ΥΠΕΝ και η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας για τα στοιχεία ποιότητας ατμόσφαιρας, καθώς και διαθέσιμα συγκεντρωτικά στοιχεία για τον στόλο των ταξί. Στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πλήρης πρωτογενής πληροφορία, αξιοποιούνται τεκμηριωμένες παραδοχές και σχετική βιβλιογραφία για τη συμπλήρωση των αναγκαίων μεταβλητών.

Τα δεδομένα που αναζητήθηκαν ανά κατηγορία οχήματος περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστον:

- κατηγορία οχήματος,
- τύπο καυσίμου,
- κατηγορία τεχνολογίας ή πρότυπο εκπομπών Euro,
- έτος πρώτης κυκλοφορίας όπου δεν ήταν διαθέσιμη άμεσα η κατηγορία Euro,
- αριθμό οχημάτων,
- ετήσια χιλιομετρική απόσταση ή άλλη μεταβλητή λειτουργικής δραστηριότητας,
- τυχόν πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως μικτό βάρος ή κυβισμό, όπου αυτό απαιτείται.

Η χρήση του **έτους πρώτης κυκλοφορίας** ως υποκατάστατου της κατηγορίας Euro κρίνεται μεθοδολογικά αποδεκτή όταν απουσιάζει απευθείας πληροφορία για την αντιρρυπαντική τεχνολογία, υπό την προϋπόθεση ότι η αντιστοίχιση βασίζεται στο ισχύον ευρωπαϊκό θεσμικό χρονοδιάγραμμα εφαρμογής των προτύπων. Η πρακτική αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε απογραφές εκπομπών όταν τα πρωτογενή δεδομένα είναι ελλιπή.

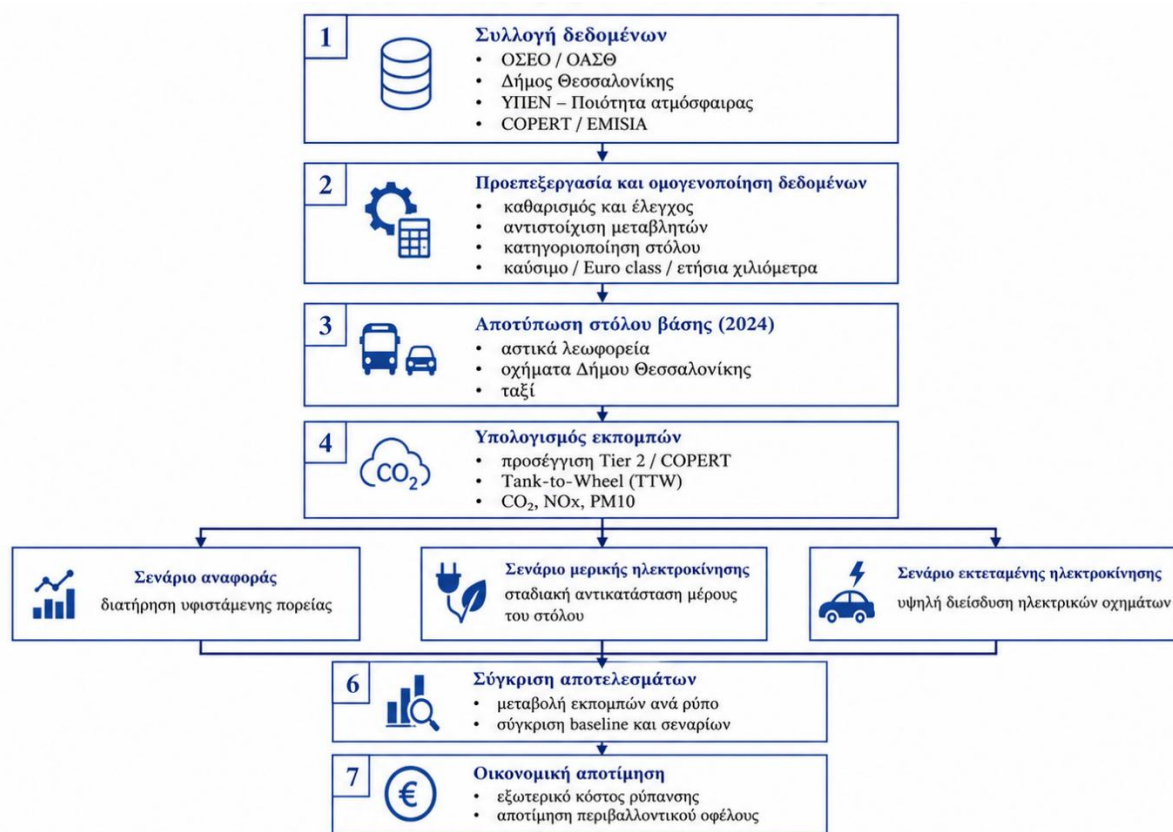
Μετά τη συλλογή τους, τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε διαδικασία προεπεξεργασίας που περιλάμβανε:

- έλεγχο πληρότητας,
- τυποποίηση ονοματολογίας,
- ενοποίηση μονάδων μέτρησης,
- αντιστοίχιση κατηγοριών οχημάτων,
- αποφυγή διπλοεγγραφών,
- τεκμηρίωση παραδοχών για ελλείπουσες τιμές.

Η προεπεξεργασία αυτή είναι αναγκαία, διότι οι επιμέρους φορείς τηρούν τα στοιχεία τους με διαφορετική διοικητική λογική και όχι με μορφή άμεσα αξιοποιήσιμη για περιβαλλοντική απογραφή. Ως εκ τούτου, η δημιουργία ομογενοποιημένου πίνακα εισροών αποτελεί κρίσιμο στάδιο της μεθοδολογίας.

Με στόχο τη συστηματική αποτύπωση της ερευνητικής διαδικασίας, η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας οργανώνεται σε διαδοχικά στάδια που εκκινούν από τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων, συνεχίζουν με την αποτύπωση του στόλου βάσης και τον υπολογισμό των εκπομπών, και ολοκληρώνονται με τη διαμόρφωση σεναρίων μετάβασης και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η

συνολική ροή της μεθοδολογικής προσέγγισης παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας της έρευνας. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3, η μεθοδολογία ακολουθεί μια συνεκτική διαδοχή βημάτων. Αρχικά πραγματοποιείται η συγκέντρωση και τυποποίηση των απαιτούμενων δεδομένων. Στη συνέχεια αποτυπώνεται ο στόλος βάσης και εκτιμώνται οι εκπομπές του έτους αναφοράς. Έπειτα διαμορφώνονται εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης του στόλου, τα οποία συγκρίνονται ως προς τη μεταβολή των εκπομπών και, σε επόμενο στάδιο της εργασίας, ως προς το περιβαλλοντικό και οικονομικό όφελος. Στο πλαίσιο αυτό, οι πίνακες που ακολουθούν συνοψίζουν τις βασικές πηγές δεδομένων, τις απαιτούμενες μεταβλητές ανά κατηγορία οχήματος και τους κανόνες επεξεργασίας που εφαρμόζονται για την ομογενοποίηση των στοιχείων. Η παρουσίασή τους αποσκοπεί στη σαφή τεκμηρίωση της βάσης δεδομένων πάνω στην οποία στηρίζεται ο υπολογισμός των εκπομπών και η ανάπτυξη των σεναρίων μετάβασης.

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει συνοπτικά τις κύριες πηγές δεδομένων που αξιοποιούνται στην παρούσα εργασία, καθώς και τον ρόλο κάθε πηγής στη μεθοδολογική διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό αποσαφηνίζεται η συνεισφορά κάθε φορέα τόσο στην αποτύπωση του στόλου βάσης όσο και στην τεκμηρίωση της ανάλυσης.

Πίνακας 6: Πηγές δεδομένων και τύπος πληροφορίας ανά φορέα.

Πηγή / Φορέας	Κατηγορία δεδομένων	Βασικές Μεταβλητές	Ρόλος στην ανάλυση
ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ	Στόλος αστικών λεωφορείων και συγκοινωνιακό έργο	τύπος οχήματος, καύσιμο, έτος πρώτης κυκλοφορίας, τεχνολογία εκπομπών, γραμμή, ετήσια χιλιόμετρα	αποτύπωση στόλου βάσης και υπολογισμός εκπομπών λεωφορείων
Δήμος Θεσσαλονίκης	Οχήματα κοινής ωφέλειας και υπηρεσιακά οχήματα	κατηγορία οχήματος, χρήση, καύσιμο, έτος πρώτης κυκλοφορίας, μικτό βάρος ή κυβισμός, αριθμός οχημάτων	απογραφή και περιβαλλοντική αποτίμηση δημοτικού στόλου
Taxiway / διαθέσιμα συγκεντρωτικά στοιχεία	Στοιχεία στόλου ταξί	τύπος καυσίμου, κατηγορία Euro ή έτος πρώτης κυκλοφορίας, κυβισμός, μέσο ετήσιο χιλιομετρικό έργο	εκτίμηση εκπομπών στόλου ταξί με χρήση διαθέσιμων στοιχείων και παραδοχών
ΕΛΣΤΑΤ	Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία στόλου	πλήθος οχημάτων ανά κατηγορία και χρήση, δημόσια/ιδιωτική χρήση, στοιχεία για Θεσσαλονίκη	έλεγχος μεγέθους στόλου και υποστηρικτική στατιστική τεκμηρίωση
ΥΠΕΝ / ΠΚΜ	Ποιότητα ατμόσφαιρας	Σταθμοί ρύποι, συγκεντρώσεις, υπερβάσεις	περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης της ποιότητας αέρα
COPERT / EMISIA	Μεθοδολογικό πλαίσιο	activity data, emission factors, δομή εισόδων/εξόδων	τεκμηρίωση της μεθοδολογίας υπολογισμού εκπομπών

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 6, η μεθοδολογία βασίζεται σε συνδυασμό πρωτογενών και δευτερογενών πηγών. Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα στοιχεία του ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ και του Δήμου Θεσσαλονίκης, καθώς αποτελούν τον βασικό πυρήνα της ποσοτικής αποτύπωσης του στόλου. Παράλληλα, τα διαθέσιμα συγκεντρωτικά στοιχεία για τα ταξί, σε συνδυασμό με τις επίσημες πηγές ποιότητας αέρα και το μεθοδολογικό πλαίσιο COPERT / EMISIA, επιτρέπουν τη συγκρότηση ενός ενιαίου πλαισίου ανάλυσης.

Ο Πίνακας 7 εξειδικεύει τις βασικές απαιτήσεις δεδομένων ανά κατηγορία οχήματος και αποτυπώνει τον βαθμό διαθεσιμότητας των κύριων μεταβλητών που απαιτούνται για την ανάλυση. Η παρουσίαση αυτή είναι κρίσιμη, καθώς αναδεικνύει τα σημεία στα οποία η μελέτη βασίζεται σε πλήρη πρωτογενή στοιχεία και εκείνα στα οποία απαιτούνται τεκμηριωμένες παραδοχές.

Πίνακας 7: Ομογενοποιημένος πίνακας απαιτήσεων δεδομένων ανά κατηγορία οχήματος.

Κατηγορία οχήματος	Υποκατηγορία	Πλήθος οχημάτων	Καύσιμο	Κατηγορία Euro / Έτος κυκλοφορίας 1ης	Κυβισμός / Μικτό βάρος	Ετήσια χιλιόμετρα	Πηγή
Αστικά λεωφορεία	12m, 18m, mini bus, ηλεκτρικά	διαθέσιμο	διαθέσιμο	διαθέσιμο μερικώς / συμπλήρωση όπου απαιτείται	διαθέσιμο μερικώς	διαθέσιμο	ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ
Ταξί	Επιβατικά δημόσιας χρήσης	διαθέσιμο συγκεντρωτικά / εκτίμηση	διαθέσιμο μερικώς	εκτίμηση από διαθέσιμα στοιχεία ή έτος 1ης κυκλοφορίας	διαθέσιμο μερικώς	εκτίμηση με παραδοχές	Taxiway / ΕΛΣΤΑΤ / λοιπά συγκεντρωτικά στοιχεία
Δημοτικά βαρέα οχήματα	Απορριμματοφόρα, σάρωθρα, πλυντήρια κάδων	διαθέσιμο	διαθέσιμο μερικώς	διαθέσιμο / συμπλήρωση όπου απαιτείται	διαθέσιμο	διαθέσιμο μερικώς / εκτίμηση όπου απαιτείται	Δήμος Θεσσαλονίκης
Δημοτικά ελαφρά οχήματα	ημιφορτηγά, van, υπηρεσιακά επιβατηγά	διαθέσιμο	διαθέσιμο	διαθέσιμο / έτος 1ης κυκλοφορίας	διαθέσιμο μερικώς	εκτίμηση όπου απαιτείται	Δήμος Θεσσαλονίκης
Δίκυκλα / ειδικά οχήματα	δίκυκλα και λοιπά ειδικής χρήσης	διαθέσιμο	διαθέσιμο μερικώς	διαθέσιμο μερικώς	δεν απαιτείται σε όλες τις περιπτώσεις	εκτίμηση όπου απαιτείται	Δήμος Θεσσαλονίκης

Από τον Πίνακα 7 προκύπτει ότι η πληρότητα των δεδομένων δεν είναι ομοιόμορφη για όλες τις κατηγορίες στόλου. Τα αστικά λεωφορεία και τα οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης διαθέτουν ισχυρότερη τεκμηρίωση, ενώ για την κατηγορία των ταξί απαιτείται μεγαλύτερη εξάρτηση από συγκεντρωτικά στοιχεία και παραδοχές. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η ρητή καταγραφή των κανόνων επεξεργασίας και αντιστοίχισης ελλιπών δεδομένων, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.

Ο Πίνακας 8 συνοψίζει τους βασικούς κανόνες που εφαρμόζονται κατά την επεξεργασία ελλιπών ή ανομοιογενών στοιχείων. Οι κανόνες αυτοί αποτελούν αναγκαίο μέρος της μεθοδολογικής προσέγγισης, καθώς διασφαλίζουν διαφάνεια, συνέπεια και συγκρισιμότητα μεταξύ των επιμέρους κατηγοριών οχημάτων.

Πίνακας 8: Κανόνες επεξεργασίας και αντιστοίχισης ελλιπών στοιχείων.

Είδος έλλειψης	Τρόπος αντιμετώπισης	Μεθοδολογική παρατήρηση
Δεν υπάρχει κατηγορία Euro	χρήση έτους πρώτης κυκλοφορίας	η αντιστοίχιση γίνεται βάσει της περιόδου εφαρμογής των ευρωπαϊκών προτύπων
Δεν υπάρχει ενιαία ονοματολογία τύπου οχήματος	Ομαδοποίηση σε κοινές κατηγορίες	Εξασφαλίζεται συγκρισιμότητα μεταξύ των φορέων
Δεν υπάρχουν ακριβή ετήσια χιλιόμετρα	χρήση διαθέσιμων λειτουργικών στοιχείων ή μέσης τιμής ανά κατηγορία	η παραδοχή δηλώνεται ρητά στη μεθοδολογία
Υπάρχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης	Μετατροπή σε κοινές μονάδες	km/έτος, tn, cc, αριθμός οχημάτων
Υπάρχουν επαναλαμβανόμενες ή ασαφείς εγγραφές	Έλεγχος, καθαρισμός και ενοποίηση	Προηγείται της τελικής ανάλυσης

Η συνδυαστική αξιοποίηση των παραπάνω πηγών, μεταβλητών και κανόνων επεξεργασίας επιτρέπει τη συγκρότηση ενός ενιαίου συνόλου εισροών για τον υπολογισμό των εκπομπών. Στο επόμενο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών που εφαρμόζεται στο έτος βάσης και στα εξεταζόμενα σενάρια μετάβασης.

3.3. Μεθοδολογία Υπολογισμού Εκπομπών

Για τον υπολογισμό των εκπομπών επιλέγεται μεθοδολογική προσέγγιση **Tier 2**, με χρήση συντελεστών εκπομπής ανά κατηγορία οχήματος, καύσιμο και τεχνολογία. Η επιλογή αυτή είναι συμβατή με τις κατευθύνσεις του **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023**, σύμφωνα με το οποίο η εκτίμηση εκπομπών από οδικές μεταφορές μπορεί να βελτιώνεται ουσιαστικά όταν συνδυάζονται αναλυτικότερα στοιχεία στόλου και δραστηριότητας με κατάλληλους συντελεστές εκπομπής.

Παράλληλα, η λογική της ανάλυσης είναι συμβατή με το **COPERT**, το οποίο αποτελεί το καθιερωμένο ευρωπαϊκό υπολογιστικό πλαίσιο για εκπομπές από οδικές μεταφορές και βασίζεται σε παραμέτρους όπως τύπος οχήματος, κατηγορία Euro, είδος καυσίμου, ταχύτητα και δραστηριότητα κίνησης. Η επιλογή της προσέγγισης Tier 2 βασίζεται στη μορφή και στο επίπεδο ανάλυσης των διαθέσιμων δεδομένων. Η παρούσα εργασία διαθέτει στοιχεία για το πλήθος των οχημάτων, την κατηγορία στόλου, το καύσιμο, την αντιρρυπαντική τεχνολογία ή το έτος πρώτης κυκλοφορίας και την ετήσια χιλιομετρική δραστηριότητα. Τα στοιχεία αυτά επαρκούν για την εφαρμογή αναλυτικότερης μεθόδου από μια γενική Tier 1 προσέγγιση, καθώς επιτρέπουν τη διαφοροποίηση των συντελεστών εκπομπής ανά τύπο οχήματος και τεχνολογία.

Αντίθετα, η εφαρμογή προσέγγισης Tier 3 θα απαιτούσε πληρέστερα και πιο λεπτομερή δεδομένα, όπως αναλυτική πληροφορία ανά όχημα, διαδρομή, οδικό τμήμα, ταχύτητα, κυκλοφοριακή συνθήκη και χρονική περίοδο. Τέτοια δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα με ενιαίο και συγκρίσιμο τρόπο για το σύνολο των εξεταζόμενων κατηγοριών, δηλαδή τα αστικά λεωφορεία, τα ταξί και τα οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης. Για τον λόγο αυτό, η Tier 2 προσέγγιση θεωρείται η καταλληλότερη για την παρούσα ανάλυση, καθώς εξασφαλίζει ικανοποιητικό επίπεδο λεπτομέρειας χωρίς να εισάγει βαθμό ακρίβειας που δεν υποστηρίζεται από τα διαθέσιμα δεδομένα.

Η βασική εξίσωση του υπολογισμού μπορεί να αποδοθεί ως εξής:

$$E_{i,j} = N_{i,j} \times VKT_{i,j} \times EF_{i,j}$$

όπου:

- $E_{i,j}$ = συνολικές εκπομπές ρύπου για την κατηγορία οχήματος i και τεχνολογίας j ,
- $N_{i,j}$ = αριθμός οχημάτων,
- $VKT_{i,j}$ = ετήσια διανυόμενα χιλιόμετρα ανά όχημα,
- $EF_{i,j}$ = συντελεστής εκπομπής ανά χιλιόμετρο.

Στην παρούσα εργασία το όριο ανάλυσης για τα συμβατικά οχήματα ορίζεται πρωτίστως σε επίπεδο **Tank-to-Wheel (TTW)**, δηλαδή στις άμεσες εκπομπές κατά τη χρήση του οχήματος. Η επιλογή αυτή είναι κατάλληλη για τη σύγκριση του υφιστάμενου στόλου με σενάρια εξηλεκτρισμού ως προς την τοπική ατμοσφαιρική επιβάρυνση. Σε μεταγενέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι δυνατό να

συζητηθεί και η ευρύτερη διάσταση **Well-to-Wheel**, ιδίως για τα ηλεκτρικά οχήματα, χωρίς όμως να αλλοιώνεται το βασικό συγκριτικό πλαίσιο των τοπικών εκπομπών (EEA, 2023).

Οι ρύποι που εξετάζονται στην παρούσα εργασία είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} και οι μη μεθανιούχες πτητικές οργανικές ενώσεις (NMVOC). Η επιλογή των ρύπων αυτών καλύπτει τόσο το κλιματικό αποτύπωμα των μεταφορών, μέσω του CO₂, όσο και βασικούς ρύπους τοπικής ατμοσφαιρικής επιβάρυνσης που συνδέονται με την ποιότητα του αέρα και τις επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Τα NMVOC περιλαμβάνονται στην ανάλυση, καθώς αποτελούν βασική κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων στις απογραφές οδικών μεταφορών και μπορούν να υπολογιστούν με την ίδια λογική συντελεστών εκπομπής ανά κατηγορία οχήματος, καύσιμο και τεχνολογία. Η έμφαση στα PM, NMVOC και στο NO₂/NO_x είναι συνεπής με τη σύγχρονη βιβλιογραφία και τις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ για την προστασία της δημόσιας υγείας (WHO, 2021).

Σε περιπτώσεις όπου δεν ήταν διαθέσιμα πλήρη πρωτογενή δεδομένα, εφαρμόζονται τεκμηριωμένες παραδοχές. Ειδικότερα:

- όταν απουσιάζει η κατηγορία Euro, χρησιμοποιείται το έτος πρώτης κυκλοφορίας,
- όταν απουσιάζουν ακριβή χιλιόμετρα, χρησιμοποιούνται μέσες τιμές λειτουργικής δραστηριότητας ανά κατηγορία,
- όταν υπάρχει μόνο συγκεντρωτικό πλήθος στόλου, επιχειρείται επιμερισμός με βάση τη διαθέσιμη τεχνική πληροφορία ή τη σχετική βιβλιογραφία.

Οι παραδοχές αυτές καταγράφονται ρητά ώστε να διατηρείται η διαφάνεια της ανάλυσης και να είναι εφικτή η κριτική αποτίμηση των αποτελεσμάτων. Η συστηματική τεκμηρίωση της αβεβαιότητας αποτελεί βασικό στοιχείο των απογραφών εκπομπών και είναι σύμφωνη με τη σχετική ευρωπαϊκή μεθοδολογική πρακτική (EEA, 2023).

Πίνακας 9: Μεταβλητές εισόδου για τον υπολογισμό εκπομπών ανά κατηγορία οχήματος

Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδα
(N)	Αριθμός οχημάτων ανά κατηγορία	οχήματα
(VKT)	Ετήσια διανυόμενη απόσταση ανά όχημα	km/έτος
(EF)	Συντελεστής εκπομπής ανά όχημα και ρύπο	g/km
(E)	Συνολικές εκπομπές ανά κατηγορία και ρύπο	g/έτος ή t/έτος
Fuel	Τύπος καυσίμου	Κατηγορική μεταβλητή
Euro	Κατηγορία αντιρρυπαντικής τεχνολογίας	Κατηγορική μεταβλητή
Vehicle class	Κατηγορία / υποκατηγορία οχήματος	Κατηγορική μεταβλητή

Πίνακας 10: Ρύποι που εξετάζονται στην ανάλυση και αιτιολόγηση επιλογής τους.

Ρύπος	Συμβολισμός	Λόγος επιλογής
Διοξείδιο του	CO ₂	Δείκτης κλιματικού αποτυπώματος

άνθρακα		
Οξείδια του αζώτου	NO _x	Στενή σύνδεση με οδική κυκλοφορία και αστική ρύπανση
Αιωρούμενα σωματίδια	PM ₁₀	Σημαντικός δείκτης ποιότητας αέρα και επιπτώσεων στην υγεία
Λεπτά αιωρούμενα σωματίδια	PM _{2.5}	Υψηλή σημασία για την ανθρώπινη υγεία και την οικονομική αποτίμηση εξωτερικού κόστους
Μη μεθανιούχες πτητικές οργανικές ενώσεις	NM _{VOC}	Βασικός ατμοσφαιρικός ρύπος των οδικών μεταφορών, σχετικός με τη χημεία της ατμόσφαιρας και τη μεθοδολογία απογραφών εκπομπών

Για τις κατηγορίες στόλου για τις οποίες δεν ήταν διαθέσιμα πλήρη πρωτογενή στοιχεία ετήσιας χιλιομετρικής δραστηριότητας ανά όχημα, η εκτίμηση της μεταβλητής VKT δεν βασίστηκε σε αυθαίρετες αριθμητικές παραδοχές, αλλά σε στοχευμένη βιβλιογραφική και τεχνική επισκόπηση. Ειδικότερα, για τον δημοτικό στόλο του Δήμου Θεσσαλονίκης συγκεντρώθηκαν εύρη τιμών από επίσημες τεχνικές μελέτες, δημοτικά σχέδια και ακαδημαϊκές δημοσιεύσεις για συγκρίσιμες κατηγορίες οχημάτων και αστικά περιβάλλοντα. Οι τελικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση επιλέχθηκαν μετά από κριτική αξιολόγηση της συγκρισιμότητας των πηγών με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της Θεσσαλονίκης, όπως ο πυκνός αστικός ιστός, η μικρή γεωγραφική έκταση του Δήμου και η υψηλή συχνότητα στάσεων σε οχήματα καθαριότητας και τεχνικών υπηρεσιών

3.4. Καθορισμός Σεναρίων Εξέλιξης Στόλου.

Η αξιολόγηση της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση απαιτεί τη διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων, ώστε να εκτιμηθεί όχι μόνο η υφιστάμενη κατάσταση αλλά και η πιθανή εξέλιξη του στόλου υπό διαφορετικές επιλογές πολιτικής. Η «σεναριακή» προσέγγιση χρησιμοποιείται ευρέως σε μελέτες μεταφορών και περιβαλλοντικής πολιτικής, επειδή επιτρέπει τη συστηματική σύγκριση πιθανών διαδρομών μετάβασης και των συνεπειών τους. Τα σενάρια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας εφαρμόζονται στις βασικές κατηγορίες στόλου που εξετάζονται στην ανάλυση, δηλαδή στα αστικά λεωφορεία, στα οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης και, όπου τα διαθέσιμα στοιχεία το επιτρέπουν, στην κατηγορία των ταξί.

3.4.1 Σενάριο αναφοράς (Business as Usual)

Το Σενάριο Αναφοράς αποτυπώνει τη συνέχιση της υφιστάμενης κατάστασης χωρίς ουσιαστική μεταβολή στη σύνθεση του στόλου. Στο σενάριο αυτό θεωρείται ότι η ανανέωση οχημάτων παραμένει περιορισμένη και ότι οι βασικές τεχνολογικές κατηγορίες του στόλου διατηρούνται σε μεγάλο βαθμό ως έχουν, με μόνον τις αναμενόμενες μικρές προσαρμογές λόγω φυσικής απόσυρσης ή αντικατάστασης μέρους των παλαιότερων οχημάτων.

Το σενάριο αυτό λειτουργεί ως γραμμή βάσης για τη σύγκριση με τα εναλλακτικά σενάρια και επιτρέπει την εκτίμηση του βαθμού στον οποίο οι παρεμβάσεις εξηλεκτρισμού μπορούν να επιφέρουν πρόσθετο όφελος.

3.4.2 Σενάρια Ηλεκτροκίνησης

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας διαμορφώνονται δύο βασικές υποκατηγορίες σεναρίων ηλεκτροκίνησης:

α) Σενάριο Μερικής Αντικατάστασης

Στο σενάριο αυτό αντικαθίσταται ένα ποσοστό των πλέον παλαιών και ρυπογόνων οχημάτων με ηλεκτρικά οχήματα ή, όπου χρειάζεται ως ενδιάμεση λύση, με οχήματα νεότερης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Το σενάριο αυτό προσεγγίζει μια ρεαλιστική σταδιακή μετάβαση, η οποία συνδέεται με περιορισμούς κόστους, υποδομών φόρτισης και επιχειρησιακής ετοιμότητας.

β) Σενάριο Εκτεταμένης Τεχνικά Εφικτής Μετάβασης

Στο σενάριο αυτό θεωρείται εκτεταμένη, αλλά τεχνικά εφικτή, μετάβαση των εξεταζόμενων κατηγοριών στόλου στην ηλεκτροκίνηση. Το σενάριο δεν προϋποθέτει πλήρη και οριζόντια αντικατάσταση όλων των οχημάτων, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με την τεχνική και επιχειρησιακή εφικτότητα κάθε κατηγορίας. Η διαμόρφωση των σεναρίων βασίζεται κυρίως:

- στην ηλικία και την τεχνολογία του στόλου βάσης,
- στη λειτουργική καταλληλότητα των οχημάτων για ηλεκτροκίνηση,
- στην ένταση χρήσης τους στον αστικό ιστό,
- στη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων σε κοινή βάση.

Πίνακας 11: Περιγραφή σεναρίων εξέλιξης στόλου.

Σενάριο	Περιγραφή	Στόχος
Σενάριο Αναφοράς (Business as Usual)	Διατήρηση της βασικής δομής του στόλου με περιορισμένη φυσική ανανέωση	Αποτύπωση εξέλιξης χωρίς ενεργητική πολιτική ηλεκτροκίνησης
Σενάριο Μερικής Ηλεκτροκίνησης	Σταδιακή αντικατάσταση μέρους των παλαιότερων και πιο ρυπογόνων οχημάτων	Εκτίμηση ρεαλιστικού ενδιάμεσου περιβαλλοντικού οφέλους
Σενάριο εκτεταμένης, τεχνικά εφικτής μετάβασης	Ευρεία ή εκτεταμένη αντικατάσταση επιλεγμένων κατηγοριών οχημάτων από ηλεκτρικά ισοδύναμα	Εκτίμηση μέγιστου δυνητικού οφέλους σε τοπικές εκπομπές

Η δυνατότητα μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση δεν θεωρείται ίδια για όλες τις κατηγορίες οχημάτων. Τα αστικά λεωφορεία, τα ταξί και τα ελαφρά δημοτικά οχήματα αποτελούν κατηγορίες για τις οποίες η ηλεκτροκίνηση εμφανίζει υψηλότερη τεχνολογική ωριμότητα και σαφέστερη εμπορική διαθεσιμότητα. Αντίθετα, τα βαρέα και ειδικά οχήματα του δημοτικού στόλου, όπως απορριμματοφόρα, καλαθοφόρα, γερανοφόρα, βυτιοφόρα και λοιπά μηχανήματα έργου, παρουσιάζουν πρόσθετους τεχνικούς και επιχειρησιακούς περιορισμούς.

Οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονται με το ωφέλιμο φορτίο, την αυτονομία, τον κύκλο εργασίας, τη

διαθεσιμότητα κατάλληλων ηλεκτρικών ισοδύναμων, τον χρόνο φόρτισης και τις απαιτήσεις σε υποδομές. Για τον λόγο αυτό, τα σενάρια της παρούσας εργασίας δεν αντιμετωπίζουν οριζόντια όλες τις κατηγορίες οχημάτων ως άμεσα πλήρως εξηλεκτρίσιμες. Αντίθετα, η αξιολόγηση διαφοροποιείται ανάλογα με τη λειτουργική και τεχνολογική καταλληλότητα κάθε κατηγορίας. Στις περιπτώσεις όπου η πλήρης ηλεκτροκίνηση δεν θεωρείται άμεσα ρεαλιστική, εξετάζεται η δυνατότητα σταδιακής αντικατάστασης με νεότερες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες ή άλλες επιλογές χαμηλότερων εκπομπών.

Η σύγκριση των σεναρίων θα πραγματοποιηθεί στο επόμενο κεφάλαιο ως προς τις εκπομπές του έτους αναφοράς και τη μεταβολή τους υπό κάθε εναλλακτική εκδοχή. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αυτά θα τροφοδοτήσουν την περιβαλλοντική και οικονομική αποτίμηση της μετάβασης, με βάση τις αρχές της νομισματοποίησης των εξωτερικών επιπτώσεων των μεταφορών που έχουν αναπτυχθεί σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

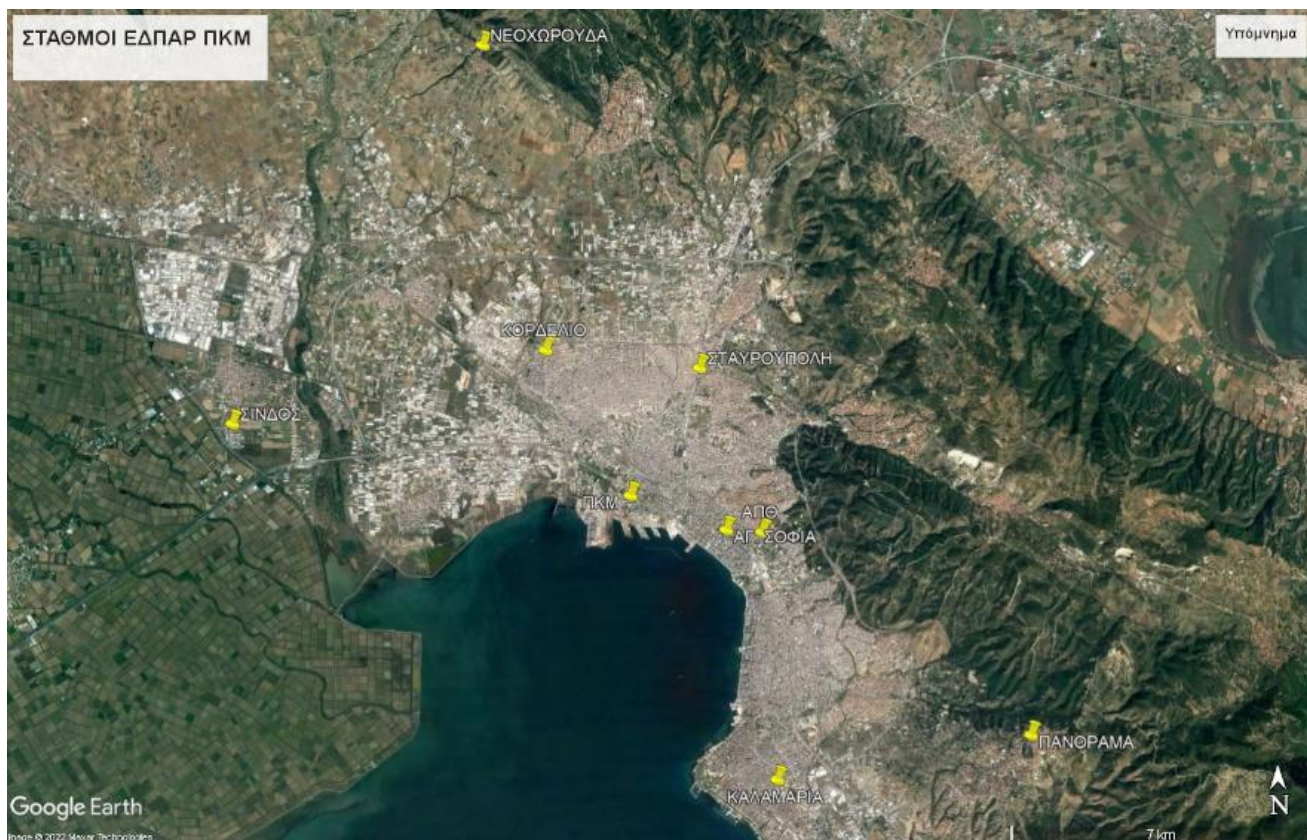
4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

4.1 Υφιστάμενη κατάσταση της ποιότητας του αέρα στη Θεσσαλονίκη

Η Θεσσαλονίκη αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αστικές περιοχές της χώρας ως προς την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς εντάσσεται στο Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ), το οποίο λειτουργεί στο πλαίσιο της εθνικής νομοθεσίας για την ποιότητα του αέρα. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας επισημαίνει ότι η λειτουργία του δικτύου αποτελεί υποχρέωση της χώρας, ενώ η ευθύνη λειτουργίας των σταθμών εκτός Αττικής ανήκει στις οικείες Περιφέρειες. Η Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024 περιλαμβάνει την ανάλυση των μετρήσεων για το 2024, καθώς και τη διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων από το 1984, παρέχοντας έτσι ένα θεσμικά κατοχυρωμένο πλαίσιο αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης (ΥΠΕΝ, 2025).

Η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης διενεργείται μέσω των σταθμών του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ). Την ευθύνη λειτουργίας των συγκεκριμένων μονάδων έχει η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, εξασφαλίζοντας τη συνεχή συλλογή δεδομένων για την περιβαλλοντική κατάσταση της πόλης. Σύμφωνα με τα μεταδεδομένα του ΕΔΠΑΡ, το 2024 στη Θεσσαλονίκη λειτουργούν οι σταθμοί Αγία Σοφία, Α.Π.Θ.-2, Πανόραμα, Καλαμαριά, Κορδελιό, Σίνδο, Νεοχωρούδα και Σταυρούπολη, ενώ καταγράφεται και ο σταθμός Π.Κ.Μ. ως σταθμός παρακολούθησης. Οι σταθμοί αυτοί καλύπτουν διαφορετικά μικροπεριβάλλοντα, όπως αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας, αστικούς ή περιαστικούς σταθμούς υποβάθρου και βιομηχανικά επηρεαζόμενες θέσεις, επιτρέποντας την αποτύπωση των χωρικών διαφοροποιήσεων της ρύπανσης στον πολεοδομικό ιστό και στην ευρύτερη περιαστική ζώνη. Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης το γεγονός ότι η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας λειτουργεί τρεις νέους σταθμούς στη Θεσσαλονίκη από το 2022, στοιχείο που ενισχύει τη δυνατότητα πληρέστερης παρακολούθησης της πόλης κατά τα τελευταία έτη.

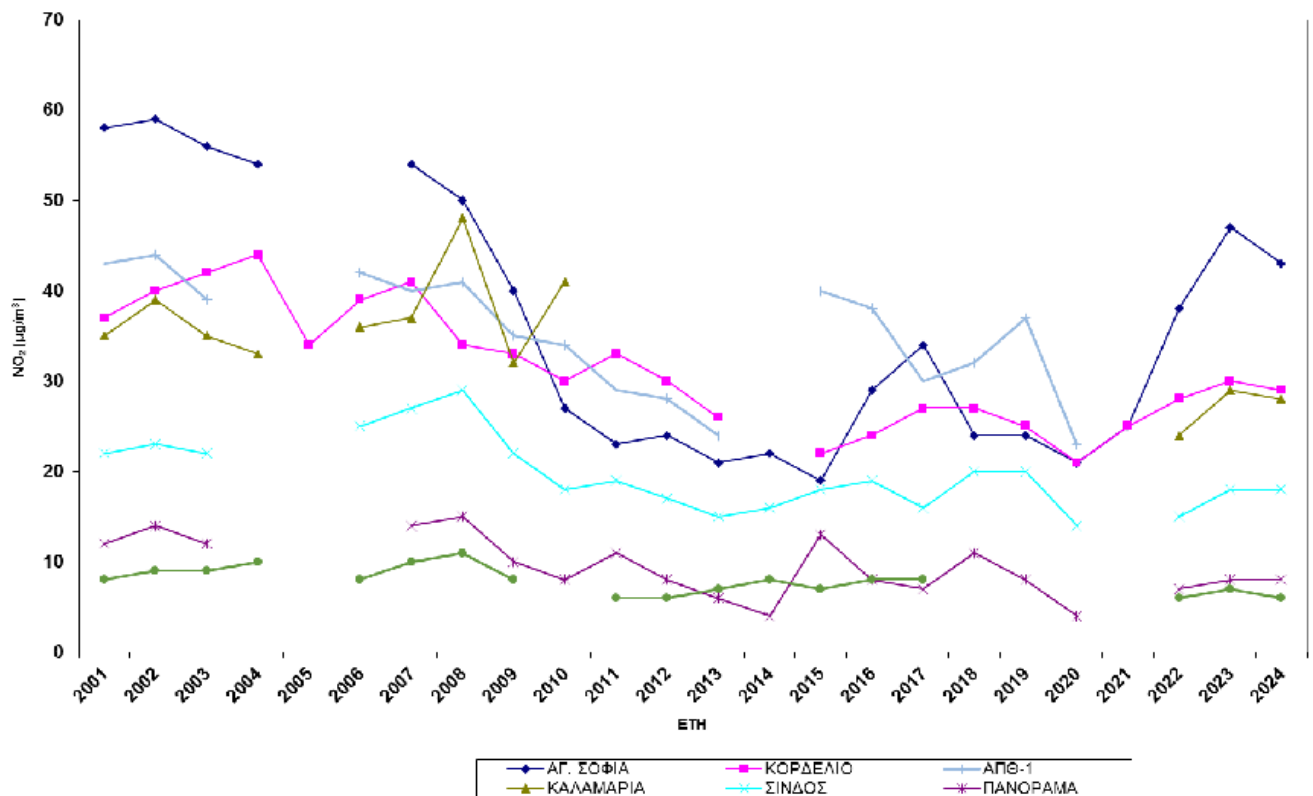
Η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης της ποιότητας του αέρα στη Θεσσαλονίκη βασίζεται στο δίκτυο σταθμών παρακολούθησης που λειτουργεί στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας στο πλαίσιο του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Η χωρική κατανομή των σταθμών είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ερμηνεία των μετρήσεων, καθώς κάθε θέση αντιστοιχεί σε διαφορετικό μικροπεριβάλλον, όπως περιοχές αστικής κυκλοφορίας, αστικού υποβάθρου, περιαστικής ή βιομηχανικής επιρροής. Η διάταξη των σταθμών στην περιοχή της Θεσσαλονίκης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Χωρική κατανομή των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Πηγή: ΥΠΕΝ, Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024, Χάρτης 1.3.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, οι σταθμοί παρακολούθησης κατανέμονται τόσο εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος όσο και στην ευρύτερη περιαστική περιοχή, επιτρέποντας την αποτύπωση διαφορετικών χωρικών εκφάνσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στη Θεσσαλονίκη λειτουργούν σταθμοί όπως η Αγία Σοφία, το Α.Π.Θ.-2, το Πανόραμα, η Καλαμαριά, το Κορδελιό, η Σίνδος, η Νεοχωρούδα και η Σταυρούπολη, ενώ ο σταθμός Π.Κ.Μ. χρησιμοποιείται ως σταθμός παρακολούθησης και όχι ελέγχου συμμόρφωσης. Η χωρική αυτή διάταξη επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ θέσεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά κυκλοφορίας και επιβάρυνσης.

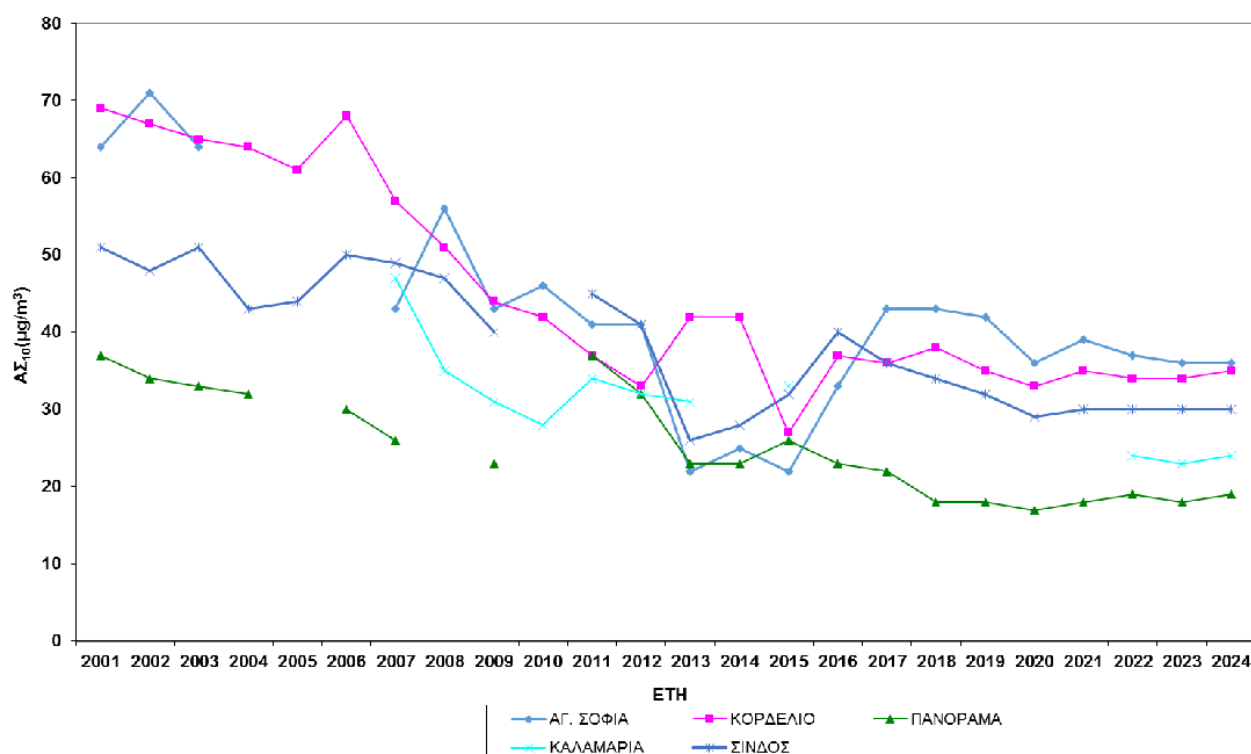
Η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου στη Θεσσαλονίκη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς ο συγκεκριμένος ρύπος συνδέεται στενά με την οδική κυκλοφορία και αποτελεί βασικό δείκτη αστικής επιβάρυνσης. Η πορεία των τιμών στους σταθμούς της Θεσσαλονίκης αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών NO₂ σε σταθμούς της Θεσσαλονίκης. Πηγή: ΥΠΕΝ, Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024, Σχήμα 2.5γ.

Όπως προκύπτει από την Εικόνα 5, οι συγκεντρώσεις NO₂ στη Θεσσαλονίκη παρουσιάζουν γενικά τάση μείωσης ή σταθεροποίησης διαχρονικά, χωρίς ωστόσο να έχει εξαλειφθεί πλήρως το πρόβλημα στις θέσεις που επηρεάζονται εντονότερα από την κυκλοφορία. Η εικόνα αυτή επιβεβαιώνεται και από τα επίσημα στοιχεία του 2024, σύμφωνα με τα οποία η Αγία Σοφία καταγράφει 43 µg/m³, ενώ οι σταθμοί Α.Π.Θ.-2 και Σταυρούπολη καταγράφουν 40 µg/m³, δηλαδή τιμές που βρίσκονται στο επίπεδο ή πάνω από την ετήσια οριακή τιμή. Συνεπώς, το NO₂ εξακολουθεί να αποτελεί βασικό ρύπο ανησυχίας για τη Θεσσαλονίκη, ιδίως σε θέσεις αστικής κυκλοφορίας.

Εκτός από το NO₂, ιδιαίτερη σημασία για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης στη Θεσσαλονίκη έχουν και τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, καθώς αποτελούν έναν από τους βασικούς ρύπους που συνδέονται με επιπτώσεις στην υγεία και εμφανίζουν συστηματικές ημερήσιες υπερβάσεις. Η διαχρονική πορεία των μέσων ετήσιων τιμών στους σταθμούς της Θεσσαλονίκης παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Διαχρονική μεταβολή μέσων ετήσιων τιμών PM10 σε σταθμούς της Θεσσαλονίκης. Πηγή: ΥΠΕΝ, Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας 2024, Σχήμα 2.7γ.

Η Εικόνα 6 δείχνει ότι οι μέσες ετήσιες τιμές PM10 στους σταθμούς της Θεσσαλονίκης ακολουθούν γενικά τάση μείωσης ή σταθεροποίησης διαχρονικά. Παρά τη βελτίωση αυτή, η επίσημη αξιολόγηση για το 2024 δείχνει ότι το πρόβλημα δεν έχει εξαλειφθεί σε επίπεδο ημερήσιων τιμών, καθώς καταγράφηκαν 51 ημέρες υπέρβασης του ημερήσιου ορίου στην Αγία Σοφία, 51 στο Κορδελίο και 46 στη Σταυρούπολη. Επομένως, για τα PM10 η ετήσια εικόνα είναι συγκριτικά ηπιότερη, αλλά οι βραχυχρόνιες αιχμές επιβάρυνσης εξακολουθούν να αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για την περιβαλλοντική αποτίμηση της πόλης.

Η συνολική αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης δείχνει, συνεπώς, ότι η Θεσσαλονίκη εξακολουθεί να αντιμετωπίζει πιέσεις από βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους, με κυριότερα ζητήματα τις ημερήσιες υπερβάσεις PM10 και τις αυξημένες ετήσιες συγκεντρώσεις NO₂ σε επιλεγμένες θέσεις αστικής κυκλοφορίας. Παράλληλα, η ύπαρξη ενός διευρυμένου δικτύου σταθμών και η διαθεσιμότητα επίσημων στοιχείων από το ΥΠΕΝ και την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας καθιστούν δυνατή την τεκμηριωμένη περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης, πάνω στην οποία μπορεί να στηριχθεί στη συνέχεια η ποσοτική ανάλυση του στόλου οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας.

Η παραπάνω αποτύπωση δείχνει ότι η Θεσσαλονίκη εξακολουθεί να αντιμετωπίζει επιβαρύνσεις από βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους, με κυριότερα ζητήματα τις αυξημένες ετήσιες συγκεντρώσεις NO₂ σε θέσεις αστικής κυκλοφορίας και τις ημερήσιες υπερβάσεις PM10. Με βάση το πλαίσιο αυτό, στο επόμενο υποκεφάλαιο εξετάζεται ο στόλος οχημάτων δημόσιας και κοινής ωφέλειας που δραστηριοποιείται στον αστικό ιστό, ώστε να αποτυπωθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του και να αποτελέσει τη βάση για την περιβαλλοντική αποτίμηση που ακολουθεί.

4.2 Ποσοτική ανάλυση στόλου οχημάτων δημόσιας και κοινής ωφέλειας

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει την ποσοτική αποτύπωση του στόλου οχημάτων δημόσιας και κοινής ωφέλειας που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Ειδικότερα, αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αστικών λεωφορείων, του στόλου του Δήμου Θεσσαλονίκης και, σε περιορισμένο βαθμό, της κατηγορίας των ταξί. Στόχος είναι η καταγραφή της σύνθεσης του στόλου βάσης ως προς το πλήθος, το καύσιμο, την ηλικία ή/και την τεχνολογία εκπομπών, ώστε να διαμορφωθεί η αναγκαία βάση για την περιβαλλοντική αποτίμηση που ακολουθεί.

4.2.1 Στόλος Αστικών Λεωφορείων

Η αποτύπωση του στόλου των αστικών λεωφορείων βασίζεται στα στοιχεία που παρασχέθηκαν από τον ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ και περιλαμβάνει τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οχημάτων όσο και στοιχεία συγκοινωνιακού έργου. Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του στόλου ως προς το πλήθος οχημάτων, το καύσιμο και το μήκος τους.

Πίνακας 12: Βασικά χαρακτηριστικά στόλου αστικών λεωφορείων. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων ΟΣΕΘ.

Δείκτης	Τιμή
Σύνολο οχημάτων	535
Πετρελαιοκίνητα λεωφορεία	425
Ηλεκτρικά λεωφορεία	110
λεωφορεία 12 m	258
λεωφορεία 18 m	188
λεωφορεία 8 m	59
λεωφορεία 9 m	5
Άλλα (μη διαθέσιμη τιμή μήκους)	25

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 12, ο στόλος των αστικών λεωφορείων περιλαμβάνει **535 οχήματα**, με σαφή κυριαρχία της πετρελαιοκίνησης, καθώς τα diesel λεωφορεία ανέρχονται σε **425**, ενώ τα ηλεκτρικά σε **110**. Παράλληλα, τα οχήματα μήκους **12 m** και **18 m** αποτελούν τη βασική δομή του στόλου, γεγονός που αντανάκλα τη λειτουργία του δικτύου σε γραμμές μεσαίας και υψηλής ζήτησης.

Πέρα από τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά, ιδιαίτερη σημασία έχει η αντιρρυπαντική τεχνολογία των λεωφορείων, καθώς επηρεάζει άμεσα το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Η σχετική κατανομή παρουσιάζεται στον Πίνακα 13.

Πίνακας 13: Κατανομή στόλου αστικών λεωφορείων κατά αντιρρυπαντική τεχνολογία. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ.

Κατηγορία τεχνολογίας	Πλήθος οχημάτων
EURO V	196
EURO VI	177
EEV	37
EURO IV	23
EURO III	20
Μη άμεσα διαθέσιμη καταγραφή / ηλεκτρικά οχήματα	82 + 110

Ο Πίνακας 13 δείχνει ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση του στόλου παρατηρείται στις κατηγορίες EURO V και EURO VI, στοιχείο που υποδηλώνει μερική ανανέωση του στόλου τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει παρουσία παλαιότερων τεχνολογιών, όπως EURO III και EURO IV, ενώ για μέρος του στόλου απαιτείται συμπληρωματική αντιστοίχιση ή ειδική διαχείριση λόγω μη άμεσα διαθέσιμης καταγραφής.

Εκτός από τη σύνθεση του στόλου, κρίσιμο μέγεθος για την παρούσα εργασία αποτελεί και το συγκοινωνιακό έργο των αστικών λεωφορείων, δηλαδή τα συνολικά διανυόμενα χιλιόμετρα. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14: Συγκοινωνιακό έργο αστικών λεωφορείων (2025). Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων συγκοινωνιακού έργου.

Πάροχος / κατηγορία εκμετάλλευσης	Συνολικά χιλιόμετρα
OASTH	13.544.292
KTEL_T	9.328.640
KTEL_S	2.767.212
KTEL_H	270.555
Λοιπές / μη ταξινομημένες εγγραφές	55.112
Σύνολο	25.965.811

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 14, το συγκοινωνιακό έργο των αστικών λεωφορείων είναι ιδιαίτερα υψηλό, καθώς προσεγγίζει τα 25,97 εκατομμύρια χιλιόμετρα.

4.2.2 Στόλος οχημάτων Δήμου Θεσσαλονίκης

Η αποτύπωση του δημοτικού στόλου βασίζεται στα στοιχεία που παρασχέθηκαν από τον Δήμο Θεσσαλονίκης και αφορά οχήματα κοινής ωφέλειας, υπηρεσιακά και ειδικής χρήσης. Ο Πίνακας 15 παρουσιάζει τη βασική διάρθρωση του στόλου κατά γενική κατηγορία οχήματος.

Πίνακας 15: Βασική διάρθρωση στόλου Δήμου Θεσσαλονίκης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων Δήμου Θεσσαλονίκης.

Δείκτης	Τιμή
Σύνολο οχημάτων	158
Βαρέα / φορτηγά οχήματα	128
Ελαφρά / επιβατικά οχήματα	22
Ειδικά οχήματα / μηχανήματα έργου	8

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 15, ο στόλος του Δήμου Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει 158 οχήματα, με σαφή κυριαρχία των βαρέων / φορτηγών οχημάτων. Η εικόνα αυτή είναι συμβατή με τον επιχειρησιακό χαρακτήρα του δημοτικού στόλου, ο οποίος συνδέεται κυρίως με υπηρεσίες καθαριότητας, τεχνικών παρεμβάσεων και λοιπών καθημερινών λειτουργιών της πόλης. Προκειμένου να αποτυπωθεί καλύτερα η εσωτερική σύνθεση του δημοτικού στόλου, ο Πίνακας 16 παρουσιάζει τις κυριότερες λειτουργικές κατηγορίες οχημάτων.

Πίνακας 16: Κυριότερες λειτουργικές κατηγορίες οχημάτων Δήμου Θεσσαλονίκης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων Δήμου Θεσσαλονίκης.

Κατηγορία χρήσης	Πλήθος οχημάτων
Απορριμματοφόρα πρέσας	40
Απορριμματοφόρα μύλου	25
Ανατρεπόμενα φορτηγά	15
Επιβατηγά	15
Βυτιοφόρα νερού	10
Κλειστά φορτηγά	9
Φορτηγά με γερανό	7
Καλαθοφόρα	6
Ρυμουλκά	6
Φορτηγά λοιπών κατηγοριών	15
Λοιπά ειδικά / μικρές κατηγορίες	10

Ο Πίνακας 16 δείχνει ότι οι πολυπληθέστερες επιμέρους χρήσεις αφορούν τα απορριμματοφόρα πρέσας και τα απορριμματοφόρα μύλου, γεγονός που καταδεικνύει ότι οι υπηρεσίες αποκομιδής απορριμμάτων αποτελούν τον βασικό πυρήνα του δημοτικού στόλου. Παράλληλα, η παρουσία ανατρεπόμενων φορτηγών, βυτιοφόρων, καλαθοφόρων και λοιπών ειδικών οχημάτων επιβεβαιώνει τη λειτουργική ποικιλία του στόλου.

Η ηλικιακή κατανομή των οχημάτων του Δήμου Θεσσαλονίκης αποτελεί επίσης κρίσιμο στοιχείο, καθώς σχετίζεται άμεσα με την τεχνολογία εκπομπών, τη λειτουργική απόδοση και την ανάγκη ανανέωσης του στόλου. Η σχετική κατανομή παρουσιάζεται στον Πίνακα 17.

Πίνακας 17: Ηλικιακή κατανομή στόλου Δήμου Θεσσαλονίκης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων Δήμου Θεσσαλονίκης.

Έτος πρώτης κυκλοφορίας	Πλήθος οχημάτων
έως 2005	12
2006–2010	11
2011–2015	86
2016–2020	39
2021–2025	10
Σύνολο	158

Ο Πίνακας 17 δείχνει ότι ο δημοτικός στόλος εμφανίζει ισχυρή συγκέντρωση στην περίοδο 2011–2015, στην οποία ανήκουν 86 οχήματα. Παράλληλα, εξακολουθεί να υπάρχει μη αμελητέο τμήμα παλαιότερων οχημάτων προ του 2010, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την περιβαλλοντική αξιολόγηση, δεδομένου ότι η ηλικία των οχημάτων συνδέεται συνήθως με υψηλότερες εκπομπές και χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση.

4.2.3 Στόλος ταξί

Για την κατηγορία των ταξί δεν ήταν διαθέσιμα πλήρη πρωτογενή στοιχεία ετήσιας χιλιομετρικής δραστηριότητας ανά όχημα για την περιοχή μελέτης. Για τον λόγο αυτό, η σχετική παράμετρος προσεγγίστηκε μέσω λειτουργικής παραδοχής. Ειδικότερα, μετά από επικοινωνία με επαγγελματίες του κλάδου / εταιρία ταξί αναφέρθηκε ότι η ετήσια δραστηριότητα ενός ενεργού ταξί στη Θεσσαλονίκη βρίσκεται κατά προσέγγιση στην περιοχή των 50.000–60.000 km/έτος. Στην παρούσα εργασία επιλέγεται η τιμή των 55.000 km/έτος ανά όχημα, ως συντηρητική και ρεαλιστική τιμή αναφοράς για στόλο υψηλής έντασης χρήσης σε μεγάλο αστικό κέντρο. Η παραδοχή αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τις ανάγκες της baseline εκτίμησης των εκπομπών και δηλώνεται ρητά ως λειτουργική προσέγγιση λόγω απουσίας αναλυτικού επίσημου dataset δραστηριότητας.

Σύμφωνα με πληροφορία που προέκυψε από επικοινωνία με στέλεχος της Taxiway, ο ενεργός στόλος ταξί στη Θεσσαλονίκη εκτιμάται σε περίπου 2.000 οχήματα, ενώ περίπου 1.000 οχήματα εκτιμάται ότι δραστηριοποιούνται και στη δεύτερη (βραδινή) βάρδια. Η πληροφορία αυτή δεν προέρχεται από επίσημο διοικητικό μητρώο, αλλά αξιοποιείται στην παρούσα εργασία ως λειτουργική εκτίμηση της πραγματικής παρουσίας της κατηγορίας στον αστικό ιστό, με σαφή αναγνώριση του εμπειρικού της χαρακτήρα.

Παράλληλα, από το επίσημο πρόγραμμα «Πράσινα Ταξί» προκύπτει ότι δικαιούχοι της δράσης είναι ιδιοκτήτες Επιβατηγών Δημόσιας Χρήσης ταξί κατηγορίας EURO 5 και παλαιότερης, γεγονός που δείχνει ότι σημαντικό μέρος του στόλου που στοχεύει η δημόσια πολιτική παραμένει συμβατικής τεχνολογίας. Το ίδιο πρόγραμμα προβλέπει επιδότηση 40% επί της λιανικής τιμής προ φόρων για νέο αμιγώς ηλεκτρικό ταξί, με ανώτατο ποσό 17.500 ευρώ, καθώς και ενίσχυση 5.000 ευρώ για την απόσυρση του παλαιού οχήματος (γον.gr, 2024). Επιπλέον, στο επίσημο πληροφοριακό υλικό της δράσης αναφέρεται ότι τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν αυτονομία άνω των 350 km, η

οποία θεωρείται επαρκής για την κάλυψη του ημερήσιου κύκλου λειτουργίας ενός ταξί (gov.gr, 2024).

Με βάση τα παραπάνω, η κατηγορία των ταξί περιλαμβάνεται στην παρούσα εργασία ως σημαντική συνιστώσα του στόλου δημόσιας χρήσης της Θεσσαλονίκης, αλλά με σαφή διάκριση ανάμεσα σε επίσημα θεσμικά στοιχεία και σε εμπειρικές πληροφορίες πεδίου. Ειδικότερα, η εκτίμηση των περίπου 2.000 ταξί και των περίπου 1.000 οχημάτων δεύτερης βάρδιας χρησιμοποιείται ως λειτουργική εικόνα του στόλου, ενώ το πλαίσιο του προγράμματος «Πράσινα Ταξί» αξιοποιείται για να τεκμηριωθεί η υφιστάμενη ανάγκη ανανέωσης και η θεσμική κατεύθυνση προς την ηλεκτροκίνηση. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ένταξη της κατηγορίας των ταξί στην ανάλυση, χωρίς να δημιουργείται εσφαλμένη εντύπωση πλήρους στατιστικής τεκμηρίωσης.

Πίνακας 18: Βασικά διαθέσιμα στοιχεία για τον στόλο ταξί στη Θεσσαλονίκη. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει προσωπικής επικοινωνίας πεδίου και επίσημων θεσμικών πηγών.

Παράμετρος	Τιμή / Δεδομένο	Χαρακτήρας στοιχείου	Πηγή
Εκτιμώμενος ενεργός στόλος ταξί	~2.000 οχήματα	Πληροφορία πεδίου / επαγγελματική εκτίμηση	Προσωπική επικοινωνία με στέλεχος Taxiway, 2026
Εκτιμώμενος στόλος δεύτερης βάρδιας	~1.000 οχήματα	Πληροφορία πεδίου / επαγγελματική εκτίμηση	Προσωπική επικοινωνία με στέλεχος Taxiway, 2026
Επιλέξιμα οχήματα για το πρόγραμμα «Πράσινα Ταξί»	EURO 5 και παλαιότερα	Θεσμικό κριτήριο	gov.gr / Πράσινα Ταξί
Οικολογικό bonus για νέο ηλεκτρικό ταξί	40% της Λ.Τ.Π.Φ., έως 17.500 €	Θεσμικό μέτρο	gov.gr / Πράσινα Ταξί
Ενίσχυση απόσυρσης παλαιού ταξί	5.000 €	Θεσμικό μέτρο	Πράσινα Ταξί
Ενδεικτική αυτονομία ηλεκτρικού ταξί	>350 km	Επίσημη πληροφορία προγράμματος	Πράσινα Ταξί

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 18, τα διαθέσιμα στοιχεία για τον στόλο ταξί της Θεσσαλονίκης είναι κυρίως δύο ειδών. Αφενός πληροφορίες πεδίου που αποτυπώνουν τη λειτουργική εικόνα του στόλου και αφετέρου επίσημα θεσμικά στοιχεία που περιγράφουν το πλαίσιο μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση. Η εκτίμηση ότι περίπου τα μισά ταξί του στόλου δραστηριοποιούνται και στη δεύτερη βάρδια είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρούσα εργασία, καθώς υποδηλώνει υψηλή ένταση χρήσης και αυξημένη χρονική παρουσία της κατηγορίας αυτής στον αστικό ιστό. Επομένως, ακόμη και χωρίς πλήρες μικροδεδομένο ανά όχημα, η κατηγορία των ταξί μπορεί να ενταχθεί μεθοδολογικά στην ανάλυση ως σημαντικός λειτουργικός στόλος δημόσιας χρήσης.

4.2.4 Συγκριτική αποτύπωση στόλου βάσης

Μετά την επιμέρους αποτύπωση των τριών βασικών κατηγοριών στόλου, κρίνεται σκόπιμη μια συνοπτική συγκριτική παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών τους. Ο Πίνακας 19 συνοψίζει το μέγεθος και τη λειτουργική φυσιογνωμία κάθε κατηγορίας, ώστε να αναδειχθούν οι διαφορές που επηρεάζουν την περιβαλλοντική αποτίμηση του στόλου βάσης.

Πίνακας 19: Συγκριτική εικόνα των βασικών κατηγοριών στόλου βάσης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Κατηγορία στόλου	Μέγεθος στόλου	Κύριο καύσιμο / τεχνολογία	Λειτουργικό χαρακτηριστικό
Αστικά λεωφορεία	535 οχήματα	Κυριαρχία diesel, παρουσία 110 ηλεκτρικών	Πολύ υψηλό συγκοινωνιακό έργο (25.965.811 km)
Οχήματα Δήμου Θεσσαλονίκης	158 οχήματα	Κυριαρχία συμβατικών βαρέων και ελαφρών οχημάτων	Καθημερινή επιχειρησιακή χρήση εντός αστικού ιστού
Ταξί	~2.000 οχήματα	Κυριαρχία συμβατικού στόλου, χαμηλή ηλεκτροκίνηση	Υψηλή ένταση χρήσης, εκτίμηση ~1.000 οχημάτων στη δεύτερη βάρδια

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 19, οι τρεις κατηγορίες στόλου που εξετάζονται στην παρούσα εργασία εμφανίζουν διαφορετικό λειτουργικό και τεχνικό προφίλ. Τα αστικά λεωφορεία ξεχωρίζουν λόγω του πολύ μεγάλου συγκοινωνιακού έργου και της ήδη ορατής, αν και ακόμη περιορισμένης, διεύρυνσης της ηλεκτροκίνησης. Ο στόλος του Δήμου Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζεται από σαφή κυριαρχία βαρέων οχημάτων καθημερινής επιχειρησιακής χρήσης, ενώ ο στόλος ταξί παρουσιάζει υψηλή λειτουργική σημασία αλλά χαμηλότερο επίπεδο τεκμηρίωσης ως προς τα αναλυτικά χαρακτηριστικά του. Η συγκριτική αυτή εικόνα αποτελεί τη βάση για την επόμενη ενότητα, στην οποία εξετάζεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της υφιστάμενης κατάστασης.

4.3 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα της υφιστάμενης κατάστασης

Η παρούσα ενότητα αποτιμά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της υφιστάμενης κατάστασης για τις τρεις βασικές κατηγορίες στόλου που εξετάζονται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, δηλαδή τα αστικά λεωφορεία, τα οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης και τα ταξί. Η ανάλυση βασίζεται στη μεθοδολογική προσέγγιση Tier 2 που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3, με λογική συμβατή με το COPERT και τις κατευθύνσεις του EMEP/EEA, σύμφωνα με την οποία οι εκπομπές εκτιμώνται ως συνάρτηση του πλήθους των οχημάτων, της ετήσιας δραστηριότητάς τους και των κατάλληλων συντελεστών εκπομπής ανά κατηγορία οχήματος, καύσιμο και τεχνολογία.

Η αποτίμηση περιορίζεται στις άμεσες εκπομπές κατά τη λειτουργία του οχήματος (Tank-to-Wheel), ώστε να αποτυπωθεί η πραγματική επιβάρυνση του αστικού ιστού της Θεσσαλονίκης από τη χρήση του υφιστάμενου στόλου. Οι ρύποι που εξετάζονται είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} και οι μη μεθανιούχες πτητικές οργανικές ενώσεις (NMVOC).

4.3.1 Διαδικασία υπολογισμού των εκπομπών βάσης

Η εκτίμηση των εκπομπών πραγματοποιείται σε διαδοχικά βήματα, ώστε να υπάρχει σαφής σύνδεση ανάμεσα στα δεδομένα του Κεφαλαίου 4.2 και στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Βήμα 1: Συγκέντρωση και ομογενοποίηση των δεδομένων εισόδου

Στο πρώτο βήμα συγκεντρώνονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα για τον στόλο και τη δραστηριότητα των οχημάτων. Επειδή τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικούς φορείς και έχουν διαφορετική μορφή, προηγείται ομογενοποίηση ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κοινό υπολογιστικό πλαίσιο.

Για τα αστικά λεωφορεία αξιοποιούνται τα στοιχεία του ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ, τα οποία περιλαμβάνουν αριθμό οχημάτων, τύπο καυσίμου, μήκος οχήματος, τεχνολογία εκπομπών και στοιχεία συγκοινωνιακού έργου. Για τον στόλο του Δήμου Θεσσαλονίκης αξιοποιούνται τα στοιχεία που παρασχέθηκαν από τον Δήμο, με ομαδοποίηση ανά λειτουργική κατηγορία οχήματος και χρήση της ηλικιακής κατανομής του στόλου. Για τα ταξί, λόγω απουσίας επίσημου αναλυτικού μητρώου, χρησιμοποιούνται πληροφορίες πεδίου και τεκμηριωμένες λειτουργικές παραδοχές, όπως ήδη έχει αναφερθεί στην ενότητα 4.2.3.

Στο στάδιο αυτό διαμορφώνεται ένας κοινός πίνακας εισόδου, στον οποίο κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία επιμέρους ομάδα οχημάτων με κοινά χαρακτηριστικά. Για κάθε τέτοια ομάδα απαιτούνται τουλάχιστον τα εξής στοιχεία:

- κατηγορία στόλου,
- κατηγορία οχήματος,
- αριθμός οχημάτων,
- καύσιμο,
- τεχνολογία ή κατηγορία Euro,
- ετήσια διανυόμενα χιλιόμετρα.

Με τον τρόπο αυτό, τα αρχικά πρωτογενή δεδομένα μετατρέπονται σε ένα ομογενοποιημένο σύνολο εισόδων κατάλληλο για την εφαρμογή της εξίσωσης εκπομπών.

Βήμα 2: Ταξινόμηση των οχημάτων σε υποομάδες ανάλυσης

Στο δεύτερο βήμα ο στόλος δεν αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο σύνολο, αλλά χωρίζεται σε επιμέρους

υποομάδες, ώστε να αποδοθούν σε κάθε μία οι κατάλληλοι συντελεστές εκπομπής.

Για τα αστικά λεωφορεία, η ταξινόμηση γίνεται με βάση:

- το καύσιμο (diesel ή electric),
- το μήκος του οχήματος,
- και την αντιρρυπαντική τεχνολογία (EURO III, EURO IV, EEV, EURO V, EURO VI).

Για τον δημοτικό στόλο, η ταξινόμηση γίνεται με βάση:

- τη λειτουργική κατηγορία του οχήματος, όπως απορριμματοφόρο, ανατρεπόμενο φορτηγό, βυτιοφόρο, επιβατηγό, καλαθοφόρο κ.λπ.,
- τη γενική κατηγορία οχήματος, δηλαδή αν πρόκειται για βαρύ / ειδικό όχημα ή ελαφρό / επιβατικό,
- και την κατηγορία Euro, η οποία προσεγγίζεται από το έτος πρώτης κυκλοφορίας.

Για τα ταξί, λόγω έλλειψης αναλυτικού μητρώου, η κατηγορία αντιμετωπίζεται ως ένας λειτουργικός στόλος δημόσιας χρήσης με συμβατική τεχνολογική σύνθεση, για τον οποίο εφαρμόζεται συγκεντρωτική εκτίμηση. Η ταξινόμηση αυτή είναι απαραίτητη, διότι ένα παλιό diesel λεωφορείο Euro III δεν ρυπαίνει το ίδιο με ένα νεότερο Euro VI, όπως επίσης ένα απορριμματοφόρο δεν έχει το ίδιο προφίλ εκπομπών με ένα επιβατηγό δημοτικό όχημα ή ένα ταξί.

Βήμα 3: Προσδιορισμός της ετήσιας δραστηριότητας (activity data)

Στο τρίτο βήμα προσδιορίζεται η ετήσια δραστηριότητα κάθε υποομάδας οχημάτων, δηλαδή πόσα χιλιόμετρα διανύονται σε ετήσια βάση. Η μεταβλητή αυτή είναι καθοριστική, διότι οι εκπομπές δεν εξαρτώνται μόνο από το πόσα οχήματα υπάρχουν, αλλά κυρίως από το πόσο κινούνται.

1. Για τα αστικά λεωφορεία, η ετήσια δραστηριότητα προκύπτει από τα στοιχεία συγκοινωνιακού έργου και ανέρχεται σε **25.965.811 km/έτος**. Το συνολικό αυτό έργο κατανέμεται στις επιμέρους ομάδες λεωφορείων ανάλογα με το μέγεθος του στόλου κάθε ομάδας.
2. Δεδομένης της απουσίας πλήρων και ιστορικών στοιχείων ετήσιας χιλιομετρικής δραστηριότητας για κάθε επιμέρους όχημα του Δήμου Θεσσαλονίκης, πραγματοποιήθηκε στοχευμένη βιβλιογραφική και τεχνική επισκόπηση για τον προσδιορισμό ευρών annual mileage / VKT ανά κατηγορία οχήματος. Οι τελικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση δεν αποτελούν αυθαίρετες αριθμητικές παραδοχές, αλλά προέκυψαν από κριτική μεταφορά βιβλιογραφικών δεδομένων από συγκρίσιμους δημοτικούς και αστικούς στόλους, με προσαρμογή στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της Θεσσαλονίκης.

Κατηγορία οχήματος	Εύρος τιμών από βιβλιογραφία (km/έτος)	Επιλεγμένη τιμή για τη Θεσσαλονίκη (km/έτος)	Αιτιολόγηση επιλογής	Πηγές
Απορριματοφόρα	15.000–25.000	18.000	Επιλογή στο κάτω-μέσο του εύρους, ώστε να παραμείνει συντηρητική, με βάση το προφίλ πυκνού μεσογειακού αστικού ιστού, τις συχνές στάσεις και τα πολλαπλά δρομολόγια αποκομιδής.	(Comune di Milano, 2018; EEA, 2023)
Ανατρεπόμενα φορτηγά	10.000–17.500	12.000	Μέση τιμή εντός του εύρους, κατάλληλη για οχήματα τεχνικών έργων με περιοδική χρήση και περιορισμένη γεωγραφική εμβέλεια εντός του Δήμου.	(City of Dallas, 2010)
Κλειστά φορτηγά / γενικής χρήσης (N1)	16.000–18.300	16.000	Επιλογή στο κατώτερο όριο του εύρους ως συντηρητική εκτίμηση, με βάση στοιχεία από ελληνική πόλη με παρόμοια κλίμακα υπηρεσιών και αστική λειτουργία.	(Ricardo-AEA, 2015)
Επιβατηγά υπηρεσιακά	10.000–15.000	11.000	Επιλογή κοντά στο κάτω μέρος του εύρους, επειδή οι μετακινήσεις είναι κυρίως διοικητικές και πραγματοποιούνται εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου.	(Δήμος Πειραιά, 2022)
Βυτιοφόρα νερού / οχήματα πλύσης	15.000–24.000	10.000	Επιλογή χαμηλότερης τιμής από το βιβλιογραφικό εύρος λόγω έντονης	(City and Borough of Wrangell, 2013)

			εποχικότητας και μικρότερης ετήσιας μέσης χρήσης σε σχέση με διεθνή παραδείγματα.	
Φορτηγά με γερανό	1.500–4.500	4.000	Επιλογή στο άνω μέρος του εύρους, καθώς τα οχήματα αυτά έχουν χαμηλή κινητικότητα αλλά σταθερή επιχειρησιακή παρουσία σε τοπικές τεχνικές παρεμβάσεις.	(California Air Resources Board, 2019)
Καλαθοφόρα	2.000–5.000	4.000	Επιλογή κοντά στο άνω μέρος του εύρους, λόγω συχνών τοπικών παρεμβάσεων συντήρησης ηλεκτροφωτισμού και αστικού πρασίνου εντός περιορισμένης ακτίνας.	(California Air Resources Board, 2019)
Ρυμουλκά	5.000–12.000	7.000	Συντηρητική παραδοχή για ειδικό/βοηθητικό όχημα με τοπική αστική χρήση, περιορισμένες καθημερινές διαδρομές και λειτουργία εντός μικρής γεωγραφικής ζώνης. Η τιμή είναι χαμηλότερη από γενικές βιβλιογραφικές τιμές για επαγγελματικά heavy duty work-vehicles, καθώς δεν αφορά όχημα συνεχούς διανομής ή υπεραστικής μεταφοράς.	U.S. EPA & NHTSA, 2011
Λοιπά ειδικά / βαρέα οχήματα	20.000–30.000	22.000	Επιλογή χαμηλά μέσα στο εύρος, ώστε να αποφεύγεται υπερεκτίμηση, αλλά να αποτυπώνεται η υψηλή	(Japan International Cooperation Agency [JICA], 2012)

			δραστηριότητα οχημάτων συνεχούς απασχόλησης.	
Σάρωθρα δρόμων	Δεν εφαρμόζεται / ιδία παραδοχή	2.500	Επιλογή στο άνω μέρος του εύρους λόγω της αυξημένης ανάγκης μηχανικού καθαρισμού στο κέντρο και στις βασικές αστικές αρτηρίες της Θεσσαλονίκης.	Ιδία παραδοχή βάσει λειτουργικού προφίλ δημοτικού στόλου (με βάση πληροφόρηση από το Δήμο Θεσσαλονίκης)

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 20, οι τιμές annual mileage / VKT που χρησιμοποιήθηκαν για τον δημοτικό στόλο καλύπτουν διαφορετικά λειτουργικά προφίλ, από οχήματα εντατικής καθημερινής χρήσης, όπως τα απορριμματοφόρα, έως οχήματα περιορισμένης χιλιομετρικής δραστηριότητας αλλά αυξημένης στατικής επιχειρησιακής λειτουργίας, όπως τα γερανοφόρα και τα καλαθοφόρα. Οι τελικές επιλεγμένες τιμές τοποθετούνται κατά κανόνα στο κάτω ή στο μέσο μέρος των βιβλιογραφικών ευρών, ώστε η εκτίμηση του baseline αποτυπώματος να παραμείνει συντηρητική και να αποφεύγονται υπερεκτιμήσεις. Με βάση τις επιλεγμένες τιμές του Πίνακα 20, η συνολική ετήσια δραστηριότητα του δημοτικού στόλου εκτιμάται σε 2.403.000 km/έτος.

3. Για τα ταξί, υιοθετείται λειτουργική εκτίμηση ενεργού στόλου περίπου 2.000 οχημάτων. Για την ετήσια δραστηριότητα ανά όχημα χρησιμοποιείται η τεκμηριωμένη λειτουργική παραδοχή των 55.000 km/έτος, η οποία επιλέχθηκε ως ενδιάμεση συντηρητική τιμή εντός του εύρους 50.000–60.000 km/έτος που αναφέρθηκε κατά την επικοινωνία με επαγγελματίες του κλάδου. Με βάση τις παραδοχές αυτές, το συνολικό χιλιομετρικό έργο του στόλου ταξί εκτιμάται σε 110.000.000 km/έτος

Το αποτέλεσμα του βήματος αυτού είναι ότι, πριν ακόμα εφαρμοστούν οι συντελεστές εκπομπής, είναι γνωστή για κάθε κατηγορία στόλου η συνολική ετήσια δραστηριότητα πάνω στην οποία θα “πατήσουν” οι υπολογισμοί.

Βήμα 4: Αντιστοίχιση συντελεστών εκπομπής

Στο τέταρτο βήμα αντιστοιχίζονται συντελεστές εκπομπής σε κάθε επιμέρους ομάδα οχημάτων. Οι συντελεστές εκπομπής εκφράζουν πόσα γραμμάρια ενός ρύπου εκπέμπονται ανά χιλιόμετρο κίνησης. Η λογική που ακολουθείται είναι συμβατή με την προσέγγιση Tier 2 / COPERT. Αυτό συνεπάγεται:

- διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων λαμβάνουν διαφορετικούς συντελεστές,
- διαφορετικά καύσιμα λαμβάνουν διαφορετικούς συντελεστές,
- και διαφορετικές τεχνολογίες Euro λαμβάνουν επίσης διαφορετικούς συντελεστές.

Έτσι, για παράδειγμα:

- ένα diesel λεωφορείο EURO III λαμβάνει υψηλότερους συντελεστές NO_x και PM από ένα diesel λεωφορείο EURO VI,
- ένα ηλεκτρικό λεωφορείο λαμβάνει μηδενικές άμεσες εκπομπές για τους εξεταζόμενους ρύπους,
- ένα βαρύ δημοτικό όχημα λαμβάνει υψηλότερους συντελεστές από ένα ελαφρύ επιβατηγό δημοτικό όχημα,
- ενώ τα ταξί λαμβάνουν συντελεστές συμβατούς με επιβατικά δημόσιας χρήσης με σημαντική ετήσια δραστηριότητα.

Η αντιστοίχιση αυτή είναι το πιο κρίσιμο βήμα της ποσοτικής εκτίμησης, διότι μετατρέπει τη δομική πληροφορία του στόλου σε περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Βήμα 5: Υπολογισμός εκπομπών ανά ομάδα οχημάτων

Στο πέμπτο βήμα εφαρμόζεται η βασική εξίσωση υπολογισμού εκπομπών:

$$E = N \times VKT \times EF$$

Όπου όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 3 της μεθοδολογίας:

- **E** = συνολικές εκπομπές του εξεταζόμενου ρύπου,
- **N** = αριθμός οχημάτων,
- **VKT** = ετήσια διανυόμενα χιλιόμετρα ανά όχημα,
- **EF** = συντελεστής εκπομπής ανά χιλιόμετρο.

Η πράξη γίνεται ξεχωριστά για κάθε ρύπο και για κάθε υποομάδα οχημάτων. Δηλαδή δεν βγαίνει μία συνολική εκτίμηση “μονομιάς”, αλλά πρώτα υπολογίζονται οι επιμέρους εκπομπές για κάθε γραμμή του ομογενοποιημένου πίνακα και μετά αθροίζονται.

Παράδειγμα της παραπάνω λογικής:

- αν μια ομάδα έχει 20 οχήματα,
- κάθε όχημα διανύει 15.000 km/έτος,
- και ο συντελεστής εκπομπής NO_x είναι 2 g/km, τότε οι συνολικές ετήσιες εκπομπές NO_x της ομάδας είναι $20 \times 15.000 \times 2 = 600.000$ g, δηλαδή 0,60 τόνοι NO_x ετησίως.

Με την ίδια διαδικασία υπολογίζονται CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} και NMVOC για όλες τις ομάδες οχημάτων.

Βήμα 6: Άθροιση και παραγωγή των συνολικών αποτελεσμάτων

Στο έκτο και τελευταίο βήμα αθροίζονται οι εκπομπές όλων των επιμέρους ομάδων, πρώτα ανά κατηγορία στόλου και στη συνέχεια συνολικά. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτουν οι δύο βασικοί πίνακες της παρούσας ενότητας:

- ο πίνακας με τις συνολικές εκπομπές βάσης ανά κατηγορία στόλου,
- και ο πίνακας με την ποσοστιαία συμβολή κάθε κατηγορίας στους επιμέρους ρύπους.

Με άλλα λόγια, το αποτέλεσμα δεν είναι μόνο να υπολογιστεί πόσοι τόνοι ρύπων παράγονται, αλλά

και να φανεί ποιος στόλος συμβάλλει περισσότερο σε κάθε τύπο ρύπου.

4.3.2 Υπολογισμός εκπομπών βάσης ανά κατηγορία στόλου

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω βημάτων, προκύπτει το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα του στόλου βάσης για το έτος αναφοράς. Ο Πίνακας 21 παρουσιάζει τα συνολικά βασικά αποτελέσματα της εκτίμησης εκπομπών για το έτος βάσης, ανά κατηγορία στόλου.

Πίνακας 21: Εκπομπές βάσης ανά κατηγορία στόλου στην υφιστάμενη κατάσταση. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει στοιχείων ΟΣΕΘ / ΟΑΣΘ, Δήμου Θεσσαλονίκης, προσωπικής επικοινωνίας πεδίου για τα ταξί και εφαρμογής συντελεστών εκπομπής συμβατών με τη μεθοδολογία Tier 2.

Κατηγορία στόλου	Πλήθος οχημάτων	Ετήσια δραστηριότητα (km)	CO ₂ (t/έτος)	NO _x (t/έτος)	PM10 (t/έτος)	PM2.5 (t/έτος)	NMVO C (t/έτος)
Αστικά λεωφορεία	535	25.965.811	24.858,26	79,85	1,13	1,03	1,68
Οχήματα Δήμου Θεσσαλονίκης	158	2.403.000	1.828,05	4,96	0,11	0,10	0,18
Ταξί	~2.000	110.000.000	19.800,00	38,50	2,20	1,98	7,03
Σύνολο	2.693	138.368.811	46.486,31	123,31	3,45	3,12	8,89

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 21, ο υφιστάμενος στόλος δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας στη Θεσσαλονίκη εμφανίζει σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Οι συνολικές εκπομπές της υφιστάμενης κατάστασης εκτιμώνται σε **46.486,31 t CO₂**, **123,31 t NO_x**, **3,45 t PM10**, **3,12 t PM2.5** και **8,89 t NMVOC** ετησίως. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών προέρχεται από τα αστικά λεωφορεία και τα ταξί, ενώ η συμβολή του δημοτικού στόλου είναι σαφώς μικρότερη σε απόλυτα μεγέθη, χωρίς ωστόσο να είναι αμελητέα.

Τα αστικά λεωφορεία εμφανίζουν τη μεγαλύτερη επιβάρυνση σε CO₂ και ιδιαίτερα σε NO_x, γεγονός που συνδέεται άμεσα με τον συνδυασμό βαρέων οχημάτων, υψηλού συγκοινωνιακού έργου και σημαντικής παρουσίας πετρελαιοκίνητων τεχνολογιών. Αντίστοιχα, η κατηγορία των ταξί εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, κυρίως λόγω του πολύ μεγάλου συνολικού χιλιομετρικού έργου που προκύπτει από τη λειτουργική εκτίμηση του στόλου βάσης. Η συμβολή των ταξί είναι ιδιαίτερα εμφανής στους NMVOC, καθώς ο ρύπος αυτός συνδέεται με τη λειτουργία επιβατικών οχημάτων συμβατικής τεχνολογίας και με το υψηλό αθροιστικό χιλιομετρικό έργο της κατηγορίας. Ο δημοτικός στόλος του Δήμου Θεσσαλονίκης παρουσιάζει μικρότερη αλλά σαφώς υπολογίσιμη συμβολή, η οποία επηρεάζεται άμεσα από τις βιβλιογραφικά τεκμηριωμένες παραδοχές annual mileage / VKT που εφαρμόστηκαν ανά λειτουργική κατηγορία οχήματος.

4.3.3 Συγκριτική αποτίμηση εκπομπών CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} και NMVOC

Προκειμένου να αποτυπωθεί καθαρότερα η σχετική συμβολή κάθε κατηγορίας στόλου στους εξεταζόμενους ρύπους, ο Πίνακας 22 παρουσιάζει το ποσοστό συμμετοχής κάθε κατηγορίας στο συνολικό αποτύπωμα.

Πίνακας 22: Ποσοστιαία συμβολή κάθε κατηγορίας στόλου στις συνολικές εκπομπές. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Ρύπος	Αστικά λεωφορεία	Δήμος Θεσσαλονίκης	Ταξί
CO ₂	53,47%	3,93%	42,59%
NO _x	64,75%	4,02%	31,22%
PM ₁₀	32,87%	3,32%	63,81%
PM _{2.5}	33,10%	3,39%	63,52%
NMVOC	18,88%	2,04%	79,07%

Ο Πίνακας 22 δείχνει ότι η σχετική συμβολή των κατηγοριών στόλου διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με τον εξεταζόμενο ρύπο. Στο CO₂, η μεγαλύτερη συμμετοχή προέρχεται από τα αστικά λεωφορεία (53,47%), ενώ πολύ κοντά ακολουθούν τα ταξί (42,59%). Για τα NO_x, η κυριαρχία των αστικών λεωφορείων είναι ακόμη εντονότερη, καθώς η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί στο 64,75% των συνολικών εκπομπών, ενώ τα ταξί συμμετέχουν με 31,22% και ο δημοτικός στόλος με 4,02%. Το εύρημα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα οξείδια του αζώτου συνδέονται στενά με τη λειτουργία πετρελαιοκινητήρων βαρέως τύπου σε αστικές συνθήκες κίνησης.

Αντίθετα, για τα PM₁₀ και PM_{2.5} η μεγαλύτερη συμβολή εκτιμάται για την κατηγορία των ταξί, με ποσοστά 63,81% και 63,52% αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται με το πολύ υψηλό συνολικό χιλιομετρικό έργο που αποδίδεται στον στόλο ταξί στο έτος βάσης, σε συνδυασμό με τη διαρκή κυκλοφορία του στον πυκνό αστικό ιστό. Τα αστικά λεωφορεία ακολουθούν με περίπου το ένα τρίτο του συνολικού φορτίου σωματιδίων, ενώ ο δημοτικός στόλος παραμένει χαμηλότερα σε ποσοστό συμμετοχής.

Για τους NMVOC, η συμβολή των ταξί είναι ακόμη εντονότερη, καθώς η κατηγορία αυτή αντιστοιχεί

στο 79,07% των συνολικών εκπομπών NMVOC του εξεταζόμενου στόλου. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται κυρίως στο πολύ υψηλό ετήσιο χιλιομετρικό έργο των ταξί και στη χρήση συντελεστή εκπομπής συμβατού με επιβατικά οχήματα δημόσιας χρήσης συμβατικής τεχνολογίας. Τα αστικά λεωφορεία συμμετέχουν με 18,88%, ενώ ο δημοτικός στόλος με 2,04%, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η κατηγορία των ταξί αποτελεί κρίσιμο πεδίο παρέμβασης όχι μόνο για τα σωματίδια αλλά και για τους οργανικούς αέριους ρύπους.

4.3.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του στόλου

Τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας δείχνουν ότι η περιβαλλοντική επιβάρυνση δεν εξαρτάται μόνο από το πλήθος των οχημάτων κάθε κατηγορίας, αλλά κυρίως από τον συνδυασμό της τεχνολογίας του στόλου, του τύπου καυσίμου, της έντασης χρήσης και του είδους του εξεταζόμενου ρύπου. Με άλλα λόγια, ένας μικρότερος αριθμός οχημάτων μπορεί να παράγει υψηλότερες συνολικές εκπομπές από έναν μεγαλύτερο στόλο, εφόσον τα οχήματα αυτά είναι βαρύτερα, περισσότερο ρυπογόνα ή διανύουν σημαντικά περισσότερα χιλιόμετρα σε ετήσια βάση.

Η περίπτωση των αστικών λεωφορείων είναι χαρακτηριστική. Παρότι ο στόλος τους είναι αισθητά μικρότερος από τον στόλο των ταξί σε απόλυτο αριθμό οχημάτων, εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συμβολή στις εκπομπές CO₂ και ιδίως NO_x. Το αποτέλεσμα αυτό συνδέεται άμεσα με τη φύση του στόλου: πρόκειται κατά κύριο λόγο για βαρέα οχήματα, με υψηλό συγκοινωνιακό έργο και σημαντική παρουσία πετρελαιοκίνητων τεχνολογιών. Επιπλέον, η λειτουργία τους σε αστικές συνθήκες με συχνές στάσεις, εκκινήσεις και χαμηλές μέσες ταχύτητες ενισχύει ιδιαίτερα την εκπομπή οξειδίων του αζώτου, γεγονός που εξηγεί γιατί τα λεωφορεία κυριαρχούν στη συγκεκριμένη κατηγορία ρύπων. Παράλληλα, η ήδη υπαρκτή, αλλά ακόμη περιορισμένη, παρουσία ηλεκτρικών λεωφορείων δείχνει ότι έχει ξεκινήσει μια διαδικασία μετάβασης, χωρίς όμως να έχει ακόμη ανατραπεί το συνολικό αποτύπωμα του στόλου βάσης.

Ο στόλος των ταξί εμφανίζει διαφορετικό λειτουργικό προφίλ. Αν και τα ταξί είναι επιβατικά οχήματα και όχι βαρέα μέσα μεταφοράς, η πολύ υψηλή ένταση χρήσης τους οδηγεί σε ιδιαίτερα μεγάλο συνολικό χιλιομετρικό έργο. Αυτό ακριβώς εξηγεί γιατί η κατηγορία των ταξί παρουσιάζει τόσο σημαντική συμμετοχή στις συνολικές εκπομπές και μάλιστα εμφανίζεται πρώτη στα PM₁₀ και PM_{2.5}. Το αποτέλεσμα αυτό δεν σημαίνει ότι κάθε μεμονωμένο ταξί είναι πιο ρυπογόνο από κάθε λεωφορείο, αλλά ότι η πολύ εκτεταμένη και συνεχής κυκλοφορία του στόλου στον αστικό ιστό δημιουργεί σημαντικό αθροιστικό περιβαλλοντικό φορτίο. Πρέπει, ωστόσο, να υπογραμμιστεί ότι για την κατηγορία αυτή η ανάλυση βασίζεται σε λειτουργική εκτίμηση του ενεργού στόλου και της δραστηριότητάς του, άρα τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνεύονται ως τεκμηριωμένη προσέγγιση και όχι ως πλήρης διοικητική απογραφή μικροδεδομένων. Η ίδια λογική εξηγεί και την υψηλή συμμετοχή των ταξί στις εκπομπές NMVOC. Παρότι ο συντελεστής εκπομπής ανά χιλιόμετρο δεν είναι ιδιαίτερα υψηλός σε απόλυτους όρους, το πολύ μεγάλο συνολικό χιλιομετρικό έργο του στόλου οδηγεί σε σημαντική αθροιστική εκπομπή. Το εύρημα αυτό ενισχύει τη σημασία της ηλεκτροκίνησης των ταξί, καθώς η μείωση των άμεσων τοπικών εκπομπών θα αφορά όχι μόνο CO₂, NO_x και σωματίδια, αλλά

και οργανικούς αέριους ρύπους.

Ο στόλος του Δήμου Θεσσαλονίκης εμφανίζει σαφώς μικρότερη συνολική συνεισφορά σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς ο αριθμός των οχημάτων είναι μικρότερος και το συνολικό ετήσιο χιλιομετρικό έργο που αποδίδεται στον δημοτικό στόλο είναι επίσης σαφώς χαμηλότερο. Ωστόσο, η χαμηλότερη συνολική συμβολή δεν σημαίνει ότι η κατηγορία αυτή είναι αμελητέα. Αντίθετα, τα δημοτικά οχήματα έχουν ιδιαίτερη σημασία, επειδή συνδέονται άμεσα με καθημερινές λειτουργίες της πόλης, όπως η αποκομιδή απορριμμάτων, ο καθαρισμός, οι τεχνικές παρεμβάσεις και η υποστήριξη δημοτικών υπηρεσιών. Ιδίως τα βαρέα οχήματα καθαριότητας λειτουργούν σε απαιτητικές αστικές συνθήκες, με χαμηλές ταχύτητες, συχνές στάσεις και έντονη χωρική παρουσία σε κατοικημένες περιοχές. Επομένως, ακόμη και αν το συνολικό τους μερίδιο στις εκπομπές είναι μικρότερο, η ανανέωση ή ο εξηλεκτρισμός τους μπορεί να έχει ουσιαστικό τοπικό όφελος στην ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος. Η αναθεώρηση των παραδοχών της ετήσιας δραστηριότητας με βάση βιβλιογραφικά εύρη annual mileage / VKT οδηγεί σε ελαφρώς αυξημένη εκτίμηση της συμβολής του δημοτικού στόλου, χωρίς όμως να μεταβάλλει τη συνολική ιεράρχηση των κατηγοριών στόλου ως προς το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές πιέσεις συνδέονται με δύο διαφορετικού τύπου στόλους όπου αφενός με τα αστικά λεωφορεία, τα οποία συνδυάζουν μεγάλο συγκοινωνιακό έργο με βαρέα πετρελαιοκίνητα οχήματα, και αφετέρου με τα ταξί, τα οποία εμφανίζουν πολύ μεγάλη συνολική δραστηριότητα λόγω της συνεχούς λειτουργίας τους στο οδικό δίκτυο της πόλης. Ο δημοτικός στόλος, παρότι μικρότερος σε συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο, αποτελεί ξεχωριστή κατηγορία υψηλής επιχειρησιακής και πολιτικής σημασίας, καθώς ο μετασχηματισμός του μπορεί να υποστηριχθεί πιο άμεσα μέσω στοχευμένων παρεμβάσεων του ίδιου του Δήμου. Με βάση τα παραπάνω, η γραμμή βάσης που προέκυψε στην παρούσα ενότητα αποτελεί το απαραίτητο σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση των σεναρίων μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση που εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Η αξιολόγηση των σεναρίων μετάβασης που ακολουθεί λαμβάνει υπόψη ότι το δυναμικό εξηλεκτρισμού διαφοροποιείται ανά κατηγορία στόλου. Η αντικατάσταση αστικών λεωφορείων, ταξί και ελαφρών δημοτικών οχημάτων μπορεί να εξεταστεί με μεγαλύτερη τεχνική ασφάλεια, καθώς πρόκειται για κατηγορίες με σαφέστερα διαθέσιμες ηλεκτρικές λύσεις. Αντίθετα, για τα βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα απαιτείται προσεκτικότερη αξιολόγηση, καθώς η τεχνολογική διαθεσιμότητα, η αυτονομία, το ωφέλιμο φορτίο και ο κύκλος εργασίας ενδέχεται να περιορίζουν τη δυνατότητα άμεσης πλήρους ηλεκτροκίνησης. Επομένως, τα σενάρια του επόμενου κεφαλαίου διαμορφώνονται με διαφοροποίηση ανά τύπο οχήματος και όχι με ενιαία παραδοχή οριζόντιας αντικατάστασης όλου του στόλου.

5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ

5.1 Εκτίμηση μείωσης εκπομπών ανά σενάριο μετάβασης.

Η αποτίμηση της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση βασίζεται στη σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης με δύο εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης του στόλου. Ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιούνται οι εκπομπές βάσης που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 4 για τα αστικά λεωφορεία, τα οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης και τα ταξί. Η σύγκριση πραγματοποιείται σε επίπεδο άμεσων εκπομπών κατά τη λειτουργία του οχήματος, δηλαδή σε επίπεδο Tank-to-Wheel.

Τα σενάρια δεν αποτελούν πρόβλεψη της πραγματικής μελλοντικής διεξόδου της ηλεκτροκίνησης. Αποτελούν υποθετικά σενάρια πολιτικής, τα οποία διαμορφώνονται ώστε να εξεταστεί πώς μεταβάλλονται οι εκπομπές υπό διαφορετικούς βαθμούς μετάβασης. Για τον λόγο αυτό, πριν τον καθορισμό των ποσοστών αντικατάστασης, οι κατηγορίες στόλου ταξινομούνται σε βαθμούς τεχνικής και επιχειρησιακής εφικτότητας. Η ταξινόμηση αυτή λαμβάνει υπόψη τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικών οχημάτων, τον κύκλο λειτουργίας, την ένταση χρήσης, τις απαιτήσεις φόρτισης και τους περιορισμούς που εμφανίζουν τα βαρέα και ειδικά οχήματα.

Με βάση αυτή τη λογική, υψηλότερη εφικτότητα αποδίδεται στα αστικά λεωφορεία και στα ελαφρά δημοτικά οχήματα, μέτρια εφικτότητα στην κατηγορία των ταξί και χαμηλότερη εφικτότητα στα βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα. Η διαφοροποίηση αυτή γίνεται για την αποφυγή μιας οριζόντιας και μη ρεαλιστικής παραδοχής πλήρους ηλεκτροκίνησης όλων των κατηγοριών στόλου.

Με βάση τα παραπάνω, η πρώτη φάση της ανάλυσης σεναρίων αφορά την κατηγοριοποίηση των εξεταζόμενων στόλων ως προς τον βαθμό τεχνικής και επιχειρησιακής εφικτότητας της μετάβασης. Η κατηγοριοποίηση αυτή είναι αναγκαία, διότι οι διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων δεν παρουσιάζουν τον ίδιο βαθμό ωριμότητας ως προς τη δυνατότητα αντικατάστασής τους από ηλεκτρικά οχήματα. Για παράδειγμα, τα ελαφρά οχήματα και τα αστικά λεωφορεία διαθέτουν σαφέστερες τεχνολογικές λύσεις, ενώ τα βαρέα και ειδικά οχήματα του δημοτικού στόλου εμφανίζουν περισσότερους τεχνικούς και επιχειρησιακούς περιορισμούς.

Πίνακας 23: Κατηγοριοποίηση τεχνικής και επιχειρησιακής εφικτότητας μετάβασης

Βαθμός εφικτότητας	Περιγραφή	Εφαρμογή στο Σενάριο 1	Εφαρμογή στο Σενάριο 2
υψηλή	Κατηγορίες οχημάτων με διαθέσιμες ηλεκτρικές λύσεις, σχετικά προβλέψιμο κύκλο λειτουργίας και μικρότερους τεχνικούς περιορισμούς	40–50% μετάβαση	80–100% μετάβαση

μέτρια	Κατηγορίες οχημάτων όπου η τεχνολογία είναι διαθέσιμη, αλλά η εφαρμογή εξαρτάται περισσότερο από κόστος, ιδιωτικές αποφάσεις, υποδομές και κίνητρα	25% μετάβαση	50% μετάβαση
χαμηλή	Βαρέα και ειδικά οχήματα με περιορισμούς ως προς αυτονομία, ωφέλιμο φορτίο, κύκλο εργασίας και διαθεσιμότητα ηλεκτρικών ισοδύναμων	10% μετάβαση ή χαμηλότερες εκπομπές	30% μετάβαση ή χαμηλότερες εκπομπές

Ο Πίνακας 23 παρουσιάζει τη γενική λογική με την οποία ορίζονται οι βαθμοί εφικτότητας. Η υψηλή εφικτότητα αντιστοιχεί σε κατηγορίες όπου υπάρχουν ώριμες και εμπορικά διαθέσιμες ηλεκτρικές λύσεις, ενώ η μέτρια εφικτότητα αφορά κατηγορίες όπου η τεχνολογία υπάρχει, αλλά η εφαρμογή εξαρτάται περισσότερο από οικονομικούς, θεσμικούς ή λειτουργικούς παράγοντες. Η χαμηλή εφικτότητα αφορά κυρίως βαρέα και ειδικά οχήματα, για τα οποία η πλήρης ηλεκτροκίνηση δεν μπορεί να θεωρηθεί άμεσα αυτονόητη.

Στη συνέχεια, οι βασικές κατηγορίες στόλου της παρούσας εργασίας αντιστοιχίζονται στους παραπάνω βαθμούς εφικτότητας. Η αντιστοίχιση αυτή δεν βασίζεται μόνο στο αν υπάρχει ηλεκτρικό ισοδύναμο όχημα στην αγορά, αλλά και στο κατά πόσο η χρήση του μπορεί να καλύψει τις πραγματικές λειτουργικές ανάγκες κάθε κατηγορίας. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη τόσο τη διαθεσιμότητα της τεχνολογίας όσο και ζητήματα όπως η αυτονομία, ο ημερήσιος κύκλος εργασίας, η ανάγκη φόρτισης και το είδος της υπηρεσίας που εξυπηρετεί κάθε στόλος.

Πίνακας 24: Αντιστοίχιση κατηγοριών στόλου σε βαθμούς εφικτότητας

Κατηγορία στόλου	Βαθμός εφικτότητας	Αιτιολόγηση
Αστικά λεωφορεία	υψηλή	Υπάρχει ήδη ένταξη ηλεκτρικών λεωφορείων στον στόλο και η τεχνολογία των ηλεκτρικών λεωφορείων είναι ώριμη για αστική λειτουργία
Ταξί	Μέτρια	Τα ηλεκτρικά επιβατικά οχήματα είναι διαθέσιμα και υπάρχουν κίνητρα ανανέωσης, όμως η μετάβαση εξαρτάται από αποφάσεις ιδιωτών επαγγελματιών και από την επάρκεια φόρτισης

Ελαφρά δημοτικά οχήματα	Υψηλή	Ηλεκτρικές λύσεις για επιβατικά, van και μικρά επαγγελματικά οχήματα είναι εμπορικά διαθέσιμες και μπορούν να καλύψουν τυπικές δημοτικές μετακινήσεις
Βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα	χαμηλή	Τα απορριμματοφόρα, καλαθοφόρα, γερανοφόρα, βυτιοφόρα και λοιπά ειδικά οχήματα έχουν αυξημένες απαιτήσεις αυτονομίας, φορτίου, κύκλου εργασίας και φόρτισης

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 24, τα αστικά λεωφορεία και τα ελαφρά δημοτικά οχήματα κατατάσσονται σε υψηλό βαθμό εφικτότητας, καθώς υπάρχουν διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις και σχετικά προβλέψιμα πρότυπα λειτουργίας. Τα ταξί κατατάσσονται σε μέτριο βαθμό εφικτότητας, επειδή η τεχνολογία ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων είναι διαθέσιμη, αλλά η μετάβαση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αποφάσεις ιδιωτών επαγγελματιών, από οικονομικά κίνητρα και από την επάρκεια των υποδομών φόρτισης. Αντίθετα, τα βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα κατατάσσονται σε χαμηλό βαθμό εφικτότητας, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων που παρουσιάζουν ως προς το φορτίο, την αυτονομία, τον κύκλο εργασίας και την επιχειρησιακή αξιοπιστία.

Μετά την αντιστοίχιση των κατηγοριών στόλου σε βαθμούς εφικτότητας, διαμορφώνονται οι τελικές παραδοχές που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς. Το Σενάριο 1 εκφράζει μια συντηρητικότερη εκδοχή μετάβασης, με μερική αντικατάσταση του συμβατικού έργου. Το Σενάριο 2 εκφράζει μια πιο εκτεταμένη εκδοχή μετάβασης, χωρίς όμως να θεωρείται ότι όλες οι κατηγορίες οχημάτων μπορούν να εξηλεκτριστούν πλήρως. Με τον τρόπο αυτό, τα σενάρια παραμένουν συγκρίσιμα, αλλά ταυτόχρονα λαμβάνουν υπόψη τους τεχνικούς και επιχειρησιακούς περιορισμούς κάθε στόλου.

Πίνακας 25: Παραδοχές εφαρμογής των σεναρίων μετάβασης

Κατηγορία στόλου	Βαθμός εφικτότητας	Σενάριο 1	Σενάριο 2
Υπολειπόμενο συμβατικό έργο αστικών λεωφορειών	Υψηλή	40%	80%
Συμβατικό έργο ταξί	Μέτρια	25%	50%
Ελαφρά δημοτικά οχήματα	Υψηλή	50%	100%
Βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα	Χαμηλή	10%	30%
Δημοτικός στόλος συνολικά	Μικτή σύνθεση	15%	35%

για τους υπολογισμούς			
-----------------------	--	--	--

Ο Πίνακας 25 αποτυπώνει τις τελικές παραδοχές που εφαρμόζονται στην ποσοτική ανάλυση. Για τα αστικά λεωφορεία, τα ποσοστά αναφέρονται στο υπολειπόμενο συμβατικό έργο, δηλαδή στο τμήμα του συγκοινωνιακού έργου που εξακολουθεί να εξυπηρετείται από πετρελαιοκίνητα οχήματα. Για τα ταξί, τα ποσοστά αναφέρονται στο συνολικό συμβατικό χιλιομετρικό έργο του στόλου. Για τον δημοτικό στόλο, επειδή τα αποτελέσματα βάσης παρουσιάζονται συγκεντρωτικά για το σύνολο των οχημάτων του Δήμου Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιείται τελική σταθμισμένη παραδοχή μείωσης. Η παραδοχή αυτή λαμβάνει υπόψη ότι ο δημοτικός στόλος περιλαμβάνει τόσο ελαφρά οχήματα, για τα οποία η ηλεκτροκίνηση είναι πιο άμεσα εφαρμόσιμη, όσο και βαρέα ή ειδικά οχήματα, για τα οποία η μετάβαση είναι περισσότερο περιορισμένη.

Με βάση τις παραδοχές του Πίνακα 25, οι εκπομπές κάθε σεναρίου υπολογίζονται με εφαρμογή του αντίστοιχου ποσοστού μείωσης στις εκπομπές βάσης κάθε κατηγορίας στόλου. Για τα αστικά λεωφορεία εφαρμόζεται μείωση στο υπολειπόμενο συμβατικό έργο, για τα ταξί στο σύνολο του συμβατικού χιλιομετρικού έργου και για τον δημοτικό στόλο στη συγκεντρωτική εκτίμηση εκπομπών του Δήμου Θεσσαλονίκης. Η παραδοχή αυτή διατηρεί τη σύγκριση απλή και συνεπή με τον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων του Κεφαλαίου 4. Ο Πίνακας 26 παρουσιάζει τις εκπομπές που παραμένουν σε κάθε σενάριο. Το Σενάριο 0 αντιστοιχεί στην υφιστάμενη κατάσταση, ενώ τα Σενάρια 1 και 2 αποτυπώνουν τη μερική και την εκτεταμένη μετάβαση αντίστοιχα.

Πίνακας 26: Εκπομπές ανά σενάριο μετάβασης

Ρύπος	Σενάριο 0 Υφιστάμενη κατάσταση	Σενάριο 1 Μερική μετάβαση	Σενάριο 2 Εκτεταμένη τεχνικά εφικτή μετάβαση
CO ₂ (t/ έτος)	46.486,31	31.318,80	16.059,88
NO _x (t/ έτος)	123,31	81,00	38,44
PM ₁₀ (t/ έτος)	3,45	2,42	1,40
PM _{2.5} (t/ έτος)	3,12	2,19	1,26
NM _{VOC} (t/ έτος)	8,89	6,43	3,97

Η σύγκριση των εκπομπών ανά σενάριο αποτυπώνεται και διαγραμματικά, ώστε να γίνει

σαφέστερη η μεταβολή από την υφιστάμενη κατάσταση προς τις δύο εναλλακτικές εκδοχές μετάβασης. Η διαγραμματική παρουσίαση εστιάζει στο CO₂, ως δείκτη κλιματικού αποτυπώματος, και στα NO_x, ως βασικό ρύπο τοπικής ατμοσφαιρικής επιβάρυνσης από τις οδικές μεταφορές.



Σχήμα 1: Εκπομπές CO₂ και NO_x ανά σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν ότι η μείωση των εκπομπών είναι εμφανής ήδη από το Σενάριο 1, ενώ στο Σενάριο 2 η μείωση γίνεται εντονότερη. Η εικόνα αυτή επιβεβαιώνει ότι η περιβαλλοντική επίδοση των σεναρίων εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό αντικατάστασης του συμβατικού έργου, ιδίως στις κατηγορίες με υψηλή ετήσια δραστηριότητα.

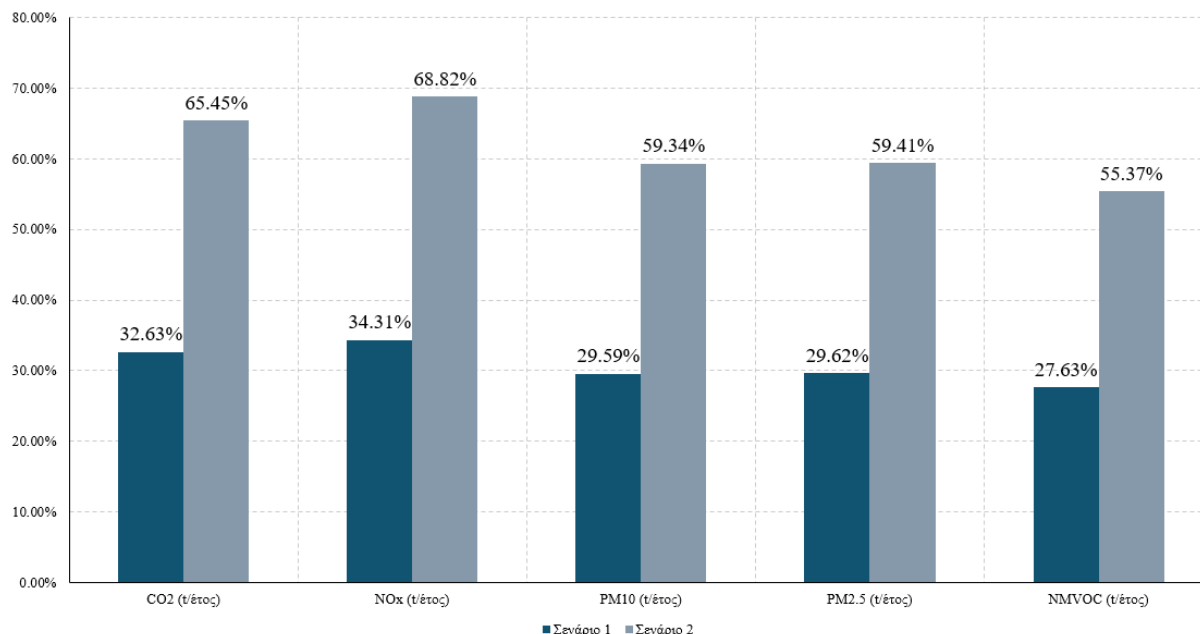
Για την πληρέστερη αποτύπωση του περιβαλλοντικού οφέλους, ο Πίνακας 27 παρουσιάζει τη μείωση εκπομπών κάθε σεναρίου σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, τόσο σε απόλυτες τιμές όσο και σε ποσοστό.

Πίνακας 27: Μείωση εκπομπών ανά σενάριο σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση

Ρύπος	Μείωση σεναρίου 1	Ποσοστό μείωσης σεναρίου 1	Μείωση σεναρίου 2	Ποσοστό μείωσης σεναρίου 2
CO ₂	15.167,51 t/ έτος	32,63%	30.426,43 t/ έτος	65,45%
NO _x	42,31 t/ έτος	34,31%	84,87 t/ έτος	68,82%
PM10	1,02 t/ έτος	29,61%	2,04 t/ έτος	59,38%
PM2.5	0,92 t/ έτος	29,65%	1,85 t/ έτος	59,45%
NM VOC	2,46 t/ έτος	27,63%	4,92 t/ έτος	55,37%

Οι ποσοστιαίες μειώσεις παρουσιάζονται και σε διαγραμματική μορφή, ώστε να είναι ευκολότερη η σύγκριση των δύο σεναρίων ανά ρύπο. Η παρουσίαση αυτή αναδεικνύει τη

διαφορά μεταξύ μερικής και εκτεταμένης μετάβασης.



Σχήμα 2: Ποσοστιαία μείωση εκπομπών ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Το Διάγραμμα 2 δείχνει ότι το Σενάριο 2 οδηγεί σε υψηλότερες ποσοστιαίες μειώσεις για όλους τους εξεταζόμενους ρύπους. Η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων είναι αναμενόμενη, καθώς το Σενάριο 2 βασίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό αντικατάστασης του συμβατικού έργου, διατηρώντας όμως τη διαφοροποίηση ανάλογα με την τεχνική και επιχειρησιακή εφικτότητα κάθε κατηγορίας στόλου.

5.2 Οικονομική αποτίμηση περιβαλλοντικού οφέλους σε ευρώ.

Η οικονομική αποτίμηση του περιβαλλοντικού οφέλους βασίζεται στη μετατροπή των μειώσεων εκπομπών που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα σε χρηματικές αξίες. Η λογική της αποτίμησης στηρίζεται στην έννοια του εξωτερικού κόστους των μεταφορών, σύμφωνα με την οποία οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου προκαλούν επιπτώσεις που δεν ενσωματώνονται άμεσα στο ιδιωτικό κόστος μετακίνησης, αλλά επιβαρύνουν την κοινωνία, τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

Στην παρούσα εργασία, το οικονομικό όφελος προκύπτει από τις εκπομπές που αποφεύγονται σε κάθε σενάριο μετάβασης. Για κάθε ρύπο, η μείωση των εκπομπών σε τόνους ανά έτος πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη μοναδιαία τιμή εξωτερικού κόστους σε ευρώ ανά τόνο. Η προσέγγιση αυτή είναι συμβατή με τη λογική του ευρωπαϊκού Handbook on the external costs of transport, το οποίο χρησιμοποιείται ως βασική πηγή για την αποτίμηση εξωτερικών επιπτώσεων

στον τομέα των μεταφορών (European Commission, 2020). Η βασική σχέση υπολογισμού είναι η ακόλουθη:

$$\text{Οικονομικό όφελος} = \text{Μείωση εκπομπών} \times \text{Μοναδιαίο εξωτερικό κόστος}$$

όπου η μείωση εκπομπών εκφράζεται σε t/έτος και το μοναδιαίο εξωτερικό κόστος σε €/t. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε €/έτος.

Για τη συγκεκριμένη εργασία επιλέγονται μοναδιαίες τιμές που αντιστοιχούν, όπου είναι διαθέσιμο, σε αστικό περιβάλλον και σε τιμές για την Ελλάδα. Η επιλογή αυτή είναι κατάλληλη, καθώς η ανάλυση αφορά οχήματα που λειτουργούν κυρίως εντός του αστικού ιστού της Θεσσαλονίκης. Οι τιμές του Πίνακα 28 εκφράζονται σε σταθερές τιμές 2016, όπως δίνονται στο ευρωπαϊκό Handbook on the external costs of transport. Δεν πραγματοποιείται αναγωγή σε τρέχουσες τιμές, ώστε η αποτίμηση να παραμείνει συνεπής με το κοινό έτος βάσης της βιβλιογραφικής πηγής (European Commission, 2020).

Πίνακας 28: Μοναδιαίες τιμές εξωτερικού κόστους ανά ρύπο

Ρύπος	Μοναδιαίο εξωτερικό κόστος	Μονάδα	Έτος τιμών	Χωρικό / κυκλοφοριακό πλαίσιο	Πηγή / βάση αποτίμησης	Σχόλιο χρήσης στην παρούσα εργασία
CO ₂	100	€/t CO ₂ e	€2016	Μη χωρικά διαφοροποιημένο, οδικές μεταφορές TTW	European Commission (2020), Table 24	Βασική τιμή για την αποτίμηση μειώσεων CO ₂ . Αν αποτιμηθούν CH ₄ ή N ₂ O, πρέπει πρώτα να μετατραπούν σε CO ₂ e.
NO _x	5.100	€/t	€2016	Urban / city transport emissions, Ελλάδα	European Commission (2020), Table 14, Greece, NO _x transport city	Βασική επιλογή για αστικές οδικές μεταφορές στη Θεσσαλονίκη.
PM ₁₀	24.800	€/t	€2016	Average transport emissions, Ελλάδα	European Commission (2020), Table 14, Greece, PM ₁₀ average	Δεν προστίθεται στο βασικό άθροισμα όταν χρησιμοποιείται PM _{2.5} . Χρήσιμο κυρίως για coarse / non-exhaust PM ή όταν υπάρχει μόνο PM ₁₀ .
PM _{2.5}	86.000	€/t	€2016	Urban / city transport emissions, Ελλάδα	European Commission (2020), Table 14, Greece, PM _{2.5} transport city	Βασική επιλογή για fine/exhaust PM σε αστικό TTW πλαίσιο.

NMVOC	300	€/t	€2016	National average transport emissions, Ελλάδα	European Commission (2020), Table 14, Greece, NMVOC	Χρησιμοποιείται εφόσον το ισοζύγιο εκπομπών είναι σε NMVOC και όχι σε συνολικά VOC/HC/THC.
-------	-----	-----	-------	--	---	--

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 28, οι υψηλότερες μοναδιαίες τιμές εξωτερικού κόστους αφορούν τα PM2.5 και τα PM10, ενώ σημαντική είναι και η τιμή των NOx για αστικές μεταφορές. Στη βασική οικονομική αποτίμηση, ωστόσο, το PM10 δεν προστίθεται στο συνολικό οικονομικό όφελος, επειδή υπάρχει κίνδυνος διπλομέτρησης με το PM2.5. Το PM10 διατηρείται στον πίνακα για λόγους πληρότητας και μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο σε περίπτωση που η αποτίμηση αφορά coarse / non-exhaust σωματίδια ή όταν τα διαθέσιμα δεδομένα εκπομπών δίνονται αποκλειστικά ως PM10.

Για τον λόγο αυτό, στη βασική οικονομική αποτίμηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται οι μειώσεις των CO₂, NOx, PM2.5 και NMVOC. Το PM10 παραμένει στους πίνακες εκπομπών για λόγους περιβαλλοντικής πληρότητας, αλλά δεν προστίθεται στο συνολικό αποφευχθέν εξωτερικό κόστος. Η επιλογή αυτή ακολουθεί συντηρητική μεθοδολογική λογική και αποφεύγει την υπερεκτίμηση του οικονομικού οφέλους.

Με βάση τις τιμές του Πίνακα 28 και τις μειώσεις εκπομπών του Πίνακα 27, υπολογίζεται το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος για κάθε σενάριο μετάβασης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 29.

Πίνακας 29: Οικονομικό όφελος ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης

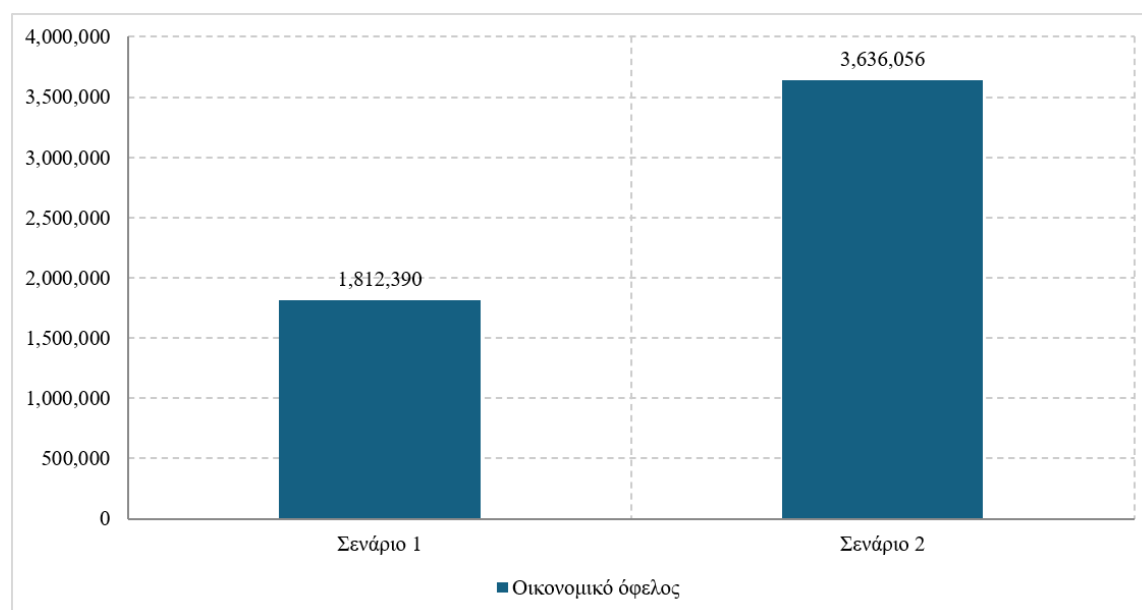
Ρύπος	Μείωση Σεναρίου 1 (t/έτος)	Μοναδιαίο κόστος (€/t)	Οικονομικό όφελος Σεναρίου 1 (€/έτος)	Μείωση Σεναρίου 2 (t/έτος)	Οικονομικό όφελος Σεναρίου 2 (€/έτος)
CO ₂	15.167,51	100	1.516.751	30.426,43	3.042.643
NOx	42,31	5.100	215.781	84,87	432.837
PM10	1,02	24.800	Δεν προστίθεται	2,04	Δεν προστίθεται
PM2.5	0,92	86.000	79.120	1,85	159.100
NMVOC	2,46	300	738	4,92	1.476
Σύνολο	-	-	1.812.390	-	3.636.056

Ο Πίνακας 29 δείχνει ότι το συνολικό ετήσιο αποφευχθέν εξωτερικό κόστος ανέρχεται σε περίπου **1,81 εκατ. €/έτος** για το Σενάριο 1 και σε περίπου **3,64 εκατ. €/έτος** για το Σενάριο 2. Το μεγαλύτερο μέρος του οικονομικού οφέλους προέρχεται από τη μείωση των εκπομπών CO₂, κυρίως λόγω του μεγάλου απόλυτου μεγέθους της μείωσης σε τόνους. Παράλληλα, σημαντική

είναι και η συμβολή των NO_x, καθώς η μείωση του συγκεκριμένου ρύπου έχει άμεση σημασία για την αστική ατμοσφαιρική επιβάρυνση.

Η συμβολή των PM_{2.5} είναι μικρότερη σε απόλυτο οικονομικό μέγεθος σε σχέση με το CO₂ και τα NO_x, επειδή οι μειώσεις εκπομπών εκφράζονται σε πολύ μικρότερες ποσότητες. Παρ' όλα αυτά, το μοναδιαίο εξωτερικό κόστος των PM_{2.5} παραμένει υψηλό, γεγονός που δείχνει τη σημασία τους για τη δημόσια υγεία. Οι NMVOC έχουν μικρή συμμετοχή στο συνολικό οικονομικό αποτέλεσμα, λόγω του χαμηλότερου μοναδιαίου κόστους και των σχετικά περιορισμένων ποσοτήτων μείωσης.

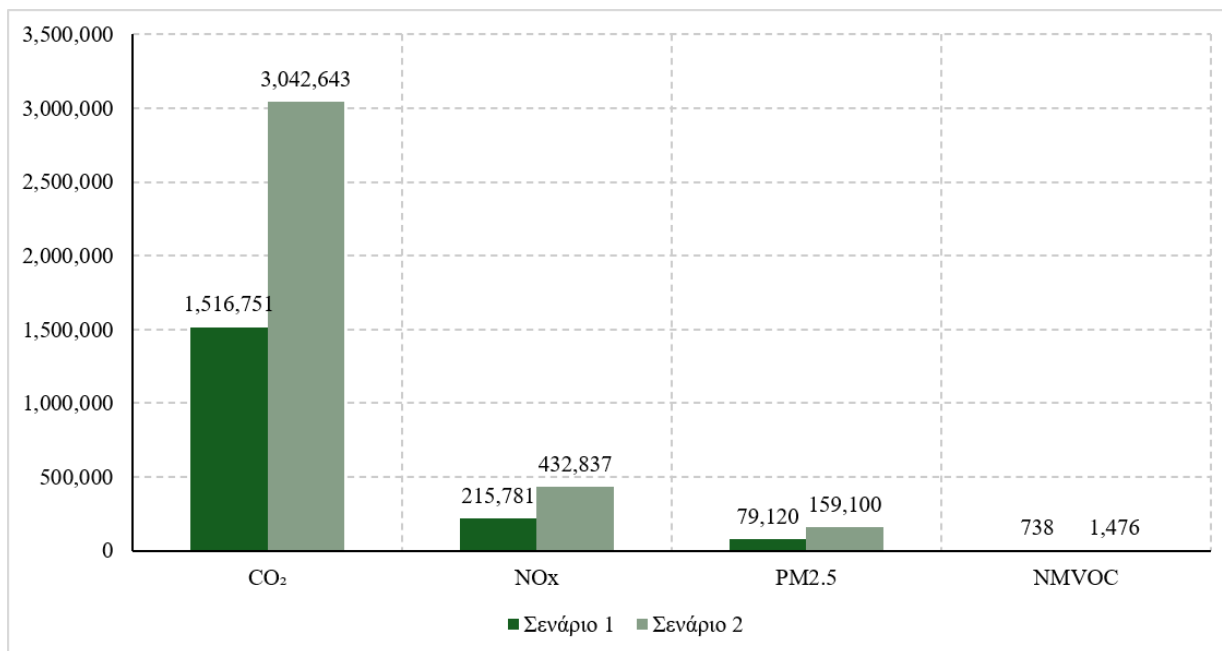
Η οικονομική αποτίμηση επιβεβαιώνει ότι η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση μπορεί να οδηγήσει σε μετρήσιμο κοινωνικό και περιβαλλοντικό όφελος, ακόμη και όταν η ανάλυση περιορίζεται μόνο στις άμεσες εκπομπές κατά τη λειτουργία των οχημάτων. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν πρέπει να ερμηνευθούν ως πλήρης ανάλυση κόστους-οφέλους της ηλεκτροκίνησης. Δεν περιλαμβάνουν το κόστος αγοράς οχημάτων, το κόστος ανάπτυξης υποδομών φόρτισης, το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, τη συντήρηση ή τις επιπτώσεις πλήρους κύκλου ζωής. Αντίθετα, αποτυπώνουν αποκλειστικά το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος από τη μείωση των εκπομπών στο πλαίσιο Tank-to-Wheel.



Σχήμα 3: Συνολικό οικονομικό όφελος ανά σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).

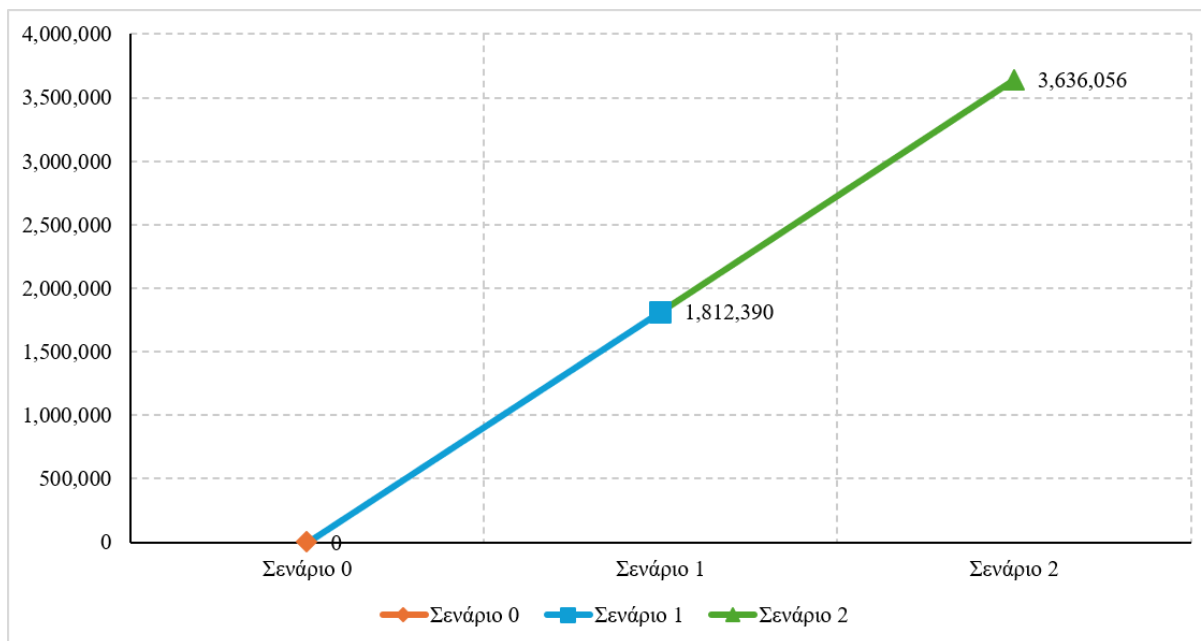
Το Διάγραμμα 3 αποτυπώνει τη διαφορά οικονομικού οφέλους μεταξύ των δύο σεναρίων. Το Σενάριο 2 εμφανίζει περίπου διπλάσιο αποφευχθέν εξωτερικό κόστος σε σχέση με το Σενάριο 1, γεγονός που είναι αναμενόμενο λόγω του μεγαλύτερου βαθμού αντικατάστασης του συμβατικού έργου. Η διαφορά αυτή δείχνει ότι η ένταση της μετάβασης επηρεάζει άμεσα όχι μόνο τις

περιβαλλοντικές μειώσεις αλλά και την αντίστοιχη χρηματική αποτίμηση του οφέλους.



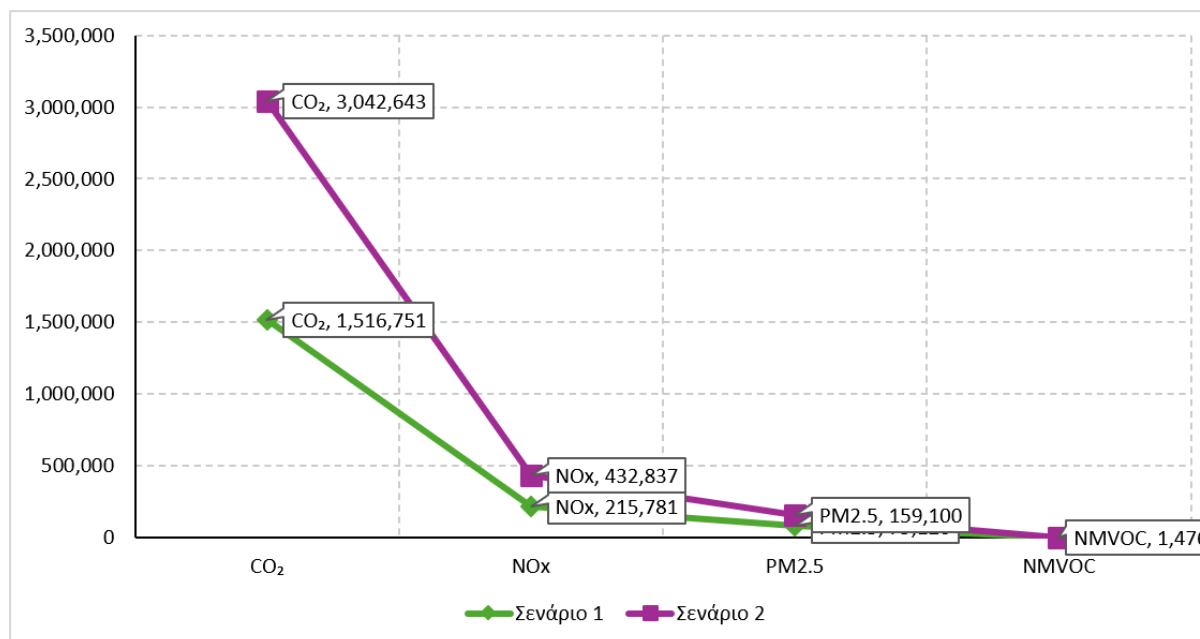
Σχήμα 4: Οικονομικό όφελος ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).

Το Διάγραμμα 4 παρουσιάζει τη συμβολή κάθε ρύπου στο συνολικό οικονομικό όφελος των σεναρίων. Η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από το CO₂, λόγω της μεγάλης απόλυτης μείωσης των εκπομπών, ενώ σημαντική είναι και η συμβολή των NO_x. Τα PM_{2.5} εμφανίζουν μικρότερη συνολική συμβολή σε ευρώ λόγω των μικρότερων ποσοτήτων μείωσης, αλλά η μοναδιαία τιμή τους επιβεβαιώνει τη σημασία τους για τη δημόσια υγεία.



Σχήμα 5: Εξέλιξη συνολικού οικονομικού οφέλους ανά σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).

Το Διάγραμμα 5 παρουσιάζει την κλιμάκωση του αποφευχθέντος εξωτερικού κόστους από τη γραμμή βάσης προς τα δύο σενάρια μετάβασης. Το Σενάριο 0 τίθεται ίσο με μηδέν, καθώς αντιστοιχεί στην υφιστάμενη κατάσταση και δεν περιλαμβάνει αποφευχθείσες εκπομπές. Η σταδιακή αύξηση του οικονομικού οφέλους από το Σενάριο 1 στο Σενάριο 2 αποτυπώνει τη μεγαλύτερη ένταση μετάβασης και τη μεγαλύτερη μείωση των άμεσων εκπομπών.



Σχήμα 6: Εξέλιξη οικονομικού οφέλους ανά ρύπο και σενάριο μετάβασης. Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει European Commission (2020).

Το Διάγραμμα 6 δείχνει ότι η αύξηση του οικονομικού οφέλους μεταξύ των σεναρίων δεν κατανέμεται ισότιμα σε όλους τους ρύπους. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης προέρχεται από το CO₂ και τα NO_x, ενώ τα PM_{2.5} και οι NM_{VOC} έχουν μικρότερη απόλυτη συμβολή στο συνολικό χρηματικό αποτέλεσμα. Η εικόνα αυτή συνδέεται τόσο με τις ποσότητες των μειώσεων όσο και με τις μοναδιαίες τιμές εξωτερικού κόστους που χρησιμοποιούνται στην αποτίμηση.

Συνολικά, η οικονομική αποτίμηση του 5.2 δείχνει ότι τα περιβαλλοντικά οφέλη της μετάβασης μπορούν να αποδοθούν και σε χρηματικούς όρους. Το Σενάριο 1 λειτουργεί ως ρεαλιστικό ενδιάμεσο επίπεδο μετάβασης, ενώ το Σενάριο 2 αποτυπώνει ένα υψηλότερο επίπεδο δυνητικού οφέλους υπό πιο εκτεταμένη εφαρμογή ηλεκτροκίνησης. Η σύγκριση αυτή θα αξιοποιηθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο για τη συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το περιβαλλοντικό όσο και το οικονομικό σκέλος της ανάλυσης.

5.3 Συζήτηση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 5 δείχνουν ότι η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση μπορεί να μειώσει

σημαντικά τις άμεσες εκπομπές των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας στη Θεσσαλονίκη. Η σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης με τα δύο σενάρια μετάβασης δείχνει ότι η περιβαλλοντική βελτίωση εξαρτάται άμεσα από το ποσοστό αντικατάστασης του συμβατικού έργου και από την κατηγορία στόλου στην οποία εφαρμόζεται η παρέμβαση.

Ένα βασικό στοιχείο της ανάλυσης είναι ότι τα σενάρια δεν εφαρμόζονται με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων. Η διάκριση σε βαθμούς τεχνικής και επιχειρησιακής εφικτότητας επιτρέπει μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση, καθώς δεν έχουν όλα τα οχήματα τις ίδιες δυνατότητες μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση. Τα αστικά λεωφορεία και τα ελαφρά δημοτικά οχήματα εμφανίζουν υψηλότερη εφικτότητα, ενώ τα ταξί εξαρτώνται περισσότερο από ιδιωτικές αποφάσεις και υποδομές φόρτισης. Αντίθετα, τα βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερους περιορισμούς λόγω αυτονομίας, φορτίου, κύκλου εργασίας και διαθέσιμων τεχνολογικών λύσεων.

- Το Σενάριο 1 εκφράζει μια πιο συντηρητική και σταδιακή μορφή μετάβασης. Η σημασία του είναι ότι δείχνει πως ακόμη και χωρίς πλήρη αντικατάσταση του στόλου μπορούν να προκύψουν ουσιαστικές μειώσεις εκπομπών. Αυτό είναι σημαντικό από πρακτική άποψη, καθώς η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση είναι πιθανό να γίνει σταδιακά, λόγω οικονομικών, τεχνικών και οργανωτικών περιορισμών.
- Το Σενάριο 2 παρουσιάζει μεγαλύτερες μειώσεις εκπομπών, καθώς εφαρμόζει υψηλότερα ποσοστά μετάβασης. Ωστόσο, δεν αποτελεί σενάριο πλήρους και οριζόντιας αντικατάστασης όλων των οχημάτων. Η διατήρηση χαμηλότερων ποσοστών μετάβασης για τα βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα καθιστά το σενάριο πιο προσεκτικό και πιο συμβατό με τις πραγματικές τεχνικές δυσκολίες που υπάρχουν σε αυτές τις κατηγορίες.

Από την περιβαλλοντική σύγκριση προκύπτει ότι οι μειώσεις είναι εμφανείς σε όλους τους εξεταζόμενους ρύπους. Η μείωση του CO₂ είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς συνδέεται με το κλιματικό αποτύπωμα του στόλου. Παράλληλα, οι μειώσεις των NO_x, PM₁₀ και PM_{2.5} έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ποιότητα του αέρα στο αστικό περιβάλλον, επειδή οι ρύποι αυτοί συνδέονται περισσότερο με τις άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και με την τοπική ατμοσφαιρική επιβάρυνση.

Η οικονομική αποτίμηση του περιβαλλοντικού οφέλους προσθέτει μια δεύτερη διάσταση στην αξιολόγηση των σεναρίων. Με βάση τους συντελεστές εξωτερικού κόστους που χρησιμοποιήθηκαν, το Σενάριο 1 οδηγεί σε ετήσιο αποφευχθέν εξωτερικό κόστος περίπου 1,81 εκατ. ευρώ, ενώ το Σενάριο 2 οδηγεί σε περίπου 3,64 εκατ. ευρώ. Τα ποσά αυτά δεν αποτελούν άμεσο οικονομικό κέρδος για κάποιον φορέα, αλλά εκφράζουν σε χρηματικούς όρους τη μείωση της κοινωνικής και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τις εκπομπές.

Η μεγαλύτερη συμβολή στο οικονομικό αποτέλεσμα προέρχεται από το CO₂, κυρίως επειδή οι μειώσεις του συγκεκριμένου ρύπου είναι πολύ μεγαλύτερες σε απόλυτους τόνους σε σχέση με τους υπόλοιπους ρύπους. Ωστόσο, οι τοπικοί ρύποι, όπως τα NO_x και τα PM_{2.5}, δεν πρέπει να θεωρηθούν δευτερεύοντες. Παρότι εμφανίζουν μικρότερες ποσότητες μείωσης, έχουν σημαντική σημασία για την ποιότητα του αέρα και τη δημόσια υγεία, ειδικά σε μια αστική περιοχή όπως η Θεσσαλονίκη.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε και στα αιωρούμενα σωματίδια. Στην οικονομική αποτίμηση δεν προστέθηκε το PM10 στο συνολικό οικονομικό όφελος όταν χρησιμοποιήθηκε το PM2.5, ώστε να αποφευχθεί πιθανή διπλομέτρηση. Η επιλογή αυτή κάνει την αποτίμηση πιο συντηρητική και μεθοδολογικά πιο ασφαλή. Έτσι, το PM10 διατηρείται στην περιβαλλοντική ανάλυση, αλλά δεν χρησιμοποιείται στο βασικό άθροισμα του αποφευχθέντος εξωτερικού κόστους.

Σε επίπεδο στόλων, τα αστικά λεωφορεία και τα ταξί εμφανίζονται ως οι πιο σημαντικές κατηγορίες παρέμβασης. Τα λεωφορεία έχουν μεγάλο συγκοινωνιακό έργο και σημαντική συμβολή σε CO₂ και NO_x, ενώ τα ταξί έχουν πολύ υψηλή ετήσια χιλιομετρική δραστηριότητα. Ο δημοτικός στόλος έχει μικρότερη συνολική συμμετοχή στις εκπομπές, αλλά έχει ιδιαίτερη σημασία επειδή συνδέεται άμεσα με υπηρεσίες του Δήμου και μπορεί να αποτελέσει πεδίο στοχευμένης δημόσιας πολιτικής.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί να αποτελέσει ουσιαστικό εργαλείο μείωσης των άμεσων εκπομπών, αλλά δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ενιαία λύση για όλους τους τύπους οχημάτων. Η εφαρμογή της χρειάζεται προτεραιοποίηση, ανάλογα με το περιβαλλοντικό όφελος, την τεχνική εφικτότητα και τις πραγματικές λειτουργικές ανάγκες κάθε στόλου. Με αυτή τη λογική, το Κεφάλαιο 5 δεν δείχνει μόνο το μέγεθος των πιθανών μειώσεων, αλλά και την ανάγκη για σταδιακή και διαφοροποιημένη πολιτική μετάβασης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη κύριων συμπερασμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων από τη μετάβαση των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας της Θεσσαλονίκης στην ηλεκτροκίνηση. Η ανάλυση επικεντρώθηκε σε τρεις βασικές κατηγορίες στόλου, δηλαδή στα αστικά λεωφορεία, στα οχήματα του Δήμου Θεσσαλονίκης και στα ταξί.

Αρχικά αποτυπώθηκε η υφιστάμενη κατάσταση του εξεταζόμενου στόλου και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι εκπομπές βάσης για CO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} και NMVOC. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε βασίστηκε σε προσέγγιση Tier 2, με χρήση στοιχείων στόλου, ετήσιας δραστηριότητας και συντελεστών εκπομπής. Η επιλογή αυτή κρίθηκε κατάλληλη για την παρούσα εργασία, καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα επέτρεπαν αναλυτικότερη προσέγγιση από μια γενική Tier 1 εκτίμηση, χωρίς όμως να επαρκούν για πλήρη εφαρμογή Tier 3.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην Ενότητα 1.3 απαντώνται ως εξής.

- Ως προς το EE1, η εργασία κατέγραψε την ποιοτική σύνθεση του εξεταζόμενου στόλου ως προς την κατηγορία οχήματος, το καύσιμο και την αντιρρυπαντική τεχνολογία. Για τα αστικά λεωφορεία διαπιστώθηκε ότι ο στόλος εξακολουθεί να βασίζεται κυρίως σε πετρελαιοκίνητα οχήματα, αν και έχει ήδη ενταχθεί σημαντικός αριθμός ηλεκτρικών λεωφορείων. Για τον δημοτικό στόλο, η ανάλυση έδειξε κυριαρχία βαρέων και ειδικών οχημάτων, όπως απορριμματοφόρα, φορτηγά και λοιπά οχήματα επιχειρησιακής χρήσης. Για τα ταξί, η διαθέσιμη πληροφορία δεν επέτρεψε πλήρη αναλυτική απογραφή ανά όχημα, ωστόσο κατέστη δυνατή η ένταξη της κατηγορίας στην ανάλυση μέσω λειτουργικής εκτίμησης του ενεργού στόλου και της ετήσιας δραστηριότητάς του.
- Ως προς το EE2, η εργασία έδειξε ότι η συνεισφορά των κατηγοριών στόλου διαφοροποιείται ανά ρύπο. Τα αστικά λεωφορεία εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συμβολή στις εκπομπές NO_x, με ποσοστό 64,75%, και τη μεγαλύτερη συμβολή στις εκπομπές CO₂, με ποσοστό 53,47%. Αντίθετα, τα ταξί εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συμβολή στα αιωρούμενα σωματίδια, με 63,81% στα PM₁₀ και 63,52% στα PM_{2.5}. Ο δημοτικός στόλος έχει μικρότερη συνολική συμμετοχή, αλλά παραμένει σημαντικός λόγω της λειτουργίας του εντός του αστικού ιστού και του δημόσιου χαρακτήρα του.
- Ως προς το EE3, τα σενάρια μετάβασης έδειξαν ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των άμεσων εκπομπών. Στο Σενάριο 1, η μείωση του CO₂ εκτιμάται σε 15.167,51 t/έτος, ενώ στο Σενάριο 2 σε 30.426,43 t/έτος. Αντίστοιχα, οι μειώσεις των NO_x ανέρχονται σε 42,31 t/έτος στο Σενάριο 1 και σε 84,87 t/έτος στο Σενάριο 2. Μειώσεις καταγράφονται επίσης στα PM₁₀, PM_{2.5} και NMVOC. Επομένως, το περιβαλλοντικό όφελος είναι μετρήσιμο και αυξάνεται όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο μετάβασης.
- Ως προς το EE4, η οικονομική αποτίμηση έδειξε ότι η μείωση των εκπομπών μεταφράζεται σε αποφευχθέν εξωτερικό κόστος. Το συνολικό ετήσιο όφελος εκτιμήθηκε σε περίπου 1,81 εκατ. €/έτος για το Σενάριο 1 και σε περίπου 3,64 εκατ. €/έτος για το Σενάριο 2. Το αποτέλεσμα αυτό

δείχνει ότι η ηλεκτροκίνηση δεν έχει μόνο περιβαλλοντική σημασία, αλλά μπορεί να αποτυπωθεί και σε χρηματικούς όρους ως κοινωνικό και περιβαλλοντικό όφελος.

Συνολικά, τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας απαντώνται μέσα από την αποτύπωση του στόλου βάσης, τον υπολογισμό των εκπομπών, τη διαμόρφωση σεναρίων μετάβασης και την οικονομική αποτίμηση του περιβαλλοντικού οφέλους. Η εργασία δείχνει ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οχημάτων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας στη Θεσσαλονίκη, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται με διαφοροποιημένο τρόπο ανά κατηγορία στόλου.

Από την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης προέκυψε ότι τα αστικά λεωφορεία και τα ταξί αποτελούν τις δύο βασικές κατηγορίες που επιβαρύνουν περισσότερο το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τα αστικά λεωφορεία εμφανίζουν σημαντική συμβολή κυρίως στις εκπομπές CO₂ και NO_x, λόγω του υψηλού συγκοινωνιακού έργου και της χρήσης βαρέων πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Τα ταξί παρουσιάζουν επίσης υψηλή συμμετοχή στις συνολικές εκπομπές, κυρίως λόγω του μεγάλου ετήσιου χιλιομετρικού έργου που χαρακτηρίζει τη λειτουργία τους.

Ο δημοτικός στόλος του Δήμου Θεσσαλονίκης εμφανίζει μικρότερη συνολική συμμετοχή στις εκπομπές σε σχέση με τα λεωφορεία και τα ταξί. Ωστόσο, η σημασία του δεν είναι αμελητέα, καθώς συνδέεται με βασικές καθημερινές λειτουργίες της πόλης, όπως η αποκομιδή απορριμμάτων, η καθαριότητα και οι τεχνικές υπηρεσίες. Επομένως, η ανανέωση του δημοτικού στόλου μπορεί να έχει πρακτική και συμβολική σημασία για την περιβαλλοντική πολιτική του Δήμου.

Τα σενάρια μετάβασης έδειξαν ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί να επιφέρει ουσιαστικές μειώσεις εκπομπών. Το Σενάριο 1 αποτύπωσε μια μερική και πιο συντηρητική μετάβαση, ενώ το Σενάριο 2 αποτύπωσε μια πιο εκτεταμένη αλλά τεχνικά συγκρατημένη μετάβαση. Και στα δύο σενάρια, οι μειώσεις εκπομπών ήταν εμφανείς για όλους τους εξεταζόμενους ρύπους. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο περιβαλλοντικής βελτίωσης, ακόμη και όταν δεν εφαρμόζεται ως πλήρης αντικατάσταση όλων των οχημάτων.

Η οικονομική αποτίμηση έδειξε ότι η μείωση των εκπομπών μπορεί να μεταφραστεί και σε αποφευχθέν εξωτερικό κόστος. Τα ποσά που υπολογίστηκαν δεν αποτελούν πλήρη οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης στην ηλεκτροκίνηση, αλλά δείχνουν την τάξη μεγέθους του κοινωνικού και περιβαλλοντικού οφέλους που μπορεί να προκύψει από τη μείωση των άμεσων εκπομπών.

Το βασικό συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εξεταζόμενων στόλων στη Θεσσαλονίκη. Ωστόσο, η μετάβαση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί με ενιαίο τρόπο σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων. Απαιτείται διαφοροποιημένος σχεδιασμός, με προτεραιότητα στις κατηγορίες όπου συνδυάζονται υψηλή δραστηριότητα, υψηλές εκπομπές και μεγαλύτερη τεχνική εφικτότητα.

6.2 Προτάσεις περιβαλλοντικής πολιτικής

Με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας, μια βασική προτεραιότητα αφορά τη συνέχιση και ενίσχυση της ανανέωσης του στόλου των αστικών λεωφορείων. Τα λεωφορεία έχουν υψηλό συγκοινωνιακό έργο και σημαντική συμβολή στις εκπομπές CO₂ και NO_x. Για τον λόγο αυτό, η σταδιακή αντικατάσταση παλαιότερων πετρελαιοκίνητων λεωφορείων με ηλεκτρικά μπορεί να έχει άμεσο περιβαλλοντικό όφελος στον αστικό ιστό της Θεσσαλονίκης. Η ήδη υπάρχουσα παρουσία ηλεκτρικών λεωφορείων στον στόλο δείχνει ότι η τεχνολογία μπορεί να ενταχθεί στο σύστημα αστικών μεταφορών. Ωστόσο, η περαιτέρω επέκτασή της απαιτεί κατάλληλο προγραμματισμό, επαρκείς υποδομές φόρτισης, προσαρμογή των αμαξοστασίων και αξιολόγηση των γραμμών στις οποίες η χρήση ηλεκτρικών λεωφορείων είναι πιο αποδοτική.

Παράλληλα, η ηλεκτροκίνηση των ταξί θα πρέπει να αποτελέσει σημαντικό πεδίο πολιτικής. Τα ταξί κινούνται συνεχώς μέσα στην πόλη και εμφανίζουν υψηλό ετήσιο χιλιομετρικό έργο. Η αντικατάσταση συμβατικών ταξί με ηλεκτρικά μπορεί να μειώσει τις άμεσες τοπικές εκπομπές, όμως η μετάβαση αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους ίδιους τους επαγγελματίες οδηγούς. Επομένως, απαιτούνται οικονομικά κίνητρα, απλές διαδικασίες επιδότησης και κατάλληλα σημεία φόρτισης σε περιοχές όπου εξυπηρετείται η καθημερινή λειτουργία των ταξί.

Για τον δημοτικό στόλο, η μετάβαση θα πρέπει να γίνει σταδιακά και με προτεραιοποίηση. Τα ελαφρά δημοτικά οχήματα, όπως επιβατικά, van και μικρά επαγγελματικά, μπορούν να αποτελέσουν την πρώτη κατηγορία αντικατάστασης, καθώς υπάρχουν διαθέσιμες ηλεκτρικές λύσεις και οι λειτουργικές απαιτήσεις τους είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμες. Αντίθετα, για βαρέα και ειδικά οχήματα, όπως απορριμματοφόρα, καλαθοφόρα και βυτιοφόρα, απαιτείται προηγούμενη τεχνική αξιολόγηση.

Σημαντική προϋπόθεση για την επιτυχία της ηλεκτροκίνησης είναι η ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών φόρτισης. Η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων από μόνη της δεν αρκεί, αν δεν υπάρχει οργανωμένο δίκτυο φόρτισης που να εξυπηρετεί τις πραγματικές ανάγκες των στόλων. Για τα λεωφορεία απαιτούνται φορτιστές σε αμαξοστάσια και πιθανώς σε επιλεγμένους τερματικούς σταθμούς. Για τα ταξί χρειάζονται σημεία φόρτισης σε περιοχές υψηλής ζήτησης, ενώ για τον δημοτικό στόλο απαιτούνται υποδομές σε δημοτικούς χώρους στάθμευσης και εγκαταστάσεις.

Επιπλέον, προτείνεται η συστηματική συλλογή και επικαιροποίηση δεδομένων για τους στόλους δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας. Η ύπαρξη οργανωμένων δεδομένων για τον τύπο οχήματος, το καύσιμο, την ηλικία, την κατηγορία Euro, τα ετήσια χιλιόμετρα και τη λειτουργική χρήση θα βελτιώνει σημαντικά τη μελλοντική παρακολούθηση των εκπομπών και την αξιολόγηση πολιτικών.

Τέλος, η ηλεκτροκίνηση θα πρέπει να ενταχθεί σε μια ευρύτερη στρατηγική βιώσιμης αστικής κινητικότητας. Δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένη λύση, αλλά ως μέρος ενός συνολικού σχεδιασμού που περιλαμβάνει καλύτερη οργάνωση δρομολογίων, περιορισμό άσκοπων μετακινήσεων, βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας

του αέρα.

6.3 Αναπάντητα ερωτήματα και αδυναμίες της εργασίας

Παρά τη συστηματική προσέγγιση που ακολουθήθηκε, η παρούσα εργασία παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες και αφήνει ορισμένα ερωτήματα ανοιχτά.

- Ο πρώτος βασικός περιορισμός αφορά τη διαθεσιμότητα και την πληρότητα των δεδομένων. Για τα αστικά λεωφορεία και τον δημοτικό στόλο υπήρχαν περισσότερα διαθέσιμα στοιχεία, ενώ για τα ταξί δεν υπήρχε πλήρες αναλυτικό μητρώο με τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ανά όχημα. Για τον λόγο αυτό, η εκτίμηση της δραστηριότητας των ταξί βασίστηκε σε λειτουργικές παραδοχές και διαθέσιμες πληροφορίες πεδίου.
- Δεύτερη αδυναμία αφορά την ετήσια χιλιομετρική δραστηριότητα του δημοτικού στόλου. Επειδή δεν υπήρχαν πλήρη στοιχεία πραγματικών διαδρομών ή χιλιομέτρων ανά όχημα, χρησιμοποιήθηκαν τεκμηριωμένες τιμές VKT ανά κατηγορία οχήματος, με βάση διαθέσιμα στοιχεία και βιβλιογραφικές προσεγγίσεις. Η επιλογή αυτή επιτρέπει την πραγματοποίηση της ανάλυσης, αλλά εισάγει ένα επίπεδο αβεβαιότητας στα αποτελέσματα.
- Τρίτος περιορισμός αφορά το όριο της ανάλυσης, το οποίο είναι Tank-to-Wheel. Η εργασία εξετάζει τις άμεσες εκπομπές κατά τη λειτουργία των οχημάτων και δεν περιλαμβάνει τις εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την κατασκευή των οχημάτων, την παραγωγή των μπαταριών ή τη διαχείριση του πλήρους κύκλου ζωής. Επομένως, τα αποτελέσματα αφορούν κυρίως την τοπική ατμοσφαιρική επιβάρυνση και όχι το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε όλο τον κύκλο ζωής.
- Τέταρτος περιορισμός αφορά τη χρήση συντελεστών εκπομπής. Η μεθοδολογία Tier 2 είναι κατάλληλη για την παρούσα εργασία, όμως δεν μπορεί να αποτυπώσει πλήρως όλες τις πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Παράγοντες όπως η ταχύτητα, η κλίση του δρόμου, η συμφόρηση, το φορτίο του οχήματος, η συντήρηση και οι συνθήκες οδήγησης μπορεί να επηρεάζουν τις πραγματικές εκπομπές.
- Αντίστοιχα, η οικονομική αποτίμηση βασίζεται σε μοναδιαίες τιμές εξωτερικού κόστους από τη βιβλιογραφία και όχι σε πρωτογενή τοπική αποτίμηση για κάθε περιοχή ή οδικό άξονα της Θεσσαλονίκης. Επομένως, τα αποτελέσματα αποτυπώνουν μια τεκμηριωμένη εκτίμηση της τάξης μεγέθους του οφέλους, αλλά όχι μια πλήρως χωρικά εξειδικευμένη αποτίμηση.
- Τέλος, η εργασία δεν απαντά πλήρως στο ερώτημα της οικονομικής βιωσιμότητας της μετάβασης. Υπολογίζεται το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος από τη μείωση των εκπομπών, αλλά δεν υπολογίζονται τα κόστη αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων, οι φορτιστές, η ηλεκτρική ενέργεια, η συντήρηση, οι επιδοτήσεις και η πιθανή ανάγκη αναβάθμισης του ηλεκτρικού δικτύου. Επομένως, η εργασία δεν αποτελεί πλήρη ανάλυση κόστους-οφέλους της ηλεκτροκίνησης.

6.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επεκτείνει την ανάλυση σε επίπεδο Well-to-Wheel ή πλήρους κύκλου ζωής. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαν να συνυπολογιστούν οι εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την παραγωγή των μπαταριών, την κατασκευή των οχημάτων και τη συνολική διάρκεια ζωής τους. Μια τέτοια προσέγγιση θα έδινε πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη σύγκριση συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων.

Επιπλέον, θα ήταν χρήσιμη η συλλογή αναλυτικών δεδομένων κίνησης ανά όχημα. Δεδομένα από GPS, πραγματικές διαδρομές, μέσες ταχύτητες, στάσεις, χρόνους λειτουργίας και ημερήσια χιλιομετρική δραστηριότητα θα επέτρεπαν πιο ακριβή υπολογισμό των εκπομπών. Αυτό θα ήταν ιδιαίτερα σημαντικό για τα ταξί και τα δημοτικά οχήματα, όπου η παρούσα εργασία βασίστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό σε παραδοχές.

Μια ακόμη κατεύθυνση μελλοντικής έρευνας αφορά την ανάπτυξη χωρικής ανάλυσης των εκπομπών. Η κατανομή των εκπομπών στον αστικό ιστό δεν είναι ομοιόμορφη, καθώς ορισμένοι δρόμοι, κόμβοι και περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερη κυκλοφοριακή επιβάρυνση. Η χρήση GIS και κυκλοφοριακών δεδομένων θα μπορούσε να βοηθήσει στον εντοπισμό των περιοχών όπου η αντικατάσταση οχημάτων θα είχε το μεγαλύτερο τοπικό όφελος.

Επίσης, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί πλήρης οικονομική ανάλυση κόστους-οφέλους. Μια τέτοια ανάλυση θα συνυπολόγιζε όχι μόνο το αποφευχθέν εξωτερικό κόστος, αλλά και το κόστος αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, τις υποδομές φόρτισης, το λειτουργικό κόστος, τη συντήρηση, τις επιδοτήσεις και την εξοικονόμηση καυσίμων. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να αξιολογηθεί πιο ολοκληρωμένα η οικονομική βιωσιμότητα της μετάβασης.

Μελλοντική έρευνα θα μπορούσε ακόμη να εξετάσει εναλλακτικά σενάρια τεχνολογικής μετάβασης, όπως χρήση βιοκαυσίμων, υδρογόνου ή νεότερων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών για κατηγορίες οχημάτων όπου η πλήρης ηλεκτροκίνηση δεν είναι ακόμη εύκολα εφαρμόσιμη. Αυτό αφορά κυρίως βαρέα και ειδικά δημοτικά οχήματα, για τα οποία η ηλεκτροκίνηση μπορεί να παρουσιάζει επιχειρησιακούς περιορισμούς.

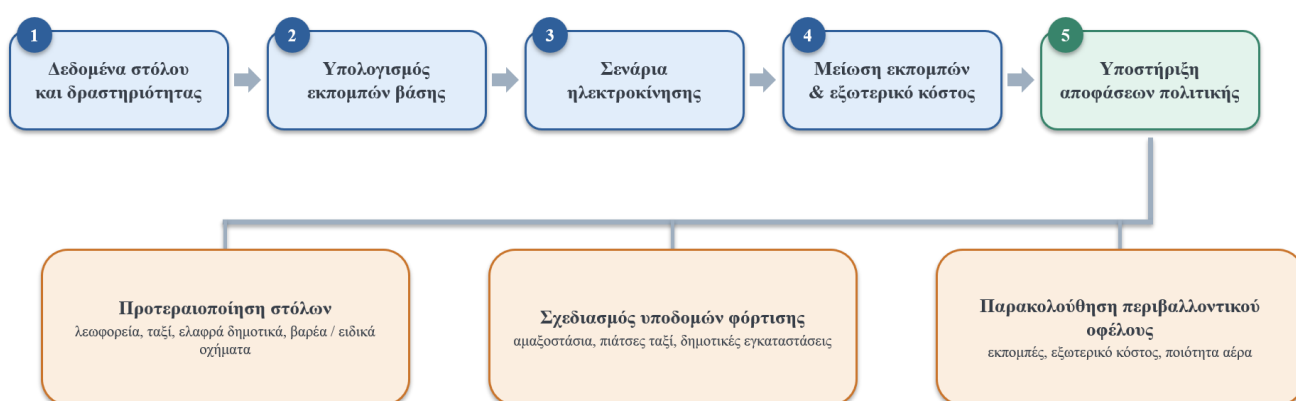
Τέλος, θα ήταν χρήσιμη η διερεύνηση της αποδοχής της ηλεκτροκίνησης από τους εμπλεκόμενους φορείς. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να εξεταστούν οι απόψεις οδηγών ταξί, φορέων αστικών συγκοινωνιών, στελεχών του Δήμου και πολιτών. Με τον τρόπο αυτό, η τεχνική και περιβαλλοντική ανάλυση θα μπορούσε να συνδυαστεί με κοινωνικές και οργανωτικές παραμέτρους που επηρεάζουν την πραγματική εφαρμογή της μετάβασης.

6.5 Πιθανές θεωρητικές και πρακτικές εφαρμογές των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να έχουν τόσο θεωρητική όσο και πρακτική

χρησιμότητα. Σε θεωρητικό επίπεδο, η εργασία συμβάλλει στην εφαρμογή μιας μεθοδολογίας υπολογισμού εκπομπών για συγκεκριμένες κατηγορίες στόλου δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας. Η σύνδεση των εκπομπών με σενάρια ηλεκτροκίνησης και με οικονομική αποτίμηση εξωτερικού κόστους δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης.

Η πρακτική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων μπορεί να αποδοθεί σχηματικά ως μια ακολουθία από τη συλλογή δεδομένων και τον υπολογισμό των εκπομπών έως τη διαμόρφωση σεναρίων και την υποστήριξη αποφάσεων πολιτικής. Η λογική αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 7, η οποία συνοψίζει τον τρόπο με τον οποίο η μεθοδολογία της εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σχεδιασμού για τη μετάβαση στόλων δημόσιας χρήσης και κοινής ωφέλειας στην ηλεκτροκίνηση.



Εικόνα 7: Εννοιολογικό πλαίσιο αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της εργασίας για τη μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7, τα αποτελέσματα της εργασίας δεν περιορίζονται στην απλή εκτίμηση εκπομπών, αλλά μπορούν να αξιοποιηθούν για την ιεράρχηση παρεμβάσεων, τον σχεδιασμό υποδομών φόρτισης και την παρακολούθηση του περιβαλλοντικού οφέλους. Με αυτόν τον τρόπο, η ανάλυση μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις σε επίπεδο αστικής κινητικότητας και περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η εργασία μπορεί επίσης να αποτελέσει βάση για παρόμοιες αναλύσεις σε άλλες ελληνικές πόλεις. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικά αστικά περιβάλλοντα, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία στόλου, ετήσιας δραστηριότητας και συντελεστών εκπομπής. Με τον τρόπο αυτό, η προσέγγιση μπορεί να αξιοποιηθεί και σε άλλες περιπτώσεις όπου απαιτείται αποτίμηση της μετάβασης δημόσιων ή κοινωφελών στόλων στην ηλεκτροκίνηση.

Σε πρακτικό επίπεδο, τα αποτελέσματα μπορούν να υποστηρίξουν τον σχεδιασμό πολιτικών για την ανανέωση στόλων στη Θεσσαλονίκη. Η ανάλυση δείχνει ποιες κατηγορίες στόλου έχουν μεγαλύτερη συμβολή στις εκπομπές και ποιες μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερο όφελος από τη μετάβαση. Έτσι, μπορεί να βοηθήσει στη διαμόρφωση προτεραιοτήτων για την αντικατάσταση οχημάτων.

Επιπλέον, η εργασία μπορεί να αξιοποιηθεί από φορείς όπως ο Δήμος Θεσσαλονίκης, οι φορείς αστικών συγκοινωνιών και οι αρμόδιες αρχές σχεδιασμού μεταφορών. Τα αποτελέσματα μπορούν να

λειτουργήσουν ως αρχική βάση για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών οφελών από την ηλεκτροκίνηση και για τη σύνδεση των παρεμβάσεων με στόχους βελτίωσης της ποιότητας του αέρα. Η οικονομική αποτίμηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως υποστηρικτικό στοιχείο για τη λήψη αποφάσεων. Παρότι δεν αποτελεί πλήρη ανάλυση κόστους-οφέλους, δείχνει ότι η μείωση των εκπομπών έχει μετρήσιμη κοινωνική και περιβαλλοντική αξία. Αυτό μπορεί να ενισχύσει τη σημασία των δημόσιων επενδύσεων σε καθαρότερους στόλους και υποδομές φόρτισης.

Τέλος, η εργασία μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της ανάγκης για διαφοροποιημένη πολιτική ηλεκτροκίνησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δεν είναι όλες οι κατηγορίες οχημάτων εξίσου εύκολες στην αντικατάσταση. Επομένως, η πρακτική εφαρμογή των αποτελεσμάτων μπορεί να βοηθήσει στη διαμόρφωση πιο ρεαλιστικών και στοχευμένων σχεδίων μετάβασης, με διαφορετικές προτεραιότητες για λεωφορεία, ταξί, ελαφρά δημοτικά οχήματα και βαρέα ή ειδικά οχήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- World Health Organization. (2021, September 22). What are the WHO Air quality guidelines? World Health Organization. Ανακτήθηκε 22 Φεβρουαρίου, 2026, από <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>
- Bishop, G. A., Stedman, D. H., Burgard, D. A., & Atkinson, O. (2016). High-mileage light-duty fleet vehicle emissions: Their potentially overlooked importance. *Environmental Science & Technology*, 50(10), 5405–5411. Ανακτήθηκε 22 Φεβρουαρίου, 2026, από <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00717>
- Silva, C., Bravo, J., & Gonçalves, G. A. (2008, May). Bus public transport energy consumption and emissions versus individual transportation [Paper presentation]. Transportation Land Use, Planning, and Air Quality Congress 2007, Orlando, FL, United States. [https://doi.org/10.1061/40960\(320\)15](https://doi.org/10.1061/40960(320)15)
- Li, J., Ge, Y., Wang, X., & Zhang, M. (2022). Evaporative emission characteristics of high-mileage gasoline vehicles. *Environmental Pollution*, 303, Article 119127. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119127>
- Zanfagna, A., Hausberger, S., Landl, L., Andersson, J., Triantafyllopoulos, G., Kolokotronis, D., Holmes, G., Saltas, E., Dimaratos, A., Samaras, Z., Ligterink, N., Rose, R., Soderena, P., Kontses, A., Dilara, P., & Keenan, M. (2022). High mileage emission deterioration factors from Euro 6 positive and compression ignition vehicles. SAE Technical Paper 2022-01-1028. SAE International. <https://doi.org/10.4271/2022-01-1028>
- Aemmer, Z., Malarkey, D., & MacKenzie, D. (2023). Emissions reductions from electrifying high-mileage vehicles. Findings. <https://doi.org/10.32866/001c.75133>
- European Environment Agency. (2024, June 6). Europe's air quality status 2024 (Briefing No. 06/2024). <https://doi.org/10.2800/5970>
- Tsiaousidis, D. T., Liora, N., Kontos, S., Poupkou, A., Akritidis, D., & Melas, D. (2023). Evaluation of PM chemical composition in Thessaloniki, Greece based on air quality simulations. *Sustainability*, 15(13), 10034. <https://doi.org/10.3390/su151310034>
- Chatzopoulou, A., & Mavroidis, I. (2025). Spatiotemporal analysis of air pollutants in Thessaloniki, Greece. *Atmosphere*, 16(9), Article 1057. <https://doi.org/10.3390/atmos16091057>
- Koukouli, M.-E., Pseftogkas, A., Karagkiozidis, D., Skoulidou, I., Drosoglou, T., Balis, D., Bais, A., Melas, D., & Hatzianastassiou, N. (2022). Air quality in two northern Greek cities revealed by their tropospheric NO₂ levels. *Atmosphere*, 13(5), Article 840. <https://doi.org/10.3390/atmos13050840>
- Zeydan, Ö., & Karademir, A. (2023). Comparison of two air quality models in complex terrain near seashore. *Atmósfera*, 37, 333–350. <https://doi.org/10.20937/atm.53118>

Papanastasiou, D. K., & Melas, D. (2009). Climatology and impact on air quality of sea breeze in an urban coastal environment. *International Journal of Climatology*, 29(2), 305–315. <https://doi.org/10.1002/joc.1707>

Ekathimerini. (2023, March 24). Greece condemned over Thessaloniki pollution. *Καθημερινή*. <https://www.ekathimerini.com/news/1207313/greece-condemned-over-thessaloniki-pollution/>

Progiou, A., Liora, N., Sebos, I., Chatzimichail, C., & Melas, D. (2023). Measures and policies for reducing PM exceedances through the use of air quality modeling: The case of Thessaloniki, Greece. *Sustainability*, 15(2), Article 930. <https://doi.org/10.3390/su15020930>

Σδουκόπουλος, Α. (2021). Πρότυπο μεθοδολογικό πλαίσιο εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις οδικές μεταφορές σε αστικό επίπεδο [Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης]. IKEE: Αποθετήριο Επιστημονικών Εργασιών ΑΠΘ. <https://ikee.lib.auth.gr/record/33681/files/GRI-2022-33681.pdf>

European Automobile Manufacturers' Association. (2024, September 9). Average age of the EU vehicle fleet, by country. ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. Ανακτήθηκε 22 Φεβρουαρίου, 2026, από <https://www.acea.auto/figure/average-age-of-the-eu-vehicle-fleet-by-country/>

Maniotis, G., Spyropoulos, G., & Christopoulos, K. (2023). The footprint of road transport emissions: Electric vehicles and their impact on air pollution reduction in Greece. *Environmental Sciences Proceedings*, 26(1), Article 146. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026146>

Nikolaou, K., Basbas, S., & Taxiltaris, C. (2004). Assessment of air pollution indicators in an urban area using the DPSIR model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(9), 820-830. Ανακτήθηκε 22 Φεβρουαρίου, 2026, από https://www.researchgate.net/publication/275645355_Assessment_of_air_pollution_indicators_in_an_urban_area_using_the_DPSIR_model

European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, van Essen, H., van Wijngaarden, L., Sutter, D., Bieler, C., Maffii, S., Fiorello, D., Fermi, F., Parolin, R., Schrotten, A., Brambilla, M., & El Beyrouthy, K. (2020). Handbook on the external costs of transport: Version 2019 – 1.1. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2832/51388>

Ζέρβας, Ε., & Σέμπος, Ι. (2024). Αέρια ρύπανση και τεχνολογίες αντιρρύπανσης [Μεταπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-1032>

Μελάς, Δ., Μπάης, Α., & Μπαλής, Δ. (2015). Ατμοσφαιρική τεχνολογία [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-782>

Heywood, J. B. (2018). Internal combustion engine fundamentals (2nd ed.). McGraw-Hill Education.

Harrison, R. M. (2005). Air analysis: Outdoor air. In P. Worsfold, A. Townshend, & C. Poole (Eds.), *Encyclopedia of analytical science* (2nd ed., pp. 43–48). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00008-X>

El Morabet, R. (2018). Effects of outdoor air pollution on human health. In *Reference module in earth systems and environmental sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11012-7>

Majewski, W. A., & Jääskeläinen, H. (2026, Φεβρουάριος). Exhaust particulate matter. *DieselNet Technology Guide*. Ανακτήθηκε 23 Φεβρουαρίου, 2026, από <https://dieselnet.com/tech/dpm.php>

Union of Concerned Scientists. (2024, 26 Σεπτεμβρίου). Diesel engines and public health. Ανακτήθηκε 23 Φεβρουαρίου, 2026, από <https://www.ucs.org/resources/diesel-engines-public-health>

Wexler, P. (Ed.). (2005). *Encyclopedia of toxicology* (2nd ed.). Academic Press.

U.S. Environmental Protection Agency. (1996, Οκτώβριος). Report on revisions to 5th edition AP-42 section 3.3 gasoline and diesel industrial engines. Ανακτήθηκε 23 Φεβρουαρίου, 2026, από <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100RH0G.TXT>

Japan International Cooperation Agency. (2012). *Basic data collection study on low-emission public transport system in Lao PDR: Final report*. JICA.

Basbas, S., Nikolaou, K., & Toskas, G. (2004). Relative contribution of various diesel vehicle classes to the Thessaloniki urban air pollution. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 4(4-5), 55-63. <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000044786.18260.44>

Tsilingiridis, G., Zachariadis, T., & Samaras, Z. (2002). Spatial and temporal characteristics of air pollutant emissions in Thessaloniki, Greece: Investigation of emission abatement measures. *Science of The Total Environment*, 300(1–3), 99-113. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00170-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00170-5)

Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 103-113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)

Assimakopoulos, V. D., Apsimon, H., & Moussiopoulos, N. (2003). A numerical study of atmospheric pollutant dispersion in different two-dimensional street canyon configurations. *Atmospheric Environment*, 37(29), 4037-4049. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00533-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00533-8)

Zefreh, M. M., & Torok, A. (2021). Theoretical comparison of the effects of different traffic conditions on urban road environmental external costs. *Sustainability*, 13(6), Article 3541. <https://doi.org/10.3390/su13063541>

Chen, L., & Li, C. (2025). Impacts of full electrification of public sector vehicles on urban air quality: Evidence from 15 pilot cities in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 200, Article 104631. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104631>

World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://iris.who.int/handle/10665/345329>

World Health Organization. (2024, October 24). Ambient (outdoor) air pollution. [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)

European Environment Agency. (2025). Harm to human health from air pollution in Europe: Burden of disease status, 2025 (Briefing No. 16/2025). <https://doi.org/10.2800/8961999>

DieselNet. (2024, June). EU: Heavy-duty truck and bus engines. Emission Standards. <https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php>

TransportPolicy.net. (2018). EU: Heavy-duty: Emissions. <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-heavy-duty-emissions/>

Mathissen, M., Grigoratos, T., Lahde, T., & Vogt, R. (2019). Brake wear particle emissions of a passenger car measured on a chassis dynamometer. *Atmosphere*, 10(9), 556. <https://doi.org/10.3390/atmos10090556>

Todoruț, A., Cordoș, N., & Iclodean, C. (2020). Replacing diesel buses with electric buses for sustainable public transportation and reduction of CO₂ emissions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(5), 3339–3351. <https://doi.org/10.15244/pjoes/112899>

Pietrzak, K., & Pietrzak, O. (2020). Environmental effects of electromobility in a sustainable urban public transport. *Sustainability*, 12(3), 1052. <https://doi.org/10.3390/su12031052>

Angelidou, M., Politis, C., Panori, A., Bakratsas, T., & Fellnhöfer, K. (2022). Emerging smart city, transport and energy trends in urban settings: Results of a pan-European foresight exercise with 120 experts. *Technological Forecasting and Social Change*, 183, Article 121915. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121915>

Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Tzouras, P. G., Nikitas, A., & Bakogiannis, E. (2021). Determining electric vehicle charging station location suitability: A qualitative study of Greek stakeholders employing thematic analysis and analytical hierarchy process. *Sustainability*, 13(4), 2298. <https://doi.org/10.3390/su13042298>

Patil, A., Giriappanavar, A., Vaidya, B., & Mouftah, H. T. (2022, September). Site suitability assessment of public EV charging stations in urban environment. In *2022 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)* (pp. 410–415). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCECE49351.2022.9918469>

Nalmpantis, D., Vatavali, F., & Kehagia, F. (2024). How ready are Greek drivers to make the right consumer decisions regarding electric vehicles? *E3S Web of Conferences*, 585, Article 12002.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458512002>

Denant-Boemont, L., & Hammiche, S. (2019). Economic measurement of environmental costs for transportation activity. In *Sustainable Transportation and Smart Logistics* (pp. 157–183). Elsevier.

Kniesner, T. J., & Viscusi, W. K. (2019). The value of a statistical life. *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190625979.013.138>

Markiewicz, O. (2021). Value of life year and cost-effectiveness thresholds: The case of Poland. *Central European Economic Journal*, 8(55), 256–268. <https://doi.org/10.2478/ceej-2021-0019>

Vlachokostas, C., Achillas, C., Slini, T., Moussiopoulos, N., Banias, G., & Dimitrakakis, I. (2011). Willingness to pay for reducing the risk of premature mortality attributed to air pollution: A contingent valuation study for Greece. *Atmospheric Pollution Research*, 2(3), 275–282. <https://doi.org/10.5094/APR.2011.034>

Vlachokostas, C., Achillas, C., Moussiopoulos, N., Banias, G., Tsirmpalis, A., Belidis, A., Malamakis, A., Toskas, E., & Sidiropoulos, C. (2009). Decision support system for the evaluation of urban air pollution control options: Application for particulate pollution in Thessaloniki, Greece. *The Science of the Total Environment*, 407(23), 5937–5948. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.07.040>

European Environment Agency (EEA). (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023* (EEA Report 06/2023). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>

World Health Organization (WHO). (2021). *WHO global air quality guidelines*. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2025). *Ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας 2024*. <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2025/08/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97-2024.pdf>

Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας (ΠΚΜ). (χ.χ.). *Ποιότητα ατμόσφαιρας*. <https://www.pkm.gov.gr/poiotita-atmosfairas/>

Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. (2013). *Καθορισμός μέγιστου αριθμού αδειών κυκλοφορίας Ε.Δ.Χ. αυτοκινήτων ανά Π.Ε. και διοικητική μονάδα-έδρα καθώς και επιμερισμός των αδειών αυτών κατά έδρα και κατηγορία Ε.Δ.Χ. - ΤΑΞΙ, Ε.Δ.Χ. - ΕΙΔΙΜΙΣΘ και Ε.Δ.Χ. - ΕΙΔΙΜΙΣΘ - ΑΜΕΑ ή μετατροπή υφιστάμενης άδειας σε άλλο τύπο, σύμφωνα με το Ν. 4070/2012 (Αριθμ. οικ. 207063(534), ΦΕΚ Β' 1699/10.07.2013).*

Gov.gr. (2024, February 23). *Πρόγραμμα επιδότησης ηλεκτρικού ταξί - Πράσινα ταξί*. <https://www.gov.gr/ipiresies/polites-kai-kathemerinoteta/periballon-kai-poioteta-zoes/prasina-taxi>

Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών (ΥΠΥΜΕ). (χ.χ.). *Πράσινα Ταξί: Πρόγραμμα επιδότησης*

επιβατηγών οχημάτων δημόσιας χρήσεως (Ε.Δ.Χ.). <https://prasinataxi.gov.gr/>

California Air Resources Board. (2019). *Heavy-Duty Vehicle Accrual Rates Final Report* (June 14, 2019). Sacramento, CA: California Air Resources Board. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-02/erg_finalreport_hdv_accruals_20190614_plus_addendum.pdf

U.S. Environmental Protection Agency & National Highway Traffic Safety Administration. (2011). *Greenhouse gas emissions standards and fuel efficiency standards for medium- and heavy-duty engines and vehicles: Final rule*. Federal Register, 76(179), 57106–57513. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2011-09-15/pdf/2011-20740.pdf>

City and Borough of Wrangell. (2013). *Electric Vehicle / Plug-in Hybrid Electric Vehicle Feasibility Study* (Final report, Vol. 2). Wrangell, Alaska. <https://www.wrangell.com/publicworks/electric-vehicle-feasibility-study>

City of Dallas, Office of the City Auditor. (2010). *Audit of Fleet Management Services*. Dallas, TX. <https://learn.sharedusemobilitycenter.org/overview/audit-of-fleet-management-services/>

Comune di Milano. (2018). *Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) / Urban Sustainable Mobility Plan*. Milan: Municipality of Milan. <https://www.comune.milano.it/en/argomenti/mobilita/piano-urbano-della-mobilita>

Ricardo-AEA. (2015). *Improvements to the definition of lifetime mileage of light duty vehicles*. European Commission. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/ldv_mileage_improvement_en.pdf

Δήμος Πειραιά. (2022). *Σχέδιο Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σ.Φ.Η.Ο.) στον Δήμο Πειραιά*. Πειραιάς: Δήμος Πειραιά. <https://piraeus.gov.gr/2022/07/14/sfho-ston-dhmo-peiraia/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακας Παραρτήματος Α1: Ομογενοποιημένος πίνακας εισόδου για τον στόλο αστικών λεωφορείων

Fuel Type	Length_cat	Euro_group	N_vehicles	Fleet	Annual_km_total_group	Annual_km_per_vehicle
Diesel	12m	EEV	15	Urban buses	728013.4	48534.23
Diesel	12m	EURO III	14	Urban buses	679479.2	48534.23
Diesel	12m	EURO IV	11	Urban buses	533876.5	48534.23
Diesel	12m	EURO V	65	Urban buses	3154725	48534.23
Diesel	12m	EURO VI	15	Urban buses	728013.4	48534.23
Diesel	12m	UNKNOWN	28	Urban buses	1358958	48534.23
Diesel	18m	EEV	11	Urban buses	533876.5	48534.23
Diesel	18m	EURO III	5	Urban buses	242671.1	48534.23
Diesel	18m	EURO IV	12	Urban buses	582410.7	48534.23
Diesel	18m	EURO V	98	Urban buses	4756354	48534.23
Diesel	18m	EURO VI	21	Urban buses	1019219	48534.23
Diesel	18m	UNKNOWN	41	Urban buses	1989903	48534.23
Diesel	8m	EURO V	26	Urban buses	1261890	48534.23
Diesel	8m	EURO VI	31	Urban buses	1504561	48534.23
Diesel	8m	UNKNOWN	2	Urban buses	97068.45	48534.23
Diesel	9m	EEV	5	Urban buses	242671.1	48534.23
Diesel	Unknown	EEV	6	Urban buses	291205.4	48534.23
Diesel	Unknown	EURO III	1	Urban buses	48534.23	48534.23
Diesel	Unknown	EURO V	7	Urban buses	339739.6	48534.23
Diesel	Unknown	UNKNOWN	11	Urban buses	533876.5	48534.23
Electric	12m	EURO VI	110	Urban buses	5338765	48534.23

Πίνακας Παραρτήματος Α2: Συγκοινωνιακό έργο αστικών λεωφορείων ανά πάροχο / κατηγορία εκμετάλλευσης

Provider	Annual_km
34A	3021.62
36089	66.88
Route Type	0
test	1500.6
ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ	12107624
ΚΥΚΛΙΚΗ	97526.53
ΚΥΚΛΙΚΟ	47116.9
ΜΕΤΑΒΑΣΗ	13696101
ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΛΟΓΩ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	12853.1
	0

Πίνακας Παραρτήματος Α3: Ομογενοποιημένος πίνακας εισόδου για τον στόλο οχημάτων του Δήμου Θεσσαλονίκης

Vehicle_group	Vehicle_class	Euro_group	N_vehicles	Annual_km_per_vehicle	Annual_km_total_group	Fleet
Aerial platform	Heavy duty / utility	Euro 3	5	8000	40000	Municipal vehicles
Aerial platform	Heavy duty / utility	Euro 4	8	8000	64000	Municipal vehicles
Aerial platform	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	9	8000	72000	Municipal vehicles
Bin washer	Heavy duty / utility	Euro 3	3	12000	36000	Municipal vehicles
Bin washer	Heavy duty / utility	Euro 4	3	12000	36000	Municipal vehicles
Bin washer	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	9	12000	108000	Municipal vehicles
Bus	Heavy duty / utility	Euro 3	11	15000	165000	Municipal vehicles
Bus	Heavy duty / utility	Euro 5	6	15000	90000	Municipal vehicles
Bus	Heavy duty / utility	Euro 6	4	15000	60000	Municipal vehicles
Bus	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18	15000	270000	Municipal vehicles
Bus	Heavy duty / utility	UNKNOWN	5	15000	75000	Municipal vehicles
Motorcycle	Light duty / passenger	Euro 3	43	8000	344000	Municipal vehicles
Motorcycle	Light duty / passenger	Euro 4	99	8000	792000	Municipal vehicles
Motorcycle	Light duty / passenger	Euro 6	110	8000	880000	Municipal vehicles
Motorcycle	Light duty / passenger	Pre-Euro 3	10	8000	80000	Municipal vehicles
Other	Other / special	Euro 3	138	10000	1380000	Municipal vehicles
Other	Other / special	Euro 4	70	10000	700000	Municipal vehicles
Other	Other / special	Euro 5	78	10000	780000	Municipal vehicles
Other	Other / special	Euro 6	87	10000	870000	Municipal vehicles
Other	Other / special	Euro 6d/6e	90	10000	900000	Municipal vehicles
Other	Other / special	Pre-Euro 3	40	10000	400000	Municipal vehicles
Passenger car	Light duty / passenger	Euro 3	27	12000	324000	Municipal vehicles
Passenger car	Light duty / passenger	Euro 4	14	12000	168000	Municipal vehicles
Passenger car	Light duty / passenger	Euro 5	2	12000	24000	Municipal vehicles
Passenger car	Light duty / passenger	Euro 6d/6e	34	12000	408000	Municipal vehicles
Passenger car	Light duty / passenger	Pre-Euro 3	9	12000	108000	Municipal vehicles
Sweeper	Heavy duty / utility	Euro 3	9	12000	108000	Municipal vehicles
Sweeper	Heavy duty / utility	Euro 4	2	12000	24000	Municipal vehicles
Sweeper	Heavy duty / utility	Euro 6	3	12000	36000	Municipal vehicles
Sweeper	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	12	12000	144000	Municipal vehicles
Sweeper	Heavy duty / utility	Pre-Euro 3	3	12000	36000	Municipal vehicles
Tipper truck	Heavy duty / utility	Euro 3	15	15000	225000	Municipal vehicles

Tipper truck	Heavy duty / utility	Euro 4	12	15000	180000	Municipal vehicles
Tow truck	Heavy duty / utility	Euro 3	5	12000	60000	Municipal vehicles
Tow truck	Heavy duty / utility	Euro 4	16	12000	192000	Municipal vehicles
Tow truck	Heavy duty / utility	Euro 5	23	12000	276000	Municipal vehicles
Tow truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	10	12000	120000	Municipal vehicles
Truck with crane	Heavy duty / utility	Euro 3	3	10000	30000	Municipal vehicles
Truck with crane	Heavy duty / utility	Euro 5	9	10000	90000	Municipal vehicles
Truck with crane	Heavy duty / utility	Euro 6	6	10000	60000	Municipal vehicles
Truck with crane	Heavy duty / utility	Pre-Euro 3	9	10000	90000	Municipal vehicles
Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 3	13	18000	234000	Municipal vehicles
Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 4	23	18000	414000	Municipal vehicles
Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	186	18000	3348000	Municipal vehicles
Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6	23	18000	414000	Municipal vehicles
Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	82	18000	1476000	Municipal vehicles
Waste collection truck	Heavy duty / utility	Pre-Euro 3	23	18000	414000	Municipal vehicles
Water tanker	Heavy duty / utility	Euro 3	13	10000	130000	Municipal vehicles
Water tanker	Heavy duty / utility	Euro 4	5	10000	50000	Municipal vehicles
Water tanker	Heavy duty / utility	Euro 5	30	10000	300000	Municipal vehicles

Πίνακας Παραρτήματος Α4: Καθαρισμένα αναλυτικά στοιχεία οχημάτων του Δήμου Θεσσαλονίκης μετά την προεπεξεργασία

I D	Δ Θ	Αρ. Κυκλοφο ρίας	Vehicle_type	Usage	Y ea r	Παρατη ρήσεις	A/A _str	Vehicle_gro up	Vehicle_cl ass	Euro_ group	Annual_km_ per_vehicle
1	44 3	KHO884 6	MERCEDES 970.04 1017	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 00			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Pre- Euro 3	18000
2	70 0	KHI7850	ISUZU NPQR75	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 07			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 4	18000
3	80 0	KHH693 7	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
4	80 1	KHH693 8	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
5	80 2	KHH693 9	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
6	80 3	KHH694 0	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
7	80 4	KHH694 1	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
8	80 5	KHH694 2	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
9	80 6	KHH694 3	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
10	80 7	KHH694 4	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
11	80 8	KHH694 5	IVECO 100 E19P	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΜΥΛΟΣ	20 15			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 5	18000
12	10 20	KHH962 4	MITSUBISHI CANTER	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΠΡΕΣΑ	20 21			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18000
13	10 21	KHH962 1	MITSUBISHI CANTER	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΠΡΕΣΑ	20 21			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18000
14	10 22	KTY106 5	MITSUBISHI CANTER	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΠΡΕΣΑ	20 21			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18000
15	10 23	KHH962 8	MITSUBISHI CANTER	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΠΡΕΣΑ	20 21			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18000
16	10 55	KTY148 8	MITSUBISHI CANTER	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΠΡΕΣΑ	20 23			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18000
17	10 56	KTY148 9	MITSUBISHI CANTER	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΠΡΕΣΑ	20 23			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18000
18	10 57	KTY148 7	MITSUBISHI CANTER	ΑΠΟΡ/ΡΟ -ΠΡΕΣΑ	20 23			Waste collection truck	Heavy duty / utility	Euro 6d/6e	18000
.....											
3 6		KHO 463 8915	CABSTAR TL45/2	ΦΟΡΤ.ΑΝ. ΑΝ.	20 01			3 6 Other	Other / special	Euro 3	10 00 0
3 7		KHO 468 8919	CABSTAR TL45/2	ΦΟΡΤ.ΑΝ. ΑΝ.	20 01			3 7 Other	Other / special	Euro 3	10 00 0

4							4	Waste			18
7	105	KTY	MITSUBISHI	ΑΠΟΡ/ΡΟ-	20		7	collection	Heavy duty	Euro	00
1	7	1487	CANTER	ΠΡΕΣΑ	23		1	truck	/ utility	6d/6e	0
4							4	Waste			18
6	105	KTY	MITSUBISHI	ΑΠΟΡ/ΡΟ-	20		6	collection	Heavy duty	Euro	00
9	5	1488	CANTER	ΠΡΕΣΑ	23		9	truck	/ utility	6d/6e	0
4							4	Waste			18
7	105	KTY	MITSUBISHI	ΑΠΟΡ/ΡΟ-	20		7	collection	Heavy duty	Euro	00
0	6	1489	CANTER	ΠΡΕΣΑ	23		0	truck	/ utility	6d/6e	0
4							4				12
7	105	ME15		ΚΑΔΟΠΑ	20		7		Heavy duty	Euro	00
3	9	3950	IVECO IG160E2CA	ΥΝΤΗΡΙΟ	23		3	Bin washer	/ utility	6d/6e	0
4							4				12
7	106	ME15		ΚΑΔΟΠΑ	20		7		Heavy duty	Euro	00
4	0	3971	IVECO IG160E2CA	ΥΝΤΗΡΙΟ	23		4	Bin washer	/ utility	6d/6e	0
3							3				10
4		NIE2		ΦΟΡΤ.ΑΝ.	20	ΑΣΦΑΛΙ	4		Other /		00
5	881	627	NISSAN NAVARA	ΜΗ ΑΝ.	19	ΣΜΕΝΟ	5	Other	special	Euro 6	0
3							3				
9		NTA	PIAGGIO MP3 300		20		9		Light duty /		80
2	978	561	BUSINESS SPORT	ΔΙΚΥΚΛΟ	19		2	Motorcycle	passenger	Euro 6	00
3							3				
9		NTA	PIAGGIO MP3 300		20		9		Light duty /		80
3	979	562	BUSINESS SPORT	ΔΙΚΥΚΛΟ	19		3	Motorcycle	passenger	Euro 6	00
3							3				
9		NTA	PIAGGIO MP3 300		20		9		Light duty /		80
4	980	563	BUSINESS SPORT	ΔΙΚΥΚΛΟ	19		4	Motorcycle	passenger	Euro 6	00
3							3				
9		NTA	PIAGGIO MP3 300		20		9		Light duty /		80
5	981	564	BUSINESS SPORT	ΔΙΚΥΚΛΟ	19		5	Motorcycle	passenger	Euro 6	00
4							4				10
5	103	TA18		ΠΛΥΣΤΙΚ	20		5		Other /	Euro	00
0	6	558	KARCHER	Ο	21		0	Other	special	6d/6e	0
4						ΟΑΣΘ	4				15
8	917-		SOLARIS URBINO			31/12/202	8		Heavy duty	UNKN	00
5	966		12 III	ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ	2		5	Bus	/ utility	OWN	0

Πίνακας Παραρτήματος Α5: Πίνακας εισόδου για την κατηγορία των ταξί βάσει λειτουργικών παραδοχών

Fleet	Vehicle_group	Vehicle_class	Fuel_Type	Euro_group	N_vehicles	Annual_km_per_vehicle	Annual_km_total_group
Taxis	Passenger taxi	Passenger car / public use	Conventional mix	Mixed conventional fleet	2000	55000	110000000

Πίνακας Παραρτήματος Α6: Υποστηρικτικά συγκεντρωτικά στοιχεία ΕΛΣΤΑΤ για τον στόλο οχημάτων

Unnamed : 0	Αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες που κυκλοφορούσαν στην Ελλάδα κατά το τέλος των ετών 1985 - 2024.	Unna med: 2	Unna med: 3	Unna med: 4	Unna med: 5	Unna med: 6	Unna med: 7	Unna med: 8	Unna med: 9	Unna med: 10	Unna med: 11	Unna med: 12	Unna med: 13	Unna med: 14	Unna med: 15	Unna med: 16	Unna med: 17	Unna med: 18	Unna med: 19	Unna med: 20	Unnam ed: 21
	Motor vehicles in operation, by category and use : 1985 - 2024.																				
Κατηγορί α Οχημάτων	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Category and use
Σύνολο	2036625	2170355	2282494	2405690	2569584	2779976	2888009	2989336	3195324	3375607	3588852	3797234	4048471	4323118	4690412	5060885	5389996	5693008	5967610	6302033	Vehicle s, total 1.
Αυτοκίνη τα	1874330	1996661	2099241	2207695	2350037	2523382	2592334	2649562	2807447	2946654	3113184	3279344	3477506	3689353	3979637	4279524	4536630	4782453	4997715	5259428	Motor cars
Επιβατικά	1259335	1355142	1428546	1503921	1605181	1735523	1777484	1829100	1958544	2074081	2204761	2339421	2500099	2675676	2928881	3195065	3423704	3646069	3839549	4073511	Passen ger
Δ.Χ	33265	33319	33408	33435	33518	33537	33543	33556	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	Public use
Ι.Χ	1226070	1321823	1395138	1470486	1571663	1701986	1743941	1795544	1924984	2040521	2171201	2305861	2466539	2642116	2895321	3161505	3390144	3612509	3805989	4039951	Private use
Λεωφορε ία	19234	19482	19745	20074	20653	21430	22080	22674	23206	23540	24600	25096	25622	26320	26769	27037	27115	27247	27139	26780	Buses
Δ.Χ	13274	13285	13299	13312	13413	13611	13715	13803	13900	14100	14250	14450	14632	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	Public use
Ι.Χ	5960	6197	6446	6762	7240	7819	8365	8871	9306	9440	10350	10646	10990	11251	11700	11968	12046	12178	12070	11711	Private use
Φορτηγά	595761	622037	650950	683700	724203	766429	792770	797788	825697	849033	883823	914827	951785	987357	1023987	1057422	1085811	1109137	1131027	1159137	Trucks
Δ.Χ	36260	36335	36371	36386	36403	36423	36432	36468	36500	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	Public use
Ι.Χ	559501	585702	614579	647314	687800	730006	756338	761320	789197	812538	847328	878332	915290	950862	987492	1020927	1049316	1072642	1094532	1122642	Private use 2.
Μοτοσυκ λέτες	162295	173694	183253	197995	219547	256594	295675	339774	387877	428953	475668	517890	570965	633765	710775	781361	853366	910555	969895	1042605	Motorc ycles
Επιβατηγ ές	151648	163100	172679	187423	208972	246023	285106	329235	377367	418458	465144	507396	560501	623337	700358	770971	843045	900338	959737	1032511	Passen ger
Φορτηγές	10647	10594	10574	10572	10575	10571	10579	10539	10510	10495	10524	10494	10464	10428	10417	10390	10321	10217	10158	10094	Freight
Δ.Χ	5869	5806	5782	5777	5773	5767	5758	5725	5694	5680	5680	5680	5680	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	Public use

I.X	4778	4788	4792	4795	4802	4804	4811	4814	4816	4815	4844	4814	4784	4768	4757	4730	4661	4557	4498	4434	Private use
Κατηγορία Οχημάτων	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Category and use
Σύνολο	6640613	6995659	7380265	7729262	7910565	8062085	8086910	8069872	8035423	8048438	8076431	8172948	8262896	8236637	8402294	8530050	8698421	8882981	9107496	9343429	Vehicle s, total 1.
Αυτοκίνητα	5516441	5789843	6081577	6340655	6461714	6562952	6552008	6513437	6466827	6455509	6456810	6519420	6606239	6653146	6792371	6892442	7022617	7158543	7325474	7491809	Motor cars
Επιβατικά	4303129	4543016	4798530	5023944	5131960	5216873	5203591	5167557	5124208	5110873	5107620	5160056	5235928	5282695	5406551	5492176	5604192	5726012	5877759	6027946	Passenger
Δ.Χ	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	33560	Public use
I.X	4269569	4509456	4764970	4990384	5098400	5183313	5170031	5133997	5090648	5077313	5074060	5126496	5202368	5249135	5372991	5458616	5570632	5692452	5844199	5994386	Private use
Λεωφορεία	26829	26938	27102	27186	27324	27311	27121	26962	26783	26691	26586	26541	26481	26389	26479	26539	26584	26560	26636	26566	Buses
Δ.Χ	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	15069	Public use
I.X	11760	11869	12033	12117	12255	12242	12052	11893	11714	11622	11517	11472	11412	11320	11410	11470	11515	11491	11567	11497	Private use
Φορτηγά	1186483	1219889	1255945	1289525	1302430	1318768	1321296	1318918	1315836	1317945	1322604	1332823	1343830	1344062	1359341	1373727	1391841	1405971	1421079	1437297	Trucks
Δ.Χ	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	36495	Public use
I.X	1149988	1183394	1219450	1253030	1265935	1282273	1284801	1282423	1279341	1281450	1286109	1296328	1307335	1307567	1322846	1337232	1355346	1369476	1384584	1400802	Private use 2.
Μοτοσυκλέτες	1124172	1205816	1298688	1388607	1448851	1499133	1534902	1556435	1568596	1592929	1619621	1653528	1656657	1583491	1609923	1637608	1675804	1724438	1782022	1851620	Motorcycles
Επιβατηγές	1114099	1195732	1288585	1378492	1438713	1488995	1524768	1546306	1558474	1582818	1609512	1643421	1646558	1573423	1599857	1627537	1665706	1714317	1771799	1841304	Passenger
Φορτηγές	10073	10084	10103	10115	10138	10138	10134	10129	10122	10111	10109	10107	10099	10068	10066	10071	10098	10121	10223	10316	Freight
Δ.Χ	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	5660	Public use
I.X	4413	4424	4443	4455	4478	4478	4474	4469	4462	4451	4449	4447	4439	4408	4406	4411	4438	4461	4563	4656	Private use

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πίνακας Παραρτήματος Β1: Αναλυτικά αποτελέσματα εκπομπών για τον στόλο αστικών λεωφορείων

Fuel Type	Length_cat	Euro_group	Number_of_vehicles	Annual_km_total_group	Annual_km_per_vehicle	ef_key	EF_CO2_gpk	EF_NOx_gpk	EF_PM10_gpk	EF_PM2.5_gpk	EF_NMVO_C_gpk	CO2_t	NOx_t	PM10_t	PM2.5_t	NMVO_t
Diesel	12m	EEV	15	728,013	48,534	('Diesel', 'EEV')	1,220	4	0	0	0	888.176	2.912	0.029	0.025	0.057
Diesel	12m	EURO III	14	679,479	48,534	('Diesel', 'EURO III')	1,300	10	0	0	0	883.323	6.795	0.203	0.190	0.134
Diesel	12m	EURO IV	11	533,876	48,534	('Diesel', 'EURO IV')	1,250	7	0	0	0	667.246	3.737	0.064	0.059	0.074
Diesel	12m	EURO V	65	3,154,725	48,534	('Diesel', 'EURO V')	1,200	4	0	0	0	3,785.670	11.042	0.094	0.088	0.249
Diesel	12m	EURO VI	15	728,013	48,534	('Diesel', 'EURO VI')	1,150	1	0	0	0	837.215	0.437	0.007	0.007	0.029
Diesel	12m	UNKNOWN	28	1,358,958	48,534	('Diesel', 'UNKNOWN')	1,220	5	0	0	0	1,657.929	6.795	0.108	0.095	0.107
Diesel	18m	EEV	11	533,876	48,534	('Diesel', 'EEV')	1,220	4	0	0	0	651.329	2.136	0.021	0.019	0.042
Diesel	18m	EURO III	5	242,671	48,534	('Diesel', 'EURO III')	1,300	10	0	0	0	315.472	2.427	0.073	0.068	0.048
Diesel	18m	EURO IV	12	582,411	48,534	('Diesel', 'EURO IV')	1,250	7	0	0	0	728.013	4.077	0.070	0.064	0.080
Diesel	18m	EURO V	98	4,756,354	48,534	('Diesel', 'EURO V')	1,200	4	0	0	0	5,707.625	16.648	0.142	0.133	0.375
Diesel	18m	EURO VI	21	1,019,219	48,534	('Diesel', 'EURO VI')	1,150	1	0	0	0	1,172.102	0.612	0.010	0.009	0.040
Diesel	18m	UNKNOWN	41	1,989,903	48,534	('Diesel', 'UNKNOWN')	1,220	5	0	0	0	2,427.682	9.950	0.159	0.139	0.157
Diesel	8m	EURO V	26	1,261,890	48,534	('Diesel', 'EURO V')	1,200	4	0	0	0	1,514.268	4.417	0.038	0.035	0.100
Diesel	8m	EURO VI	31	1,504,561	48,534	('Diesel', 'EURO VI')	1,150	1	0	0	0	1,730.245	0.903	0.015	0.014	0.059
Diesel	8m	UNKNOWN	2	97,068	48,534	('Diesel', 'UNKNOWN')	1,220	5	0	0	0	118.424	0.485	0.008	0.007	0.008
Diesel	9m	EEV	5	242,671	48,534	('Diesel', 'EEV')	1,220	4	0	0	0	296.059	0.971	0.010	0.008	0.019
Unknown	Unknwn	EEV	6	291,205	48,534	('Diesel', 'EEV')	1,220	4	0	0	0	355.271	1.165	0.012	0.010	0.023
Diesel	Unknwn	EURO III	1	48,534	48,534	('Diesel', 'EURO III')	1,300	10	0	0	0	63.094	0.485	0.015	0.014	0.010
Diesel	Unknwn	EURO V	7	339,740	48,534	('Diesel', 'EURO V')	1,200	4	0	0	0	407.688	1.189	0.010	0.009	0.027
Diesel	Unknwn	UNKNOWN	11	533,876	48,534	('Diesel', 'UNKNOWN')	1,220	5	0	0	0	651.329	2.669	0.043	0.037	0.042
Electric	12m	EURO VI	110	5,338,765	48,534	('Electric', 'ZEV')	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Πίνακας Παραρτήματος Β2: Αναλυτικά αποτελέσματα εκπομπών για τον στόλο οχημάτων του Δήμου Θεσσαλονίκης

Lab el	Vehi cle_g roup	Vehi cle_c lass	Fuel _Ty pe	Eur o_gr oup	N _v ehic les	Annual_ km_per_ vehicle	Annual_ km_total _group	EF_C O2_g pkm	EF_N Ox_g pkm	EF_P M10_gpkm	EF_P M2.5_gpkm	EF_N MVOC_gpkm	C O2_t	N O_x_t	P M10_t	P M2.5_t	NM VO C_t
Press wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Pre-Euro 3	3	19,224	57,672	908	8	0	0	0	52.387	0.465	0.017	0.016	0.013
Press wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 4	3	19,224	57,672	838	4	0	0	0	48.313	0.203	0.005	0.004	0.006
Press wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 5	22	19,224	422,928	807	2	0	0	0	34.1486	0.852	0.013	0.012	0.029
Press wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 6	10	19,224	192,240	787	1	0	0	0	15.1340	0.116	0.002	0.002	0.008
Press wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 6d/6e	2	19,224	38,448	767	0	0	0	0	29.492	0.015	0.000	0.000	0.001
Mill wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Pre-Euro 3	2	19,224	38,448	908	8	0	0	0	34.925	0.310	0.012	0.011	0.009
Mill wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 4	2	19,224	38,448	838	4	0	0	0	32.208	0.135	0.003	0.003	0.004
Mill wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 5	14	19,224	269,136	807	2	0	0	0	21.7309	0.542	0.008	0.008	0.019
Mill wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 6	6	19,224	115,344	787	1	0	0	0	90.804	0.070	0.001	0.001	0.005
Mill wast e colle ction truck s	Wast e collec tion truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 6d/6e	1	19,224	19,224	767	0	0	0	0	14.746	0.008	0.000	0.000	0.001
Tippe r truck s	Tippe r truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Pre-Euro 3	1	16,020	16,020	908	8	0	0	0	14.552	0.129	0.005	0.004	0.004
Tippe r truck s	Tippe r truck	Heav y duty / utilit y	Dies el	Euro 4	1	16,020	16,020	838	4	0	0	0	13.420	0.056	0.001	0.001	0.002

Tipper trucks	Tipper truck	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Euro 5	8	16,020	128,160	807	2	0	0	0	103.481	0.258	0.004	0.004	0.009
Tipper trucks	Tipper truck	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Euro 6	4	16,020	64,080	787	1	0	0	0	50.447	0.039	0.001	0.001	0.003
Tipper trucks	Tipper truck	Heavy duty / utility Light duty	Diesel	Euro 6d/6e	1	16,020	16,020	767	0	0	0	0	12.288	0.006	0.000	0.000	0.000
Passenger cars	Passenger car	Passenger Light duty	Conventional	Pre-Euro 3	1	12,816	12,816	212	1	0	0	0	2.716	0.012	0.001	0.000	0.002
Passenger cars	Passenger car	Passenger Light duty	Conventional	Euro 4	1	12,816	12,816	187	0	0	0	0	2.393	0.003	0.000	0.000	0.001
Passenger cars	Passenger car	Passenger Light duty	Conventional	Euro 5	8	12,816	102,528	177	0	0	0	0	18.109	0.019	0.001	0.001	0.005
Passenger cars	Passenger car	Passenger Light duty	Conventional	Euro 6	4	12,816	51,264	167	0	0	0	0	8.537	0.004	0.000	0.000	0.001
Passenger cars	Passenger car	Passenger Heavy duty	Conventional	Euro 6d/6e	1	12,816	12,816	156	0	0	0	0	2.005	0.001	0.000	0.000	0.000
Water tankers	Water tanker	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Pre-Euro 3	1	10,680	10,680	908	8	0	0	0	9.701	0.086	0.003	0.003	0.002
Water tankers	Water tanker	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Euro 4	1	10,680	10,680	838	4	0	0	0	8.947	0.038	0.001	0.001	0.001
Water tankers	Water tanker	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Euro 5	5	10,680	53,400	807	2	0	0	0	43.117	0.108	0.002	0.001	0.004
Water tankers	Water tanker	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Euro 6	2	10,680	21,360	787	1	0	0	0	16.816	0.013	0.000	0.000	0.001
Water tankers	Water tanker	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Euro 6d/6e	1	10,680	10,680	767	0	0	0	0	8.192	0.004	0.000	0.000	0.000
Closed trucks	Closed truck	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Pre-Euro 3	1	16,020	16,020	908	8	0	0	0	14.552	0.129	0.005	0.004	0.004
Closed trucks	Closed truck	Heavy duty / utility Heavy duty	Diesel	Euro 4	1	16,020	16,020	838	4	0	0	0	13.420	0.056	0.001	0.001	0.002
Closed trucks	Closed truck	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 5	5	16,020	80,100	807	2	0	0	0	64.675	0.161	0.002	0.002	0.006

														25.223	0.019	0.000	0.000	0.001
Closed trucks	Closed truck	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 6	2	16,020	32,040	787	1	0	0	0	0					
Trucks with crane	Truck with crane	Heavy duty / utility	Diesel	Pre-Euro 3	1	10,680	10,680	908	8	0	0	0	0	9.701	0.086	0.003	0.003	0.002
Trucks with crane	Truck with crane	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 5	4	10,680	42,720	807	2	0	0	0	0	34.494	0.086	0.001	0.001	0.003
Trucks with crane	Truck with crane	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 6	2	10,680	21,360	787	1	0	0	0	0	16.816	0.013	0.000	0.000	0.001
Aerial platforms	Aerial platform	Heavy duty / utility	Diesel	Pre-Euro 3	1	8,544	8,544	908	8	0	0	0	0	7.761	0.069	0.003	0.002	0.002
Aerial platforms	Aerial platform	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 5	3	8,544	25,632	807	2	0	0	0	0	20.696	0.052	0.001	0.001	0.002
Aerial platforms	Aerial platform	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 6	2	8,544	17,088	787	1	0	0	0	0	13.452	0.010	0.000	0.000	0.001
Tow trucks	Tow truck	Heavy duty / utility	Diesel	Pre-Euro 3	1	12,816	12,816	908	8	0	0	0	0	11.642	0.103	0.004	0.004	0.003
Tow trucks	Tow truck	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 5	3	12,816	38,448	807	2	0	0	0	0	31.044	0.077	0.001	0.001	0.003
Tow trucks	Tow truck	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 6	2	12,816	25,632	787	1	0	0	0	0	20.179	0.015	0.000	0.000	0.001
Other heavy/special vehicles	Other heavy utility	Heavy duty / utility	Diesel	Pre-Euro 3	2	10,680	21,360	908	8	0	0	0	0	19.403	0.172	0.006	0.006	0.005
Other heavy/special vehicles	Other heavy utility	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 4	2	10,680	21,360	838	4	0	0	0	0	17.894	0.075	0.002	0.001	0.002
Other heavy/special vehicles	Other heavy utility	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 5	14	10,680	149,520	807	2	0	0	0	0	12.0727	0.301	0.004	0.004	0.010
Other heavy/special vehicles	Other heavy utility	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 6	6	10,680	64,080	787	1	0	0	0	0	50.447	0.039	0.001	0.001	0.003
Other heavy/special vehicles	Other heavy utility	Heavy duty / utility	Diesel	Euro 6d/6e	1	10,680	10,680	767	0	0	0	0	0	8.192	0.004	0.000	0.000	0.000

y/spe
cial
vehi
cles

/
utilit
y



Πίνακας Παραρτήματος Β3: Αναλυτικά αποτελέσματα εκπομπών για την κατηγορία των ταξί

Fleet	Vehicle_group	Vehicle_class	Fuel_Type	Euro_group	N_vehicles	Annual_km_per_vehicle	Annual_km_total_group	EF_CO2_gpkm	CO2_t	EF_NOx_gpkm	N_t	EF_PM10_gpkm	PM10_t	EF_PM2.5_gpkm	PM2.5_t	EF_NMVOC_gpkm	NMVO_t
Taxis	Passenger_taxi	Passenger_car_public_use	Conventional_mix	Mixed_conventional_fleet	2000	55,000	110,000,000	180	19,800.00	38.50	0	0	2.200	0	1.980	0	7.030

Πίνακας Παραρτήματος B4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εκπομπών βάσης ανά κατηγορία στόλου

Fleet	Vehicles	Annual_km	CO2_t	NOx_t	PM10_t	PM2.5_t	NMVOC_t
Urban buses	535	25,965,811	24,858.260	79.850	1.130	1.030	1.680
Municipal vehicles	158	2,403,000	1,828.050	4.960	0.114	0.106	0.180
Taxis	2000	110,000,000	19,800.000	38.500	2.200	1.980	7.030
TOTAL	2693	138,368,811	46,486.310	123.310	3.444	3.116	8.890

Πίνακας Παραρτήματος Β5: Ποσοστιαία συμβολή κάθε κατηγορίας στόλου στις συνολικές εκπομπές ανά ρύπο

Pollutant	Fleet	Value_t	Share_pct
CO2	Urban buses	24,858.260	5347.44%
CO2	Municipal vehicles	1,828.050	393.24%
CO2	Taxis	19,800.000	4259.32%
NOx	Urban buses	79.850	6475.55%
NOx	Municipal vehicles	4.960	402.24%
NOx	Taxis	38.500	3122.21%
PM10	Urban buses	1.130	3280.78%
PM10	Municipal vehicles	0.114	331.85%
PM10	Taxis	2.200	6387.36%
PM2.5	Urban buses	1.030	3305.94%
PM2.5	Municipal vehicles	0.106	338.94%
PM2.5	Taxis	1.980	6355.12%
NMVOC	Urban buses	1.680	1889.76%
NMVOC	Municipal vehicles	0.180	202.47%
NMVOC	Taxis	7.030	7907.76%

Πίνακας Παραρτήματος Β6: Ενδεικτικά παραδείγματα υπολογισμού εκπομπών ανά κατηγορία στόλου

Ο Πίνακας Παραρτήματος Β6 παρουσιάζει ενδεικτικά παραδείγματα εφαρμογής της εξίσωσης υπολογισμού εκπομπών για μία χαρακτηριστική υποομάδα από κάθε βασική κατηγορία στόλου. Στα κελιά παρουσιάζονται ρητά οι πράξεις, ώστε να είναι εμφανές πώς προκύπτουν οι τελικές τιμές εκπομπών σε t/έτος.

Κατηγορία Στόλου	Υποομάδα οχήματος	N οχημάτων	VKT ανά όχημα (km/έτος)	Συνολικό VKT ομάδας	EF CO ₂ (g/km)	Υπολογισμός CO ₂	EF NOx (g/km)	Υπολογισμός NOx	EF PM10 (g/km)	Υπολογισμός PM10	EF PM2.5 (g/km)	Υπολογισμός PM2.5	EF NMVOC (g/km)	Υπολογισμός NMVOC
Αστικά λεωφορεία	Diesel 12m, EURO V	65	48.534,23	65 × 48.534,23 = 3.154.724,95	1,20	$\frac{3.154.724,95 \times 1.200}{1.000.000} = 3.785,67$ t/έτος	3,5	$\frac{3.154.724,95 \times 3,5}{1.000.000} = 11,04$ t/έτος	0,03	$\frac{3.154.724,95 \times 0,03}{1.000.000} = 0,0946$ t/έτος	0,02	$\frac{3.154.724,95 \times 0,02}{1.000.000} = 0,0883$ t/έτος	0,0789	$\frac{3.154.724,95 \times 0,0789}{1.000.000} = 0,2489$ t/έτος
Οχήματα Δήμου Θεσσαλονίκης	Απορριμματοφόρα πρέσας, Euro 5	22	18.000	22 × 18.000 = 396.000	800	$\frac{396.000 \times 800}{1.000.000} = 316,80$ t/έτος	2,0	$\frac{396.000 \times 2,0}{1.000.000} = 0,7920$ t/έτος	0,03	$\frac{396.000 \times 0,03}{1.000.000} = 0,0119$ t/έτος	0,02	$\frac{396.000 \times 0,02}{1.000.000} = 0,0111$ t/έτος	0,0697	$\frac{396.000 \times 0,0697}{1.000.000} = 0,0276$ t/έτος
Ταξί	Συμβατικός στόλος ταξί	2.000	55.000	2.000 × 55.000 = 110.000.000	180	$\frac{110.000.000 \times 180}{1.000.000} = 19.800,00$ t/έτος	0,35	$\frac{110.000.000 \times 0,35}{1.000.000} = 38,50$ t/έτος	0,02	$\frac{110.000.000 \times 0,02}{1.000.000} = 2,20$ t/έτος	0,01	$\frac{110.000.000 \times 0,01}{1.000.000} = 1,98$ t/έτος	0,0639	$\frac{110.000.000 \times 0,0639}{1.000.000} = 7,03$ t/έτος
Αστικά λεωφορεία	Electric 12m	110	48.534,23	110 × 48.534,23 = 5.338.765,30	0	$\frac{5.338.765,30 \times 0}{1.000.000} = 0,00$ t/έτος	0	$\frac{5.338.765,30 \times 0}{1.000.000} = 0,00$ t/έτος	0	$\frac{5.338.765,30 \times 0}{1.000.000} = 0,00$ t/έτος	0	$\frac{5.338.765,30 \times 0}{1.000.000} = 0,00$ t/έτος	0	$\frac{5.338.765,30 \times 0}{1.000.000} = 0,00$ t/έτος