



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟ



Αγγελική Σκουρή

Επιβλέπων | Παναγιώτης Παπαντωνίου

Αθήνα, 2024

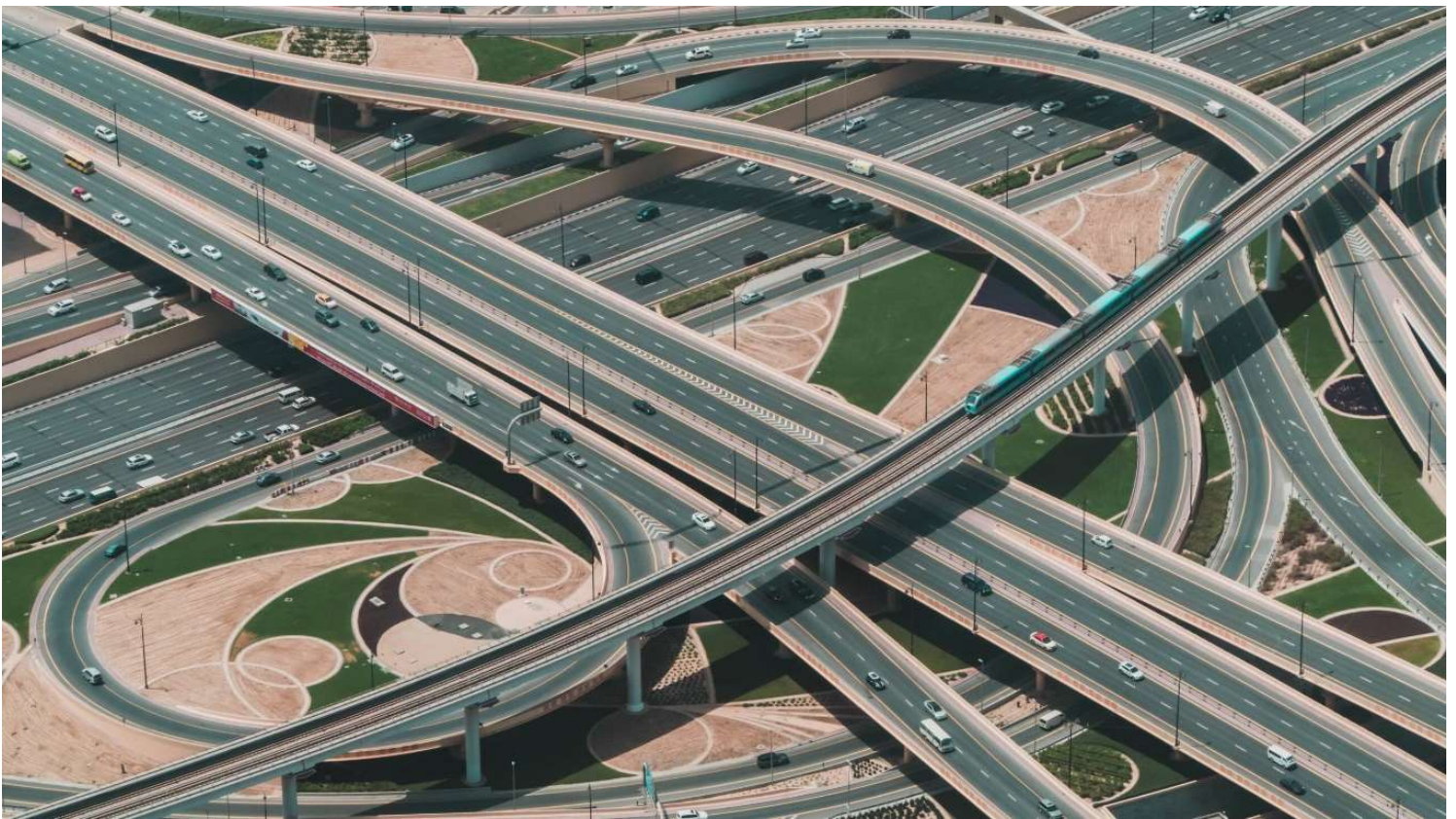


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

DIPLOMA THESIS

ENVIRONMENTAL EFFECT OF ELECTROMOBILITY IN HIGHWAY



Angeliki Skouri

Supervisor | Panagiotis Papantoniou

Athens, 2024



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟ

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του
Εισηγητή**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική
Επιτροπή:

α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Παναγιώτης Παπαντωνίου	Επίκουρος Καθηγητής ΠΑΔΑ	
2	Γεώργιος Χλούπης	Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ	
3	Ελλισάβητ Φελώνη	Συνεργαζόμενο Διδακτικό Προσωπικό	



ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Σκουρή Αγγελική του Φιλίππου, με αριθμό μητρώου 17048, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Σκουρή Αγγελική

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Σκουρή Αγγελική, Μάρτιος 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν με την συμβολή τους τόσο στο διάστημα της διπλωματικής.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Παναγιώτη Παπαντωνίου, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του ΠΑΔΑ, ο οποίος με την καθοδήγηση του, την υποστήριξη του και τις πολύτιμες γνώσεις του συνέβαλε τα μέγιστα για την περάτωση της διπλωματικής αυτής εργασίας και στην εκμάθηση του λογισμικού προσομοίωσης AIMSUN που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία «ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.» η οποία πραγματοποίησε την καταγραφή των στοιχείων κυκλοφοριακού φόρτου εντός της περιοχής μελέτης «Θήβα – Τραγάνα», τα οποία μου παραχώρησε. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη της σε κάθε επιλογή της ζωής μου, όπου μαζί και με τη συμβολή των φίλων μου, με βοήθησαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερος στην διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της Ηλεκτροκίνησης στον αυτοκινητόδρομο (περιβαλλοντικές, κυκλοφοριακές). Το υπό εξέταση οδικό δίκτυο αφορά τμήμα του αυτοινητοδρόμου της Νέας Οδού ‘Θήβα-Τραγάνα’ και οι μετρήσεις περιλαμβάνουν στοιχεία ανά μήνα, ανά ημέρα, ανά κατεύθυνση και τύπο οχήματος (Βαρέα Οχήματα, Ι.Χ., Λεωφορεία και Μηχανές).

Για τον σκοπό αυτό, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο αποτελείται από επτά (7) δυναμικά σενάρια, τα οποία εκτιμούν σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο την πραγματική κατάσταση της κυκλοφορίας στην υπό εξέταση περιοχή. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των προαναφερθέντων δυναμικών σεναρίων είναι το λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN. Μέσα από το λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης εξετάστηκαν οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων των οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο.

Τα αποτελέσματα δείχνουν τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που παρουσιάζουν αλλαγές στην σύνθεση του οδικού δικτύου ανάλογα με την σύνθεση της κυκλοφορίας των Ι.Χ. (συμβατικών, ηλεκτροκίνητων), καθώς επίσης και των Βαρέων Οχημάτων (συμβατικών, ηλεκτροκίνητων).

Λέξεις Κλειδιά : Ηλεκτρικά Οχήματα, Κυκλοφοριακός Φόρτος, Μακροσκοπική και Μικροσκοπική Προσομοίωση, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, Εκπομπές Ρύπων



ABSTRACT

The present diploma thesis aims to investigate the impact of the environmental effect of electromobility in highway (environmental, traffic). The road under consideration is Nea Odos Motorway in the ‘Thiva-Tragana’ network and the data produced by this network refer to counts per month, per day, per direction and vehicle type (heavy vehicles, cars, bus, motorbikes).

For this purpose, we developed a simulation with seven (7) dynamic models, presenting in a macroscopic and microscopic way the actual traffic situations on the study area. The simulation program that was used for the purpose of developing the previous mentioned dynamic scenarios is the AIMSUN traffic simulation program. Through the simulation scenarios, gas emissions of the vehicles on the road network were examined.

Results indicate that the environmental characteristics and the changes of them in the motorway through the different scenarios, depending on the changes of the passengers cars (ICE, EV) and the heavy vehicles (ICE, EV) on the road network.

Key Words : Electric Vehicles, Macroscopic and Microscopic Simulation, Traffic Flow, Environmental Impact, Gas Emissions

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 Ανασκόπηση	13
1.2 Στόχος Διπλωματικής	17
1.3 Μεθοδολογία	18
1.4 Δομή	19
2.1 Γενική Ανασκόπηση	21
2.1.1 Περιβαλλοντικά Στοιχεία	21
2.1.2 Ηλεκτρικά Οχήματα	24
2.2.1 Συναφείς Έρευνες	27
2.2.2 A review of energy sources and energy management system in electric vehicles (S. Fui Tie & C. Wei Tan, 2013)	27
2.2.3 Economic and environmental sustainability of Dynamic Wireless Power Transfer for electric vehicles supporting reduction of local air pollutant emissions. (P. Lazzeroni, et al., 2011).....	27
2.2.4 Optimal allocation of electric vehicle charging stations in a highway network: Part 1. Methodology and test application (G. Napoli, et al., 2020).....	28
2.2.5 Potential of electric car-sharing in urban and rural areas (S. Wappelhorst, et al., 2014).....	29
2.2.6 Modeling the impacts of EU countries' electric car deployment plans on atmospheric emissions and concentrations. (G. Vilchez, et al., 2019).....	29
2.2.7 Environmental efficiency of electric vehicles in Europe under various electricity production mix scenarios. (M. Kucubar, et al., 2022).....	30
2.2.8 Empirical analysis of the depreciation of electric vehicles compared to gasoline vehicles. (L. Schloter, 2022).....	30
2.2.9 The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and it's applications to multi-country scenarios. (S. Franzo, et al., 2021).....	30
2.2.10 Evolution of electric vehicles and its future scope. (P.M. Sneha, et al., 2020) 31	
2.2.11 Macro – micro simulation of traffic flow. (M. Said El Hmam, 2006)	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	34
3.1 Γενική Ανασκόπηση	34
3.2 Στοιχεία Κυκλοφοριακής Ροής	35
3.3 Προσομοίωση Κυκλοφορίας	38
3.4 Κατηγορίες Μοντέλων Προσομοίωσης	39
3.4.1 Μικροσκοπική Προσομοίωση (Micro-Simulation)	39

3.4.2	Μακροσκοπική Προσομοίωση (Macro-Simulation).....	40
3.4.3	Μεσοσκοπική Προσομοίωση (Meso -Simulation).....	40
3.4.4	AIMSUN – Advanced Interactive Microscopic Simulation for Urban and Non-Urban Networks	41
3.4.5	Προσομοίωση	41
3.4.6	Μικροσκοπικά Μοντέλα – Ακολουθούντα Οχήματα.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ & ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....		45
4.1	Γενική Εισαγωγή.....	45
4.2	Περιοχή Μελέτης	45
4.3	Κωδικοποίηση Οδικού Δικτύου	49
4.4	Εισαγωγή Δεδομένων Κυκλοφοριακού Φόρτου.....	51
4.5	Επεξεργασία Δεδομένων.....	51
4.6	Φόρτιση Δικτύου.....	56
4.7	Μοντέλο Καταμερισμού Κυκλοφορίας.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ.....		61
5.1	Περιγραφή Σεναρίων	61
5.2	Εισαγωγή	62
5.3	Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	65
5.3.1	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO ₂ (g/km)	66
5.3.2	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO _x (g/km)	67
5.3.3	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM (g/km).....	68
5.3.4	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC (g/km)	69
5.4	Συγκριτική Αξιολόγηση	70
5.4.1	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO ₂ (g/km)	71
5.4.2	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO _x (g/km)	72
5.4.3	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM (g/km).....	73
5.4.4	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC (g/km)	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		75
Bibliography.....		79

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Διαγραμματική Ιστορική Αναδρομή Οχημάτων.....	16
Εικόνα 2: Διάγραμμα Ταχύτητας - Πυκνότητας (Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015).....	36
Εικόνα 3: Διάγραμμα Ταχύτητας - Κυκλοφοριακού Φόρτου (Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015).....	37
Εικόνα 4: Διάγραμμα Ακολουθούντος Οχήματος, (Elaine Luong, 2018)	42
Εικόνα 5: Βασικές Εξισώσεις Θέσεων προπορευόμενου οχήματος και του ακολουθούντος του (Barcelo & Casas, n.d.)	43
Εικόνα 6: Σχέσεις βάση Herman & Rothery (Barcelo & Casas n.d.)	43
Εικόνα 7: Εξίσωση μέγιστης ταχύτητας Va (Barcelo & Casas, n.d.)	44
Εικόνα 8: Εξίσωση τελικής ταχύτητας για όχημα n (Barcelo & Casas, n.d.)	44
Εικόνα 9: Οδικός Άξονας Π.Α.Θ.Ε. (Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι), (Πηγή: Wikipedia-Google Maps)	45
Εικόνα 10: Χάρτης Ευρωπαϊκής Οδού E75, τμήμα Θήβα - Τραγάνα , εικόνα μέσω του λογισμικού QGIS.....	47
Εικόνα 11: Χάρτης σύνδεσης των περιοχών Μαρτίνος, Μαλεσίνα, Κάστρο με το οδικό δίκτυο E75 εικόνα μέσω του λογισμικού QGIS.....	48
Εικόνα 12: Χάρτης Πλευρικών Διοδίων Τραγάνας, εικόνα μέσω του λογισμικού QGIS	48
Εικόνα 13: Κωδικοποιημένο υπό μελέτη Οδικό Δίκτυο, Θήβα - Τραγάνα	50
Εικόνα 14: Τελικά Στοιχεία Κυκλοφοριακού Φόρτου, Ονομασίες Ανιχνευτών και Ονομασίες Κατηγορίας Οχημάτων σε μορφή κειμένου (.txt).....	56
Εικόνα 15: Καταμερισμός Κυκλοφορίας με την χρήση του Στοχαστικού Μοντέλου (Λογισμικό AIMSUN).	57
Εικόνα 16: Πίνακας Προέλευσης - Προορισμού (Π-Π), μηδενικού φόρτου Λεωφορείων	58
Εικόνα 17: Ψευδής Κυκλοφοριακή Ζήτηση (Traffic Flow)	58
Εικόνα 18: Πρώτο Στατικό Σενάριο	59
Εικόνα 19: Πραγματική Κυκλοφοριακή Ζήτηση (Traffic Demand)	60

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 : Συγκεντρωτικός Πίνακας βιβλιογραφικών ερευνών	33
Πίνακας 2: Πίνακας Πλεονεκτημάτων-Μειονεκτημάτων Κυκλοφοριακής Προσομοίωσης (Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015).....	38
Πίνακας 3: Τμήματα Οδικού Άξονα.....	46
Πίνακας 6: Περιγραφή Σεναρίων Προσομοίωσης:	61
Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεικτών Απόδοσης	63
Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μεταβλητών του λογισμικού AIMSUN	64
Πίνακας 9: Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων	65
Πίνακας 9: Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων.....	75

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Κυκλοφοριακός Φόρτος των κατευθύνσεων ανά όχημα	52
Διάγραμμα 2: Πλήθος οχημάτων προς εξέταση Ανά Μήνα (κατεύθυνση προς Αθήνα).....	53
Διάγραμμα 3: Πλήθος οχημάτων Ανά Εβδομάδα του Σεπτεμβρίου(κατεύθυνση προς Αθήνα)	54
Διάγραμμα 4: Πλήθος οχημάτων Ανά Εβδομάδα του Σεπτεμβρίου (κατεύθυνση προς Θεσσαλονίκη).....	55
Διάγραμμα 7: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου CO ₂ ανά ποσοστό	66
Διάγραμμα 8: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – Nox ανά ποσοστό	67
Διάγραμμα 9: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM ανά ποσοστό	68
Διάγραμμα 10: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC.....	69
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου CO ₂ ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο).....	71
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου NO _x ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο).....	72
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου PM ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο).....	73
Διάγραμμα 14: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου VOC ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο).....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανασκόπηση

Στις μέρες μας οι συζητήσεις που αφορούν τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, παγκόσμια, όλο και πληθαίνουν. Η συνεχόμενη ανάγκη των ανθρώπων να δημιουργούν να παράγουν και να κινούνται, δημιουργεί τις εκπομπές ρύπων. Οι εκπομπές αυτές απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, καθιστώντας το περιβάλλον βλαβερό. Ο τομέας των μεταφορών μεμονωμένα, είναι υπεύθυνος κατά 24% για τις βλαβερές εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνεται παγκοσμίως, καθώς επίσης και για το ¼ εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως.

Την πιθανή λύση στα προβλήματα αυτά, έρχεται να δώσει η ηλεκτροκίνηση, καθώς αποτελεί την ευκαιρία για ένα πράσινο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον, βασισμένο στα ηλεκτρικά οχήματα.

Η ηλεκτροκίνηση προσφέρεται ως ένας εναλλακτικός πόρος με στόχο τόσο τον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, όσο και για μια 'πράσινη' πηγή ενέργειας, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, βενζίνη κτλ.) .

Βέβαια, για να υλοποιηθεί η χρήση της ηλεκτροκίνησης ως βασικός πόρος, θα πρέπει τα ηλεκτρικά οχήματα να συμβαδίζουν με τις ανάγκες της καθημερινότητας του ανθρώπου. Συνεπώς, απαιτούνται σημαντικές προσπάθειες ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να εξαπλωθούν και να μπορέσουν να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος της αγοράς.

Προσπάθειες όπως η εκπλήρωση συνθηκών κατάλληλων για την ομαλή μετάβαση της κοινωνίας από τα συμβατικά οχήματα στα ηλεκτρικά, την ανάπτυξη υποδομών κατάλληλων να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων τόσο σε αστικό αλλά και υπεραστικό επίπεδο και τέλος την οικονομική βοήθεια στην αγορά, μέσω κρατικών κινητήρων, με στόχο την διευκόλυνση του πολίτη να έχει πρόσβαση σε αυτή.

Κάνοντας αναδρομή στον χρόνο, παρατηρούμε ότι η ανάγκη του ανθρώπου για μια πιο προσβάσιμη και όχι ρυπογόνα λύση στον τομέα των μεταφορών έχει ξεκινήσει κοντά στα 190 χρόνια πριν, στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Συνεπώς, τα ηλεκτροκίνητα οχήματα δεν είναι μια τάση ή ένα προϊόν των τελευταίων ετών, αλλά μια ιδέα – λύση που προτείνετε , ερευνάτε και αναπτύσσετε σε βάθος χρόνου.

Η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, ξεκινάει παράλληλα με τα Οχήματα Εσωτερικής Καύσης, αλλά δεν έχει την ίδια ραγδαία ανάπτυξη όπως εκείνα. Ξεκινώντας την αναδρομή :

1832 – 1839: Ο Σκωτσέζος Robert Anderson, εφεύρει το πρώτο ακατέργαστο ηλεκτρικό καρότσι το οποίο χρησιμοποιούσε μη επαναφορτιζόμενες ηλεκτρικές μπαταρίες.

Την ίδια περίοδο, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής,

1834 – 1842 : Ο ερευνητής Thomas Davenport, εφεύρει και εκείνος ένα ακατέργαστο ηλεκτρικό όχημα κινούμενο σε ράγες, το οποίο δεν έχει την δυνατότητα να επαναφορτίσει τις μπαταρίες του, αλλά μπορούσε να πάει 1.5 μίλι με 4 mph ρυμουλκώντας 6 τόνους. Μέχρι που, κατασκεύασε τον πρώτο Αμερικανικό ηλεκτροκίνητο συνεχούς ρεύματος.

Αυτό βέβαια δεν ήταν αρκετό ώστε να υπάρξει ραγδαία ανάπτυξη στην κατασκευή των ηλεκτρικών οχημάτων. Αντ' αυτού, λόγω μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου, οι έρευνες στράφηκαν προς τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης, καθώς το κόστος των καυσίμων ήταν χαμηλό και προσβάσιμο στους καταναλωτές. Σε αντίθεση με τις τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων που το κόστος τους όλο και αυξάνεται.

1859 : Ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante εφηύρε τις μπαταρίες Μόλυβδού – Οξέος, μπαταρίες δηλαδή επαναφορτιζόμενες. Χρησιμοποιήθηκαν για εμπορική χρήση καθώς και στα αυτοκίνητα.

1890 : Ο William Morrison , από την Iowa των Η.Π.Α. , δημιουργεί το πρώτο ηλεκτρικό όχημα. Στην πραγματικότητα όταν ένα κάρο που λειτουργούσε με ηλεκτρισμό, αλλά έχει αφήσει το σημάδι του στην ιστορία ως το πρώτο ηλεκτροκίνητο όχημα. Το όχημα περιλάμβανε χώρο για 24 μπαταρίες.

Τα χρόνια που ακολούθησαν βέβαια από την εφεύρεση του Morrison και μετά δεν ήταν τόσο θετικά για την παραγωγή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

1908 : Ο Henry Ford, ιδρυτής της αυτοκινητοβιομηχανίας Ford Motor Company, αναπτύσσει και δίνει στην αγορά το πρώτο συμβατικό όχημα μαζικής παραγωγής, με κινητήρα εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται από ορυκτά καύσιμα και συγκεκριμένα με βενζίνη. Εκείνη την εποχή το πρώτο σε πωλήσεις συμβατικό όχημα μαζικής παραγωγής Model T, κόστιζε 850 \$, σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά οχήματα που η αξία τους ήταν η διπλάσια.

Με το κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων να αυξάνεται, η μαζική παραγωγή τους θεωρήθηκε μη βιώσιμη και έτσι τα βενζινοκίνητα οχήματα επικράτησαν. Σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά οχήματα, έχουν δυνατότητα να διανύουν αρκετά χιλιόμετρα, με μεγάλη αυτονομία, είναι οικονομικά πιο προσβάσιμα και τα καύσιμα τους παρέχονται σε χαμηλές τιμές, κάτι που δεν συμβαίνει με τον ηλεκτρισμό και τις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η συζήτηση για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα επανέρχεται κάπου στο 1966- 1975, καθώς οι φόβοι με την αύξηση της τιμής των ορυκτών καυσίμων το 1973, οδήγησε στην αναζήτηση διαφορετικών πηγών ενέργειας.

1974 : Την διαφορά κάνει το ηλεκτρικό καρότσι του Golf, CitiCar του 1974, όπου είχε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος 2,5 ίππων και μπαταρίες μόλυβδου – οξέος, 36 Volt. Η τελική του ταχύτητα ήταν γύρω στα 25 mph.

Οι ιδρυτές του Sebring – Vanguard και Commuter Vehicles, παρήγαγαν γύρω στις 4.400 μονάδες στην Αμερική, από το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και το 2013. Θεωρήθηκαν οι μεγαλύτεροι παραγωγοί Ηλεκτρικών Οχημάτων.

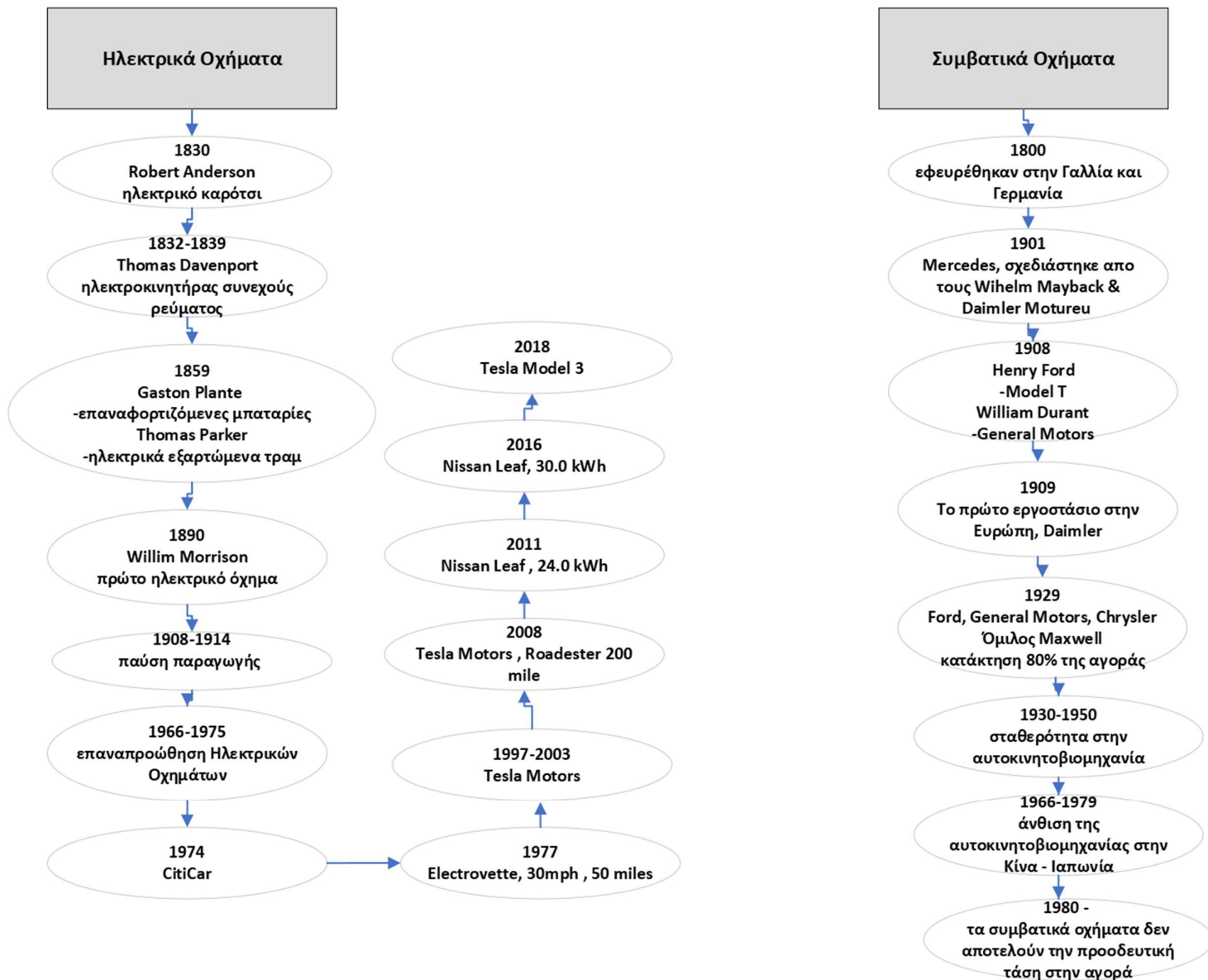
Φτάνοντας πιο κοντά στο 2023, τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα από τις αρχές του 1990 παρατηρήθηκε αύξηση των ρυπογόνων αερίων, μεγάλα ποσοστά ατμοσφαιρικής ρύπανσης και διάφορες άλλες επιβλαβείς ρυπάνσεις που προκλήθηκαν από την αυξανόμενη χρήση των συμβατικών οχημάτων. Έτσι το σύστημα κίνησης ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος άρχισε να φαίνεται πιο ελπιδοφόρο από ποτέ, καθώς έχει σχεδόν μηδενικούς ρύπους και εκπομπές στο περιβάλλον.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια :

2015 - : Το 2011, η εταιρεία Nissan , δημιούργησε το Nissan Leaf, ήταν η πρώτη μεγάλη κατάκτηση της αγοράς στην ηλεκτροκίνηση, πουλήθηκε παγκοσμίως και ήταν ικανό να πιάσει ταχύτητες αυτοκινητοδρόμου. Κάτι το οποίο το καθιστούσε ιδανικό για αστικά και υπεραστικά δίκτυα.

Το 2019, το Nissan Leaf παρότι πρώτο στις πωλήσεις παγκοσμίως ‘νικήθηκε’ από το ηλεκτρικό όχημα του επιχειρηματία Elon Musk, Tesla Model 3 και τα μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων που ακολούθησαν.

Ανακεφαλαιώνοντας , τα ηλεκτροκίνητα οχήματά έχουν την τάση να αυξάνουν τις πωλήσεις τους, την παραγωγή τους και την αγορά τους σε περιόδους κρίσης. Είτε οικονομικής, είτε ατμοσφαιρικής.



Εικόνα 1: Διαγραμματική Ιστορική Αναδρομή Οχημάτων

1.2 Στόχος Διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ηλεκτροκίνητων οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο**. Ως περιοχή μελέτης **τίθεται τμήμα του αυτοκινητοδρόμου Π.Α.Θ.Ε. (Πάτρα-Αθήνα- Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι), συγκεκριμένα το τμήμα ‘Θήβα-Τραγάνα’,** το οποίο εξετάζεται και στις δύο του κατευθύνσεις (Αθήνα-Θεσσαλονίκη, Θεσσαλονίκη-Αθήνα).

Συγκεκριμένα, η ανάλυση του προαναφερθέντος τμήματος επιτυγχάνεται βάση των δεδομένων κυκλοφοριακού φόρτου σε πραγματικές συνθήκες που αναφέρονται σε χρονική περίοδο δύο μηνών (Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2021) τα οποία δόθηκαν από την εταιρεία ‘ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.’. Με την χρήση των δεδομένων αυτών εξετάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των Ηλεκτρικών Οχημάτων στον υπό εξέταση οδικό δίκτυο, μέσα από σενάρια μικροσκοπικής προσομοίωσης.

Για την επίτευξη του ανωτέρου στόχου, γίνεται **χρήση σεναρίων προσομοίωσης**. Αναπτύσσονται στατικά σενάρια για την ενσωμάτωση των δεδομένων στο σχεδιασμένο οδικό δίκτυο και την έναρξη της μακροσκοπικής ανάλυσης. Με την ολοκλήρωση της μακροσκοπικής ανάλυσης. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η διαδικασία της αναπαραγωγής των δυναμικών μοντέλων με στόχο την εύρεση της περιβαλλοντικής επιρροής των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο, μέσω των σεναρίων που δημιουργούνται και συντελούν ένα μικροσκοπικό μοντέλο.

Η ανάλυση βασίζεται σε σενάρια μικροσκοπικής προσομοίωσης για την εύρεση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων σε περιπτώσεις μείωσης ή αύξησης του πραγματικού τους πλήθους. Τα ποσοστά φόρτου που διερευνήθηκαν σε επτά **(7) διαφορετικά σενάρια**, με βάση το ποσοστό διείδυσης των Ηλεκτρικών Οχημάτων στο δίκτυο τόσο στα ΙΧ όσο και στα βαρέα οχήματα

1.3 Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίθηκε απαραίτητη η προσφυγή στην εύρεση της κατάλληλης **βιβλιογραφίας** τόσο σε ελληνικές, αλλά και σε ξενόγλωσσες πηγές. Η αναζήτηση αυτή περιλαμβάνει βιβλιογραφικό υλικό όπως άρθρα, έρευνες κλπ. , το οποίο σχετίζεται με το αντικείμενο μελέτης. Στόχος της αναζήτησης αυτής είναι η δημιουργία μιας έρευνας με θεμέλια που θα οδηγήσουν στην εκπόνηση της καθώς σε ενδεχόμενες προοπτικές εξέλιξης της.

Επιπρόσθετα, λήφθηκαν **δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου** από την εταιρεία ‘ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.’, που για την πλήρη κατανόηση τους έλαβε χώρα μια εκ νέου αναζήτηση βιβλιογραφικού υλικού. Η προαναφερθείσα αναζήτηση αφορούσε την **κατανόηση** και την **καταγραφή** των θεμελιωδών στοιχείων κυκλοφοριακής ροής, καθώς επίσης και των **μοντέλων προσομοίωσης**.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε μια εξίσου σημαντική έρευνα που αφορά την εκμάθηση της λειτουργίας του λογισμικού προσομοίωσης ‘AIMSUN’ το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την τέλεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μέσω της μελέτης και της κατανόησης του εγχειριδίου, καθώς επίσης και μέσω της επίλυσης των κατάλληλων ασκήσεων που παρέχονται από την εταιρεία ‘AIMSUN NEXT’.

Όσον αφορά τον **κυκλοφοριακό φόρτο** των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων πραγματοποιείται διαχωρισμός βάση των ημερών **Παρασκευής και Κυριακής**, όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου σε σχέση με τις υπόλοιπες ημέρες της εβδομάδας στους υπό εξέταση μήνες. Στην συνέχεια, υπολογίζεται η ώρα αιχμής σε σχέση με την ανάλυση των ημερών. Τέλος, σημειώνεται η έναρξη της ανάλυσης των ποικίλων σεναρίων προσομοίωσης εντός του λογισμικού.

Τα **τελικά αποτελέσματα** που προκύπτουν αξιολογήθηκαν, μέσω της σύγκρισης επτά (7) διαφορετικών δυναμικών σεναρίων και οδήγησαν στην εξαγωγή των κατάλληλων συμπερασμάτων για την λειτουργία του υπό εξέταση οδικού δικτύου.

1.4 Δομή

Η Διπλωματική Εργασία βασίζεται σε 7 κεφάλαια. Η δομή της παρουσιάζεται παρακάτω :

- **Κεφάλαιο Πρώτο** : αρχικά το κεφάλαιο αυτό αποτελεί μια βάση για την κατανόηση του στόχου και των περιεχομένων της Διπλωματικής Εργασίας, καθώς επίσης και της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί για την εκπόνηση αυτής .Σ’ αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια αρχική ανασκόπηση στους περιβαλλοντικούς ρύπους, όπως επίσης ,και στην συσχέτιση αυτών με τον τομέα των μεταφορών. Έπειτα, γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των οχημάτων (συμβατικών, ηλεκτροκινήτων). Τέλος, ακολουθεί διαγραμματικά η ιστορική αναδρομή.
- **Κεφάλαιο Δεύτερο** : στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει η βιβλιογραφική έρευνα που αφορά τους βασικούς τομείς της. Συγκεκριμένα, το Οδικό Περιβάλλον, τους τύπους των Οχημάτων, καθώς επίσης και σχετικούς ορισμούς για την κατανόηση αυτής. Ορισμούς όπως η Ατμοσφαιρική Ρύπανση, η Ατμόσφαιρα και η συσχέτιση τους με τον Τομέα των Μεταφορών. Η έρευνα αυτή βασίζεται κυρίως σε πηγές όπως δημοσιευμένες επιστημονικές έρευνες, άρθρα και βιβλία. Τέλος, παρακάτω παρατίθενται βάση του σκοπού και του στόχου τους, όπως επίσης και των συμπερασμάτων που εξάγονται από κάθε μια.
- **Κεφάλαιο Τρίτο** : το τρίτο κεφάλαιο, αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο. Αναλυτικά, παραθέτοντας τα στοιχεία της κυκλοφοριακής ροής καθώς επίσης δίνονται αναλυτικά ορισμοί οι οποίοι θα βοηθήσουν στην κατανόηση των κεφαλαίων που θα ακολουθήσουν.
- **Κεφάλαιο Τέταρτο** : Σ’ αυτό το κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρέχεται αναλυτικά διαδικασία συλλογής δεδομένων του κυκλοφοριακού φόρτου, καθώς επίσης και τα πρώτα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων αυτών μέσω των κατάλληλων λογισμικών. Τέλος, δίνεται η βασική διαδικασία των βημάτων που θα ακολουθηθούν για την υλοποίηση της προσομοίωσης μέσω του λογισμικού AIMSUN.
- **Κεφάλαιο Πέμπτο** : Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται τα δυναμικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση με στόχο την εύρεση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, όπως αναφέρονται παρακάτω:

Σενάριο 1: I.X.: Ηλεκτρικά 0%, Βενζινοκίνητα 20%, Πετρελαιοκίνητα 20%, **Βαρέα Οχήματα**: Ηλεκτρικά 0%, Πετρελαιοκίνητα 100%

Σενάριο 2: I.X.: Ηλεκτρικά 50%, Βενζινοκίνητα 40%, Πετρελαιοκίνητα 10%, **Βαρέα Οχήματα**: Ηλεκτρικά 0%, Πετρελαιοκίνητα 100%

Σενάριο 3: I.X.: Ηλεκτρικά 100%, Βενζινοκίνητα 0%, Πετρελαιοκίνητα 0% , **Βαρέα Οχήματα**: Ηλεκτρικά 0%, Πετρελαιοκίνητα 100%

Σενάριο 4: I.X.: Ηλεκτρικά 0%, Βενζινοκίνητα 80%, Πετρελαιοκίνητα 20% , **Βαρέα Οχήματα**: Ηλεκτρικά 50%, Πετρελαιοκίνητα 50%

Σενάριο 5: I.X.: Ηλεκτρικά 0%, Βενζινοκίνητα 80%, Πετρελαιοκίνητα 20% , **Βαρέα Οχήματα**: Ηλεκτρικά 100%, Πετρελαιοκίνητα 0%

Σενάριο 6: I.X.: Ηλεκτρικά 50%, Βενζινοκίνητα 40%, Πετρελαιοκίνητα 10% , **Βαρέα Οχήματα**: Ηλεκτρικά 50%, Πετρελαιοκίνητα 50%

Σενάριο 7: I.X.: Ηλεκτρικά 100%, Βενζινοκίνητα 0%, Πετρελαιοκίνητα 0% , **Βαρέα Οχήματα**: Ηλεκτρικά 100%, Πετρελαιοκίνητα 100%

- **Κεφάλαιο Έκτο:** Βάση των σεναρίων που αναφέρονται στο πέμπτο κεφάλαιο, εξάγονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που διενεργείτε σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων με στόχο την οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα βασικά συμπεράσματα καθώς επίσης γίνεται αναφορά των σημαντικότερων σημείων της έρευνας και των αποτελεσμάτων αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Γενική Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνονται βασικοί ορισμοί και έρευνες οι οποίες αφορούν τις επιπτώσεις των ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον, τις περιβαλλοντικές συνέπειες των ηλεκτροκίνητων, καθώς και των συμβατικών οχημάτων, όπως επίσης και τις βασικές τους διαφορές και ομοιότητες. Οι μελέτες που παρατίθενται αφορούν επίσης προσομοιώσεις οι οποίες έλαβαν χώρα σε συγκεκριμένα οδικά δίκτυα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι έρευνες αυτές αποτελούν σύνδεση ανάμεσα στο γνωστικό επίπεδο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και του μοντέλου που αναπτύχθηκε για την εκπόνηση αυτής.

Πιο αναλυτικά, παρακάτω περιλαμβάνονται:

- Ορισμοί, που αφορούν την ατμόσφαιρα, την ατμοσφαιρική ρύπανση και τους ρύπους.
- Τους τύπους των οχημάτων, το οδικό δίκτυο
- Μελέτες που αφορούν το οδικό περιβάλλον, την ρύπανση αυτού, την ηλεκτροκίνηση καθώς και την μεταξύ τους σχέση.
- Μοντέλα Οδικής Κυκλοφορίας

2.1.1 Περιβαλλοντικά Στοιχεία

Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί ορισμοί για κάποιες από τις περιβαλλοντικές έννοιες που θα αναφερθούν (Α. Γεωργόπουλος, et. Al., 2013) :

Ατμόσφαιρα : Με τον όρο **ατμόσφαιρα**, εννοούμε το στρώμα αέρα που περιβάλλει τον πλανήτη Γη και ακολουθεί το σύνολο των κινήσεων του κατά την περιστροφή του. Η ατμόσφαιρα έχει ζωτική σημασία καθώς παρέχει το οξυγόνο στους ανθρώπους, στα ζώα καθώς και τα φυτά. Τέλος προστατεύει τη Γη από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας, παίζοντας σταθεροποιητικό ρόλο μεγάλης σημασίας για το γήινο κλίμα.

Ατμοσφαιρική Ρύπανση : **Ατμοσφαιρική ρύπανση** καλείται, η συγκέντρωση κάθε είδους ουσιών στην ατμόσφαιρα, όπου η παρουσία τους οδηγεί στην ρύπανση ενός οικοσυστήματος, όπως τη βλάστηση, τα ζώα, τα εδάφη, την ποιότητα του νερού, την ανθρώπινη υγεία. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, όταν τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι αυξημένα, το περιβάλλον μπορεί να θεωρηθεί ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του ή ακόμα να φτάσει σε επίπεδο να δημιουργηθούν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Ως πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων μπορεί να θεωρηθεί ένα ευρύ

φάσμα τομέων, είτε φυσικής, είτε ανθρωπογενείς προέλευσης . Όσον αφορά τις φυσικές πηγές των ατμοσφαιρικών ρύπων, οι ρύποι μπορεί να προέρχονται από διεργασίες που εκτελούνται από :

- Την ηφαιστειακή δραστηριότητα: λ.χ. μια ηφαιστειακή έκρηξη, κατά την οποία απελευθερώνονται στο περιβάλλον αιωρούμενα σωματίδια (PM), διοξείδιο του θείου (SO_2) και μεθάνιο (CH_4).
- Τα δάση: λ.χ. η αποσάθρωση του εδάφους όπου απελευθερώνονται στο περιβάλλον αιωρούμενα σωματίδια (PM) καθώς και η βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων που απελευθερώνει υδρογονάνθρακες (HC) και αμμωνία (NH_3). Τέλος, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα δέντρα και τα φυτά που απελευθερώνουν κυρίως υδρογονάνθρακες κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (HC).

Από τη μεριά των ανθρωπογενών ρύπων, εντάσσονται οι πηγές ρύπανσης που είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στις πηγές αυτές εντάσσονται τομείς όπως:

- Αστικά λύματα: μέσα από τα οποία γίνεται απελευθέρωση βαρέων μετάλλων όπως ο υδράργυρος (HG) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).
- Στερεά Απορρίμματα
- Γεωργικές Δραστηριότητες: λ.χ. από συντηρητικά φυτών και καρπών και χρήση λιπασμάτων , απελευθερώνεται στο περιβάλλον διοξείδιο του θείου.
- Μεταφορές: όπου περιλαμβάνονται οι οδικές, αεροπορικές, ακτοπολικές μεταφορές και εκπέμπονται στο περιβάλλον ρύποι όπως τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) , το οξείδιο του αζώτου (NO_x) και τα οξείδια του θείου (SO_x).

Επιπτώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης : Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η αιτία πολλών περιβαλλοντικών προβλημάτων που συγκεντρώνουν την προσοχή του σύγχρονου κόσμου. Αυτό συμβαίνει καθώς η ρύπανση δεν είναι ίδια παντού, αλλά στην ατμόσφαιρα έλκονται πολυάριθμοι ρύποι που προέρχονται από ένα ευρύ κατάλογο, αυτό έχει ως συνέπεια τα προβλήματα να αυξάνονται. Προβλήματα όπως:

- Η κλιματική αλλαγή
- Η μείωση του όζοντος
- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Η όξινη βροχή
- Το φωτοχημικό νέφος,

είναι μερικά από τα σημαντικότερα. Κυριότερος παράγοντας που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές αυτές συνδέονται άρρηκτα με τον τομέα των μεταφορών. Ένας άλλος εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι το όζον (O_3) το οποίο οφείλεται για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Από τους προαναφερόμενους ρύπους καθώς και από πολλούς άλλους, οι επιπτώσεις της ρύπανσης αναφέρονται ως εξής:

- Αύξηση μέσης θερμοκρασίας της Γης
- Αύξηση επικίνδυνων ακτινοβολιών
- Αλλοίωση οικοσυστημάτων
- Αύξηση αναπνευστικών ασθενειών
- Προσβολή υδροβιοτόπων και βιοποικιλότητας
- Μακροχρόνιες επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου

Διοξείδιο του Θείου [SO₂] : Οι κυριότερες πηγές του στο περιβάλλον είναι τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, βιομηχανίες, κεντρικές θερμάνσεις, διυλιστήρια πετρελαίου, χημικές βιομηχανίες, χαρτοβιομηχανίες και πετρελαιοκίνητα οχήματα. Το διοξείδιο του θείου [SO₂] είναι συστατικό, σε συνδυασμό με τον καπνό, υπεύθυνο για την ομίχλη του Λονδίνου το 1950, κατά την οποία επήλθε ο θάνατος χιλιάδων ανθρώπων καθώς και την αύξηση των αναπνευστικών προβλημάτων. Συγκεντρωτικά, οι καύσεις του διοξειδίου του θείου είναι υπεύθυνες για το 85% των εκπομπών των βλαβερών ρύπων στο περιβάλλον, ενώ ένα μέρος υπολογισμένο στο 7% προέρχεται από τον τομέα των μεταφορών.

Οξειδία του Αζώτου [NO_x] : Οι κυριότερες πηγές του, η χρήση καυσίμων κυρίως σε αυτοκίνητα αλλά και σε βιομηχανικούς καυστήρες ή σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής οι οποίοι παράγουν μονοξείδιο του αζώτου. Η αναφορά του NO_x, συνήθως προ ερμηνεύει την ύπαρξη του διοξειδίου του αζώτου (NO₂) και του μονοξειδίου του αζώτου (NO). Το μονοξείδιο του αζώτου προέρχεται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων, κάτι που πραγματοποιείται σε μεγάλο βαθμό από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης των συμβατικών οχημάτων, από τα αεροπλάνα και τέλος τα διυλιστήρια. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οξειδίων προέρχονται από εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και από εργοστάσια κατά 45% , σε ποσοστό 49% συγκαταλέγεται το κομμάτι που αφορά τον τομέα των μεταφορών.

Μονοξείδιο του Αζώτου [CO] : Παράγεται ως αποτέλεσμα της ατελούς καύσης των υδρογονανθράκων κυρίως στις μηχανές εσωτερικής καύσης των συμβατικών οχημάτων. Το 10% της εκπομπής του στην ατμόσφαιρα προέρχεται από ανθρωπογενείς παράγοντες. Σε διεθνή κλίμακα ο τομέας των μεταφορών φτάνει στο ποσοστό του 77% των βλαβερών εκπομπών, επίσης σε ποσοστό 7% βρίσκονται οι εκπομπές από βιομηχανικές εργασίες. Τέλος, σε ποσοστό 16% ανέρχονται οι ρύποι από την ηλεκτρική ενέργεια καθώς και από άλλες πηγές ρύπων. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα βρίσκονται, λ.χ. σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους, καθώς επίσης και σε αστικές λεωφόρους, ιδιαίτερα σε σημεία κυκλοφοριακής συμφόρησης.

2.1.2 Ηλεκτρικά Οχήματα

Τύποι Οχημάτων : Σύμφωνα με μελέτες οι τύποι των οχημάτων μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κεντρικές κατηγορίες, τα συμβατικά οχήματα και τα ηλεκτρικά οχήματα. Ως συμβατικά οχήματα θεωρούμε τα οχήματα τα οποία έχουν κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), τα οποία τροφοδοτούνται από την διαδικασία καύσης ορυκτών καυσίμων όπως βενζίνη ή πετρέλαιο. Τα συμβατικά οχήματα είναι κατά κύριο λόγο η πηγή της απελευθέρωσης ρύπων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στο περιβάλλον, του οποίου η εκπομπή γίνεται μέσω της ατελούς καύσης του καυσίμου. Από την άλλη ως ηλεκτρικά οχήματα (EV) θεωρούμε τα οχήματα τα οποία τροφοδοτούνται εξολοκλήρου ή εν μέρει από ένα επαναφορτιζόμενο σύστημα (λ.χ. μπαταρία). Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν τον βασικό παράγοντα για ένα βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον, όσον αφορά την κινητικότητα. Στην κατηγορία των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούμε να διαχωρίσουμε τρεις κατηγορίες, τα EV – Electric Vehicles, τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles και τέλος τα Fuel-Cell Electric Vehicle (S. Franzo, et al., 2021).

Ηλεκτρικά Οχήματα : Το ηλεκτρικό όχημα ορίζεται ως ένα όχημα που αντί για κινητήρα εσωτερικής καύσης, όπως των συμβατικών οχημάτων, χρησιμοποιεί ηλεκτροκινητήρα που 'τρέφεται' από ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο προέρχεται από την μπαταρία του. Βασική διαφορά τους σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα είναι ότι, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν διαθέτουν δεξαμενή καυσίμου (πετρελαίου και βενζίνης) αλλά και επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Ουσιαστικά, είναι ένα αυτοκίνητο που τροφοδοτείται εξολοκλήρου ή εν μέρει από μπαταρία που απαιτεί επαναφόρτιση. Όσον αφορά τους περιβαλλοντικούς τους ρύπους, τα ηλεκτρικά οχήματα κατατάσσονται στα 'πράσινα οχήματα'. Δηλαδή, σε οχήματα τα οποία ο περιβαλλοντικός τους αντίκτυπος είναι μηδενικός. Σκοπός της κατασκευής τους ήταν, η δημιουργία καθαρών και ενεργειακά αποδοτικών οχημάτων, καθώς οι περιβαλλοντικές ανησυχίες ολοένα κι αυξάνονται στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ως πράσινο όχημα, το ηλεκτρικό όχημα βοηθάει στην δημιουργία μιας εναλλακτικής πηγής ενέργειας, συμβάλλει στην περιβαλλοντική διαχείριση και στην εξοικονόμηση ενέργειας, τέλος συμβάλλει επίσης στην ανάπτυξη φιλικότερων προς το περιβάλλον οχημάτων, καθώς μειώνει το αντίκτυπο των εκπομπών των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στον τομέα των μεταφορών κατά 60%. Επιπρόσθετα τα EV, δεν παράγουν άμεσα εκπομπές καυσαερίων αλλά έμμεσα, μέσω της κατασκευής της μπαταρίας τους σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, την μεταφορά τους από την περιοχή κατασκευής στην περιοχή χρήσης τους, την κατασκευή των σκελετών των ίδιων των οχημάτων σε εργοστάσια παραγωγής και τέλος μέσα από την ανακύκλωση των μπαταριών τους, όταν αυτή πια φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής της. (S. Franzo, et al., 2021)

Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Ηλεκτρικά Οχήματα : Τα ηλεκτρικά οχήματα παγκοσμίως προωθούνται ως μια πιθανή λύση για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ρύπων που σχετίζονται με τον τομέα των μεταφορών, κάτι που κατά ένα μεγάλο ποσοστό οφείλεται στις μηδενικές εκπομπές ρύπων, καθώς επίσης και στην άνετη, ασφαλή και οικονομική μετακίνηση που προσβέδουν. Παρ' όλα αυτά τα ηλεκτρικά οχήματα, βάση διαφόρων μελετών, μπορεί να μην σχετίζονται άμεσα με τις εκπομπές GHG λόγω της χρήσης τους, αλλά περιλαμβάνοντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους (κατασκευή, παραγωγή, χρήση, τέλος ζωής). Αυτό καθιστά τα ηλεκτρικά οχήματα, υπεύθυνα για μόνο το 1% της μείωσης των εκπομπών ρύπων στον τομέα των μεταφορών. Στην φάση της 'χρήσης' κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός ηλεκτρικού οχήματος παρουσιάζεται περιορισμένη συμβολή στις συνολικές εκπομπές CO₂, ποσοστό δηλαδή που ανέρχεται στο από 0-1%, 10-11%, έναντι των συμβατικών οχημάτων που το ποσοστό τους ανέρχεται στο 75%-88% κατά τη φάση 'χρήσης' του κύκλου ζωής τους. Από την άλλη μεριά, καθ' όλη την διάρκεια ζωής τους το ποσοστό των GHG που απελευθερώνεται στο περιβάλλον από τα ηλεκτρικά οχήματα ανέρχεται στο 20%, έναντι των συμβατικών οχημάτων που καθ' όλη την διάρκεια ζωής τους αντιπροσωπεύουν το 40-70% των εκπομπών των GHG. Συμπερασματικά, το βασικό μειονέκτημα των ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι ότι κατά την διαδικασία κατασκευής, παραγωγής και παραγωγής του τροφοδοτικού τους συστήματος (μπαταρία), οι διαδικασίες που ακολουθούνται θεωρούνται εξαιρετικά ρυπογόνες και αφήνουν ένα ουσιώδες ποσοστό ρυπογόνου αποτυπώματος στο περιβάλλον, αλλά δε παύει, από το στάδιο της παραγωγής έως και το πέρας της ασφαλούς λειτουργίας του να ρυπαίνει το περιβάλλον σε πολύ μικρότερη κλίμακα σε σχέση με τη ρύπανση ενός αυτοκινήτου με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

(S. Fui Tie & C. Wei Tan, 2013)

Ηλεκτρικά Οχήματα και Οδικό Δίκτυο : Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συμβάλλουν σε μια βιώσιμη, κλιματικά φιλική προς το περιβάλλον κινητικότητα. Ωστόσο, όσον αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα οι δυνατότητες τους στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στο τομέα των μεταφορών είναι περιορισμένη. Αυτό συμβαίνει καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, έχουν μικρότερη εμβέλεια αυτονομίας σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα και τέλος το κόστος δημιουργίας σταθμών τροφοδοσίας (σταθμών φόρτισης της μπαταρίας) είναι μεγάλο. Είναι προφανές ότι η ηλεκτροδότηση θεωρείται μια εφικτή στρατηγική για την μείωση εξάρτησης από το CO₂ και τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Αλλά για να είναι μια υλοποιήσιμη λύση πρέπει παράλληλα με την αυξανόμενη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα κατάλληλο σύστημα υποδομών που θα μπορούν να υποστηρίξουν τον όγκο και τις ανάγκες των οχημάτων, τόσο σε αστικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο αυτοκινητοδρόμων. Οι υποδομές αυτές πρέπει να έχουν στόχο την βέλτιστη κατανομή σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών

οχημάτων κατά μήκος όλων των οδικών δικτύων βάση της προσφοράς, της ζήτησης και τέλος λαμβάνοντας υπόψιν και τον ανθρώπινο παράγοντα.

Λόγω της σχετικά μικρής αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων (θεωρητική αυτονομία 400km, μέσος όρος αυτονομίας 200km), τα καθιστά ανεπαρκή για μακροχρόνιες και υπεραστικές μετακινήσεις, κάτι το οποίο μπορεί να αποφευχθεί με κατάλληλες θέσεις σημείων φόρτισης, σε σημεία ενδιαφέροντος (πρατήρια καυσίμων κατά μήκος του υπεραστικού οδικού δικτύου, εμπορικά κέντρα σε αστικές περιοχές κ.ο.κ.), αστικούς και δημόσιους χώρους στάθμευσης ή σε ειδικές στάσεις κατά μήκος του οδικού δικτύου. Για να υλοποιηθεί το σύστημα υποδομής σημείων φόρτισης πρέπει να ληφθεί υπόψιν η ροή κίνησης των δικτύων καθώς επίσης ο ανθρώπινος παράγοντας. Σύμφωνα με μελέτες, η ζήτηση ηλεκτρικών οχημάτων ,παρότι αυξάνεται, είναι περιορισμένη, λόγω του ‘άγχους’ της ανεπάρκειας αποτελεσματικού δικτύου φόρτισης κατά μήκος των μεγάλων οδικών αρτηριών, με αποτέλεσμα η επιλογή ενός συμβατικού οχήματος να είναι πιο ‘ασφαλής’ λύση για τους οδηγούς που διανύουν μεγαλύτερες και μακροχρόνιες αποστάσεις κατά μήκος του οδικού δικτύου. Τέλος, όσον αφορά το περιβαλλοντικό κόστος της κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων σε αστικά και υπεραστικά δίκτυα, αυτό καθ’ αυτό το ηλεκτρικό όχημα έχει μηδενικούς ρύπους αλλά οι θέσεις φόρτισης του συστήματος τροφοδοσίας τους αφήνουν αποτύπωμα στο περιβάλλον. Οι θέσεις φόρτισης των οχημάτων χρησιμοποιούν λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ως καύσιμο, κάτι του οποίου η καύση είναι ρυπογόνα για το περιβάλλον. Με την κατασκευή θέσεων φόρτισης κατά μήκος του οδικού δικτύου οι ρύποι αυξάνονται και έτσι πρέπει να δοθεί μια εναλλακτική λύση στη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές για την κάλυψη του οδικού δικτύου (λόγου χάριν, φωτοβολταϊκά συστήματα). Συνοψίζοντας, η ηλεκτροκίνηση στα αστικά και υπεραστικά δίκτυα είναι ακόμη στα αρχικά της στάδια καθώς το περιβαλλοντικό της κόστος είναι υπαρκτό και η έλλειψη υποδομών υποστήριξης των μεταφορών αυτών είναι ένα εμπόδιο στην ανάπτυξη της. (P.M. Sneha, et al., 2020)

2.2.1 Συναφείς Έρευνες

Παρακάτω τίθενται επιγραμματικά κάποιες από τις μελέτες. Δίνεται έμφαση στον σκοπό, τον στόχο, την μεθοδολογία, το γνωστικό τους αντικείμενο και τέλος στα συμπεράσματα που εξάγονται από κάθε μια από αυτές.

2.2.2 A review of energy sources and energy management system in electric vehicles (S. Fui Tie & C. Wei Tan, 2013)

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι, μέσα από τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας, τις γεννήτριες ενέργειας για τα ηλεκτρικά οχήματα, τους μετατροπείς ισχύος και τη διαχείριση της ενέργειας, να γίνει μια μελέτη βάση της σύγκρισης των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της ανάπτυξης της τεχνολογίας τους.

Αναφορά γίνεται, στις τελευταίες τεχνολογίας πηγές ενέργειας καθώς και τις στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας. Χρησιμοποιώντας τα ηλεκτρικά οχήματα ενδέχεται μείωση των αέριων του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ ένα συμβατικό όχημα συνεισφέρει στα υψηλά επίπεδα των αέριων εκπομπών.

Σύμφωνα με την παρούσα έρευνα, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων μόνο στις Η.Π.Α. έχουν αυξηθεί από 274.555 κατά το έτος 2010 σε 393.938 έως τον Οκτώβρη του 2012.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα, παρότι δεν πληρούν τις ιδανικές προδιαγραφές σε σχέση με τα συμβατικά (μεγάλες αποστάσεις χωρίς την ανάγκη στάσεων φόρτισης), η ανάπτυξη και οι πωλήσεις των ηλεκτρονικών οχημάτων έχουν αυξηθεί καθώς και η εύρεση εναλλακτικών πόρων για τη διαχείριση της ζήτησης.

2.2.3 Economic and environmental sustainability of Dynamic Wireless Power Transfer for electric vehicles supporting reduction of local air pollutant emissions. (P. Lazzeroni, et al., 2011)

Η παρούσα μελέτη αφορά την υιοθέτηση συστημάτων που υποστηρίζουν τα ηλεκτρικά οχήματα για ιδιωτική μετακίνηση, στην υποδομή του αυτοκινητόδρομου. Επίσης βασίζεται στην οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση του κοινωνικού κόστους, στηριζόμενη στην εξοικονόμηση που προκύπτει από την απαλλαγή ρύπων μέσα από την υιοθέτηση των συστημάτων αυτών. Στόχος της είναι, μέσα από την ανάλυση της δυνατότητας εξοικονόμησης του κοινωνικού κόστους, να δοθεί μια επαρκή απάντηση όσον αφορά την βιωσιμότητα του συστήματος, της λωρίδας φόρτισης Dynamic Wireless Power Transfer (DWPT) που προτείνει, έτσι ώστε ως αποτέλεσμα να γίνει απαλλαγή των συμβατικών οχημάτων και υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά την χρονική περίοδο 2020-2040.

Σύμφωνα με την έρευνα, η οποία διεξάχθηκε ανάμεσα σε έξι πολυπληθείς χώρες της Ευρώπης (Ιταλία, Γαλλία, Γερμανία, Πολωνία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο), κατά

την χρονολογική περίοδο 2005 – 2016 δείχνει ότι τα παράγωγα του πετρελαίου αποτελούν το 78% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον τομέα των μεταφορών, ενώ κατά την χρονολογική περίοδο 2013 – 2016 δείχνει ότι μόλις το 0.8% αφορά την ηλεκτροκίνηση, καθώς είναι το ποσοστό ύπαρξης στόλου ανάμεσα στις εξεταζόμενες Ευρωπαϊκές χώρες.

Η μεθοδολογία της έρευνας βασίζεται στην ανάλυση κόστους – οφέλους, συγκρίνοντας το κόστος της υποδομής της, δημιουργίας μιας λωρίδας φόρτισης DWPT, με τα οφέλη αυτής. Βάση της υπόθεσης ότι υπάρχει αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων στις έξι εξεταζόμενες χώρες, διερευνάται ως προς τα διαφορετικά πλαίσια δοκιμών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, τις επεκτάσεις των αυτοκινητόδρομων και τις συνθήκες ατμοσφαιρική ρύπανσης στα πλαίσια αυτά.

Τα αποτελέσματα της έρευνας βασίστηκαν στην εφαρμογή EcoSenseLE. Υπολογίστηκαν συντελεστές βασικού κόστους, παραγωγής ατμοσφαιρικών ρύπων (σε επιβατηγά οχήματα και σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής). Η επένδυση σύμφωνα με την ανάλυση, μπορεί να υιοθετηθεί από όλες της χώρες και όχι μόνο τις εξεταζόμενες και είναι εφικτή η αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων, με ηλεκτρικά οχήματα.

2.2.4 Optimal allocation of electric vehicle charging stations in a highway network: Part 1. Methodology and test application (G. Napoli, et al., 2020)

Η έρευνα έχει ως στόχο την εκτίμηση των βασικών σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και τον προσδιορισμό της σωστής κατανομής τους κατά μήκος των οδικών δικτύων. Η έρευνα λαμβάνει χώρα σε πολλές διαφορετικές τοποθεσίες καθώς βασίζεται σε επιμέρους μελέτες.

Ως παράμετροι της εξέτασης λαμβάνονται υπόψη : η προσφορά και ζήτηση, η ψυχολογική κατάσταση (κατάσταση άγχους), η περιοχή (αστική περιοχή, αυτοκινητόδρομος) .

Η έρευνα ακολουθεί μια μεθοδολογία στην οποία καθοριστικό ρόλο έχουν, η ταυτόχρονη αξιολόγηση των υπαρχόντων σημείων φόρτισης ανά περιοχή, ο έλεγχος της διαδικασίας αυτής και τέλος η συνολική περιγραφή της μεθοδολογίας αυτής.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, περιγράφονται με ένα γενικό σχόλιο που επεξηγεί τις παραμέτρους που λήφθηκαν υπόψη καθώς επίσης προτείνει ένα μοντέλο που η χρήση του διαστασιολογεί και εντοπίζει τις υποδομές φόρτισης έτσι ώστε να βρεθεί λύση στην έλλειψη αυτών.

2.2.5 Potential of electric car-sharing in urban and rural areas (S. Wappelhorst, et al., 2014)

Οι υπηρεσίες κοινής χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων (car-sharing), έχουν την δυνατότητα συμβολής ως μια λύση βιώσιμη, κλιματικά πιο φιλική στο περιβάλλον.

Η ιδέα αυτή βασίζεται στα ηλεκτρικά κοινόχρηστα οχήματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικαταστάτες, των συμβατικών ιδιοκτητών, μειώνοντας έτσι το οικονομικό και το κοινωνικό κόστος.

Το παρόν έγγραφο διερευνά την δυνατότητα αξιοποίησης του car-sharing σε αστικές και υπεραστικές περιοχές, και πως αυτό μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη κυκλοφοριακή συμφόρηση καθώς και την καλύτερη ποιότητα αέρα.

Συγκρίνοντας τις προσφερόμενες δυνατότητες του car-sharing σε αστικό και υπεραστικό πλαίσιο στη πόλη του Βερολίνου, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ενδιαφερόμενοι, στηρίζονται στις ολοκληρωμένες υπηρεσίες ηλεκτρικής κινητικότητας, η ζήτηση είναι πολύ χαμηλή για να εγγυηθεί την οικονομική βιωσιμότητα του car-sharing και τέλος η μεταφορά της υπηρεσίας σε υπεραστικές, παρότι που στοχεύει σε θετικά αποτελέσματα προς το περιβάλλον, είναι προβληματική αφού οι μικρές κοινωνίες δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στο κόστος της.

2.2.6 Modeling the impacts of EU countries' electric car deployment plans on atmospheric emissions and concentrations. (G. Vilchez, et al., 2019)

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται πέντε περιβαλλοντικοί δείκτες με σκοπό την ποσοτικοποίηση των βασικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ανάπτυξης των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, έως και το έτος 2030. Σύμφωνα με την μελέτη, η Ευρωπαϊκή Ένωση σκοπεύει στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών, στο διάστημα 1990 – 2050 κατά τουλάχιστον 60%. Για τους σκοπούς της εργασίας έγινε χρήση τριών μοντέλων, PRIMES – REMOVE, DIONE και SHERPA. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι, βάση της ανάπτυξης στην αγορά τελευταίας τεχνολογίας οχημάτων χαμηλών ή μηδενικών ρύπων υπάρχει δυνατότητα στη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και στη μείωση συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα αλλά δεν παύει να υπάρχει η αβεβαιότητα που περιβάλλει την αγορά αυτών.

2.2.7 Environmental efficiency of electric vehicles in Europe under various electricity production mix scenarios. (M. Kucunar, et al., 2022)

Η έρευνα αναφέρεται στα σενάρια που μπορούν να δημιουργηθούν για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες μεταφορές. Ουσιαστικά βασίζεται στην μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των συμβατικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρικών με μπαταρία οχημάτων. Στόχος της έρευνας είναι, η δημιουργία και η παρουσίαση του πρώτου εμπειρικού μοντέλου ανάλυσης, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, τα ευρήματα της μελέτης καταγράφονται ως προς τα σενάρια που δημιουργήθηκαν και αναγνωρίζουν κριτικά τα αποτελέσματα έτσι ώστε να προταθούν λύσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, μέσω της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων.

2.2.8 Empirical analysis of the depreciation of electric vehicles compared to gasoline vehicles. (L. Schloter, 2022)

Η έρευνα αυτή πραγματοποιείται με στόχο την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου αξιολόγησης προκειμένου να αξιολογηθεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των ηλεκτρικών οχημάτων έναντι των συμβατικών οχημάτων. Η έρευνα χρησιμοποιεί υπάρχουσα βιβλιογραφία ώστε να αποδώσει την καλύτερη περιβαλλοντική απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων και δημιουργεί τέσσερα διαφορετικά σενάρια αξιολόγησης. Καταλήγει στο ότι οι εκπομπές CO₂ οι οποίες σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μειωτικό ρυθμό έναντι των συμβατικών οχημάτων. Τέλος, στην φάση μεταφοράς τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν περιορισμένη συμβολή CO₂ κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής (καλύτερο σενάριο: 0-1%, χειρότερο: 10-11%), αντίθεση με τα συμβατικά που οι συνολικές εκπομπές CO₂ παίζουν μεγάλο αντίκτυπο.

2.2.9 The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and it's applications to multi-country scenarios. (S. Franzo, et al., 2021)

Στην παρούσα μελέτη, αποτυπώνεται μια πιθανή λύση για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αφορούν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG), στον τομέα των μεταφορών. Στόχος της μελέτης, είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου αξιολόγησης μέσα από τέσσερα (4) διαφορετικά σενάρια, που λαμβάνουν χώρα σε τέσσερα (4) διαφορετικά γεωγραφικά κέντρα. Το πλαίσιο αξιολόγησης αφορά τις επιπτώσεις μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και των οχημάτων εσωτερικής καύσης ή αλλιώς συμβατικών οχημάτων (ICEV), υιοθετώντας μια προσέγγιση Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (LCA). Η μελέτη βασίζεται, σε ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία, καθώς επίσης και σε ένα πλαίσιο συγκριτικής αξιολόγησης. Ως αποτέλεσμα της αξιολόγησης, καταλήγει στο ότι οι εκπομπές των αερίων CO₂ κατά τη διάρκεια της ζωής του ηλεκτρικού οχήματος (EV) είναι χαμηλότερες από αυτές που σχετίζονται με ένα συγκρίσιμο συμβατικό όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε όλα τα σενάρια που αναλύθηκαν. Επίσης, οι μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφορούν τις εκπομπές CO₂ που αφορούν την μεταφορά των μπαταριών από την χώρα

κατασκευής τους, στην χώρα παραγωγής των οχημάτων. Τέλος, καταλήγει στο ότι οι εκπομπές CO₂, όσον αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) είναι μικρότερες από τα συμβατικά οχήματα (ICEV) σε ποσοστό 60%-97% .

2.2.10 Evolution of electric vehicles and its future scope. (P.M. Sneha, et al., 2020)

Η έρευνα αυτή στοχεύει να δώσει μια απάντηση στο ερώτημα ‘αν ο τομέας ενέργειας επωφελείται από την αξιόπιστη τεχνολογία των των ηλεκτρικών οχημάτων’. Η έρευνα εξετάζει τους τύπους των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και την λειτουργία του καθενός, επίσης ερευνά τα εξαρτήματά τους, τις προκλήσεις τους και τις λύσεις τους. Τέλος, εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις εκπομπές ρύπων τους, ώστε να διαπιστώσει το κατά πόσο φιλικά είναι προς το περιβάλλον, πώς να εξελιχθούν και πώς να δοθεί λύση στις επιπτώσεις τους. Καταλήγει, στο ότι παρότι το ηλεκτρικό όχημα θεωρείται ένα πράσινο όχημα, αλλά έχει και αυτό τις δικές του προκλήσεις όσον αφορά την δομή και την σωστή λειτουργία του (φορτιστές των μπαταριών , μπαταρίες οχημάτων).

2.2.11 Macro – micro simulation of traffic flow. (M. Said El Hmam, 2006)

Στην συγκεκριμένη εργασία, μελετάται η δημιουργία ενός υβριδικού μοντέλου, στο οποίο μπορεί να συνδυαστεί η μικροσκοπική προσομοίωση με τη μακροσκοπική προσομοίωση σε ένα ενιαίο μοντέλο . Στόχος της , είναι να συνδυαστούν αυτά τα δύο μοντέλα αναπαράστασης κυκλοφορίας παρέχοντας τη δυνατότητα ενός μεγάλου δικτύου για ανάλυση. Με βάση το ότι οι μελέτες κυκλοφορίας, αποτελούν ένα αποτελεσματικό τρόπο για την εκτέλεση εργασιών, όπως η πρόβλεψη , η παρακολούθηση και η ρύθμιση της κυκλοφορίας. Ένα υβριδικό μοντέλο μπορεί να επιτρέψει την επιτυχή εκτέλεση των παραπάνω εργασιών. Εν κατακλείδι, το υβριδικό μοντέλο, μπορεί να καλύψει τις προσεγγίσεις ρύθμισης συνδυάζοντας μακροσκοπικές και μικροσκοπικές αναπαραστάσεις, παρέχοντας ένα τρόπο βελτιστοποίησης των συνθηκών κυκλοφορίας με την πρόβλεψη της ανάπτυξης συμφορήσεων.

2.2.1 Micro Macro- Simulation of Freeway Traffic (D. Helbing, et al., 2002)

Σε αυτή τη μελέτη, μελετάται η μοντελοποίηση του αυτοκινητόδρομου μικροσκοπικά όσο και μακροσκοπικά σε σενάρια όπως η ελεύθερη κυκλοφορία, το μποτιλιάρισμα και η κυκλοφοριακή συμφόρηση . Τα μοντέλα αυτά βασίζονται σε εύλογες υποθέσεις και ρεαλιστικές μεθόδους. Η διάκριση διαφορετικών τύπων οχημάτων (αυτοκίνητα και βαρέα οχήματα) παρέχει πρόσθετη εικόνα και επιτρέπει την αναπαραγωγή ακόμη πιο ρεαλιστικών εμπειρικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των παρατηρούμενων ιδιοτήτων διακύμανσης των ροών κυκλοφορίας, όπως η ευρεία διασπορά δεδομένων κυκλοφοριακής συμφόρησης.

2.2.2 A macroscopic traffic model for traffic flow harmonization (Z. H. Khan, 2018)

Στην παρούσα μελέτη, παρουσιάζεται ένα νέο μοντέλο για να παρέχει έναν ρεαλιστικό χαρακτηρισμό της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς κατά τη περίοδο εναρμόνισης, επίσης εξετάζει τη συμπεριφορά των οχημάτων όπως αυτά εναρμονίζονται στις συνθήκες κυκλοφορίας προς τα μπρος. Οι οδηγοί προσαρμόζουν την ταχύτητα τους όταν αλλάζει η ροή της κυκλοφορίας, παρατηρείται σε μια προσπάθεια επίτευξης της ταχύτητας ισορροπίας διανομής. Στόχος της εργασίας αυτής είναι, η ανάπτυξη ενός απλού, ρεαλιστικού μοντέλου για τον χαρακτηρισμό της ροής κυκλοφορίας, για τον καλύτερο έλεγχο της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς. Η μελέτη στοχεύει επίσης στην εναρμόνιση με το περιβάλλον καθώς το χρησιμοποιεί ως μεταβλητή στο μοντέλο που παρουσιάζει. Όσον αφορά το περιβάλλον δίνει βάση στην μείωση των επιπέδων ρύπων. Τέλος, συμπεριλαμβάνει τη βελτίωση της δημόσιας ασφάλειας. Οι κύριοι τύποι μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα μικροσκοπικά, τα μακροσκοπικά και τα μεσοσκοπικά μοντέλα. Η χρήση έγινε κυρίως στα μεσοσκοπικά μοντέλα καθώς περιλαμβάνουν τα προαναφερόμενα δύο μοντέλα κυκλοφορίας, τα οποία χαρακτηρίζονται από την επιρροή οχημάτων σε κοντινή απόσταση και στη συνέχεια, προσεγγίζει τη συσσωρευτική χρονική και χωρική συμπεριφορά της κυκλοφορίας. Συνοψίζοντας, το μοντέλο αποσκοπεί στη χρήση πιο ρεαλιστικών παραμέτρων σε σχέση με άλλα μοντέλα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ότι με μικρότερες τιμές στις παραμέτρους ρύθμισης στο μοντέλο, ότι οι ταχύτητες μειώνονται και η κυκλοφοριακή ροή να γίνεται πιο ομαλή. Επίσης, συμπεραίνεται ότι με τις αλλαγές ταχύτητας, οι εκπομπές ρύπων αυξάνονται (CO_2 , NO , PM). Παρ' όλα αυτά σε ταχύτητες 16,7 m/s και 22,2 m/s έχουν ως αποτέλεσμα τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμων και ρύπανσης. Τέλος, το μοντέλο επιδιώκει να βοηθήσει στην ανάλυση της συμπεριφοράς των αυτόνομων οχημάτων, καθώς και στα πιο ακριβή αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και ρύπανσης.



Πίνακας 1 : Συγκεντρωτικός Πίνακας βιβλιογραφικών ερευνών

α/α	ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΣΥΓΓΡΑΦΕΣ	ΕΤΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ/Α ΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	ΟΔΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	ΟΔΙΚΗ ΔΣΦ-ΑΛΕΙΑ	ΡΥΠΟΙ	ΡΥΠΑΝΣΗ	ΡΥΠΟΙ	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ	ΠΟΣΟΣΤΑ ΟΧΛΗ ΑΝΑ ΜΕΛΕΤΗ
1	ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΥΠΕΝ	1984-2021			×						×			
2	A REVIEW OF ENERGY SOURCES AND ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN ELECTRIC VEHICLES	SIANG FUI TE CHEE WEI TAN	2013	Μικτή Προσέγγιση	Προσομοίωση	×	×	Αστικό Περιβάλλον Αυτοκινητόδρομος	Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : 27% κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο, 33,7% (GHG,2012) Συμβατικά Οχήματα : 15% της συνολικής τους ενέργειας	×	CO2, GHG		
3	ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF DYNAMIC WIRELESS POWER TRANSFER FOR ELECTRIC VEHICLES SUPPORTING REDUCTION OF LOCAL AIR POLLUTANT EMISSIONS	PAOLO LAZZERONI VINCESZO CIRIMELE ALDO CANOVA	2019	Ποσοτική Προσέγγιση	Προσομοίωση	×	×	Αυτοκινητόδρομος	Ηλεκτρικά Οχήματα	×	Συμβατικά Οχήματα : όλες οι διαδικασίες καύσης απελευθερώνουν ρύπους στην ατμόσφαιρα, συγκεκριμένα : -Μονοξείδια του άνθρακα (CO) -Οξείδιο του θείου (SOx) -Οξείδιο του Αζώτου (NOx) -Ατμοσφαιρικά Σωματίδια (PM) Ρύπανση Συμβατικών Οχημάτων : 35% Ρύπανση Τοιές Μεταφορών: 78% Ρύπανση Ηλεκτρικών Οχημάτων : 0,8%	×	CO, SOx, NOx, PM		
4	OPTIMAL ALLOCATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS IN A HIGHWAY NETWORK PART 1. METHODOLOGY AND TEST APPLICATION	GIUSEPPE NAPOLI ANTONIO POLIMENI SALVATORE MICARI LAURA ANDALORO VINCENZO ANTONUCCI	2019		Βιβλιογραφία	×	×	Αστικό Περιβάλλον Αυτοκινητόδρομος	Συμβατικά Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : 1/4 εκπομπών (GHG)	×		EV απονομία, 400 km Μέση Αυτονομία, 200 km, ανεπίρρικτη μακροπρόθεσμα μετακινήσεων	57% αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων από το 2016 προνομιαι, υπερδιπλασία από το 2015
5	POTENTIAL OF ELECTRIC CARSHARING IN URBAN AND RURAL AREAS	SANDRA WAPPELHORST MARTIN SAHIER DANIEL HINKELDEN ANKE BOCHETDING TOBIAS GLAB	2014	Μικτή Προσέγγιση	Ερωτηματολόγιο	×	×	Αστικό Περιβάλλον Υπαρ Αστικό Περιβάλλον	Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : εκπομπές CO2	×	CO2, GHG	Ελάχιστο εύρος ταχύτητας περίπου 100 km (EV), Ελάχιστο εύρος ταχύτητας 800 km (ICE)	
6	MODELLING THE IMPACTS OF EU COUNTRIES' ELECTRIC CAR DEPLOYMENT PLANS ON ATMOSPHERIC EMISSIONS AND CONCENTRATIONS	JONATAN J. GOMEZ VILCHEZ ANDREA JULEA AMANUELA PIDUZZI ENRICO PISONI JETTE KRAUSE PELOPIDAS SISKOS CHRISTIAN THIEL	2019	Ποσοτική Προσέγγιση	Προσομοίωση	×		Αστικό Περιβάλλον Υπαρ Αστικό Περιβάλλον	Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : εκπομπές CO2, NOx, PM2.5, NO2 Οδικές Μεταφορές : 72,9% (GHG) Συμβατικά Οχήματα : 44,4% (GHG)	×	CO2, NOx, PM2.5, NO2, GHG		
7	ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF ELECTRIC VEHICLES IN EUROPE UNDER VARIOUS ELECTRICITY PRODUCTION MIX SCENARIOS	MURAT KUCUKVAR NURIGONAT ADEEB A. KUTTY GALAL M. ABDELLA MURHAMMET ENIS BULAK FAIR ANSARI GURKAN KUMBAROGLU	2021	Μικτή Προσέγγιση	Προσομοίωση / Ερωτηματολόγιο	×		Αστικό Περιβάλλον Υπαρ Αστικό Περιβάλλον	Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : 1/4 παρόμοιων εκπομπών CO2 Συμβατικά Οχήματα : αύξηση 28% εκπομπών	×	CO2, GHG		
8	EMPIRICAL ANALYSIS OF THE DEPRECIATION OF ELECTRIC VEHICLES COMPARED TO GASOLINE VEHICLES	LUKAS SCHLOTER	2022	Μικτή Προσέγγιση	Βιβλιογραφία / Εμπειρική Μέθοδος/Ερωτηματολόγιο	×			Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : 1/4 παρόμοιων εκπομπών CO2	×	CO2, GHG	Κατανάλωση EV 50 km / 155 mph Κατανάλωση Plug- In EV 50 - 100 km/ 98 mph Κατανάλωση Battery EV 100 - 150 km / 180 mph	
9	THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES: A NOVEL LIFE CYCLE-BASED EVALUATION FRAMEWORK AND ITS APPLICATIONS TO MULTI-COUNTRY SCENARIOS	SIMONE FRANZO ALESSIO NASCA	2021	Μικτή Προσέγγιση	Βιβλιογραφία / Εμπειρική Μέθοδος	×			Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : 60% παρόμοιων τοξικών εκπομπών 30% συνολική ενέργεια 27% συνολικών εκπομπών θερμοκηπίου Συνολικές εκπομπές CO2 κατά τη διάρκεια της ζωής τους 75%-88% & 71%-85%	×	CO2, GHG		
10	EVOLUTION OF ELECTRIC VEHICLES AND ITS FUTURE SCOPE	P.M. SNEHA ANGELINE M.NEWIN RAJKUMAR	2020	Μικτή Προσέγγιση	Προσομοίωση	×			Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα		Τοιές Μεταφορών : 1/4 παρόμοιων εκπομπών CO2 Συμβατικά Οχήματα : 40-70% GHG συνολικές εκπομπές	×	CO2, GHG		Δίκυκλα 92% EV Τετράκυκλα 9% EV
11	MICRO AND MACRO - SIMULATION OF FREEWAY TRAFFIC	D. HELBING HENNECK SHRETSOV M. TREIVER	2002	Μικτή Προσέγγιση	Προσομοίωση	×	×	Αυτοκινητόδρομος	Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα		×	×	×		
12	A MACROSCOPIC TRAFFIC MODEL FOR TRAFFIC FLOW HARMONIZATION	ZANVAR H. KHAN T. AARON GULLIVER	2018	Μικτή Προσέγγιση	Προσομοίωση	×	×	Αυτοκινητόδρομος	Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα		×	×	CO, NOx, PM		
13	MACRO-MICRO SIMULATION OF TRAFFIC FLOW	MOHAMED SAID EL IMAM HASSANE ABOUAISSA DANIEL JOLLY BENASSER	2006	Μικτή Προσέγγιση	Προσομοίωση		×	Αυτοκινητόδρομος	Συμβατικά Οχήματα Ηλεκτρικά Οχήματα						

ΣΥΝΟΨΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΛΟΓΗΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Γενική Ανασκόπηση

Καθημερινά, τα οδικά δίκτυα φιλοξενούν ένα σύνολο δραστηριοτήτων για την εξυπηρέτηση των ανθρώπων και την μεταφορά αγαθών από ένα το ένα μέρος στο άλλο. Αυτή η ανάγκη του ανθρώπου για διαρκή μετακίνηση, έφερε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κυκλοφοριακής ροής στα οδικά δίκτυα (αστικά, υπεραστικά, αυτοκινητόδρομους) .

Η ραγδαία αύξηση των αναγκών των ανθρώπων και η αύξηση της κυκλοφοριακής ροής έχουν ως αποτέλεσμα, τα οδικά δίκτυα να μην έχουν πλέον την δυνατότητα να ανταπεξέλθουν σε αυτές τις ανάγκες και πολλά προβλήματα να δημιουργηθούν. (Κυριακοπούλου, 2014).

Τα προβλήματα αυτά κυρίως εμφανίζονται στις αστικές περιοχές, χωρίς βέβαια αυτό να μην είναι ένα φαινόμενο που συναντάται στους υπεραστικούς ή επαρχιακούς δρόμους. Ως αποτέλεσμα αυτής της συμφόρησης παρατηρείται ένα φαινόμενο κορεσμού το οποίο με την σειρά του συμβάλει στην δημιουργία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στην ρύπανση του ήχου καθώς και σε μεγάλες καθυστερήσεις κατά μήκος του οδικού δικτύου.

Η κυκλοφοριακή ροή προσδιορίζεται από διάφορα μεγέθη καθώς σχετίζεται με παράγοντες όπως την κίνηση οχημάτων, πεζών κ.ο.κ. . Μέσα από πολυτελής έρευνες και μελέτες, τα πιο βασικά μεγέθη που εξετάζει η θεωρία της κυκλοφοριακής ροής είναι:

- Ο κυκλοφοριακός φόρτος (Q)
- Η ταχύτητα (V) : μέση ταχύτητα χρόνου (Vt) ,μέση ταχύτητα χώρου (Vs)
- Πυκνότητα Κυκλοφορίας (K)

(I.M. Φραντζεσκάκης, et al. 2009)

Τα μεγέθη της κυκλοφοριακής ροής μπορούν να εξεταστούν με την εφαρμογή των προγραμμάτων της κυκλοφοριακής προσομοίωσης.

3.2 Στοιχεία Κυκλοφοριακής Ροής

Στην παρακάτω ενότητα αναφέρονται κάποιες βασικές έννοιες της κυκλοφοριακής ροής, όπως καταγράφονται σύμφωνα με (Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015) .

Κυκλοφοριακός Φόρτος – Traffic Flow (q): Ο κυκλοφοριακός φόρτος q , αποτελεί μέγεθος με χρονική διάσταση και είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχονται από μια διατομή στη μονάδα χρόνου. Ο κυκλοφοριακός φόρτος περιγράφεται σύμφωνα με τον παρακάτω λόγο :

$$q = \frac{N}{T}$$

Όπου N , ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από αυτό στη διάρκεια κάποιας περιόδου T .

Ταχύτητα (V) : Η ταχύτητα διαχωρίζεται σε δύο διαστάσεις, τη χρονική (Vt) και τη χωρική (Vs). Συγκεκριμένα, η **μέση χρονική ταχύτητα \bar{U}_t** , είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των στιγμιαίων ταχυτήτων των οχημάτων που διέρχονται από μια διατομή και εκφράζεται σε μονάδες μήκους/χρόνο (χλμ./ώρα). Η μέση χρονική ταχύτητα \bar{U}_t περιγράφεται σύμφωνα με τον παρακάτω λόγο :

$$\bar{U}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

Όπου u_i , οι στιγμιαίες ταχύτητες των οχημάτων (N), που διέρχονται από αυτό στη διάρκεια κάποιας περιόδου (T) και αποτελεί τον μέσο όρο τους.

Η **μέση χωρική ταχύτητα \bar{U}_s** , είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των στιγμιαίων ταχυτήτων των οχημάτων που βρίσκονται σε κάποιο οδικό τμήμα σε δεδομένη χρονική στιγμή και εκφράζεται σε μονάδες μήκους/χρόνο (χλμ./ώρα). Η μέση χωρική ταχύτητα \bar{U}_s περιγράφεται σύμφωνα με τον παρακάτω λόγο :

$$\bar{U}_s = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M u_{i(t)}$$

Όπου u_i , οι στιγμιαίες ταχύτητες των οχημάτων (M), που βρίσκονται σε οδικό τμήμα μήκους (D) σε δεδομένη χρονική στιγμή (t) και αποτελεί τον μέσο όρο τους.

Κυκλοφοριακή Ροή : Η Κυκλοφοριακή Ροή, είναι η θεμελιώδης σχέση της που συνδέει τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη, δηλαδή τον Κυκλοφοριακό Φόρτο (q), τη Μέση Χωρική Ταχύτητα \bar{U}_s και την πυκνότητα (K). Η Κυκλοφοριακή Ροή περιγράφεται σύμφωνα με τον παρακάτω λόγο :

$$q = \bar{U}_s \times K$$

Η παραπάνω θεμελιώδης σχέση όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε συνθήκες ελεύθερης ροής, ενώ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αστικά οδικά δίκτυα καθώς δεν κρίνεται αντιπροσωπευτική.

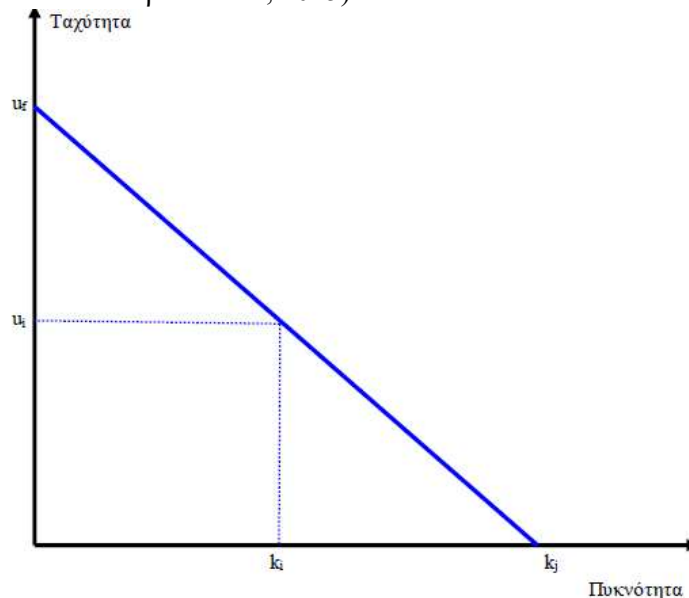
Ποκνότητα (K) : Η ποκνότητα της κυκλοφορίας θεωρείται ένα από τα βασικά μεγέθη της κυκλοφοριακής τεχνικής. Η ποκνότητα ισούται με τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται σε μια δεδομένη στιγμή σε μια οδό ανά χιλιόμετρο. Τέλος, η ποκνότητα είναι ένα μακροσκοπικό μέγεθος καθώς αποτελείται από την ένταση της κυκλοφορίας σε μη διακοπόμενη ροή. (Φραντζεσκάκης, et al., 2009)

Σχέση Ταχύτητας (U) – Ποκνότητας (K) : Η Μέση Χωρική Ταχύτητα και η Ποκνότητα μεταβάλλονται ανάλογα με τις παρακάτω συνθήκες:

- Όταν ένα όχημα κινείται με ελεύθερη ταχύτητα, η οποία εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου (π.χ. λωρίδα κυκλοφορίας), η ταχύτητα είναι μέγιστη ενώ η ποκνότητα φτάνει το $k=0$, όταν δεν υπάρχουν οχήματα κατά μήκος της λωρίδας το όχημα διανύει.
- Κατά την διάρκεια που τα οχήματα αυξάνονται στο τμήμα του οδικού δικτύου που μελετάται, το όχημα επιβραδύνει για να διατηρήσει τις απαραίτητες αποστάσεις για την ασφάλεια από τα περιβαλλόμενα οχήματα. Εν κατακλείδι, όσο η ποκνότητα αυξάνεται μειώνεται η χωρική ταχύτητα \bar{U}_s .
- Σε περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης, τα οχήματα δημιουργούν την μέγιστη κάλυψη στο οδικό δίκτυο λόγω πολύωρης στάσης. Το οποίο έχει ως συνέπεια να δημιουργείται η οριακή συνθήκη :

$$K = K_j, \quad U_s = 0$$

(Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)



Εικόνα 2: Διάγραμμα Ταχύτητας - Ποκνότητας (Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)

Σχέση Ταχύτητας (U) – Φόρτου (q) : Η Μέση Ταχύτητα και ο Κυκλοφοριακός Φόρτος μεταβάλλονται από τις παρακάτω συνθήκες :

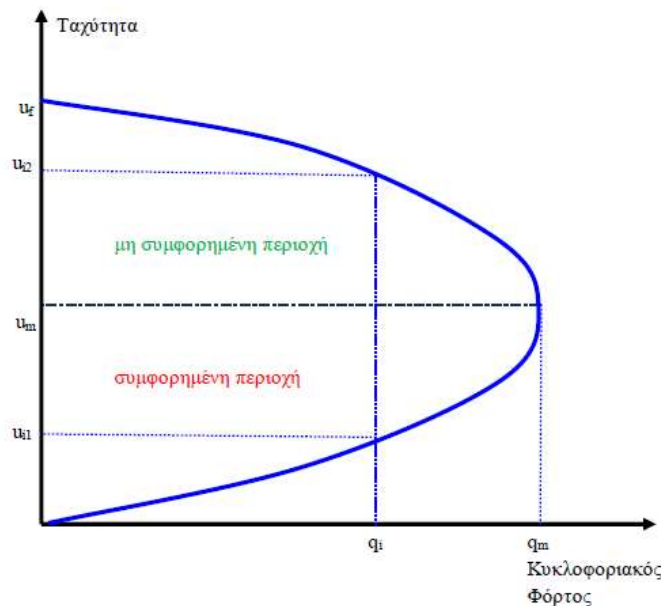
- Όταν αφορά μια μη συμφωνημένη περιοχή, τα οχήματα τα οποία διέρχονται από μια διατομή σε μια υπό εξέταση περιοχή, σ' ένα υπό εξέταση χρονικό διάστημα δεν υπάρχει κυκλοφορία. Συνεπώς ισχύει η συνθήκη:

$$\bar{U}_S = U_f$$

- Όταν αφορά μια μη συμφωνημένη περιοχή, με την αύξηση των οχημάτων που διέρχονται από μια διατομή, σε μια υπό εξέταση περιοχή ο οδηγός διατηρεί αποστάσεις από κάθε πλευρά του πεδίου που τον περιβάλλει από τα κινούμενα οχήματα (έμπροσθεν, όπισθεν, παράπλευρα). Επιπρόσθετα, κάνει ελιγμούς (προσπέρασης, αλλαγής λωρίδας) . Αυτές οι ενέργειες έχουν ως συνέπεια, όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος q να μειώνεται η χωρική ταχύτητα \bar{U}_S
- Η οριακή συνθήκη επέρχεται, όταν σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης και το οδικό δίκτυο ασφυκτικά , δηλαδή, $k = k_j$, τα οχήματα ακινητοποιούνται και δεν δύναται να διέλθουν οχήματα από την εξεταζόμενη διατομή. Η συνθήκη αυτή περιγράφεται:

$$q = 0 , \bar{U}_S = 0$$

(Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)



Εικόνα 3: Διάγραμμα Ταχύτητας - Κυκλοφοριακού Φόρτου (Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)

3.3 Προσομοίωση Κυκλοφορίας

Η προσομοίωση αποτελεί μια διαδικασία, η οποία ακολουθείται από μαθηματικά πρότυπα με στόχο την προσέγγιση της πραγματικότητας. Είναι ουσιαστικά μια αναπαράσταση εκδοχών, παραδοχών και υποθέσεων που βασίζεται σε δεδομένα.

Η χρήση της προσομοίωσης επιτρέπει τη δοκιμή πολλών εναλλακτικών λύσεων ενός προβλήματος, καθώς επίσης επιτρέπει την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων που δεν υπάρχουν ακόμα (π.χ. οδικά έργα που δεν έχουν κατασκευαστεί).

(Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα μιας κυκλοφοριακής προσομοίωσης :

Πίνακας 2: Πίνακας Πλεονεκτημάτων-Μειονεκτημάτων Κυκλοφοριακής Προσομοίωσης (Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)

ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Διερεύνηση πραγματικού μεγέθους προβλημάτων, τα οποία δεν μπορούν να αποδοθούν από ένα μαθηματικό μοντέλο (π.χ. συγκοινωνιακά προβλήματα).	Τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης αντιπροσωπεύει μια μόνο τιμή από μια τυχαία κατανομή.
Επιτρέπει την ανάλυση παραμέτρων ή τροποποιήσεων που δεν έχουν υλοποιηθεί.	Απαιτείται επανάληψη της ίδιας δοκιμής προσομοίωσης. (Αριθμός Επαναλήψεων εξαρτάται από τον αριθμό παραμέτρων)
Παράλληλη αξιολόγηση εναλλακτικών προσεγγίσεων / λύσεων.	Η ανάπτυξη των βασικών δεδομένων της προσομοίωσης είναι χρονοβόρα.
Έλεγχος της πειραματικής ανάλυσης.	Τα αριθμητικά αποτελέσματα δίνουν συχνά υπέρμετρη αξιοπιστία. Λανθασμένη λήψη αποφάσεων.
Ανάλυση μεγάλων χρονικών περιόδων.	

3.4 Κατηγορίες Μοντέλων Προσομοίωσης

Η εφαρμογή των προγραμμάτων της κυκλοφοριακής προσομοίωσης είναι δυνατό να ταξινομηθεί με διάφορους τρόπους. Για την δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης κατανέμονται τα πρότυπα που στηρίζεται το εκάστοτε μοντέλο καθώς περιέχονται πληθώρα μεταβλητών. Ένας τρόπος ταξινόμησης είναι η κατάταξη της μοντελοποίησης σε μικροσκοπική, μακροσκοπική και μεσοσκοπική. Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στο επίπεδο λεπτομέρειας της μοντελοποίησης. Ένας διαφορετικός τρόπος ταξινόμησης είναι η συνεχής και η διακριτή προσέγγιση του χρόνου. Σε αυτό κατατάσσονται οι μοντελοποιήσεις που αφορούν τις αλληλεπιδράσεις, τις διατομές, καθώς επίσης και τις διασταυρώσεις του οδικού δικτύου. Τέλος, για τα μοντέλα και τις εφαρμογές των κυκλοφοριακών προσομοιώσεων, τα μοντέλα που αφορούν την οδική ασφάλεια και τα μοντέλα των συστημάτων ελέγχου, η κατάλληλη έκφραση τους γίνεται μέσα από τις μικροσκοπικές προσομοιώσεις.

3.4.1 Μικροσκοπική Προσομοίωση (Micro-Simulation)

Η μικροσκοπική μοντελοποίηση της κυκλοφορίας, αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια και αφορά τις μεμονωμένες κινήσεις των οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως το μέγεθος του οχήματος και η ταχύτητα του. Επίσης, σχετίζεται άμεσα με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οχημάτων. Μοντελοποιούνται δηλαδή, οι κινήσεις των οχημάτων και συγκεκριμένα μελετάται η ατομική συμπεριφορά των οδηγών. Ανάλογα με τη θεώρηση για την εξέλιξη των κυκλοφοριακών μεγεθών στον χρόνο, τα μικροσκοπικά πρότυπα διακρίνονται σε συνεχή ή διακριτά σε χρόνο.

Το πλεονέκτημα των μικροσκοπικών μοντέλων αποτελεί η μεγάλη λεπτομέρεια στην περιγραφή του φαινομένου της κυκλοφορίας καθώς καθίσταται δυνατό να συμπεριληφθεί ένα μεγάλο εύρος χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας των οχημάτων, του οδικού δικτύου που θα προσομοιωθούν. Ως μειονέκτημα μπορούμε να θεωρηθούν οι μεγάλες απαιτήσεις σε όγκο δεδομένων, η πολυπλοκότητα του μοντέλου και η στατική ανάλυση, λόγω του μεγάλου κόστους σε χρόνο και σε υπολογιστικούς πόρους που χρειάζεται για την διεκπεραίωση ενός μοντέλου.

Κάποια από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για τη μικροσκοπική προσομοίωση :

- AIMSUN
- FLEXSYT II
- FRESIM
- HUTSIM
- INTEGRATION
- PARAMICS
- THOREAU

(Z. H. Khan, et. Al., 2018 & D. Helbing, et. Al., 2002)

3.4.2 Μακροσκοπική Προσομοίωση (Macro-Simulation)

Τα μακροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης παρέχουν μια περιγραφή της παγκόσμιας κυκλοφορίας και με συγκεκριμένο τρόπο. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους είναι, ότι χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση τακτικών αναγκών και στρατηγικών προγραμματισμού. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται είτε σε επίπεδο πληθυσμού είτε σε καθορισμένο χρονικό διάστημα της ανάλυσης. Σε αντίθεση με τα μικροσκοπικά μοντέλα κυκλοφορίας τα οποία οριοθετούν τις θέσεις και τις ταχύτητες από όλα τα αλληλοεπιδρώντα οχήματα, τα μακροσκοπικά μοντέλα κυκλοφορίας περιορίζονται στην περιγραφή της συνολικής δυναμικής του οχήματος. Ένα πλεονέκτημα των μακροσκοπικών μοντέλων κυκλοφορίας είναι ότι μας επιτρέπουν να προσομοιώσουμε τη δυναμική της κυκλοφορίας σε πολλές λωρίδες με αποτελεσματικά μοντέλα μιας λωρίδας.

Κάποια από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για τη μακροσκοπική προσομοίωση :

- AIMSUN
- TRANSYT
- FREQ
- FREFLO

(Z. H. Khan, et. Al. , 2018)

3.4.3 Μεσοσκοπική Προσομοίωση (Meso -Simulation)

Τα μεσοσκοπικά μοντέλα λειτουργούν ως γέφυρες ανάμεσα στα μικροσκοπικά και τα μακροσκοπικά μοντέλα, δημιουργώντας μια γέφυρα ανάμεσα στο κενό που δεν καλύπτεται από τα προαναφερόμενα. Περιγράφουν, την συμπεριφορά των οχημάτων, όπως θα περιγραφόταν στις κατανομές των πιθανοτήτων. Έτσι, οι μεσοσκοπικές προσεγγίσεις της προσομοίωσης της κυκλοφορίας είναι λιγότερο ακριβείς στην αναπαράσταση της οδικής συμπεριφοράς και οι κανόνες συμπεριφοράς καθορίζονται από μεμονωμένα οχήματα.

Κάποια από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για τη μεσοσκοπική προσομοίωση :

- CONTRAM

3.4.4 AIMSUN – Advanced Interactive Microscopic Simulation for Urban and Non-Urban Networks

Για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, βασική προϋπόθεση είναι η δημιουργία μιας προσομοίωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια του λογισμικού AIMSUN.

Το AIMSUN, είναι ένα λογισμικό που ειδικεύεται στις ψηφιακές λύσεις κινητικότητας για αρχές μεταφορών, οργανισμούς αυτοκινήτων καθώς και δημόσιους φορείς συγκοινωνίας. Το πρόγραμμα δίνει δυνατότητες όπως την δημιουργία σεναρίων, με σκοπό την έρευνα και την λήψη αποφάσεων για διαφορετικούς τύπους οδικών δικτύων λόγω χάριν, αυτοκινητόδρομοι, περιφερειακές και αστικοί οδοί κ.ο.κ.

Η βάση της δημιουργίας μιας προσομοίωσης στηρίζεται σε διάφορα εργαλεία που παροδικά μπορούν να επεξεργαστούν, να διαμορφωθούν και η κατάσταση τους να αλλάξει σε διάφορες περιόδους κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Για την αναπαράσταση και την αναπαραγωγή της προσομοίωσης δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων. Τα σενάρια αυτά βασίζονται σε πολλές παραμέτρους που καθορίζουν και τα αποτελέσματα αυτού.

(AIMSUN 2014)

3.4.5 Προσομοίωση

Η διαδικασία μιας προσομοίωσης στο λογισμικό AIMSUN μπορεί να θεωρηθεί μια υβριδική διαδικασία. Αυτό συμβαίνει καθώς η διαδικασία αυτή συνδυάζει μια προσέγγιση προγραμματισμού συμβάντων με προσδιορισμό δραστηριοτήτων.

Σε κάθε βήμα που τελείτε στην προσομοίωση τα συμβάντα που δεν εξαρτώνται από τον τερματισμό άλλων δραστηριοτήτων ενημερώνονται σε μια λίστα προγραμματισμού. Μόλις ενημερωθεί η τελευταία οντότητα ο προσομοιωτής εκτελεί τις υπόλοιπες λειτουργίες (εισαγωγή νέων οχημάτων, συλλογή δεδομένων).

Στην προσομοίωση επίσης, τελείτε η διαδικασία προσθήκης των οχημάτων κατά μήκος του δικτύου. Αυτό συμβαίνει με δύο τρόπους, όπως αυτοί περιγράφονται παρακάτω :

- Εισαγωγή κυκλοφοριακών φόρτων σε οδικά τμήματα που εισάγουν την κυκλοφορία στο δίκτυο. Προσδιορισμός εκτίμησης των διαδρομών (κατά πια κατεύθυνση, πορεία ή κόμβο μπορεί να ακολουθηθεί).
- Με την χρήση Μητρώων Προέλευσης – Προορισμού. Προορισμός των διαδρομών από κάθε οδικό δίκτυο προς κάθε προορισμό.

3.4.6 Μικροσκοπικά Μοντέλα – Ακολουθούντα Οχήματα

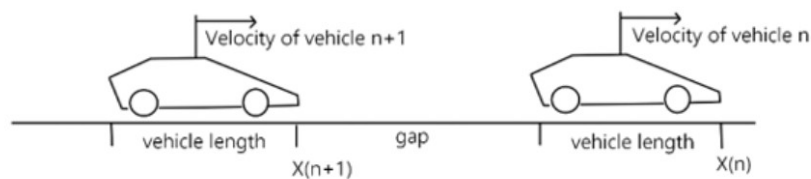
Τα μικροσκοπικά μοντέλα, βοηθούν στην προσομοίωση μεμονωμένων, όπως μονάδες οδηγού οχήματος. Τα μοντέλα που αφορούν τα ακολουθούντα οχήματα είναι παράδειγμα μοντέλου μικροσκοπικής προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, κάθε μονάδα οχήματος μοντελοποιείται με μεμονωμένες ιδιότητες και χρησιμοποιείται για την παρατήρηση της ακόλουθης συμπεριφοράς ξεχωριστά σε διάφορα σενάρια.

Τα βασικά στοιχεία των μοντέλων αυτοκινήτων που ακολουθούν περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως, η θέση, η ταχύτητα, η επιτάχυνση, τα μήκη των αυτοκινήτων (λ.χ. προπορευόμενου οχήματος) .

Αυτό αποδίδεται από το παρακάτω διάγραμμα όπου:

- $X(n)$: θέση του κύριου οχήματος
- n : το κύριο όχημα
- $X(n+1)$: θέση του ακόλουθου οχήματος
- $n+1$: το ακόλουθο όχημα

(El. Luong, 2018)



Εικόνα 4: Διάγραμμα Ακολουθούντος Οχήματος, (Elaine Luong, 2018)

Οι προσομοίωσης που ακολουθούν το όχημα θεωρούνται ως μοντέλα που βασίζονται στην εξίσωση ερεθίσματος – απόκρισης (Gerlough & Huber, 1976).

Αν και τα αρχικά του μοντέλα αυτά αναπτύχθηκαν για να μοντελοποιήσουν συμπεριφορές οδήγησης, μπορούν όμως τελικά να εφαρμοστούν σε συνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα με στόχο τον ασφαλή και αποτελεσματικού ελέγχου ενός επόμενου οχήματος.

Καταλήγει λοιπόν, στο ότι η απόκριση είναι πάντα η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση ανάλογα με το μέγεθος του ερεθίσματος. Αυτό δύναται από :

- t : τη στιγμή που αρχίζει μετά από μια χρονική υστέρηση
- T : ο χρόνος αντίδρασης του χρήστη

Η εξίσωση που μπορεί να αποδώσει κατάλληλα την σειρά μοντέλων αυτών είναι :

$$\text{Απόκριση}(t - T) = \text{Ευαισθησία} \times \text{Ερέθισμα}(t)$$

Τα μοντέλα αυτά διαμορφώνονται βάση κάποιων βασικών ερωτημάτων και διαφέρουν βάση των απαντήσεων που τα ικανοποιούν. Τα βασικά ερωτήματα που τα διαμορφώνουν είναι :

- 1) Ποια είναι η φύση της απόκρισης του οδηγού ;
- 2) Σε ποιο ερέθισμα αντιδρά ;
- 3) Πως μετράμε την ευαισθησία του ;

Το πιο απλό μοντέλο σύμφωνα με τον Όμιλο General Motors, αντιστοιχεί σε ένα σενάριο κατά το οποίο η απόκριση αντιπροσωπεύεται από την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του οδηγού που ακολουθεί και το ερέθισμα αφορά τη διακύμανση των ταχυτήτων. Στο συγκεκριμένο μοντέλο η ευαισθησία θεωρείται σταθερή.

Το βασικό μοντέλο ακολουθεί τις παρακάτω εξισώσεις :

$$\ddot{X}_{n+1}(t+T) = \lambda [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad \text{And} \quad \begin{array}{l} \text{If } \dot{X}_n(t) > \dot{X}_{n+1}(t) \text{ then } \ddot{X}_{n+1}(t+T) > 0 \\ \text{If } \dot{X}_n(t) < \dot{X}_{n+1}(t) \text{ then } \ddot{X}_{n+1}(t+T) < 0 \\ \text{If } \dot{X}_n(t) = \dot{X}_{n+1}(t) \text{ then } \ddot{X}_{n+1}(t+T) = 0 \end{array}$$

Εικόνα 5: Βασικές Εξισώσεις Θέσεων προπορευόμενου οχήματος και του ακολουθούντος του (Barcelo & Casas, n.d.)

Για την υπόθεση που ένας οδηγός τοποθετείται σε απόσταση από το κύριο όχημα έτσι ώστε σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ο ακόλουθος οδηγός να έρθει με ήπια επιβράδυνση από τον προπορευόμενο χωρίς να επέλθει σύγκρουση. Σε αυτά τα μοντέλα η υπόθεση βασίζεται στην αντίδραση του ακόλουθου οδηγού να προσαρμόσει τις δικές του αντιδράσεις σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης αλλαγής ταχύτητας του εμπροσθεν. Οι πιθανότητες επιβράδυνσης είναι συνήθως μεγαλύτερες από τις πιθανότητες επιτάχυνσης.

Το μοντέλο ακολουθεί τις παρακάτω εξισώσεις :

$$\begin{array}{l} \ddot{X}_{n+1}(t+T) = \lambda_+ [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad \text{for relative velocity positive} \\ \ddot{X}_{n+1}(t+T) = \lambda_- [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] \quad \text{for relative velocity negative} \end{array}$$

Εικόνα 6: Σχέσεις βάση Herman & Rothery (Barcelo & Casas n.d.)

Για τα μοντέλα που αποτελούνται από την επιτάχυνση και την επιβράδυνση που ορίζονται ως συνάρτηση αριθμήσιμων μεταβλητών έχουμε ότι:

Από τα δύο παραπάνω στοιχεία έχουμε το μοντέλο όπου το πρώτο αφορά την πρόθεση ενός οχήματος να κινείται σε κάποια επιθυμητή ταχύτητα, ενώ το δεύτερο να αναπαράγει τους περιορισμούς που αφορούν το προηγούμενο όχημα στην προσπάθεια του για την προσέγγιση της επιθυμητή ταχύτητας.

Η παρακάτω εξίσωση δηλώνει τη μέγιστη ταχύτητα που ένα όχημα μπορεί να επιταχύνει κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Όπου :

- n : όχημα
- $t, t+T$: διάρκεια μιας χρονικής περιόδου
- $V(n, t)$: ταχύτητα του οχήματος n τη χρονική στιγμή t
- $V^*(n)$: επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος (n)
- T : χρόνος αντίδρασης

Η εξίσωση δίνεται ως εξής :

$$V_a(n, t+T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

Εικόνα 7: Εξίσωση μέγιστης ταχύτητας V_a (Barcelo & Casas, n.d.)

Τέλος, η τελική ταχύτητα για το όχημα δίδεται από:

- $t, t+T$: διάρκεια χρονικού διαστήματος

$$V(n, t+T) = \min \{ V_a(n, t+T), V_b(n, t+T) \}$$

Εικόνα 8: Εξίσωση τελικής ταχύτητας για όχημα n (Barcelo & Casas, n.d.)

Τα μοντέλα που παρουσιάζονται παραπάνω, στο μεγαλύτερο μέρος των περιπτώσεων τους, οι παράμετροι τους παραμένουν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης κάτι αντίθετο από τα πραγματικά γεγονότα καθώς η συμπεριφορά του οδηγού, στην πραγματικότητα, δε παραμένει σταθερή αλλά επηρεάζεται από τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ & ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 Γενική Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή του υπό-μελέτη οδικού δικτύου, καθώς επίσης και την παρουσίαση, συλλογή και διαχείριση των δεδομένων που το αφορούν. Αναλυτικά, περιλαμβάνει τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας και της γεωμετρίας της προσομοίωσης. Τέλος, βάση δίνεται σε όλους τους παράγοντες και τις παραμέτρους για την σωστή εκτέλεση της προσομοίωσης αυτής.

4.2 Περιοχή Μελέτης

Στην παρούσα εργασία την περιοχή μελέτης αποτελεί ένα τμήμα του οδικού δικτύου, του αυτοκινητόδρομου **Π.Α.Θ.Ε.** . Τα αρχικά της ονομασίας του αυτοκινητοδρόμου προέρχονται από τις πόλεις που διέρχεται το οδικό δίκτυο, δηλαδή, Πάτρα- Αθήνα- Θεσσαλονίκη- Εύζωνοι. Το οδικό δίκτυο διασχίζει τον Ελλαδικό χώρο όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα).



Εικόνα 9: Οδικός Άξονας Π.Α.Θ.Ε. (Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι), (Πηγή: Wikipedia-Google Maps)

Το μήκος του οδικού άξονα εκτείνεται σε περισσότερα από 740 χιλιόμετρα και αποτελείται από τρεις (3) αυτοκινητοδρόμους, τον Α.Θ.Ε (Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Ευζώνοι), την Αττική οδό, συγκεκριμένα το τμήμα Μεταμόρφωση-Ελευσίνα και τέλος την Ολυμπία Οδό. Κάθε τμήμα έχει αναληφθεί από διάφορους αναδόχους και τα τμήματα που έχουν ολοκληρωθεί και παραδοθεί είναι τα εξής:

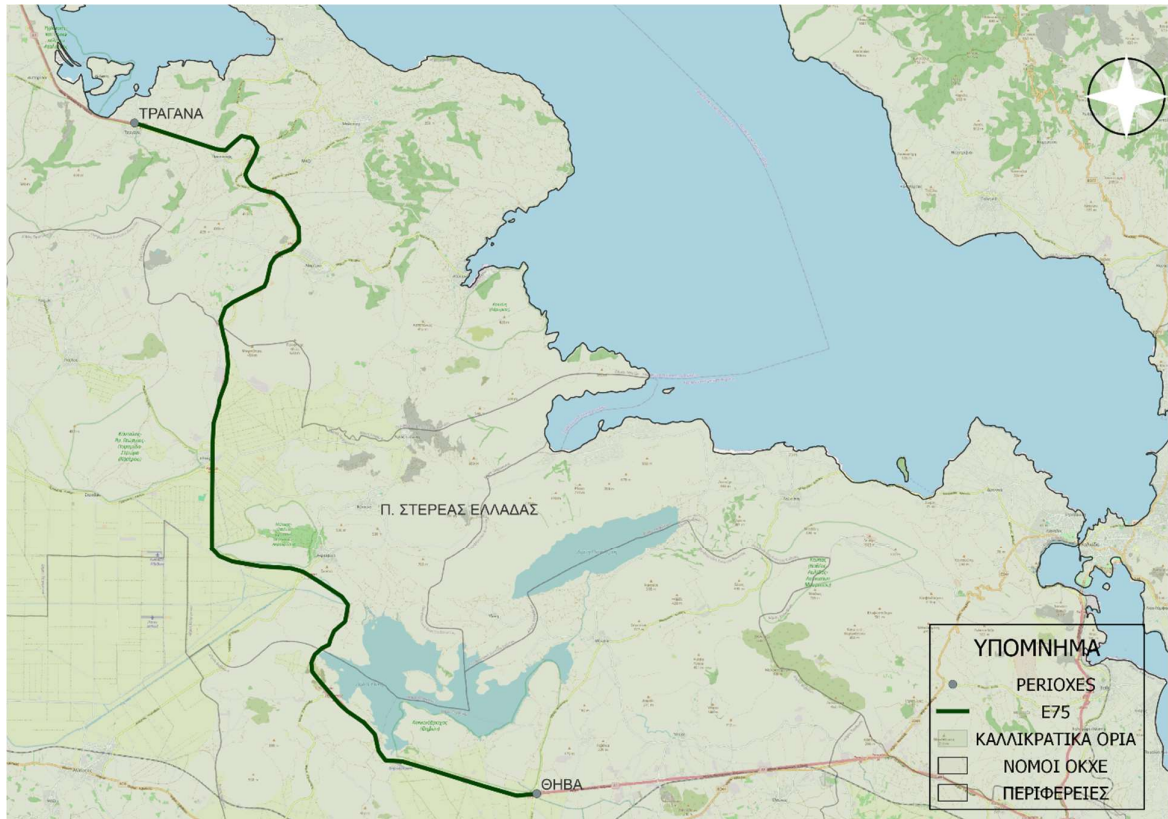
Πίνακας 3: Τμήματα Οδικού Άξονα

ΟΔΙΚΟΣ ΑΞΟΝΑΣ							
1	ΤΜΗΜΑ	ΕΛΕΥΣΙΝΑ-ΠΑΤΡΑ-ΚΟΡΙΝΘΟΣ	ΕΛΕΥΣΙΝΑ-ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ-ΛΑΜΙΑ	ΡΑΧΕΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ-ΚΛΕΙΔΙ ΗΜΑΘΙΑΣ	ΛΑΜΙΑ-ΡΑΧΕΣ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	ΚΛΕΙΔΙ ΗΜΑΘΙΑΣ-ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ-ΕΥΖΩΝΟΙ
2	ΑΝΑΔΟΧΗ ΕΤΑΙΡΙΑ	ΟΛΥΜΠΙΑ ΟΔΟΣ	ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ	ΝΕΑ ΟΔΟΣ	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΑΙΓΑΙΟΥ (Aegean motorways)	ΝΕΑ ΟΔΟΣ	ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ
3	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	201,5 km	25 km	195 km	229,40 km	Παράκαμψη Λαμίας : 2,5 km Παράκαμψη Στυλίδας: 17,5 km	84 km
4	ΚΟΜΒΟΙ	29 ανισόπεδοι κόμβοι	-	-	3	-	-
5	ΣΥΡΑΓΓΕΣ	25 km	-	-	3 διδυμες σύραγγες	-	-
6	ΓΕΦΥΡΕΣ	-	-	-	19	-	-
7	ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΕΡΓΟΥ	-	2004	-	7/4/2017	-	-

Το οδικό τμήμα που χρησιμοποιείται για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αφορά το τμήμα του **Α.Θ.Ε** (Αθήνα – Θεσσαλονίκη – Ευζώνων) του αυτοκινητοδρόμου **Π.Α.Θ.Ε.**.

Ο αυτοκινητόδρομος αποτελεί τμήμα της Ευρωπαϊκής Οδού E75, η οποία είναι οδική αρτηρία του Διεθνούς Δικτύου Εθνικών Οδών της Ευρώπης. Συνολικά το μήκος του ανέρχεται στα 550 χιλιόμετρα. Η σύνδεση του αυτοκινητοδρόμου γίνεται μέσω από τις εξής χώρες, τη Νορβηγία, τη Φιλανδία, την Πολωνία, την Τσεχία, τη Σλοβακία, την Ουγγαρία, την Σερβία, την Βόρεια Μακεδονία και καταλήγει στην Κρήτη. (Wikipedia, 2021).

Το υπό μελέτη τμήμα συγκεκριμένα ορίζεται ως το τμήμα Θήβα-Τραγάνα, το οποίο εκτείνεται σε 44,28 χιλιόμετρα. Η απόσταση του καταγράφεται από τον Μετωπικό Σταθμό Διοδίων της Θήβας ως τον Μετωπικό Σταθμό Διοδίων της Τραγάνας.



Εικόνα 10: Χάρτης Ευρωπαϊκής Οδού E75, τμήμα Θήβα - Τραγάνα , εικόνα μέσω του λογισμικού QGIS

Ο αυτοκινητόδρομος συνδέεται μέσω των εξόδων του με τις περιοχές του Κάστρου, Μαρτίνου και της Μαλεσίνας.



Εικόνα 11: Χάρτης σύνδεσης των περιοχών Μαρτίνος, Μαλεσίνα, Κάστρο με το οδικό δίκτυο E75 εικόνα μέσω του λογισμικού QGIS



Εικόνα 12: Χάρτης Πλευρικών Διοδίων Τραγάνας, εικόνα μέσω του λογισμικού QGIS

4.3 Κωδικοποίηση Οδικού Δικτύου

Προχωρώντας στην διαδικασία της προσομοίωσης χρειάζεται πρώτα να γίνει η κωδικοποίηση του οδικού δικτύου της υπό εξέταση περιοχής (Οδικό Δίκτυο Θήβα – Τραγάνα). Η κωδικοποίηση διενεργείται ώστε να γίνει η σωστή εισαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της περιοχής, με την όσο πιο δυνατά καλή ακρίβεια ως προς την προσέγγιση στον πραγματικό οδικό άξονα.

Μέσω των εφαρμογών του λογισμικού που έχουμε επιλέξει για την δημιουργία της προσομοίωσης (AIMSUN), χρησιμοποιούμε τα εργαλεία που μας δίνονται ώστε να δημιουργηθεί ένα αρχείο μελέτης ‘project’ και να γίνει εύρεση στο εργαλείο Open Street Map η περιοχή της μελέτης. Η γεωμετρία του υπό εξέταση τμήματος εισάγεται με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια καθώς το εργαλείο Open Street Map παρέχουν πληροφορίες για όλα τα απαραίτητα για την προσομοίωση γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως λωρίδες, αριθμός λωρίδων, ταχύτητες, έξοδοι οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο και στροφές.

Ο κωδικοποιημένος οδικός άξονας αποτελείται αναλυτικά από :

- 96 οδικά τμήματα (sections)
- 55 διασταυρώσεις (nodes)
- 10 κεντροειδή σημεία (centroids), για κάθε ζεύγος εισόδου και εξόδου οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο

Κωδικοποιήθηκαν για κάθε οδικό τμήμα που επιλέχθηκε, γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω :

- αριθμός λωρίδων
- κατεύθυνση κυκλοφορίας

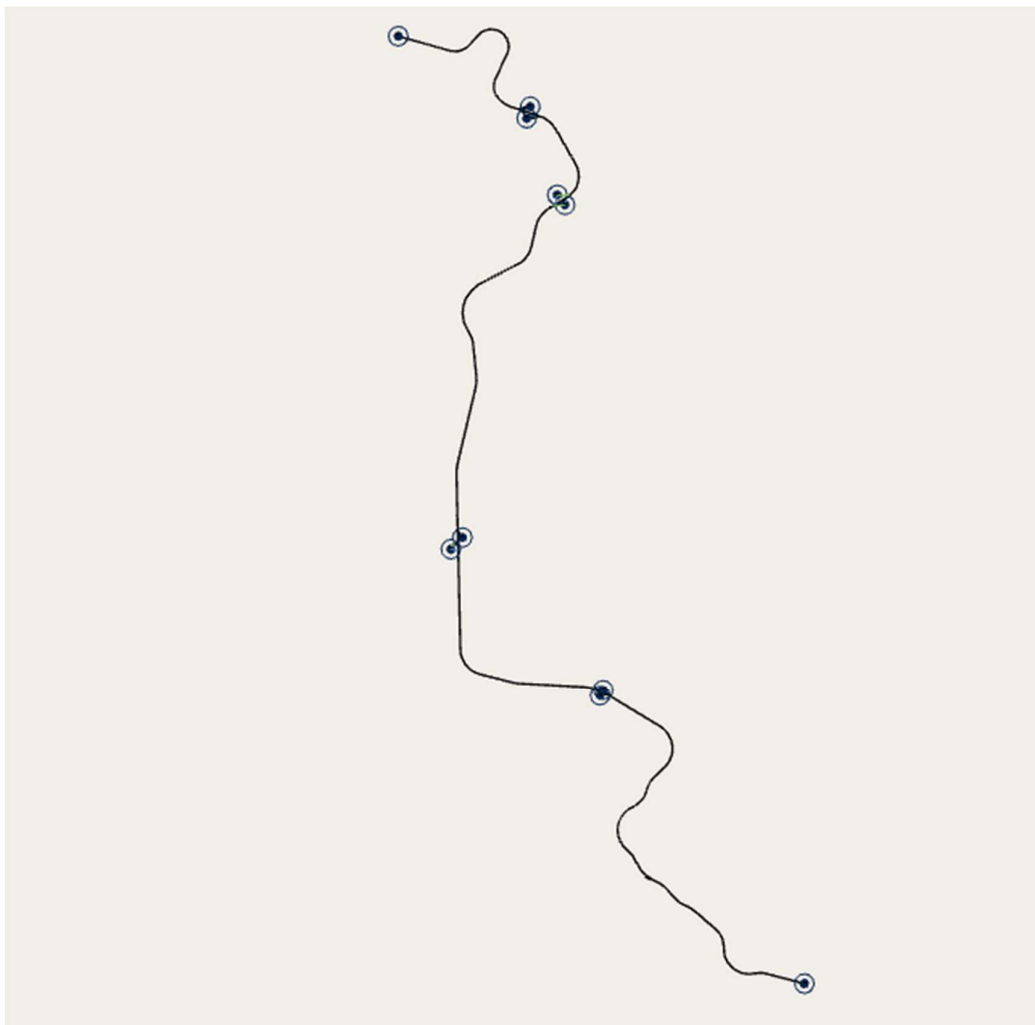
Προσδιορίστηκαν οι ταχύτητες για τις κατηγορίες των οδικών τμημάτων που επιλέχθηκαν :

- Για την ευθυγραμμία, μέγιστη ταχύτητα : 120 χλμ./ώρα
- Για τις ράμπες εισόδου και εξόδου, μέγιστη ταχύτητα : 50 χλμ./ώρα
- Για την καμπύλη, μέγιστη ταχύτητα : 90 χλμ./ώρα

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά προσδιορίστηκαν με την βοήθεια της ελεύθερης εφαρμογής Google Earth.

Οι πραγματικές τιμές των παραπάνω δεδομένων ενδέχεται να διαφέρουν από τα δεδομένα που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη για το υπό εξέταση δίκτυο καθώς για κάθε τύπο οδού λήφθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές από το λογισμικό για την χωρητικότητα του δικτύου ανά λωρίδα.

Παρακάτω παρουσιάζεται το κωδικοποιημένο οδικό δίκτυο Θήβα – Τραγάνα.



Εικόνα 13: Κωδικοποιημένο υπό μελέτη Οδικό Δίκτυο, Θήβα - Τραγάννα

4.4 Εισαγωγή Δεδομένων Κυκλοφοριακού Φόρτου

Το επόμενο βήμα που εκτελείται μετά την κωδικοποίηση του δικτύου αποτελεί την εισαγωγή των δεδομένων του κυκλοφοριακού φόρτου εντός κωδικοποιημένου δικτύου.

Τα δεδομένα της διπλωματικής εργασίας αποτελούν πίνακες καταγραφής κυκλοφοριακού φόρτου ανά ώρα όλες τις ημέρες της εβδομάδας και για τους μήνες Σεπτέμβριος – Οκτώβριος του έτους 2021. Από τα δεδομένα αυτά πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των κατηγοριών οχήματος και η επιλογή τεσσάρων εξ' αυτών για τον υπολογισμό των τελικών κυκλοφοριακών φόρτων που εισήχθησαν στην προσομοίωση (Ι.Χ., Βαρέα Οχήματα, Λεωφορεία (ΚΤΕΛ), Μοτοσυκλέτες). Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από την εταιρεία «[ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.](#)» και αποτελούν πραγματικά στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου.

4.5 Επεξεργασία Δεδομένων

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται η επεξεργασία των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την διαδικασία της προσομοίωσης και έχει στόχο την καταγραφή των τελικών στοιχείων κυκλοφοριακού φόρτου που αντιστοιχούν σε διάφορους ανιχνευτές κυκλοφορίας (detectors). Ανάλογα με την κατεύθυνση τους και το σημείο που βρίσκονται έχουν διαφορετικές ονομασίες. Τέλος, η τοποθέτηση των ανιχνευτών αυτών διενεργείται βάση των εξόδων του δικτύου και ο έλεγχος τους έγινε μέσω της ελεύθερης εφαρμογής Google Earth.

Αναλυτικά, ανά κατηγορία έχουμε :

Στο αρχικό στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων έχουμε την κατηγοριοποίηση των οχημάτων που θα περιλαμβάνει το κωδικοποιημένο οδικό δίκτυο. Η διαδικασία αυτή διενεργείται μέσω του ελέγχου των κατηγοριών οχημάτων που παρέχεται μέσω του λογισμικού AIMSUN, όπως αναφέρεται παρακάτω:

- Ι.Χ. (Car)
- Ποδήλατο (Bicycle)
- Λεωφορείο (Bus)
- Μοτοσυκλέτες (Motorbike)
- Ταξί (Taxi)
- Βαρέα Οχήματα (Other Vehicles)

Τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου που δόθηκαν από την Νέα Οδό Α.Ε. περιέχουν τις ακόλουθες κατηγορίες :

- Ι.Χ. (Car)
- Ι.Χ. Ρυμουλκούμενο

- Ποδήλατο (Bicycle)
- Λεωφορείο (Bus)
- Μοτοσυκλέτες (Motorbike)
- Ταξί (Taxi)
- Βαρέα Οχήματα (Other Vehicles)
- Άλλο Όχημα

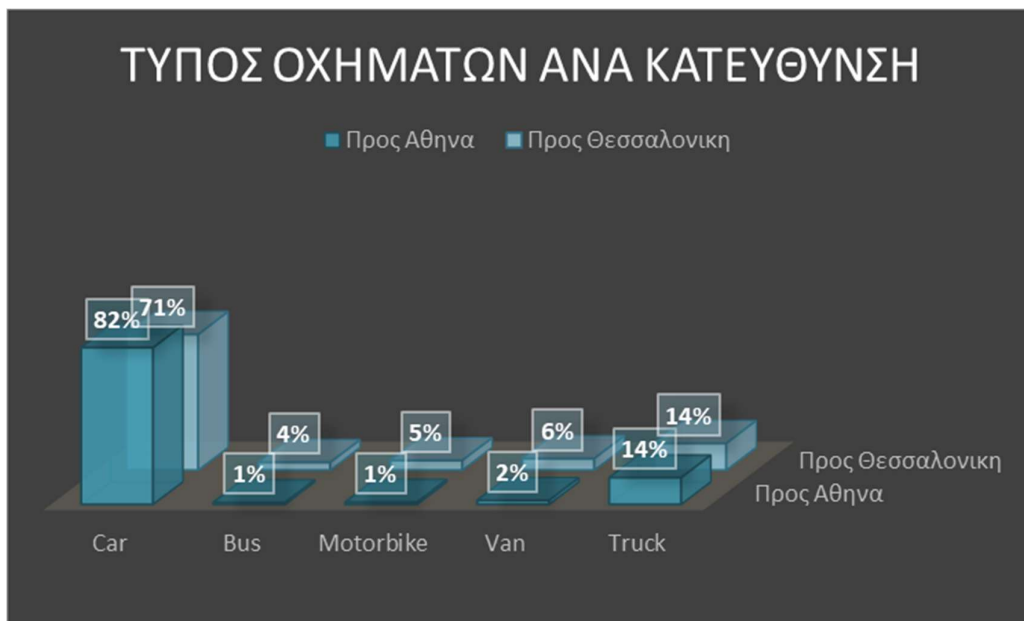
Τέλος, οι κατηγορίες που θα χρησιμοποιηθούν διαμορφώνονται ως εξής :

- Ι.Χ. (Car)
- Λεωφορείο (Bus)
- Μοτοσυκλέτες (Motorbike)
- Βαρέα Οχήματα (Other Vehicles)

Στην συνέχεια διενεργείτε η συλλογή των στοιχείων του κυκλοφοριακού φόρτου που καταγράφηκε ανά κατηγορία οχημάτων για το υπό μελέτη δίκτυο.

Η συλλογή αυτών των στοιχείων βασίζεται στις κατηγορίες που θα βασιστεί η προσομοίωση (Ι.Χ., Λεωφορείο, Μοτοσυκλέτες, Βαρέα Οχήματα).

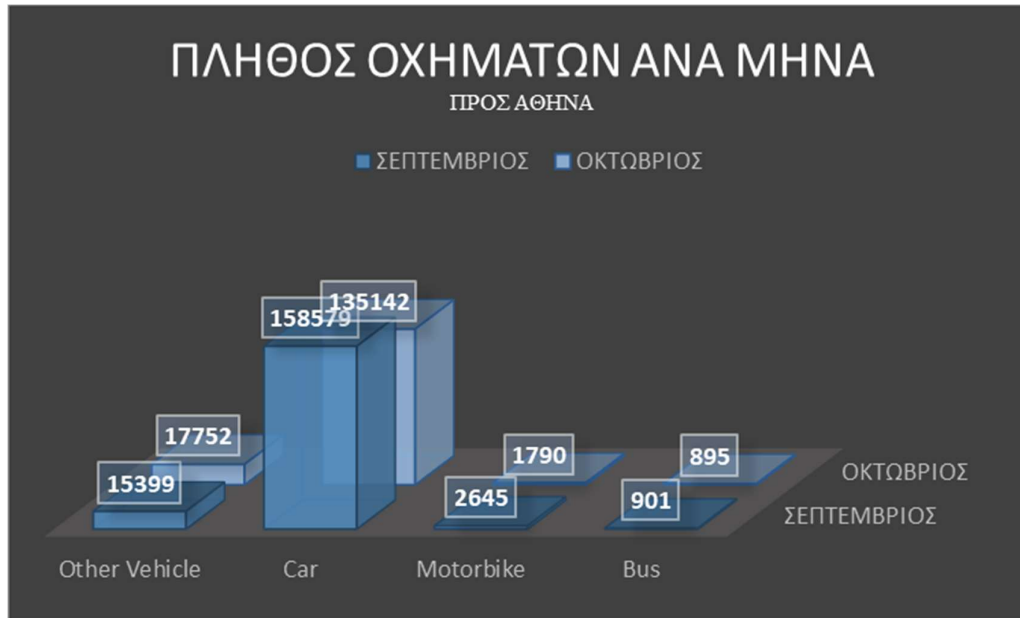
Σε μορφή διαγράμματος παρουσιάζονται οι περιγραφικές αναλύσεις που προέκυψαν από τα δεδομένα που μας δόθηκαν από την Νέα Οδό σύμφωνα με τις κατηγορίες που θα αναλυθούν.



Διάγραμμα 1: Κυκλοφοριακός Φόρτος των κατευθύνσεων ανά όχημα

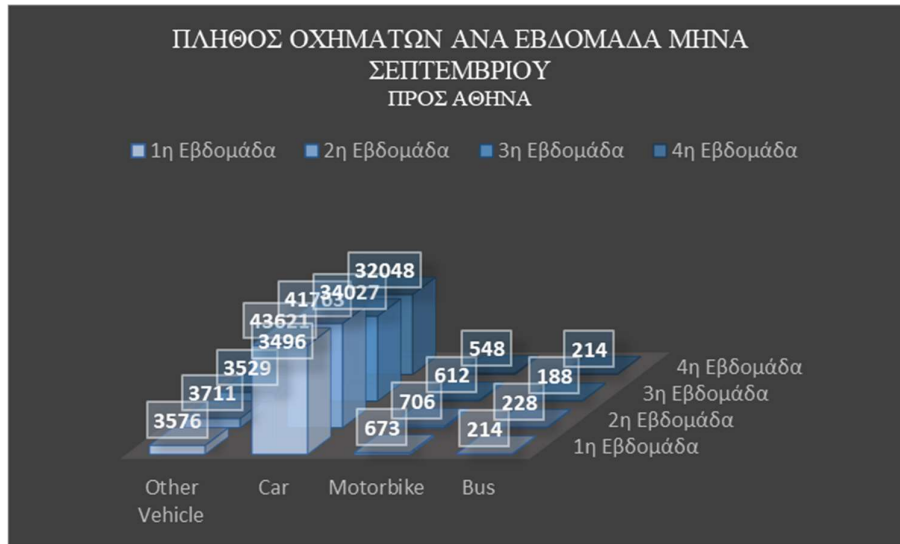
Διάγραμμα 1^ο : Το παραπάνω διάγραμμα αναπαριστά τον κυκλοφοριακό φόρτο της εξεταζόμενης οδού ανά κατεύθυνση (Αθήνα – Θεσσαλονίκη, Θεσσαλονίκη – Αθήνα),

στα εξεταζόμενα οχήματα. Παρατηρούμε ότι, στο διάγραμμα τον μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο έχουν τα Ι.Χ. οχήματα (Car). Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζεται στην κατεύθυνση προς Αθήνα. Η επόμενη μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται στα βαρέα οχήματα (Other Vehicles). Στο σύνολο του δικτύου οι υπόλοιπες τιμές έχουν μικρότερο κυκλοφοριακό φόρτο.



Διάγραμμα 2: Πλήθος οχημάτων προς εξέταση Ανά Μήνα (κατεύθυνση προς Αθήνα)

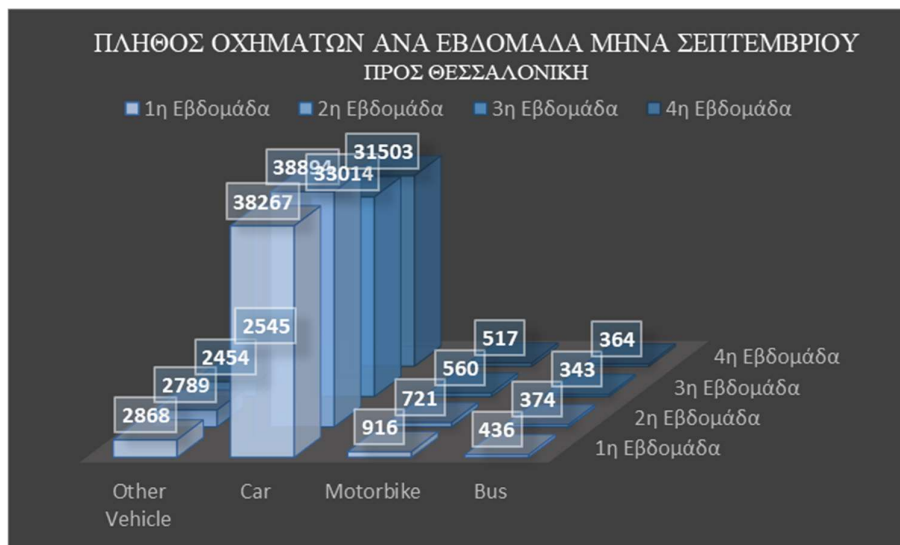
Διάγραμμα 2^ο : Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται το πλήθος ανά κατηγορία οχήματος προς εξέταση που διανύει το υπό μελέτη οδικό δίκτυο, συνολικά σε διάρκεια δύο μηνών. Τα οχήματα είναι στην κατεύθυνση προς Αθήνα. Παρατηρείται ότι, τα Ι.Χ. έχουν την μεγαλύτερη τιμή κατά την διάρκεια των δύο υπό εξέταση μηνών (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος). Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη τιμή για τα Ι.Χ. εμφανίζεται τον μήνα Σεπτέμβριο τον οποίο έχουν περίπου 2% αύξηση σε σχέση με τον Οκτώβριο. Η επόμενη κατηγορία που έχει τις μεγαλύτερες τιμές είναι τα Βαρέα Οχήματα, που σε κατάθεση με τα Ι.Χ. η αύξηση τους παρατηρείται τον μήνα Οκτώβριο. Στις τελευταίες δύο κατηγορίες οχημάτων οι τιμές είναι μεγαλύτερες τον μήνα Σεπτέμβριο σε κάθε μια αντίστοιχα.



Διάγραμμα 3: Πλήθος οχημάτων Ανά Εβδομάδα του Σεπτεμβρίου(κατεύθυνση προς Αθήνα)

Διάγραμμα 3^ο : Το παρόν διάγραμμα αναπαριστά τον φόρτο του δικτύου κατά τις τέσσερις εβδομάδες του μήνα Σεπτεμβρίου για κάθε κατηγορία των υπό εξέταση οχημάτων με πορεία προς την Αθήνα. Αναλυτικά :

- Εβδομάδα 1^η : Οι τιμές των Ι.Χ. είναι οι μεγαλύτερες εκ των τεσσάρων κατηγοριών. Στην συνέχεια οι τιμές των Βαρέων Οχημάτων είναι οι αμέσως επόμενες από τα Ι.Χ. . Οι υπόλοιπες κατηγορίες ακολουθούν με μικρότερες τιμές.
- Εβδομάδα 2^η : Για τις τιμές ισχύουν όλα όσα ισχύουν στην πρώτη εβδομάδα, με την διαφορά ότι οι τιμές σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων παρουσιάζουν αύξηση στο πλήθος τους.
- Εβδομάδα 3^η : Τα δεδομένα ακολουθούν την 1^η Εβδομάδα.
- Εβδομάδα 4^η : Για τις τιμές ισχύουν όλα όσα ισχύουν στην πρώτη εβδομάδα, με την διαφορά ότι οι τιμές σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων παρουσιάζουν πτώση στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο, σε σχέση με τις προηγούμενες εβδομάδες του μήνα.



Διάγραμμα 4: Πλήθος οχημάτων Ανά Εβδομάδα του Σεπτεμβρίου (κατεύθυνση προς Θεσσαλονίκη)

Διάγραμμα 4ο: Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει το πλήθος των οχημάτων που διανύουν το υπό εξέταση οδικό δίκτυο, με κατεύθυνση προς Θεσσαλονίκη. Αναλυτικά:

- Εβδομάδα 1^η: Οι τιμές στα Ι.Χ. ακολουθούν την ίδια κατανομή με τα προηγούμενα διαγράμματα. Δηλαδή, το πλήθος του είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα. Στην συνέχεια ακολουθούν τα Βαρέα Οχήματα. Τα υπόλοιπα οχήματα έχουν μικρότερες τιμές.
- Εβδομάδα 2^η: Στην δεύτερη εβδομάδα παρατηρείται μια μικρή αύξηση στην τιμή των Ι.Χ. Στην συνέχεια ακολουθούν τα Βαρέα Οχήματα με πτώση στην τιμή του πλήθους τους σε σχέση με την πρώτη εβδομάδα.
- Εβδομάδα 3^η: Οι τιμές των Ι.Χ. παραμένουν οι υψηλότερες, όπως επίσης και των Βαρέων Οχημάτων. Τέλος οι τιμές των άλλων κατηγοριών παραμένουν χαμηλότερες.
- Εβδομάδα 4^η: Η κατανομή των τιμών ακολουθεί τις προηγούμενες εβδομάδες.

Το Διάγραμμα 3 και το Διάγραμμα 4, διαφέρουν ως προς τις τιμές τους ανά κατηγορία εξεταζόμενων οχημάτων. Παρατηρείται ότι το πλήθος των οχημάτων είναι μεγαλύτερο στο ρεύμα προς Αθήνα σε σχέση με το ρεύμα προς Θεσσαλονίκη.

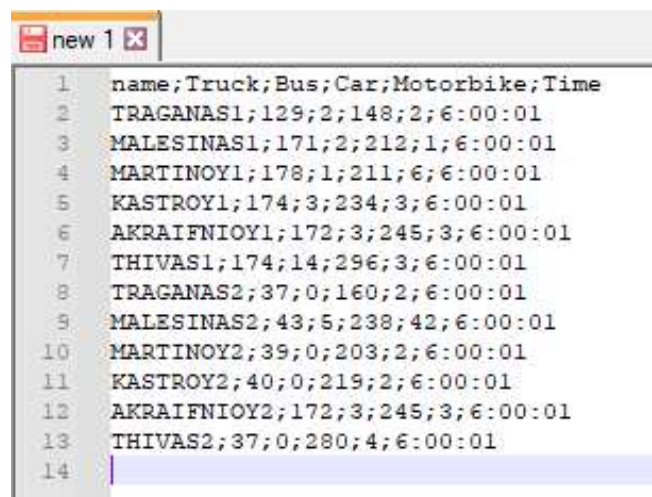
4.6 Φόρτιση Δικτύου

Τα οχήματα εισέρχονται και εξέρχονται από το οδικό δίκτυο μέσω 10 κεντροειδών σημείων, τα οποία ενώνονται με ψευδο-τμήματα του οδικού δικτύου, μέσω 20 σημείων εισαγωγής φόρτου στο υπό εξέταση δίκτυο.

Έπειτα, ορίζεται το μητρώο Π-Π, στο οποίο περιλαμβάνεται ο αριθμός μετακινήσεων από κάθε κεντροειδή προέλευση σε κάθε κεντροειδές προορισμό, σε χρονικό διάστημα που περιλαμβάνει την ώρα αιχμής στην πρωινή ζώνη 5:00-7:00, των ημερών Παρασκευής-Κυριακής.

Όσον αφορά τις γραμμές των Λεωφορείων, ακολουθούν συγκεκριμένες διαδρομές σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια και καθορισμένη συχνότητα, σύμφωνα με το πλάνο συγκοινωνιών.

Τα στοιχεία Κυκλοφοριακού Φόρτου όπως φαίνονται στους παραπάνω Πίνακες (Πίνακας 3, Πίνακας 4) εισάγονται στο δίκτυο με τη μορφή κειμένου (.txt), το οποίο στην πρώτη στήλη του περιέχει την ονομασία των ανιχνευτών (detectors) που βρίσκονται τοποθετημένοι στις εξόδους που συνδέουν το δίκτυο με τα αντίστοιχα κεντροειδή σημεία. Τα τελικά στοιχεία του Κυκλοφοριακού Φόρτου σε αντιστοιχία με τις κατηγορίες των υπό εξέταση οχημάτων και την ονομασία των ανιχνευτών, παρουσιάζονται παρακάτω όπως αυτά αναφέρονται στο αρχείο μορφής κειμένου που χρησιμοποιήθηκε (.txt).



```
new 1 x
1 name;Truck;Bus;Car;Motorbike;Time
2 TRAGANAS1;129;2;148;2;6:00:01
3 MALESINAS1;171;2;212;1;6:00:01
4 MARTINOY1;178;1;211;6;6:00:01
5 KASTROY1;174;3;234;3;6:00:01
6 AKRAIFNIOY1;172;3;245;3;6:00:01
7 THIVAS1;174;14;296;3;6:00:01
8 TRAGANAS2;37;0;160;2;6:00:01
9 MALESINAS2;43;5;238;42;6:00:01
10 MARTINOY2;39;0;203;2;6:00:01
11 KASTROY2;40;0;219;2;6:00:01
12 AKRAIFNIOY2;172;3;245;3;6:00:01
13 THIVAS2;37;0;280;4;6:00:01
14
```

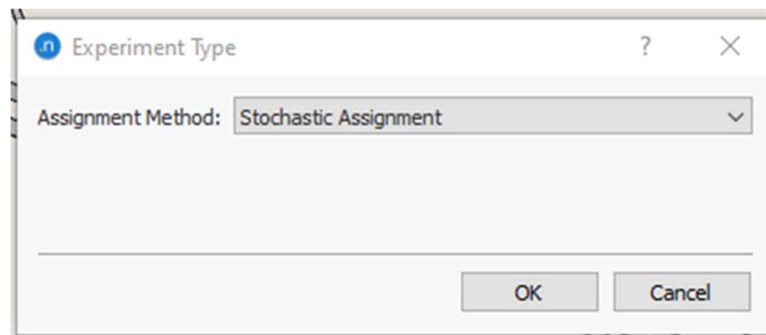
Εικόνα 14: Τελικά Στοιχεία Κυκλοφοριακού Φόρτου, Ονομασίες Ανιχνευτών και Ονομασίες Κατηγορίας Οχημάτων σε μορφή κειμένου (.txt)

4.7 Μοντέλο Καταμερισμού Κυκλοφορίας

Επόμενο στάδιο είναι η πραγματοποίηση του καταμερισμού της κυκλοφορίας του δικτύου. Ο καταμερισμός της κυκλοφορίας του δικτύου, είναι ένα από τα βασικά στοιχεία του συγκοινωνιακού σχεδιασμού. Προβλέπει τις ροές των οχημάτων στο οδικό δίκτυο, καθώς επίσης παράγει εκτιμήσεις οι οποίες μπορούν να καθορίσουν τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου.

Ο καταμερισμός της κυκλοφορίας είναι το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης της ατομικής συμπεριφοράς καθενός εκ των μετακινούμενων, όσον αφορά την συμπεριφορά του χρήστη. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος καταμερισμού της κυκλοφορίας είναι η μέθοδος της ισορροπίας.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε το μοντέλο του στατικού μοντέλου καταμερισμού. Τα στοχαστικά μοντέλα συντελούν την λεγόμενη ‘αρχή της στοχαστικής ισορροπίας’. Αναλυτικά, στις συγκεκριμένες μεθόδους, οι μετακινούμενοι έχουν ελλιπή γνώση σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες του δικτύου και η συμπεριφορά τους είναι μη οικονομικά ορθολογική. Οι παραδοχές βασίζονται στο γεγονός ότι κάθε οδηγός έχει διαφορετική αντίληψη, όσον αφορά τον χρόνο της διαδρομής, ενώ υπάρχουν επιπρόσθετοι παράγοντες για της επιλογή της διαδρομής εκτός του χρόνου. Κάθε μετακινούμενος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τον αντιλυπτό χρόνο διαδρομής. (Βαλθούκας Π., n.d.)

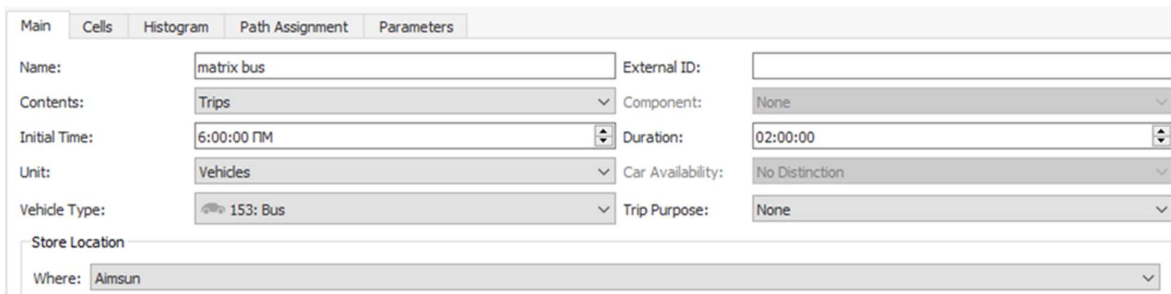


Εικόνα 15: Καταμερισμός Κυκλοφορίας με την χρήση του Στοχαστικού Μοντέλου (Λογισμικό AIMSUN).

Οι καταμερισμοί αυτού του τύπου παράγουν περισσότερα ρεαλιστικά αποτελέσματα, καθώς κατά την χρήση τους επιτρέπεται η χρήση μειωμένων σε αριθμό διαδρομών και περισσότερων ελκυστικών διαδρομών. Οι λιγότερες αυτές ελκυστικές διαδρομές χρησιμοποιούνται χωρίς να εμφανίζουν μηδενική ροή σε αντίθεση με την περίπτωση του καταμερισμού εξισορρόπησης του χρήστη. (Αλεξίου, 2008).

Παρακάτω παρέχονται τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν για την δημιουργία των στατικών σεναρίων.

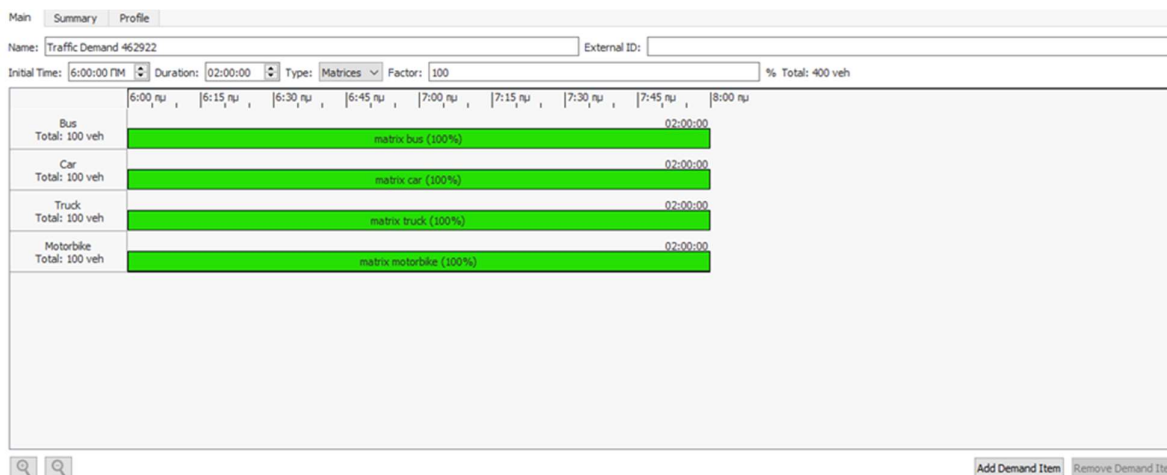
Για το **1^ο Στατικό Σενάριο**, που συντελεί στην ‘γέννηση’ των οχημάτων στηρίχθηκε σε πίνακες Π-Π (Προέλευσης – Προορισμού, OD Matrices) των κεντροειδών σημείων με μηδενικό φόρτο κυκλοφορίας για κάθε τύπο οχήματος.



Εικόνα 16: Πίνακας Προέλευσης - Προορισμού (Π-Π), μηδενικού φόρτου Λεωφορείων

Ο παραπάνω πίνακας αφορά τα στοιχεία ενός εκ των τεσσάρων συνολικά πινάκων Προέλευσης – Προορισμού που θα χρησιμοποιηθούν, και αφορά την κατηγορία των Λεωφορείων.

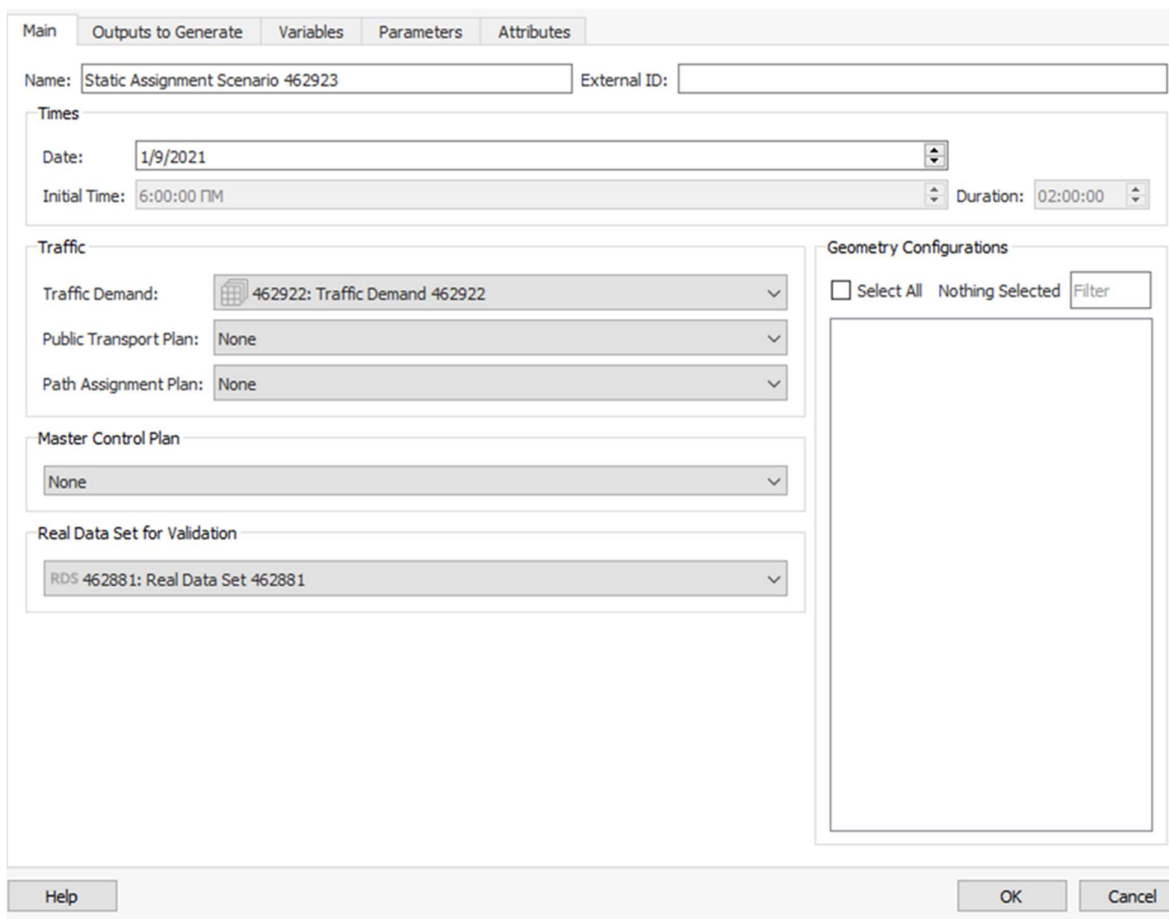
Έπειτα, μετά την δημιουργία των παραπάνω πινάκων δημιουργείται μια ψευδή κυκλοφοριακή ζήτηση (Traffic Demand) για κάθε κατηγορία οχημάτων.



	6:00 πμ	6:15 πμ	6:30 πμ	6:45 πμ	7:00 πμ	7:15 πμ	7:30 πμ	7:45 πμ	8:00 πμ
Bus Total: 100 veh	matrix bus (100%)								02:00:00
Car Total: 100 veh	matrix car (100%)								02:00:00
Truck Total: 100 veh	matrix truck (100%)								02:00:00
Motorbike Total: 100 veh	matrix motorbike (100%)								02:00:00

Εικόνα 17: Ψευδής Κυκλοφοριακή Ζήτηση (Traffic Flow)

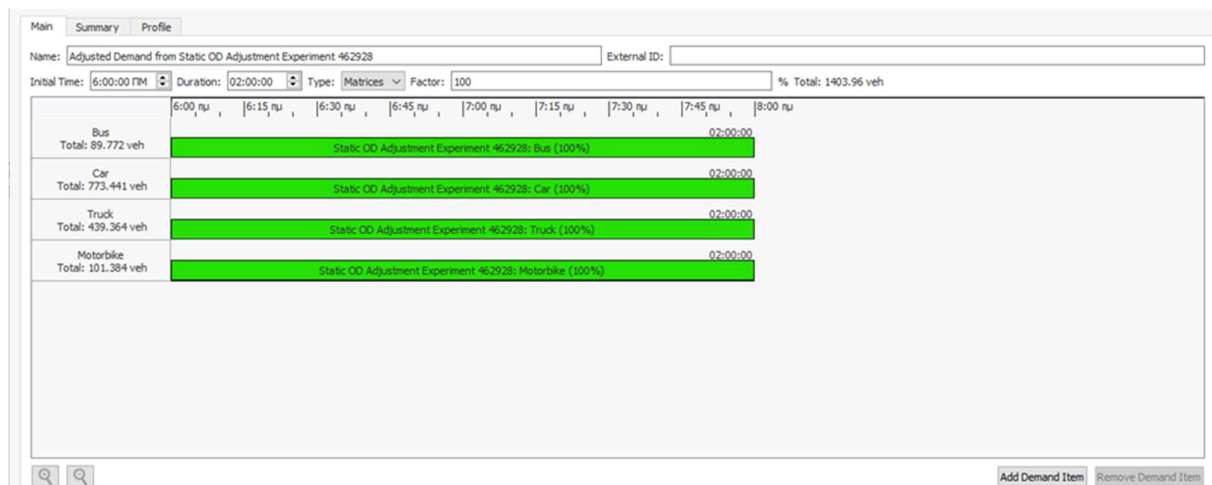
Για την διαδικασία έναρξης του πρώτου στατικού σεναρίου χρειάζεται να οριστεί η ημερομηνία έναρξης της καταγραφής των μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου. Η ημερομηνία έναρξης ορίζεται ως 01/09/2021 και εισάγεται στο σενάριο η παράμετρος ζήτησης (Traffic Demand), η οποία βρέθηκε σε προηγούμενο βήμα και τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου που δημιουργήθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε αρχείο μορφής κειμένου (.txt).



Εικόνα 18: Πρώτο Στατικό Σενάριο

Με την αναπαράσταση του πρώτου σεναρίου δημιουργούνται νέοι πίνακες Προέλευσης – Προορισμού για κάθε κατηγορία οχημάτων. Για κάθε πίνακα έχει γίνει προσαρμογή των πραγματικών μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου (Static OD Adjustment Experiment).

Συνεπώς, δημιουργείται μια προσεγγιστική προς την πραγματικότητα κυκλοφοριακή ζήτηση.



Εικόνα 19: Πραγματική Κυκλοφοριακή Ζήτηση (Traffic Demand)

Στο επόμενο βήμα πραγματοποιείται η ένταξη της διαδρομής των οχημάτων που δύναται να διανύσουν κατά μήκος του υπό εξέταση δικτύου (Path Assignment Plan), με στόχο την κατάλληλη κατανομή των κυκλοφοριακών φόρτων σε κάθε κεντροειδή σημείο που αντιστοιχεί σε κάθε διαδρομή.

Με την έναρξη του τελικού στατικού σεναρίου προσομοίωσης, πραγματοποιείται επίσης η κατανομή των κυκλοφοριακών φόρτων σε κάθε κεντροειδή σημείο, στο οποίο ορίζεται αντίστοιχα η ημερομηνία έναρξης της καταγραφής των μετρήσεων του κυκλοφοριακού φόρτου, όπως αυτή ορίστηκε στις 01/09/2021. Επίσης, εισάγεται στο σενάριο η παράμετρος της ζήτησης (Traffic Demand) και τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου από το αρχείο κειμένου (.txt). Ως τελικό βήμα τοποθετείται επίσης η διαδρομή που πραγματοποιείται από τα υπό εξέταση οχήματα (Path Assignment Plan).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

5.1 Περιγραφή Σεναρίων

Η σύνθεση των δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης βασίζεται στην εύρεση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των Ι.Χ. οχημάτων ανά κατηγορία. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιούνται για τα σενάρια ορίζονται ως εξής:

Πίνακας 4: Περιγραφή Σεναρίων Προσομοίωσης:

ΣΕΝΑΡΙΟ	Ι.Χ.			ΒΑΡΕΑ ΟΧΗΜΑΤΑ		
	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΑ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΑ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΑ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΑ
1	0%	80%	20%	0%	-	100%
2	50%	40%	10%	0%	-	100%
3	100%	0%	0%	0%	-	100%
4	0%	80%	20%	50%	-	50%
5	0%	80%	20%	100%	-	0%
6	50%	40%	10%	50%	-	50%
7	100%	0%	0%	100%	-	0%

5.2 Εισαγωγή

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την διεξαγωγή της προσομοίωσης. Η εύρεση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κυκλοφορίας των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο, στηρίζεται στην αξιοποίηση δεικτών λειτουργικής απόδοσης. Συνεπώς, οι δείκτες αυτοί λειτουργούν ως κριτήρια ανάλυσης για την αξιολογή της παρούσας προσομοίωσης.

Για την υλοποίηση των αναγκών και των στόχων της ανάλυσης, γίνεται η επιλογή των δεικτών λειτουργικής απόδοσης. Συγκεκριμένα, οι δείκτες λειτουργικής απόδοσης ορίζονται με σαφήνεια και ακρίβεια για την απόλυτη κατανόηση προσδιορίζοντας και στο τι αναφέρονται.

Στο σύνολο του δικτύου, οι δείκτες αναφέρονται σε διαφορετικά μεγέθη για την ανάλυση των σεναρίων και στοχεύουν στην ανάδειξη των παραμέτρων που συντελούν την χρηστική και περιβαλλοντική λειτουργικότητα του αυτοκινητοδρόμου.

Στην συνέχεια, αναφέρονται επιγραμματικά οι δείκτες απόδοσης που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την αποτίμηση του μοντέλου.

Χρονική Καθυστέρηση – Delay Time (sec/h)

Η χρονική καθυστέρηση αποτελεί το μέγεθος το οποίο αποτυπώνει τη σχέση προσφοράς και ζήτησης ενός δικτύου με γνώμονα τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Συγκεκριμένα, η μέση χρονική καθυστέρηση είναι ο χρόνος που θα χρειαστεί επιπλέον ένα όχημα ώστε να διανύσει ένα οδικό τμήμα σε ορισμένες οδικές συνθήκες.

(Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)

Κυκλοφοριακός Φόρτος (veh/h)

Ο κυκλοφοριακός φόρτος αφορά τον μέσο αριθμό των οχημάτων ανά ώρα, τα οποία διασχίζουν το οδικό τμήμα στο χρονικό διάστημα προσομοίωσης. Τέλος, για το σύνολο ενός δικτύου, ο δείκτης αντιστοιχεί σε έναν μέσο αριθμό οχημάτων ανά ώρα.

Πυκνότητα – Density (veh/km)

Ως πυκνότητα ορίζεται ο αριθμός των οχημάτων στην μονάδα μήκους και εκφράζεται σε οχήματα ανά χιλιόμετρο. Ο τρόπος μέτρησης αφορά την μέτρηση του αριθμού των οχημάτων τα οποία σε μια δεδομένη στιγμή βρίσκονται ενός οδικού δικτύου.

(Κ. Αντωνίου & Ι. Σπυροπούλου, 2015)

Ταχύτητα (km/h)

Η ταχύτητα αποτελεί την μέση ταχύτητα όλων των οχημάτων τα οποία διέσχισαν το οδικό δίκτυο, εκφραζόμενη ως τον χρόνο διαδρομής του οχήματος, προς το μήκος του δικτύου που διασχίζουν.

Ατμοσφαιρικοί Ρύποι (g/km)

Για τις εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων χρησιμοποιούνται τέσσερα είδη εκπομπών. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθούν, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το οξείδιο του αζώτου (NO_x), οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) και τέλος τα αιωρούμενα σωματίδια (PM).

Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού (h)

Ως συνολικός χρόνος ταξιδιού, αναφέρεται το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένα όχημα να διανύσει το οδικό δίκτυο και επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν στο οδικό δίκτυο.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνολικά οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση σε μορφή συγκεντρωτικού πίνακα:

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεικτών Απόδοσης

A/A	Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδα Μέτρησης
1	Delay Time	Μέση Χρονική Καθυστέρηση	sec/km
2	Density	Μέση Πυκνότητα	veh/km
3	Flow	Μέση Τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	veh/km
4	Fuel Consumption	Μέση Κατανάλωση Καυσίμου	L
5	IEM Emission CO ₂	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου CO ₂	g
6	IEM Emission NO _x	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου No _x	g
7	IEM Emission PM	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου PM	g
8	IEM Emission VOC	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου VOC	g
9	Speed	Μέση Ταχύτητα	km/h
10	Total Travel Time	Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	h

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες έτσι όπως μπορούν να δοθούν από το λογισμικό AIMSUN. Το λογισμικό έχει την δυνατότητα να παρέχει πληθώρα δεικτών ανάμεσα στους οποίους θα χρησιμοποιηθούν μόνο αυτοί που αναφέρονται στον **Πίνακα 4**.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός Πίνακας Μεταβλητών του λογισμικού AIMSUN

A/A	Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδα Μέτρησης
1	Delay Time	Μέση Χρονική Καθυστέρηση	sec/km
2	Density	Μέση Πυκνότητα	veh/km
3	Flow	Μέση Τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	veh/km
4	Fuel Consumption	Μέση Κατανάλωση Καυσίμου	L
5	IEM Emission CO2	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου CO2	g
6	IEM Emission NOx	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου Nox	g
7	IEM Emission PM	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου PM	g
8	IEM Emission VOC	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου VOC	g
9	Speed	Μέση Ταχύτητα	km/h
10	Total Travel Time	Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	h
11	Battery Consumption	Μέση Κατανάλωση Μπαταρίας	K/Wh
12	Max. Virtual Queue	Μέγιστο Εικονικό Μήκος Ουράς	veh
13	Mean Queue	Μέση Τιμή Μήκους Ουράς	veh
14	Mean Virtual Queue	Μέση Τιμή Εικονικού Μήκους Ουράς	veh
15	Stop Time	Μέσος Χρόνος Στάσης	sec/km
16	Total Distance Travelled	Συνολικό Μήκος Διαδρομής	km
17	Number of Lane Changes	Μέση Τιμή Πλήθους Αλλαγής Λωρίδας	/km
18	Number of Stops	Πλήθος Στάσεων	/veh/km

5.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Παρακάτω αναφέρονται συγκεντρωτικά σε μορφή πίνακα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την διαδικασία αναπαραγωγής των επτά (7) σεναρίων προσομοίωσης και αφορούν τις επιπτώσεις των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων επί το υπό εξέταση οδικό δίκτυο με το ποσοστό ύπαρξης των οχημάτων αυτών εντός του δικτύου.

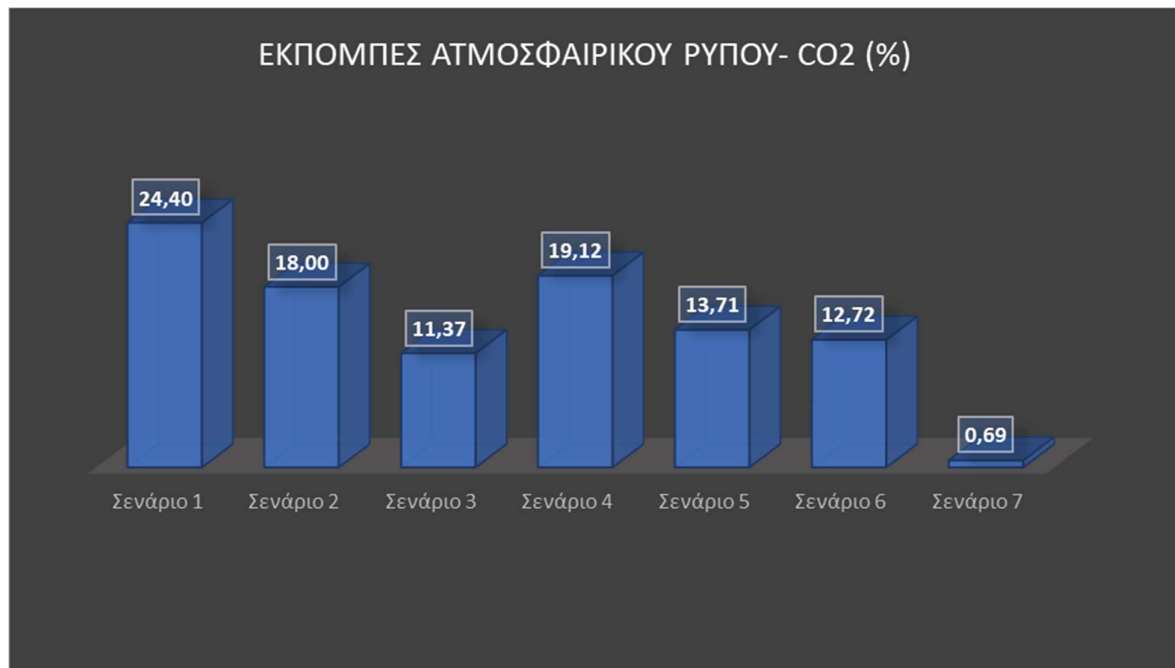
Πίνακας 7: Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων

Μεταβλητή/Σενάρια	Σενάριο 1ο	Σενάριο 2ο	Σενάριο 3ο	Σενάριο 4ο	Σενάριο 5ο	Σενάριο 6ο	Σενάριο 7ο	Μονάδα Μέτρησης
Μέση Χρονική Καθυστέρηση	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	sec/km
Μέση Πυκνότητα	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	veh/km
Μέση Τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	540,5	540,5	540,5	540,5	540,5	540,5	540,5	veh/h
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου CO ₂	4244195,92	3130728,26	1978434,77	3325751,5	2385168,72	2212283,83	119407,57	g/km
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου NO _x	17272,69	14391,38	11322,08	11869,76	6358,48	8988,45	407,87	g/km
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου PM	11,6	7,64	3,65	10,05	8,47	6,09	0,52	g/km
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου VOC	2365,11	1272,26	156,05	2332,52	2298,82	1239,67	89,76	g/km
Μέση Ταχύτητα	98,97	98,97	98,97	98,97	98,97	98,97	98,97	km/h
Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	km

Από τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα, αποτυπώθηκαν τα αποτελέσματα σε μορφή διαγράμματος, με στόχο την οπτική απεικόνιση των διαφοροποιήσεων σε κάθε μεταβλητή.

Οι μεταβλητές της Μέσης Χρονικής Καθυστέρησης, της Μέσης Πυκνότητας, της Μέσης Τιμής Κυκλοφοριακού Φόρτου, της Μέσης Ταχύτητας και του Συνολικού Χρόνου Ταξιδιού θα εξαιρεθούν καθώς παρατηρείται ότι παραμένουν ίσες για κάθε δυναμικό σενάριο.

5.3.1 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO₂ (g/km)

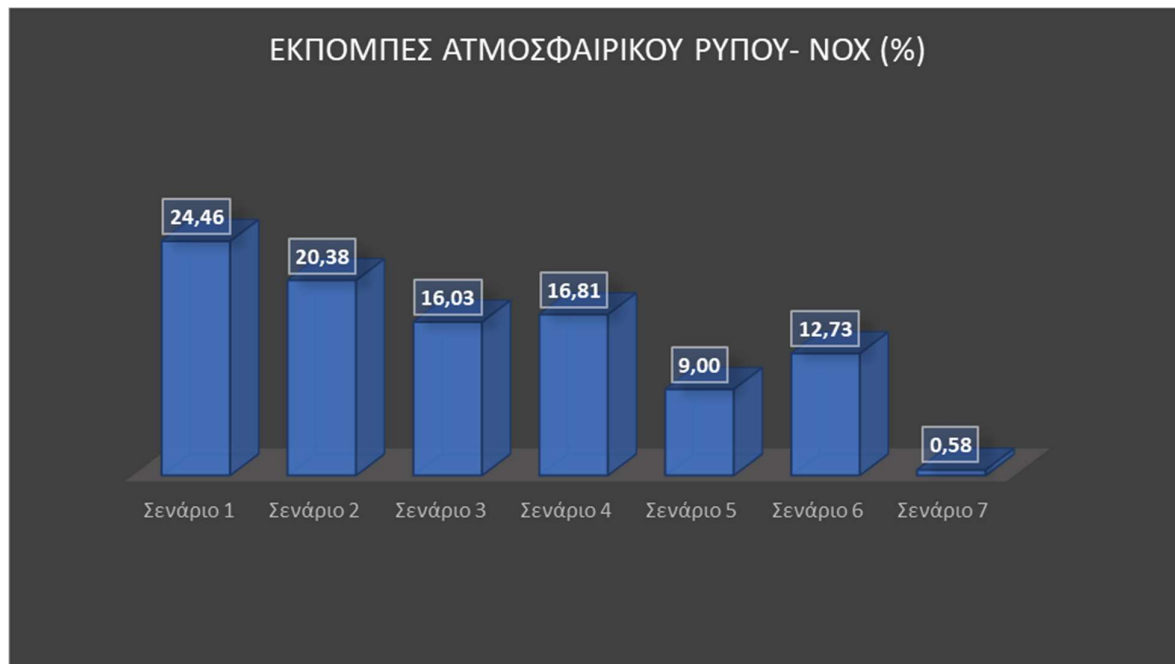


Διάγραμμα 5: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου CO₂ ανά ποσοστό

Διάγραμμα 7ο

Το έβδομο (7^ο) διάγραμμα αφορά τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων CO₂ ανά ποσοστό οχημάτων εντός του υπό εξέταση δικτύου. Παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης τιμής των μετρήσεων εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου CO₂. Σύμφωνα, με το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι το πρώτο (1^ο) και το τέταρτο (4^ο) σενάριο παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Το πρώτο και το τέταρτο σενάριο αφορούν μεγάλα ποσοστά συμβατικών οχημάτων, σε αντίθεση με τα ποσοστά των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Συνεπώς, με την αύξηση των συμβατικών οχημάτων συνεπάγεται και η αύξηση των εκπομπών ρύπων CO₂ στο περιβάλλον.

5.3.2 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO_x (g/km)

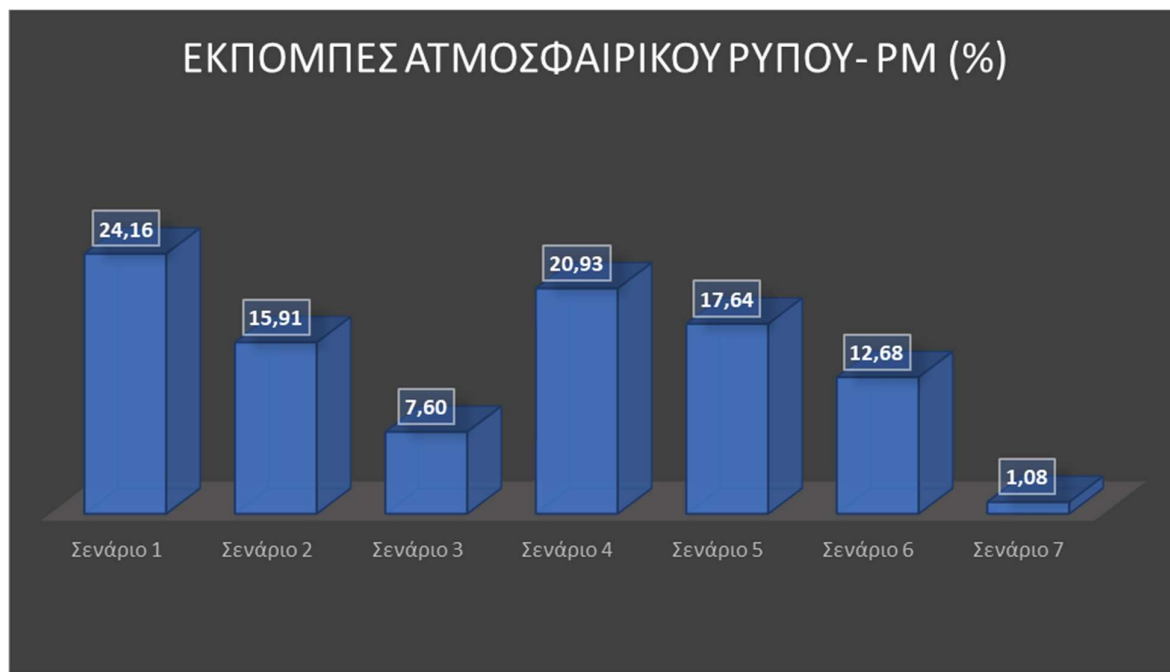


Διάγραμμα 6: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO_x ανά ποσοστό

Διάγραμμα 8ο

Όσον αφορά το όγδοο (8^ο) διάγραμμα, απεικονίζεται η μέση τιμή των μετρήσεων εκπομπής του ατμοσφαιρικού ρύπου NO_x για το υπό εξέταση δίκτυο. Παρατηρούμε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά αφορούν το πρώτο (1^ο) και το τέταρτο (4^ο) σενάριο. Τα δύο αυτά σενάρια αφορούν σενάρια με μεγάλα ποσοστά ύπαρξης συμβατικών οχημάτων σε αντίθεση με τα μικρά ποσοστά ύπαρξης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Συμπερασματικά, οι εκπομπές ρύπων NO_x παρουσιάζονται μεγαλύτερες σε σενάρια που υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό συμβατικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο σε σχέση με το ποσοστό των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

5.3.3 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM (g/km)

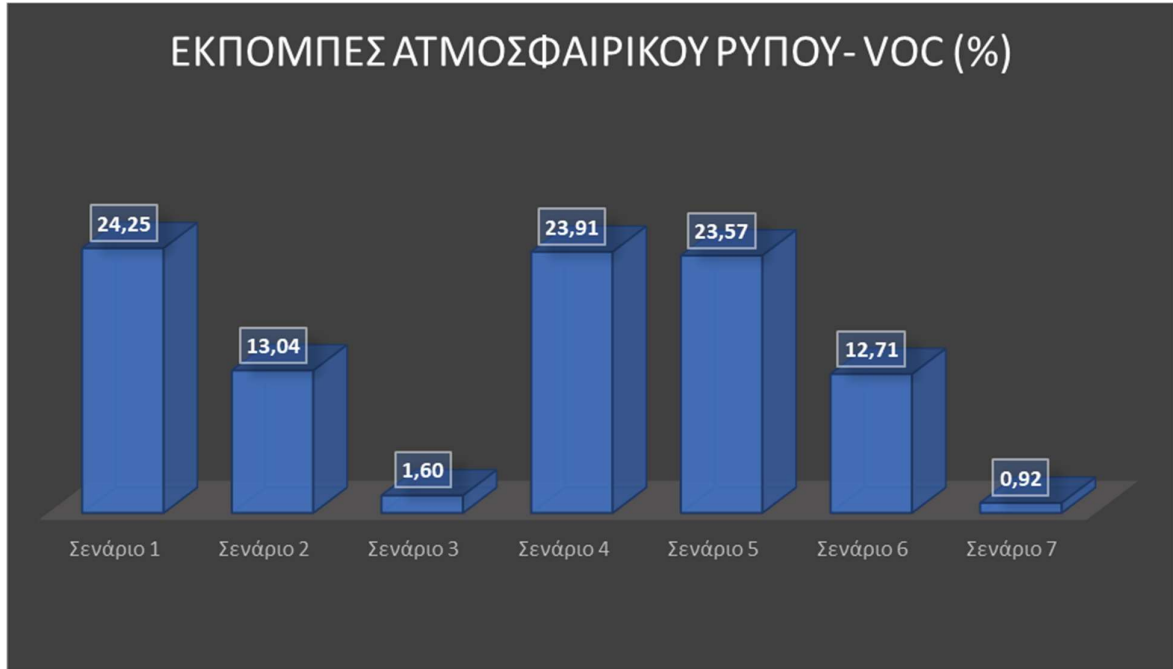


Διάγραμμα 7: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM ανά ποσοστό

Διάγραμμα 9^ο

Το ένατο (9^ο) διάγραμμα απεικονίζει τη μέση τιμή των μετρήσεων εκπομπής του ατμοσφαιρικού ρύπου PM για το υπό εξέταση δίκτυο. Παρατηρούμε ότι το πρώτο (1^ο) σενάριο και το τέταρτο (4^ο) σενάριο έχουν μεγαλύτερα ποσοστά σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Τα σενάρια αυτά, αφορούν την παντελούς έλλειψη ηλεκτρικών οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο και την μερική έλλειψη ηλεκτρικών οχημάτων αντίστοιχα. Συμπερασματικά, το ποσοστό ύπαρξης συμβατικών οχημάτων στα δύο σενάρια, είναι αθροιστικά μεγαλύτερο σε σχέση με το ποσοστό των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και έτσι οι επιβλαβείς για το περιβάλλον εκπομπές ρύπων PM παρουσιάζονται μεγαλύτερες στα σενάρια αυτά.

5.3.4 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC (g/km)



Διάγραμμα 8: Μέση Τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC

Διάγραμμα 10^ο

Στο δέκατο (10^ο) διάγραμμα απεικονίζεται η μέση τιμή των μετρήσεων εκπομπής του ατμοσφαιρικού ρύπου VOC για το υπό εξέταση δίκτυο. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι στο σενάριο πρώτο (1^ο), στο σενάριο τέταρτο (4^ο) και στο πέμπτο (5^ο) σενάριο, τα ποσοστά του ατμοσφαιρικού ρύπου VOC είναι μεγαλύτερα. Τα σενάρια αυτά αφορούν παντελή ή μερική έλλειψη ηλεκτροκίνητων οχημάτων στον υπό εξέταση οδικό δίκτυο, αυτό σημαίνει ύπαρξη συμβατικών οχημάτων στο δίκτυο, άρα αύξηση των επιβλαβή για το περιβάλλον ρύπων VOC.

5.4 Συγκριτική Αξιολόγηση

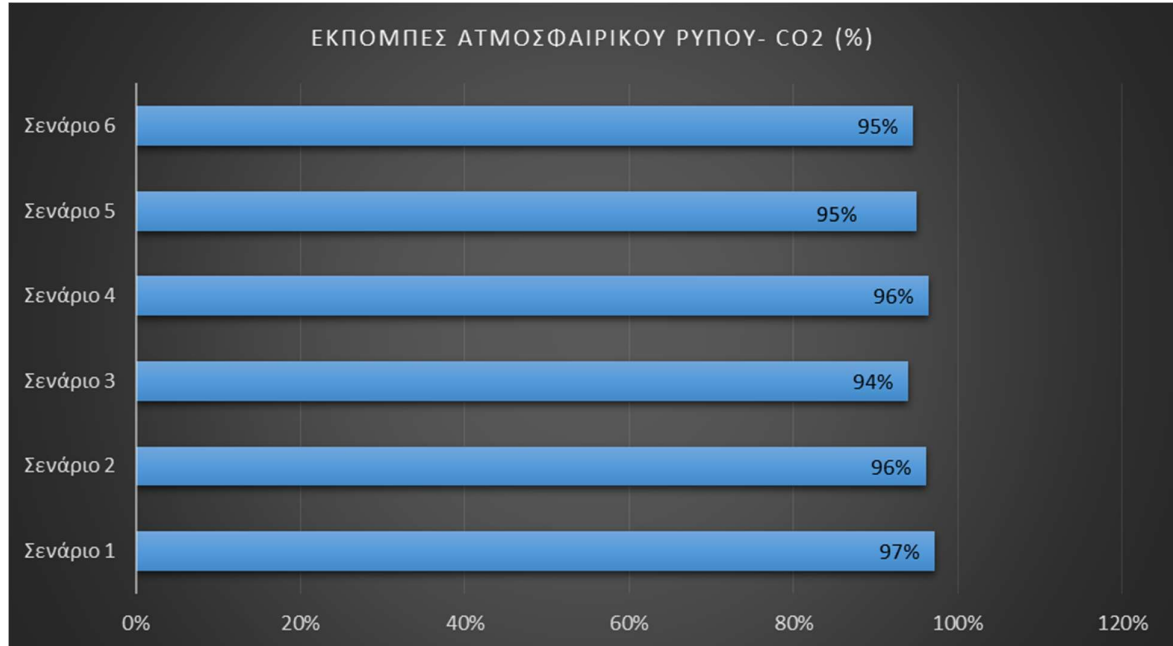
Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται η απεικόνιση των αποτελεσμάτων σύγκρισης όλων των σεναρίων με τα σεναριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7^ο).

Η σύγκριση των σεναρίων αυτών πραγματοποιείται μέσω των μεταβλητών που αναφέρθηκαν στο υπό-κεφάλαιο **6.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης**.

Από τις μεταβλητές που έχουν χρησιμοποιηθεί θα αναλυθούν οι μεταβλητές που αφορούν τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και θα εξαιρεθούν οι μεταβλητές της Μέσης Πυκνότητας, της Μέσης Τιμής Κυκλοφοριακού Φόρτου, της Μέσης Ταχύτητας και του Χρόνου Ταξιδιού καθώς παρατηρείται ότι παραμένουν σταθερές για κάθε δυναμικό σεναριο.

Η συγκριτική αξιολόγηση απεικονίζεται με τη χρήση διαγράμματος με στόχο την οπτική καλύτερη απεικόνιση και κατανόηση των διαφοροποιήσεων της κάθε μεταβλητής.

5.4.1 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO₂ (g/km)



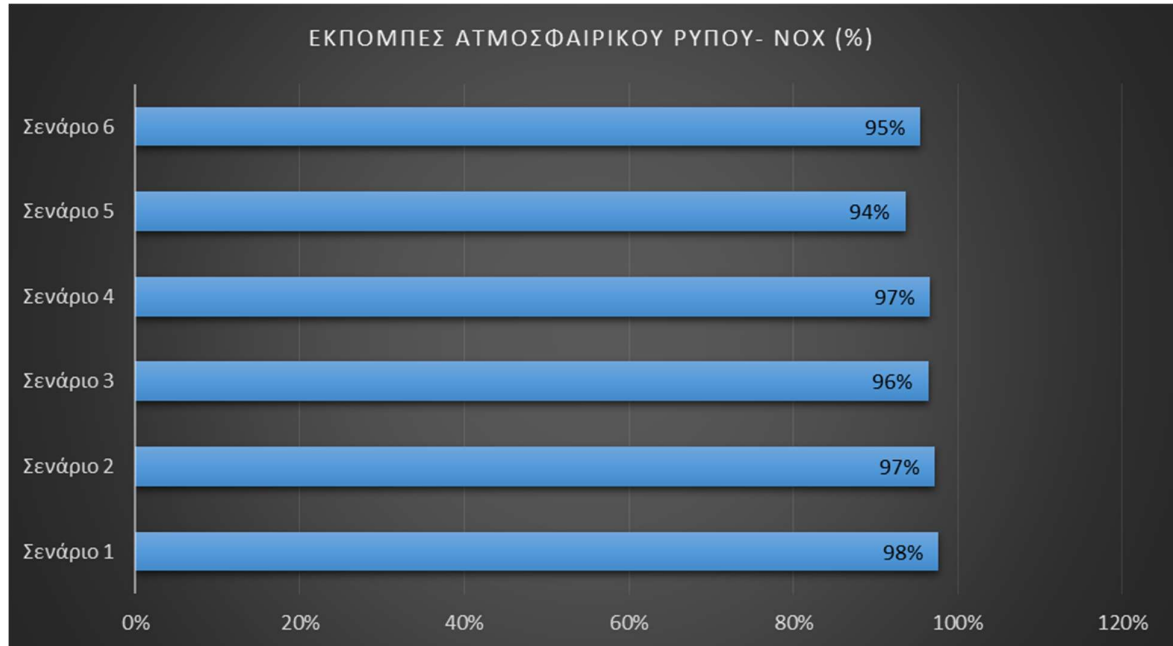
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου CO₂ ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο)

Διάγραμμα 11^ο

Σύμφωνα με το εντέκατο (11^ο) διάγραμμα, παρατηρείται ότι το μικρότερο ποσοστό εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων CO₂ αφορά το τρίτο (3^ο) δυναμικό σενάριο το οποίο αποτελείται από 100% Ηλεκτροκίνητα Ι.Χ. και από 100% Πετρελαιοκίνητα Βαρέα Οχήματα. Παρατηρείται επίσης ότι, τα σενάρια πέντε (5) και έξι (6) παρουσιάζουν παρόμοια ποσοστά, αυτό συμβαίνει καθώς αποτελούνται και τα δύο από παρόμοια ποσοστά οχημάτων που κινούνται με ορυκτά καύσιμα (80% Βενζινοκίνητα, 20% Πετρελαιοκίνητα Ι.Χ., 40% Βενζινοκίνητα, 10% Πετρελαιοκίνητα Ι.Χ. και 0% Πετρελαιοκίνητα Βαρέα Οχήματα και 50% Πετρελαιοκίνητα Βαρέα Οχήματα αντίστοιχα), σε σχέση με τα Ηλεκτρικά οχήματα που αποτελούν μικρότερο ποσοστό και στα δύο αυτά σενάρια, αλλά όχι μηδενικό (0% Ηλεκτροκίνητα Ι.Χ., 100% Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα και 50% Ηλεκτροκίνητα Ι.Χ., 50% Ηλεκτροκίνητα Βαρέα Οχήματα αντίστοιχα).

Στην συνέχεια παρατηρείται ότι, το σενάριο πρώτο (1^ο) έχει το μεγαλύτερο ποσοστό ατμοσφαιρικών ρύπων σε σχέση με το έβδομο (7^ο) σενάριο και αυτό συμβαίνει καθώς αποτελείται από 100% Οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα και 0% Οχήματα που κινούνται με Ηλεκτρική Ενέργεια, άρα εκπέμπουν και περισσότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους κατά μήκος του υπό εξέταση οδικού δικτύου.

5.4.2 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO_x (g/km)



Διάγραμμα 10: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου NO_x ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο)

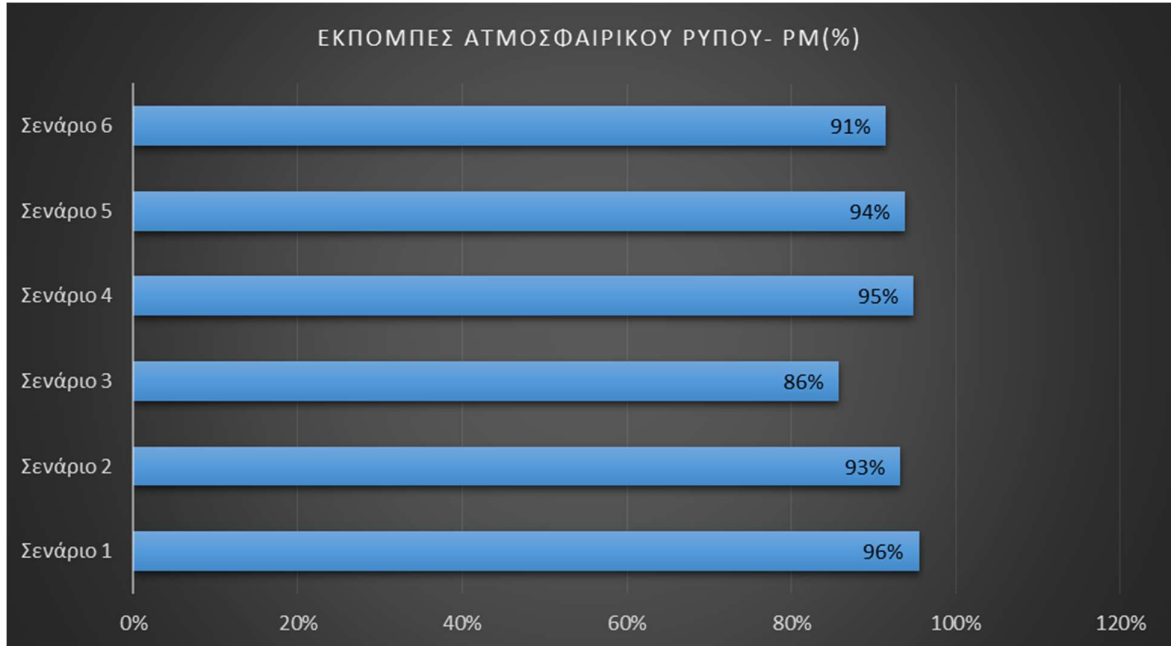
Διάγραμμα 12^ο

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται τα ποσοστά του ατμοσφαιρικού ρύπου NO_x των δυναμικών σεναρίων σε σχέση με το έβδομο (7^ο) σενάριο. Παρατηρούμε ότι, το μικρότερο ποσοστό αφορά το πέμπτο (5^ο) δυναμικό σενάριο. Αυτό συμβαίνει καθώς οι κυριότερες πηγές οξειδίων του αζώτου αφορούν την χρήση οχημάτων που κινούνται με ορυκτά καύσιμα. Το πέμπτο (5^ο) σενάριο αποτελείται από 50% Ηλεκτροκίνητα Ι.Χ., 40% Βενζινοκίνητα Ι.Χ., 10% Πετρελαιοκίνητα Ι.Χ., καθώς επίσης και 50% Ηλεκτροκίνητων Βαρέων Οχημάτων και 50% Πετρελαιοκίνητων Βαρέων Οχημάτων που δικαιολογεί την ύπαρξη χαμηλών ποσοστών εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων σε σχέση με τα άλλα δυναμικά σεναρία. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχει μικρό ποσοστό συμβατικών οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο σε σχέση με άλλα σεναρία.

Την θέση με το μεγαλύτερο ποσοστό την καταλαμβάνει το πρώτο (1^ο) σενάριο που αποτελείται από 80% Βενζινοκίνητα Ι.Χ., 20% Πετρελαιοκίνητα Ι.Χ. και 100% Βενζινοκίνητα Βαρέα Οχήματα.

Συμπερασματικά, η ύπαρξη συμβατικών οχημάτων στο δίκτυο μπορεί να αποφέρει ποσοστά έως και 98% εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων σε σχέση με την παντελή έλλειψη αυτών που αφορά την 100% ύπαρξη ηλεκτρικών οχημάτων και την εκπομπή λιγότερων ατμοσφαιρικών ρύπων.

5.4.3 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM (g/km)



Διάγραμμα 11: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου PM ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο)

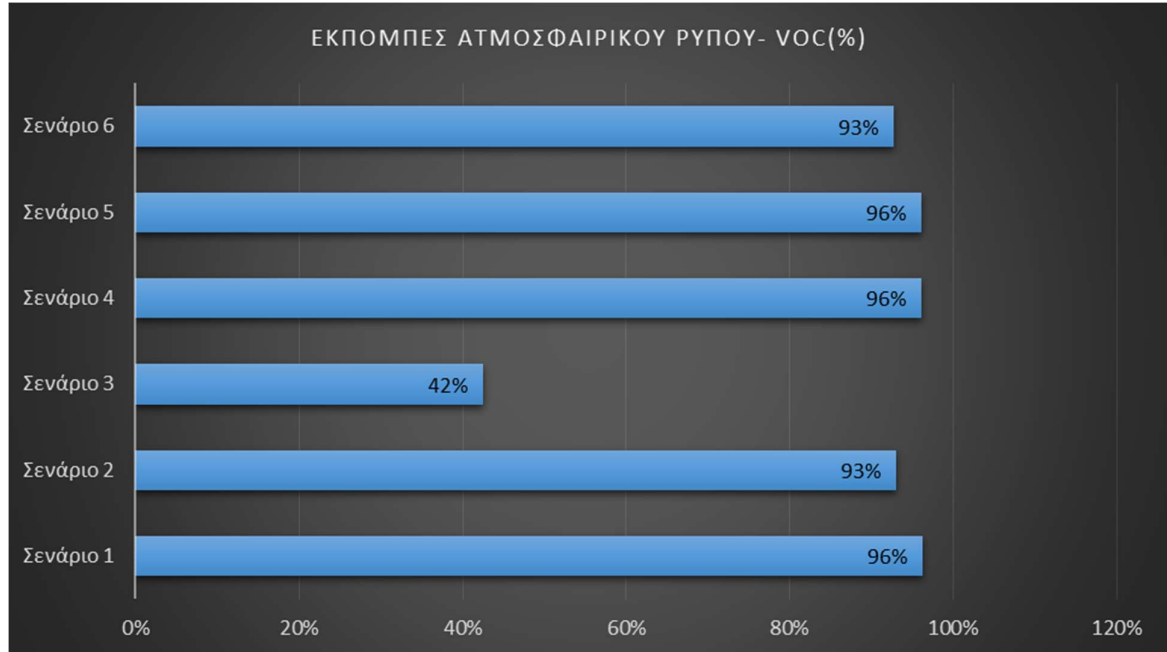
Διάγραμμα 13^ο

Το δέκατο τρίτο (13) διάγραμμα, παρουσιάζει τα ποσοστά εκπομπών ατμοσφαιρικού ρύπου PM συγκριτικά με το έβδομο (7^ο) σενάριο. Παρατηρούμε ότι, το τρίτο σενάριο έχει το μικρότερο ποσοστό ατμοσφαιρικού ρύπου σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια καθώς αποτελείται από, 100% Ηλεκτροκίνητα Ι.Χ. και από 100% Πετρελαιοκίνητα Βαρέα Οχήματα. Αυτό καθιστά το τρίτο σενάριο (3^ο) ένα σενάριο ουδέτερο έτσι τα ποσοστά των ρύπων του είναι μικρότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια.

Την θέση με το μεγαλύτερο ποσοστό την καταλαμβάνει το πρώτο (1ο) σενάριο που αποτελείται από 80% Βενζινοκίνητα Ι.Χ., 20% Πετρελαιοκίνητα Ι.Χ. και 100% Βενζινοκίνητα Βαρέα Οχήματα.

Συμπερασματικά, η ύπαρξη μεγάλου πλήθους συμβατικών οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο, συνδέεται με τη εκπομπή μεγάλου ποσοστού ατμοσφαιρικών ρύπων σε αυτό.

5.4.4 Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC (g/km)



Διάγραμμα 12: Διάγραμμα Σύγκρισης του ατμοσφαιρικού ρύπου VOC ανά ποσοστό Οχημάτων στο υπό εξέταση δίκτυο με το σενάριο ύπαρξης 100% Ηλεκτρικών Οχημάτων (Σενάριο 7ο)

Διάγραμμα 14^ο

Το δέκατο τέταρτο (14) διάγραμμα, παρουσιάζει τα ποσοστά εκπομπών ατμοσφαιρικού ρύπου PM συγκριτικά με το έβδομο (7ο) σενάριο. Παρατηρούμε ότι, το τρίτο σενάριο έχει το μικρότερο ποσοστό ατμοσφαιρικού ρύπου σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια καθώς αποτελείται από, 100% Ηλεκτροκίνητα Ι.Χ. και από 100% Πετρελαιοκίνητα Βαρέα Οχήματα. Αυτό καθιστά το τρίτο σενάριο (3ο) ένα σενάριο ουδέτερο έτσι τα ποσοστά των ρύπων του είναι μικρότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια.

Την θέση με το μεγαλύτερο ποσοστό την καταλαμβάνει το πρώτο (1ο) σενάριο που αποτελείται από 80% Βενζινοκίνητα Ι.Χ., 20% Πετρελαιοκίνητα Ι.Χ. και 100% Βενζινοκίνητα Βαρέα Οχήματα.

Συμπερασματικά, η ύπαρξη μεγάλου πλήθους συμβατικών οχημάτων στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο, συνδέεται με τη εκπομπή μεγάλου ποσοστού ατμοσφαιρικών ρύπων σε αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα έρευνα βασίστηκε σε δεδομένα που μας δόθηκαν από την εταιρεία ‘Νέα Οδός’. Οι κατάλληλοι υπολογισμοί για την εύρεση του κυκλοφοριακού φόρτου έγινε μέσα από το υπολογιστικό πρόγραμμα EXCEL και έπειτα έγινε η κατάλληλη ομαδοποίηση, ταξινόμηση και μορφοποίηση των δεδομένων αυτών για την εξαγωγή των κατάλληλων συμπερασμάτων. Τα συμπεράσματα αφορούν τις εκπομπές ρύπων ανά κατηγορία και ποσοστό στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο βασισμένα στα επτά (7) δυναμικά σενάρια που εξετάζονται στην παρούσα εργασία.

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας :

1. Όσον αφορά το πλήθος των οχημάτων που διέρχονται από το υπό εξέταση οδικό δίκτυο, τα Ι.Χ. αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό και ακολουθούν τα Βαρέα Οχήματα. Οι υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων καταλαμβάνουν μικρότερο ποσοστό στο οδικό δίκτυο.
2. Όσον αφορά τον κυκλοφοριακό φόρτο, παρατηρείται ότι το υπό εξέταση οδικό δίκτυο έχει μεγαλύτερο φόρτο τις καθημερινές, σε σχέση με το Σαββατοκύριακο.
3. Όσον αφορά το πλήθος των οχημάτων που διέρχονται στο οδικό δίκτυο σε κάθε ρεύμα (Αθήνα – Θεσσαλονίκη, Θεσσαλονίκη – Αθήνα), παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό οχημάτων κινείται στο ρεύμα προς Αθήνα.

Παρακάτω αναφέρονται συγκεντρωτικά σε μορφή πίνακα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την διαδικασία αναπαραγωγής των επτά (7) σεναρίων προσομοίωσης.

Πίνακας 8: Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων

Μεταβλητή/Σενάρια	Σενάριο 1ο	Σενάριο 2ο	Σενάριο 3ο	Σενάριο 4ο	Σενάριο 5ο	Σενάριο 6ο	Σενάριο 7ο	Μονάδα Μέτρησης
Μέση Χρονική Καθυστέρηση	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	sec/km
Μέση Πυκνότητα	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	veh/km
Μέση Τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	540,5	540,5	540,5	540,5	540,5	540,5	540,5	veh/h
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου CO ₂	4244195,92	3130728,26	1978434,77	3325751,5	2385168,72	2212283,83	119407,57	g/km
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου NO _x	17272,69	14391,38	11322,08	11869,76	6358,48	8988,45	407,87	g/km
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου PM	11,6	7,64	3,65	10,05	8,47	6,09	0,52	g/km
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου VOC	2365,11	1272,26	156,05	2332,52	2298,82	1239,67	89,76	g/km
Μέση Ταχύτητα	98,97	98,97	98,97	98,97	98,97	98,97	98,97	km/h
Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	25934,16	km

Στον παραπάνω πίνακα αποτυπώνονται οι αλλαγές στις εξεταζόμενες μεταβλητές της ανάλυσης. Οι μεταβλητές της Μέσης Χρονικής Καθυστέρησης, της Μέσης Πυκνότητας, της Μέσης Τιμής Κυκλοφοριακού Φόρτου, της Μέσης Ταχύτητας και του Συνολικού Χρόνου Ταξιδιού θα εξαιρεθούν καθώς παρατηρείται ότι παραμένουν ίσες για κάθε δυναμικό σενάριο. Οι μεταβλητές που παρουσιάζουν αλλαγές είναι οι μεταβλητές των εκπομπών ρύπων στο υπό εξέταση οδικό δίκτυο. Συγκεκριμένα :

Σενάριο 1^ο (Ηλεκτρικά Ι.Χ. 0%, Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα 0%)

- Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (CO₂, NO_x, PM, VOC): παρατηρείται ότι στο σενάριο αυτό, λόγω της παντελούς έλλειψης Ηλεκτρικών Οχημάτων οι ατμοσφαιρικοί ρύποι έχουν τις μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Αυτό σημαίνει ότι κατά μήκος του οδικού δικτύου υπάρχουν μόνο οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα άρα εκπέμπουν και μεγαλύτερα ποσοστά ρύπων που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές μεταβλητές του.

Σενάριο 2^ο (Ηλεκτρικά Ι.Χ. 50%, Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα 0%)

- Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (CO₂, NO_x, PM, VOC): παρατηρείται ότι στο σενάριο αυτό υπάρχουν Ηλεκτρικά Οχήματα στο οδικό δίκτυο. Συνολικά, αποτελούν το 25% των οχημάτων που κινούνται κατά μήκος του δικτύου, ενώ το 75% το καταλαμβάνουν οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα (Ι.Χ. και Βαρέα Οχήματα). Συνεπώς, οι εκπομπές ρύπων έχουν μειωθεί αλλά οι τιμές τους παραμένουν υψηλές καθώς υπάρχει μεγαλύτερη κατανομή συμβατικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Σενάριο 3^ο (Ηλεκτρικά Ι.Χ. 100%, Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα 0%)

- Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (CO₂, NO_x, PM, VOC): παρατηρείται ότι στο σενάριο αυτό οι ρύποι εμφανίζουν μικρότερες τιμές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι στο σύνολο των οχημάτων του δικτύου υπάρχουν 100% Ηλεκτρικά Ι.Χ. και 100% Βαρέα Οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα. Έτσι υπάρχουν εκπομπές ρύπων αλλά μικρότερες από άλλα σενάρια καθώς τα Ι.Χ. καταλαμβάνουν μεγαλύτερο πλήθος σε σχέση με τα Βαρέα Οχήματα στο οδικό δίκτυο.

Σενάριο 4^ο (Ηλεκτρικά Ι.Χ. 0%, Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα 50%)

- Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (CO₂, NO_x, PM, VOC): παρατηρείται ότι στο σενάριο αυτό υπάρχουν Ηλεκτρικά Οχήματα στο οδικό δίκτυο. Συνολικά, αποτελούν το 25% των οχημάτων που κινούνται κατά μήκος του δικτύου, ενώ το 75% το καταλαμβάνουν οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα (Ι.Χ. και Βαρέα Οχήματα). Συνεπώς, οι εκπομπές ρύπων έχουν μειωθεί αλλά οι τιμές τους παραμένουν υψηλές καθώς υπάρχει μεγαλύτερη κατανομή συμβατικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Σενάριο 5^ο (Ηλεκτρικά Ι.Χ. 0%, Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα 100%)

- Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (CO₂, NO_x, PM, VOC): παρατηρείται ότι στο σενάριο αυτό οι ρύποι εμφανίζουν μεσαίες τιμές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι στο σύνολο των οχημάτων του δικτύου υπάρχουν 100% Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα και 100% Ι.Χ. που κινούνται με ορυκτά καύσιμα.

Σενάριο 6^ο (Ηλεκτρικά Ι.Χ. 50%, Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα 50%)

- Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (CO₂, NO_x, PM, VOC): παρατηρείται ότι στο σενάριο αυτό οι ρύποι εμφανίζουν μικρές τιμές. Αυτό συμβαίνει καθώς κατά μήκος του οδικού δικτύου κινούνται 50% Ηλεκτρικά Οχήματα και 50% Οχήματα που καταναλώνουν ορυκτά καύσιμα. Το σενάριο αυτό παρουσιάζει μια κατάσταση ισορροπίας κατά μήκος του οδικού δικτύου. Έτσι οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων υπάρχουν αλλά δεν είναι πολύ αυξημένες.

Σενάριο 7^ο (Ηλεκτρικά Ι.Χ. 100%, Ηλεκτρικά Βαρέα Οχήματα 100%)

- Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (CO₂, NO_x, PM, VOC): παρατηρείται ότι στο σενάριο αυτό οι τιμές που εμφανίζονται στις μεταβλητές των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι μικρότερες σε σχέση με όλα τα προηγούμενα σενάρια, αλλά όχι μηδενικές, παρ'ότι κατά μήκος του οδικού δικτύου κινούνται 100% Ηλεκτρικά Οχήματα (Ι.Χ. και Βαρέα) και υπάρχει παντελής έλλειψη συμβατικών οχημάτων. Συμπερασματικά, τα Ηλεκτρικά Οχήματα εκπέμπουν ατμοσφαιρικούς ρύπους αλλά οι τιμές των ρύπων που εκπέμπουν τα οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Bibliography

- Jolly, D., Benasser, A. & 3926, E. A., n.d. *MACRO-MICRO SIMULATION OF TRAFFIC FLOW Mohamed said EL HMAM * Hassane ABOUAISSA*, s.l.: s.n.
- Βαλθούκας Π., Κ. Α., n.d. *Συστήματα Μεταφορών*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Φραντζεσκάκης, Ι., Γκόλιας, Ι. & Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ., 2009. *ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Σπυροπούλου, Α., 2015. *Κεφάλαιο 2 Βασικά Μεγέθη Κυκλοφοριακής Τεχνικής. Στο: Αρχές Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Προσομοίωσης*. [Ηλεκτρονικό].
- Γεωργόπουλος, Α. (2006). *Γη Ένας Μικρός και Εύθραυστος Πλανήτης*. Αθήνα: Gutenberg.
- Tie, S. F., & Tan, C. W. (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 20)*.
- Lazzeroni, P., Cirimele, V., & Canova, A. (2021). Economic and environmental sustainability of Dynamic Wireless Power Transfer for electric vehicles supporting reduction of local air pollutant emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Napoli, G., Polimeni, A., Micari, S., Andaloro, L., & Antonucci, V. (2020). Optimal allocation of electric vehicle charging stations in a highway network: Part 1. Methodology and test application. *Journal of Energy Storage*
- Charoniti, E., Orfanou, F., Sermpis, D. & Yannis, G., 2017. Analysis of Alternative Scenarios for Managing Traffic. Thessaloniki, 8th International Congress on Transportation Research in Greece.
- Wappelhorst, S., Sauer, M., Hinkeldein, D., Bocherding, A., & Glaß, T. (2014). Potential of Electric Carsharing in Urban and Rural Areas. *Transportation Research Procedia*
- Jonatan J. Gómez Vilchez , Andreea Julea , Emanuela Peduzzi, Enrico Pisoni, Jette Krause, Pelopidas Siskos, Christian Thiel, (2019). Modelling the impacts of EU countries' electric car deployment plans on atmospheric emissions and concentrations. *European Transport Research Review*
- Kucukvar, M., Onat, N. C., Kutty, A. A., Adella, G. M., Bulak, M. E., Ansari, F., & Kumbaroglu, G. (2022). Environmental efficiency of electric vehicles in Europe under various electricity production mix scenarios. *Journal of Cleaner Production*
- Schloter, L. (2022). Empirical analysis of the depreciation of electric vehicles compared to gasoline vehicles. *Transport Policy*
- Helbing, D., Hennecke, A., Shvetsov, V., & Treiber, M. (2002). Micro- and macro-simulation of freeway traffic. *Mathematical and Computer Modelling*, 35(5–6)
- Khan, Z.H., Gulliver, T. (2018) A macroscopic traffic model for traffic flow harmonization. *Eur. Transp. Res. Rev.* 10

Young, W., Sobhani, A., Lenné, M. G. & Sarvi, M., 2014. Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 66, pp. 89-103.

Wang, C. et al., 2018. A combined use of microscopic traffic simulation and extreme value methods for traffic safety evaluation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 90, pp. 281-291.

Pardo-Ferreira MC, Torrecilla-García JA, Heras-Rosas CL, Rubio-Romero JC. 2020 Sep 14, New Risk Situations Related to Low Noise from Electric Vehicles: Perception of Workers as Pedestrians and Other Vehicle Drivers. *Int J Environ Res Public Health*

Kuhn, P. E. W. (2017). Methodology for planning multi-functional transport corridors taking into consideration the special requirements of electromobility. *Transportation Research Procedia*

Sneha Angeline, P. M., & Newlin Rajkumar, M. (2020). Evolution of electric vehicle and its future scope. *Materials Today: Proceedings*

Franzò, S., & Nasca, A. (2021). The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and its applications to multi-country scenarios. *Journal of Cleaner Production*

Austrroads (2006). The use and application of microsimulation traffic models. Austrroads Research Report APR286/06. Austrroads, Australia

García-Olivares, A., Solé, J., & Osychenko, O. (2018). Transportation in a 100% renewable energy system. *Energy Conversion and Management*

Wu, X., Freese, D., Cabrera, A., & Kitch, W. A. (2015). Electric vehicles' energy consumption measurement and estimation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*

AIMSUN, 2014. Aimsun 8 Dynamic Simulators Users' Manual. s.l.:TSS-Transport Simulation Systems.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2020). Οικονομικά Κίνητρα για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης . Άρθρο 3.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2020). Σχέδιο Νόμου, Μετάβαση στην κινητικότητα χαμηλών εκπομπών: Μέτρα προώθησης λειτουργίας της αγοράς ηλεκτροκίνησης. Άρθρο 2.

Μπάλια Γ.ς, 2010, Η οδηγία για τους οικοτόπους: Ζητήματα σχετικά με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, Νομικό Βήμα, Τόμος 58/Τεύχος 2

Gan, Y., Lu, Z., He, X., Hao, C., Wang, Y., Cai, H., Wang, M., Elgowainy, A., Przesmitzki, S., & Bouchard, J. (2021). Provincial Greenhouse Gas Emissions of Gasoline and Plug-in Electric Vehicles in China: Comparison from the Consumption-Based Electricity Perspective. *Environmental Science and Technology*



Choma, E. F., Evans, J. S., Hammitt, J. K., Gómez-Ibáñez, J. A., & Spengler, J. D. (2020). Assessing the health impacts of electric vehicles through air pollution in the United States. Environment International,