



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

## **Διερεύνηση Επιπτώσεων Κυκλοφορίας Βαρέων Οχημάτων σε Αυτοκινητόδρομο**



**Μαρία – Παναγιώτα Αδάμ**

Επιβλέπων: Παναγιώτης Παπαντωνίου

Αθήνα, Μάρτιος 2022



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# Διερεύνηση Επιπτώσεων Κυκλοφορίας Βαρέων Οχημάτων σε Αυτοκινητόδρομο


*Επιμέλεια:*

**Μαρία – Παναγιώτα Αδάμ**

**ΑΜ: 16000**

*Επιβλέπων:* Παναγιώτης Παπαντωνίου

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι εξεταστική επιτροπή:

<b>α/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
<b>1</b>	Παναγιώτης Παπαντωνίου	Επίκουρος Καθηγητής ΠΑΔΑ	
<b>2</b>	Δημοσθένης Παύλου	Συνεργαζόμενο Διδακτικό Προσωπικό	
<b>3</b>	Γεώργιος Χλούπης	Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ	

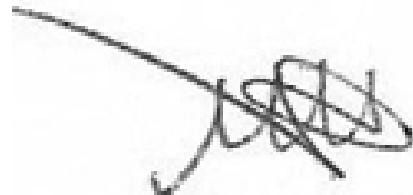
Αθήνα, Μάρτιος 2022

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αδάμ Μαρία – Παναγιώτα του Ανέστη, με αριθμό μητρώου 16000, 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,

Αδάμ Μαρία – Παναγιώτα



**Copyright** © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**Αδάμ Μαρία – Παναγιώτα, Μάρτιος 2022**

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.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παναγιώτη Παπαντωνίου, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του ΠΑΔΑ, για την στήριξη και την βοήθεια του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ την κα. Μαρία Οικονόμου, Επιστημονικό Συνεργάτη στον τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής (ΜΣΥ) της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), για την καθοδήγηση της και την πολύτιμη βοήθειά της στην χρήση του λογισμικού προσομοίωσης AIMSUN και σε όλα τα στάδια εξέλιξης της εργασίας, καθώς και στην σημαντική συνεισφορά της ως προς την διαχείριση των δεδομένων μέχρι και την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων για την ολοκλήρωση της έρευνας.

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 για την χρήση τους ως δεδομένα για την επίλυση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Α. Πνευματικού, Συγκοινωνιολόγο Μηχανικό της εταιρίας για την παροχή των δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλους τους τομείς της ζωής μου.



# Διερεύνηση Επιπτώσεων Κυκλοφορίας Βαρέων Οχημάτων σε Αυτοκινητόδρομο

Αδάμ Μαρία – Παναγιώτα

*Επιβλέπων: Παπαντωνίου Παναγιώτης*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων της κυκλοφορίας Βαρέων Οχημάτων σε Αυτοκινητόδρομο (κυκλοφοριακές, περιβαλλοντικές και ασφάλειας). Για το σκοπό αυτό αναπτύσσονται στατικά και δυναμικά μοντέλα που παρουσιάζουν σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο την πραγματική κατάσταση της κυκλοφορίας στην εξεταζόμενη περιοχή μελέτης. Η μελέτη πραγματοποιείται στο τμήμα του αυτοκινητοδρόμου της Νέας Οδού «Θήβα – Τραγάνα» το χρονικό διάστημα Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 2021 και οι μετρήσεις περιλαμβάνουν στοιχεία ανά μέρα, ανά ώρα, ανά κατεύθυνση και ανά τύπο οχήματος. Μέσω των στατικών και δυναμικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν στο λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, εξετάστηκε η επιρροή του ποσοστού διείσδυσης Βαρέων Οχημάτων στην κυκλοφορία. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τόσο οι περιβαλλοντικές παράμετροι όσο και οι κυκλοφοριακές παρουσιάζουν έντονες αλλαγές ανάλογα με τη σύνθεση της κυκλοφορίας ΙΧ και βαρέων οχημάτων.

*Λέξεις Κλειδιά: Κυκλοφοριακός Φόρτος, Μακροσκοπική και Μικροσκοπική Προσομοίωση, Ασφάλεια Κυκλοφοριακού Δικτύου, Βαρέα Οχήματα*

# **Investigating the Impact of Heavy Vehicles on a Motorway**

Adam Maria - Panagiota

*Supervisor:* Papantoniou Panagiotis

## **ABSTRACT**

The present diploma thesis aims to investigate the impact of heavy vehicles on a motorway (environmental, traffic and safety). For this purpose, static and dynamic models were developed presenting in a macroscopic and microscopic way the actual traffic situation on the study area. The study is implemented Nea Odos Motorway in the "Thiva - Tragana" network for a period of two months (September - October 2021) and data include counts per day, per hour, per direction and per mode of transport. Through the implementation of static and dynamic models in AIMSUN traffic simulation program, the effect of different percentages of heavy vehicles penetration in traffic is examined. Results indicate that both the environmental as well the traffic characteristics in the motorway change in the different scenario examined.

***Key words:*** *Traffic Flow, Macroscopic and Microscopic Simulation, Road Safety, Function of Road Traffic, Heavy Vehicle*



## Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	vii
ABSTRACT.....	viii
Κατάλογος Εικόνων.....	xi
Κατάλογος Πινάκων .....	xi
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση.....	1
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας .....	2
1.3 Μεθοδολογία.....	2
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	6
2.1 Γενική Εισαγωγή.....	6
2.2 Συναφείς Έρευνες .....	6
2.2.1 Βαθμονόμηση– Κυκλοφοριακή προσέγγιση .....	6
2.2.2 Οδική Ασφάλεια .....	10
2.2.3 Οδικό Περιβάλλον .....	13
2.3 Σύνθεση Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	19
3.1 Γενική Εισαγωγή.....	19
3.2 Στοιχεία Κυκλοφοριακής Ροής .....	20
3.3 Προσομοίωση Κυκλοφορίας.....	25
3.3.1 Κατηγορίες Μοντέλων Προσομοίωσης.....	25
3.3.1.1 Μικροσκοπική Προσομοίωση (Micro-simulation).....	26
3.3.1.2 Μακροσκοπική Προσομοίωση (Macro-simulation).....	27
3.3.1.3 Μεσοσκοπική Προσομοίωση (Meso-simulation).....	27
3.4 Λογισμικό Προσομοίωσης AIMSUN .....	27
3.4.1 Διαδικασία Προσομοίωσης .....	29
3.4.2 Η Κίνηση των Οχημάτων στην Προσομοίωση .....	29
3.4.2.1 Υπόδειγμα Ακολουθούντος Οχήματος στην μικροσκοπική προσομοίωση.....	30
3.4.2.2 Υπόδειγμα Αλλαγής Λωρίδας στην μικροσκοπική προσομοίωση.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	35

4.1 Γενική Εισαγωγή.....	35
4.2 Περιοχή Μελέτης .....	35
4.3 Κωδικοποίηση Οδικού Δικτύου.....	38
4.4 Εισαγωγή Δεδομένων Κυκλοφοριακού Φόρτου.....	40
4.4.1 Μητρώο Προέλευσης Δεδομένων .....	40
4.4.2 Επεξεργασία Δεδομένων .....	40
4.5 Φόρτιση Δικτύου.....	48
4.6 Μοντέλο Καταμερισμού Κυκλοφορίας.....	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>53</b>
5.1 Γενική Εισαγωγή.....	53
5.2 Τροποποίηση Πλήθους Οχημάτων.....	53
5.3 Περιγραφή Σεναρίων.....	54
5.3.1 Σενάριο 1 <sup>ο</sup> .....	54
5.3.2 Σενάριο 2 <sup>ο</sup> .....	55
5.3.3 Σενάριο 3 <sup>ο</sup> .....	56
5.3.4 Σενάριο 4 <sup>ο</sup> .....	56
5.3.5 Σενάριο 5 <sup>ο</sup> .....	57
5.3.6 Σενάριο 6 <sup>ο</sup> .....	57
5.3.7 Σενάριο 7 <sup>ο</sup> .....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ &amp; ΕΥΡΕΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ.....</b>	<b>59</b>
6.1 Εισαγωγή.....	59
6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης .....	62
6.3 Συγκριτική αξιολόγηση.....	72
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ &amp; ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>81</b>
7.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	81
7.2 Συμπεράσματα .....	82
7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	85
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>86</b>

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1:</b> Διάγραμμα Σχέσης Ταχύτητας – Πυκνότητας (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015) .....	22
<b>Εικόνα 2:</b> Διάγραμμα Σχέσης Ταχύτητας - Κυκλοφοριακού Φόρτου (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015) .....	23
<b>Εικόνα 3:</b> Διάγραμμα Σχέσης Κυκλοφοριακού Φόρτου – Πυκνότητας (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015) .....	24
<b>Εικόνα 4:</b> Σχέσεις θέσεων προπορευόμενου οχήματος και του ακολουθούντος του (Barceló & Casas, n.d.) .....	30
<b>Εικόνα 5:</b> Νέες σχέσεις με βάση (Herman & Rothery) (Barceló & Casas, n.d.) .....	31
<b>Εικόνα 6:</b> Εύρεση μέγιστης ταχύτητας Va (Barceló & Casas, n.d.) .....	31
<b>Εικόνα 7:</b> Εύρεση μέγιστης ταχύτητας Vb (Barceló & Casas, n.d.) .....	32
<b>Εικόνα 8:</b> Υπολογισμός τελικής ταχύτητας για όχημα n (Barceló & Casas, n.d.) .....	32
<b>Εικόνα 9:</b> Ζώνες αλλαγής λωρίδας (Barceló & Casas, n.d.) .....	34
<b>Εικόνα 10:</b> Χάρτης Αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ (πηγή: Google Maps) .....	35
<b>Εικόνα 11:</b> Π.Α.Θ.Ε. Σήραγγα Τεμπών T2 (πηγή: el.wikivoyage.org) .....	36
<b>Εικόνα 12:</b> Χάρτης Αυτοκινητοδρόμου A1 (πηγή: commons.wiki.org) .....	37
<b>Εικόνα 13:</b> Αυτοκινητόδρομος Ενδιαφέροντος "Θήβα - Τραγάνα" .....	38
<b>Εικόνα 14:</b> Κωδικοποιημένο Οδικό Δίκτυο "Θήβα - Τραγάνα" .....	39
<b>Εικόνα 15:</b> Τοποθέτηση ανιχνευτή (detector) στην έξοδο προς Μαλεσίνα με κατεύθυνση προς Αθήνα .....	41
<b>Εικόνα 16:</b> Καταμερισμός Κυκλοφορίας με την χρήση Στοχαστικού Σεναρίου .....	49
<b>Εικόνα 17:</b> Ψευδής Κυκλοφοριακή Ζήτηση (Traffic Demand) .....	50
<b>Εικόνα 18:</b> Πρώτο Στατικό Σενάριο .....	51
<b>Εικόνα 19:</b> Κυκλοφοριακή Ζήτηση με Πραγματικό Φόρτο .....	52
<b>Εικόνα 20:</b> Κυκλοφοριακός Φόρτος B.O. : 0% .....	55
<b>Εικόνα 21:</b> Κυκλοφοριακός Φόρτος B.O. : 25% .....	55
<b>Εικόνα 22:</b> Κυκλοφοριακός Φόρτος B.O. : 50% .....	56
<b>Εικόνα 23:</b> Κυκλοφοριακός Φόρτος B.O. : 75% .....	56
<b>Εικόνα 24:</b> Κυκλοφοριακός Φόρτος B.O. : 100% .....	57
<b>Εικόνα 25:</b> Κυκλοφοριακός Φόρτος B.O. : 200% .....	57
<b>Εικόνα 26:</b> Κυκλοφοριακός Φόρτος B.O.: 300% .....	58

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Συγκεντρωτικός πίνακας βιβλιογραφικών ερευνών .....	17
<b>Πίνακας 2:</b> Προσδιορισμός Ωρας Αιχμής .....	46
<b>Πίνακας 3:</b> Στοιχεία Κυκλοφοριακού Φόρτου "Κατεύθυνση Προς Αθήνα" .....	47
<b>Πίνακας 4:</b> Στοιχεία Κυκλοφοριακού Φόρτου "Κατεύθυνση Προς Θεσσαλονίκη" .....	47
<b>Πίνακας 5:</b> Πίνακας Π - Π μηδενικού φόρτου για Λεωφορείο .....	50
<b>Πίνακας 6:</b> Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεικτών Απόδοσης .....	60
<b>Πίνακας 7:</b> Συγκεντρωτικός Πίνακας Μεταβλητών του λογισμικού AIMSUN .....	61
<b>Πίνακας 8:</b> Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων .....	62

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 1:</b> Διάγραμμα Ροής Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας .....	5
<b>Διάγραμμα 2:</b> Ο Κυκλοφοριακός Φόρτος των δύο κατευθύνσεων ανά Τύπο Οχήματος.....	42
<b>Διάγραμμα 3:</b> Πλήθος Οχημάτων κατηγορίας Ι.Χ. ανά Ημέρα Εβδομάδας.....	43
<b>Διάγραμμα 4:</b> Πλήθος Οχημάτων κατηγορίας Β.Ο. ανά Ημέρα Εβδομάδας .....	43
<b>Διάγραμμα 5:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης Κυκλοφοριακού Φόρτου Ι.Χ. & Β.Ο. ανά Ώρα Ημέρας .....	44
<b>Διάγραμμα 6:</b> Σύγκριση της Ζήτησης των Οδών Εκατέρωθεν του Αυτοκινητοδρόμου ανά Κατεύθυνση .....	44
<b>Διάγραμμα 7:</b> Μέση Χρονική Καυστήρηση ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου .....	63
<b>Διάγραμμα 8:</b> Μέση Πυκνότητα Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου .....	64
<b>Διάγραμμα 9:</b> Μέση τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου.....	65
<b>Διάγραμμα 10:</b> Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO <sub>2</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου .....	66
<b>Διάγραμμα 11:</b> Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO <sub>x</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου .....	67
<b>Διάγραμμα 12:</b> Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου .....	68
<b>Διάγραμμα 13:</b> Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου .....	69
<b>Διάγραμμα 14:</b> Μέση Ταχύτητα οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου.....	70
<b>Διάγραμμα 15:</b> Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού των οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου .....	71
<b>Διάγραμμα 16:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης Χρονικής Καυστήρησης ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%).....	72
<b>Διάγραμμα 17:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης Πυκνότητας Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%).....	73
<b>Διάγραμμα 18:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Κυκλοφοριακού Φόρτου ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%) .....	74
<b>Διάγραμμα 19:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO <sub>2</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%).....	75
<b>Διάγραμμα 20:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO <sub>x</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%).....	76
<b>Διάγραμμα 21:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%).....	77
<b>Διάγραμμα 22:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%).....	78
<b>Διάγραμμα 23:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης Ταχύτητας των Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%) .....	79
<b>Διάγραμμα 24:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης του Συνολικού Χρόνου Ταξιδιού των Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%).....	80

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενική Ανασκόπηση

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα της σημερινής κοινωνίας αποτελεί η συνεχόμενη ανάγκη του ανθρώπου για την ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών που εξυπηρετούν την ασφαλή μεταφορά ανθρώπων ή αγαθών σε ένα οδικό δίκτυο. Επιπλέον, μια άλλη κρίσιμη παράμετρος στη μετακίνηση ανθρώπων ή αγαθών είναι οι βιώσιμες μετακινήσεις χρηστών που υλοποιούνται με γνώμονα τον σεβασμό ως προς το περιβάλλον. Η συνεχόμενη αύξηση των κινούμενων οχημάτων σε μια συγκεκριμένη διατομή, μπορεί να οδηγήσει σε μέγιστο όγκο κυκλοφορίας. Σε αυτή την κατάσταση, το φαινόμενο που φαίνεται να προκαλεί μεγάλες καθυστερήσεις στην ώρα ταξιδιού των οχημάτων στην ορισμένη διατομή και είναι γνωστό ως κορεσμός κυκλοφορίας.

Ο κορεσμός της κυκλοφορίας μπορεί να προκαλέσει αύξηση του κοινωνικού κόστους ως προς κάθε μεμονωμένο οδηγό, συμπεριλαμβανομένου του κόστους καυσίμων, του χρόνου, το άγχος του οδηγού και των επιπτώσεων τόσο στη σωματική όσο και στην ψυχική υγεία. Για κάθε έναν οδηγό, μια πρόσφατη μελέτη που εκτιμάται ότι η προσθήκη 20 λεπτών σε μια μετακίνηση μπορεί να εξομοιωθεί με το επίπεδο δυσαρέσκειας για την παραλαβή μιας περικοπής αμοιβής κατά 19% (The (Chatterjee, et al., 2017)

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, παρατηρείται μια συνεχόμενη αύξηση ποικίλων ερευνών που στοχεύουν στην εύρεση της χρυσής τομής της οδικής ασφάλειας σε συνδυασμό με την βιώσιμη αστική κινητικότητα. Επιπλέον, η χρήση της τεχνολογίας στον τομέα της αστικής κινητικότητας επιτυγχάνει την πρόληψη του φαινομένου του κυκλοφοριακού κορεσμού της κυκλοφοριακής ροής. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς, με την χρήση κατάλληλων τεχνολογικών εργαλείων, ο οδηγός μπορεί να ενημερώνεται την ίδια στιγμή για την κατάσταση της κυκλοφοριακής ροής στο διάνυσμα που επέλεξε να μετακινηθεί. Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί ότι μια ακόμη ικανότητα ενημέρωσης του οδηγού σε πραγματικό χρόνο παρέχεται από ένα ενσωματωμένο σύστημα εντός του οχήματος, το οποίο μπορεί να προειδοποιεί τον οδηγό για πιθανή σύγκρουση μετρώντας την απόσταση ασφαλείας του ανάντι οχήματος από το κατάντι.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η τεχνολογία σε συνδυασμό με την κυκλοφοριακή τεχνική μπορεί να εξελίξει τα μέσα οδικής ασφάλειας και να μειώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση στη ροή της κυκλοφορίας (Raju & Farah, 2021) . Αυτό θα μπορούσε να προβλεφθεί με τη χρήση της προσομοίωσης της κυκλοφορίας. Απαιτείται η χρήση διαφόρων προτύπων προσομοίωσης της κυκλοφορίας προκειμένου να κατανοηθεί η απόδοση της κυκλοφορίας στο οδικό δίκτυο (αστικό δρόμο ή τμήματα αυτοκινητοδρόμων).

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω η προσομοίωση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την διερεύνηση διάφορων σεναρίων αντιμετώπισης και πρόληψης πιθανών κυκλοφοριακών επιπτώσεων σε ένα υπό-μελέτη οδικό δίκτυο. Η ανάλυση της παρούσας διπλωματικής εργασίας βασίστηκε κυρίως στην δημιουργία μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μοντέλων προσομοίωσης χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας.

## 1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

**Αντικείμενο** της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η **διερεύνηση των επιπτώσεων Βαρέων Οχημάτων σε Αυτοκινητόδρομο, θέτοντας ως περιοχή μελέτης το τμήμα του αυτοκινητοδρόμου «Θήβα –Τραγάνα»**, στο οποίο εξετάζονται και οι δύο κατευθύνσεις (Αθήνα – Θεσσαλονίκη και Θεσσαλονίκη – Αθήνα). Πιο αναλυτικά, η έρευνα του παραπάνω οδικού δικτύου βασίστηκε σε δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου σε πραγματικές συνθήκες με χρονική περίοδο δύο μηνών ( Σεπτέμβριος - Οκτώβριος 2021). Με την χρήση των δεδομένων αυτών εξετάζεται ο βαθμός επιρροής των Βαρέων Οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή μέσα από σενάρια μικροσκοπικής προσομοίωσης.

**Η χρήση σεναρίων προσομοίωσης** συντελεί στην επίτευξη του ανωτέρω στόχου καθώς αναπτύσσονται αρχικά στατικά σενάρια για την ενσωμάτωση των δεδομένων φόρτου εντός του σχεδιασμένου οδικού δικτύου και την έναρξη της μακροσκοπικής ανάλυσης. Επιπλέον, με την ολοκλήρωση της μακροσκοπικής ανάλυσης και για την εύρεση της επιρροής των Βαρέων Οχημάτων στο οδικό δίκτυο πραγματοποιείται η διαδικασία αναπαραγωγής δυναμικών μοντέλων ανάλογα με τα σενάρια που επιλέχθηκαν και συντελούν ένα μικροσκοπικό μοντέλο.

**Η ανάλυση** βασίζεται σε σενάρια μικροσκοπικής προσομοίωσης για την εύρεση των επιπτώσεων των βαρέων οχημάτων σε περίπτωση μείωσης ή αύξησης του πραγματικού πλήθους τους. Παρακάτω αναφέρονται με την σειρά τα ποσοστά φόρτου που διερευνήθηκαν με βάση το ποσοστό διείσδυσης Βαρέων Οχημάτων στο δίκτυο:

1. 0%
2. 25%
3. 50%
4. 75%
5. 100%
6. 200%
7. 300%

## 1.3 Μεθοδολογία

Ύστερα από την κατανόηση του στόχου της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κρίθηκε απαραίτητο βήμα για την ολοκληρωμένη αντίληψη του αντικειμένου, η πραγματοποίηση **βιβλιογραφικής ανασκόπησης** τόσο σε ξενόγλωσσες όσο και σε ελληνικές πηγές. Με την αναζήτηση βιβλιογραφικού υλικού (όπως άρθρα, έρευνες, βιβλία, και άλλες πηγές) που σχετίζονται με το αντικείμενο μελέτης, δίνεται η δυνατότητα για την δημιουργία μιας έρευνας με ισχυρά θεμέλια τόσο για την ολοκλήρωσή της όσο και για την προοπτική εξέλιξής της.

Επιπλέον, για την μέγιστη κατανόηση των **δεδομένων** κυκλοφοριακού φόρτου, που λήφθηκαν από την εταιρεία «ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.», πραγματοποιήθηκε εκ νέου αναζήτηση βιβλιογραφικού υλικού. Η αναζήτηση αυτή στηρίχθηκε στην **κατανόηση και καταγραφή** των θεμελιωδών στοιχείων κυκλοφοριακής ροής, καθώς και της χρήσης **μοντέλων προσομοίωσης** ανάλογα με

την επιθυμητή ακρίβεια της ανάλυσης. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε μια έρευνα με στόχο την εκμάθηση του λογισμικού προσομοίωσης AIMSUN μέσω της μελέτης του εγχειριδίου και την επίλυση διαφόρων ασκήσεων εκμάθησης που παρέχονται από την εταιρεία «Aimsun Next».

Όσον αφορά τα δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου, η ανάλυση τους ξεκίνησε με την κατάταξη τους σε πίνακα ανά μήνα για κάθε μία από τις έξι στάσεις μελέτης. Οι πίνακες αυτοί βασίζονται σε δεδομένα φόρτου για τέσσερις **κατηγορίες οχημάτων**:

1. Ι.Χ.
2. Λεωφορείο
3. Φορτηγό (Βαρύ Όχημα)
4. Δίκυκλο (Μοτοσυκλέτα)

Από τους πίνακες που σχετίζονται με τον κυκλοφοριακό φόρτο των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των ημερών - **Τρίτης και Πέμπτης** - όπου παρατηρείται ο μεγαλύτερος φόρτος αναφορικά με όλες τις ημέρες όλων των μηνών. Από την ανάλυση των ημερών αυτών υπολογίζεται η **ώρα αιχμής** και κατ' επέκταση η έναρξη της ανάλυσης ποικίλων σεναρίων προσομοίωσης εντός του λογισμικού. Σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων ακολουθούν την ίδια ώρα αιχμής που υπολογίστηκε καθώς η έρευνα στηρίζεται στις επιπτώσεις των Βαρέων Οχημάτων.

**Τα αποτελέσματα** που προέκυψαν αξιολογήθηκαν, μέσα από την σύγκριση δυναμικών σεναρίων, και οδήγησαν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τη λειτουργία του εξεταζόμενου δικτύου.

#### 1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το **πρώτο κεφάλαιο** της διπλωματικής εργασίας αποτελεί την **εισαγωγή**, δηλαδή το αρχικό στάδιο της έρευνας που στοχεύει κυρίως στην κατανόηση του στόχου της εργασίας. Στο κομμάτι της γενικής ανασκόπησης αναφέρονται κάποια πορίσματα ερευνών που βασίστηκαν στην διερεύνηση των επιπτώσεων του κυκλοφοριακού κορεσμού ως προς την ψυχική και σωματική υγεία του οδηγού και των επιβατών. Στην γενική ανασκόπηση αναφέρεται επίσης στην χρήση μοντέλων προσομοίωσης ως ένα εργαλείο ενίσχυσης της οδικής ασφάλειας και της λειτουργικότητας της κυκλοφοριακής ροής ενός οδικού δικτύου. Τέλος, το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την περιγραφή του αντικειμένου της εργασίας καθώς και μια συνοπτική εξήγηση της μεθοδολογίας που λήφθηκε.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** της εργασίας βασίζεται στην **βιβλιογραφική ανασκόπηση**. Πιο συγκεκριμένα, η βιβλιογραφική έρευνα στηρίζεται σε αναζήτηση βιβλιογραφικού υλικού όπως άρθρα, έρευνες, βιβλία, και άλλες πηγές με αντικείμενο την αναπαράσταση ενός οδικού δικτύου ως προς την μικροσκοπική ανάλυση. Επιπλέον, εξετάζονται τρεις τομείς βιβλιογραφικών ερευνών : (Βαθμονόμηση - Κυκλοφοριακή προσέγγιση, Οδική Ασφάλεια, Οδικό Περιβάλλον) εκ των οποίων τίθενται επιγραμματικά κάποιες από τις έρευνες αυτές δίνοντας βάση στον σκοπό, τη μεθοδολογία αλλά και τα συμπεράσματα της κάθε μίας έρευνας ξεχωριστά.

Το **τρίτο κεφάλαιο** συντελεί το **θεωρητικό υπόβαθρο**. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιείται αναζήτηση βιβλιογραφικών πληροφοριών προκειμένου να γίνουν πιο αντιληπτά τα θεμελιώδεις στοιχεία της κυκλοφοριακής ροής. Επιπλέον, υλοποιείται και μια ομαλή εισαγωγή στην έννοια της προσομοίωσης ενός οδικού άξονα, καθώς δίνονται πληροφορίες για τις κατηγορίες των μοντέλων προσομοίωσης και της χρησιμότητάς τους ανάλογα με την κλίμακα της ανάλυσης. Τέλος, δημιουργείται μια αναφορά για το λογισμικό που στηρίχθηκε η ανάλυση της εργασίας καθώς και κάποια από τα πιο κύρια υποδείγματα μικροσκοπικών προσομοιωτών κυκλοφορίας.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** περιγράφεται η **συλλογή των δεδομένων** κυκλοφοριακού φόρτου καθώς και τα πρώτα στάδια **επεξεργασίας** των δεδομένων αυτών σε περιβάλλον Excel. Επιπλέον, δίνεται η συγκεκριμένη ακολουθία των βημάτων μέχρι και τα τελικά στοιχεία που χρειάζονται για την εισαγωγή τους ως δεδομένα φόρτου σε στατικά και δυναμικά σενάρια προσομοίωση στο λογισμικό AIMSUN.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** στηρίζεται η **υλοποίηση** των δυναμικών **μοντέλων μικροπροσομοίωσης** για την εύρεση των επιπτώσεων των βαρέων οχημάτων σε περίπτωση μείωσης ή αύξησης του πραγματικού πλήθους τους κατά τα παρακάτω ποσοστά:

Μείωση του πλήθους Βαρέων Οχημάτων κατά ποσοστό:

1. 100% (Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 0%)
2. 75% (Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 25%)
3. 50% (Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 50%)
4. 25% (Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 75%)
5. 0% (Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 100%)

Αύξηση του πλήθους Βαρέων Οχημάτων κατά ποσοστό:

1. 100% (Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 200%)
2. 200% (Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 300%)

Στο **έκτο κεφάλαιο**, με βάση τα παραπάνω δυναμικά σενάρια, πραγματοποιείται η εξαγωγή **αποτελεσμάτων ανάλυσης** σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων αναφορικά με τα ποσοστά μείωσης ή αύξησης του πλήθους των βαρέων οχημάτων στην κυκλοφορία.

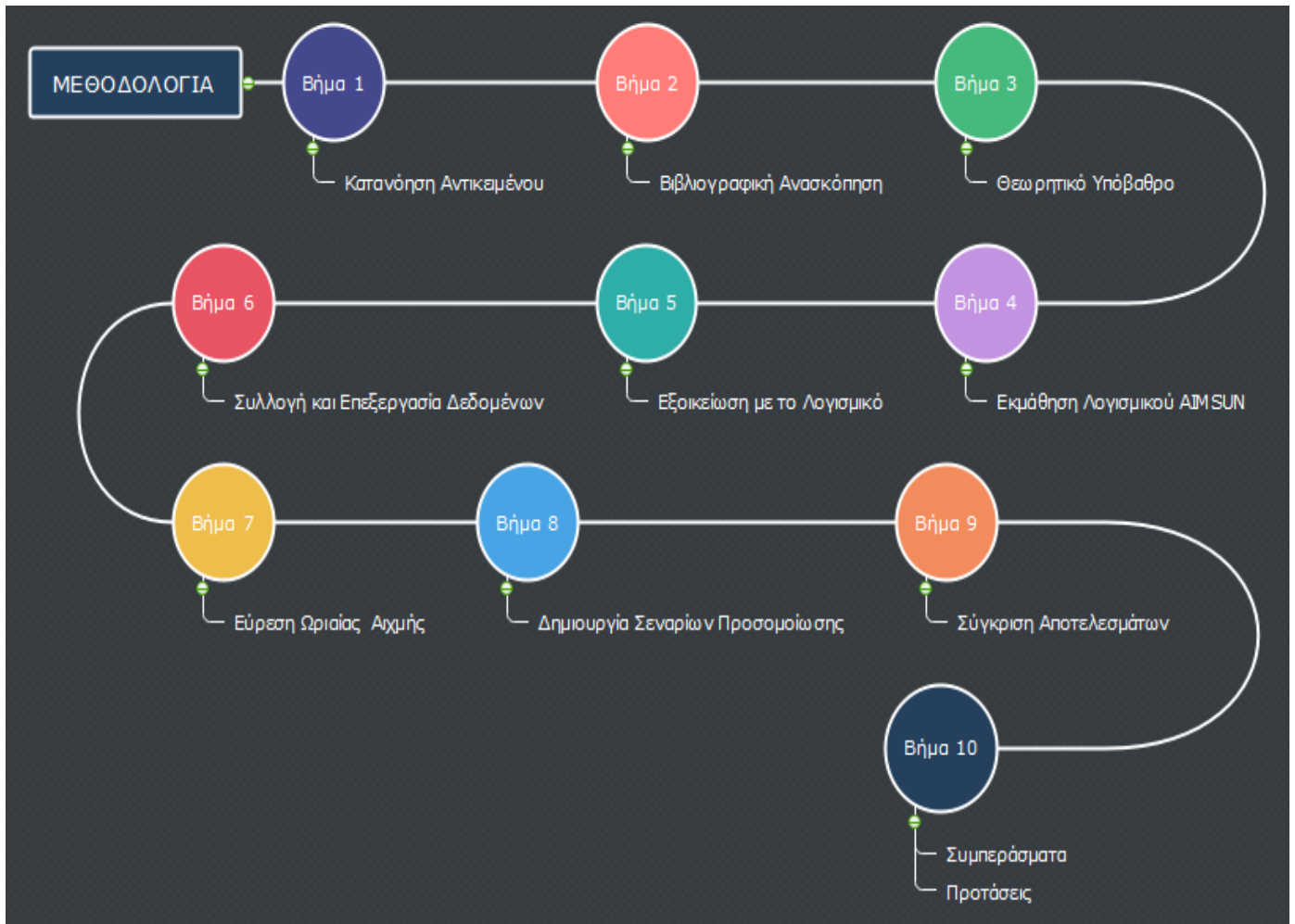
Στο **έβδομο κεφάλαιο** φαίνεται συγκεντρωτικά η συλλογή των κυριότερων **συμπερασμάτων** που δόθηκαν κατά την διάρκεια της μελέτης των στοιχείων της εργασίας. Στην αρχή του κεφαλαίου αποδίδεται η σύνοψη των σημαντικότερων σημείων της έρευνας με την ακολουθία των **αποτελεσμάτων** τους. Στο τέλος γράφονται **προτάσεις** για το πως αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν και να δώσουν σημαντικές επιλύσεις επί της έρευνας αυτής, σε περισσότερες έρευνες και γενικά στο να καλυτερεύσουν τον τομέας της οδικής ασφάλειας.

Στο **όγδοο κεφάλαιο** έχουμε παράθεση του καταλόγου των **βιβλιογραφικών αναφορών** που χρησιμοποιήθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια της εκπόνησης της Διπλωματικής εργασίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μεθοδολογικά βήματα της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



**Διάγραμμα 1:** Διάγραμμα Ροής Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Γενική Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνονται έρευνες που σχετίζονται με την **προσομοίωση της κυκλοφορίας** ενός οδικού άξονα. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται σε βιβλιογραφικές έρευνες με αντικείμενο την αναπαράσταση ενός οδικού δικτύου ως προς την μικροσκοπική ανάλυση με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης «Aimsun Next».

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι έρευνες αυτές αποτελούν μια σύνδεση ως προς το γνωστικό αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας καθώς κύριος στόχος της είναι η **μικροσκοπική ανάλυση** χαρακτηριστικών αυτοκινητοδρόμου μέσω ενός λογισμικού προσομοίωσης.

Οι **τομείς** οι οποίοι εξετάζονται περιλαμβάνουν:

1. Βαθμονόμηση - Κυκλοφοριακή προσέγγιση
2. Οδική Ασφάλεια
3. Οδικό περιβάλλον

Παρακάτω τίθενται επιγραμματικά κάποιες από τις έρευνες αυτές δίνοντας βάση στον **σκοπό**, τη **μεθοδολογία** αλλά και τα **συμπεράσματα** της κάθε μίας έρευνας ξεχωριστά.

### 2.2 Συναφείς Έρευνες

#### 2.2.1 Βαθμονόμηση– Κυκλοφοριακή προσέγγιση

##### 2.2.1.1 Calibration of a New Microsimulation Package for the Evaluation of Traffic Safety Performances (Vittorio, et al., 2012)

Ο **στόχος** της παρούσας μελέτης είναι η αναλυτική παρουσίαση μιας **τεχνικής βαθμονόμησης και επαλήθευσης** ενός μοντέλου **μικροπροσομοίωσης** για τη βραχυπρόθεσμη ανάλυση οδικής ασφάλειας.

Το **μικροσκοπικό μοντέλο** που αναπτύχθηκε επιτρέπει την εκτίμηση της απόδοσης οδικής ασφάλειας μέσω μιας σειράς δεικτών (Δείκτης πιθανής συντριβής, ρυθμός επιβράδυνσης για αποφυγή συντριβής, μέγιστη διαθέσιμη επιβράδυνση, εκτιμώμενο χρονικό διάστημα σύγκρουσης, κ.λπ.), που αντιπροσωπεύουν τις αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαφορετικών ζευγών οχημάτων που ανήκουν στην κυκλοφορία. Όταν αυτοί οι δείκτες λάβουν μια ορισμένη κρίσιμη τιμή, προσδιορίζεται ένα πιθανό σενάριο ατυχήματος.

Η **διαδικασία βαθμονόμησης** εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης για τη συστηματική τροποποίηση των 5 παραμέτρων του βασικού μοντέλου συμπεριφοράς προκειμένου να προσαρμόζονται οι χρόνοι ταξιδιού που λαμβάνονται από προσομοιώσεις στους μετρούμενους χρόνους διαδρομής. Τα πειραματικά μέτρα ελήφθησαν σε μία τοποθεσία μέτρησης από μια έρευνα σε έναν αδιαίρετο αγροτικό αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων και παράχθηκαν χρησιμοποιώντας μια ειδικά αναπτυγμένη ψηφιακή επεξεργασία βίντεο. Προκειμένου να εκτιμηθεί η ικανότητα του μοντέλου μικροπροσομοίωσης να αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα και, κατά συνέπεια, να κάνει περαιτέρω προβλέψεις, πραγματοποιήθηκε μια τεχνική επαλήθευσης. Στη διαδικασία επαλήθευσης ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης δείχνει την ικανότητα να αυξάνεται η καλή προσαρμογή των εκτιμώμενων χρόνων ταξιδιού στις μετρούμενες τιμές. Οι εκτιμώμενες παράμετροι του μοντέλου του αυτοκινήτου χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της καλής προσαρμογής με ένα σύνολο παρατηρήσεων που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί προηγουμένως στη διαδικασία βαθμονόμησης.

Αυτή η διαδικασία έφερε πολύ καλά αποτελέσματα που δείχνουν πώς τα **σφάλματα εκτίμησης** του χρόνου ταξιδιού μπορούν να **μειωθούν σημαντικά**, ακόμη και σε διαφορετικές συνθήκες κυκλοφορίας σε σχέση με το σενάριο βαθμονόμησης, χρησιμοποιώντας το σύνολο των παραμέτρων που λαμβάνονται στη διαδικασία βελτιστοποίησης.

### 2.2.1.2 Simplex-Based Calibration of Traffic Microsimulation Models with Intelligent Transportation Systems Data (Kyu-Ok & L. R., 2003)

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η απάντηση του ερωτήματος που πλανάται τα τελευταία χρόνια στην μοντελοποίηση συστημάτων μεταφορών. Το ζήτημα είναι εάν αυτά **τα μοντέλα** αντιπροσωπεύουν επαρκώς την **πραγματικότητα** και εάν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για τη **βαθμονόμηση** αυτών των μοντέλων. Τα τελευταία δέκα χρόνια, σε περιοχές της Βόρειας Αμερικής, υπήρξε ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών ευφών συστημάτων μεταφορών (ITS). Ενώ τα ITS αναπτύσσονται κυρίως για **χαρακτηριστικά κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο**, τα δεδομένα συνήθως αρχειοθετούνται και είναι διαθέσιμα για βαθμονόμηση μοντέλων **μικροπροσομοίωσης**.

Πιο αναλυτικά, η μεθοδολογία της έρευνας είναι βασισμένη στον αλγόριθμο sequential simplex, που χρησιμοποιεί δεδομένα ITS για τη βαθμονόμηση μοντέλων μικροπροσομοίωσης. Το ερευνητικό κομμάτι αποτελεί ένα τμήμα 23 χιλιομέτρων του Interstate 10 στο Χιούστον του Τέξας στο οποίο βαθμονομήθηκαν δύο μοντέλα μικροπροσομοίωσης, **CORSIM** και **TRANSIMS**, για δύο διαφορετικούς πίνακες ζήτησης σε τρεις περιόδους (πρωινή αιχμή, βραδινή αιχμή και εκτός αιχμής).

Το αποτέλεσμα της έρευνας είναι ότι ο **αλγόριθμος simplex**, για την **πρωινή αιχμή**, είχε **καλύτερα αποτελέσματα** είτε από τις προεπιλεγμένες τιμές είτε από μια απλή, χειροκίνητη βαθμονόμηση. Καθώς **μειώνεται το επίπεδο κυκλοφοριακής συμφόρησης**, **μειώθηκε και η αποτελεσματικότητα** της προσέγγισης του αλγορίθμου, σε σύγκριση με τις τυπικές τεχνικές.

### 2.2.1.3 A methodology for calibration of traffic micro-simulator for urban heterogeneous traffic operations (Maheshwary, et al., 2020)

Η παρούσα μελέτη έχει ως **στόχο** τη **βαθμονόμηση** ενός μοντέλου **μικροπροσομοίωσης** χαρακτηριστικών κυκλοφορίας, δίνοντας τη δέουσα προσοχή στη συμπεριφορά οδηγού συγκεκριμένης κατηγορίας οχήματος σε ένα αστικό σενάριο Ινδίας για ένα τμήμα μεσαίου τμήματος και μια προσέγγιση διασταύρωσης στην Καλκούτα.

Πιο συγκεκριμένα, οι ευαίσθητες παράμετροι που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού προσδιορίστηκαν για κάθε τύπο οχήματος χρησιμοποιώντας τη σχεδίαση Latin Hypercube, λαμβάνοντας ως μέτρο απόδοσης τον συγκεκριμένο χρόνο ταξιδιού για την κατηγορία του οχήματος.

Η **μεθοδολογία** της έρευνας αυτής βασίζεται στην **ανάπτυξη μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης** για κάθε **κατηγορία οχημάτων** λαμβάνοντας υπόψη τις ευαίσθητες παραμέτρους οδικής συμπεριφοράς. Τα μοντέλα φανερώνουν ότι η εξάρτηση του μέτρου της αποτελεσματικότητας ενός τύπου οχήματος δεν περιορίζεται μόνο στη συμπεριφορά του οδηγού του αλλά και σε παραμέτρους άλλων κατηγοριών οχημάτων. Μια βελτιστοποίηση βασισμένη σε γενετικό αλγόριθμο υιοθετήθηκε για να ληφθούν τα βέλτιστα σύνολα παραμέτρων για διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων.

Με την εύρεση **βέλτιστων τιμών** διαπιστώθηκε ότι **ποικίλλουν σημαντικά** σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων σε επίπεδο εμπιστοσύνης **95%**. Οι αρχές βαθμονόμησης ενός και πολλαπλών κριτηρίων εφαρμόζονται επίσης για να αποφέρουν πολύ πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα και, στη συνέχεια, να ελαχιστοποιήσουν τα σταθμισμένα σφάλματα για όλες τις κατηγορίες οχημάτων.

### 2.2.1.4 Investigating and Calibrating the Dynamics of Vehicles in Traffic Micro-simulations Models (Madi, 2016)

Αυτή η ερευνητική εργασία διερεύνησε δύο κύριες προσεγγίσεις στη μελέτη με **στόχο** την αναπαράσταση της δυναμικής του αυτοκινήτου στο μοντέλο **μικροπροσομοίωσης** με την χρήση του λογισμικού **AIMSUN**.

Πιο αναλυτικά, η **πρώτη** προσέγγιση ήταν η χρήση δεδομένων τροχιών πεδίου στη **βαθμονόμηση** των παραμέτρων δυναμικής του αυτοκινήτου του εσωτερικού μοντέλου συμπεριφοράς που ακολουθεί το αυτοκίνητο στο **AIMSUN**, η **δεύτερη** προσέγγιση ήταν να **συγκρίνει τις εξόδους** των προσομοιωμένων μοντέλων δραστηριότητας οχημάτων με δεδομένα δραστηριότητας οχημάτων πεδίου που ελήφθησαν από ένα πλήρες επανδρωμένο όχημα κατά μήκος της διαδρομής. Οι τροχιές του οχήματος που ελήφθησαν στο πεδίο περιείχαν δεδομένα ταχυτήτων και επιτάχυνσης δευτερόλεπτο προς δευτερόλεπτο, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για την **αξιολόγηση** της απόδοσης του **μοντέλου AIMSUN** τόσο σε **μακροσκοπικό** όσο και σε **μικροσκοπικό** επίπεδο.

Τα ευρήματα έδειξαν ότι η **βαθμονόμηση** της δυναμικής των οχημάτων σε μοντέλα που ακολουθούν την τροχιά των οχημάτων **μείωσε** τις τιμές των επιταχύνσεων και των επιβραδύνσεων στις προσομοιώσεις. Ωστόσο, αυτό **δεν επηρέασε** τη συμπεριφορά των τροχιών του οχήματος που συνέχισαν να εμφανίζουν απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, οι οποίες δεν είναι αντιπροσωπευτικές των πραγματικών συμπεριφορών. Η έρευνα έδειξε ότι η χρήση πραγματικών δεδομένων για την **αξιολόγηση του μοντέλου** εσωτερικής συμπεριφοράς που ακολουθεί την τροχιά ενός οχήματος παρείχε μια αποτελεσματική και υπολογιστικά αποδοτική μεθοδολογία επιβεβαίωσης, η οποία πρόσφερε ένα επιπλέον επίπεδο ακρίβειας στις διαθέσιμες τυπικές διαδικασίες επιβεβαίωσης.

#### 2.2.1.5 Analysis of Alternative Scenarios for Managing Traffic Incidents Through Micro Simulation (Charoniti, et al., 2017)

**Σκοπός** της παραπάνω έρευνας αποτελεί η **δημιουργία σεναρίων επιρροής** επιπτώσεων ενός κυκλοφοριακού συμβάντος σε κεντρικό αστικό δίκτυο της Αθήνας. Επιπλέον, η έρευνα αυτή στοχεύει στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των επιπτώσεων αυτών με **μοντέλα μικροπροσομοίωσης** τα οποία υλοποιούνται στο **πρόγραμμα** μικροσκοπικής προσομοίωσης **PTV Vissim**. Πιο συγκεκριμένα, για την ολοκλήρωση της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της έρευνας αξιοποιήθηκαν οι εξής παράμετροι λειτουργικής απόδοσης:

1. Χρόνος διαδρομής
2. Καθυστερήσεις
3. Μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα
4. Μήκος ουρών

Η **μεθοδολογία** βασίστηκε στην δημιουργία **δύο σεναρίων** αντιμετώπισης των επιπτώσεων. Πιο αναλυτικά, το **πρώτο σενάριο** εφαρμόστηκε για την βελτίωση των χρόνων των φωτεινών σηματοδοτών επί του οδικού άξονα του συμβάντος. Το **δεύτερο σενάριο** εφαρμόστηκε για την καθοδήγηση των οχημάτων σε εναλλακτική διαδρομή, η οποία προτείνεται στους οδηγούς μέσω Πινακίδας Μεταβλητών Μηνυμάτων πριν της δημιουργίας του συμβάντος.

**Τα αποτελέσματα** της έρευνας έδειξαν ότι οι **κυκλοφοριακές συνθήκες** μπορούν να **βελτιωθούν** περισσότερο αν τεθεί σε εφαρμογή το **πρώτο σενάριο αντιμετώπισης**, ενώ με το δεύτερο σενάριο σε εφαρμογή παρατηρήθηκε μεγαλύτερη επιδείνωση των κυκλοφοριακών συνθηκών των οδικών αξόνων που εφαρμόστηκαν ως εναλλακτική διαδρομή.

## 2.2.2 Οδική Ασφάλεια

### 2.2.2.1 Investigating road safety issues through a microsimulation model (Vittorio, et al., 2011)

Η συγκεκριμένη εργασία βασίζεται στην **αξιολόγηση της εγκυρότητας** της αναπαραγωγής της **συμπεριφοράς του χρήστη** υπό διαφορετικές συνθήκες ροής και γεωμετρίας, **με την χρήση της προσομοίωσης**. Κατ' αυτόν το τρόπο μπορεί να εντοπισθεί ένα πιθανό περιστατικό κινδύνου και συνεπώς να ληφθούν κατάλληλα αντίμετρα σε συγκεκριμένα σημεία του οδικού δικτύου. Επιπλέον, άλλος ένας **στόχος** της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση μιας νέας μεθοδολογίας για την **διερεύνηση θεμάτων οδικής ασφάλειας**. Συγκεκριμένα, ένα βαθμονομημένο μοντέλο μικροπροσομοίωσης αναπτύχθηκε για να αναλύει τις τροχιές των οχημάτων, και ως εκ τούτου τις αλληλεπιδράσεις των οχημάτων, σε ορισμένα διαφορετικά σενάρια με ταυτόχρονη επαλήθευση των επιπέδων οδικής ασφάλειας.

**Το μικροσκοπικό μοντέλο** επιτρέπει την εκτίμηση της απόδοσης οδικής ασφάλειας μέσω μιας σειράς δεικτών (Δείκτης πιθανής σύγκρουσης, ρυθμός επιβράδυνσης για αποφυγή συντριβής, μέγιστος διαθέσιμος ρυθμός επιβράδυνσης, χρονικό διάστημα σύγκρουσης, κλπ.), που αντιπροσωπεύει τις αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαφορετικών ζευγών οχημάτων που ανήκουν στο συγκεκριμένο ρεύμα κυκλοφορίας. Όταν οι δείκτες αυτοί παίρνουν μια ορισμένη κρίσιμη τιμή, εντοπίζεται ένα πιθανό σενάριο ατυχήματος. Η επαλήθευση της προτεινόμενης μεθοδολογίας μπορεί να γίνει συγκρίνοντας την εκτιμώμενη τιμή από τους δείκτες απόδοσης ασφάλειας σε προσομοιωμένα και πραγματικά σενάρια. Το μοντέλο μικροσκοπικής προσομοίωσης συνδυάζεται επίσης με έναν νέο αλγόριθμο ανίχνευσης κυκλοφορίας εικόνων ή βίντεο για τον εντοπισμό τροχιών οχημάτων. Οι μικροσκοπικές παράμετροι ροής κυκλοφορίας που λαμβάνονται με ανίχνευση βίντεο χρησιμοποιούνται, στην πραγματικότητα, για τη βαθμονόμηση του μοντέλου μικροπροσομοίωσης.

Η προαναφερθείσα μεθοδολογία έχει εφαρμοστεί στην ανάλυση ελιγμών προσπέρασης σε μονή λωρίδα σε οδό ταχείας κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι **η μεθοδολογία** μπορεί να είναι **χρήσιμη στην εκτίμηση των δεικτών απόδοσης ασφάλειας** και στην **αξιολόγηση μέτρων ελέγχου της κυκλοφορίας**.

### 2.2.2.2 Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling (Young, et al., 2014)

Η έρευνα αυτή **αποσκοπεί** στην **αξιολόγηση** της χρήσης **μοντέλων** υπολογιστών για την **προσομοίωση** και την αξιολόγηση του επιπέδου ασφάλειας στα υπάρχοντα και μελλοντικά συστήματα κυκλοφορίας και εξετάζει τις εξελίξεις στον τομέα των μοντέλων προσομοίωσης **οδικής ασφάλειας**. Ειδικότερα, εξετάζει μοντέλα υπολογιστών για τη συμπεριφορά του οδηγού και του οχήματος σε ένα οδικό πλαίσιο.

Πιο συγκεκριμένα, η παραπάνω έρευνα επικεντρώνεται στα στοχαστικά αριθμητικά μοντέλα της οδικής συμπεριφοράς και στο πόσο αξιόπιστα είναι αυτά για την εκτίμηση των επιπέδων

ασφάλειας στο οδικό δίκτυο. Μοντέλα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται συνήθως στην αξιολόγηση των συστημάτων κυκλοφορίας για διαθεσιμότητα, καθυστέρηση και γενική απόδοση. Η προσθήκη ασφάλειας σε αυτό το καθεστώς αξιολόγησης προσφέρει μία πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των μελλοντικών συστημάτων κυκλοφορίας. Μέχρι σήμερα τα μοντέλα έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην κυκλοφορία οχημάτων, δηλαδή αυτοκίνητα και βαρέα οχήματα. Έχει αποδειχθεί ότι αυτά τα μοντέλα έχουν δυνατότητες στη μέτρηση του επιπέδου σύγκρουσης σε ορισμένα σημεία του οδικού δικτύου και η μέτρηση της σύγκρουσης συνάδει με τα στατιστικά στοιχεία σφαλμάτων. Το ενδιαφέρον για την πρόβλεψη ατυχημάτων και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων αυξάνεται και τα νέα μοντέλα επικεντρώνονται στη συνέχεια των γενικών συνθηκών κυκλοφορίας, των συγκρούσεων, των σοβαρών συγκρούσεων, των ατυχημάτων και των σοβαρών ατυχημάτων. Η παρούσα έρευνα, διερευνά επίσης τους γενικούς τύπους δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη, τη βαθμονόμηση και την επικύρωση αυτών των μοντέλων.

Συνεπώς, η πρόσφατη **τεχνολογική εξέλιξη** στη συλλογή δεδομένων εντός του οχήματος, στους προσομοιωτές οδηγού και στη μηχανική εκμάθηση προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη **βελτίωση της οδικής συμπεριφοράς**, της αυστηρότητας και της εφαρμογής μοντέλων προσομοίωσης **οδικής ασφάλειας**.

### 2.2.2.3 A simulation-based approach to assess the safety performance of road locations (Sobhani, et al., 2013)

Ο **σκοπός** της παρούσας έρευνας είναι η ανάπτυξη μιας προσεγγιστικής μοντελοποίησης **προσομοίωσης** για την αξιολόγηση της απόδοσης της **οδικής ασφάλειας**. Οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει στατιστική ανάλυση, αριθμητική μοντελοποίηση χρησιμοποιώντας τους Νόμους του Νεύτωνα και μοντέλα **μικροπροσομοίωσης** για την εκτίμηση την απόδοση της **οδικής ασφάλειας**.

Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία της έρευνας αυτής στηρίζεται στην αξιοποίηση της **μικροπροσομοίωσης** που αποτελεί την βάση του πλαισίου έρευνας, ενώ τα στατιστικά και αριθμητικά μοντέλα που χρησιμοποιούν τους Νόμους του Νεύτωνα είναι τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται και ενσωματώνονται στο μοντέλο μικροπροσομοίωσης. Η είσοδος στο μοντέλο μικροπροσομοίωσης είναι οι γενικές συνθήκες κυκλοφορίας και η έξοδος του είναι ένα μέτρο της απόδοσης οδικής ασφάλειας.

Το πλαίσιο αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία. Το πρώτο στοιχείο σχετίζεται με την εκτίμηση του αριθμού και της σοβαρότητας των συγκρούσεων από τις γενικές εισροές ροής κυκλοφορίας. Το δεύτερο στοιχείο είναι μια εκτίμηση της αναμενόμενης σοβαρότητας τραυματισμού των ατόμων που εμπλέκονται στη σύγκρουση, σε περίπτωση που η προσομοίωση σύγκρουσης οδηγήσει σε συντριβή. Η βάση δεδομένων Australian Crash In-Depth Study (ANCIS) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των στατιστικών και αριθμητικών παραμέτρων του μοντέλου.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε μια μη-σηματοδοτημένη διασταύρωση τεσσάρων ποδίων στη Μελβούρνη της Αυστραλίας. Η μικροπροσομοίωση βαθμονομήθηκε για να μοντελοποιήσει τις κινήσεις της κυκλοφορίας στη διασταύρωση.

Το μοντέλο προσομοίωσης VISSIM εκτελέστηκε για περίοδο προσομοίωσης 3 ωρών και για τρεις διαφορετικές μικρές ροές κυκλοφορίας (**20 veh/h, 40 veh/h και 80 veh/h**) στην Victoria Road. Με την μέθοδο της απόλυτης σύγκρισης των αποτελεσμάτων του μοντέλου προσομοίωσης VISSIM χρησιμοποιήθηκαν τα παραπάνω **τρία σενάρια ροών κυκλοφορίας**. Επιπρόσθετα, στην μέθοδο αυτή, υπολογίστηκαν οι μέσοι αναμενόμενοι ISS και ΚΕ για τα οχήματα που εμπλέκονται σε σοβαρή σύγκρουση ενώ στη μέθοδο σχετικής σύγκρισης υπολογίστηκε η μέση τιμή του αναμενόμενου ISS και ΚΕ για όλα τα δευτερεύοντα οχήματα προσέγγισης. Για την σχετική σύγκριση της περίπτωσης εμπλοκής ενός οχήματος σε μη σοβαρή σύγκρουση, τα ΚΕ και το αναμενόμενο ISS είναι μηδέν.

Συνεπώς, τα **αποτελέσματα** της απόλυτης σύγκρισης έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική **διαφορά** μεταξύ του **πρώτου** και του **τρίτου** σεναρίου. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της σχετικής σύγκρισης έδειξαν ότι δεν υπάρχει καμία σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών προσομοιωμένων σεναρίων.

Η προσέγγιση **μοντελοποίησης** που αναλύθηκε στην συγκεκριμένη έρευνα **ενισχύει** τη διαδικασία μοντελοποίησης της **αξιολόγησης** της **οδικής ασφάλειας** με βάση τις συγκρούσεις, καθώς παρέχει ένα λεπτομερές πλαίσιο για την εκτίμηση της σοβαρότητας των αναμενόμενων ατυχημάτων για κάθε σύγκρουση με την χρήση της μικροπροσομοίωσης. Ακόμη, το αναπτυγμένο πλαίσιο μοντελοποίησης χρησιμοποιεί συνδυασμό μικροπροσομοίωσης, στατιστικής και αριθμητικής ανάλυσης με στόχο την ενσωμάτωση των συγκρούσεων με τη σοβαρότητα της σύγκρουσης για την παροχή καλύτερης αξιολόγησης της ασφάλειας του οδικού δικτύου. Δεδομένου ότι, στο σε αυτό το σημείο, δεν υπάρχουν μικροσκοπικοί αλγόριθμοι κυκλοφορίας αρκετά αξιόπιστοι για να αναπαράγουν περιστατικά ατυχημάτων, αυτά τα μοντέλα εφαρμόστηκαν μετά την ανίχνευση της σύγκρουσης από τη **μικροπροσομοίωση** καθώς αντιπροσωπεύει μια προσέγγιση για τη **βελτίωση** της χρησιμότητας της μικροπροσομοίωσης για την **αξιολόγηση** των παραμέτρων της **οδικής ασφάλειας**.

#### **2.2.2.4 A combined use of microscopic traffic simulation and extreme value methods for traffic safety evaluation** (Wang, et al., 2018)

Ο **στόχος** της έρευνας αυτής αποτελεί η ανάδειξη μιας **συνδυασμένης χρήσης μικροσκοπικής προσομοίωσης** της κυκλοφορίας με την θεωρία ακραίων τιμών (EVT) για την **αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας**. Στο πλαίσιο της έρευνας περιλαμβάνονται δέκα αστικές διασταυρώσεις στην περιοχή Fengxian στη Σαγκάη στις οποίες εφαρμόστηκαν **τρεις στρατηγικές βαθμονόμησης** για την ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης για κάθε διασταύρωση: μια βασική στρατηγική με εισαγωγή θεμελιωδών δεδομένων, μια στρατηγική ημι-βαθμονόμησης που προσαρμόζει τις παραμέτρους συμπεριφοράς του οδηγού με βάση τα Μέτρα Αποτελεσματικότητας (MOE), και μια στρατηγική πλήρους βαθμονόμησης που μεταβάλλει τις παραμέτρους συμπεριφοράς του οδηγού τόσο με το MOE όσο και με τα Μέτρα Ασφάλειας (MOS). Το SSAM χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή δεδομένων **προσομοίωσης σύγκρουσης** από αρχεία τροχιάς οχήματος από το VISSIM και εισήχθη η συλλογή δεδομένων βάσει βίντεο για να βοηθήσει εκπαιδευμένους παρατηρητές να συλλέξουν δεδομένα σύγκρουσης στο οδικό δίκτυο. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι που βασίζονται στο



EVT για τη μοντελοποίηση δεδομένων προσομοίωσης/σύγκρουσης πεδίου και για την εξαγωγή της Εκτιμώμενης Ετήσιας Συχνότητας Συντριβής (EACF), που χρησιμοποιείται ως Μέτρα Υποκατάστασης Ασφάλειας (SSM). Το PET χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση EVT για τρεις τύπους σύγκρουσης: διάβαση, πίσω άκρο και αλλαγή λωρίδας. Τα EACF που βασίζονται σε τρεις στρατηγικές βαθμονόμησης προσομοίωσης συγκρίθηκαν με το EACF που βασίζεται στο πεδίο, το συμβατικό SSM που βασίζεται σε τεχνικές συγκρούσεων (TCT) και την πραγματική συχνότητα σύγκρουσης, όσον αφορά την άμεση συσχέτιση, τη συσχέτιση κατάταξης και την ακρίβεια πρόβλεψης.

Τα **αποτελέσματα** έδειξαν ότι το **MOS** θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη **βαθμονόμηση** του μοντέλου προσομοίωσης και το **EACF** με βάση τη στρατηγική πλήρους βαθμονόμησης φάνηκε να είναι **καλύτερη επιλογή** για την **αξιολόγηση των παραμέτρων οδικής ασφάλειας** βάσει προσομοίωσης, σε σύγκριση με άλλα υποψήφια μέτρα ασφαλείας. Γενικά, η συνδυασμένη χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφορίας και EVT είναι ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για την αξιολόγηση της ασφάλειας.

### 2.2.3 Οδικό Περιβάλλον

#### 2.2.3.1 New features of Tritone for the evaluation of traffic safety performances (Astarita, et al., 2017)

**Σκοπός** της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει τα νέα **χαρακτηριστικά ενός μοντέλου μικροπροσομοίωσης** που αναπτύχθηκε αρχικά για την **εκτίμηση της απόδοσης οδικής ασφάλειας**. Ο παρουσιαζόμενος μικροπροσομοιωτής έχει πολλά νέα χαρακτηριστικά που μπορούν να είναι χρήσιμα σε μηχανικούς και ερευνητές όπως:

1. Δυναμικός υπολογισμός δεικτών κυκλοφορίας και οδικής ασφάλειας.
2. Προσομοίωση δορυφορικών δεδομένων θέσης που λαμβάνονται από GPS και smartphone.
3. Προσομοίωση προσαρμοστικών φωτεινών σηματοδοτών που ενεργοποιούνται από δεδομένα FCD.
4. 20 διαφορετικά μοντέλα ακουστικών εκπομπών.
5. Δυνατότητα συνεκτίμησης «ενόργανων» οχημάτων για την αξιολόγηση του νέου Ευφυούς Συστήματος Μεταφορών.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά αξιοποιούνται για τον υπολογισμό του οδικού περιβάλλοντος μέσω του προγράμματος προσομοίωσης **TRITONE**.

Συμπερασματικά, οι αξιολογήσεις δεικτών ασφαλείας επιτρέπουν στους σχεδιαστές να επωφεληθούν από τη διαθεσιμότητα ενός **χρήσιμου και καινοτόμου εργαλείου για προσομοίωση κυκλοφορίας**.

### 2.2.3.2 Safety performance measures: A comparison between microsimulation and observational data (Giuseppe Piero, et al., 2011)

Ο σκοπός της παραπάνω έρευνας είναι **προσομοίωση της οδικής ασφάλειας** σύμφωνα με τους δείκτες απόδοσης ασφάλειας που λαμβάνονται μέσω ενός αλγόριθμου επεξεργασίας εικόνας ή βίντεο για την **ανίχνευση και παρακολούθηση οχήματος**. Η ακρίβεια του αλγόριθμου αξιολογείται σε σχέση με τις δορυφορικές μετρήσεις GPS. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος υιοθετεί μια προσέγγιση βασισμένη στην αφαίρεση φόντου για την ανίχνευση οχήματος σε βήματα του 0,1 δευτερολέπτου. Δεδομένου ότι αυτή η προσέγγιση είναι ευαίσθητη σε αλλαγές φόντου (ή θόρυβο), έχει εισαχθεί μια τεχνική φίλτρου μέσου όρου. Με τον τρόπο αυτό μεμονωμένα οχήματα εντοπίζονται και παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση βάσει περιοχής, όπου μια συνδεδεμένη ζώνη (ή blob) εκχωρείται σε κάθε εικόνα, η οποία στη συνέχεια παρακολουθείται κάθε χρονική στιγμή. Σε περίπτωση επικάλυψης, όπου η καθορισμένη κηλίδα μπορεί να αντιστοιχεί σε πολλά οχήματα, γίνεται πρόσβαση σε μια υπο-τροχιά σε πραγματικό χρόνο που διακρίνει χειροκίνητα τη συγκεκριμένη θέση κάθε συμπεριλαμβανομένου οχήματος μέσα στο blob.

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής αλγόριθμου εκφράζεται με όρους αρκετών περιγραφικών τροχιών με την πάροδο του χρόνου, όπως η θέση και η ταχύτητα. Το επίκεντρο αυτής της εργασίας είναι η ανάλυση της οδικής ασφάλειας από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες: μικροπροσομοίωση και δεδομένα παρατήρησης.

Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να προσδιοριστεί πώς η **μικροπροσομοίωση αντικατοπτρίζει την «πραγματική» συμπεριφορά του οδηγού και τις συνθήκες κυκλοφορίας** για μια δεδομένη μελέτη περίπτωσης.

### 2.2.3.3 Simulation of Traffic Flows on the Road Network of Urban Area (Ugненко, et al., 2016)

Ο σκοπός της έρευνας αυτής είναι η **διερεύνηση μοντέλων, κριτηρίων και μεθόδων εκτίμησης** των τρεχουσών συνθηκών **κυκλοφορίας στο αστικό δίκτυο**. Ειδικότερα, τα δεδομένα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη των παραμέτρων αξιοπιστίας της ροής της κυκλοφορίας για συγκεκριμένες καταστάσεις αστικών μεταφορών για την εξαγωγή πληροφοριών από ανιχνευτές κυκλοφορίας και οχήματα επανδρωμένα με ανιχνευτές. Ακόμη, έχουν ληφθεί σχέσεις μεταξύ χρόνου ταξιδιού, χρόνου στάσης, όγκου ροής κυκλοφορίας, πληρότητας και διαθεσιμότητας.

Χρησιμοποιώντας μοντέλα **μικροπροσομοίωσης** με δεδομένα εισόδου, η σχέση μεταξύ των παραμέτρων των μοντέλων μπορούν να καθορίσουν τα χαρακτηριστικά των ροών κυκλοφορίας. Τα δεδομένα εξάρτησης δείχνουν τη δυνατότητα χρήσης του μέσου μεριδίου των ταυτόχρονα σταματημένων οχημάτων στο οδικό δίκτυο για την αξιολόγηση των συνθηκών κυκλοφορίας. Μάλιστα, είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς αν το όχημα κινείται ή έχει σταματήσει. Αυτό είναι χρήσιμο για την ανταλλαγή πληροφοριών με μεμονωμένα οχήματα. Οι λόγοι που πραγματοποιείται η χρήση των δεδομένων για την αξιολόγηση της λειτουργικής απόδοσης του οδικού δικτύου, είναι απαραίτητο:

1. για τον ορισμό των παραμέτρων σύγκρισης των μοντέλων.

2. για τον καθορισμό του αριθμού των οχημάτων.
3. για τον καθορισμό των συνθηκών υπό τις οποίες οι παράμετροι των μοντέλων θα συγκλίνουν.

Για την επίλυση των εν λόγω προβλημάτων χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι μικροπροσομοίωσης των κυκλοφοριακών ροών στο οδικό δίκτυο των αστικών περιοχών. Κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης εξετάστηκαν διάφορες επιλογές για βελτιστοποίηση του κατανομή των ροών κυκλοφορίας, αλλαγή συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας.

#### 2.2.3.4 A Traffic Simulation Modeling Framework for Rural Highways (Tapani, 2005)

Αυτή η διατριβή έχει ως στόχο την εισαγωγή ενός ευέλικτου μοντέλου μικροπροσομοίωσης κυκλοφορίας για τους αγροτικούς δρόμους του σήμερα και του μέλλοντος.

Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο λαμβάνει υπόψη όλους τους κοινούς τύπους αγροτικών δρόμων, συμπεριλαμβανομένων των διασταυρώσεων και των κυκλικών κόμβων στην κύρια οδική κυκλοφορία. Το μοντέλο είναι βαθμονομημένο και αξιολογήθηκε μέσω μιας μελέτης προσομοίωσης που συγκρίνει έναν αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων με αγροτικό δρόμο σχεδιασμένος με χωριστές λωρίδες κυκλοφορίας.

Στον χώρο οδικής ασφάλειας, χρίζουν περισσότερης προσοχής τα αντίμετρα βελτίωσης της ενεργητικής ασφάλειας που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας μειώνοντας τον αριθμό των σφαλμάτων του οδηγού και τυχόν κινδύνους ατυχημάτων. Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι τα προηγμένα συστήματα υποστήριξης οδηγού (ADAS). Η δυνατότητα χρήσης προσομοίωσης κυκλοφορίας για την αξιολόγηση των επιπτώσεων στην οδική ασφάλεια του ADAS διερευνάται στο τελευταίο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για την μελέτη της συμπεριφοράς του οδηγού, τα οχήματα εξοπλισμένα με ADAS συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη σε μελέτες προσομοίωσης. Ωστόσο, η εργασία σε αυτή τη διατριβή δείχνει ότι **η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των οδηγών σε οχήματα εξοπλισμένα με ADAS είναι απαραίτητη** για αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τις επιπτώσεις του ADAS στην **οδική ασφάλεια**.

#### 2.2.3.5 Traffic impact assessment of the pilot implementation of Athens Great Walk (Yannis, et al., 2021)

**Σκοπός** της έρευνας αυτής αποτελεί η προώθηση της βιώσιμης αστικής κινητικότητας με αφορμή την δημιουργία του Μεγάλου Περιπάτου της Αθήνας και η αξιολόγηση των κυκλοφοριακών επιπτώσεων κατά την δοκιμαστική λειτουργία του. Η **μεθοδολογία** της έρευνας αυτής βασίζεται σε μια σειρά δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά την περίοδο πριν την εφαρμογή των νέων κυκλοφοριακών ρυθμίσεων όσο και κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής λειτουργίας του Μεγάλου Περιπάτου για τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών.

Επιπλέον, αναλύθηκαν ορισμένοι παράμετροι κυκλοφοριακής ροής σε επιλεγμένους οδικούς άξονες στην περιοχή της Αθήνας όπως:

1. Χρόνος διαδρομής

2. Κυκλοφοριακός φόρτος
3. Σύνθεση κυκλοφορίας

Το **αποτέλεσμα** της έρευνας αυτής δείχνει ότι θέτοντας σε εφαρμογή το Μεγάλο Περίπατο της Αθήνας γίνονται πιο εύκολες οι μετακινήσεις των ευαίσθητων χρηστών της οδού (πεζοί και ποδηλάτες) και πιο φιλικές για το περιβάλλον. Τέλος, δεν επιβαρύνεται η κυκλοφορία των οχημάτων.

### 2.2.3.6 Combined impact of road and traffic characteristic on driver behavior using smartphone sensor data (Petraiki, et al., 2020)

Ο **στόχος** αυτής της έρευνας είναι να **αξιοποιήσει δεδομένα οδικής συμπεριφοράς** υψηλής ανάλυσης που συλλέγονται μέσω αισθητήρων έξυπνων κινητών τηλεφώνων «smartphone» από **303** οδηγούς, προκειμένου να **εξεταστεί η συμπεριφορά του οδηγού** σε επίπεδο οδικού τμήματος και κόμβου. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα αισθητήρων συνδυάζονται με τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας και της γεωμετρίας της οδού και στη συνέχεια απεικονίζονται χωρικά χρησιμοποιώντας τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (**GIS**).

Η ανάλυση περιλαμβάνει συμβάντα επιθετικής οδήγησης όπου συνολικά μετρήθηκαν 8592 απότομες επιταχύνσεις και 3946 απότομα φρεναρίσματα και χαρτογραφήθηκαν σε οριοθετημένα τμήματα και κόμβους δύο αστικών οδών ταχείας κυκλοφορίας στην Αθήνα. Επιπλέον, για την έναρξη της ανάλυσης, αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και δύο μοντέλα λογαριθμικής-γραμμικής παλινδρόμησης.

Η παραπάνω ανάλυση οδηγεί στα εξής συμπεράσματα:

1. Στην περίπτωση που η μέση ροή κυκλοφορίας ανά λωρίδα αυξηθεί στις περιοχές μελέτης, τότε θα υπάρξει σημαντική αύξηση στον αριθμό των ατυχημάτων ή στην πιθανότητα αύξησης των οδηγών με επιθετική συμπεριφορά
2. Όσο αυξάνεται η μέση πληρότητα στις διασταυρώσεις, αυξάνονται και οι πιθανότητες για εμφάνιση απότομων επιβραδύνσεων, επομένως πιθανή αύξηση ατυχήματος.
3. Η κυκλοφοριακή ροή σε συνδυασμό με την ταχύτητα αποτελούν τους ύψιστους παράγοντες εμφάνισης/πρόκλησης ατυχημάτων σε σχέση με τους παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της οδού και τη συμπεριφορά του οδηγού

## 2.3 Σύνθεση Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης

Με βάση την ενότητα 2.2 προκύπτει ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας (**Πίνακας 1**) με τις αναφορές οι οποίες είναι συναφείς με την έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας βιβλιογραφικών ερευνών

α/α	Τίτλος Έρευνας	Συγγραφείς	Έτος	Βαθμο νόμηση	Οδική Ασφάλεια	Οδικό Περιβάλλον	Τύπος Προσομοίωσης	Μοντέλο Προσομοίωσης	Λογισμικό
1	Calibration of a New Microsimulation Package for the Evaluation of Traffic Safety Performances	Vittorio et al.	2012	X			Μικροσκοπική	Βαθμονόμηση	
2	Simplex-Based Calibration of Traffic Microsimulation Models with Intelligent Transportation Systems Data	Kyu-Ok	2003	X			Μικροσκοπική	CORSIM TRANSIMS	
3	A methodology for calibration of traffic micro-simulator for urban heterogeneous traffic operations	Maheshwary, et al.	2020	X			Μικροσκοπική	Γραμμική - παλινδρόμηση	
4	Investigating and Calibrating the Dynamics of Vehicles in Traffic Micro-simulations Models	Madi	2016	X			Μικροσκοπική & ακροσκοπική	Βαθμονόμηση	AIMSUN
5	Investigating road safety issues through a microsimulation model	Vittorio, et al.	2011		X		Μικροσκοπική	Μικροσκοπικό	
6	Simulation of safety: A review of the state of the art in road safety simulation modelling	Young, et al.	2014		X		Μικροσκοπική	Αριθμητικά Μοντέλα Ασφαλείας	
7	A simulation based approach to assess the safety performance of road locations	Sobhani, et al.	2013		X		Μικροσκοπική	Κυκλοφοριακής Ροής	VISSIM
8	A combined use of microscopic traffic simulation and extreme value methods for traffic safety evaluation	Wang, et al.	2018		X		Μικροσκοπική	PET & EVT	VISSIM
9	New features of Tritone for the evaluation of traffic safety performances	Astarita, et al.	2017			X	Μικροσκοπική	Μικροσκοπικό	TRITONE
10	Safety performance measures: A comparison between microsimulation and observational data	Giuseppe Piero, et al.	2011			X	Μικροσκοπική	Μικροσκοπικό	
11	Simulation of Traffic Flows on the Road Network of Urban Area	Ugnenko, et al.	2016			X	Μικροσκοπική	Μικροσκοπικό	
12	A Traffic Simulation Modeling Framework for Rural Highways	Tapani	2005			X	Μικροσκοπική	Συμπεριφοράς του Οδηγού	ADAS
13	Analysis of Alternative Scenarios for Managing Traffic Incidents Through Micro Simulation	Charoniti, et al.	2017	X			Μικροσκοπική	Σενάρια - επιρροής	PTV VISSIM
14	Traffic impact assessment of the pilot implementation of Athens Great Walk	Yannis, et al.	2021			X	Μικροσκοπική & Μακροσκοπική	κυκλοφοριακής ροής	AIMSUN
15	Combined impact of road and traffic characteristic on driver behavior using smartphone sensor data	Petraki, et al.	2020			X	Μικροσκοπική	Λογαριθμική-Γραμμική Παλινδρόμηση	GIS

Με βάση τον συγκεντρωτικό πίνακα - Πίνακας 1 - προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα για τους τρεις τομείς που εξετάζονται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία:

#### Βαθμονόμηση – Κυκλοφοριακή Προσέγγιση

- Κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης ενός μοντέλου μικροπροσομοίωσης χρίζει υψίστης σημασίας η εκτέλεση σεναρίων προσομοίωσης για διάφορες τιμές των παρακάτω παραμέτρων:
  - Δείκτης πιθανής συντριβής
  - Ρυθμός επιβράδυνσης για αποφυγή συντριβής
  - Μέγιστη διαθέσιμη επιβράδυνση
  - Εκτιμώμενο χρονικό διάστημα σύγκρουσης

Κατά αυτόν τον τρόπο, μπορούν να μειωθούν σημαντικά τα σφάλματα εκτίμησης του χρόνου ταξιδιού.

- Με την χρήση του αλγορίθμου Simplex για την βαθμονόμηση ενός μοντέλου μικροπροσομοίωσης παρατηρήθηκε ότι κατά τις πρωινές ώρες αιχμής ο αλγόριθμος είχε καλύτερα αποτελέσματα λόγω αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου.
- Οι αρχές βαθμονόμησης ενός και πολλαπλών κριτηρίων εφαρμόζονται επίσης για να αποφέρουν πολύ πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα και, στη συνέχεια, να ελαχιστοποιήσουν τα σταθμισμένα σφάλματα για όλες τις κατηγορίες οχημάτων.
- Η έρευνα έδειξε ότι η χρήση πραγματικών δεδομένων για την αξιολόγηση του μοντέλου εσωτερικής συμπεριφοράς που ακολουθεί την τροχιά ενός οχήματος παρείχε μια αποτελεσματική και υπολογιστικά αποδοτική μεθοδολογία επιβεβαίωσης, η οποία πρόσφερε ένα επιπλέον επίπεδο ακρίβειας στις διαθέσιμες τυπικές διαδικασίες επιβεβαίωσης.

#### Οδική Ασφάλεια

- Το μικροσκοπικό μοντέλο επιτρέπει την εκτίμηση της απόδοσης οδικής ασφάλειας, καθώς αντιπροσωπεύει τις αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαφορετικών ζευγών οχημάτων που ανήκουν στο συγκεκριμένο ρεύμα κυκλοφορίας.
- Η στρατηγική πλήρους βαθμονόμησης οδηγεί σε καλύτερη **αξιολόγηση των παραμέτρων οδικής ασφάλειας** βάσει προσομοίωσης, σε σύγκριση με άλλα υποψήφια μέτρα ασφαλείας.

#### Οδικό Περιβάλλον

- Ο συνδυασμός δεδομένων παρατήρησης μέσω GPS και δορυφορικών δεδομένων με την χρήση μοντέλων μικροπροσομοίωσης αντικατοπτρίζει την «πραγματική» συμπεριφορά του οδηγού και τις συνθήκες κυκλοφορίας για μια δεδομένη μελέτη περίπτωσης.
- Η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των οδηγών σε οχήματα εξοπλισμένα με ADAS είναι απαραίτητη για αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τις επιπτώσεις του ADAS στην οδική ασφάλεια.

Συμπερασματικά, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών πραγματοποιεί μικροσκοπική ανάλυση η οποία βασίζεται σε αντίστοιχα λογισμικά προσομοίωσης (AIMSUN, VISSIM, TRITONE, ADAS, GIS).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 3.1 Γενική Εισαγωγή

Πριν από μερικές δεκαετίες αυξήθηκε η ανάγκη των ανθρώπων για μετακίνηση σε διάφορους προορισμούς εντός και εκτός αστικών περιοχών. Αυτό έφερε ως αποτέλεσμα την κλιμακωμένη αύξηση της κυκλοφοριακής ροής σε αστικά οδικά δίκτυα και αυτοκινητοδρόμους. Επιπλέον, με την εξάπλωση των επιβατικών οχημάτων (κυρίως Ι.Χ.), ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, δημιουργήθηκε το φαινόμενο του κυκλοφοριακού κορεσμού.

Το φαινόμενο του κορεσμού, πέρα από καθυστερήσεις στην κυκλοφορία των οχημάτων, επιφέρει και σε άλλους τομείς όπως είναι η δημιουργία ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ηχορύπανσης στην περιοχή, καθώς επίσης αμβλύνει τους χρόνους μετακινήσεων των οχημάτων και κατά συνέπεια αυξάνει την κατανάλωση καυσίμων.

Προκειμένου να περιοριστεί το φαινόμενο του κορεσμού κατά ένα μεγάλο βαθμό πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των αρχών της επιστήμης και της τεχνικής στην δημιουργία κατάλληλου σχεδιασμού, μελέτης, λειτουργίας και διαχείρισης των συστημάτων που αφορούν τις οδικές μεταφορές. Η εφαρμογή αυτή ονομάζεται κυκλοφοριακή τεχνική και έχει ως στόχο την μεταφορά προσώπων και αγαθών με ασφάλεια, άνεση και δίνοντας βάση στην ταχεία και οικονομική τους μεταφορά, με τις λιγότερες επιπτώσεις για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. (Φραντζεσκάκης, et al., 2009)

Η κυκλοφοριακή ροή σχετίζεται με την κίνηση οχημάτων ή πεζών σε μία οδό και προσδιορίζεται από διάφορα μεγέθη που ονομάζονται «μεγέθη κυκλοφοριακής ροής» τα οποία μπορούν είτε να μετρηθούν είτε να υπολογιστούν. (Φραντζεσκάκης, et al., 2009)

Τα πιο βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη αποτελούν:

- 1 Κυκλοφοριακός Φόρτος (Q)
- 2 Ταχύτητα Οχημάτων (V)
- 3 Πυκνότητα (K)

Τα παραπάνω μεγέθη κυκλοφοριακής ροής εξετάζονται με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος αφορά την μελέτη που βασίζεται στην κίνηση κάθε οχήματος ξεχωριστά και ονομάζεται Μικροσκοπική Ανάλυση. Ενώ, ο δεύτερος τρόπος αφορά την μελέτη που βασίζεται στην συνολική κίνηση των οχημάτων σε ένα οδικό τμήμα και ονομάζεται Μακροσκοπική Ανάλυση.

Η Μικροσκοπική Ανάλυση αναφέρεται στα εξής μεγέθη κυκλοφοριακής ροής:

- 1 Χρονικός Διαχωρισμός
- 2 Ταχύτητα Σημείου
- 3 Χωρικός Διαχωρισμός

Η Μακροσκοπική Ανάλυση αναφέρεται στα εξής μεγέθη κυκλοφοριακής ροής:

- 1 Κυκλοφοριακός Φόρτος
- 2 Μέση Ταχύτητα
- 3 Πυκνότητα

### 3.2 Στοιχεία Κυκλοφοριακής Ροής

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται επιγραμματικά κάποιες από τις βασικές έννοιες των μεγεθών της κυκλοφοριακής ροής σύμφωνα με (Φραντζεσκάκης, et al., 2009).

Ο **κυκλοφοριακός φόρτος** είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που περνούν από ένα σημείο ή μια διατομή οδού στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε «οχήματα ανά μονάδα χρόνου», για παράδειγμα, οχήματα ανά ώρα, ημέρα.

Ο **ρυθμός ροής** είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που περνούν από ένα σημείο ή μια διατομή οδού κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου μικρότερης της ώρας, τανημένος στην ώρα (ισοδύναμος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος). Προφανώς εκφράζεται πάντοτε σε οχήματα ανά ώρα. Η περίοδος μέτρησης στην οποία αναφέρεται συνήθως ο ρυθμός ροής έχει διάρκεια 15 λεπτά.

Η **Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία – ΕΜΗΚ** ισούται με το συνολικό αριθμό των οχημάτων που περνούν από δεδομένο σημείο ή διατομή οδού σε ένα έτος διαιρεμένο με το συνολικό αριθμό των ημερών του έτους.

Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, ανάλογα με το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μελετώνται, καθώς και τον τύπο οδού και την περιοχή μελέτης, παρουσιάζουν διακύμανση στον τρόπο που κατανομούνται στο χρόνο και στο χώρο. Η διακύμανση αυτή επηρεάζει σημαντικά τη μελέτη και το σχεδιασμό των συγκοινωνιακών υποδομών. Παρακάτω φαίνονται τα είδη διακύμανσης:

Η **μηνιαία ή εποχιακή διακύμανση** της ζήτησης αντανακλά τα κοινωνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής και ισούται με τον κυκλοφοριακό φόρτο σε ελεύθερες λεωφόρους ανά τύπο κυκλοφορίας, αλλά και ανά ημέρα.

Η **ημερήσια διακύμανση** του φόρτου κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας εξαρτάται από τον τύπο της οδού. Οδοί με σημαντική κυκλοφορία αναψυχής παρουσιάζουν αυξημένους φόρτους κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου.

Η **ωριαία διακύμανση** του φόρτου αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται το οδικό τμήμα μελέτης και την ημέρα. Η μια ώρα που ο φόρτος παίρνει, συνολικά, την υψηλότερή του τιμή ονομάζεται **ώρα αιχμής**. Η διακύμανση του φόρτου κατά την ώρα αιχμής είναι σημαντική για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των συγκοινωνιακών υποδομών. Επιπλέον, η ώρα αιχμής διαφέρει από ημέρα σε ημέρα και από περιοχή σε περιοχή.

Η **ταχύτητα** ενός οχήματος αποτελεί ένα από τα βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη και χωρίζεται σε πολλές κατηγορίες ανάλογα με το είδος της μελέτης. Οι κυριότερες κατηγορίες είναι οι εξής:

- Η **ταχύτητα σημείου** ισούται με την ταχύτητα που αναπτύσσει ένα όχημα όταν περνά από δεδομένο σημείο.
- Η **μέση ταχύτητα χρόνου** ισούται με τον αριθμητικό μέσο όρο των ταχυτήτων σημείου των οχημάτων που περνούν μπροστά από μία διατομή οδού σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.



- Η **μέση ταχύτητα χώρου** ισούται με τον αριθμητικό μέσο όρο των ταχυτήτων του σημείου που έχουν, σε μία ορισμένη χρονική στιγμή, όλα τα οχήματα που βρίσκονται σε ένα δεδομένο τμήμα της οδού.

Η **πυκνότητα** κυκλοφορίας αποτελεί ένα από τα βασικότερα κυκλοφοριακά μεγέθη και ισούται με τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται σε μία δεδομένη στιγμή στη μονάδα μήκους της οδού (ανά χιλιόμετρο). Επιπλέον, η πυκνότητα αποτελεί μακροσκοπικό μέγεθος καθώς χαρακτηρίζει την ένταση της κυκλοφορίας στη μη διακοπτόμενη ροή.

Η **κατάληψη** ισούται με το ποσοστό του χρόνου που ένα μέρος μιας διατομή της οδού καταλαμβάνεται από όχημα.

Ο **διαχωρισμός** σε μία λωρίδα κυκλοφορίας αποτελεί την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων ως προς ένα σταθερό σημείο αναφοράς τους. Όταν η απόσταση αυτή μετρείται σε μήκος ονομάζεται **χωρικός διαχωρισμός**, ενώ όταν μετρείται σε χρόνο ονομάζεται **χρονικός διαχωρισμός**.

Η **Θεμελιώδης Σχέση Κυκλοφοριακής Ροής** συνδέει τα τρία μακροσκοπικά μεγέθη κυκλοφορίας (Κυκλοφοριακός Φόρτος, Μέση Ταχύτητα, Πυκνότητα) με την χρήση του παρακάτω τύπου:

$$q = k \times u_s$$

όπου q: κυκλοφοριακός φόρτος

k: πυκνότητα

$u_s$ : μέση ταχύτητα χώρου

Όμως, η παραπάνω θεμελιώδης σχέση λόγω υπολογισμού στοχαστικών μεγεθών κάτω από συγκεκριμένες οδικές συνθήκες, υπεισέρχονται στην σχέση οι μέσοι όροι των μακροσκοπικών μεγεθών. Επιπλέον, η σχέση αυτή ισχύει μόνο στην περίπτωση που επικρατούν σταθερές συνθήκες κυκλοφορίας στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα. Επομένως, η παραπάνω σχέση είναι αντιπροσωπευτική της κυκλοφορίας σε συνθήκες ελεύθερης ροής, ενώ σε αστικά οδικά δίκτυα δεν κρίνεται αντιπροσωπευτική. (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015)

Σύμφωνα με την θεμελιώδη σχέση κυκλοφοριακής ροής και λαμβάνοντας υπόψη τα μακροσκοπικά κυκλοφοριακά μεγέθη, μπορούν να διερευνηθούν οι εξής σχέσεις μεταξύ των μεγεθών αυτών:

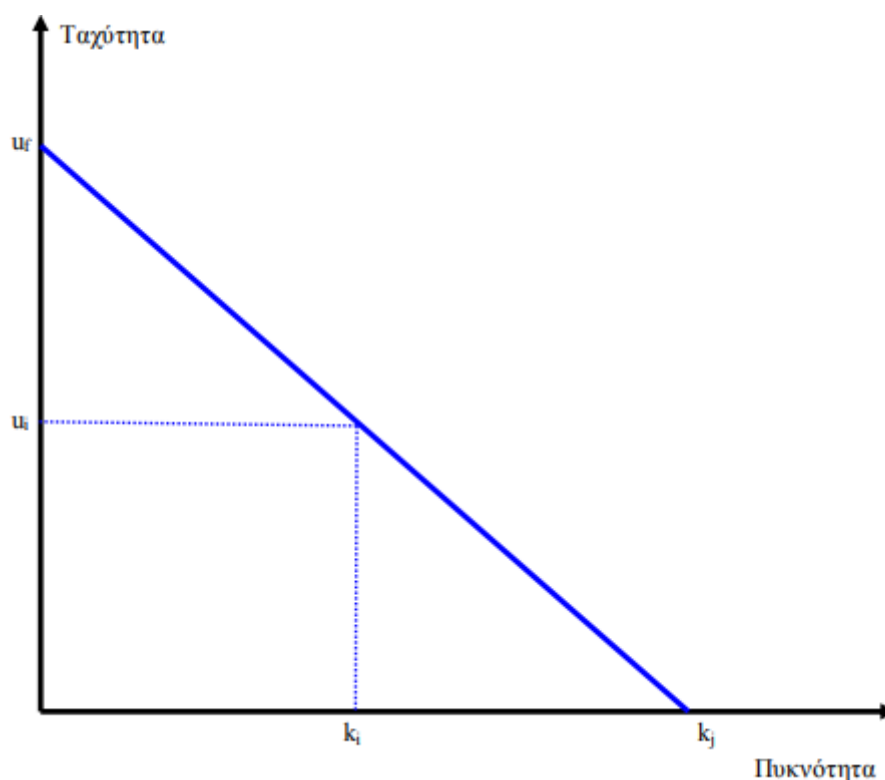
### Σχέση Ταχύτητας (u) – Πυκνότητας (k)

Τα παραπάνω μεγέθη (μέσης χωρικής ταχύτητας – πυκνότητας) μεταβάλλονται ανάλογα με τις παρακάτω συνθήκες:

1. Όταν το όχημα κινείται με ελεύθερη ταχύτητα, η οποία εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου (π.χ. ακτίνα καμπυλότητας κατά μμήκος κλίσης, λωρίδα κυκλοφορίας, παράπλευρα εμπόδια), η ταχύτητα είναι μέγιστη ( $u_f$ ) ενώ η πυκνότητα φτάνει το  $k=0$  (δεν υπάρχουν οχήματα κατά μήκος της λωρίδας που διανύει το όχημα).

2. Όσο αυξάνονται τα οχήματα στο οδικό τμήμα, το όχημα επιβραδύνει για να διατηρεί τις απαιτούμενες αποστάσεις ασφαλείας εμπροσθεν, όπισθεν και παραπλεύρως από τα υπόλοιπα οχήματα. Επομένως, όσο αυξάνεται η πυκνότητα των οχημάτων, μειώνεται η χωρική ταχύτητα ( $u_s$ ).
3. Σε περίπτωση κυκλοφοριακού κορεσμού, τα οχήματα δημιουργούν μέγιστη κατάληψη στο οδικό τμήμα (πολύωρη στάση). Κατά συνέπεια, στην οριακή αυτή συνθήκη ισχύει  $k=k_j$  και  $u_s=0$ .

Παρακάτω φαίνεται σε μορφή γραφήματος η σχέση μέσης χωρικής ταχύτητας – πυκνότητας, με την ανάδειξη των παραπάνω συνθηκών:



**Εικόνα 1:** Διάγραμμα Σχέσης Ταχύτητας – Πυκνότητας (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015)

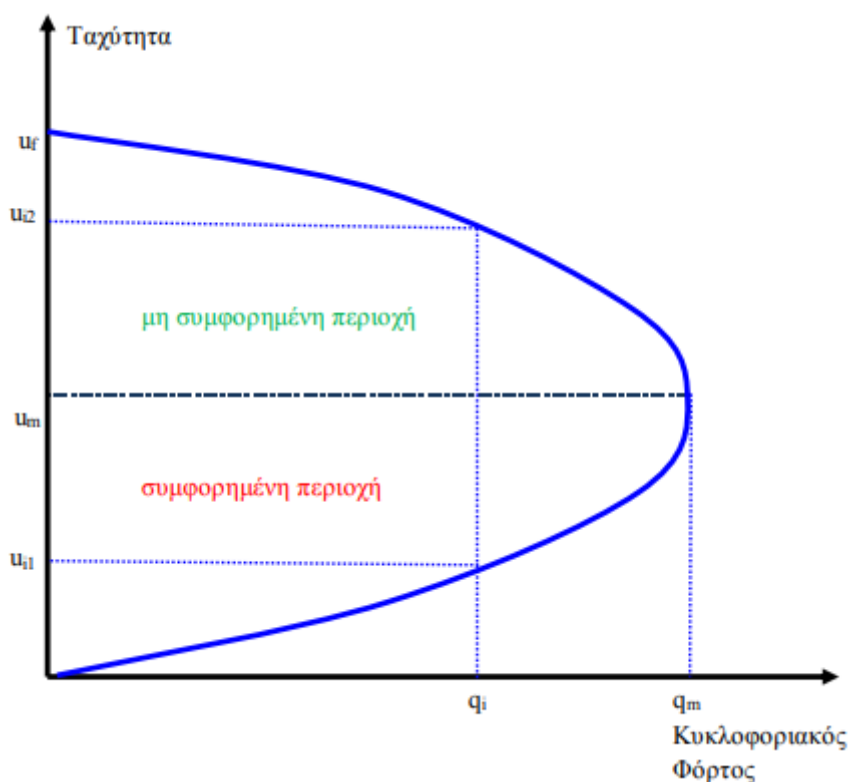
### Σχέση Ταχύτητας ( $u$ ) – Κυκλοφοριακού Φόρτου ( $q$ )

Τα παραπάνω μεγέθη (μέσης χωρικής ταχύτητας – φόρτου) μεταβάλλονται ανάλογα με τις παρακάτω συνθήκες:

1. *Μη συμφορημένη περιοχή:* Όταν δεν διέρχονται οχήματα από μια διατομή οδού με αποτέλεσμα ο κυκλοφοριακός φόρτος να είναι μηδενικός ( $q = 0$ ). Επομένως, το όχημα κινείται με ταχύτητα ελεύθερης ροής ( $u_s = u_f$ ).
2. *Μη συμφορημένη περιοχή:* Όσο αυξάνονται τα οχήματα στο οδικό τμήμα, το όχημα επιβραδύνει για να διατηρεί τις απαιτούμενες αποστάσεις ασφαλείας εμπροσθεν, όπισθεν και παραπλεύρως από τα υπόλοιπα οχήματα. Επομένως, όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, μειώνεται η χωρική ταχύτητα ( $u_s$ ).

3. *Συμφορημένη περιοχή*: Όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, μειώνεται ο αριθμός των οχημάτων που μπορεί να διέλθει από την συγκεκριμένη διατομή, επομένως μειώνεται και η ταχύτητα των οχημάτων. Άρα στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αμοιβαία μείωση της μέσης χωρικής ταχύτητας ( $u_s$ ) και του φόρτου ( $q$ ).
4. *Συμφορημένη περιοχή*: Σε περίπτωση κυκλοφοριακού κορεσμού, τα οχήματα δημιουργούν μέγιστη κατάληψη στο οδικό τμήμα (πολύωρη στάση). Κατά συνέπεια, στην οριακή αυτή συνθήκη ισχύει  $k=k_j$ ,  $u_s=0$  και  $q=0$ .

Παρακάτω φαίνεται σε μορφή γραφήματος η σχέση μέσης χωρικής ταχύτητας – φόρτου, με την ανάδειξη των παραπάνω συνθηκών:



Εικόνα 2: Διάγραμμα Σχέσης Ταχύτητας - Κυκλοφοριακού Φόρτου (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015)

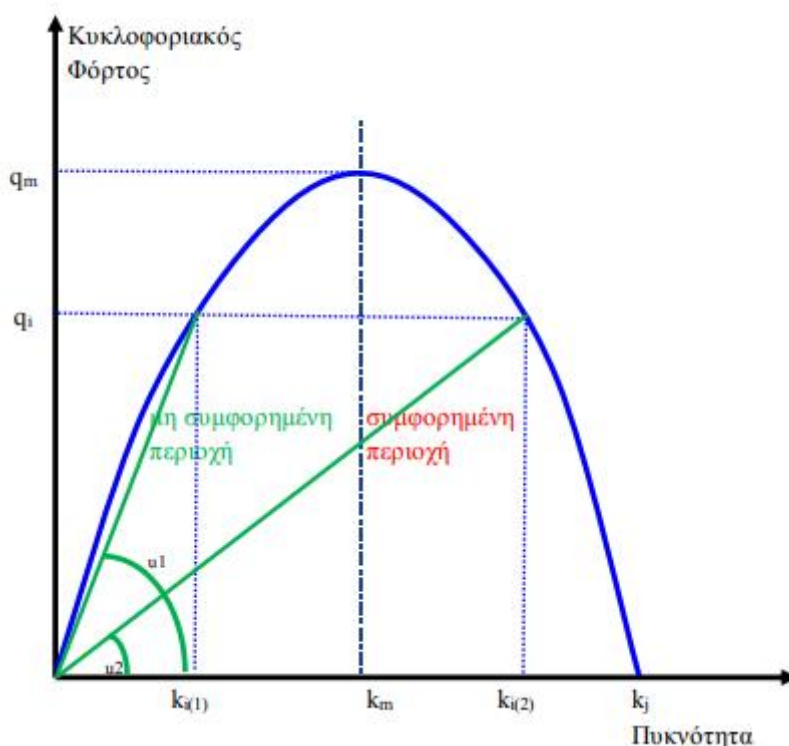
### Σχέση Κυκλοφοριακού Φόρτου ( $q$ ) – Πυκνότητας ( $k$ )

Τα παραπάνω μεγέθη (φόρτου – πυκνότητας) μεταβάλλονται ανάλογα με τις παρακάτω συνθήκες:

1. *Μη συμφορημένη περιοχή*: Όταν δεν διέρχονται οχήματα από μια διατομή οδού με αποτέλεσμα τα μεγέθη κυκλοφοριακός φόρτος και πυκνότητα να είναι μηδενικά ( $q = 0$ ,  $k=0$ ).
2. *Μη συμφορημένη περιοχή*: Όσο αυξάνονται τα οχήματα στο οδικό τμήμα, τόσο αυξάνεται και ο κυκλοφοριακός φόρτος. Επομένως, όσο αυξάνεται η πυκνότητα ( $k$ ), τόσο αυξάνεται και ο κυκλοφοριακός φόρτος ( $q$ ). Ισχύει η οριακή συνθήκη ( $k = k_m$ ), ( $q = q_m$ ).

3. *Συμφορημένη περιοχή*: Όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, μειώνεται ο αριθμός των οχημάτων που μπορεί να διέλθει από την συγκεκριμένη διατομή, επομένως μειώνεται και ο κυκλοφοριακός φόρτος. Άρα στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας ( $k$ ) με ταυτόχρονη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου ( $q$ )
4. *Συμφορημένη περιοχή*: Σε περίπτωση κυκλοφοριακού κορεσμού, τα οχήματα δημιουργούν μέγιστη κατάληψη στο οδικό τμήμα (πολύωρη στάση). Κατά συνέπεια, στην οριακή αυτή συνθήκη ισχύει  $k=k_j$ ,  $q=0$ .

Παρακάτω φαίνεται σε μορφή γραφήματος η σχέση μέσης χωρικής ταχύτητας – φόρτου, με την ανάδειξη των παραπάνω συνθηκών:



Εικόνα 3: Διάγραμμα Σχέσης Κυκλοφοριακού Φόρτου – Πυκνότητας (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015)

Στο σημείο αυτό, κατανοώντας τις παραπάνω έννοιες, κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί ότι μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει άμεσα την εξομάλυνση της κυκλοφοριακής ροής εντός και εκτός αυτοκινητοδρόμου ή αστικού ιστού είναι η **κυκλοφοριακή ικανότητα** (η έννοια της προσφοράς).

Η κυκλοφοριακή ικανότητα μεταβάλλεται κυρίως από την ροή κορεσμού ή αλλιώς τον μέγιστο κυκλοφοριακό φόρτο που μπορεί να υποστηρίξει μια διατομή οδού, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή αυτή. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση του οδικού τμήματος, για την εύρεση των συνθηκών κυκλοφοριακής ικανότητας, καθορίστηκε ένα ποιοτικό μέγεθος που αντιπροσωπεύει τις συνθήκες κυκλοφορίας σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας και ονομάζεται **στάθμη εξυπηρέτησης**. (Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2015)

Η στάθμη εξυπηρέτησης ορίζεται βασιζόμενη στην ύπαρξη ακραίων τιμών των παραμέτρων: ταχύτητας, χρόνου μετακίνησης, πυκνότητας και καθυστερήσεων του χρόνου ταξιδιού. Οι οριακές αυτές τιμές ονομάζονται δείκτες εξυπηρέτησης. Οι τιμές που λαμβάνουν οι στάθμες εξυπηρέτησης, ανάλογα με το εύρος των οριακών τιμών των παραπάνω παραμέτρων, είναι **A, B, C, D, E, F**. Οι βαθμίδες αυτές χαρακτηρίζουν όλα τα πιθανά σενάρια κυκλοφοριακού φόρτου ξεκινώντας από τον βέλτιστο : **A** (ελεύθερη ροή) μέχρι τον χειρότερο : **F** (ροή κορεσμού).

### 3.3 Προσομοίωση Κυκλοφορίας

Η προσομοίωση της κυκλοφορίας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά βήματα επίλυσης τυχόν κυκλοφοριακών προβλημάτων, καθώς αποτελεί μέθοδος μελέτης στοχαστικής ή υφιστάμενης κατάστασης του υπό-μελέτη δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με την επίλυση μαθηματικών μοντέλων μέσω της εφαρμογής ενός λογισμικού προσομοίωσης σε ηλεκτρονικού υπολογιστή, δίνοντας έμφαση στην γεωμετρία της οδού και στο περιβάλλον της (αρτηρίες, κόμβοι, κλπ.).

Ένας από τους κυριότερους στόχους της προσομοίωσης της κυκλοφορίας αποτελεί η ανάγκη των ερευνητών για την εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός πραγματικού συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες χαρακτηριστικών κυκλοφορίας, λαμβάνοντας ταυτόχρονα πιθανά αποτελέσματα για την εξέλιξή του στον χρόνο.

Η προσομοίωση μεταφοράς δίνει στους μελετητές το πλεονέκτημα της ταχύτερης και ευκολότερης επίλυσης διερεύνησης διαφορετικών και πολύπλοκων συστημάτων. Ακολουθώντας, δίνει την ευκαιρία σε έρευνες που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο να ανατρέξουν σε μοντέλα συσχέτισης και να παράγει σε εικονική αναπαράσταση τα αντίστοιχα μοντέλα κυκλοφορίας για την αντιμετώπιση τωρινών ή μελλοντικών αδυναμιών της κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου.

Ορθή προσομοίωση κυκλοφορίας ορίζεται η μοντελοποίηση κατά την οποία έχει επιτευχθεί σωστή βαθμονόμηση, και κατ' επέκταση, επαλήθευση μέσω των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από μια υφιστάμενη κατάσταση. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η ορθότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και δημιουργείται η πραγματική αναπαράσταση των συνθηκών κυκλοφορίας μέσω του μοντέλου.

#### 3.3.1 Κατηγορίες Μοντέλων Προσομοίωσης

Για να ξεκινήσει η δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι σημαντική η κατανόηση των προτύπων που στηρίζεται η επίλυση, καθώς περιέχουν πληθώρα μεταβλητών με τις απαραίτητες πληροφορίες για την χρονική εξέλιξη του συστήματος. Οι μεταβλητές αυτές καθορίζουν τα μοντέλα, με γνώμονα την επίλυση του συστήματος, σε διακριτά ή συνεχή ή μεικτά. Ένα συνεχές μοντέλο περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει συνεχώς η κατάσταση ενός κυκλοφοριακού συστήματος, σύμφωνα με τις παραμέτρους χαρακτηριστικών κυκλοφορίας που δόθηκαν, εντός χρονικού διαστήματος της έρευνας. Σε αντίθεση με τα συνεχή, τα διακριτά μοντέλα υποθέτουν ότι οι αλλαγές της κατάστασης συμβαίνουν συνεχώς στην πάροδο του χρόνου, σε διακριτές χρονικές στιγμές. (Reilly, 1998)

Επιπλέον, τα παραπάνω μοντέλα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την ύπαρξη στοχαστικών στοιχείων. Τα στοχαστικά στοιχεία χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που εμφανίζονται μεταβλητές προσομοίωσης ως αποτέλεσμα τιμών που λήφθηκαν από κατανομές πιθανότητας ή άλλων ενεργειών που πραγματοποιούνται στο οδικό δίκτυο (πχ. Αλλαγή λωρίδας). Η πρώτη κατηγορία περιγράφει τα **αιτιοκρατικά** (deterministic) ή **προσδιοριστικά μοντέλα**, στα οποία οι γνωστές μεταβλητές αρκούν για την ακριβή πρόβλεψη των αποτελεσμάτων τους. Αυτό συμβαίνει καθώς ένα αιτιοκρατικό μοντέλο δεν υπόκειται σε τυχαιότητα των τιμών.

Η δεύτερη κατηγορία περιγράφει τα **στοχαστικά μοντέλα** (stochastic), τα οποία, σε αντίθεση με τα αιτιοκρατικά, οι γνωστές μεταβλητές δεν αρκούν για την ακριβή πρόβλεψη των αποτελεσμάτων τους με αποτέλεσμα να καλούνται σε πειράματα τύχης.

Επιπρόσθετα, διακρίνονται και άλλες δύο κατηγορίες μοντέλων σε **περιγραφικά** και **κανονιστικά**. Τα περιγραφικά υποδείγματα εστιάζουν περισσότερο στον τρόπο με τον οποίο θα διεξαχθεί η λειτουργία της κυκλοφορίας σε μια συγκεκριμένη αδυναμία δικτύου (πχ. Κλείσιμο λωρίδας). Από την άλλη μεριά, τα κανονιστικά υποδείγματα προσομοίωσης, ασχολούνται με την βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής θέτοντας έναν στόχο (πχ. Ελαχιστοποίηση του χρόνου μετακίνησης σε μια λωρίδα).

Εξίσου σημαντική κατηγοριοποίηση των μοντέλων προσομοίωσης αποτελεί ο διαχωρισμός σε **στατικά** (static) και **δυναμικά** (dynamic) μοντέλα. Στην επίλυση με στατικά μοντέλα, τα δεδομένα που εισάγονται δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο ή με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο. Αντιθέτως, στα δυναμικά μοντέλα τα δεδομένα μεταβάλλονται στον χρόνο σαν συνάρτηση διάφορων στοιχείων. (Elefteriadou, 2014)

Η κυκλοφοριακή προσομοίωση διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες σε συνάρτηση με το επίπεδο λεπτομέρειας της μοντελοποίησης (**μακροσκοπική, μεσοσκοπική και μικροσκοπική προσομοίωση**).

### 3.3.1.1 Μικροσκοπική Προσομοίωση (Micro-simulation)

Τα μοντέλα μικροσκοπικής προσομοίωσης αφορούν μοντελοποίηση με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας, καθώς αποδίδονται οι μεμονωμένες κινήσεις και θέσεις κάθε οχήματος ξεχωριστά συμβάλλοντας στην αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των οχημάτων όπως είναι το μέγεθος του οχήματος και η ταχύτητα. Ανάλογα με την θεώρηση για την εξέλιξη των κυκλοφοριακών μεγεθών στον χρόνο, τα μικροσκοπικά πρότυπα διακρίνονται σε συνεχή σε χώρο και χρόνο (πρότυπα ακολουθούντος οχήματος), και διακριτά σε χώρο και συνεχή ή διακριτά σε χρόνο. Η ξεχωριστή δυνατότητα του συγκεκριμένου είδους προσομοίωσης είναι ο εντοπισμός της κίνησης του κάθε οχήματος με αποτέλεσμα την εύρεση της σχέσης του οχήματος αυτού με των προπορευόμενων και γειτονικών του.

Η μικροπροσομοίωση βασίζεται σε τυχαίους αριθμούς για την εύρεση του αριθμού των οχημάτων σε περιπτώσεις λήψης αποφάσεων δρομολόγησης, και τον καθορισμό της οδικής συμπεριφοράς. Λόγω της τυχαιότητας αυτής και της διακύμανσης που δημιουργείται κρίνεται αναγκαία η επαναληψιμότητα του μοντέλου με διαφορετικές γεννήτριες τυχαίων αριθμών ώστε να ληφθεί η επιθυμητή ακρίβεια.

Επομένως, το πλεονέκτημα των μικροσκοπικών μοντέλων αποτελεί η μεγάλης λεπτομέρεια στην περιγραφή του φαινομένου της κυκλοφορίας καθώς καθίσταται δυνατό να συμπεριληφθεί ένα μεγάλο εύρος χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας των οχημάτων, του οδικού δικτύου και των ειδικών

συνθηκών που θα προσομοιωθούν. Ωστόσο, αυτό μπορεί να λειτουργήσει και ως μειονέκτημα για τα μικροσκοπικά μοντέλα. Οι μεγάλες απαιτήσεις σε όγκο δεδομένων, η πολυπλοκότητα που απαιτεί ο σχεδιασμός του μοντέλου και η στατιστική ανάλυση αποτελούν επίσης μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης, λόγω του μεγάλου κόστους σε χρόνο και σε υπολογιστικούς πόρους. (Χαρωνίτη, 2013)

Παραδείγματα λογισμικών μικροπροσομοίωσης είναι: AIMSUN, FLEXYT II, FRESIM, HUTSIM, INTEGRATION, PARAMICS, THOREAU, TRAF-NETSIM και VISSIM) και βρίσκονται σε εξέλιξη. Τρία άλλα μπορούν να ληφθούν κατόπιν αιτήματος (MIXIC, NEMIS και PHAROS με συμφωνία χρήστη που περιορίζει τη χρήση). Έντεκα βρίσκονται σε εξέλιξη (AIMSUN2, ANATOLL, DRACULA, INTEGRATION, MELROSE, MITSIM, PLANSIM-T, SIGSIM, SISTM, SITRAS και VISSIM.)

### 3.3.1.2 Μακροσκοπική Προσομοίωση (Macro-simulation)

Τα μακροσκοπικά μοντέλα αφορούν προσομοίωση υψηλότερου επιπέδου και μικρότερης λεπτομέρειας σε αντίθεση με τα μικροσκοπικά μοντέλα. Δεν εξετάζεται μεμονωμένα κάθε όχημα αλλά η συνολική κυκλοφορία των οχημάτων για την εύρεση βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών όπως η ροή, η χωρική πυκνότητα, η μέση ταχύτητα και δεν εξετάζονται μεμονωμένοι ελιγμοί όπως οι αλλαγές λωρίδων. Με τον τρόπο αυτό, τα πρότυπα αυτά εξάγουν εκτιμήσεις των μεγεθών των τιμών των μετρήσεων για την αξιολόγησή τους. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται είτε σε επίπεδο πληθυσμού είτε στο καθορισμένο χρονικό διάστημα της ανάλυσης. Τα μακροσκοπικά μοντέλα χαρακτηρίζονται για το πλεονέκτημα χαμηλού κόστους που έχουν σε αντίθεση με τα μικροσκοπικά όσον αφορά στους υπολογιστικούς, αλλά χρειάζονται προκαταρκτική ανάλυση για την εξαγωγή εξισώσεων που θα περιγράφουν τις δυναμικές του συστήματος. (Kessels, et al., 2014)

### 3.3.1.3 Μεσοσκοπική Προσομοίωση (Meso-simulation)

Η μεσοσκοπική προσομοίωση αποτελεί την εύρεση των κενών ή ασαφειών που μπορεί να δημιουργηθούν στην επίλυση μικροσκοπικής ή μακροσκοπικής προσομοίωσης. Η περιγραφή της συμπεριφοράς των οχημάτων πραγματοποιείται όπως και στις κατανομές πιθανοτήτων. Έτσι, οι μεσοσκοπικές προσεγγίσεις της προσομοίωσης της κυκλοφορίας είναι λιγότερο ακριβείς στην αναπαράσταση της οδικής συμπεριφοράς.

Σημειώνεται πως τα μοντέλα αυτά μπορεί να ακολουθούν μακροσκοπική προσέγγιση και να συμπληρώνονται από μία συνάρτηση διόρθωσης, η οποία να αντισταθμίζει το χαμένο επίπεδο λεπτομέρειας του προτύπου. Τα μεσοσκοπικά πρότυπα ενώ δεν περιγράφουν ένα σύστημα με απόλυτη ακρίβεια μπορούν να παρέχουν αξιόλογες προσεγγίσεις εύκολα και με χαμηλό υπολογιστικό κόστος. (Χαρωνίτη, 2013)

## 3.4 Λογισμικό Προσομοίωσης AIMSUN

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα για την προσομοίωση της κυκλοφορίας είναι το AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks).

Το πρόγραμμα αυτό δημιουργήθηκε από τους ερευνητές J. Barcelo και J .L. Ferrer του Πολυτεχνείου της Βαρκελώνης (Technical University of Catalonia) το έτος 1994 και αποτελεί ένα από τα πιο βέλτιστα προγράμματα για την μοντελοποίηση πραγματικών συνθηκών κυκλοφορίας σε οδικό δίκτυο. Γενικά, χρησιμοποιείται σε μικρής αλλά και μεγάλης κλίμακας έρευνας ή και υβριδικά.

Με το πρόγραμμα αυτό ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εξάγει έρευνα σε διάφορους τύπους οδικού δικτύου όπως αστικά δίκτυα, αυτοκινητοδρόμους, οδικές αρτηρίες, περιφερειακές οδούς καθώς και συνδυασμούς αυτών.

Η προσομοίωση στο λογισμικό AIMSUN σε μικροσκοπικό επίπεδο εξετάζει την συμπεριφορά μεμονωμένων οχημάτων και την επίδρασή του στο γενικότερο περιβάλλον της οδού σύμφωνα με διάφορα μοντέλα συμπεριφοράς οχημάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό αυτό έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη αποτύπωση υφιστάμενης κατάστασης του δικτύου όταν τρέχει με πραγματικά δεδομένα κυκλοφορίας.

Για την ένταξη ενός μοντέλου προσομοίωσης στο AIMSUN, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορα εργαλεία όπως οχήματα, φωρατές (detectors) και άλλα, των οποίων η κατάσταση αλλάζει περιοδικά ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα και άλλα στοιχεία όπως φωτεινοί σηματοδότες ή σημεία εισόδου που η κατάσταση τους αλλάζει σε συγκεκριμένες στιγμές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και λόγω αυτού αποτελεί ένα πρόγραμμα διακριτών και συνεχών καταστάσεων.

Επιπλέον το λογισμικό αυτό προσφέρει μια λεπτομερή απεικόνιση του οδικού δικτύου και περιέχει διάφορα στοιχεία που συναντιόνται και σε πραγματικά δίκτυα για μια πιο ρεαλιστική μοντελοποίηση των δεδομένων όπως ράμπες, στάσεις λεωφορείων, πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων (VMS) και φωτεινούς σηματοδότες. Αποτελεί, αναμφίβολα, ένα σημαντικό εργαλείο σχεδιασμού και αξιολόγησης κυκλοφοριακών συστημάτων και στρατηγικών καθώς έχει και την δυνατότητα να εξετάζει νέα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας που στηρίζονται σε παλιές αλλά και σε νέες τεχνολογίες.

Για την αναπαράσταση της προσομοίωσης παρέχεται από το πρόγραμμα η δυνατότητα δημιουργίας σεναρίου το οποίο βασίζεται σε ένα πλήθος παραμέτρων που καθορίζουν τα πειράματα του σεναρίου αυτού. Η δημιουργία σεναρίου προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να κατανοήσει τις ανάγκες του οδικού δικτύου μέσα από την λειτουργία του σεναρίου και την έκδοση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων. Οι παράμετροι που καθορίζουν τα πειράματα αναφέρονται στα δεδομένα πραγματικού φόρτου του δικτύου τα οποία βασίζονται στην διάρκεια της προσομοίωσης και το χρονικό διάστημα που δίνεται από τον χρήστη.

Επιπλέον, πέρα από την συνεχή γραφική αναπαράσταση του οδικού δικτύου εξάγονται ως αποτελέσματα προσομοίωσης και κάποια στατιστικά στοιχεία, όπως ροή οχημάτων, ταχύτητα, καθυστερήσεις, αλλά και δεδομένα που συλλέγονται από τους ανιχνευτές, όπως ο αριθμός των οχημάτων ή το ποσοστό κατάληψης, τα οποία ο χρήστης τα επεξεργάζεται ανάλογα με τον σκοπό της έρευνας.

Επιπρόσθετα, το AIMSUN παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να σχεδιάσει με δικά του κριτήρια την γεωμετρία της υπό έρευνα οδού και την πολυπλοκότητα του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό, τα τμήματα των δρόμων, οι κατευθύνσεις αυτών αλλά και άλλες ιδιότητες που επηρεάζουν τον τρόπο κίνησης των οχημάτων προσδιορίζονται από τον χρήστη και συνθέτουν το μοντέλο του οδικού δικτύου. (Hughes, 1998)



Ένα εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα προσομοίωση με το λογισμικό αυτό είναι η αλληλεπίδραση οχημάτων και πεζών ταυτοχρόνως. Γενικά το Aimsun προσφέρει στον αναλυτή ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων, όπως κατανάλωση καύσιμου, μήκος και πλάτος οχήματος, ποσοστό προσπέρασης, τις οποίες μπορεί να επεξεργαστεί τις τιμές τους ανάλογα με τους σκοπούς της έρευνας.

### 3.4.1 Διαδικασία Προσομοίωσης

Η προσομοίωση σε μικροσκοπικό επίπεδο μπορεί να ξεκινήσει είτε με την χρήση μητρώων Προέλευσης – Προορισμού είτε χωρίς. Τα μητρώα Προέλευσης – Προορισμού έπονται από την δημιουργία των μοντέλων γένεσης που αποτελούνται από πραγματικές τιμές μετακινήσεων οχημάτων ή πεζών στο εξεταζόμενο οδικό δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι καθορίζονται από μοντέλα κατανομής της προσομοίωσης της επιλογής μιας διαδρομής που κάνει ένας μετακινούμενος.

Επόμενο στάδιο της προσομοίωσης είναι η «γένεση» των οχημάτων κατά μήκος του δικτύου η οποία επιτυγχάνεται ως αποτέλεσμα διαφόρων διαδικασιών γένεσης κυκλοφοριακής ροής του προγράμματος, με την χρήση δύο εναλλακτικών επιλογών (AIMSUN, 2014):

1. Εισαγωγή κυκλοφοριακών φόρτων στα οδικά τμήματα που εισάγουν την κυκλοφορία στο δίκτυο. Ταυτόχρονα προσδιορίζεται το ποσοστό του φόρτου που προσεγγίζει μια διασταύρωση και η επιλογή του μετακινούμενου να κινηθεί ως προς κάποια τυχαία κατεύθυνση ανά κόμβο.
2. Χρήση χρονικών διαχωρισμένων μητρώων Προέλευσης – Προορισμού και επιλογή διαδρομών.

Τέλος, με την χρήση μητρώων Προέλευσης – Προορισμού στην προσομοίωση, προσδιορίζεται μια αρχική εκτίμηση των διαδρομών από κάθε οδικό τμήμα προς κάθε προορισμό, σύμφωνα με κριτήρια κόστους ανά οδικό τμήμα τα οποία καθορίζει ο χρήστης. Οι χρόνοι μετακίνησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην εύρεση της συντομότερης διαδρομής, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η δημιουργία υποδειγμάτων προσφοράς νέας ή επανεξεταζόμενης διαδρομής στα υφιστάμενα οχήματα προς τις συντομότερες διαδρομές. (AIMSUN, 2014)

### 3.4.2 Η Κίνηση των Οχημάτων στην Προσομοίωση

Η κίνηση μεμονωμένων οχημάτων στην προσομοίωση και η αλληλεπίδρασή τους με άλλα οχήματα ή με το περιβάλλον του οδικού δικτύου επιτυγχάνεται μέσω των υποδειγμάτων ακολουθώντας οχήματος (Car-following) και αλλαγής λωρίδα (Lane Changing). Η τήρηση της επιθυμητής ταχύτητας του οχήματος, παραμετροποιείται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες του οδικού περιβάλλοντος (προπορευόμενο και παρακείμενα οχήματα, συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας, σήμανση, συμφόρηση κλπ.) (AIMSUN, 2014)

### 3.4.2.1 Υπόδειγμα Ακολουθούντος Οχήματος στην μικροσκοπική προσομοίωση

Οι περισσότεροι από τους υπάρχοντες μικροσκοπικούς προσομοιωτές κυκλοφορίας βασίζονται στην έννοια της παρακολούθησης αυτοκινήτου όπως είναι τα μοντέλα αλλαγής λωρίδας για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του οχήματος. Μερικά από τα πιο χρησιμοποιούμενα μοντέλα (Car-following) προέρχονται από την εκτεταμένη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '50 από την General Motors Group και βασίζονται σε ολοκληρωμένα πειράματα πεδίου και στην ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου που γεφυρώνει μικρό και μακρο-θεωρίες των ροών κυκλοφορίας. Η έρευνα αυτή οδήγησε στην διατύπωση των μοντέλων ακολουθούντος οχήματος ως μορφή εξίσωσης ερεθίσματος-απόκρισης (Gerlough & Huber, 1975), όπου η απάντηση είναι η αντίδραση ενός οδηγού στην κίνηση του οχήματος του αμέσως προπορευόμενό του στο ρεύμα κυκλοφορίας.

Η απόκριση είναι πάντα η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση ανάλογα με το μέγεθος του ερεθίσματος τη στιγμή  $t$  και αρχίζει μετά από μια χρονική υστέρηση  $T$ , ο χρόνος αντίδρασης του χρήστη. Ο Όμιλος General Motors ανέπτυξε μια σειρά μοντέλων των οποίων η βασική εξίσωση είναι της μορφής:

$$\text{Απόκριση } (t+T) = \text{Ευαισθησία} * \text{Ερέθισμα } (t)$$

$$(Response (t+T) = Sensitivity * Stimulus (t))$$

Τα μοντέλα ποικίλλουν ανάλογα με τις διάφορες απαντήσεις στις βασικές ερωτήσεις: Ποια είναι η φύση της απόκρισης του οδηγού; Σε ποιο ερέθισμα αντιδρά και πώς μετράμε την ευαισθησία του;. Το πρώτο και απλούστερο μοντέλο αντιστοιχεί στην περίπτωση κατά την οποία η απόκριση αντιπροσωπεύεται από την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του οδηγού που ακολουθεί και το ερέθισμα αντιπροσωπεύεται από τη διακύμανση των σχετικών ταχυτήτων. Αυτό το απλό μοντέλο θεωρεί ότι το η ευαισθησία είναι σταθερή.

Αν  $X_n(t)$  και  $X_{n+1}(t)$  είναι οι θέσεις του προπορευόμενου οχήματος και του ακόλουθου του αντίστοιχα στον χρόνο  $t$  τότε το βασικό μοντέλο είναι (Gabbard, 1991):

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

**Εικόνα 4:** Σχέσεις θέσεων προπορευόμενου οχήματος και του ακολουθούντος του (Barceló & Casas, n.d.)

Η υποκείμενη υπόθεση πίσω από αυτά τα μοντέλα είναι ότι ένας οδηγός τοποθετείται σε απόσταση από το κύριο όχημα έτσι ώστε σε περίπτωση έκτακτης διακοπής από τον προπορευόμενο να έρθει ο ακόλουθος με ήπια επιβράδυνση χωρίς να δημιουργηθεί σύγκρουση. Αυτά τα μοντέλα υποθέτουν ότι ο ακόλουθος οδηγός προσαρμόζει τις δικές του αντιδράσεις σε περίπτωση απότομης αλλαγής στην ταχύτητα του εμπροσθεν οδηγού που επιταχύνει και επιβραδύνει με τον ίδιο ρυθμό για ένα δεδομένο διάστημα αντίληψης του ερεθίσματος. Ωστόσο, είναι προφανές ότι οι πιθανότητες επιβράδυνσης είναι συνήθως μεγαλύτερες από τις πιθανότητες επιτάχυνσης. Αυτό είχε ήδη παρατηρηθεί από τους (Herman, et al., 1959) , οι οποίοι πρότειναν μια νέα προοπτική τροποποίησης του βασικού μοντέλου εξισώσεων (1):

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

**Εικόνα 5:** Νέες σχέσεις με βάση (Herman & Rothery) (Barceló & Casas, n.d.)

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις διαφορετικές συμπεριφορές, και το γεγονός ότι συμπεριλαμβάνονται και άλλοι παράγοντες, όπως για παράδειγμα ο στόχος ή η επιθυμητή ταχύτητα ενός οδηγού, θα πρέπει επίσης σύμφωνα με (Gipps, 1986) & (Mahut, 2000), να αναπτύσσει ένα εμπειρικό μοντέλο (ανάλυση συμπεριφοράς αντί για «απόκριση σε ένα ερέθισμα») που αποτελείται από δύο στοιχεία: την επιτάχυνση και την επιβράδυνση, που ορίζονται ως συνάρτηση αριθμησίμων μεταβλητών.

Το πρώτο αντιπροσωπεύει την πρόθεση ενός οχήματος να επιτύχει κάποια επιθυμητή ταχύτητα, ενώ το δεύτερο αναπαράγει τους περιορισμούς που επιβάλλονται από το προηγούμενο όχημα όταν προσπαθεί να προσεγγίσει την επιθυμητή ταχύτητα. Αυτό το μοντέλο δηλώνει ότι, η μέγιστη ταχύτητα με την οποία ένα όχημα (n) μπορεί να επιταχύνει κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου (t, t+T) δίνεται από:

$$V_a(n, t+T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left( 1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}} \quad (2)$$

**Εικόνα 6:** Εύρεση μέγιστης ταχύτητας  $V_a$  (Barceló & Casas, n.d.)

Όπου:  $V(n, t)$  είναι η ταχύτητα του οχήματος n τη στιγμή t.

$V^*(n)$  είναι η επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος (n).

$a(n)$  είναι η μέγιστη επιτάχυνση για το όχημα n.

T είναι ο χρόνος αντίδρασης.

Από την άλλη, η μέγιστη ταχύτητα μπορεί να φτάσει το ίδιο όχημα (n) στο ίδιο χρονικό διάστημα (t, t+T), λαμβάνοντας υπόψη τα δικά του χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί που επιβάλλει η παρουσία του ηγετικού οχήματος είναι:

$$V_b(n, t+T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[ 2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]} \quad (3)$$

Εικόνα 7: Εύρεση μέγιστης ταχύτητας  $V_b$  (Barceló & Casas, n.d.)

Όπου:  $d(n) (< 0)$  είναι η μέγιστη επιβράδυνση που επιθυμεί το όχημα n.

$x(n, t)$  είναι η θέση του οχήματος n στο χρόνο t

$x(n-1, t)$  είναι η θέση του προηγούμενου οχήματος (n-1) τη στιγμή t.

$s(n-1)$  είναι το πραγματικό μήκος του οχήματος (n-1)

$d'(n-1)$  είναι μια εκτίμηση της επιθυμητής επιβράδυνσης του οχήματος (n-1).

Η τελική ταχύτητα για το όχημα n κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος (t, t+T) είναι το ελάχιστο από αυτές τις προηγουμένως καθορισμένες ταχύτητες:

$$V(n, t+T) = \min \{ V_a(n, t+T), V_b(n, t+T) \} \quad (4)$$

Εικόνα 8: Υπολογισμός τελικής ταχύτητας για όχημα n (Barceló & Casas, n.d.)

Ένα κοινό μειονέκτημα του τρόπου με τον οποίο τα περισσότερα από αυτά τα μοντέλα υλοποιούνται στην προσομοίωση είναι ότι οι παράμετροι του μοντέλου είναι καθολικές, δηλαδή σταθερές για ολόκληρο το δίκτυο, ενώ είναι γνωστό ότι η συμπεριφορά του οδηγού επηρεάζεται από τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Επομένως, ένας πιο ρεαλιστικός τρόπος είναι η εφαρμογή μοντελοποίησης του υποδείγματος (Car-following) για μικροσκοπική προσομοίωση όπου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη η τοπική συμπεριφορά. Αυτό σημαίνει ότι ορισμένες από τις παραμέτρους του μοντέλου πρέπει να είναι τοπικές ανάλογα με την τοπική γεωμετρία και τις συνθήκες κυκλοφορίας.

Το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος στο AIMSUN εξελίχθηκε μετά το πρωταρχικό μοντέλο Gipps, το οποίο βελτιώθηκε ώστε να πληροί τις απαιτήσεις που περιεγράφηκαν προηγουμένως. Η πρώτη βελτίωση σχετίζεται με την ταχύτητα του οχήματος  $V^*(n)$  που χρησιμοποιείται στο μοντέλο Gipps. Στην υλοποίηση στο AIMSUN το  $V^*(n)$  είναι η επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος n για την τρέχουσα ενότητα, και επομένως είναι μια τοπική παράμετρος

### 3.4.2.2 Υπόδειγμα Αλλαγής Λωρίδας στην μικροσκοπική προσομοίωση

Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας στο AIMSUN μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μια περαιτέρω εξέλιξη του μοντέλου αλλαγής λωρίδας κατά (Gipps, 1986). Η αλλαγή λωρίδας μοντελοποιείται ως διαδικασία απόφασης που αναλύει την αναγκαιότητα της αλλαγής λωρίδας (όπως στην περίπτωση των ελιγμών στροφής που καθορίζονται από τη διαδρομή), την επιθυμία του οδηγού για αλλαγή λωρίδας (όπως για παράδειγμα να φτάσει στην επιθυμητή ταχύτητα όταν το κορυφαίο όχημα είναι πιο αργό), και τις συνθήκες σκοπιμότητας για την αλλαγή λωρίδας που είναι επίσης τοπικές, ανάλογα με τη θέση του οχήματος στο οδικό δίκτυο. Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας είναι ένα μοντέλο απόφασης που προσεγγίζει το μοντέλο του οδικής συμπεριφοράς ως εξής:

Κάθε φορά που πρέπει να ενημερωθεί ένα όχημα, το μοντέλο θέτει την ερώτηση: *Είναι απαραίτητο να αλλάξει λωρίδες;* Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: τη δυνατότητα στροφής στην τρέχουσα λωρίδα, την απόσταση από την επόμενη στροφή και τις συνθήκες κυκλοφορίας στην τρέχουσα λωρίδα. Οι συνθήκες κυκλοφορίας είναι μετρήσιμες ως προς την ταχύτητα και το μήκος της ουράς. Όταν ένα όχημα οδηγεί πιο αργά από όσο επιθυμεί, αυτός επιδιώκει να προσπεράσει το εμπροσθεν όχημα. Από την άλλη, όταν ταξιδεύει αρκετά γρήγορα, τείνει να επιστρέψει στην πιο αργή λωρίδα.

Στην περίπτωση που η απάντηση στην προηγούμενη ερώτηση είναι καταφατική, για να πραγματοποιηθεί η αλλαγή λωρίδας θα πρέπει να απαντηθούν οι εξής ερωτήσεις:

1. *Είναι επιθυμητό να γίνει αλλαγή λωρίδας;* Αυτό απαιτεί έλεγχο εάν θα υπάρξει κάποια βελτίωση στις συνθήκες κυκλοφορίας για τον οδηγό ως αποτέλεσμα της αλλαγής λωρίδας. Αυτή η βελτίωση μετριέται σε όρους ταχύτητας και απόστασης. Εάν η ταχύτητα στη μελλοντική λωρίδα είναι μεγαλύτερη (δηλαδή είναι πάνω από το όριο που έχει καθοριστεί από τον χρήστη) από την τρέχουσα λωρίδα ή εάν η ουρά είναι μικρότερη από ένα όριο, τότε είναι επιθυμητό να γίνει αλλαγή λωρίδα.
2. *Υπάρχει δυνατότητα αλλαγής λωρίδας;* Αυτό απαιτεί επαλήθευση εάν υπάρχει αρκετό κενό για να περάσει το όχημα σε άλλη λωρίδα με απόλυτη ασφάλεια. Για το σκοπό αυτό υπολογίζουμε τόσο το φρενάρισμα που επιβάλλεται από το επόμενο κατάντι όχημα προς το μεταβαλλόμενο όχημα και την πέδηση που εφαρμόζεται από το μεταβαλλόμενο όχημα στο μελλοντικό όχημα ανάντι. Εάν και οι δύο σχέσεις πέδησης είναι αποδεκτές, τότε είναι δυνατή η αλλαγή λωρίδας.

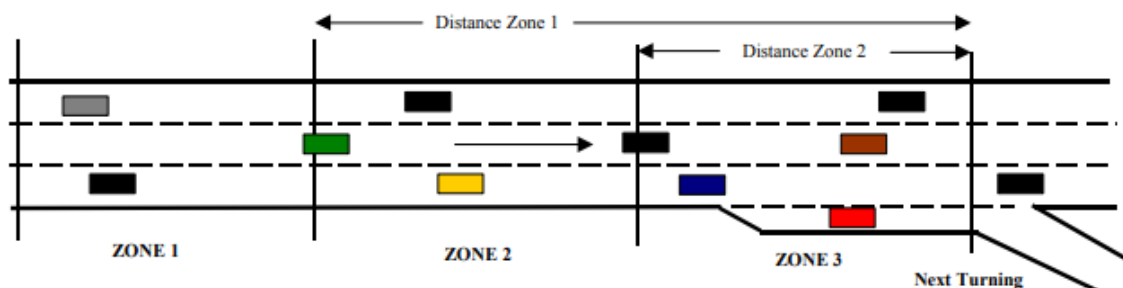
Για να επιτευχθεί μια ακριβέστερη αναπαράσταση της συμπεριφοράς του οδηγού στην αλλαγή λωρίδας δημιουργείται μια διαδικασία λήψης απόφασης στην οποία εξετάζονται τρεις διαφορετικές ζώνες μέσα σε ένα τμήμα οδού, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε διαφορετικό κίνητρο αλλαγής λωρίδας. Η απόσταση μέχρι το τέλος του τμήματος χαρακτηρίζει αυτές τις ζώνες και το επόμενο σημείο καμπής.

**Ζώνη 1:** Αυτό είναι το πιο απομακρυσμένο από το επόμενο σημείο καμπής. Οι αποφάσεις αλλαγής λωρίδας διέπονται από τις συνθήκες κυκλοφορίας των εμπλεκόμενων λωρίδων και η σκοπιμότητα της επόμενης επιθυμητής κίνησης στροφής δεν λαμβάνεται ακόμη υπόψη. Για να μετρηθεί η βελτίωση που θα έχει ο οδηγός όταν αλλάζει λωρίδες εξετάζονται διάφορες παράμετροι: η επιθυμητή ταχύτητα του οδηγού, η ταχύτητα και η απόσταση του τρέχον προηγούμενο οχήματος και η ταχύτητα με την απόσταση του μελλοντικού προηγούμενου οχήματος.

**Ζώνη 2:** Αυτή είναι η ενδιάμεση ζώνη. Στην περίπτωση αυτή η επιθυμητή λωρίδα στροφής επηρεάζει τη λωρίδα αλλαγής απόφασης. Οχήματα που δεν οδηγούν σε έγκυρη λωρίδα (δηλαδή λωρίδα όπου είναι επιθυμητό, μπορεί να γίνει κίνηση στροφής) τείνουν να πλησιάζουν στη σωστή πλευρά του δρόμου όπου βρίσκεται η επιτρεπόμενη στροφή. Σε αυτή τη ζώνη τα οχήματα αναζητούν ένα κενό και μπορεί να προσπαθήσουν να το αποδεχτούν χωρίς να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των οχημάτων στις παρακείμενες λωρίδες.

**Ζώνη 3:** Αυτό είναι το πλησιέστερο στο επόμενο σημείο καμπής. Τα οχήματα αναγκάζονται να φτάσουν στην επιθυμία τους για αλλαγή λωρίδων, μειώνοντας την ταχύτητα αν χρειαστεί και ακόμη και να σταματήσει τελείως για να κάνει πιθανή αλλαγή λωρίδας. Επίσης, τα οχήματα στην παρακείμενη λωρίδα μπορούν να τροποποιήσουν τη συμπεριφορά τους προκειμένου να εμφανιστεί ένα κενό αρκετά μεγάλο για το όχημα που αλλάζει λωρίδα.

Παρακάτω φαίνεται η αναπαράσταση των ζωνών σε τμήμα οδικού δικτύου.



Εικόνα 9: Ζώνες αλλαγής λωρίδας (Barceló & Casas, n.d.)

Οι ζώνες αλλαγής λωρίδας ορίζονται από δύο παραμέτρους, την απόσταση από τη Ζώνη 1 και την απόσταση από τη Ζώνη 2. Αυτές οι παράμετροι ορίζονται σε χρόνο (δευτερόλεπτα) και μετατρέπονται σε απόσταση όποτε απαιτείται για κάθε όχημα σε κάθε τμήμα χρησιμοποιώντας την επιθυμητή ταχύτητα οχήματος σε ένα τμήμα. Αυτό σημαίνει ότι οι αποστάσεις αυτές είναι οι τοπικές παράμετροι που μεταβάλλονται ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας στο δίκτυο. Όταν ένα όχημα περνά από τη Ζώνη 1 στη Ζώνη 2, υπάρχει μια αλλαγή στη συμπεριφορά του οχήματος. Επίσης η διέλευση από τη ζώνη 2 στη ζώνη 3 προκαλεί αλλαγή στους κανόνες συμπεριφοράς των οχημάτων, καθώς πλέον το να φτάσουν στη λωρίδα στροφής καθίσταται επείγον. Προκειμένου να κατανεμηθούν αυτές οι αλλαγές συμπεριφοράς σε μεγαλύτερη απόσταση, δίνεται μεγαλύτερη μεταβλητότητα στη λωρίδα αλλαγής ζωνών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 4.1 Γενική Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αφορά την **συλλογή και διαχείριση των δεδομένων φόρτου** που συντελούν το υπό-μελέτη οδικό δίκτυο καθώς και τα πρώτα στάδια κωδικοποίησής του. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται αναλυτικά **η μεθοδολογία** που αξιοποιήθηκε για την ανάπτυξη της **γεωμετρίας του δικτύου** στο περιβάλλον της προσομοίωσης, δίνοντας βάση σε όλους τους σημαντικούς παράγοντες και παραμέτρους για την ορθή εκτέλεση της προσομοίωσής του.

### 4.2 Περιοχή Μελέτης

Περιοχή μελέτης της παρούσα διπλωματικής εργασίας αποτελεί τμήμα του Αυτοκινητοδρόμου Π.Α.Θ.Ε. Παρακάτω φαίνεται στην **Εικόνα 10** το συνολικό μήκος του Π.Α.Θ.Ε. καθώς και την διαδρομή που διαγράφει στον Ελλαδικό χώρο.



Εικόνα 10: Χάρτης Αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ (πηγή: Google Maps)

Ο **Π.Α.Θ.Ε.** (Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Ευζώνοι) αποτελεί «συνδεδετικό» δίκτυο τριών αυτοκινητοδρόμων: τον **Α.Θ.Ε.** (Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Ευζώνοι), ένα τμήμα της Αττικής Οδού (Μεταμόρφωση-Ελευσίνα) και την Ολύμπια Οδό. Το συνολικό μήκος του αυτοκινητοδρόμου αυτού υπολογίζεται στα 780χλμ. Αξίζει να σημειωθεί ότι στον Π.Α.Θ.Ε. βρίσκονται μερικές από τις μεγαλύτερες σήραγγες της Ελλάδας όπως αναφέρονται παρακάτω κατά σειρά μέγιστης σημαντικότητας (Wikipedia, 2021):

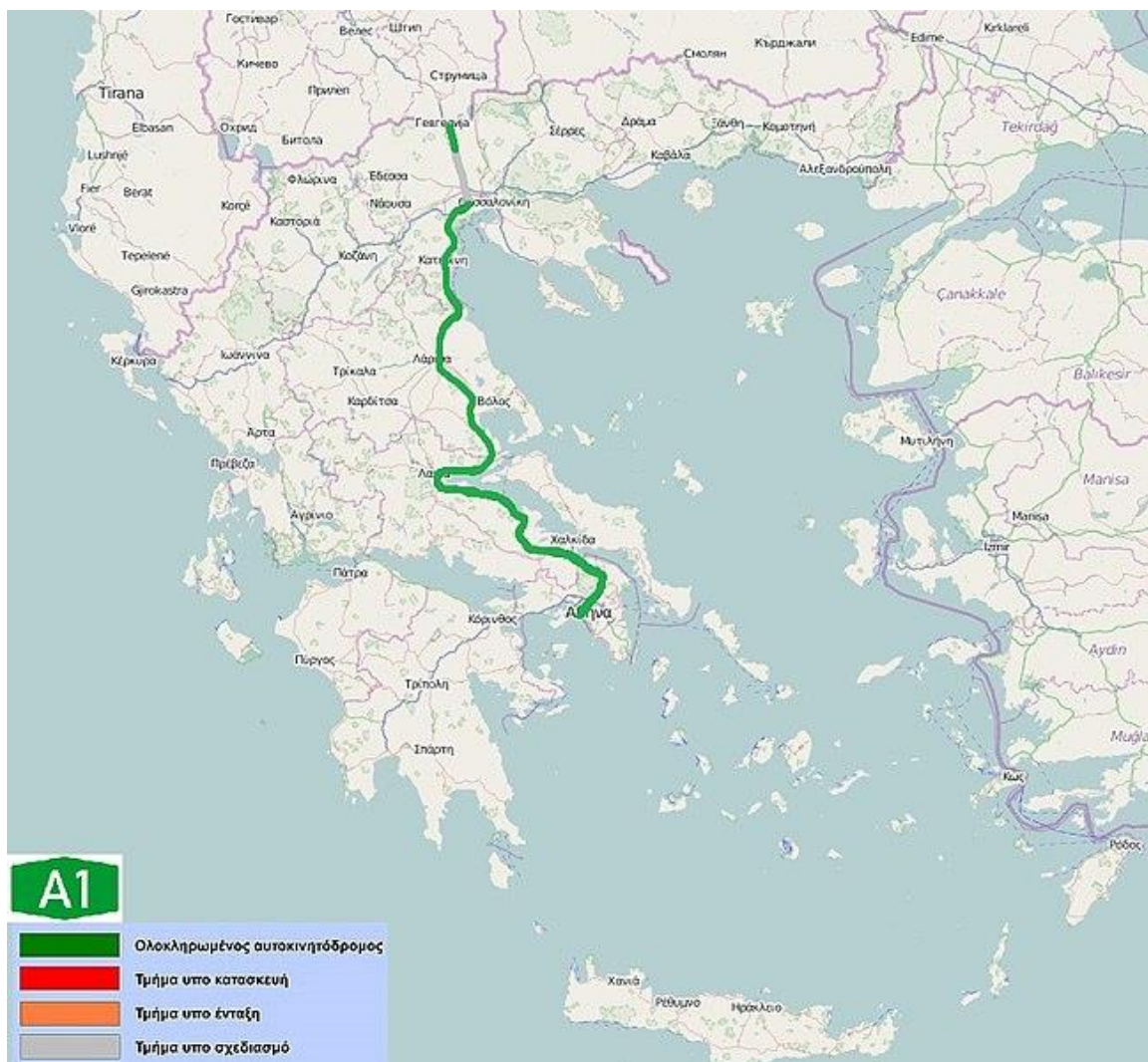
1. Σήραγγα Τ2 Τεμπών (μήκους: 6χλμ) –*ένα από τα μεγαλύτερα έργα σηράγγων στην Ελλάδα* –
2. Σήραγγα Παναγοπούλας (μήκους: 4χλμ)
3. Σήραγγα Πλαταμώνα (μήκους: 2,7χλμ)
4. Σήραγγα Κνημίδας (μήκους: 2,5χλμ).



**Εικόνα 11:** Π.Α.Θ.Ε. Σήραγγα Τεμπών Τ2 (πηγή: [el.wikivoyage.org](http://el.wikivoyage.org))

Το οδικό τμήμα που διερευνάται στην εργασία αυτή ανήκει στο τμήμα **Α.Θ.Ε.** (Αθήνα – Θεσσαλονίκη – Ευζώνων) του αυτοκινητόδρομου **Π.Α.Θ.Ε.**. Πιο αναλυτικά, ο αυτοκινητόδρομος αυτός αποτελεί τμήμα της Ευρωπαϊκής Διαδρομής **E75**. Το συνολικό μήκος του είναι 550 χιλιόμετρα και αποτελεί τον κυριότερο οδικό άξονα της Ελλάδας διότι συνδέει την Αθήνα με τις περιοχές της Θεσσαλίας και της Μακεδονίας, καθώς και τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της χώρας, τη Θεσσαλονίκη. Η αρχή του συντελεί το Νέο Φάληρο στην Αττική και συνεχίζει βόρεια για να καταλήξει στο συνοριακό σταθμό Ευζώνων, στα σύνορα της Ελλάδας με την Βόρεια Μακεδονία. (Wikipedia, 2021)

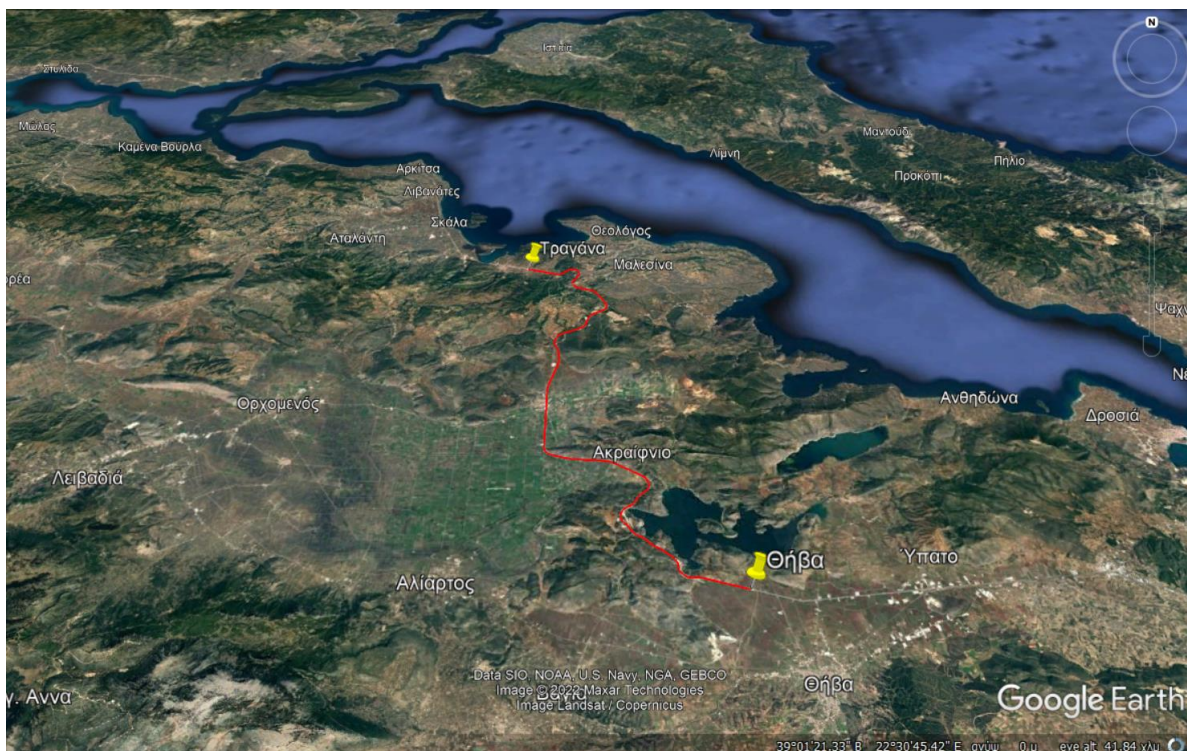




Εικόνα 12: Χάρτης Αυτοκινητοδρόμου Α1 (πηγή: commons.wiki.org)

Το υπό-μελέτη τμήμα περιλαμβάνει την διανυσματική απόσταση από τον Μετωπικό Σταθμό Διοδίων της Θήβας ως τον Μετωπικό Σταθμό Διοδίων Τραγάνας με συνολική έκταση 44,28 χιλιομέτρων. Επιπλέον, στην μελέτη περιλαμβάνονται οι εισοδοι και οι εξοδοι σ' όλο το μήκος του αυτοκινητοδρόμου αυτού που οδηγούν στις περιοχές Ακραιφνίου, Κάστρου, Μαρτίνου και Μαλεσίνας.

Πιο συγκεκριμένα, ο αυτοκινητόδρομος αυτός αποτελείται από δύο λωρίδες κυκλοφορίας και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης σε κάθε κατεύθυνση οδήγησης που χωρίζονται με μια κεντρική νησίδα. Όλες οι διασταυρώσεις του αυτοκινητόδρομου είναι ανισόπεδες – διαχωρισμένες μεταξύ τους – καθώς η διαδρομή διασχίζει τραχύ ορεινό και παραθαλάσσιο έδαφος, απαιτεί γέφυρες, οδογέφυρες, σήραγγες και άλλες παρόμοιες κατασκευές σε τμήματα που ολοκληρώθηκαν κατά κόρον την δεκαετία του 2010, συμπεριλαμβανομένης της μεγαλύτερης σήραγγας στην Ελλάδα και γενικά στα Βαλκάνια. Οι περιοχές Ακραιφνίου, Κάστρου, Μαρτίνου και Μαλεσίνας ενώνονται με τον αυτοκινητόδρομο με ανισόπεδους κόμβους Εισόδου και Εξόδου.



**Εικόνα 13:** Αυτοκινητόδρομος Ενδιαφέροντος "Θήβα - Τραγάνα"

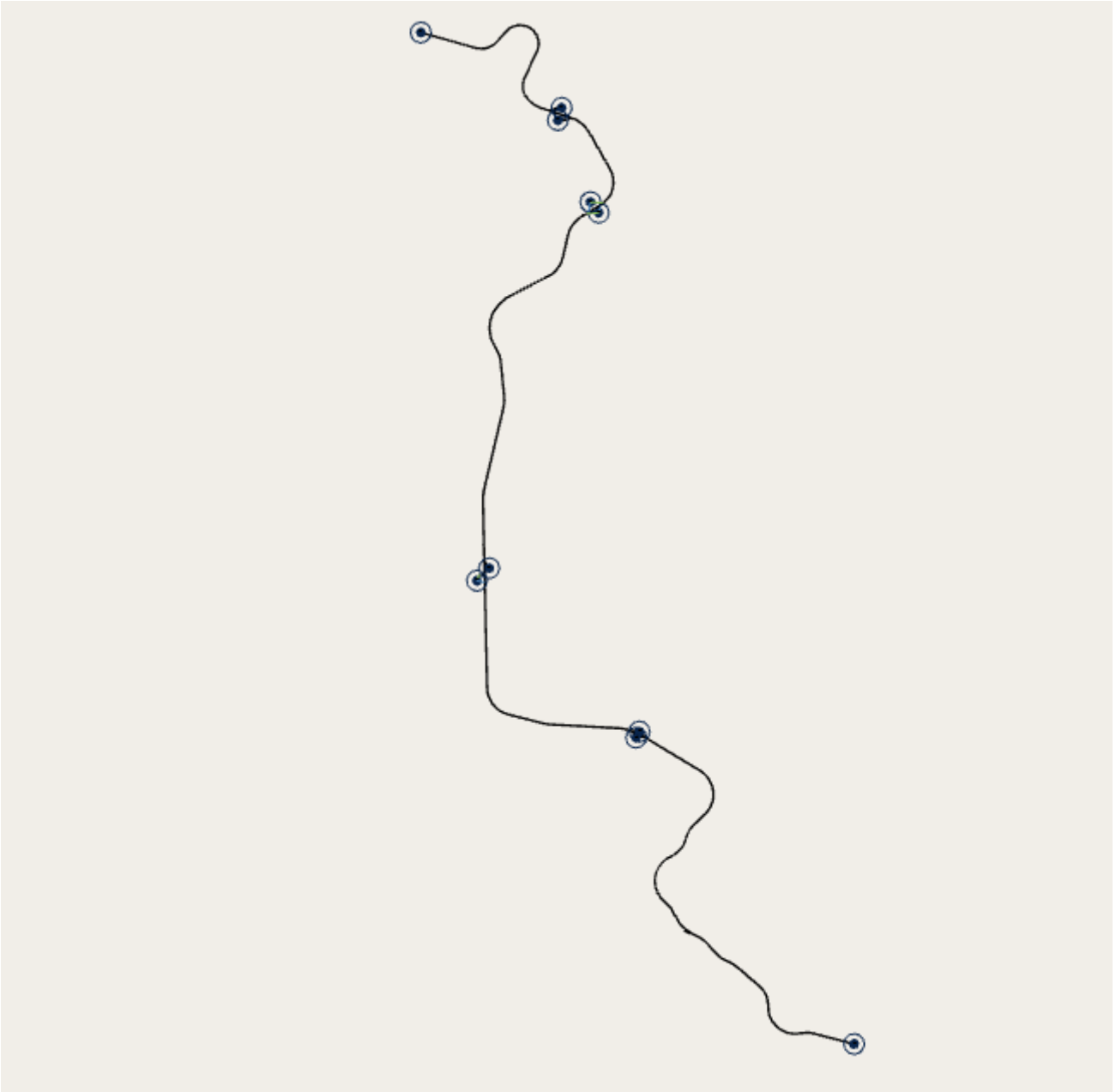
### 4.3 Κωδικοποίηση Οδικού Δικτύου

Πρώτο βήμα για την έναρξη της προσομοίωσης αποτελεί η κωδικοποίηση του οδικού δικτύου της υπό-εξέτασης περιοχής μελέτης με στόχο την εύρεση και την εισαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της με την μέγιστη ακρίβεια προσέγγισης ως προς τον πραγματικό οδικό άξονα.

Το λογισμικό προσομοίωσης AIMSUN παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη κατά την δημιουργία ενός αρχείου μελέτης «project» να βρει σε Open Street Map την περιοχή μελέτης του εισάγοντας την γεωμετρία της επιλεγθείσας οδού με την μέγιστη ακρίβεια, καθώς οι χάρτες Open Street Map παρέχουν πληροφορίες για όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού (στροφές, επιτρεπόμενη ταχύτητα, αριθμός λωριδών, εισοδοί – εξοδοί αυτοκινητόδρομοι κλπ.).

Ο οδικός άξονας που κωδικοποιήθηκε αποτελείται από 96 οδικά τμήματα (sections) και 55 διασταυρώσεις (nodes). Τέλος περιλαμβάνει 10 κεντροειδή σημεία (centroids) που έχουν τοποθετηθεί για κάθε ζεύγος εισόδου και εξόδου οχημάτων από τον αυτοκινητόδρομο.

Παρακάτω φαίνεται το κωδικοποιημένο δίκτυο όπως αναπαρίσταται στο λογισμικό AIMSUN στην



**Εικόνα 14:** Κωδικοποιημένο Οδικό Δίκτυο "Θήβα - Τραγάνα"

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τον έλεγχο των οδικών τμημάτων που επιλέχθηκαν, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Google Earth. Πιο αναλυτικά, για κάθε οδικό δίκτυο τμήμα, κωδικοποιήθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (αριθμός λωρίδων, κατεύθυνση κυκλοφορίας), και προσδιορίστηκαν οι ταχύτητες για τις παραπάνω κατηγορίες οδικών τμημάτων του δικτύου:

1. Ευθυγραμμία : μέγιστη ταχύτητα : 120 χλμ./ώρα
2. Ράμπες εισόδου/εξόδου (On/Off Ramp): μέγιστη ταχύτητα : 50 χλμ./ώρα
3. Καμπύλη : μέγιστη ταχύτητα : 90 χλμ./ώρα

Για κάθε τύπο οδού, λήφθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές από το λογισμικό για την χωρητικότητα ανά λωρίδα. Αυτές οι τιμές ενδέχεται να διαφέρουν από τις πραγματικές τιμές χωρητικότητας των οδικών τμημάτων του υπό-μελέτη δικτύου, για αυτό και διατηρείται μια επιφύλαξη όσον αφορά την σύγκρισή τους με την πραγματικότητα.

Στην περίπτωση των κόμβων, πραγματοποιήθηκε καθορισμός της γεωμετρίας των προσβάσεων, δηλαδή των επιτρεπόμενων στρεφουσών κινήσεων και ο τρόπος ρύθμισης της κυκλοφορίας.

#### **4.4 Εισαγωγή Δεδομένων Κυκλοφοριακού Φόρτου**

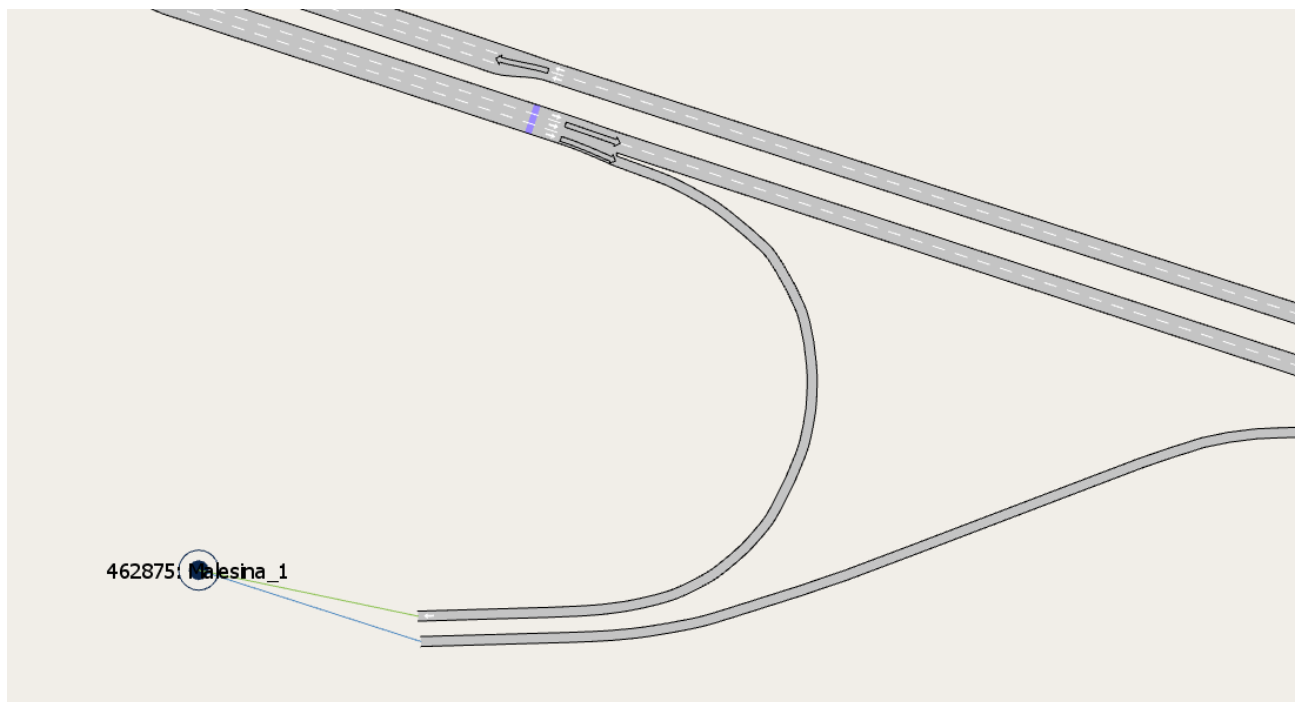
Με την ολοκλήρωση της κωδικοποίησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου, υλοποιείται το επόμενο βήμα που αποτελεί την εισαγωγή των δεδομένων κυκλοφοριακού φόρτου εντός του κωδικοποιημένου δικτύου.

##### **4.4.1 Μητρώο Προέλευσης Δεδομένων**

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 «[NEA ΟΔΟΣ Α.Ε.](#)» και αποτελούν πραγματικά στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου.

##### **4.4.2 Επεξεργασία Δεδομένων**

Η επεξεργασία των δεδομένων που θα αναλυθεί παρακάτω παίζει σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της προσομοίωσης καθώς έχει ως στόχο την καταγραφή των τελικών στοιχείων κυκλοφοριακού φόρτου τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικούς ανιχνευτές κυκλοφορίας (detectors). Οι ανιχνευτές αυτοί έχουν διαφορετικές ονομασίες ανάλογα με την κατεύθυνση (προς Αθήνα ή προς Θεσσαλονίκη) και το σημείο στα οποία βρίσκονται (πχ Κάστρου). Η τοποθέτηση των ανιχνευτών γίνεται με βάση τις εξόδους του αυτοκινητοδρόμου και έχουν ελεγχθεί από το Google Earth. Παρακάτω φαίνεται στην εικόνα η τοποθέτηση ανιχνευτών εντός του κωδικοποιημένου οδικού δικτύου – πολύγωνο μωβ χρώματος – .



**Εικόνα 15:** Τοποθέτηση ανιχνευτή (detector) στην έξοδο προς Μαλεσίνα με κατεύθυνση προς Αθήνα

### **Κατηγορία Οχήματος**

Αρχικό στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων αποτελεί η επιλογή των κατηγοριών των οχημάτων που θα περιλαμβάνει το κωδικοποιημένο οδικό δίκτυο. Αυτό πραγματοποιείται μέσω του ελέγχου των κατηγοριών των οχημάτων που περιέχει το λογισμικό AIMSUN οι οποίες είναι οι εξής:

1. Ι.Χ. (Car)
2. Ποδήλατο (Bicycle)
3. Λεωφορείο (Bus)
4. Μοτοσυκλέτα (Motorbike)
5. Ταξί (Taxi)
6. Φορτηγό –Βαρύ Όχημα- (Truck)

Τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου που δόθηκαν από την «ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.» περιέχουν τις εξής κατηγορίες οχημάτων:

1. Ι.Χ. (Car)
2. Ι.Χ. Ρυμουλκούμενο (Car with Trailer)
3. Ημιφορτηγό (Lorry)
4. Ρυμουλκούμενο Ημιφορτηγό (Lorry with Trailer)
5. Λεωφορείο (Bus)
6. Μοτοσυκλέτα (Motorbike)
7. Van
8. Φορτηγό (Truck)
9. Άλλο Όχημα (Other Vehicle)

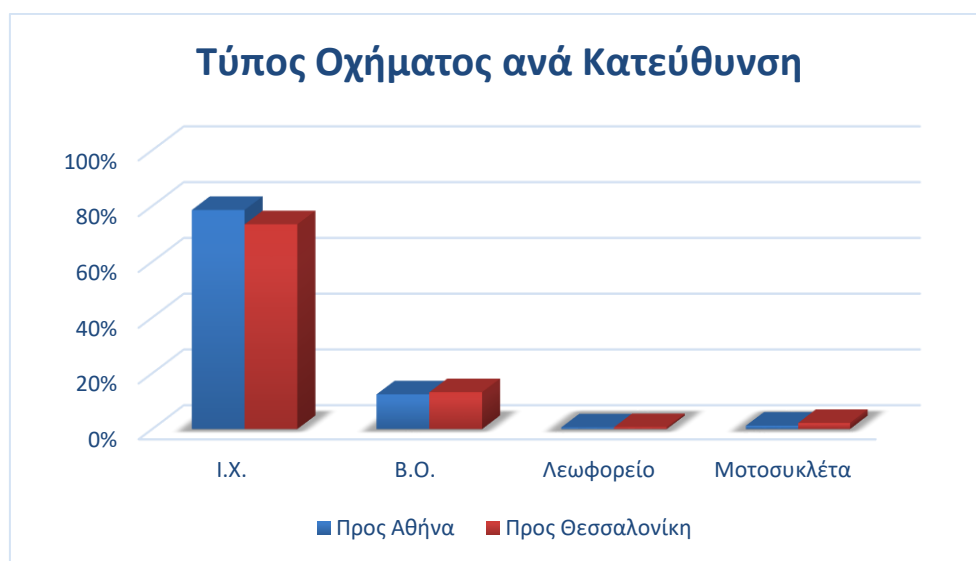
Λαμβάνοντας υπόψη ότι το AIMSUN περιέχει διαφορετικές τιμές μήκους και πλάτους για την κατηγορία των Ι.Χ., πραγματοποιείται η πρόσθεση των κατηγοριών Ι.Χ., Ι.Χ. Ρυμουλκούμενο (Car with Trailer), Ημιφορτηγό (Lorry), Ρυμουλκούμενο Ημιφορτηγό (Lorry with Trailer) και Van στην κατηγορία Ι.Χ. του AIMSUN.

Επομένως, οι τελικές κατηγορίες των οχημάτων που συντελούν την ανάλυση είναι οι εξής :

1. Ι.Χ. (Car)
2. Λεωφορείο (Bus)
3. Μοτοσυκλέτα (Motorbike)
4. Φορτηγό (Truck)

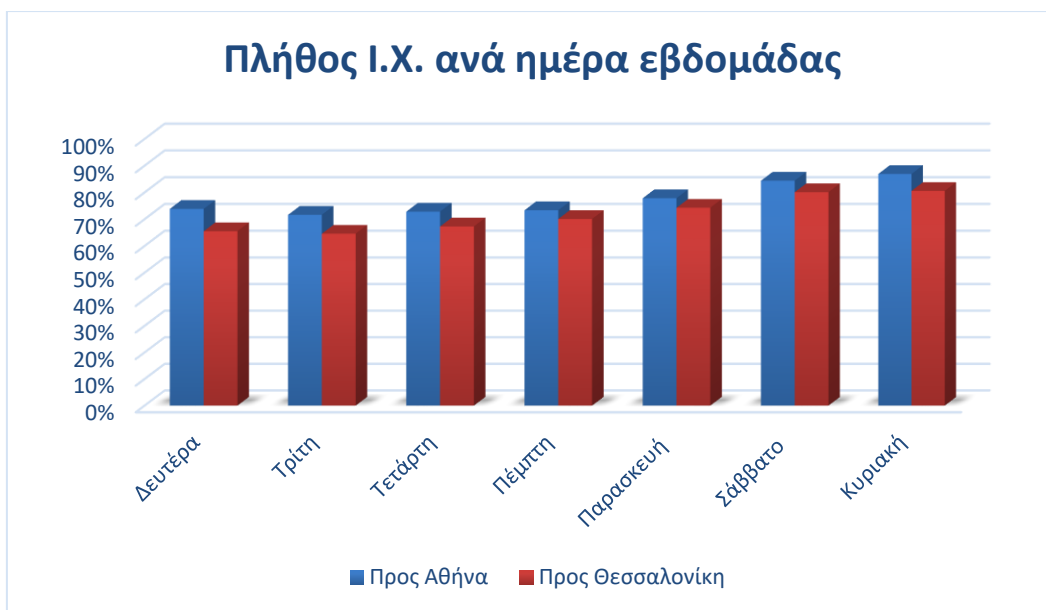
Επόμενο στάδιο αποτελεί η συλλογή των στοιχείων κυκλοφοριακού φόρτου που καταγράφηκαν ανά κατηγορία οχήματος ανά ώρα για όλες τις ημέρες των εξεταζόμενων μηνών (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος ) σε αντιστοιχία με την περιοχή στην οποία αναφέρονται (Θήβα, Ακραιφνιο, Κάστρο, Μαρτίνου, Μαλεσίνα, Τραγάνα).

Η συλλογή των στοιχείων αυτών πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τις τελικές κατηγορίες των οχημάτων που θα βασιστεί η προσομοίωση (Ι.Χ., Β.Ο. (Φορτηγό), Λεωφορείο, Μοτοσυκλέτα). Παρακάτω φαίνονται σε μορφή διαγράμματος οι αναλύσεις που προέκυψαν από τα δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου, για την ανάδειξη της υφιστάμενης κατάστασης και ζήτησης του εξεταζόμενου αυτοκινητοδρόμου.



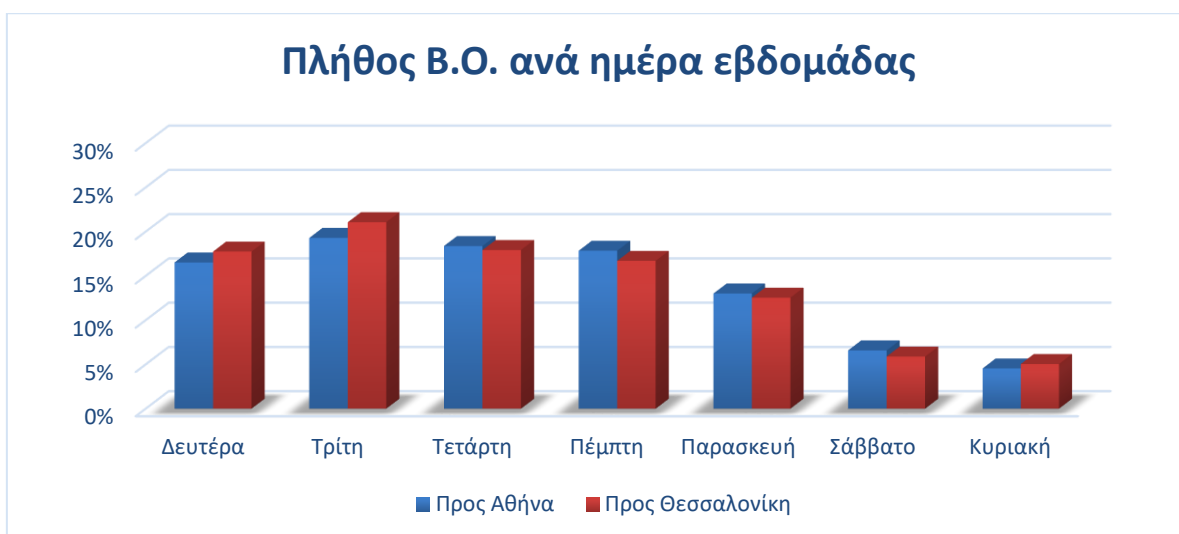
**Διάγραμμα 2:** Ο Κυκλοφοριακός Φόρτος των δύο κατευθύνσεων ανά Τύπο Οχήματος

Στο **Διάγραμμα 2** παρουσιάζεται η μεταβολή των μετρήσεων του κυκλοφοριακού φόρτου για κάθε τύπο οχήματος και για τις δύο κατευθύνσεις (Προς Αθήνα, Προς Θεσσαλονίκη). Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό παρατηρείται μεγαλύτερη τιμή κυκλοφοριακού φόρτου στην περίπτωση των Ι.Χ. και πιο συγκεκριμένα στην κατεύθυνση προς Αθήνα. Επιπλέον, ακολουθεί η κατηγορία των Βαρέων Οχημάτων, η οποία παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό κυκλοφοριακού φόρτου στο ρεύμα προς Θεσσαλονίκη. Οι υπόλοιπες κατηγορίες οχημάτων (Λεωφορείο, Μοτοσυκλέτα) φαίνεται να έχουν ελάχιστες μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου στο σύνολο του οδικού δικτύου.



**Διάγραμμα 3:** Πλήθος Οχημάτων κατηγορίας Ι.Χ. ανά Ημέρα Εβδομάδας

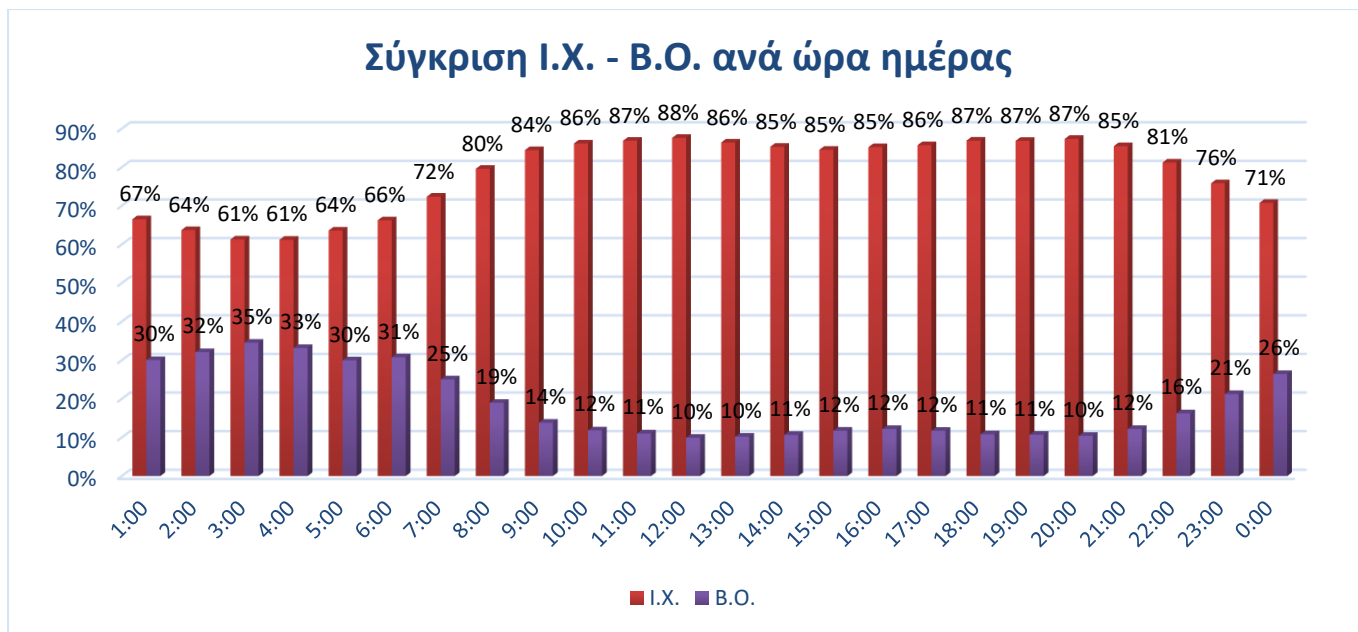
Στο **Διάγραμμα 3** παρουσιάζεται η μεταβολή των μετρήσεων του πλήθους των οχημάτων κατηγορίας Ι.Χ. ανά ημέρα εβδομάδας και για τις δύο κατευθύνσεις (Προς Αθήνα, Προς Θεσσαλονίκη). Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται μια σημαντική αύξηση του πλήθους των Ι.Χ. οχημάτων το Σαββατοκύριακο.



**Διάγραμμα 4:** Πλήθος Οχημάτων κατηγορίας Β.Ο. ανά Ημέρα Εβδομάδας

Στο **Διάγραμμα 4** παρουσιάζεται η μεταβολή των μετρήσεων του πλήθους των οχημάτων κατηγορίας Βαρέων Οχημάτων ανά ημέρα εβδομάδας και για τις δύο κατευθύνσεις (Προς Αθήνα, Προς Θεσσαλονίκη). Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται μια σημαντική αύξηση του πλήθους των Β.Ο. οχημάτων τις ημέρες Τρίτη και Πέμπτη.

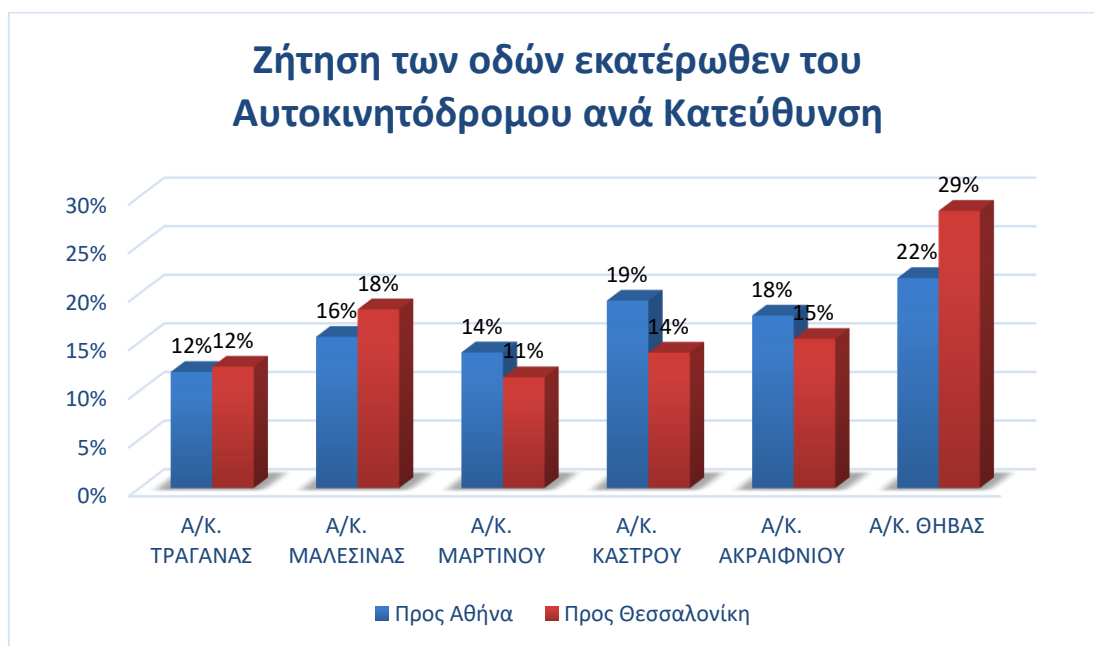
**Σύγκριση Ι.Χ. – Β.Ο.**



**Διάγραμμα 5:** Διάγραμμα Σύγκρισης Κυκλοφοριακού Φόρτου Ι.Χ. & Β.Ο. ανά Ώρα Ημέρας

Στο **Διάγραμμα 5** παρουσιάζεται η μεταβολή των μετρήσεων του πλήθους των οχημάτων κατηγορίας Βαρέων Οχημάτων και Ι.Χ. ανά ώρα ημέρας. Εκ πρώτης όψεως φαίνεται ότι η ώρα αιχμής των κατηγοριών αυτών είναι σε διαφορετικές περιόδους. Η ώρα αιχμής των Β.Ο. εμφανίζεται στην πρωινή περίοδο στο διάστημα 4πμ με 7πμ, ενώ στην περίπτωση των Ι.Χ. η ώρα αιχμής εμφανίζεται στο διάστημα 11πμ με 1μμ. Τέλος, παρατηρείται ότι στην περίοδο αιχμής των Β.Ο. τα Ι.Χ. εμφανίζουν τις ελάχιστες τιμές κυκλοφοριακού φόρτου.

**Ζήτηση των Οδών Εκατέρωθεν του Αυτοκινητοδρόμου**



**Διάγραμμα 6:** Σύγκριση της Ζήτησης των Οδών Εκατέρωθεν του Αυτοκινητοδρόμου ανά Κατεύθυνση



Στο **Διάγραμμα 6** παρουσιάζεται η μεταβολή της ζήτησης των Οδών που βρίσκονται εκατέρωθεν του υπό-μελέτη αυτοκινητόδρομου και για τις δύο κατευθύνσεις (προς Αθήνα, προς Θεσσαλονίκη). Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι, όσον αφορά την κατεύθυνση προς Αθήνα, η μέγιστη τιμή κυκλοφοριακού φόρτου καταγράφεται στην οδό Α/Κ. Θήβας με ποσοστό 22% και έπεται η οδός Α/Κ. Κάστρου με ποσοστό 19%. Ενώ και στην κατεύθυνση προς Θεσσαλονίκη, η μέγιστη τιμή κυκλοφοριακού φόρτου καταγράφεται στην οδό Α/Κ. Θήβας με ποσοστό 29% και ακολουθεί η οδός Α/Κ. Μαλεσίνας με ποσοστό 18%.

### **Προσδιορισμός Ώρας Αιχμής**

Μία σημαντική παράμετρος για την έναρξη ενός σεναρίου προσομοίωσης είναι η εύρεση της χρονικής περιόδου αναπαράστασής του. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ανάλυση έχοντας ως σημείο αναφοράς την ώρα αιχμής των Βαρέων Οχημάτων (Φορτηγών) εντός του αυτοκινητοδρόμου προκειμένου να εκτιμηθούν και οι επιπτώσεις που φέρουν τόσο στην κυκλοφορία όσο και στο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, με την χρήση των πινάκων που δημιουργήθηκαν ανά κατηγορία οχήματος όπως αναφέρθηκε στο υπό-κεφάλαιο **4.4.2 Επεξεργασία Δεδομένων**, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των ημερών που περιέχουν τα περισσότερα οχήματα ανά ώρα – Τρίτη και Πέμπτη – σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα σε υπολογιστικό φύλλο Excel. Έπειτα υπολογίζεται για κάθε μέρα ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος ανά ώρα και υλοποιείται η εύρεση ώρας αιχμής όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Παρατηρείται ότι η ώρα αιχμής των βαρέων οχημάτων είναι στις 6πμ, επομένως η χρονική περίοδος που θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση είναι 5πμ με 7πμ.

Πίνακας 2: Προσδιορισμός Ωρας Αιχμής

Α/Κ ΤΡΑΓΑΝΑΣ Κατεύθυνση Προς Αθήνα Κ+R										
		Πέμπτη	Τρίτη	Πέμπτη	Τρίτη	Πέμπτη	Τρίτη	Πέμπτη	Τρίτη	Πέμπτη
Χρονική διάρκεια		2/9/2021	7/9/2021	9/9/2021	14/9/2021	16/9/2021	21/9/2021	23/9/2021	28/9/2021	30/9/2021
0:00:00	1:00:00	67	52	57	83	58	70	46	65	50
1:00:00	2:00:00	53	44	46	45	53	49	53	47	59
2:00:00	3:00:00	39	43	36	40	44	58	45	49	31
3:00:00	4:00:00	57	40	49	53	56	48	38	43	36
4:00:00	5:00:00	48	58	58	52	55	69	58	66	46
5:00:00	6:00:00	64	52	67	76	73	60	82	57	83
6:00:00	7:00:00	64	67	73	73	79	62	80	80	80
7:00:00	8:00:00	65	63	71	61	73	59	72	72	68
8:00:00	9:00:00	73	46	53	43	58	55	50	65	56
9:00:00	10:00:00	51	50	59	47	52	56	73	42	50
10:00:00	11:00:00	51	37	58	42	47	42	36	51	40
11:00:00	12:00:00	40	25	41	42	52	42	33	41	38
12:00:00	13:00:00	49	32	45	31	29	32	39	53	46
13:00:00	14:00:00	32	43	44	44	28	49	37	39	34
14:00:00	15:00:00	37	43	53	47	47	47	49	37	43
15:00:00	16:00:00	58	52	43	49	41	61	57	48	47
16:00:00	17:00:00	59	46	78	58	77	69	73	61	84
17:00:00	18:00:00	60	46	75	66	73	78	52	54	60
18:00:00	19:00:00	59	55	73	48	54	71	54	40	44
19:00:00	20:00:00	42	48	56	60	61	46	59	69	45
20:00:00	21:00:00	62	59	59	47	51	60	38	56	44
21:00:00	22:00:00	55	79	62	74	55	62	58	64	64
22:00:00	23:00:00	72	55	79	62	68	51	56	50	60
23:00:00	0:00:00	64	63	75	63	64	73	70	59	52
		18	17	16	15	14	13	12	11	10
		8:00:00 πμ	6:00:00 πμ	6:00:00 πμ	12:00:00 πμ	6:00:00 πμ	12:00:00 πμ	5:00:00 πμ	6:00:00 πμ	5:00:00 πμ
		10:00:00 μμ	9:00:00 μμ	10:00:00 μμ	9:00:00 μμ	4:00:00 μμ	5:00:00 μμ	4:00:00 μμ	7:00:00 μμ	4:00:00 μμ

Ύστερα από την εύρεση της ώρας αιχμής για την κατηγορία των Βαρέων Οχημάτων υπολογίζεται ο μέσος όρος των φορτηγών των χρονικών περιόδων 5πμ – 6πμ και 6πμ – 7πμ και το άθροισμά τους αποτελεί τον τελικό στοιχείο κυκλοφοριακού φόρτου που θα εισαχθεί στην προσομοίωση στην περιοχή και ως προς την κατεύθυνση του οδικού τμήματος που μελετάται (πχ Τραγάνα με κατεύθυνση προς Αθήνα).

Θεωρώντας ως ώρα αιχμής την 6πμ και χρονικό διάστημα μελέτης 5πμ – 7πμ, πραγματοποιείται η παραπάνω διαδικασία και στα υπόλοιπα είδη οχημάτων που συμμετέχουν στην προσομοίωση έχοντας τα εξής τελικά στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου:

**Πίνακας 3:** Στοιχεία Κυκλοφοριακού Φόρτου "Κατεύθυνση Προς Αθήνα"

<b>Κόμβοι</b>	<b>Β.Ο.</b>	<b>ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ</b>	<b>Ι.Χ.</b>	<b>ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΑ</b>
Α.Κ. ΤΡΑΓΑΝΑΣ	129	2	148	2
Α.Κ. ΜΑΛΕΣΙΝΑΣ	171	2	212	1
Α.Κ. ΜΑΡΤΙΝΟΥ	178	1	211	6
Α.Κ. ΚΑΣΤΡΟΥ	174	3	234	3
Α.Κ. ΑΚΡΑΙΦΝΙΟΥ	172	3	245	3
Α.Κ. ΘΗΒΑΣ	174	14	296	3
Σύνολο				

**Πίνακας 4:** Στοιχεία Κυκλοφοριακού Φόρτου "Κατεύθυνση Προς Θεσσαλονίκη"

<b>Κόμβοι</b>	<b>Β.Ο.</b>	<b>ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ</b>	<b>Ι.Χ.</b>	<b>ΜΟΤΟΣΥΚΛΕΤΑ</b>
Α.Κ. ΤΡΑΓΑΝΑΣ	37	0	160	2
Α.Κ. ΜΑΛΕΣΙΝΑΣ	43	5	238	42
Α.Κ. ΜΑΡΤΙΝΟΥ	39	0	203	2
Α.Κ. ΚΑΣΤΡΟΥ	40	0	219	2
Α.Κ. ΑΚΡΑΙΦΝΙΟΥ	172	3	245	3
Α.Κ. ΘΗΒΑΣ	37	0	280	4

Οι παραπάνω μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου αντιστοιχούν στα ονόματα των ανιχνευτών (detectors) που αναφέρονται για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η ορθή αντιστοίχιση τους, κατά της εισαγωγή τους στην προσομοίωση.

#### 4.5 Φόρτιση Δικτύου

Η είσοδος και η έξοδος των οχημάτων στο δίκτυο πραγματοποιείται από τα 10 κεντροειδή σημεία, τα οποία ενώνονται με τα ψευδό-τμήματα του δίκτυο με 20 σημεία εισαγωγής φόρτου στο παρόν δίκτυο. Στη συνέχεια, ορίστηκε το μητρώο Π – Π, το οποίο περιλαμβάνει τον αριθμό μετακινήσεων από κάθε κεντροειδές προέλευσης σε κάθε κεντροειδές προορισμού, για χρονικό διάστημα που περιλαμβάνει την ώρα αιχμής, στην πρωινή ζώνη, 05:00-07:00, των ημερών Τρίτης – Πέμπτης. Σημειώνεται ότι οι λεωφορειακές γραμμές ακολουθούν καθορισμένες διαδρομές με καθορισμένη συχνότητα, σύμφωνα με το πλάνο συγκοινωνιών.

Τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου όπως φαίνονται στους Πίνακες 3 και τον Πίνακα 4 εισάγονται στο δίκτυο με την μορφή εγγράφου κειμένου (*RealTimeDataTrTh.txt*) με πρώτη στήλη την ονομασία των ανιχνευτών (detectors) που βρίσκονται τοποθετημένοι κοντά στις εξόδους που συνδέουν το δίκτυο με τα αντίστοιχα κεντροειδή σημεία. Τα τελικά στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου σε αντιστοίχιση με το είδος των οχημάτων και τον ανιχνευτή στον οποίο αναφέρονται φαίνονται παρακάτω στην μορφή που αναφέρονται στο έγγραφο κειμένου (*RealTimeDataTrTh.txt*).

name;Truck;Bus;Car;Motorbike;Time

TRAGANAS1;129;2;148;2;6:00:01

MALESINAS1;171;2;212;1;6:00:01

MARTINOY1;178;1;211;6;6:00:01

KASTROY1;174;3;234;3;6:00:01

AKRAIFNIOY1;172;3;245;3;6:00:01

THIVAS1;174;14;296;3;6:00:01

TRAGANAS2;37;0;160;2;6:00:01

MALESINAS2;43;5;238;42;6:00:01

MARTINOY2;39;0;203;2;6:00:01

KASTROY2;40;0;219;2;6:00:01

AKRAIFNIOY2;172;3;245;3;6:00:01

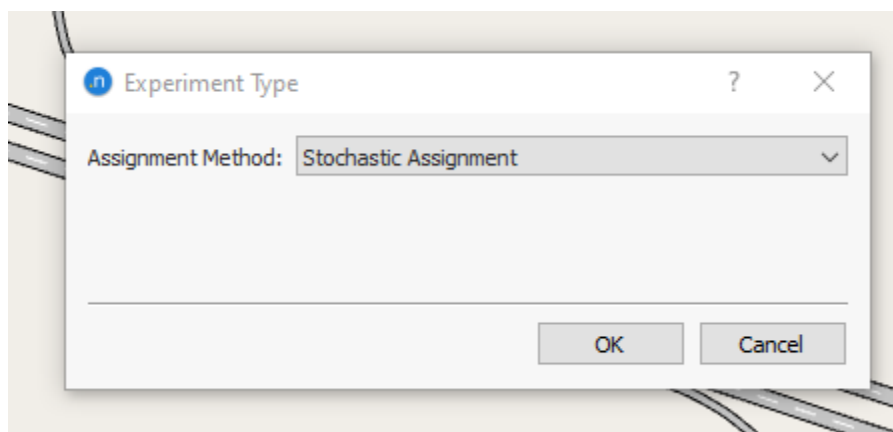
THIVAS2;37;0;280;4;6:00:01

## 4.6 Μοντέλο Καταμερισμού Κυκλοφορίας

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο καταμερισμός της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Ο καταμερισμός της κυκλοφορίας στο δίκτυο είναι βασικό στοιχείο του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, καθώς προβλέπει τις ροές οχημάτων στο οδικό δίκτυο και παράγει εκτιμήσεις για τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου.

Από την πλευρά της συμπεριφοράς του χρήστη, ο καταμερισμός της κυκλοφορίας είναι το αποτέλεσμα της ομαδοποίησης της ατομικής συμπεριφοράς καθενός εκ των μετακινούμενων. Υπάρχει πληθώρα μοντέλων καταμερισμού της κυκλοφορίας, εκ των οποίων η μέθοδος της ισορροπίας είναι η πλέον διαδεδομένη.

Το μοντέλο καταμερισμού που επιλέχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το στατικό στοχαστικό μοντέλο καταμερισμού. Τα στοχαστικά μοντέλα συντελούν την λεγόμενη «αρχή της στοχαστικής ισορροπίας». Πιο αναλυτικά, θεωρείται ότι στις συγκεκριμένες μεθόδους, οι μετακινούμενοι έχουν ελλιπή γνώση σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες του δικτύου και ότι η συμπεριφορά τους είναι μη οικονομικά ορθολογική. Οι προαναφερθείσες παραδοχές βασίζονται στο γεγονός ότι κάθε οδηγός έχει διαφορετική αντίληψη του απαιτούμενου χρόνου διαδρομής ενός συνδέσμου του δικτύου, ενώ, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες επιρροής της επιλογής διαδρομής εκτός του χρόνου (κόστους). Έτσι κάθε μετακινούμενος καταβάλλει προσπάθεια να ελαχιστοποιήσει τον αντιληπτό χρόνο (κόστος) διαδρομής. (Βαλθούκας Π., n.d.)



**Εικόνα 16:** Καταμερισμός Κυκλοφορίας με την χρήση Στοχαστικού Σεναρίου

Οι καταμερισμοί του τύπου αυτού παράγουν περισσότερα ρεαλιστικά αποτελέσματα από τους αντίστοιχους ντετερμινιστικούς διότι επιτρέπει τη χρήση μειωμένων σε αριθμό καθώς επίσης και περισσότερο ελκυστικών διαδρομών. Οι λιγότερο ελκυστικές διαδρομές θα χρησιμοποιούνται λιγότερο χωρίς όμως να εμφανίζουν μηδενική ροή όπως συμβαίνει στην περίπτωση του καταμερισμού εξισορρόπησης χρήστη. (Αλεξίου, 2008)

Αξίζει να αναφερθεί ότι τα στατικά σενάρια χρησιμοποιήθηκαν πρώτα στην διαδικασία της προσομοίωσης καθώς με τα σενάρια αυτά πραγματοποιείται η «γένεση» της τυχαιότητας των οχημάτων σύμφωνα με τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά τα βήματα που προηγήθηκαν για την δημιουργία των στατικών σεναρίων.

Το πρώτο στατικό σενάριο, που συντελεί το σενάριο «γένεσης» των οχημάτων, στηρίχθηκε αρχικά σε πίνακες Προέλευσης – Προορισμού (OD Matrices) των κεντροειδών σημείων με μηδενικό φόρτο κυκλοφορίας για κάθε τύπο οχήματος. Παρακάτω φαίνονται τα στοιχεία ενός εκ των τεσσάρων πινάκων Π – Π (OD Matrix) για την περίπτωση του λεωφορείου.

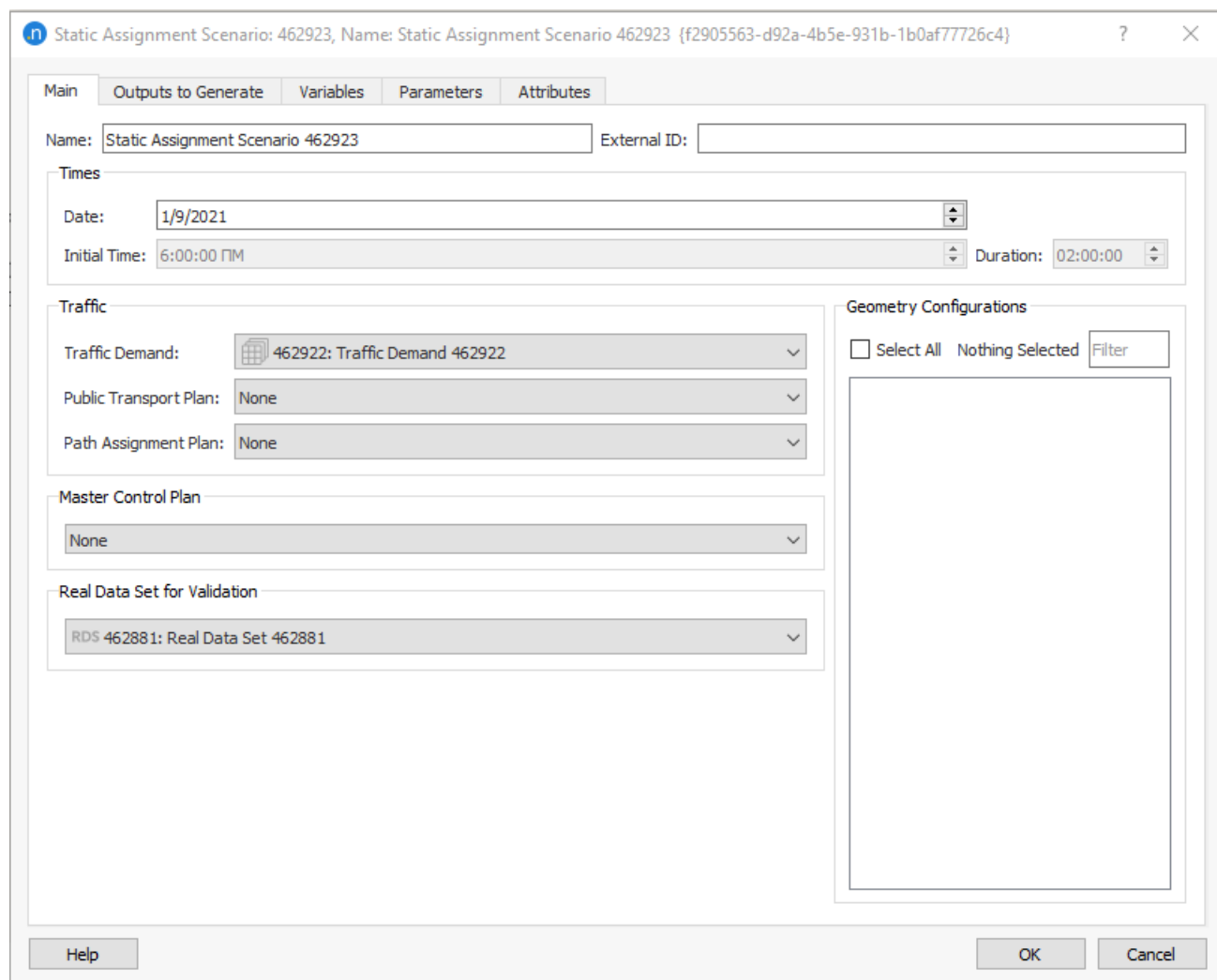
**Πίνακας 5:** Πίνακας Π - Π μηδενικού φόρτου για Λεωφορείο

Με την δημιουργία των παραπάνω πινάκων δημιουργείται μια ψευδή κυκλοφοριακή ζήτηση (Traffic Demand) για κάθε τύπο οχήματος.

	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	[Green bar]									02:00:00
Car Total: 100 veh	[Green bar]									02:00:00
Truck Total: 100 veh	[Green bar]									02:00:00
Motorbike Total: 100 veh	[Green bar]									02:00:00

**Εικόνα 17:** Ψευδής Κυκλοφοριακή Ζήτηση (Traffic Demand)

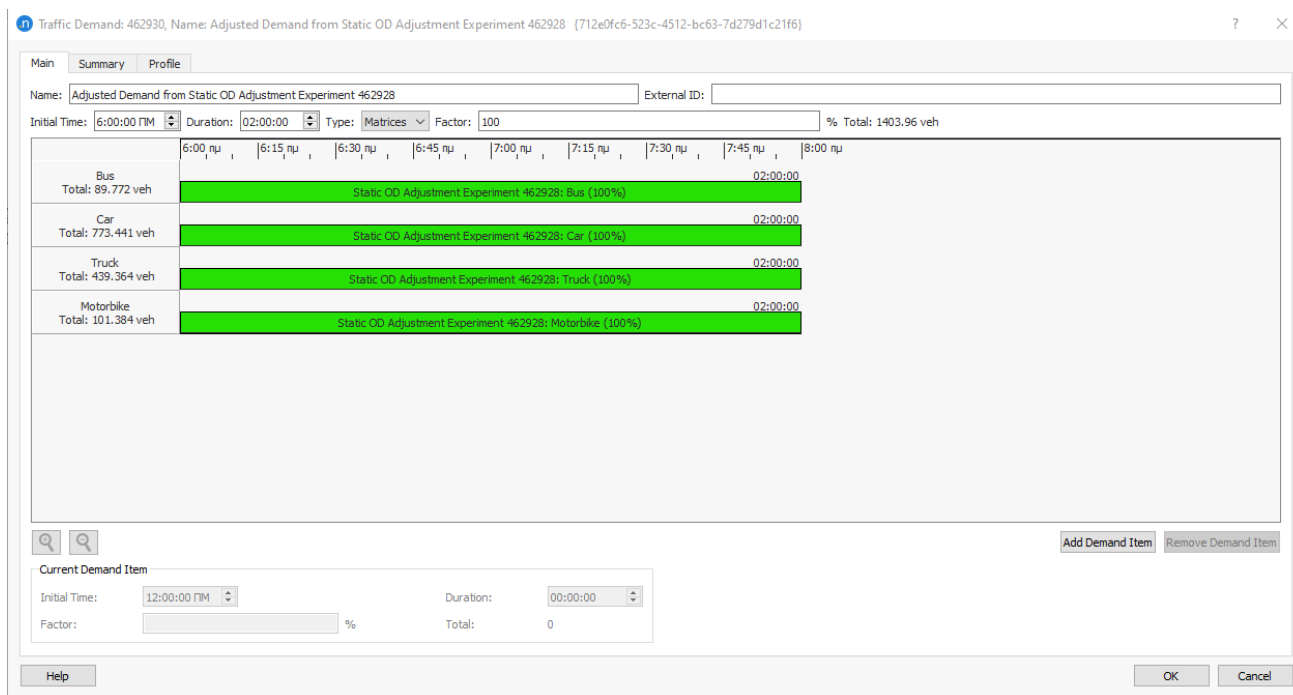
Για την έναρξη του πρώτου στατικού σεναρίου προσομοίωσης ορίζεται η ημερομηνία έναρξης της καταγραφής των μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου (1/9/2021) και εισάγεται στο σενάριο η παράμετρος της ζήτησης (Traffic Demand) που βρέθηκε παραπάνω και τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου όπως αποθηκεύτηκαν στο έγγραφο κειμένου (RealTimeDataTrTh.txt).



**Εικόνα 18:** Πρώτο Στατικό Σενάριο

Με την αναπαράσταση του πρώτου σεναρίου δημιουργούνται νέοι πίνακες Π – Π για κάθε κατηγορία οχήματος στους οποίους έχει γίνει προσαρμογή των πραγματικών μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου (Static OD Adjustment Experiment).

Έτσι, με την δημιουργία των παραπάνω πινάκων δημιουργείται μια προσεγγιστική ως προς την πραγματικότητα κυκλοφοριακή ζήτηση (Traffic Demand) για κάθε τύπο οχήματος όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 19: Κυκλοφοριακή Ζήτηση με Πραγματικό Φόρτο

Ύστερα, πραγματοποιείται η ένταξη της διαδρομής των οχημάτων που μπορούν να διανύσουν κατά μήκος του οδικού δικτύου (Path Assignment Plan) για να πραγματοποιηθεί πιο ομαλοποιημένα η κατανομή των κυκλοφοριακών φόρτων στα αντίστοιχα κεντροειδή σημεία.

Η κατανομή αυτή πραγματοποιείται με την έναρξη του τελικού στατικού σεναρίου προσομοίωσης στο οποίο όπως και στο πρώτο ορίζεται η ημερομηνία έναρξης της καταγραφής των μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου (1/9/2021) και εισάγεται στο σενάριο η παράμετρος της ζήτησης (Traffic Demand) που βρέθηκε παραπάνω και τα στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου όπως αποθηκεύτηκαν στο έγγραφο κειμένου (RealTimeDataTrTh.txt). Τέλος, προστίθεται και η διαδρομή των οχημάτων (Path Assignment Plan).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 5.1 Γενική Εισαγωγή

Με την ολοκλήρωση των παραπάνω βημάτων και την εύρεση του τελικού στατικού σεναρίου προσαρμογής των πραγματικών φόρτων εντός του δικτύου, δίνοντας βάση στην ορθή κατανομή τους στις εξόδους ενδιαφέροντος όπου βρίσκονται τα αντίστοιχα κεντροειδή σημεία, υλοποιείται η μακροσκοπική προσομοίωση του υπο-μελέτη δικτύου.

Όμως, το αντικείμενο της παρούσας εργασίας βασίζεται στην επίδραση των Βαρέων Οχημάτων εντός του αυτοκινητοδρόμου. Ο εντοπισμός των στατιστικών στοιχείων επιρροής των Βαρέων Οχημάτων προϋποθέτει την ένταξη της μελέτης σε μικροσκοπική προσομοίωση και κατ' επέκταση την δημιουργία δυναμικών σεναρίων για την επίτευξη της διερεύνησης των επιπτώσεων που προκαλούν τα οχήματα αυτά στην λειτουργικότητα του οδικού δικτύου που εξετάζεται.

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται η εκτενής ανάλυση των δυναμικών σεναρίων μικροπροσομοίωσης με την παράθεση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για το κάθε ένα ξεχωριστά.

### 5.2 Τροποποίηση Πλήθους Οχημάτων

Το λογισμικό AIMSUN παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να παραμετροποιεί το πλήθος των στοιχείων του κυκλοφοριακού φόρτου της κατηγορίας οχήματος που επιθυμεί, αυξάνοντας ή μειώνοντας το ποσοστό του αρχικού φόρτου, χωρίς να επηρεάζονται τα στοιχεία φόρτου των υπόλοιπων κατηγοριών. Η αλλαγή αυτή πραγματοποιείται στον πίνακα της κυκλοφοριακής ζήτησης των οχημάτων (Traffic Demand), επιλέγοντας με τον κέρσορα την κατηγορία οχήματος ενδιαφέροντος και στην συνέχεια την καταγραφή του ποσοστού κυκλοφοριακού φόρτου που είναι επιθυμητός ανάλογα με την παραδοχή που θέτει ο χρήστης.

### 5.3 Περιγραφή Σεναρίων

Η σύνθεση των δυναμικών μοντέλων μικροπροσομοίωσης στηρίζεται στην εύρεση των επιπτώσεων των βαρέων οχημάτων σε περίπτωση μείωσης ή αύξησης του πραγματικού πλήθους τους κατά τα παρακάτω ποσοστά:

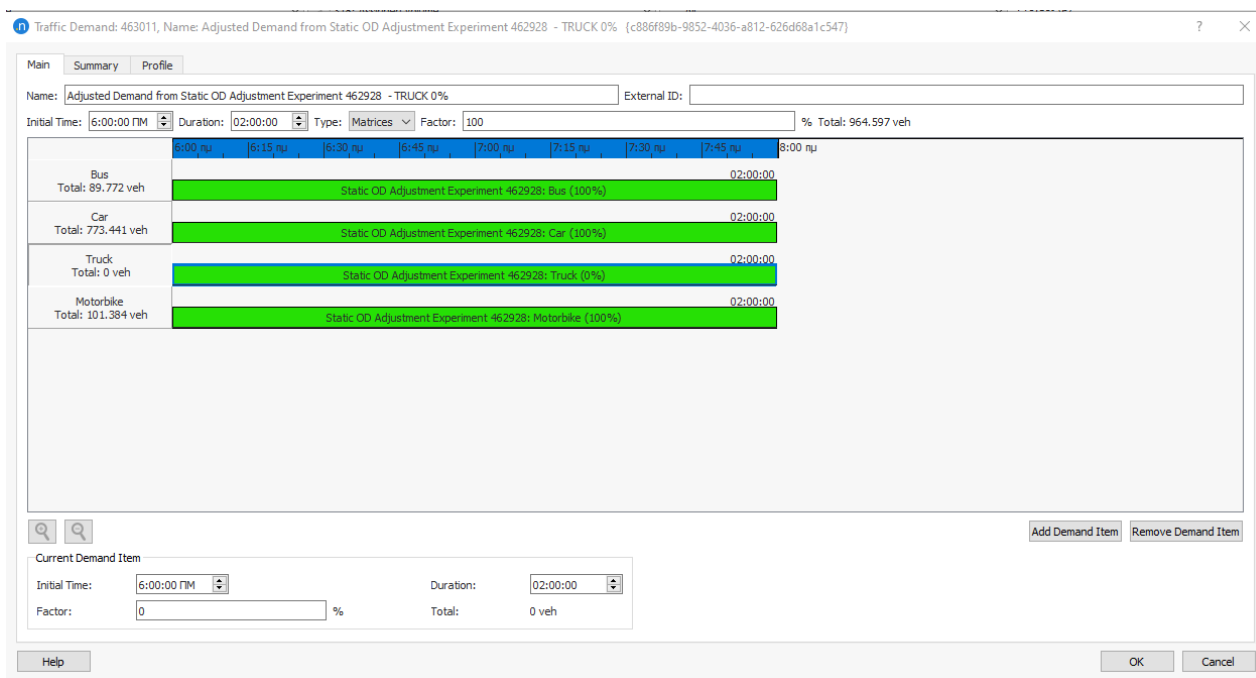
- Μείωση του πλήθους Βαρέων Οχημάτων κατά ποσοστό:
  1. 100% (Σενάριο με ποσοστό ύπαρξης φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 0%)
  2. 75% (Σενάριο με ποσοστό ύπαρξης φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 25%)
  3. 50% (Σενάριο με ποσοστό ύπαρξης φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 50%)
  4. 25% (Σενάριο με ποσοστό ύπαρξης φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 75%)
  5. 0% (Σενάριο με ποσοστό ύπαρξης φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 100%)
  
- Αύξηση του πλήθους Βαρέων Οχημάτων κατά ποσοστό:
  1. 100% (Σενάριο με ποσοστό ύπαρξης φόρτου Βαρέων Οχημάτων διπλάσιου του αρχικού: 200%)
  2. 200% (Σενάριο με ποσοστό ύπαρξης φόρτου Βαρέων Οχημάτων τριπλάσιου του αρχικού: 300%)

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το κάθε ένα σενάριο αποτελείται από δέκα (10) αναπαραστάσεις (Replications) και ύστερα υπολογίζεται ο μέσος όρος (Average) των αποτελεσμάτων όλων των αναπαραστάσεων σε μορφή διαγράμματος και πίνακα αποτελεσμάτων. Η παραπάνω διαδικασία κρίνεται αναγκαία καθώς επιτυγχάνεται κατά αυτό τον τρόπο η μείωση εμφάνισης σφαλμάτων στις μετρήσεις.

#### 5.3.1 Σενάριο 1<sup>ο</sup>

Το πρώτο δυναμικό σενάριο μελετά την περίπτωση μείωσης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων κατά 100%, δηλαδή την περίπτωση της παντελούς έλλειψης των Β.Ο. στο σύνολο των διαδρομών εντός του οδικού δικτύου (σενάριο ύπαρξης φόρτου Β.Ο. κατά 0%). Η παραδοχή αυτή φαίνεται στην **Εικόνα 20** καθώς παραμετροποιείται αρχικά η κυκλοφοριακή ζήτηση της κατηγορίας των Βαρέων Οχημάτων (Truck).

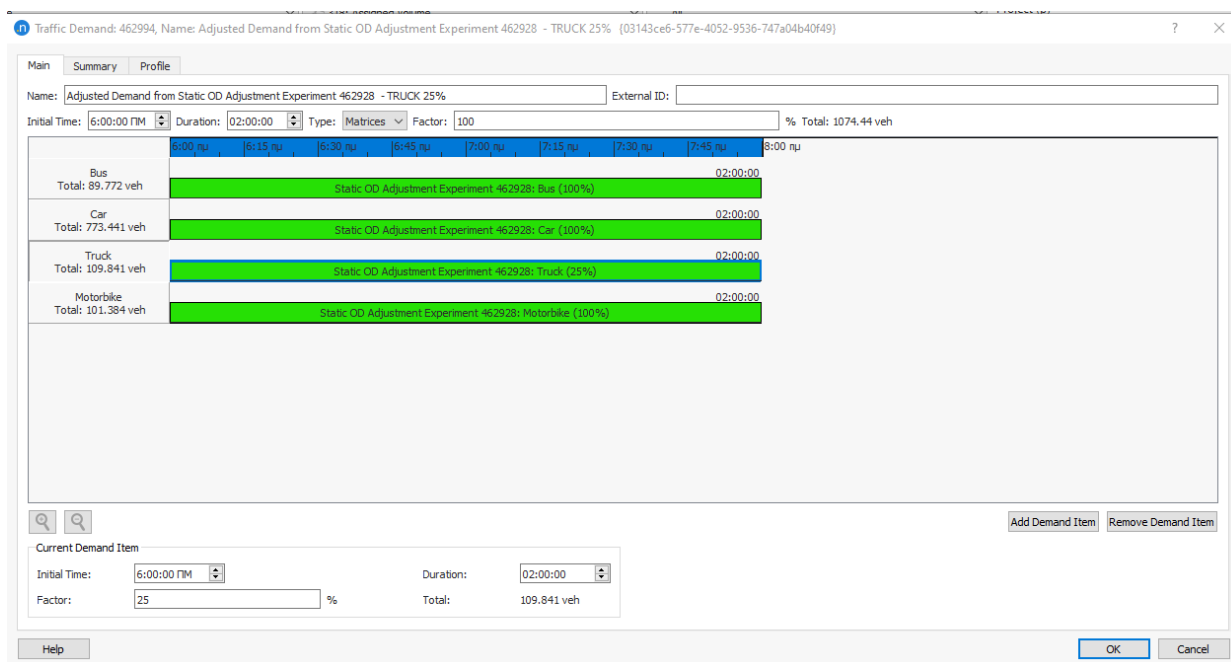
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



Εικόνα 20: Κυκλοφοριακός Φόρτος Β.Ο. : 0%

### 5.3.2 Σενάριο 2<sup>ο</sup>

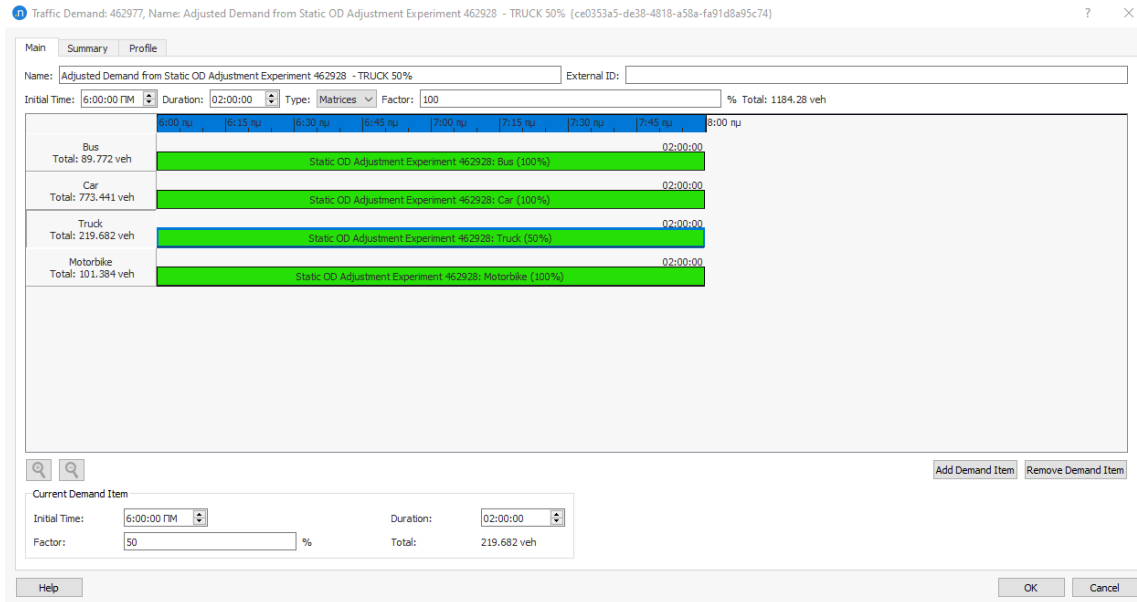
Το δεύτερο δυναμικό σενάριο μελετά την περίπτωση μείωσης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων κατά 75%, δηλαδή την περίπτωση της ύπαρξης 25% του πραγματικού πλήθους των Β.Ο. στο σύνολο των διαδρομών εντός του οδικού δίκτυο. Η παραδοχή αυτή φαίνεται στην Εικόνα 21 καθώς παραμετροποιείται αρχικά η κυκλοφοριακή ζήτηση της κατηγορίας των Βαρέων Οχημάτων (Truck).



Εικόνα 21: Κυκλοφοριακός Φόρτος Β.Ο. : 25%

### 5.3.3 Σενάριο 3<sup>ο</sup>

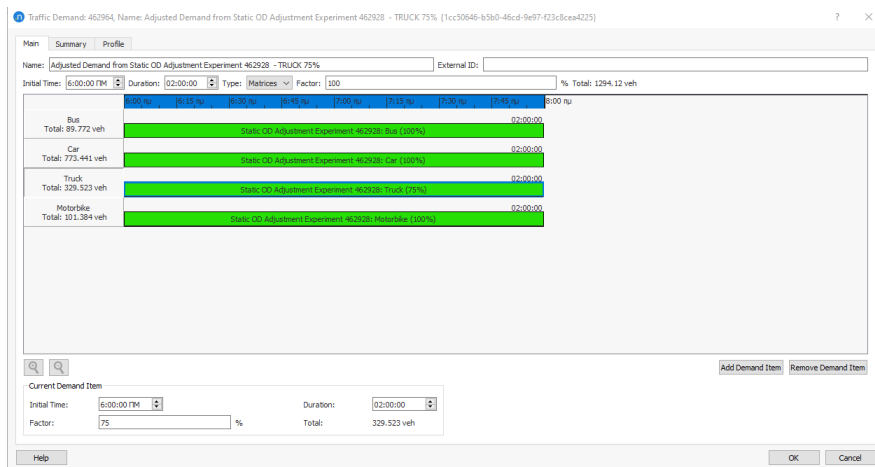
Το τρίτο δυναμικό σενάριο μελετά την περίπτωση μείωσης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων κατά 50%, δηλαδή την περίπτωση της ύπαρξης του μισού εκ του συνόλου του πραγματικού πλήθους των Β.Ο. στο σύνολο των διαδρομών εντός του οδικού δίκτυο. Η παραδοχή αυτή φαίνεται στην **Εικόνα 22** καθώς παραμετροποιείται αρχικά η κυκλοφοριακή ζήτηση της κατηγορίας των Βαρέων Οχημάτων (Truck).



**Εικόνα 22:** Κυκλοφοριακό Φόρτος Β.Ο. : 50%

### 5.3.4 Σενάριο 4<sup>ο</sup>

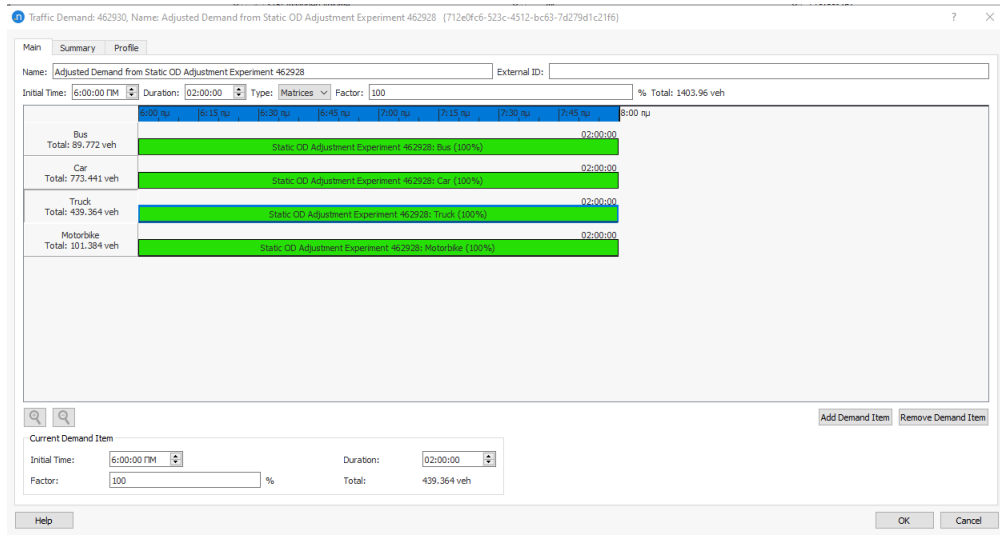
Το τέταρτο δυναμικό σενάριο μελετά την περίπτωση μείωσης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων κατά 25%, δηλαδή την περίπτωση της ύπαρξης 75% του πραγματικού πλήθους των Β.Ο. στο σύνολο των διαδρομών εντός του οδικού δίκτυο. Η παραδοχή αυτή φαίνεται στην **Εικόνα 23** καθώς παραμετροποιείται αρχικά η κυκλοφοριακή ζήτηση της κατηγορίας των Βαρέων Οχημάτων (Truck).



**Εικόνα 23:** Κυκλοφοριακός Φόρτος Β.Ο. : 75%

### 5.3.5 Σενάριο 5<sup>ο</sup>

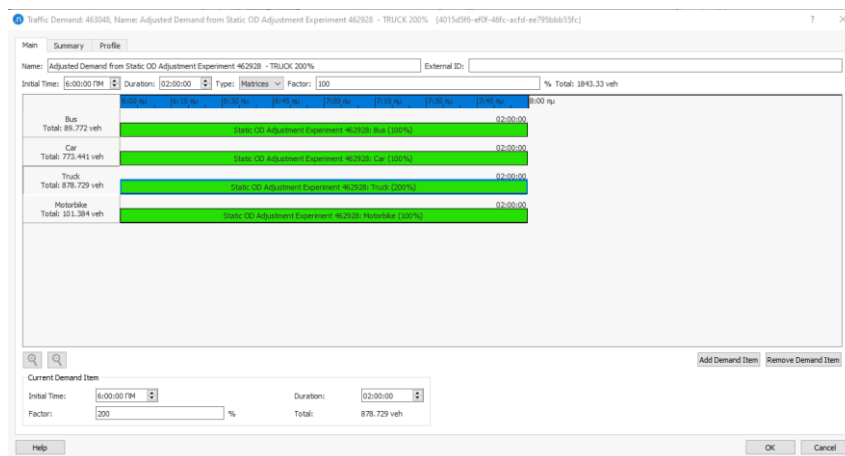
Το πέμπτο δυναμικό σενάριο μελετά την περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων στο σύνολο των διαδρομών εντός του οδικού δίκτυο (σενάριο ύπαρξης Β.Ο. κατά 100%).



Εικόνα 24: Κυκλοφοριακό Φόρτος Β.Ο. : 100%

### 5.3.6 Σενάριο 6<sup>ο</sup>

Το έκτο δυναμικό σενάριο μελετά την περίπτωση αύξησης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων κατά 100%, δηλαδή την περίπτωση της ύπαρξης του διπλάσιου μεγέθους εκ του πραγματικού πλήθους των Β.Ο. στο σύνολο των διαδρομών εντός του οδικού δίκτυο (σενάριο ύπαρξης Β.Ο. κατά 200%). Η παραδοχή αυτή φαίνεται στην Εικόνα 25 καθώς παραμετροποιείται αρχικά η κυκλοφοριακή ζήτηση της κατηγορίας των Βαρέων Οχημάτων (Truck).



Εικόνα 25: Κυκλοφοριακός Φόρτος Β.Ο. : 200%

### 5.3.7 Σενάριο 7<sup>ο</sup>

Το έκτο δυναμικό σενάριο μελετά την περίπτωση αύξησης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων κατά 200%, δηλαδή την περίπτωση της ύπαρξης του τριπλάσιου μεγέθους εκ του πραγματικού πλήθους των Β.Ο. στο σύνολο των διαδρομών εντός του οδικού δίκτυο (σενάριο ύπαρξης Β.Ο. κατά 300%). Η παραδοχή αυτή φαίνεται στην **Εικόνα 26** καθώς παραμετροποιείται αρχικά η κυκλοφοριακή ζήτηση της κατηγορίας των Βαρέων Οχημάτων (Truck).

The screenshot shows a software window titled "Traffic Demand: 463064, Name: Adjusted Demand from Static OD Adjustment Experiment 462928 - TRUCK 300%". The window has tabs for "Main", "Summary", and "Profile". The "Main" tab is active, showing a form with the following fields:

- Name: Adjusted Demand from Static OD Adjustment Experiment 462928 - TRUCK 300%
- External ID: (empty)
- Initial Time: 6:00:00 ΠΜ
- Duration: 02:00:00
- Type: Matrices
- Factor: 100
- % Total: 2282.69 veh

Below the form is a table with columns for vehicle type, total count, and duration. The table is as follows:

Vehicle Type	Total	Duration
Bus	89.772 veh	02:00:00
Car	773.441 veh	02:00:00
Truck	1318.09 veh	02:00:00
Motorbike	101.384 veh	02:00:00

Below the table, there are input fields for "Current Demand Item" with the following values:

- Initial Time: 6:00:00 ΠΜ
- Duration: 02:00:00
- Factor: 300
- Total: 1318.09 veh

Buttons for "Add Demand Item", "Remove Demand Item", "Help", "OK", and "Cancel" are also visible.

**Εικόνα 26:** Κυκλοφοριακός Φόρτος Β.Ο.: 300%

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ & ΕΥΡΕΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

### 6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση. Αρχικά, η εύρεση των επιπτώσεων κυκλοφορίας Βαρέων Οχημάτων στο οδικό δίκτυο στηρίζεται στην αξιοποίηση δεικτών λειτουργικής απόδοσης του υπό μελέτη δικτύου. Επομένως, οι δείκτες αυτοί λειτουργούν ως κριτήρια ανάλυσης για την αξιολόγηση της προσομοίωσης.

Επιπρόσθετα, η επιλογή των δεικτών λειτουργικής απόδοσης υλοποιείται με βάση τις ανάγκες και τους στόχους της ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να ορίζονται με σαφήνεια και ακρίβεια ώστε να είναι κατανοητό το που αναφέρονται και τι αφορούν.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι δείκτες εκφράζουν διαφορετικά μεγέθη για την ανάλυση των σεναρίων στο σύνολο του δικτύου. Οι δείκτες λειτουργικότητας στοχεύουν στην ανάδειξη των παραμέτρων που συντελούν στην χρηστική και περιβαλλοντική λειτουργικότητα του αυτοκινητοδρόμου.

Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά οι δείκτες απόδοσης που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας και την αποτίμηση του μοντέλου.

#### Χρονική Καθυστέρηση (sec/h)

Αποτελεί ένα από τα μεγέθη αποτύπωσης της σχέση προσφοράς και ζήτησης ενός δικτύου με γνώμονα τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, η μέση χρονική καθυστέρηση είναι ο επιπλέον χρόνος τον οποίο θα χρειαστεί κάποιο όχημα για να διανύσει ένα οδικό τμήμα στις επικρατούσες οδικές συνθήκες όταν η κίνησή του δεν γίνεται απρόσκοπτα. Αποτυπώνει τη διαφορά του χρόνου διαδρομής με βάση τις επικρατούσες συνθήκες και του χρόνου διαδρομής σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Κατά συνέπεια, μέση χρονική καθυστέρηση για ένα όχημα μπορεί να υπάρξει είτε σε συνθήκες χαμηλού φόρτου εξαιτίας της κίνησης οχημάτων στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα με χαμηλότερες ταχύτητες από την επιθυμητή του εξεταζόμενου οχήματος, είτε σε συνθήκες υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων όπου η κίνηση των οχημάτων δεν γίνεται απρόσκοπτα είτε σε συνθήκες ελέγχου κυκλοφορίας όπου η κίνηση των οχημάτων παρεμποδίζεται από εξωγενείς παράγοντες (πχ σηματοδότηση) κ.ά.. (Σπυροπούλου, 2015)

#### Πυκνότητα (veh/km)

Η πυκνότητα (density) ορίζεται ως ο αριθμός των οχημάτων στη μονάδα μήκους και εκφράζεται σε οχήματα/χλμ.. Ουσιαστικά, εκφράζει τη συγκέντρωση στη διάσταση του χώρου. Ο τρόπος μέτρησής της αφορά μέτρηση του αριθμού των οχημάτων που βρίσκονται σε ένα οδικό τμήμα για δεδομένη χρονική στιγμή. (Σπυροπούλου, 2015)

### Κυκλοφοριακός Φόρτος (veh/h)

Ο κυκλοφοριακός φόρτος (traffic flow/traffic volume) αποτελεί μέγεθος με χρονική διάσταση και είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχονται από μία διατομή στη μονάδα του χρόνου. Ο κυκλοφοριακός φόρτος εκφράζεται σε οχήματα/ώρα και ο τρόπος μέτρησής του αφορά μέτρηση σε σημείο του αριθμού των οχημάτων που διέρχονται από αυτό στη διάρκεια κάποιας περιόδου ο οποίος ανάγεται στην ώρα. (Σπυροπούλου, 2015)

### Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (kg)

Ο υπολογισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης βασίζεται στις μετρήσεις εκπομπών τεσσάρων ειδών ατμοσφαιρικών ρύπων, του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), του οξειδίου του αζώτου (NO<sub>x</sub>), των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM). Οι μετρήσεις των ανωτέρω εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων εκφράζονται σε κιλά (kg) για το σύνολο των οχημάτων που διέρχονται από τον αυτοκινητόδρομο.

### Ταχύτητα (km/h)

Αποτελεί το μέσο όρο των ταχυτήτων που μετρήθηκαν από όλα τα οχήματα τα οποία διέσχισαν το υπό μελέτη οδικό δίκτυο. Η ταχύτητα εκφράζεται ως χιλιόμετρα/ώρα και ο τρόπος μέτρησης της αφορά τον λόγο του χρόνου διαδρομής του οχήματος προς το μήκος του δικτύου που διέσχισε.

### Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού (h)

Ο συνολικός χρόνος ταξιδιού αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένα όχημα να διανύσει το οδικό δίκτυο και επηρεάζεται άμεσα από τις υπάρχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες.

Παρακάτω φαίνεται ο συγκεντρωτικός Πίνακας 6 με τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις.

**Πίνακας 6:** Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεικτών Απόδοσης

α/α	Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης
1	Delay Time - All	Μέση Χρονική Καθυστέρηση	sec/km
2	Density - All	Μέση Πυκνότητα	veh/km
3	Flow - All	Μέση τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	veh/h
4	IEM Emission - CO <sub>2</sub> - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO <sub>2</sub>	kg
5	IEM Emission - NO <sub>x</sub> - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO <sub>x</sub>	kg
6	IEM Emission - PM - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM	kg
7	IEM Emission - VOC - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC	kg
8	Speed - All	Μέση Ταχύτητα	km/h
9	Total Travel Time - All	Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	h



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ & ΕΥΡΕΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στο λογισμικό AIMSUN υπάρχει πληθώρα δεικτών απόδοσης εκ των οποίων συλλέχθηκαν οι ανωτέρω μεταβλητές που φαίνονται στον Πίνακας 6. Παρακάτω τίθενται στον Πίνακας 7 κάποιες από τις μεταβλητές που υπάρχουν στο λογισμικό AIMSUN.

**Πίνακας 7:** Συγκεντρωτικός Πίνακας Μεταβλητών του λογισμικού AIMSUN

α/α	Μεταβλητή	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης
1	Delay Time - All	Μέση Χρονική Καυστέρηση	sec/km
2	Density - All	Μέση Πυκνότητα	veh/km
3	Flow - All	Μέση τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	veh/h
4	IEM Emission - CO <sub>2</sub> - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO <sub>2</sub>	kg
5	IEM Emission - NO <sub>x</sub> - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO <sub>x</sub>	kg
6	IEM Emission - PM - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM	kg
7	IEM Emission - VOC - All	Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC	kg
8	Speed - All	Μέση Ταχύτητα	km/h
9	Total Travel Time - All	Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	h
10	Max. Virtual Queue - All	Μέγιστο Εικονικό Μήκος Ουράς	veh
11	Mean Queue - All	Μέση τιμή Μήκους Ουράς	veh
12	Mean Virtual Queue - All	Μέση τιμή Εικονικού Μήκους Ουράς	veh
13	Missed Turns - All	Αριθμός Οχημάτων που έχασαν την Έξοδο	-
14	Number of Lane Changes - All	Μέση τιμή πλήθους Αλλαγής Λωρίδας	-/km
15	Number of Stops - All	Πλήθος Στάσεων	-/veh/km
16	Stop Time - All	Μέσος Χρόνος Στάσης	sec/km
17	Total Distance Travelled - All	Συνολικό Μήκος Διαδρομής	km
18	Total Number of Lane Changes - All	Σύνολο Μέσης τιμής πλήθους Αλλαγής Λωρίδας	-
19	Total Number of Stops - All	Συνολικός Αριθμός Στάσεων	-

## 6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

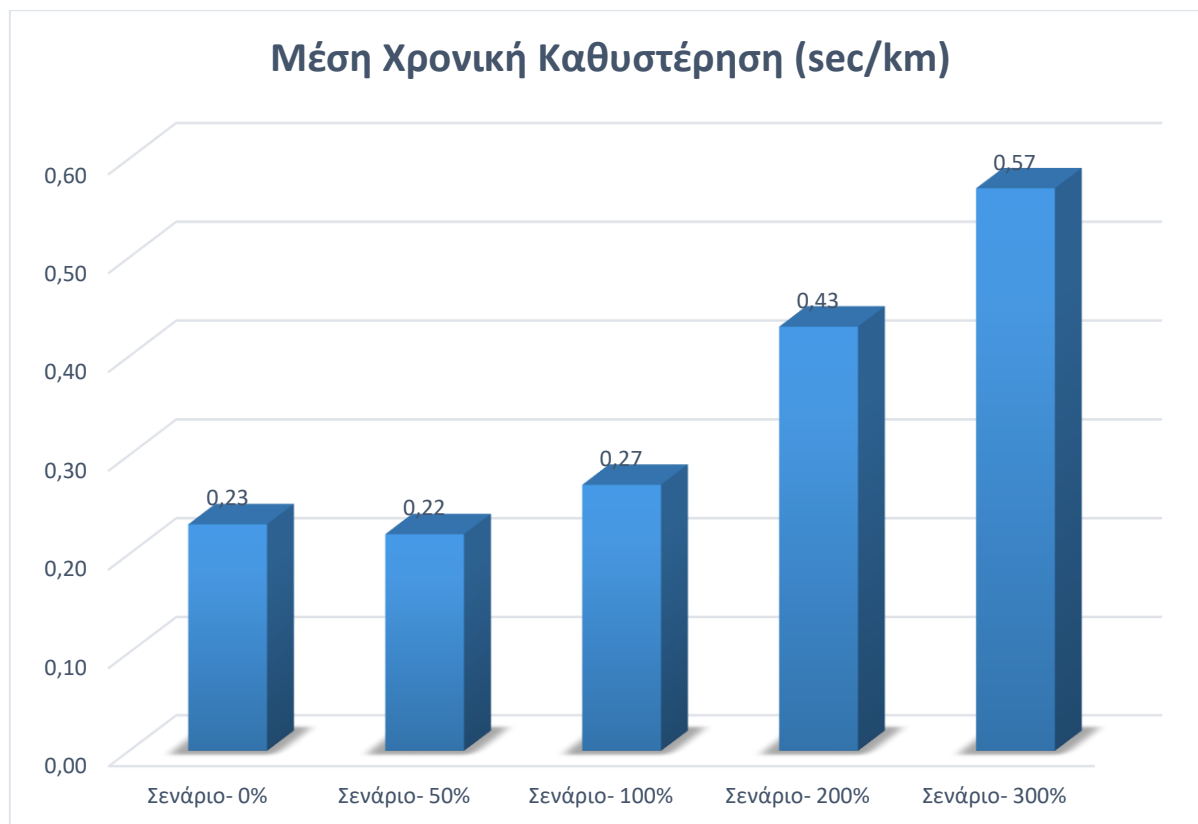
Στο παρόν υπό-κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αναπαραγωγή των σεναρίων προσομοίωσης και αφορούν τις επιπτώσεις που προκαλούν τα Βαρέα Οχήματα στον υπό-μελέτη αυτοκινητόδρομο, σε αναλογία με το ποσοστό ύπαρξης των οχημάτων αυτών εντός του δικτύου.

**Πίνακας 8:** Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων

Μεταβλητή/Σενάρια	Σενάριο-0%	Σενάριο-50%	Σενάριο-100%	Σενάριο-200%	Σενάριο-300%	Μονάδα Μέτρησης
Μέση Χρονική Καθυστέρηση	0,23	0,22	0,27	0,43	0,57	sec/km
Μέση Πυκνότητα	0,47	0,61	0,83	1,07	1,36	veh/km
Μέση τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	341,20	407,15	547,25	638,60	777,95	veh/h
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO <sub>2</sub>	2392,07	4309,84	6821,03	10534,53	14602,56	kg
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO <sub>x</sub>	8,50	34,39	65,06	114,54	165,72	kg
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM	0,01	0,01	0,02	0,05	0,08	kg
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC	2,15	2,98	4,22	5,75	7,53	kg
Μέση Ταχύτητα	105,90	100,49	96,89	91,46	88,27	km/h
Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	158,33	200,67	286,30	350,01	439,10	h

Στην συνέχεια τα παραπάνω αποτελέσματα αποτυπώνονται σε μορφή διαγράμματος για την βέλτιστη κατανόηση των διαφοροποιήσεων τους σε κάθε μεταβλητή.

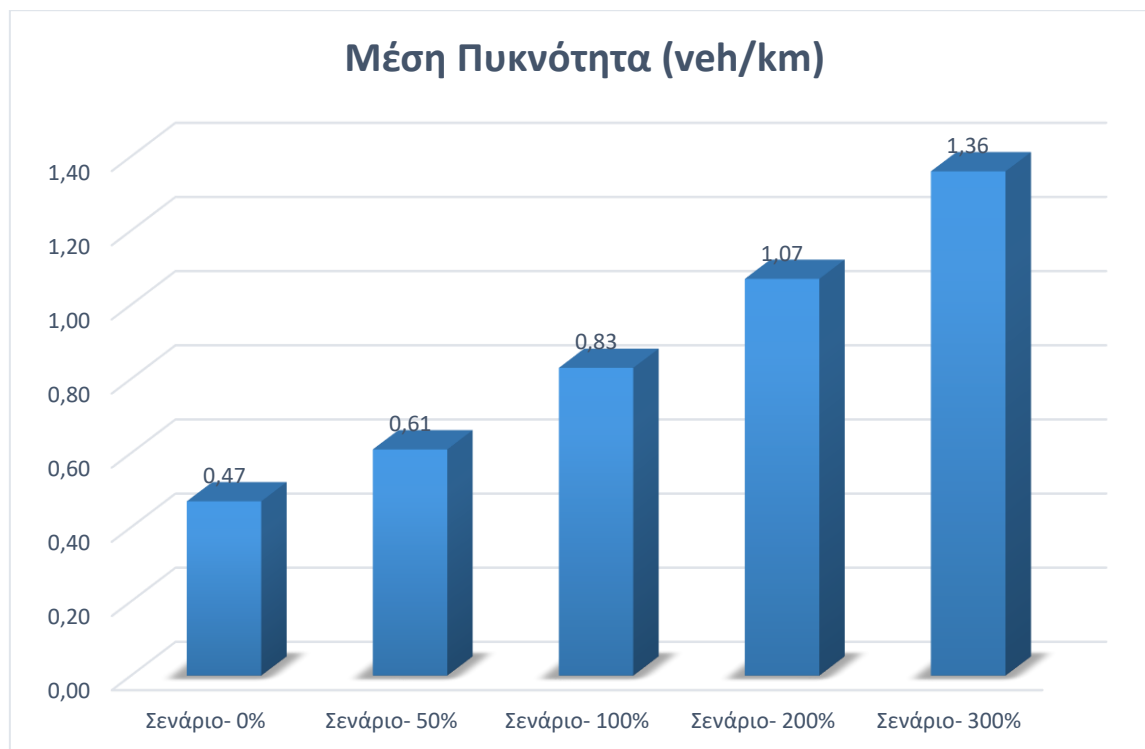
Χρονική Καθυστέρηση (sec/h)



**Διάγραμμα 7:** Μέση Χρονική Καθυστέρηση ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

Στο **Διάγραμμα 7** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης χρονικής καθυστέρησης για τα σενάρια Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επιπλέον, παρατηρείται ότι τα σενάρια 0% και 50% πλησιάζουν το σενάριο πραγματικού φόρτου Βαρέων Οχημάτων (100%), ενώ τα σενάρια 200% και 300% έχουν την αναμενόμενη διπλάσια και σχεδόν τριπλάσια αύξηση της χρονικής καθυστέρησης από το σενάριο 100%. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση της χρονικής καθυστέρησης των οχημάτων.

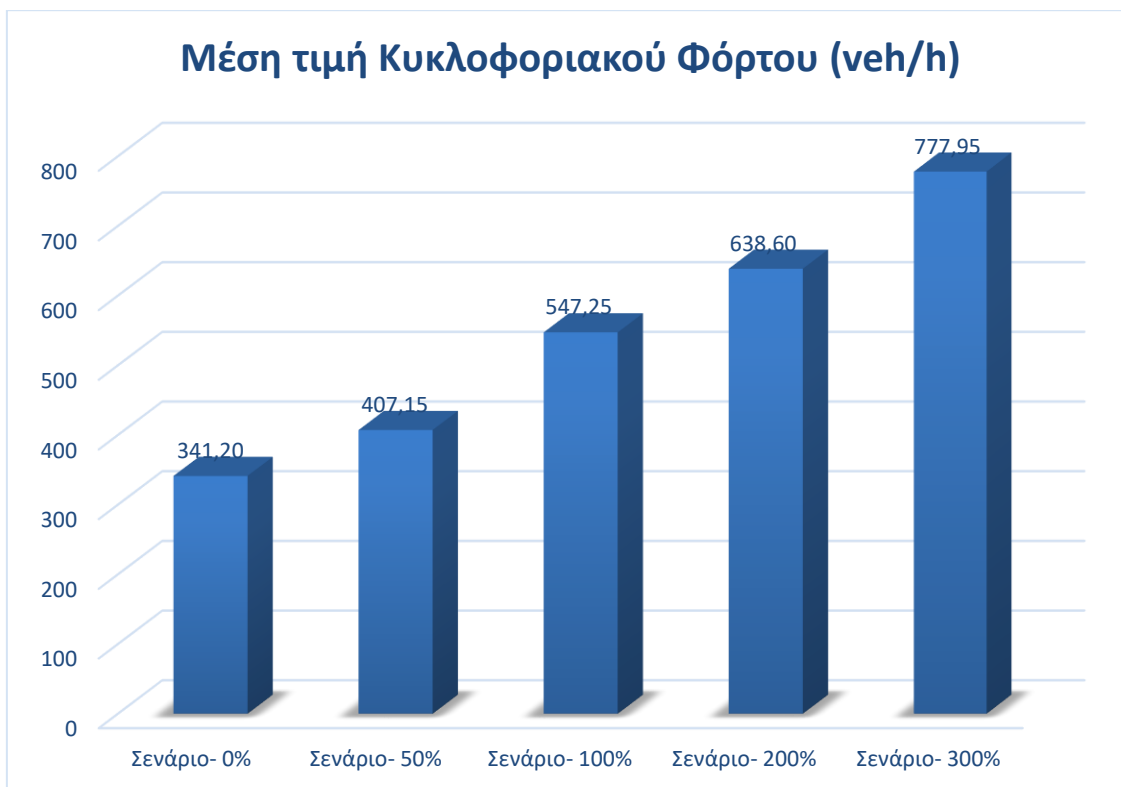
Πυκνότητα (veh/km)



**Διάγραμμα 8:** Μέση Πυκνότητα Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

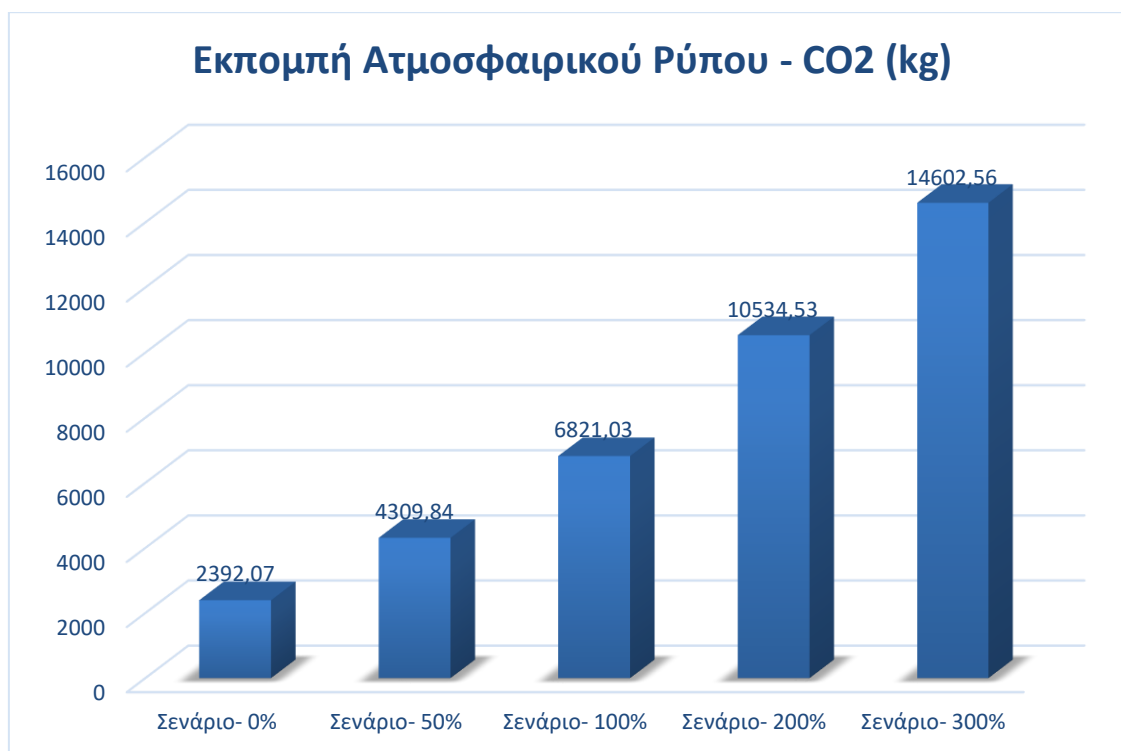
Στο **Διάγραμμα 8** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης πυκνότητας οχημάτων για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές μέσης πυκνότητας οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση της πυκνότητας των οχημάτων.

Κυκλοφοριακός Φόρτος (veh/h)



**Διάγραμμα 9:** Μέση τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

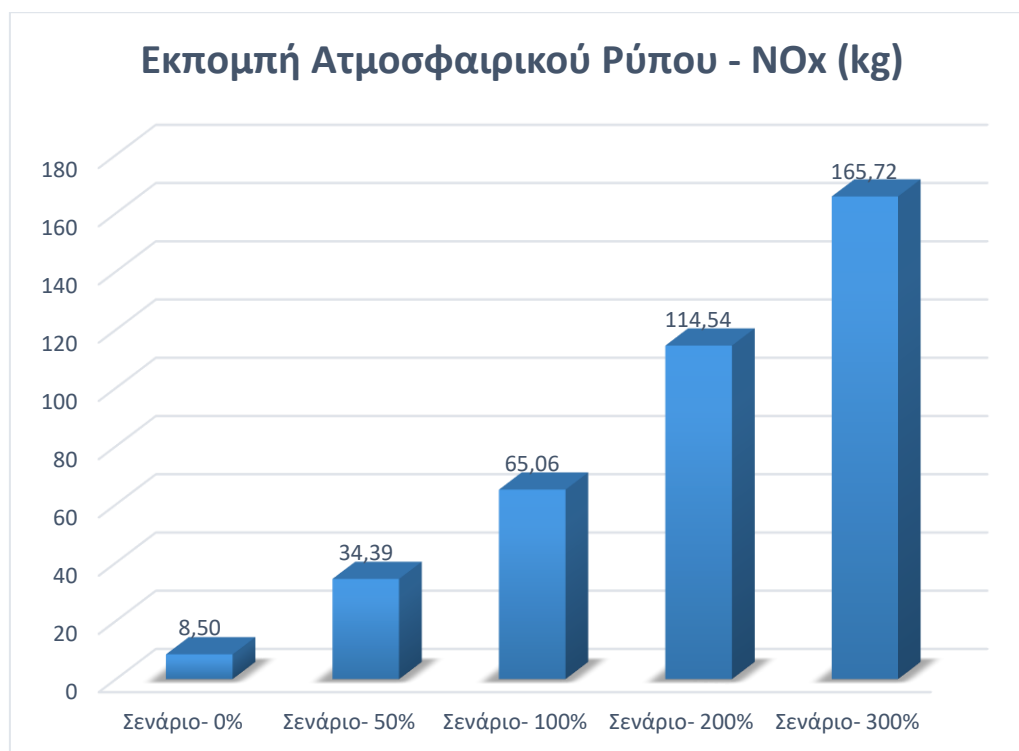
Στο **Διάγραμμα 9** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης τιμής του κυκλοφοριακού φόρτου για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές κυκλοφοριακού φόρτου οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου.

Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO<sub>2</sub> (kg)

**Διάγραμμα 10:** Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO<sub>2</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

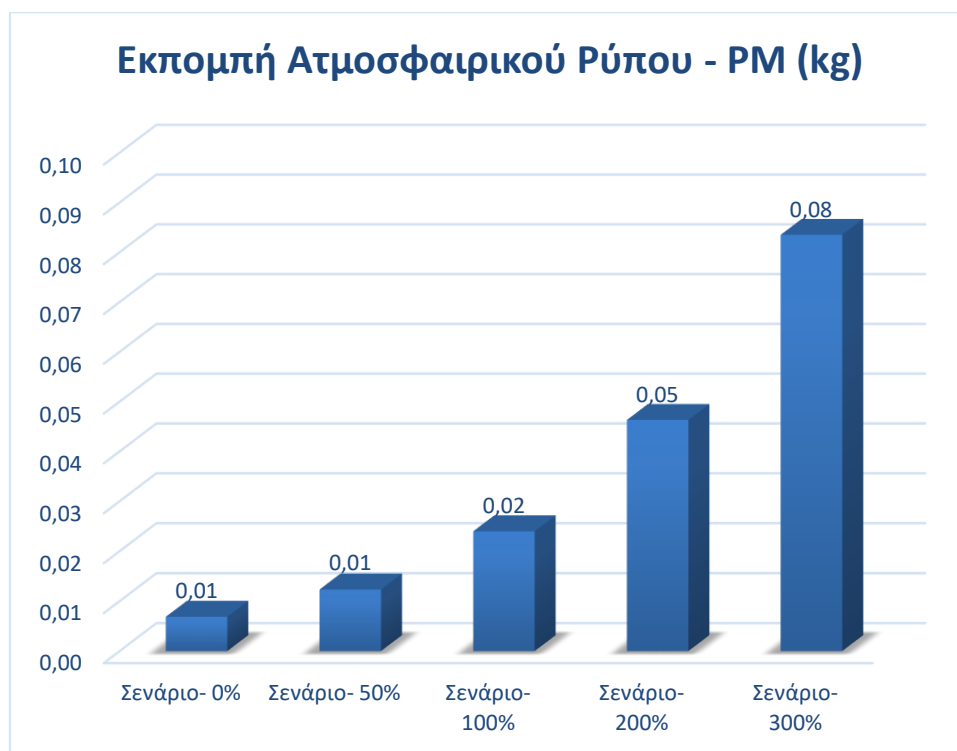
Στο **Διάγραμμα 10** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης τιμής των μετρήσεων εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – CO<sub>2</sub> για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – CO<sub>2</sub> οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την συνεχόμενη αύξηση των εκπομπών ρύπων τύπου CO<sub>2</sub>.

Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO<sub>x</sub> (kg)



**Διάγραμμα 11:** Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO<sub>x</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

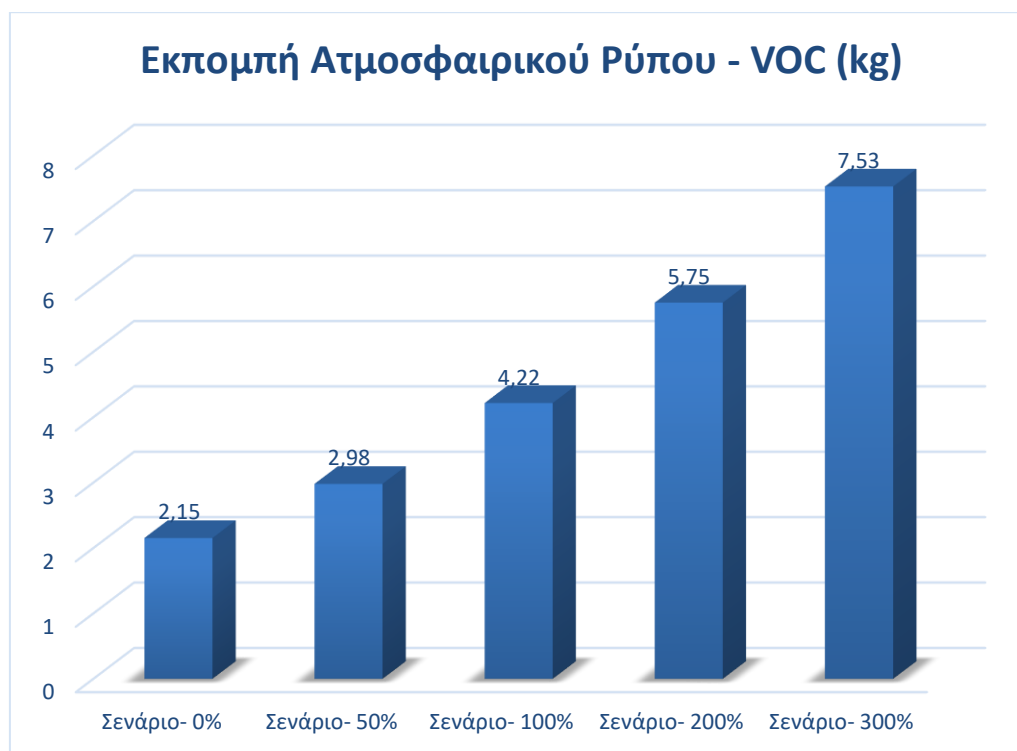
Στο **Διάγραμμα 11** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης τιμής των μετρήσεων εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – NO<sub>x</sub> για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – NO<sub>x</sub> οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την συνεχόμενη αύξηση των εκπομπών ρύπων τύπου NO<sub>x</sub>.

Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM (kg)

**Διάγραμμα 12:** Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

Στο **Διάγραμμα 12** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης τιμής των μετρήσεων εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – PM για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – PM οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επιπλέον, διακρίνεται από το παραπάνω διάγραμμα ότι τα σενάρια με ποσοστό 0% και 50% φτάνουν σε μια φάση σταθεροποίησης, λόγω της διατήρησης τις ίδιας τιμής της μέτρησης της εκπομπής του ατμοσφαιρικού ρύπου. Αυτό συμβαίνει καθώς στα σενάρια αυτά αξιοποιείται είτε το μισό πλήθος των Βαρέων Οχημάτων (σενάριο 50%) είτε η περίπτωση εκμηδενισμού των οχημάτων αυτών εντός του δικτύου. Επομένως, αφού με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την συνεχόμενη αύξηση των εκπομπών ρύπων τύπου PM, τότε με την μείωση των Βαρέων Οχημάτων λαμβάνονται και μικρότερες εκτιμήσεις εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

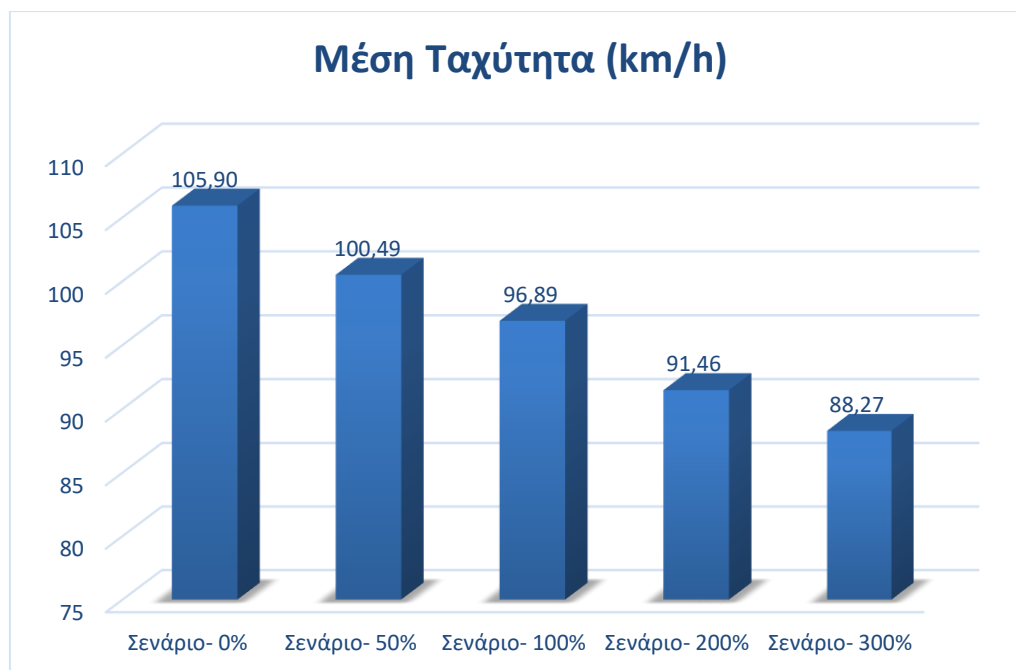


Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC (kg)

**Διάγραμμα 13:** Μέση τιμή Μετρήσεων Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

Στο **Διάγραμμα 13** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης τιμής των μετρήσεων εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – VOC για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – VOC οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από την συνεχόμενη αύξηση των εκπομπών ρύπων τύπου VOC.

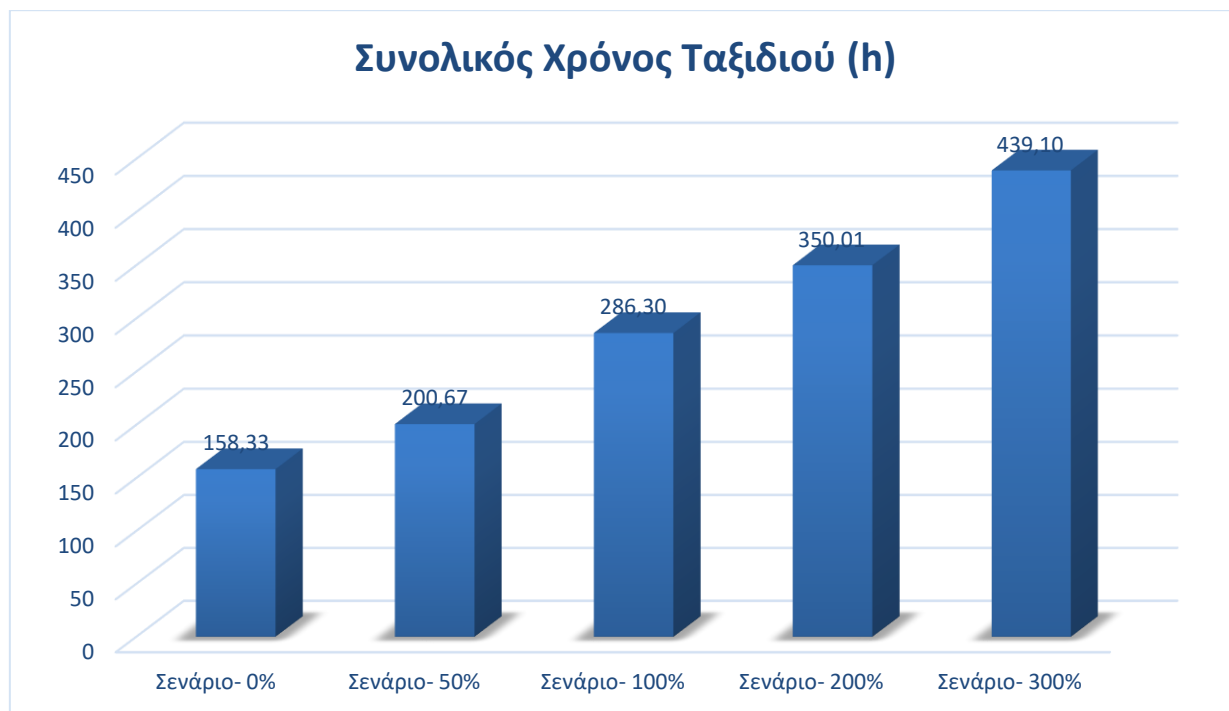
Ταχύτητα (km/h)



**Διάγραμμα 14:** Μέση Ταχύτητα οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

Στο **Διάγραμμα 14** σημειώνονται οι μεταβολές της μέσης ταχύτητας των οχημάτων για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 0% και 50% παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχυτήτων οι οποίες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα άλλα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη μείωση της ταχύτητας των οχημάτων.

Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού (h)



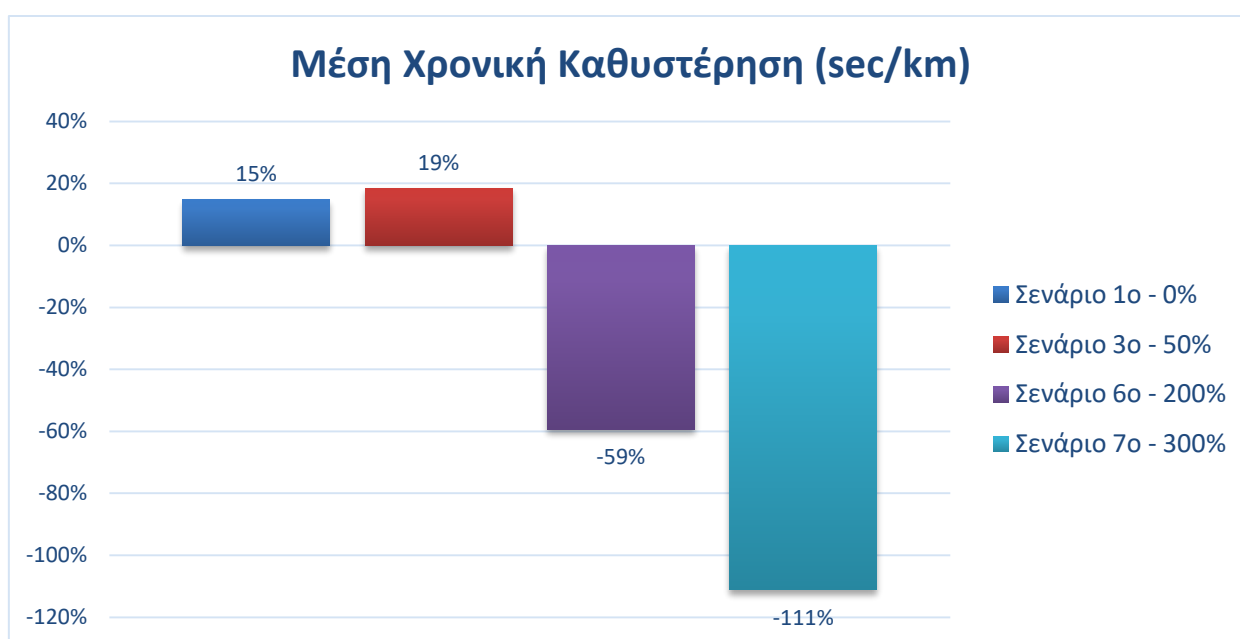
**Διάγραμμα 15:** Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού των οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου

Στο **Διάγραμμα 15** σημειώνονται οι μεταβολές του συνολικού χρόνου ταξιδιού των οχημάτων για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 100%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τα σενάρια με ποσοστό 200% και 300% παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους χρόνους ταξιδιού οι οποίοι είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από τα άλλα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση του χρόνου ταξιδιού των οχημάτων.

### 6.3 Συγκριτική αξιολόγηση

Στο υπό-κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται η ανάδειξη των αποτελεσμάτων σύγκρισης των σεναρίων 0%, 50% ,200% και 300% με το σενάριο που περιέχει το πραγματικό πλήθος των Βαρέων Οχημάτων που έχει οριστεί από την αρχή της διαδικασίας προσομοίωσης (Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%). Η σύγκριση αυτή υλοποιείται με την χρήση των στοιχείων των μεταβλητών που αναλύθηκαν στο υπό-κεφάλαιο **6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης**. Η συγκριτική αξιολόγηση γίνεται με την χρήση ραβδογράμματος για την βέλτιστη κατανόηση των διαφοροποιήσεων τους σε κάθε μεταβλητή.

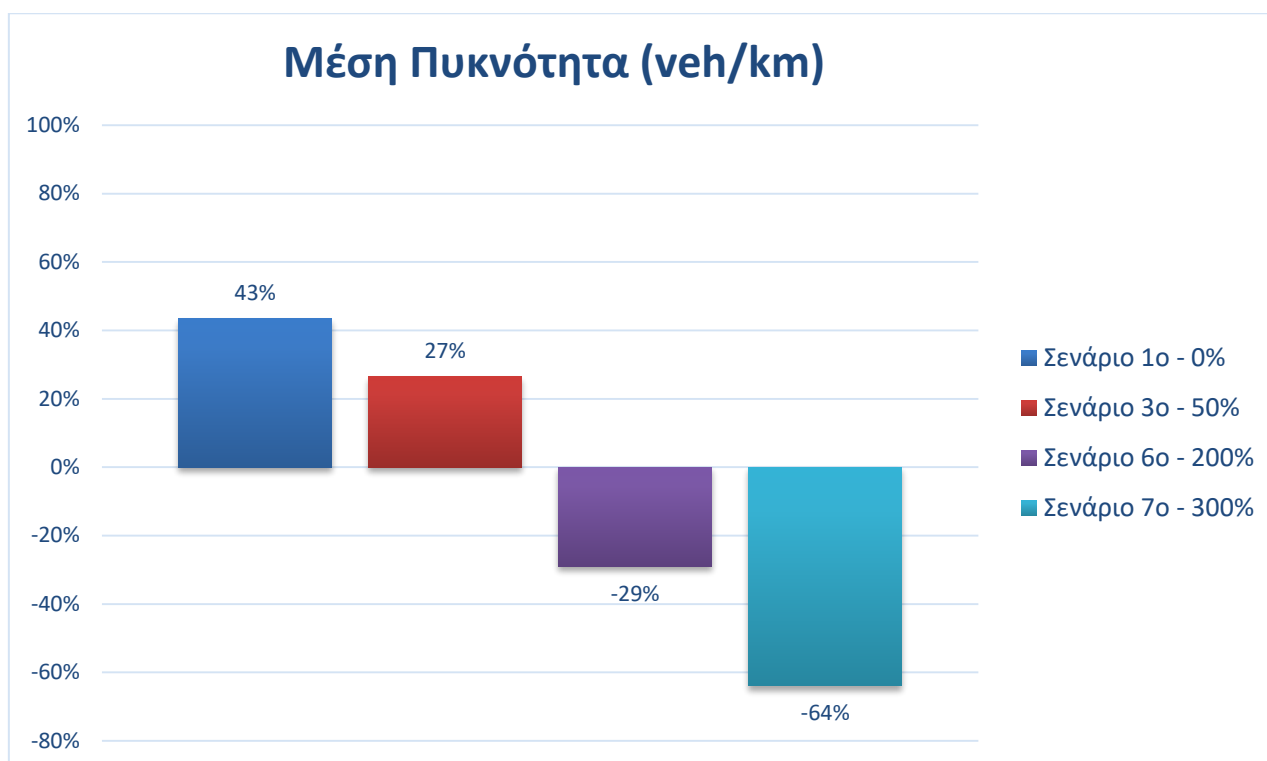
#### Χρονική Καθυστέρηση (sec/h)



**Διάγραμμα 16:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης Χρονικής Καθυστέρησης ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 16** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση χρονική καθυστέρηση των οχημάτων για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%), η μέση χρονική καθυστέρηση αυξάνεται κατά 111% από το πραγματικό σενάριο (Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%) και αποτελεί την μέγιστη τιμή χρονική καθυστέρηση από τα υπόλοιπα σενάρια. Επιπλέον, το 1<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> σενάριο παρουσιάζουν παρόμοιας κλίμακας ποσοστά μείωσης της μέσης χρονικής καθυστέρησης των οχημάτων λόγω της μείωσης του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων και έχουν μικρές διαφορές από το πραγματικό σενάριο.

Πυκνότητα (veh/km)

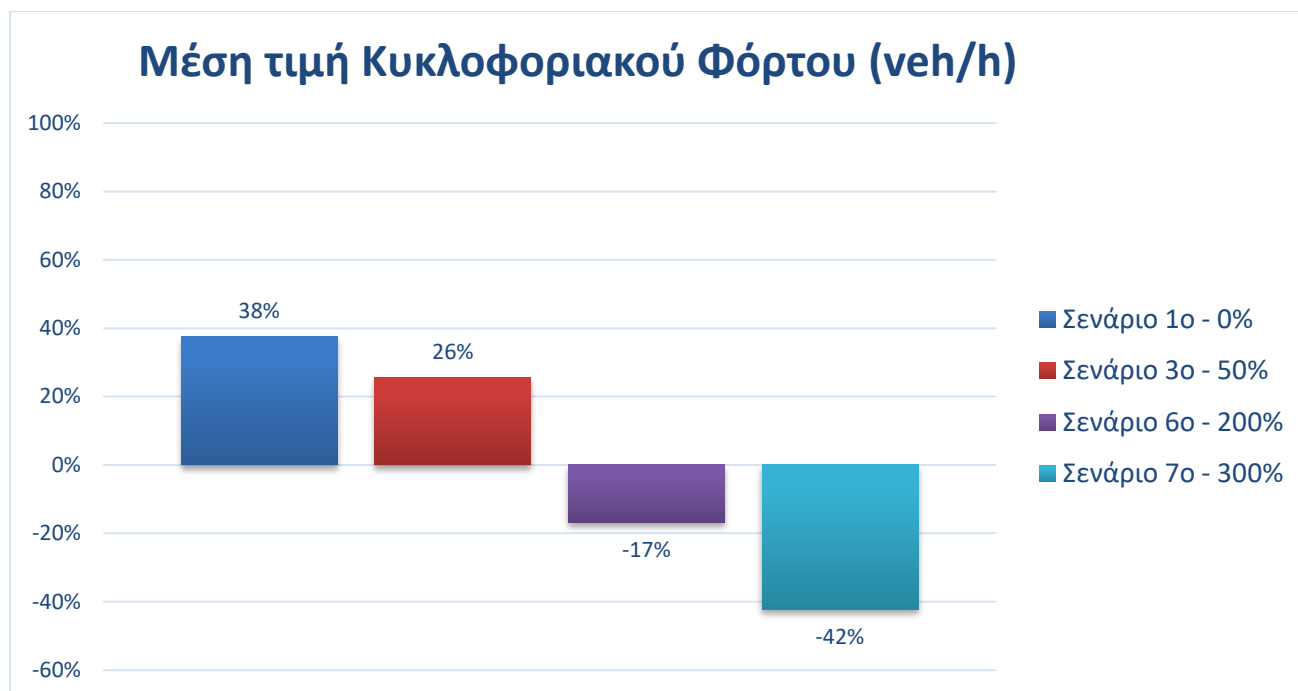


**Διάγραμμα 17:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης Πυκνότητας Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 17** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση πυκνότητα των οχημάτων για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%), η μέση πυκνότητα αυξάνεται κατά 64% από το πραγματικό σενάριο (Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%) και αποτελεί την μέγιστη τιμή μέσης πυκνότητας οχημάτων από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μέσης πυκνότητας οχημάτων.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) η μέση πυκνότητα των οχημάτων μειώνεται κατά 43% έχοντας ως αποτέλεσμα την “ελάφρυνση” της ροής των οχημάτων στο υπό-μελέτη οδικό δίκτυο σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.

Κυκλοφοριακός Φόρτος (veh/h)

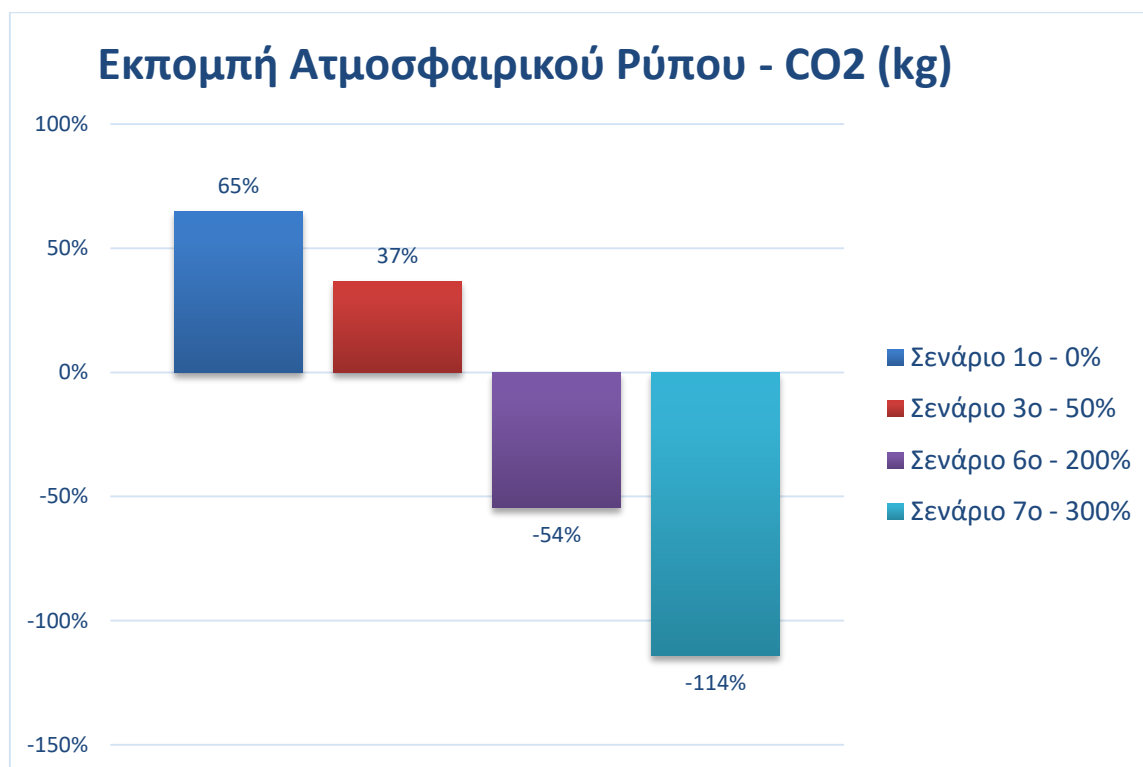


**Διάγραμμα 18:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Κυκλοφοριακού Φόρτου ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 18** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση του κυκλοφοριακού φόρτου για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%), η μέση τιμή κυκλοφοριακού φόρτου αυξάνεται κατά 42% από το πραγματικό σενάριο (Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%) και αποτελεί την μέγιστη τιμή κυκλοφοριακού φόρτου από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) η μέση τιμή κυκλοφοριακού φόρτου μειώνεται κατά 38% έχοντας ως αποτέλεσμα την “ελάφρυνση” της ροής των οχημάτων στο υπό-μελέτη οδικό δίκτυο σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.

Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO<sub>2</sub> (kg)

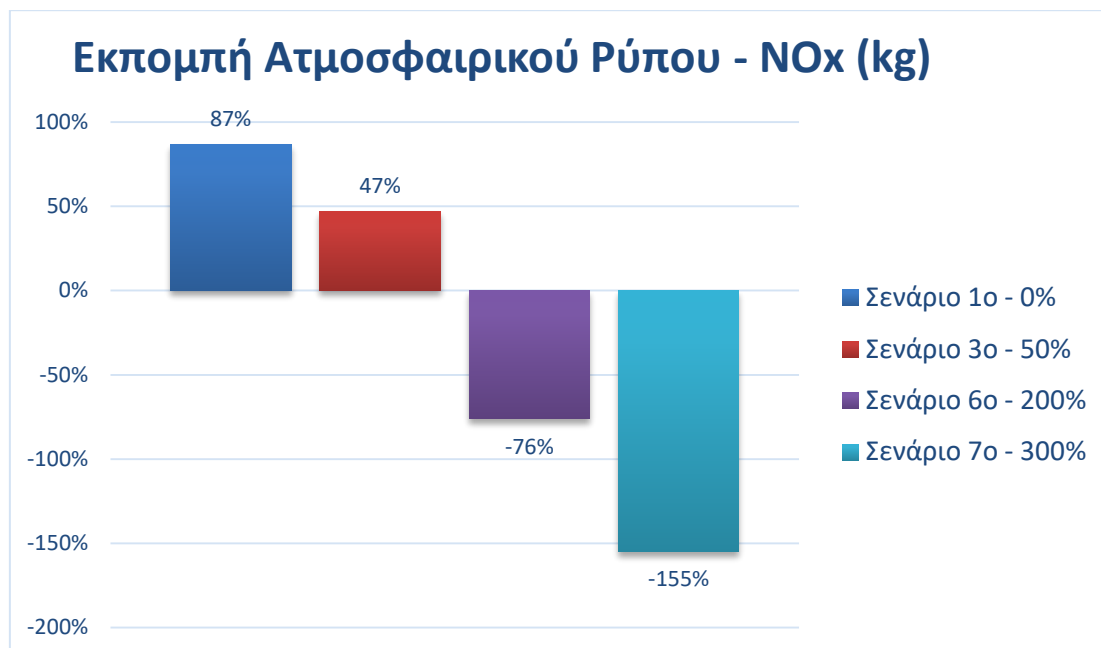


**Διάγραμμα 19:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO<sub>2</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 19** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – CO<sub>2</sub> για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%), η μέση τιμή εκπομπής CO<sub>2</sub> αυξάνεται κατά 114% από το πραγματικό σενάριο (Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%) και αποτελεί την μέγιστη τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – CO<sub>2</sub> από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μετρήσεων εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) η μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου - CO<sub>2</sub> μειώνεται κατά 65% έχοντας ως αποτέλεσμα την εκτόνωση του περιβάλλοντος του υπό-μελέτη οδικό δίκτυο από την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.

Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO<sub>x</sub> (kg)



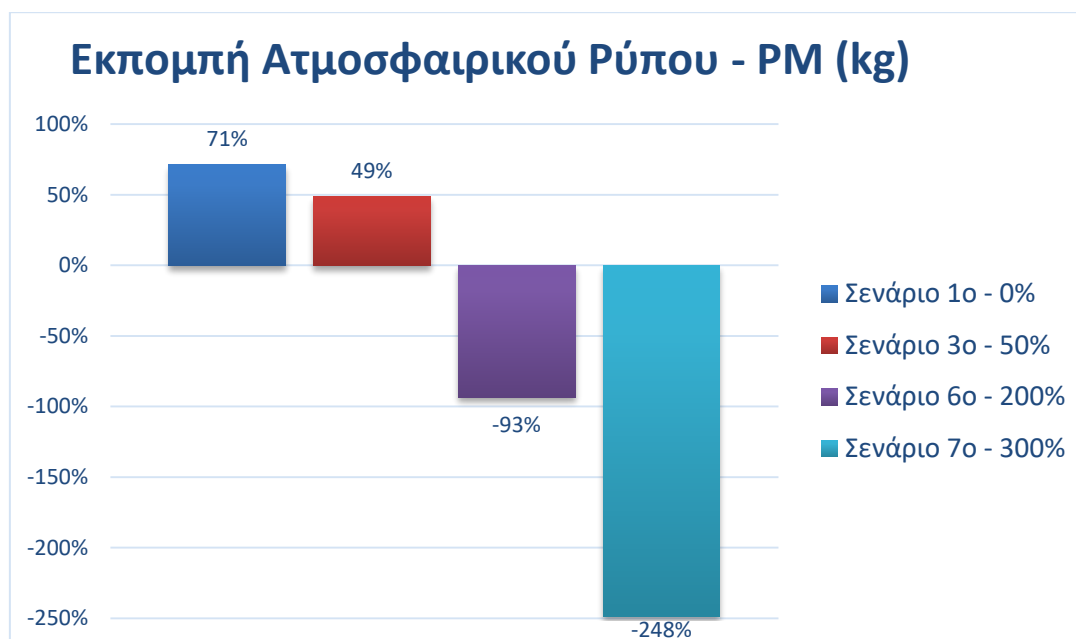
**Διάγραμμα 20:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO<sub>x</sub> ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 20** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – NO<sub>x</sub> για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (*Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%*), η μέση τιμή εκπομπής NO<sub>x</sub> αυξάνεται κατά 155% από το πραγματικό σενάριο (*Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%*) και αποτελεί την μέγιστη τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – NO<sub>x</sub> από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μετρήσεων εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) η μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου - NO<sub>x</sub> μειώνεται κατά 87% έχοντας ως αποτέλεσμα την μέγιστη εκτόνωση του περιβάλλοντος του υπό-μελέτη οδικό δίκτυο από την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.



Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM (kg)

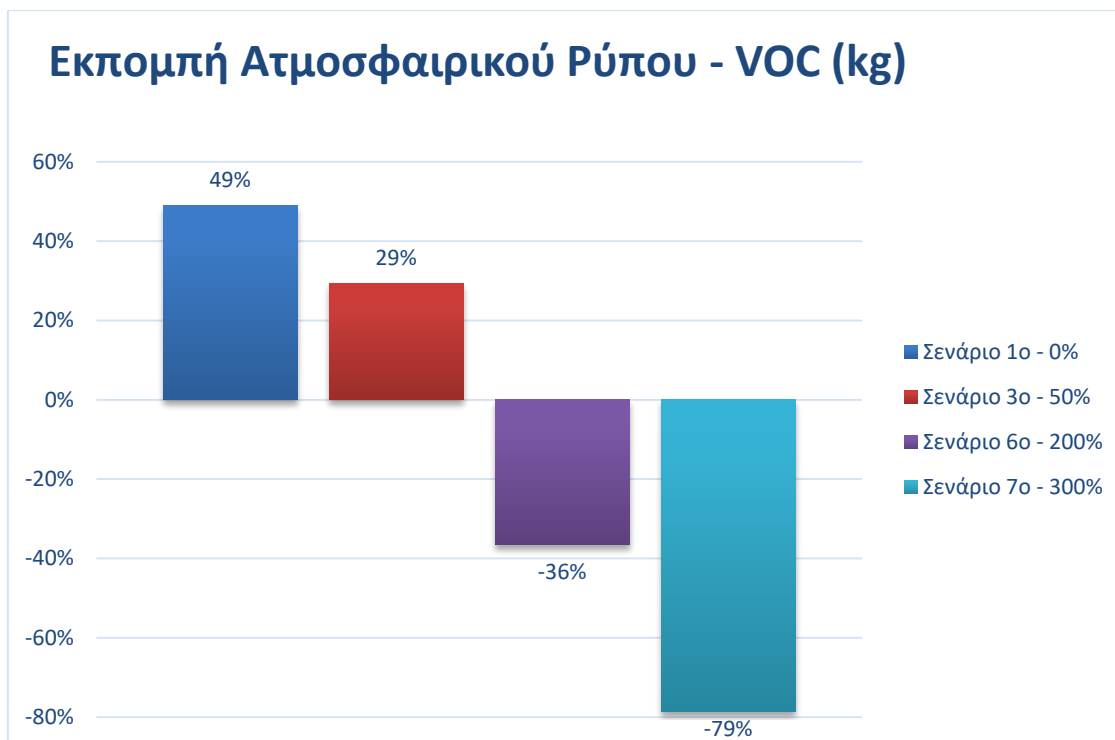


**Διάγραμμα 21:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 21** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – PM για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (*Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%*), η μέση τιμή εκπομπής PM αυξάνεται κατά 248% από το πραγματικό σενάριο (*Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%*) και αποτελεί την μέγιστη τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – PM από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μετρήσεων εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) η μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου - PM μειώνεται κατά 71% έχοντας ως αποτέλεσμα την μέγιστη εκτόνωση του περιβάλλοντος του υπό-μελέτη οδικό δίκτυο από την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.

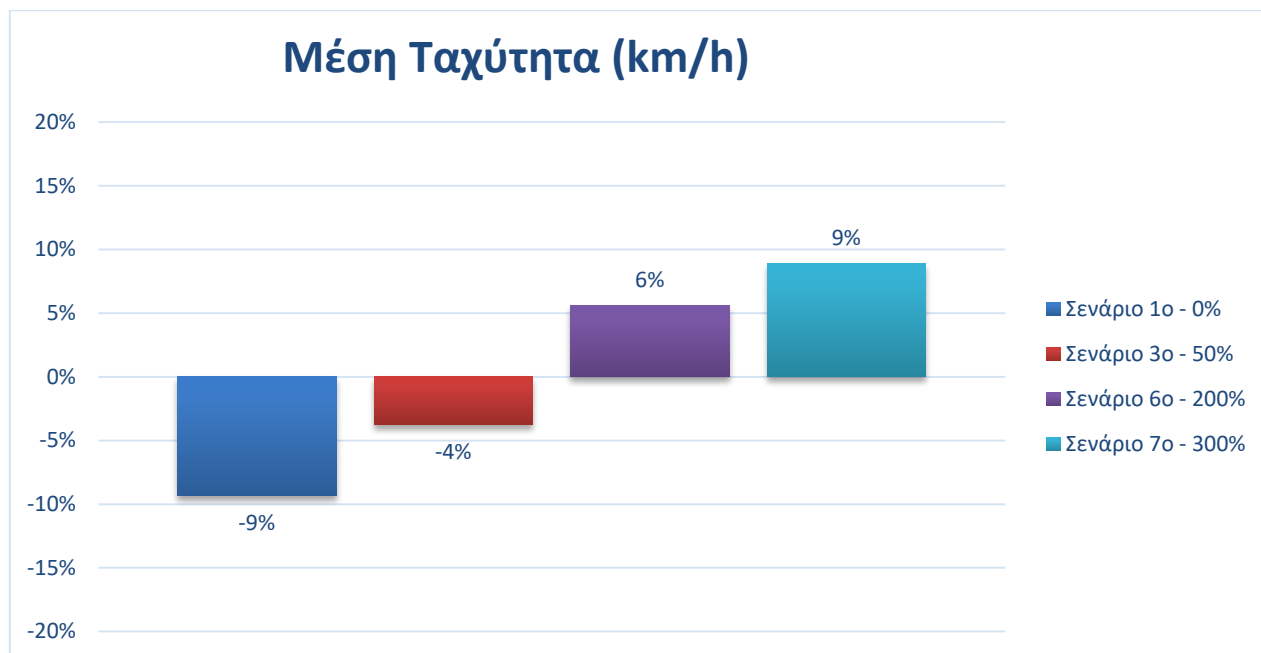
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC (kg)



**Διάγραμμα 22:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης τιμής Εκπομπής Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 22** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – VOC για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (*Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%*), η μέση τιμή εκπομπής VOC αυξάνεται κατά 79% από το πραγματικό σενάριο (*Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%*) και αποτελεί την μέγιστη τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου – VOC από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μετρήσεων εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) η μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου - VOC μειώνεται κατά 49% έχοντας ως αποτέλεσμα την εκτόνωση του περιβάλλοντος του υπό-μελέτη οδικό δίκτυο από την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.

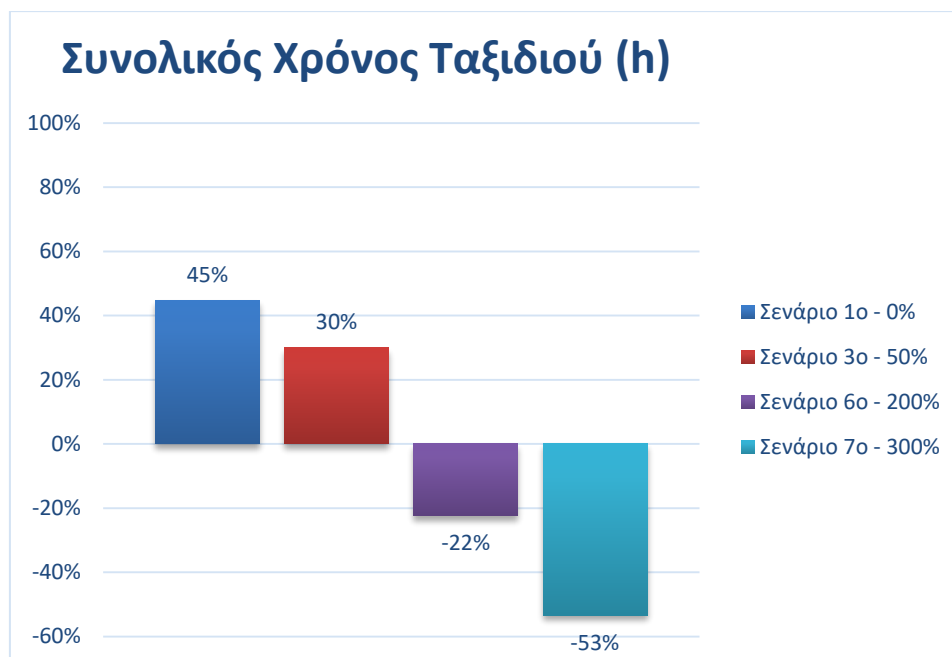
Ταχύτητα (km/h)

**Διάγραμμα 23:** Διάγραμμα Σύγκρισης της Μέσης Ταχύτητας των Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 23** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς την μέση ταχύτητα των οχημάτων για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (*Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%*), η μέση ταχύτητα μειώνεται κατά 9% από το πραγματικό σενάριο (*Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%*) και αποτελεί την ελάχιστη μέση τιμή της ταχύτητας από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται ελάχιστες τιμές μετρήσεων των ταχυτήτων.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) η μέση τιμή της ταχύτητας των οχημάτων αυξάνεται κατά 9% έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση των στιγμιαίων ταχυτήτων των οχημάτων σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.

Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού (h)



**Διάγραμμα 24:** Διάγραμμα Σύγκρισης του Συνολικού Χρόνου Ταξιδιού των Οχημάτων ανά ποσοστό Β.Ο. εντός δικτύου με το Πραγματικό Σενάριο Ύπαρξης Β.Ο. (100%)

Στο **Διάγραμμα 24** σημειώνονται οι μεταβολές των αποτελεσμάτων σύγκρισης ως προς τον συνολικό χρόνο ταξιδιού των οχημάτων για τα σενάρια που αποτελούν την ύπαρξη των Βαρέων Οχημάτων εντός δικτύου κατά ποσοστό 0%, 50%, 200% και 300%. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι στην περίπτωση αύξησης του αριθμού των Βαρέων Οχημάτων κατά 200% (*Σενάριο 7<sup>ο</sup> – 300%*), ο συνολικός χρόνος αυξάνεται κατά 53% από το πραγματικό σενάριο (*Σενάριο 5<sup>ο</sup> – 100%*) και αποτελεί την μέγιστη τιμή του συνολικού χρόνου ταξιδιού από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση του χρόνου ταξιδιού των οχημάτων.

Επιπλέον, στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (0%) ο συνολικός χρόνος ταξιδιού μειώνεται κατά 45% έχοντας ως αποτέλεσμα την ύπαρξη του βέλτιστου χρόνου μετακίνησης των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ****7.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων**

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί η διερεύνηση των επιπτώσεων βαρέων οχημάτων σε αυτοκινητόδρομο. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη βασίζεται στο τμήμα αυτοκινητοδρόμου «Θήβα – Τραγάνα» του οποίου είναι γνωστά τα δεδομένα φόρτου για όλο το μήκος της διαδρομής. Όσον αφορά τα δεδομένα της έρευνας, προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου του προαναφερόμενου οδικού δικτύου, χρονικής περιόδου δύο μηνών (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος) του έτους 2021.

Η διερεύνηση των επιπτώσεων βαρέων οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο που επιλέχθηκε περιλαμβάνει όχι μόνο την ανάλυση σε κυκλοφοριακό επίπεδο και επίπεδο ασφάλειας χρηστών αλλά και σε περιβαλλοντικό. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού η ανάλυση βασίστηκε στην δημιουργία στατικών και δυναμικών μοντέλων που παρουσιάζουν σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό μοντέλο την συνολική επιρροή που δέχεται η εξεταζόμενη περιοχή μελέτης από τα βαρέα οχήματα. Με την δημιουργία των δυναμικών μοντέλων, λήφθηκαν τα απαραίτητα αποτελέσματα μέσου όρου των δυναμικών σεναρίων για την σύγκριση των περιπτώσεων αύξησης ή μείωσης των βαρέων οχημάτων στο οδικό δίκτυο με την υφιστάμενη κατάσταση. Μέσω της σύγκρισης αυτής, παρήχθησαν διαγράμματα διαφορών των σεναρίων δίνοντας μια αναλυτική εικόνα της επιρροής των οχημάτων αυτών τόσο στην λειτουργικότητα του δικτύου όσο και στην περιβαλλοντική «επιβάρυνση» του.

Σύμφωνα με τον στόχο της έρευνας, ξεκίνησε η διαδικασία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης συναφών ερευνών με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας τόσο σε διεθνείς όσο και σε ελληνικές πηγές. Ταυτόχρονα, πραγματοποιήθηκε η συλλογή απαραίτητων στοιχείων που συντελούν το θεωρητικό υπόβαθρο δίνοντας έμφαση στην περιγραφή του λογισμικού AIMSUN στο οποίο «στήθηκε» η δημιουργία των δυναμικών σεναρίων.

Η έρευνα αυτή ξεκίνησε με την επεξεργασία των δεδομένων κυκλοφοριακού φόρτου σε υπολογιστικά φύλλα Excel με σκοπό την ταξινόμηση και ομαδοποίησή τους ανάλογα με την προοπτική της ανάλυσης, και την εξαγωγή κατάλληλων συμπερασμάτων όπως: ο προσδιορισμός της ώρας αιχμής των βαρέων οχημάτων, το σύνολο των κυκλοφοριακών φόρτων ανά κατηγορία οχήματος αναφορικά με τους αντίστοιχους ανιχνευτές που τοποθετήθηκαν στις εξόδους που οδηγούν στις οδούς εκατέρωθεν του υπό-μελέτη δικτύου και η εύρεση των ημερών της εβδομάδας (Τρίτη – Πέμπτη) που περιέχουν το μέγιστο πλήθος βαρέων οχημάτων και στις δύο κατευθύνσεις (προς Αθήνα, προς Θεσσαλονίκη).

Τέλος, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε η κωδικοποίηση του δικτύου στο λογισμικό AIMSUN, όπου με τις κατάλληλες διαδικασίες λήφθηκαν τα απαραίτητα αποτελέσματα των σεναρίων προσομοίωσης που συντελούν στην διερεύνηση των επιπτώσεων των βαρέων οχημάτων στον εξεταζόμενο αυτοκινητόδρομο.

## 7.2 Συμπεράσματα

Στο υπό-κεφάλαιο αυτό αναφέρονται επιγραμματικά τα συμπεράσματα που λήφθηκαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Σχετικά με την σύνθεση της κυκλοφορίας όπως αναλύθηκε για να χρησιμοποιηθεί στα διάφορα στάδια της προσομοίωσης παρατηρείται ότι:

1. Η μέγιστη τιμή κυκλοφοριακού φόρτου παρατηρείται στην περίπτωση των Ι.Χ. οχημάτων και πιο συγκεκριμένα στην κατεύθυνση προς Αθήνα. Επιπλέον, ακολουθεί η κατηγορία των Βαρών Οχημάτων, η οποία παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό κυκλοφοριακού φόρτου στο ρεύμα προς Θεσσαλονίκη.
2. Τα Ι.Χ. εμφανίζουν σημαντική αύξηση του πλήθους τους το Σαββατοκύριακο, ενώ για τα Βαρέα Οχήματα καταγράφεται μέγιστο πλήθος και για τις δύο κατευθύνσεις τις ημέρες Τρίτη και Πέμπτη.
3. Η ώρα αιχμής των Β.Ο. εμφανίζεται στην πρωινή περίοδο στο διάστημα 4πμ με 7πμ, ενώ στην περίπτωση των Ι.Χ. η ώρα αιχμής εμφανίζεται στο διάστημα 11πμ με 1μμ. Τέλος, παρατηρείται ότι στην περίοδο αιχμής των Β.Ο. τα Ι.Χ. εμφανίζουν τις ελάχιστες τιμές κυκλοφοριακού φόρτου.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των 7 σεναρίων.

**Πίνακας 9:** Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων

Μεταβλητή/Σενάρια	Σενάριο-0%	Σενάριο-50%	Σενάριο-100%	Σενάριο-200%	Σενάριο-300%	Μονάδα Μέτρησης
Μέση Χρονική Καθυστέρηση	0,23	0,22	0,27	0,43	0,57	sec/km
Μέση Πυκνότητα	0,47	0,61	0,83	1,07	1,36	veh/km
Μέση τιμή Κυκλοφοριακού Φόρτου	341,20	407,15	547,25	638,60	777,95	veh/h
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – CO <sub>2</sub>	2392,07	4309,84	6821,03	10534,53	14602,56	kg
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – NO <sub>x</sub>	8,50	34,39	65,06	114,54	165,72	kg
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – PM	0,01	0,01	0,02	0,05	0,08	kg
Εκπομπή Ατμοσφαιρικού Ρύπου – VOC	2,15	2,98	4,22	5,75	7,53	kg
Μέση Ταχύτητα	105,90	100,49	96,89	91,46	88,27	km/h
Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού	158,33	200,67	286,30	350,01	439,10	h

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι υπάρχει κλιμακωτή αλλαγή σε όλες τις εξεταζόμενες μεταβλητές την ανάλυσης. Τόσο οι περιβαλλοντικές παράμετροι όσο και οι κυκλοφοριακές παρουσιάζουν έντονες αλλαγές ανάλογα με τη σύνθεση της κυκλοφορίας ΙΧ και βαρέων οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα:

1. Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 0%

Στην περίπτωση αυτή, με βάση τους δείκτες απόδοσης που βασίστηκε η εύρεση των αποτελεσμάτων και σε σύγκριση με το σενάριο που περιλαμβάνει στοιχεία της υφιστάμενης κατάστασης του αυτοκινητοδρόμου, παρατηρείται ότι:

- Δεν μεταβάλλεται αρκετά η μέση χρονική καθυστέρηση των οχημάτων, επομένως τείνει στην υφιστάμενη κατάσταση.

- Η μέση πυκνότητα των οχημάτων μειώνεται κατά 43% έχοντας ως αποτέλεσμα την “ελάφρυνση” της ροής των οχημάτων στο υπό-μελέτη οδικό δίκτυο σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.
- Η μέση τιμή κυκλοφοριακού φόρτου μειώνεται κατά 38% έχοντας ως αποτέλεσμα την βέλτιστη ροή των οχημάτων στο υπό-μελέτη οδικό δίκτυο.
- Η μέση τιμή εκπομπής ατμοσφαιρικού ρύπου κατηγορίας: (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM και VOC) μειώνεται σημαντικά έχοντας ως αποτέλεσμα την εκτόνωση του περιβάλλοντος του υπό-μελέτη οδικό δίκτυο από την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων σε περίπτωση έλλειψης του συνόλου των Βαρέων Οχημάτων.
- Η μέση τιμή της ταχύτητας των οχημάτων αυξάνεται κατά 9% έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση των στιγμιαίων ταχυτήτων των οχημάτων.
- Ο συνολικός χρόνος ταξιδιού μειώνεται κατά 45% έχοντας ως αποτέλεσμα την ύπαρξη του βέλτιστου χρόνου μετακίνησης των οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο.

## 2. Σενάριο με ποσοστό φόρτου Βαρέων Οχημάτων: 300%

- Η μέση χρονική καθυστέρηση αυξάνεται σχεδόν 1,2 φορές από το πραγματικό σενάριο θέτοντας έτσι το σενάριο αυτό ως το χειρίστο σενάριο κυκλοφοριακού φόρτου των βαρέων οχημάτων, καθώς με την αύξηση του πλήθους των οχημάτων αυτών «εκτινάσσεται» η χρονική καθυστέρηση των οχημάτων.
- Η μέση πυκνότητα αυξάνεται κατά 64% από το πραγματικό σενάριο και αποτελεί την μέγιστη τιμή μέσης πυκνότητας οχημάτων από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μέσης πυκνότητας οχημάτων. Άρα, μειώνεται η λειτουργικότητα του αυτοκινητοδρόμου λόγω πιθανής εμφάνισης κορεσμού της κυκλοφορίας (στάθμη εξυπηρέτησης: D – F).
- Η μέση τιμή κυκλοφοριακού φόρτου αυξάνεται κατά 42% από το πραγματικό σενάριο και αποτελεί την μέγιστη τιμή κυκλοφοριακού φόρτου από τα υπόλοιπα σενάρια. Επομένως, με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες τιμές μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου με ταυτόχρονη «επιβάρυνση» του οδικού δικτύου.
- Με την αύξηση του πλήθους των Β.Ο. λαμβάνονται μεγαλύτερες και σχεδόν τριπλάσιες τιμές μετρήσεων εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων κατηγορίας: (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM και VOC).
- Η μέση ταχύτητα αυξάνεται σημαντικά καθώς σε περίπτωση κορεσμού των οχημάτων δεν καταγράφονται υψηλές στιγμιαίες ταχύτητες των οχημάτων.
- Ο συνολικός χρόνος ταξιδιού αυξάνεται σε συνάρτηση με την αύξηση του πλήθους των Βαρέων Οχημάτων.



### 7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την περαιτέρω μελέτη του εν λόγω αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η ανάλυση των παρακάτω προτάσεων:

1. Η ανάλυση των ίδιων μεταβλητών σε περισσότερα τμήματα του αυτοκινητοδρόμου Α.Θ.Ε. για μια πιο ολοκληρωμένη οπτική και αποτελέσματα μεγαλύτερης αξιοπιστίας.
2. Η υλοποίηση της ίδιας μεθοδολογίας για την διερεύνηση της επιρροής της λειτουργικότητας της οδού ενδιαφέροντος από την περίπτωση αύξησης ή μείωσης του πλήθους των Ι.Χ..
3. Η δημιουργία σεναρίων εναλλακτικής διαδρομής για την κατηγορία των Βαρέων Οχημάτων με στόχο την βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών ειδικότερα σε περιόδους ώρας αιχμής των οχημάτων.
4. Η διερεύνηση των περιπτώσεων ταυτόχρονης μεταβολής του πλήθους οχημάτων κατηγορίας Ι.Χ. και Βαρέων Οχημάτων και η επιρροής τους στο υπό-μελέτη οδικό δίκτυο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AIMSUN, 2014. *Aimsun 8 Dynamic Simulators Users' Manual*. s.l.:TSS-Transport Simulation Systems.
- Astarita, V. et al., 2017. *New features of Tritone for the evaluation of traffic safety performances*. Rome, TIS, pp. 625-632.
- Barceló, J. & Casas, J., n.d. *DYNAMIC NETWORK SIMULATION WITH AIMSUN*, Barcelona: TSS-Transport Simulation Systems.
- 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.
- Chatterjee, R. et al., 2017. *Findings of the 2017 Conference on Machine Translation (WMT17)*. Copenhagen, Denmark, s.n., pp. 169-214.
- Elefteriadou, L., 2014. *An Introduction to Traffic Flow Theory*. s.l.:SPRINGER NATURE.
- Gabbard, J., 1991. Car-Following Models. In: M. Papageorgiou, ed. *Concise Encyclopedia of*. Oxford: Pergamon Press.
- Gerlough, D. & Huber, M., 1975. *Traffic Flow Theory – A Monograph*. s.l.:Transportation Research Board.
- Gipps, P., 1986. A Model for the Structure of Lane-Changing Decisions. *Transpn. Res.*, Issue 20B, pp. 403-414.
- Giuseppe Piero, G., Vittorio, A., Vincenzo Pasquale, G. & Alessandro, V., 2011. Safety performance measures: A comparison between microsimulation and observational data. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume XX, pp. 217-225.
- Herman, R., Montroll, E. W., Potts, R. & R.W., R., 1959. Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car-following. *Operations research*, pp. 86-106.
- Hughes, J., 1998. *Intensive Traffic Data collection for Simulation of congested Auckland Motorway*. Sydney, Proceedings 19th ARRB Transport Research Conference.
- Kessels, F., Lint, J., Vuik, C. & Hoogendoorn, S., 2014. Geneology of Traffic Flow Models. *EURO Journal in Transportation and Logistics*, Volume 4.
- Kyu-Ok, K. & L. R., R., 2003. Simplex-Based Calibration of Traffic Microsimulation Models with Intelligent Transportation Systems Data. *SAGE Journals*, 1855(1), pp. 80-89.
- Madi, M. Y., 2016. Investigating and Calibrating the Dynamics of Vehicles in Traffic Microsimulations Models. *Transportation Research Procedia*, Volume 14, pp. 1782-1791.
- Maheshwary, P., Bhattacharyya, K., Bhargab, M. & Manfred, B., 2020. A methodology for calibration of traffic micro-simulator for urban heterogeneous traffic operations. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7(4), pp. 507-519.
- Mahut, M., 2000. *Behavioral Car Following Models*, Université de Montréal: Centre de Recherche sur les Transports.

- Petraki, V., Ziakopoulos, A. & Yannis, G., 2020. Combined impact of road and traffic characteristic on driver behavior using smartphone sensor data. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 144.
- Raju, N. & Farah, H., 2021. Evolution of Traffic Microsimulation and Its Use for Modeling Connected and Automated Vehicles. *Journal of Advanced Transportation*, p. 29.
- Reilly, W., 1998. *HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000*, Washington: Transport Research Board.
- Sobhani, A., Young, W. & Sarvi, M., 2013. A simulation based approach to assess the safety performance of road locations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 32, pp. 144-158.
- Tapani, A., 2005. *A Traffic Simulation Modeling*, Norrköping: Linköping Studies in Science and Technology.
- Ugnenko, E., Uzhvieva, E. & Voronova, Y., 2016. Simulation of Traffic Flows on the Road Network of Urban Area. *Procedia Engineering*, Volume 134, pp. 153-156.
- Vittorio, A., Vincenzo, G., Giuseppe, G. & Alessandro, V., 2011. Investigating road safety issues through a microsimulation model. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Volume XX, pp. 226-235.
- Vittorio, A., Vincenzo, G., Giuseppe, G. & Alessandro, V., 2012. Calibration of a new microsimulation package for the evaluation of traffic safety performances. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 54, pp. 1019-1026.
- 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.
- Wikipedia, 2021. *el.wikipedia*. [Online]  
Available at:  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CF%8C%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CF%82\\_1\\_\(%CE%91%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1\\_%CE%98%CE%B5%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%BA%CE%B7\\_%CE%95%CF%8D%CE%B6%CF%8](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CF%8C%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CF%82_1_(%CE%91%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1_%CE%98%CE%B5%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CE%AF%CE%BA%CE%B7_%CE%95%CF%8D%CE%B6%CF%8)  
[Accessed 21 February 2022].
- Yannis, G. et al., 2021. *Traffic impact assessment of the pilot implementation of Athens Great Walk*. Athens, ICTR.
- 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.
- Αλεξίου, Α., 2008. *Υπόδειγμα Δυναμικής Κατανομής Κυκλοφορίας: Εφαρμογές Βελτιστοποίησης Συστημάτων Ελέγχου της Κυκλοφορίας με το Σύστημα VISTA*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Αντωνίου, Κ. & Σπυροπούλου, Ι., 2015. *Αρχές Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Προσομοίωσης*. 1 επιμ. Αθήνα: Κάλλιπος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαλθούκας Π., Κ. Α., n.d. *Συστήματα Μεταφορών*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Σπυροπούλου, Α., 2015. Κεφάλαιο 2 Βασικά Μεγέθη Κυκλοφοριακής Τεχνικής. Στο: *Αρχές Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Προσομοίωσης*. s.l.:s.n., pp. 17-45.

Φραντζεσκάκης, Ι., Γκόλιας, Ι. & Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ., 2009. *ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Χαρωνίτη, Ε., 2013. *ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΜΕΣΩ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ*, Αθήνα: ΕΜΠ.